



# 7 INTERNATIONAL IRON & STEEL SYMPOSIUM

**Let's Talk STEEL Now**

**Haydi ÇELİK konuşalım!**

**SYMPOSIUM PROCEEDINGS BOOK  
SEMPOZYUM BİLDİRİLER KİTABI**

**26-27 Eylül  
September  
2019**

**Izmir Tepekule  
Convention and  
Exhibition Centre**

**Izmir Tepekule  
Kongre ve  
Sergi Merkezi**

**EFRS2019**  
**7.ULUSLARARASI DEMİR ÇELİK SEMPOZYUMU**

[www.efrs-dc.com](http://www.efrs-dc.com)  EfrsDc  EfrsDc  2019efrs  efrsdc



UCTEA CHAMBER OF METALLURGICAL AND MATERIALS ENGINEERS'S TRAINING CENTER  
TMMOB METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLERİ ODASI EĞİTİM MERKEZİ





"Let's Talk STEEL Now" / "Haydi ÇELİK Konuşalım"

@2019 by  
UCTEA CHAMBER OF METALLURGICAL and MATERIALS ENGINEERS'S  
TRAINING CENTER

*This book is included the papers in the symposium program and the full text is sent.*

*Any opinion(s), idea(s), scientific claim(s) and quotations, technical designs, tables and figures  
in this book are those of the auther(s) of that particuler paper and neither editors nor  
UCTEA Chamber of Metallurgical and Materials Engineers's Training Center  
may held responsible for those.*

@2019  
TMMOB METALURJİ ve MALZEME MÜHENDİSLERİ ODASI  
EĞİTİM MERKEZİ

*Sempozyum Programı kapsamında olup tam metinleri gelen bildiriler bu kitapta yer almaktadır.*

*Bildiriler kitabında yer alan her türlü görüş, fikir, bilimsel sav ve alıntılar, teknik tasarım,  
tablo ve şekiller bildiri yazar/yazarlarına aittir ve bunlardan ötürü gerek editörler gerekse  
TMMOB Metalurji ve Malzeme Mühendisleri Odası Eğitim Merkezi sorumlu tutulamaz.*



**Let's Talk STEEL Now**

**Haydi ÇELİK konuşalım!**

**SYMPOSIUM PROCEEDINGS BOOK  
SEMPOZYUM BİLDİRİLER KİTABI**

**EFRS2019**  
**7.ULUSLARARASI DEMİR ÇELİK SEMPOZYUMU**

[www.efrs-dc.com](http://www.efrs-dc.com) [f](#) EfrsDc [t](#) EfrsDc [i](#) 2019efrs [in](#) efrsdc



UCTEA CHAMBER OF METALLURGICAL AND MATERIALS ENGINEERS'S TRAINING CENTER  
TMMOB METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLERİ ODASI EĞİTİM MERKEZİ





# METEM

METEM (TMMOB Chamber of Metallurgical and Materials Engineers Training Center) gathers whole sector and cooperate for sustainable development and transformation of the sector. Also, it combines the qualified knowledge of industry, university and colleagues;

- Aims to be integrated to the world, with national and international symposiums, congresses, conferences, seminars,
- Provides highly qualified trainings and consultancy with scientific, technical and practical approach,
- Support sectoral and social developments with own projects,
- Acts as an powerful and active center by providing information, new aspects, relationships, and cooperation to create new opportunities.

METEM organizes many activities in order to reach the increasing knowledge accumulation, to share the experiences and to evaluate them in production processes.

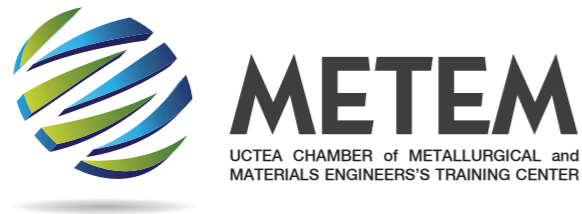
Many such as the EFRS International Iron and Steel Symposium, IMMC International Metallurgy and Materials Congress, ALUS International Aluminum Symposium, Mediterranean Heat Treatment and Surface Engineering Conference, congresses, conferences and symposium organization carries out.

In addition, it provides in-house training and consultancy services open to general participation. Engineers, scientists, researchers and production managers; in order to review and discuss new challenges, recent developments and issues.

For that purpose, by bringing together highly qualified and experienced experts from the university and industry, we are able to; technical, managerial and engineering knowledge to refresh, making business development related to the sector's problems, occupational health and safety in problem solving, quality and to increase awareness and thus aim to provide value-added training and events planning, engages.

METEM also demonstrates "researches of Turkish metallurgy industry and universities" to the world, by organizing "international congresses, conferences and symposiums".

METEM is at the service of our sector with its trust, diligence, beliefs and values for improvement.



# METEM

METEM (TMMOB Metalurji ve Malzeme Mühendisleri Odası Eğitim Merkezi) tüm sektörü bir araya getirerek sektörün gelişimi ve dönüşümü için çalışmaktadır. Sanayi, üniversite ve meslektaşlarının nitelikli birikimlerini birleştiren METEM;

- Geliştirdiği ve planladığı tüm ulusal ve uluslararası sempozyum, kongre, konferans, seminer gibi organizasyonlarıyla dünyaya entegre olabilmek üzere çalışan,
- Bilimsel, teknik ve uygulamaya yönelik nitelikli eğitim ve danışmanlık hizmetleri veren,
- Sektörel ve toplumsal gelişimi planladığı projelerle destekleyen,
- Bilgi, yeni açılımlar, ilişkiler, fırsatlar yaratma konusunda işbirlikleri sağlama üzerinden hareket eden güçlü bir etkinlik merkezidir.

Artan bilgi birikimine hızla ulaşmak, edinilen deneyimleri paylaşmak ve bunları üretim süreçlerinde değerlendirmek üzere, METEM bünyesinde birçok etkinlik düzenlenmektedir.

EFRS Uluslararası Demir Çelik Sempozyumu, IMMC Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, ALUS Uluslararası Alüminyum Sempozyumu, Akdeniz Isıl İşlem ve Yüzey Mühendisliği Konferansı gibi birçok; kongre, konferans ve sempozyum organizasyonları gerçekleştirmektedir.

Bunun yanı sıra genel katılıma açık, şirketçi eğitimler ve danışmanlık hizmetleri vermektedir. Mühendislere, bilim adamlarına, araştırmacılara ve üretim yöneticilerine; alanlarında yeni zorlukları, son gelişmeleri ve ortaya çıkan konuları gözden geçirip tartışabilecekleri ortamlar hazırlamaktadır.

Yine bu amaçla, üniversite ve sanayide yer alan, yüksek bilgi ve deneyime sahip uzmanları bir araya getirerek, sektöre ve sektör çalışanlarına yönelik; teknik, yönetsel ve mühendislik bilgilerini tazelemeyi, sektörün sorunlarına ilişkin iş geliştirmeler yapmayı, çalışan sağlığı ve güvenliğinde sorun çözmeyi, nitelik ve farkındalık kazandırmayı ve böylece katma değer sağlamayı hedefleyen, eğitimler ve etkinlikler planlayıp yürütmektedir.

METEM gerçekleştirdiği uluslararası etkinlikler ile Türkiye metalurji sektörünün ve akademik araştırmalarının dünyaya tanıtılmasına katkı sağlamaktadır.

METEM, güven, çalışkanlık, iyiyeye ve değişime olan inanç ve değerleriyle sektörümüzün hizmetindedir.





### Chairman / Başkan

- N. İzzet ULU İZMİR DEMİR ÇELİK

### Vice-Chairman / Başkanı Yardımcısı

- Orhan ÖZKAN ÇEBİTAŞ DEMİR ÇELİK

### Members / Üyeler

- Hasan ACAR İZMİR DEMİR ÇELİK
- Tamer BIÇAKLI YUBER
- Deniz ÇATAN PRIMETALS TECHNOLOGIES
- Hasan Hakkı ERDOĞAN KÜMAŞ
- Sabri KILIÇ İSKENDERUN DEMİR ÇELİK
- M. Nedim SAVAŞ KAPTAN DEMİR ÇELİK
- Ayhan TUĞRUL CARES
- Ahmet İlhan TURAN TOSYALI YASSI YAPISAL ÇELİK
- Murat UYSAL METEM
- Bülent YILDIRIM DİLER DEMİR ÇELİK



Main Sponsor / Ana Sponsor



Supporting Iron & Steel Manufacturers  
Destekleyen Demir ve Çelik Üreticileri



Platinum Sponsors / Platin Sponsorlar

Silver Sponsors / Gümüş Sponsorlar



FİRMA ADI	STAND NO
3-S MÜHENDİSLİK	İB-02
5M İNDÜKSİYON	İB-12
AKM METALURJİ	GA-16
ALPET ENDÜSTRİYEL	GA-14
ANADOLU DÖKÜM	İB-04
ANADOLU MÜHENDİSLİK	İA-10
ARKUN METALURJİ	GB-02
AVEKS	GA-02
AYDINLAR REFRAKTER	GA-20
BAŞTUĞ METALURJİ	GB-03
BİRİM MAKİNA	İA-15
BWF ENDÜSTRİ FİLTRELERİ	GA-03
CASTROL	GB-04
CEFIP MAKİNA	İA-08
DEMORA	GA-15
HAZNEDAR REFRAKTER	GA-13
HERAEUS ELECTRO-NITE	GA-18
HM ANKIROS	İA-12
INDUCTOTHERM İNDÜKSİYON	GA-11
INTOCAS AG	İA-07
İST İŞÇİ SAĞLIĞI TECHİZATI	İA-01
İZMİR DEMİR ÇELİK	GB-01
KASTAŞ SIZDIRMAZLIK	İA-02
KGD GRAFİT	İA-06
KLÜBER LUBRICATION	İB-08
KÜMAŞ	A-04
MAK DEMİR ÇELİK	İA-05
MARMACOR DIŞ TİCARET	GA-19

FİRMA ADI	STAND NO
MATİL	İA-04
METALFORM METAL SANAYİ	GA-06
METAMAK	GA-07
METALURJİ VE MALZEME M.O.	İA-13
METEM	GA-12
METSER DEMİR ÇELİK / TÜRK BAKIR	GA-05
MISAD	İA-11
NTN-SNR ROULEMENTS	İB-06
ÖZGÜN MAKİNA	İB-05
PETROFER	İB-03
PETROL OFİSİ	GA-17
PIROMET PIROMETALURJİ	GA-04
PRIMETALS TECHNOLOGIES	A-02
REPAMET	GB-07
RHI MAGNESITA	A-03
ROLMET	İB-07
SAYGILI RULMAN	GA-01
SELUR METAL	İA-09
SDM	İB-01
SHOWA DENKO	GB-06
TÇÜD	İA-14
TEKNOTHERM METAL SANAYİ	GA-10
TERRALAB	İA-03
TOSYALI HARSCO GERİ KAZANIM	GA-09
TOTAL TURKEY PAZARLAMA	GA-08
UNIFRAX	GB-05

26 September Thursday // 26 Eylül Perşembe

TIME/SAAT	Hall / Salon - <b>ANADOLU</b>
09:00	<b>Registration</b> // Kayıt
09:45 - 10:10	<b>Opening Ceremony</b> // Açılış Konuşmaları  <b>Ata ÖZDEMİRLER</b> Kaptan Demir Çelik UCTEA Chamber of Metallurgical and Materials Engineers's Training Center <b>Chairman of the Executive Board</b> TMMOB Metalurji ve Malzeme Mühendisleri Odası Eğitim Merkezi Yürütme Kurulu Başkanı  <b>İzzet ULU</b> İzmir Demir Çelik <b>Chairman of the Symposium Executive Committee</b> Sempozyum Yürütme Kurulu Başkanı
10:10 - 11:00	<b>Plaque Ceremony</b> // Plaket Töreni
11:00 - 12:45	<b>Plenary Panel</b> // Açılış Paneli
12:45 - 13:00	<b>Exhibition Opening</b> // Stand Açılışı
13:00 - 14:20	<b>Lunch Break</b> // Öğle Yemeği
14:20 - 14:30	<b>Primetals Technologies Commercial Presentation</b> // Primetals Technologies Ticari Sunum
14:30 - 16:05	<b>Session 1</b> // Oturum 1
19:00 - 24:00	<b>Cocktail and Gala Dinner</b> Kokteyl ve Gala Yemeği

27 September Friday // 27 Eylül Cuma

TIME/SAAT	Hall / Salon - <b>ANADOLU</b>
09:30 - 11:15	<b>Session 2</b> // Oturum 2
11:30 - 12:50	<b>Session 4</b> // Oturum 4
12:50 - 14:00	<b>Lunch Break</b> // Öğle Yemeği
14:00 - 15:45	<b>Session 6</b> // Oturum 6
16:00 - 17:45	<b>Session 8</b> // Oturum 8
TIME/SAAT	Hall / Salon - <b>AKDENİZ</b>
09:30 - 10:50	<b>Session 3</b> // Oturum 3
11:30 - 12:50	<b>Session 5</b> // Oturum 5
12:50 - 14:00	<b>Lunch Break</b> // Öğle Yemeği
14:00 - 15:45	<b>Session 7</b> // Oturum 7
16:00 - 17:45	<b>Session 9</b> // Oturum 9
18:00 - 19:00	<b>Symposium Closing and Cocktail Prolonge</b> Sempozyum Kapanışı ve Kokteyl Prolonge



**EFIS 2019**  
INTERNATIONAL SYMPOSIUM  
ON  
**IRON & STEEL**  
"Let's Talk STEEL Now" / "Haydi ÇELİK Konuşalım"

**PLENARY PANEL**  
AÇILIŞ PANELİ

11:00  
-  
12:45

**ÇELİKTE GELECEĞİ KONUŞALIM**  
*LET'S TALK FUTURE in STEEL*

Uğur DALBELER  
Dave KNIGHT  
Aashish GUPTA  
Ayhan TUĞRUL

Çolakoğlu Metalurji  
One Planet  
Primetals Technologies  
CARES



Uğur DALBELER  
Çolakoğlu Metalurji



Aashish GUPTA  
Primetals Technologies



Ayhan TUĞRUL  
CARES



Dave KNIGHT  
One Planet





## SESSION

1

## OTURUM

Session Chairman / Oturum Başkanı

**İsmail BARIN - İSKENDERUN DEMİR VE ÇELİK**

14:30

Plenary Speaking / Açılış Konuşması

14:35

-  
15:05**Metal Sektöründe Çalışan Sağlığı ve Güvenliği için Davranış Odaklı Yaklaşımlar: Birlikte Sağ Salim Hareketi***Behavioral Based Safety Approaches to Employee Health and Safety in Metal Industry: Metem Safe and Sound Together Movement*İdil Işık<sup>1</sup>, Elif Sungur<sup>2</sup>, Muratcan Ocaktan<sup>3</sup>, Müzeyyen Gencer<sup>3</sup><sup>1</sup>BİLGİ ÜNİVERSİTESİ, <sup>2</sup>MALTEPE ÜNİVERSİTESİ, <sup>3</sup>METEM  
Türkiye

15:05

-  
15:35**İş Güvenliğinde Liderlik***Leadership in Occupational Safety*

Burak Armutçu

ÇOLAKOĞLU METALURJİ

Türkiye

15:35

-  
16:05**İSDEMİR, Entegre Demir Çelik Tesisi İş Sağlığı ve Güvenliği Uygulamaları ve Sonuçları***Occupational Health and Safety Practices and Results of Integrated Iron and Steel Plant (İSDEMİR)*

Cumhur Kocaman

İSKENDERUN DEMİR VE ÇELİK

Türkiye



## SESSION

## 2

## OTURUM

Session Chairman / Oturum Başkanı

**Burak ARMUTÇU - ÇOLAKOĞLU METALURJİ**

09:30

Plenary Speaking / Açılış Konuşması

09:35

-  
10:00**Elektrikli Ergitme Ocaklarında Optimum Hurda İşleme Sistemi Kurulması***Optimized Scrap Processing Systems for EAF's*

Aykut Karahan

BİRİM MAKİNA

Türkiye

10:00

-  
10:25**Recycling and Reuse Solutions for LF Slag – Creating Value from Steelmaking by Products**

Chris Byrne, Nick Jones, Bruce Barker

HARSCO ENVIRONMENTAL

United Kingdom

10:25

-  
10:50**Comparison of Emissions of Conventional and Shaft-Based Electric Arc Furnaces**H. Beile<sup>1</sup>, T. Steinparzer<sup>2</sup>, L. Noska<sup>2</sup>, D. Steiner<sup>2</sup><sup>1</sup>PRIMETALS TECHNOLOGIES GERMANY,<sup>2</sup>PRIMETALS TECHNOLOGIES AUSTRIA

Germany, Austria

10:50

-  
11:15**Türk Demir Çelik Sektörünün SKHKY Açısından Değerlendirilmesi***Evaluation of Turkish Iron&Stell Industry with Respect to Industrial Air Pollution Regulation*

Abdurrahman Bayram

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ

Türkiye

## SESSION

## 3

## OTURUM

Session Chairman / Oturum Başkanı

**Ozan YAPICI - YAZICI DEMİR ÇELİK**

09:30

Plenary Speaking / Açılış Konuşması

09:35

-  
10:00**Image Processing Applications for Sustainable Production in Iron and Steel Industry**Fatih Yılmaz<sup>1</sup>, Nazlı S. Dağılğan<sup>2</sup>, Murat Furat<sup>2</sup><sup>1</sup>EKİNCİLER IRON & STEEL, <sup>2</sup>İSKENDERUN TECHNICAL UNIVERSITY

Turkey

10:00

-  
10:25**High Quality Wire Rod and Bar Production at Yongxing Special Stainless Steel**J. Hsueh<sup>1</sup>, S.M. Shore<sup>2</sup>, R. Masini<sup>3</sup><sup>1</sup>YONGXING SPECIAL STAINLES STEEL,<sup>2</sup>PRIMETALS TECHNOLOGIES USA,<sup>3</sup>PRIMETALS TECHNOLOGIES ITALY

China, USA, Italy

10:25

-  
10:50**MEER Drive PLUS® + TMR Rolling @ Caleotto**

SMS GROUP, CALEOTTO

Italy

## SESSION

## 4

## OTURUM

Session Chairman / Oturum Başkanı

**Orhan KURAN - KROMAN DEMİR ÇELİK**

11:30

Plenary Speaking / Açılış Konuşması

11:35

**Energy Efficient Steel Production with the Primary Energy Melter (PEM)**

-

12:00

Christian Thiede, Peter Starke, Jan Bader, Arnd Frankenberger  
SMS GROUP  
Germany

12:00

**The Minimill Flat of the Future - EAF and Arvedi ESP Based Best Practice**

-

12:25

M. Fleischer<sup>1</sup>, J. Apfel<sup>1</sup>, D. Fraschini<sup>1</sup>, A. Viehböck<sup>2</sup>, A. Jungbauer<sup>2</sup>, G. Arvedi<sup>3</sup>, G. Soldi<sup>4</sup>,  
A. Bianchi<sup>4</sup>, G. Conti<sup>4</sup><sup>1</sup>PRIMETALS TECHNOLOGIES GERMANY,<sup>2</sup>PRIMETALS TECHNOLOGIES AUSTRIA, <sup>3</sup>FINARVEDI,<sup>4</sup>ACCIAIERIA ARVEDI

Germany, Austria, Italy

12:25

**The Newest Generation of the ESR (Electro Slag Remelting) Unit with Rotating Electrode Function Desigend by SMS Mevac GmbH**

-

12:50

Cihangir Demirci<sup>1</sup>, Jochen Schlüter<sup>1</sup>, Benjamin Mellinghoff<sup>1</sup>, Christoph Wissen<sup>1</sup>, Martin Schwenk<sup>2</sup>, Prof. Dr. Friedrich<sup>2</sup><sup>1</sup>SMS MEVAC, <sup>2</sup>RWTH AACHEN UNIVERSITY

Germany

## SESSION

## 5

## OTURUM

Session Chairman / Oturum Başkanı

**Mahmut KESKİNCİ - ÇOLAKOĞLU METALURJİ**

11:30

Plenary Speaking / Açılış Konuşması

11:35

**Tribological Approach to Calcium Sulfonate Complex Greases**

-

12:00

Onur Cansever<sup>1</sup>, Francesc Alomar<sup>2</sup>, Duygu Kaptan<sup>2</sup>, Tolga Aykurt<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>ALPET INDUSTRIAL, <sup>2</sup>LUBRIZOL HAZELWOOD LABORATORY  
Turkey, United Kingdom

12:00

**The Rust Guard Bearings of Highly Corrosion-resistant Bearings**

-

12:25

Takashi Yagi  
NTN-SNR ROULEMENTS  
Japan

12:25

**Zero Carbon Print POA Gear Oil with Innovative Plastic Deformation Additive (POAX)\* and Energy Efficiency Benchmark Against Commercially Available Leading Gear Oils**

-

12:50

Luis Blazquez, Phil Booker  
BP CASTROL  
United Kingdom

## SESSION

6

OTURUM

Session Chairman / Oturum Başkanı

**Murat AKDENİZ - İZMİR DEMİR ÇELİK**

14:00

Plenary Speaking / Açılış Konuşması

14:05

-  
14:30**The CONSTEERRER™ Technology for the Improvement of the Steelmaking Process**A. Grasselli<sup>1</sup>, S. Realì<sup>1</sup>, J. Andersson<sup>2</sup>, A. F. Lehman<sup>2</sup>, L. Teng<sup>2</sup><sup>1</sup>TENOVA, <sup>2</sup>ABB METALLURGY

Italy, Sweden

14:30

-  
14:55**The New Challenge and Prospects of the Ultimate EAF, "ECOARC™"**

Yasuhiro Sato, Tsuyoshi Okuyama

JP STEEL PLANTECH

Japan

14:55

-  
15:20**Fast and Reliable Temperature Measurement at End of Melting Cycle in EAF**Danny Van Dooren<sup>1</sup>, İsa Keskin<sup>2</sup><sup>1</sup>HERAUES ELECTRO-NITE INTL. NV, <sup>2</sup>HERAUES ELECTRO-NITE A.S

Belgium, Turkey

15:20

-  
15:45**An Innovative Ultrasonic System for Steel Level Control**

Stefano Spagnul, Isabella Mazza, Giovanni Schiavon,

Stefano Miani

ERGOLINES LAB.

Italy

## SESSION

7

OTURUM

Session Chairman / Oturum Başkanı

**Oğuz GÜNDÜZ - EREĞLİ DEMİR VE ÇELİK**

14:00

Plenary Speaking / Açılış Konuşması

14:05

-  
14:30**Sıvı Ham Demir Kükürt Giderme Prosesinde Kullanılan Granüle Magnezyum Tüketiminin Seviye-2 Yazılımı ile Optimizasyonu***Optimization of Granular Magnesium Amount using in Hot Metal Desulfurization Process with Level-2 Software*Kaan Özmen<sup>1</sup>, Turan Görkem Eskiurt<sup>1</sup>, Hikmet Şahin<sup>1</sup>, Haldun Erkal<sup>1</sup>, Tayfun Kocabaş<sup>2</sup>, Abdurrahman Mesud Çakır<sup>1</sup>, Burcu Soysal Atan<sup>1</sup><sup>1</sup>İSKENDERUN DEMİR VE ÇELİK, <sup>2</sup>OYAK MADEN METALURJİ GRUBU

Türkiye

14:30

-  
14:55**Prediction of BOF Endpoint Phosphorus and Carbon via Artificial Neural Network Modelling**Selahattin Okur<sup>1</sup>, İsa Keskin<sup>1</sup>, Taner Tüylüoğlu<sup>1</sup>, Ayhan Özdemir<sup>2</sup><sup>1</sup>EREĞLİ IRON AND STEEL, <sup>2</sup>SAKARYA UNIVERSITY

Turkey

14:55

-  
15:20**Towards Quality in BOF Steel Refining – Trends and Innovative Plant Concepts for Ladle Treatment**

Christian Redl, Christian Buchmaier, Matthias Pfennig, Alexander Weigl

INTECO MELTING AND CASTING TECHNOLOGIES

Austria

15:20

-  
15:45**Vinçlerde Güvenilirlik Çalışması, Tasarım Ömrü Analizi ve Sürdürülebilirlik***Reliability Study in Cranes, Design Life Analysis and Sustainability*

Barış Küpeli, Mustafa Ceyhun, Hakkı Emre Altundaş, Yalçın Tekin

İSKENDERUN DEMİR VE ÇELİK

Türkiye

## SESSION

8

OTURUM

Session Chairman / Oturum Başkanı

**Özgür NAL - BAŞTUĞ METALURJİ**

16:00

Plenary Speaking / Açılış Konuşması

16:05

-

16:30

**Özkan'ın Kaliteli Çeliğe Evrilmesi***The Evolution of Ozkan Demir Çelik to Quality Steel Producer*Hakan Erçay<sup>1</sup>, Enver Soner<sup>1</sup>, Nurdan Gündoğan<sup>1</sup>, Tuncay Dikici<sup>2</sup><sup>1</sup>ÖZKAN DEMİR ÇELİK, <sup>2</sup>DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ

Türkiye

16:30

-

16:55

**Arvedi ESP: Pioneering Mature Technology for Endless Casting and Rolling**

A. Jungbauer, B. Linzer, T. Lengauer, S. Grosseiber

PRIMETALS TECHNOLOGIES AUSTRIA

Austria

16:55

-

17:20

**Quality Stellmaking Through Induction Furnace Route**

Swaren Bedarkar

ELECTROTHERM

India

17:20

-

17:45

**Modeling and Practice on Ca-Treatment of Al-Killed Steel with Sulfur Addition at Asil Çelik**Erol Işık<sup>1</sup>, Emre Temel<sup>1</sup>, Bora Derin<sup>2</sup><sup>1</sup>ASİL ÇELİK, <sup>2</sup>İSTANBUL TECHNICAL UNIVERSITY

Turkey

## SESSION

9

OTURUM

Session Chairman / Oturum Başkanı

**İsmail ŞİŞLİ - KARABÜK DEMİR ÇELİK**

16:00

Plenary Speaking / Açılış Konuşması

16:05

-

16:30

**Long Steel Casting with Flexible System for Open and Shrouded Stream**Stephane Taburiaux<sup>1</sup>, Yağız Ozan Bute<sup>2</sup><sup>1</sup>VESUVIUS GHLIN, <sup>2</sup>VESUVIUS İSTANBUL

Belgium, Turkey

16:30

-

16:55

**Cost Mitigation in Modern EAF Steel Mills**

Markus Hochegger

RHI MAGNESITE

Austria

16:55

-

17:20

**Farklı İzolasyon Pratiği ve Tuğla Örumü Uygulanan Çelik Potalarının Pota Ocağı Enerji Verimliliğine Etkisi***The Effects of Different Isolation Practice and Brick Type of Steel Ladles on Energy Efficiency of Ladle Furnace*

Oğuzhan Sakarya, Burak Ekin, Uğur Cengiz, Muammer Bilgiç

BİLECİK DEMİR ÇELİK

Türkiye

17:20

-

17:45

**High Tundish Life and Steel Cleanless**

Ziya Cirit

SHEFFIELD HI-TECH REFRACTORIES

Germany



**EFRS-01**

**Elektrik Ark Ocağı Curufunun Geri Kazanım Amaçlı Ayrıştırılıp Sınıflandırılması İşlemlerinden Sonra Yapısal Beton Agregası Olarak Kullanılması**

*Recycling Electric Arc Furnace Slag as Structural Concrete Aggregate after Separation and Classification*

Reza Jahangiri<sup>1</sup>, Halit Yazıcı<sup>1</sup>, Ahsanollah Beglarigale<sup>2</sup>,  
Mehmet Ali İrfan Akyol<sup>3</sup>, Şanver Derin<sup>4</sup>, Raif Evlek<sup>4</sup>

<sup>1</sup>DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ, <sup>2</sup> İSTANBUL OKAN ÜNİVERSİTESİ,

<sup>3</sup>EGE DEMİR GERİ KAZANIM,

<sup>4</sup>DERE BETON

Türkiye

**EFRS-02**

**Optimization of Annealing & Pickling Processes for AISI 304 Stainless Steel Sheet Corrosion Resistance**

*AISI 304 Paslanmaz Yassı Çelik Üretiminde Korozyon Dayanımı için Tavlama ve Passivasyon İşlemlerinin Optimizasyonu*

Eda Dağdelen, Erdem Güler, Eser Paçman, Hamdi Ekici

TRİNOX METAL

Turkey

**EFRS-03**

**The Effect of Hot Forging Process Parameters on the Production of the Lower Part of the Cardan Shaft**

*Sıcak Dövme Proses Parametrelerinin Kardan Mili Alt Parçası Üretimine Etkisi*

Fulya Eyçin<sup>1,2</sup>, Tuğçe Yağcı<sup>1,3</sup>, Serhat Bardakçı<sup>3</sup>, Osman Çulha<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>MANİSA CELAL BAYAR UNIVERSITY,

<sup>2</sup>TİRSAN KARDAN, <sup>3</sup>TWİN

Turkey

**EFRS-04**

**Sürekli Dökümlerin Sürekliliğini Sağlama Mücadelesi; Zirkonya Nozullarda Karşılaşılan Problemler ve Çözüm Önerileri**

*The Challenge of Keeping Continuous Casting Continuous; Problems Faced in Zirconia Nozzles and Suggestions for Solutions*

Vedat Köroğlu<sup>1</sup>, Serdar Özgen<sup>2</sup>

<sup>1</sup>METAMİN, <sup>2</sup>İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

Türkiye

**EFRS-05**

**Investigation of the Effects of the New Generation Microalloyed Steel Compositions on the Flange Yoke Part of the Cardan Shaft**

*Yeni Nesil Mikroalaşımli Çelik Kompozisyonunun Kardan Milinin Çatallı Flanş Parçasının Özelliklerine Olan Etkilerinin Araştırılması*

Fulya Eyçin<sup>1,2</sup>, Tuğçe Yağcı<sup>1,3</sup>, Serhat Bardakçı<sup>3</sup>, Osman Çulha<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>MANİSA CELAL BAYAR UNIVERSITY,

<sup>2</sup>TİRSAN KARDAN, <sup>3</sup>TWİN

Turkey

EFRS-06

**Hurda Nem Oranının İndüksiyon Ocağı Enerji Verimliliğine Etkisi**  
*The Effect of Scrap Moisture Ratio on the Energy Efficiency of the Induction Furnace*

Burak Ekin, Uğur Cengiz, Oğuzhan Sakarya, Muammer Bilgiç  
 BİLECİK DEMİR ÇELİK  
 Türkiye

EFRS-07

**İndüksiyon Ocağı Cüruflarına Farklı Oranlarda MgO İlavesi ile Nötr Astarın Aşınma Davranışının İncelenmesi**  
*Investigation of Wear Behavior of Neutral Lining with Addition of Different Amount of Used MgO Brick to Induction Furnace Slags*

Uğur Cengiz, Oğuzhan Sakarya, Burak Ekin, Muammer Bilgiç  
 BİLECİK DEMİR ÇELİK  
 Türkiye

EFRS-08

**Magnezya Spinel Kompozit Refrakterlerin Termomekanik Özelliklerinin İncelenmesi**  
*Investigation of Thermomechanical Properties of Magnesia Spinel Composite Refractories*

Mert Turfanda, Uğur Cengiz, Muammer Bilgiç  
 BİLECİK DEMİR ÇELİK  
 Türkiye

EFRS-09

**Petrol Boru Çeliklerinde Anizotropik Davranışın Mekanik Özellikler Üzerine Etkileri**  
*The Effects of Anisotropic Behavior on Mechanical Behavior in Steels for Pipelines*

Cemre Keçeci  
 İSKENDERUN DEMİR VE ÇELİK  
 Türkiye

EFRS-10

**Seviye 2 Akıllı Kontrol Uygulaması ile Kok Bataryalarında İtme Kuvvetinin Yorumlanması**  
*Interpretation of Pushing Force in Coke Batteries by Level 2 Intelligent Control Application*

Erman Kaya, Hüseyin Zümrüt, Ahmet Beşkardeş  
 İSKENDERUN DEMİR VE ÇELİK  
 Türkiye

EFRS-11

**Makine Öğrenmesi Yöntemiyle Sinter RDI Optimizasyonu**  
*Optimization of Sinter RDI with Machine Learning Method*

Ahmet Beşkardeş, Serkan Çevik  
 İSKENDERUN DEMİR VE ÇELİK  
 Türkiye

EFRS-12

**Yüksek Fırınlarda Kükürt Optimizasyonu**  
*Sulphur Optimisation at the Blast Furnace*

Sadi Balaban, Ayten Çekiç, Erman Kaya, Murat Can  
 İSKENDERUN DEMİR VE ÇELİK  
 Türkiye

EFRS-13

**2.YF Döküm Deliği Çamur Sarfiyatının Azaltılması İyileştirme Çalışması**  
*Taphole Clay Consumption Reduction Development Improvement in the 2. BF*

Mehmet Gökoğlu, Kamil Eken  
 İSKENDERUN DEMİR VE ÇELİK  
 Türkiye

EFRS-14

**İSDEMİR Torpido Sert Board İzolasyon Malzemesi Denemeleri**  
*Trial of Structural Board Type Isolation Material at Torpedo Car*

Saime Günaydın Onfidan, Süleyman Taşçılar  
 İSKENDERUN DEMİR VE ÇELİK  
 Türkiye

EFRS-15

**Çelik Döküm Potası Çelik Seviyesinde ve Tabanda AMC Kalite Tuğla Denemesi**  
*Trial of AMC Quality Bricks at Bottom and Steel Zone at Steel Ladle*

Memduh Kırcan, İsmail Malhatun  
 İSKENDERUN DEMİR VE ÇELİK  
 Türkiye

EFRS-16

**“Türkiye Demir-Çelik ve Demir Dışı Metaller Sektörü Strateji Belgesi ve Eylem Planı” Üzerine İncelemeler**  
*Examinations on Turkey Iron-Steel and Non-Iron Metals Sectoral Strategical Document and Action Plan*

Seren Nazlı Özok  
 İSKENDERUN DEMİR VE ÇELİK  
 Türkiye

EFRS-17

**Soğuk Haddehane Temizleme Havuzları Yağ Miktarı Tespiti “İş Güvenliği & Çevre Özelinde Test Yöntem Değişikliği”**  
*Determination of Oil Content of Alkaline Cleaning Tanks*

Özlem Men Özçam, Orhan Oruç, Onur Demirkıran  
 EREĞLİ DEMİR VE ÇELİK  
 Türkiye



## EFRS-18

**Tavlama Fırınlarında Ön Isıtma Bölümü Gergi Değerlerinin Birim Gergi, Kalınlık, Genişlik ve Kalite Bazında Modellenmesi**

Quality-Based Modeling of the Tension Values According to the Unit Tension, Thickness, Width of Strip at Preheating Sections of Continuous Annealing Lines

Ömer Faruk Sezer, Bengü Taşdelen

EREĞLİ DEMİR VE ÇELİK  
Türkiye

## EFRS-19

**Soğuk Haddehane Sürekli Tavlama Hatlarında Kalite ve Ebat Geçişlerinde En Uygun Operatör Davranışının Modellenmesi**

Modeling of the Most Suitable Operator Behavior During the Quality and Size Transitions at Continuous Annealing Lines of Cold Strip Mill

Ömer Faruk Sezer, Serdar Çankaya, Serdar Köroğlu, Egemen Şaşmaz,  
Hatice Tanrıöver, Hasan Makas

EREĞLİ DEMİR VE ÇELİK  
Türkiye

## EFRS-20

**AKM (Askıda Katı Madde) Değerinin Takibi ile Servis Suyu Üretimi için Kimyasal Dozaj Optimizasyonu**

Chemical Dosage Optimization by Controlling Suspended Solid (SS) Rate for Process Water Production

Recep Sarı, Güven Zerengil, Tayfun Kocabaş, Hatice Tanrıöver,  
Bengü Taşdelen

EREĞLİ DEMİR VE ÇELİK  
Türkiye

## EFRS-21

**Investigation of Silicon Increment at Steelmaking Process**

Çelik Üretim Proseslerinde Silisyum Limitli Çeliklerde Silisyum Artışının İncelenmesi

M. Kağan Keler, Zafer Çetin, İsa Keskin

EREĞLİ DEMİR VE ÇELİK  
Turkey

## EFRS-22

**Santrifüj Pompalarda Seramik Kaplama Uygulaması**

Double Suction Centrifugal Pump Ceramic Coating Project

Cesur Savaşçı, Osman Köseoğlu, Mustafa Enes Mazlum

EREĞLİ DEMİR VE ÇELİK  
Türkiye

## EFRS-23

**Predictive Maintenance with Vibration Analysis in Erdemir Scale Pit Pump Motors**

Erdemir Tufal Çukuru Pompa Motorlarında Vibrasyon Analizi ile Kestirimci Bakım Gerçekleştirilmesi

Yasin Güven, Yusuf Onur Karakaya, Uğur İleri, Ömer Faruk İlhan

EREĞLİ DEMİR VE ÇELİK  
Turkey

## EFRS-24

**Reductive Alloying of Manganese Oxides to Steel in Induction Furnace**

Manganez Oksitlerin Redükleyici Alaşımlama ile İndüksiyon Ocağında Çeliğe Alaşımlanması

Selçuk Yeşiltepe<sup>1</sup>, Çetin Bağlan<sup>2</sup>, Hüseyin Ş. Soykan<sup>2,3</sup>,  
Mustafa Kelami Şeşen<sup>1</sup>

<sup>1</sup>İSTANBUL TECHNICAL UNIVERSITY, <sup>2</sup>MATİL, <sup>3</sup>KARDEMİR  
Turkey

## EFRS-25

**Sürdürülebilir Kaynakların Değerlendirilmesi "Çelik Üretiminde Tufal Kullanımı"**

Evaluation of Sustainable Resources "The Using Scale in Steel Production"

Uğur Cengiz, Oğuzhan Sakarya, Burak Ekin, Muammer Bilgiç  
BİLECİK DEMİR ÇELİK

Türkiye

## EFRS-26

**Increasing of Hot Metal Desulphurization Efficiency via Secondary Steelmaking Slag Recycling**

İkincil Metalurji Cürufklarının Geri Dönüşümü ile Kükürt Giderme Proses Veriminin Artırılması

İsa Keskin, Kağan Keler, Zafer Çetin, Selda Daldal Akın

EREĞLİ DEMİR VE ÇELİK  
Turkey

## EFRS-27

**Türkiye'nin Dünya Çelik Sektöründeki Yeri ve Katma Değerli Ürün İhtiyacı**

Turkey's Place in the World Steel Sector and Value-Added Product Needs

Sinan Aras<sup>1,2</sup>, Bora Derin<sup>2</sup>, İbrahim Tozlu<sup>1</sup>

<sup>1</sup>MATİL, <sup>2</sup>İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
Türkiye

## EFRS-28

**Maximization of Energy Production in Blast Furnace TRT (Top Gas Pressure Recovery Turbine) System**

Yüksek Fırın TRT (Tepe Basıncı Genleşme Tirbünü) Sisteminin Enerji Üretim Maksimizasyonu

Kerem Doğan, Ersan Ersarı, Selçuk Aksu, Koray Oktay, Özgür Akgün

EREĞLİ IRON AND STEEL  
Turkey

## EFRS-29

**4.Hava Ayırıştırma Tesisine Soğutucu İlavesi ile Üretim Artışı**

Production Improvement of No.4 Air Separation Plant with Chiller Adaptation

Burçin Yılmaz, Muharrem Etcibaşı

EREĞLİ DEMİR VE ÇELİK  
Türkiye

EFRS-30

**Arc-Flash Analysis in High Voltage Systems***Yüksek Gerilim Sistemlerinde Ark-Flaş Analiz Çalışması*

Sinan Yazıcı, İlhan Karaderili

EREĞLİ IRON AND STEEL

Turkey

EFRS-31

**The Improvement of Mechanical Properties of Alumina Based Castables by the Optimisation of Particle Granulation***Alümina Esaslı Dökülebilir Refrakterlerin Tane Boyut Dağılımı Optimizasyonu ile Mekanik Özelliklerinin Geliştirilmesi*Melis Oktay<sup>1</sup>, Serdar Özgen<sup>2</sup><sup>1</sup>ERDEMİR STEEL SERVICE CENTER,<sup>2</sup>İSTANBUL TECHNICAL UNIVERSITY

Turkey

EFRS-32

**Overview of Vesuvius Laser Scanner Systems and Advanced Refractories Robotics**

Duncan Tomlinson, Christopher Bryce, Kris Hudson

VESUVIUS

United Kingdom

EFRS-33

**Demir Çelik Tesislerinde Kurşun Maruziyetinin İSG Açısından İncelenmesi ve İyileştirilmesi***Investigation and Improvement in Iron and Steel Plant Lead Exposure of the Occupational Health and Safety (OHS)*

Orbay Ersen, Uğur Cengiz, Muammer Bilgiç

BİLECİK DEMİR ÇELİK

Türkiye

EFRS-34

**Kompresörlerde Enerji Verimliliği***Energy Efficiency in Compressors*

Toshimichi Taketomi, Şaban Yılmaz

IHI DALGAKIRAN

Türkiye

EFRS-35

**Improvement of Work Safety and Reduction of Environmental Issues with Fire Resistant Lubricants in Steel Plants**

Tim Matttern, Ronald Knecht

QUAKER HOUGHTON

The Netherlands

EFRS-36

**Smart Laser Based Sensors in Long Products Rolling Mills For Process and Productivity Optimization**

Volker Gödecke

LAP LASER APPLIKATIONEN

Germany

EFRS-37

**Investigating the Mechanical Behavior of the Modified P91 Steel at Elevated Temperatures**

M. Junaid Aslam, C. Hakan Gür

MIDDLE EAST TECHNICAL UNIVERSITY

Turkey

EFRS-38

**Sustainability in the Steel Industry Through Better Performance**

Burak İldam

KLÜBER LUBRICATION

Turkey

EFRS-39

**Tundish Wearlining, Wet Gunning Mixes Versus Dry Mixes. New Lining Technologie for the Clean Steel Production**R. Bross<sup>1</sup>, R. Fechner<sup>1</sup>, E. Sari<sup>1</sup>, M. Goedecke<sup>2</sup><sup>1</sup>WEERULIN, <sup>2</sup>SIEVERING

Germany

EFRS-40

**Investigation of the Effect of Strain Aging on Hot Rolled Low Alloyed High Strength Steels***Sıcak Haddelenmiş Düşük Alaşımlı Yüksek Mukavemetli Çeliklerde Deformasyon Yaşlandırmasının Etkisinin Araştırılması*Burak Önder<sup>1</sup>, Mehmet Akkaş<sup>1</sup>, Aytaç Başsüllü<sup>1</sup>, Osman Çulha<sup>2</sup><sup>1</sup>KOCAER ROLLING MILL, <sup>2</sup>MANİSA CELAL BAYAR UNIVERSITY

Turkey

EFRS-41

**The Evolution of Blast Furnace Gas Cleaning Technologies**

Robert Mawer, Robert Horwood

PRIMETALS TECHNOLOGIES

United Kingdom

EFRS-42

**Comprehensive Condition Monitoring for the Metals Industry**Bernhard Voglmayr<sup>1</sup>, Arno Haschke<sup>2</sup>, Klaus Stohl<sup>1</sup>, Richard Stadlmayr<sup>1</sup>, Andreas Maierhofer<sup>2</sup><sup>1</sup>PRIMETALS TECHNOLOGIES AUSTRIA,<sup>2</sup>PRIMETALS TECHNOLOGIES GERMANY

Austria, Germany



<b>EFRS-43</b>	<b>Raw Material Flexibility in Electric Steel Making</b> <i>J. Apfel<sup>1</sup>, J. Buttler<sup>2</sup></i> <sup>1</sup> PRIMETALS TECHNOLOGIES GERMANY, <sup>2</sup> PRIMETALS TEHNOLOGIES USA Germany, USA
<b>EFRS-44</b>	<b>Kütük Döküm Kalitesinin Haddelemeye Etkileri</b> <i>The Effect of Billet Casting Quality on Rolling</i> <i>Didem Kılıç, Orhan Akyol, Metehan Bacaksız, Halil İbrahim Gülönü</i> KARDEMİR HADDECİLİK Türkiye
<b>EFRS-45</b>	<b>Haddehane Uçar Makas Uygulamaları için 1.2344 Sıcak İş Takım Çeliğine Alternatif 1.2367 ve 1.2367ESR Çelik Kalitelerinin Performans Karşılaştırması</b> <i>Comparison of the Performances of 1.2367 and 1.2367ESR Quality Steels as an Alternative to 1.2344 Quality Hot Work Tool Steel for Rolling Mill Flying Shear Blade Applications</i> <i>Onur Özer<sup>1</sup>, Tuba Özeren<sup>1</sup>, Yunus Türen<sup>2</sup>, Hayrettin Ahlatçı<sup>2</sup></i> <sup>1</sup> SAĞLAM METAL, <sup>2</sup> KARABÜK ÜNİVERSİTESİ Türkiye
<b>EFRS-46</b>	<b>Through-Process Optimization – Improved Production Efficiency and Quality by Digitalization</b> <i>Jan Friedemann Plaul, Thomas Pfatschbacher, W. Oberaigner, Alfred Seyr</i> PRIMETALS TEHNOLOGIES AUSTRIA Austria
<b>EFRS-47</b>	<b>Smart Maintenance Concept via Mechatronic Checker Products for Casters</b> <i>Claudia Hemmelmeir, Serkan Özdemir</i> PRIMETALS TEHNOLOGIES AUSTRIA Austria
<b>EFRS-48</b>	<b>Smart Maintenance via m.Space Data Driven Services Push Maintenance to the Next Level</b> <i>Adnan Cosic, Serkan Özdemir</i> PRIMETALS TEHNOLOGIES AUSTRIA Austria
<b>EFRS-49</b>	<b>ALBACUT4.0, Smart Machine Management and Predictive Maintenance for Torch Cutting Machines</b> <i>Enrico D'Ottavi<sup>1</sup>, Luca Piccione<sup>1</sup>, Mustafa Öztürk<sup>2</sup></i> <sup>1</sup> A.L.B.A. S.R.L., <sup>2</sup> ALBA TURKEY Italy, Turkey



## CONTENTS // İÇİNDEKİLER

### Can Steel Production Be Sustainable ? ..... 2

Dave Knight

One Planet Limited • United Kingdom

### Sustainability and Life Cycle Analysis in Construction Materials Certifications – A Case Study Based on Reinforcement Bars for Concrete ..... 10

Lee Brankley<sup>1</sup>, Ayhan Tugrul<sup>1</sup>, Dave Knight<sup>2</sup>, Jane Anderson<sup>3</sup>, Ladin Camci<sup>1</sup>

<sup>1</sup>CARES, <sup>2</sup>One Planet Limited, <sup>3</sup>Previously of Thinkstep Limited, Now of Construction LCA • United Kingdom

### Metal Sektöründe Çalışan Sağlığı ve Güvenliği için Davranış Odaklı Yaklaşımlar: Birlikte Sağ Salim Hareketi ..... 18

*Behavioral Based Safety Approaches to Employee Health and Safety in Metal Industry: Metem Safe and Sound Together Movement*

İdil Işık<sup>1</sup>, Elif Sungur<sup>2</sup>, Muratcan Ocaktan<sup>3</sup>, Müzeyyen Gencer<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Bilgi Üniversitesi, <sup>2</sup>Maltepe Üniversitesi, <sup>3</sup>METEM • Türkiye

### İSDEMİR, Entegre Demir Çelik Tesisi İş Sağlığı ve Güvenliği Uygulamaları ve Sonuçları ..... 20

*Occupational Health and Safety Practices and Results of Integrated Iron and Steel Plant (ISDEMİR)*

Cumhur Kocaman

İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. • Türkiye

### Elektrikli Ergitme Ocaklarında Optimum Hurda İşleme Sistemi Kurulması ..... 41

*Optimized Scrap Processing Systems for EAF's*

Aykut Karahan

Birim Makina A.Ş. • Türkiye

### Recycling and Reuse Solutions for LF Slag – Creating Value from Steelmaking by Products ..... 42

Chris Byrne, Nick Jones, Bruce Barker

Harsco Environmental • United Kingdom

### Comparison of Emissions of Conventional and Shaft-Based Electric Arc Furnaces ..... 43

H. Beile<sup>1</sup>, T. Steinparzer<sup>2</sup>, L. Noska<sup>2</sup>, D. Steiner<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Primetals Technologies Germany GmbH, <sup>2</sup>Primetals Technologies Austria GmbH • Germany, Austria

### Image Processing Applications for Sustainable Production in Iron and Steel Industry ..... 51

Fatih Yılmaz<sup>1</sup>, Nazlı S. Dağılğan<sup>2</sup>, Murat Furat<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ekinciler Iron & Steel Ind. Inc, <sup>2</sup>İskenderun Technical University • Turkey

### High Quality Wire Rod and Bar Production at Yongxing Special Stainless Steel ..... 55

J. Hsueh<sup>1</sup>, S.M. Shore<sup>2</sup>, R. Masini<sup>3</sup>

<sup>1</sup>YongXing Special Stainless Steel Co. Ltd., <sup>2</sup>Primetals Technologies USA LLC, <sup>3</sup>Primetals Technologies Italy S.r.l. • China, USA, Italy

### MEER Drive PLUS® + TMR Rolling @ Caleotto ..... 71

SMS Group S.p.A., Caleotto S.p.A. • Italy

### Quality Without Compromises: SMS Group “On The Blocks” for the Rebirth of the Caleotto Wire Rod Mill ..... 79

Nicola Redolfi<sup>1</sup>, Andrea Taurino<sup>1</sup>, Attilio Panzeri<sup>2</sup>, Nicola Bolognani<sup>2</sup>

<sup>1</sup>SMS group S.p.A., <sup>2</sup>Caleotto S.p.A. • Italy

### Energy Efficient Steel Production with the Primary Energy Melter (PEM) ..... 88

Christian Thiede, Peter Starke, Jan Bader, Arnd Frankenberger

SMS Group GmbH • Germany

### The Minimill Flat of the Future - EAF and Arvedi ESP Based Best Practice ..... 92

M. Fleischer<sup>1</sup>, J. Apfel<sup>1</sup>, D. Frascini<sup>1</sup>, A. Viehböck<sup>2</sup>, A. Jungbauer<sup>2</sup>, G. Arvedi<sup>3</sup>, G. Soldi<sup>4</sup>, A. Bianchi<sup>4</sup>, G. Conti<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Primetals Technologies Germany GmbH, <sup>2</sup>Primetals Technologies Austria GmbH, <sup>3</sup>FINARVEDI Spa, <sup>4</sup>Acciaieria Arvedi Spa • Germany, Austria, Italy

### The Newest Generation of the ESR (Electro Slag Remelting) Unit with Rotating Electrode Function Desigend by SMS Mevac GmbH ..... 97

Cihangir Demirci<sup>1</sup>, Jochen Schlüter<sup>1</sup>, Benjamin Mellinghoff<sup>1</sup>, Christoph Wissen<sup>1</sup>, Martin Schwenk<sup>2</sup>, Prof. Dr. Friedrich<sup>2</sup>

<sup>1</sup>SMS Mevac GmbH, <sup>2</sup>RWTH Aachen University • Germany

### Tribological Approach to Calcium Sulfonate Complex Greases ..... 105

Onur Cansever<sup>1</sup>, Francesc Alomar<sup>2</sup>, Duygu Kaptan<sup>2</sup>, Tolga Aykurt<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Alpet Industrial, <sup>2</sup>Lubrizol Hazelwood Laboratory • Turkey, United Kingdom

### The Rust Guard Bearings of Highly Corrosion-resistant Bearings ..... 112

Takashi Yagi

NTN-SNR Roulements • Japan

---

**Zero Carbon Print POA Gear Oil with Innovative Plastic Deformation Additive (POAX)\* and Energy Efficiency Benchmark Against Commercially Available Leading Gear Oils..... 115**

Luis Blazquez, Phil Booker

BP Castrol Plc • United Kingdom

---

**The CONSTEERRER™ Technology for the Improvement of the Steelmaking Process ..... 116**

A. Grasselli<sup>1</sup>, S. Reali<sup>1</sup>, J. Andersson<sup>2</sup>, A. F. Lehman<sup>2</sup>, L. Teng<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Tenova S.p.A., <sup>2</sup>ABB Metallurgy AB • Italy, Sweden

---

**The New Challenge and Prospects of the Ultimate EAF, “ECOARC™” ..... 117**

Yasuhiro Sato, Tsuyoshi Okuyama

JP Steel Plantech Co. • Japan

---

**Fast and Reliable Temperature Measurement at End of Melting Cycle in EAF..... 123**

Danny Van Dooren<sup>1</sup>, İsa Keskin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Heraeus Electro-Nite Intl. NV, <sup>2</sup>Heraeus Electro-Nite A.S. • Belgium, Turkey

---

**An Innovative Ultrasonic System for Steel Level Control ..... 127**

Stefano Spagnul, Isabella Mazza, Giovanni Schiavon, Stefano Miani

Ergolines Lab, S.r.l. • Italy

---

**Sıvı Ham Demir Kükürt Giderme Prosesinde Kullanılan Granüle Magnezyum Tüketiminin Seviye-2 Yazılımı ile Optimizasyonu..... 131**

*Optimization of Granular Magnesium Amount using in Hot Metal Desulfurization Process with Level-2 Software*

Kaan Özmen<sup>1</sup>, Turan Görkem Eskiurt<sup>1</sup>, Hikmet Şahin<sup>1</sup>, Haldun Erkal<sup>1</sup>, Tayfun Kocabaş<sup>2</sup>, Abdurrahman Mesud Çakır<sup>1</sup>, Burcu Soysal Atan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>İskenderun Demir ve Çelik A.Ş., <sup>2</sup>Oyak Maden Metalurji Grubu • Türkiye

---

**Prediction of BOF Endpoint Phosphorus and Carbon via Artificial Neural Network Modelling ..... 135**

Selahattin Okur<sup>1</sup>, İsa Keskin<sup>1</sup>, Taner Tüylüoğlu<sup>1</sup>, Ayhan Özdemir<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ereğli Iron and Steel Works, Co., <sup>2</sup>Sakarya University, • Turkey

---

**Towards Quality in BOF Steel Refining – Trends and Innovative Plant Concepts for Ladle Treatment ..... 141**

Christian Redl, Christian Buchmaier, Matthias Pfennig, Alexander Weigl

INTECO Melting and Casting Technologies GmbH • Austria

---

---

**Vinçlerde Güvenilirlik Çalışması, Tasarım Ömrü Analizi ve Sürdürülebilirlik..... 148**

*Reliability Study in Cranes, Design Life Analysis and Sustainability*

Barış Küpeli, Mustafa Ceyhan, Hakkı Emre Altundaş, Yalçın Tekin

İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. • Türkiye

---

**Özkan'ın Kaliteli Çeliğe Evrilmesi..... 157**

*The Evolution of Ozkan Demir Çelik to Quality Steel Producer*

Hakan Erçay<sup>1</sup>, Enver Soner<sup>1</sup>, Nurdan Gündoğan<sup>1</sup>, Tuncay Dikici<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Özkan Demir Çelik Sanayi A.Ş., <sup>2</sup>Dokuz Eylül Üniversitesi • Türkiye

---

**Arvedi ESP: Pioneering Mature Technology for Endless Casting and Rolling ..... 159**

A. Jungbauer, B. Linzer, T. Lengauer, S. Grosseiber

Primetals Technologies Austria GmbH • Austria

---

**Quality Stellmaking Through Induction Furnace Route ..... 164**

Swaren Bedarkar

Electrotherm (India) Limited • India

---

**Modeling and Practice on Ca-Treatment of Al-Killed Steel with Sulfur Addition at Asil Çelik ..... 173**

Erol Işık<sup>1</sup>, Emre Temel<sup>1</sup>, Bora Derin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Asil Çelik San. ve Tic. A.Ş., <sup>2</sup>İstanbul Technical University • Turkey

---

**Long Steel Casting with Flexible System for Open and Shrouded Stream..... 177**

F. Jesus<sup>1</sup>, A. Pinheiro<sup>1</sup>, R. Maddalena<sup>2</sup>, P. Coutinho<sup>3</sup>, J. Navarro<sup>3</sup>, E. Villanova<sup>3</sup>, L. Goulart<sup>3</sup>, Stephane Taburiaux<sup>4</sup>, Yağız Ozan Bute<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Vesuvius Brazil, <sup>2</sup>Vesuvius USA, <sup>3</sup>ArcelorMittal Brazil, <sup>4</sup>Vesuvius Belgium, <sup>5</sup>Vesuvius Turkey • Brazil, USA, Belgium, Turkey

---

**Farklı İzolasyon Pratiği ve Tuğla Örümlü Uygulanan Çelik Potalarının Pota Ocağı Enerji Verimliliğine Etkisi..... 185**

*The Effects of Different Isolation Practice and Brick Type of Steel Ladles on Energy Efficiency of Ladle Furnace*

Oğuzhan Sakarya, Burak Ekin, Uğur Cengiz, Muammer Bilgiç

Bilecik Demir Çelik San. ve Tic. A.Ş. • Türkiye

---

**High Tundish Life and Steel Cleanless ..... 189**

Ziya Cirit

Sheffield Hi-Tech Refractories • Germany

---

---

**Elektrik Ark Ocağı Curufunun Geri Kazanım Amaçlı Ayrıştırılıp Sınıflandırılması İşlemlerinden Sonra Yapısal Beton Agregası Olarak Kullanılması..... 194**  
*Recycling Electric Arc Furnace Slag as Structural Concrete Aggregate after Separation and Classification*

Reza Jahangiri<sup>1</sup>, Halit Yazıcı<sup>1</sup>, Ahsanollah Beglarigale<sup>2</sup>, Mehmet Ali İrfan Akyol<sup>3</sup>, Şanver Derin<sup>4</sup>, Raif Evlek<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Dokuz Eylül Üniversitesi, <sup>2</sup>İstanbul Okan Üniversitesi, <sup>3</sup>Ege Demir Geri Kazanım,

<sup>4</sup>Dere Beton Hazır Beton ve Yaş Sıva San. • Türkiye

---

**Optimization of Annealing & Pickling Processes for AISI 304 Stainless Steel Sheet Corrosion Resistance ..... 200**  
*AISI 304 Paslanmaz Yassı Çelik Üretiminde Korozyon Dayanımı için Tavlama ve Passivasyon İşlemlerinin Optimizasyonu*

Eda Dağdelen, Erdem Güler, Eser Paçman, Hamdi Ekici

Trinox Metal San. ve Tic. A.Ş. • Turkey

---

**The Effect of Hot Forging Process Parameters on the Production of the Lower Part of the Cardan Shaft ..... 205**  
*Sıcak Dövme Proses Parametrelerinin Kardan Mili Alt Parçası Üretimine Etkisi*

Fulya Eycin<sup>1,2</sup>, Tuğçe Yağcı<sup>1,3</sup>, Serhat Bardakçı<sup>3</sup>, Osman Çulha<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Manisa Celal Bayar University, <sup>2</sup>Tirsan Kardan San. ve Tic. A.Ş.,

<sup>3</sup>Twin Ar-Ge Müh. Tic. Ltd. Şti. • Turkey

---

**Sürekli Dökümlerin Sürekliliğini Sağlama Mücadelesi; Zirkonya Nozullarda Karşılaşılan Problemler ve Çözüm Önerileri..... 209**  
*The Challenge of Keeping Continuous Casting Continuous; Problems Faced in Zirconia Nozzles and Suggestions for Solutions*

Vedat Köroğlu<sup>1</sup>, Serdar Özgen<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Metamin Mümessillik San. ve Tic. A.Ş., <sup>2</sup>İstanbul Teknik Üniversitesi • Türkiye

---

**Investigation of the Effects of the New Generation Microalloyed Steel Compositions on the Flange Yoke Part of the Cardan Shaft ..... 214**  
*Yeni Nesil Mikroalaşımli Çelik Kompozisyonunun Kardan Milinin Çatallı Flanş Parçasının Özelliklerine Olan Etkilerinin Araştırılması*

Fulya Eycin<sup>1,2</sup>, Tuğçe Yağcı<sup>1,3</sup>, Serhat Bardakçı<sup>3</sup>, Osman Çulha<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Manisa Celal Bayar University, <sup>2</sup>Tirsan Kardan San. ve Tic. A.Ş.,

<sup>3</sup>Twin Ar-Ge Müh. Tic. Ltd. Şti. • Turkey

---

**Hurda Nem Oranının İndüksiyon Ocağı Enerji Verimliliğine Etkisi ..... 219**  
*The Effect of Scrap Moisture Ratio on the Energy Efficiency of the Induction Furnace*

Burak Ekin, Uğur Cengiz, Oğuzhan Sakarya, Muammer Bilgiç

Bilecik Demir Çelik San. ve Tic. A.Ş. • Türkiye

---

**İndüksiyon Ocağı Cürüflarına Farklı Oranlarda MgO İlavesi ile Nötr Astarın Aşınma Davranışının İncelenmesi ..... 223**  
*Investigation of Wear Behavior of Neutral Lining with Addition of Different Amount of Used MgO Brick to Induction Furnace Slags*

Uğur Cengiz, Oğuzhan Sakarya, Burak Ekin, Muammer Bilgiç

Bilecik Demir Çelik San. ve Tic. A.Ş. • Türkiye

---

**Magnezya Spinel Kompozit Refrakterlerin Termomekanik Özelliklerinin İncelenmesi ..... 228**  
*Investigation of Thermomechanical Properties of Magnesite Spinel Composite Refractories*

Mert Turfanda, Uğur Cengiz, Muammer Bilgiç

Bilecik Demir Çelik San. ve Tic. A.Ş. • Türkiye

---

**Petrol Boru Çeliklerinde Anizotropik Davranışın Mekanik Özellikler Üzerine Etkileri ..... 234**  
*The Effects of Anisotropic Behavior on Mechanical Behavior in Steels for Pipelines*

Cemre Keçeci

İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. • Türkiye

---

**Seviye 2 Akıllı Kontrol Uygulaması ile Kok Bataryalarında İtme Kuvvetinin Yorumlanması..... 238**  
*Interpretation of Pushing Force in Coke Batteries by Level 2 Intelligent Control Application*

Erman Kaya, Hüseyin Zümrüt, Ahmet Beşkardeş

İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. • Türkiye

---

**Makine Öğrenmesi Yöntemiyle Sinter RDI Optimizasyonu ..... 244**  
*Optimization of Sinter RDI with Machine Learning Method*

Ahmet Beşkardeş, Serkan Çevik

İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. • Türkiye

---

**Yüksek Fırnlarda Kükürt Optimizasyonu..... 249**  
*Sulphur Optimisation at the Blast Furnace*

Sadi Balaban, Ayten Çekic, Erman Kaya, Murat Can

İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. • Türkiye

---

**2.YF Döküm Deliği Çamur Sarfiyatının Azaltılması İyileştirme Çalışması..... 254**  
*Taphole Clay Consumption Reduction Development Improvement in the 2. BF*

Mehmet Gökoğlu, Kamil Eken

İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. • Türkiye

---

**İSDEMİR Torpido Sert Board İzolasyon Malzemesi Denemeleri ..... 257**  
*Trial of Structural Board Type Isolation Material at Torpedo Car*

Saime Günaydın Onfidan, Süleyman Taşçılar

İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. • Türkiye



---

---

**Çelik Döküm Potası Çelik Seviyesinde ve Tabanda AMC Kalite Tuğla Denemesi..... 260**

*Trial of AMC Quality Bricks at Bottom and Steel Zone at Steel Ladle*

Memduh Kırca, İsmail Malhatun

İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. • Türkiye

---

---

**“Türkiye Demir-Çelik ve Demir Dışı Metaller Sektörü Strateji Belgesi ve Eylem Planı” Üzerine İncelemeler..... 267**

*Examinations on Turkey Iron-Steel and Non-Iron Metals Sectoral Strategical Document and Action Plan*

Seren Nazlı Özok

İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. • Türkiye

---

---

**Soğuk Haddehane Temizleme Havuzları Yağ Miktarı Tespiti “İş Güvenliği & Çevre Özelinde Test Yöntem Değişikliği” ..... 272**

*Determination of Oil Content of Alkaline Cleaning Tanks*

Özlem Men Özcam, Orhan Oruç, Onur Demirkıran

Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları T.A.Ş. • Türkiye

---

---

**Tavlama Fırınlarda Ön Isıtma Bölümü Gergi Değerlerinin Birim Gergi, Kalınlık, Genişlik ve Kalite Bazında Modellenmesi..... 275**

*Quality-Based Modeling of the Tension Values According to the Unit Tension, Thickness, Width of Strip at Preheating Sections of Continuous Annealing Lines*

Ömer Faruk Sezer, Bengü Taşdelen

Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları A.Ş. • Türkiye

---

---

**Soğuk Haddehane Sürekli Tavlama Hatlarında Kalite ve Ebat Geçişlerinde En Uygun Operatör Davranışının Modellenmesi..... 285**

*Modeling of the Most Suitable Operator Behavior During the Quality and Size Transitions at Continuous Annealing Lines of Cold Strip Mill*

Ömer Faruk Sezer, Serdar Çankaya, Serdar Köroğlu, Egemen Şaşmaz, Hatice Tanrıöver, Hasan Makas

Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları A.Ş. • Türkiye

---

---

**AKM (Askıda Katı Madde) Değerinin Takibi ile Servis Suyu Üretimi için Kimyasal Dozaj Optimizasyonu ..... 292**

*Chemical Dosage Optimization by Controlling Suspended Solid (SS) Rate for Process Water Production*

Recep Sarı, Güven Zerengil, Tayfun Kocabaş, Hatice Tanrıöver, Bengü Taşdelen

Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları A.Ş. • Türkiye

---

---

**Investigation of Silicon Increment at Steelmaking Process ..... 296**

*Çelik Üretim Proseslerinde Silisyum Limitli Çeliklerde Silisyum Artışının İncelenmesi*

M. Kağan Keler, Zafer Çetin, İsa Keskin

Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları A.Ş. • Turkey

---

---

---

---

**Santrifüj Pompalarda Seramik Kaplama Uygulaması ..... 300**

*Double Suction Centrifugal Pump Ceramic Coating Project*

Cesur Savaşçı, Osman Köseoğlu, Mustafa Enes Mazlum

Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları T.A.Ş. • Türkiye

---

---

**Predictive Maintenance with Vibration Analysis in Erdemir Scale Pit Pump Motors..... 303**

*Erdemir Tufal Çukuru Pompa Motorlarında Vibrasyon Analizi ile Kestirimci Bakım Gerçekleştirilmesi*

Yasin Güven, Yusuf Onur Karakaya, Uğur İleri, Ömer Faruk İlhan

Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları A.Ş. • Turkey

---

---

**Reductive Alloying of Manganese Oxides to Steel in Induction Furnace..... 306**

*Manganez Oksitlerin Redükleyici Alaşımına ile İndüksiyon Ocağında Çeliğe Alaşımlanması*

Selçuk Yeşiltepe<sup>1</sup>, Çetin Bağlan<sup>2</sup>, Hüseyin Ş. Soykan<sup>2,3</sup>, Mustafa Kelami Şeşen<sup>1</sup>

<sup>1</sup>İstanbul Technical University, <sup>2</sup>MATİL, <sup>3</sup>Kardemir • Turkey

---

---

**Sürdürülebilir Kaynakların Değerlendirilmesi “Çelik Üretiminde Tufal Kullanımı” ..... 309**

*Evaluation of Sustainable Resources “The Using Scale in Steel Production”*

Uğur Cengiz, Oğuzhan Sakarya, Burak Ekin, Muammer Bilgiç

Bilecik Demir Çelik San. ve Tic. A.Ş. • Türkiye

---

---

**Increasing of Hot Metal Desulphurization Efficiency via Secondary Steelmaking Slag Recycling..... 314**

*İkincil Metalurji Cürüflarının Geri Dönüşümü ile Kükürt Giderme Proses Veriminin Artırılması*

İsa Keskin, Kağan Keler, Zafer Çetin, Selda Daldal Akın

Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları A.Ş. • Turkey

---

---

**Türkiye'nin Dünya Çelik Sektöründeki Yeri ve Katma Değerli Ürün İhtiyacı ..... 319**

*Turkey's Place in the World Steel Sector and Value-Added Product Needs*

Sinan Aras<sup>1,2</sup>, Bora Derin<sup>2</sup>, İbrahim Tozlu<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Matil Malzeme Test ve İnovasyon Laboratuvarları A.Ş.,

<sup>2</sup>İstanbul Teknik Üniversitesi • Türkiye

---

---

**Maximization of Energy Production in Blast Furnace TRT (Top Gas Pressure Recovery Turbine) System..... 323**

*Yüksek Fırın TRT (Tepe Basıncı Genleşme Tirbünü) Sisteminin Enerji Üretim Maksimizasyonu*

Kerem Doğan, Ersan Ersarı, Selçuk Aksu, Koray Oktay, Özgür Akgün

Ereğli Iron and Steel Works Co. • Turkey

---

---

**4.Hava Ayrıştırma Tesisine Soğutucu İlavesi ile Üretim Artışı..... 326**

*Production Improvement of No.4 Air Separation Plant with Chiller Adaptation*

Burçin Yılmaz, Muharrem Etcibaşı

Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları A.Ş. • Türkiye

---

---

---

---

**Arc-Flash Analysis in High Voltage Systems ..... 328**

*Yüksek Gerilim Sistemlerinde Ark-Flaş Analiz Çalışması*

Sinan Yazıcı, İlhan Karaderili

Ereğli Iron and Steel Works, Inc. • Turkey

---

---

**The Improvement of Mechanical Properties of Alumina Based Castables by the Optimisation of Particle Granulation ..... 332**

*Alümina Esaslı Dökülebilir Refrakterlerin Tane Boyut Dağılımı Optimizasyonu ile Mekanik Özelliklerinin Geliştirilmesi*

Melis Oktay<sup>1</sup>, Serdar Özgen<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Erdemir Steel Service Center, <sup>2</sup>İstanbul Technical University • Turkey

---

---

**Overview of Vesuvius Laser Scanner Systems and Advanced Refractories Robotics ..... 338**

Duncan Tomlinson, Christopher Bryce, Kris Hudson

Vesuvius • United Kingdom

---

---

**Demir Çelik Tesislerinde Kurşun Maruziyetinin İSG Açısından İncelenmesi ve İyileştirilmesi ..... 344**

*Investigation and Improvement in Iron and Steel Plant Lead Exposure of the Occupational Health and Safety (OHS)*

Orbay Ersen, Uğur Cengiz, Muammer Bilgiç

Bilecik Demir Çelik San. ve Tic. A.Ş. • Türkiye

---

---

**Kompresörlerde Enerji Verimliliği ..... 349**

*Energy Efficiency in Compressors*

Toshimichi Taketomi, Şaban Yılmaz

IHI Dalgakıran Makina San. ve Tic. A.Ş. • Türkiye

---

---

**Improvement of Work Safety and Reduction of Environmental Issues with Fire Resistant Lubricants in Steel Plants ..... 358**

Tim Matttern, Ronald Knecht

Quaker Houghton • The Netherlands

---

---

**Smart Laser Based Sensors in Long Products Rolling Mills For Process and Productivity Optimization ..... 364**

Volker Gödecke

LAP Laser Applikationen GmbH • Germany

---

---

**Investigating the Mechanical Behavior of the Modified P91 Steel at Elevated Temperatures ..... 374**

M. Junaid Aslam, C. Hakan Gür

Middle East Technical University • Turkey

---

---

---

---

**Sustainability in the Steel Industry Through Better Performance ..... 377**

Burak İldam

Klüber Lubrication Yağlama Ürünleri San. ve Tic. A.Ş. • Turkey

---

---

**Tundish Wearlining, Wet Gunning Mixes Versus Dry Mixes. New Lining Technologie for the Clean Steel Production ..... 381**

R. Bross<sup>1</sup>, R. Fechner<sup>1</sup>, E. Sari<sup>1</sup>, M. Goedecke<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Weerulin GmbH, <sup>2</sup>Sievering GmbH & CoKG • Germany

---

---

**Investigation of the Effect of Strain Aging on Hot Rolled Low Alloyed High Strength Steels ..... 385**

*Sıcak Haddelenmiş Düşük Alaşımli Yüksek Mukavemetli Çeliklerde Deformasyon Yaşlandırmasının Etkisinin Araştırılması*

Burak Önder<sup>1</sup>, Mehmet Akkaş<sup>1</sup>, Aytaç Başsüllü<sup>1</sup>, Osman Çulha<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Kocaer Rolling Mill R&D Center, <sup>2</sup>Manisa Celal Bayar University • Turkey

---

---

**The Evolution of Blast Furnace Gas Cleaning Technologies ..... 390**

Robert Mawer, Robert Horwood

Primetals Technologies • United Kingdom

---

---

**Comprehensive Condition Monitoring for the Metals Industry ..... 398**

Bernhard Voglmayr<sup>1</sup>, Arno Haschke<sup>2</sup>, Klaus Stohl<sup>1</sup>, Richard Stadlmayr<sup>1</sup>, Andreas Maierhofer<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Primetals Tehnologies Austria GmbH,

<sup>2</sup>Primetals Technologies Germany GmbH • Austria, Germany

---

---

**Raw Material Flexibility in Electric Steel Making ..... 408**

J. Apfel<sup>1</sup>, J. Buttler<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Primetals Technologies Germany GmbH,

<sup>2</sup>Primetals Tehnologies USA LLC • Germany, USA

---

---

**Kütük Döküm Kalitesinin Haddelemeye Etkileri ..... 415**

*The Effect of Billet Casting Quality on Rolling*

Didem Kılıç, Orhan Akyol, Metehan Bacaksız, Halil İbrahim Gülönü

Kardemir Haddecilik San. ve Tic. A.Ş. • Türkiye

---

---

**Haddehane Uçar Makas Uygulamaları için 1.2344 Sıcak İş Takım Çeliğine Alternatif 1.2367 ve 1.2367ESR Çelik Kalitelerinin Performans Karşılaştırması ..... 420**

*Comparison of the Performances of 1.2367 and 1.2367ESR Quality Steels as an Alternative to 1.2344 Quality Hot Work Tool Steel for Rolling Mill Flying Shear Blade Applications*

Onur Özer<sup>1</sup>, Tuba Özeren<sup>1</sup>, Yunus Türen<sup>2</sup>, Hayrettin Ahlatçı<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Sağlam Metal Sanayi ve Tic. A.Ş., <sup>2</sup>Karabük Üniversitesi • Türkiye

---

---

<b>Through-Process Optimization – Improved Production Efficiency and Quality by Digitalization .....</b>	<b>426</b>
Jan Friedemann Plaul, Thomas Pfatschbacher, W. Oberaigner, Alfred Seyr	
Primetals Tehnologies Austria GmbH • Austria	
<b>Smart Maintenance Concept via Mechatronic Checker Products for Casters .....</b>	<b>436</b>
Claudia Hemmelmeir, Serkan Özdemir	
Primetals Tehnologies Austria GmbH • Austria	
<b>Smart Maintenance via m.Space Data Driven Services Push Maintenance to the Next Level .....</b>	<b>446</b>
Adnan Cosic, Serkan Özdemir	
Primetals Tehnologies Austria GmbH • Austria	
<b>ALBACUT4.0, Smart Machine Management and Predictive Maintenance for Torch Cutting Machines.....</b>	<b>449</b>
Enrico D'Ottavi <sup>1</sup> , Luca Piccione <sup>1</sup> , Mustafa Öztürk <sup>2</sup>	
<sup>1</sup> A.L.B.A. S.r.l., <sup>2</sup> ALBA Turkeyi • Italy, Turkey	



**PROCEEDINGS // BİLDİRİLER**



**EFRS** 2019  
INTERNATIONAL SYMPOSIUM  
ON  
**IRON & STEEL**  
"Let's Talk STEEL Now" / "Haydi ÇELİK Konuşalım"

**PROCEEDINGS // BİLDİRİLER**



## Can Steel Production Be Sustainable ?

Dave Knight

One Planet Limited • United Kingdom

### Abstract

The science of human induced global heating and environmental degradation is unequivocal, meaning the drivers to reduce impacts and emissions across all sectors are increasing fast. With continued population growth, improved living standards and long-term forecasts of global steel production growth, the steel sector has particular challenges and opportunities from transitioning to a more sustainable basis. This paper examines the drivers for more urgent change and explores the strategic implications for steel production.

### 1. Introduction

There are a range of factors typically associated with the concept of sustainable development. Alongside maintaining biosphere integrity (biodiversity and soil health), a climate that can accommodate humanity, is one of the critical foundations for sustainability [1]. Therefore, for the purposes of this paper, limiting global heating to align to the Paris Agreement is taken to be the minimum requirement for being sustainable.

Efforts to limit and mitigate the impacts of global heating are gathering momentum. Difficult to transition sectors and those sectors which have previously had limited inclusion in many data sets, policy and market mechanisms, like aviation and shipping, are increasingly being brought into emissions reduction initiatives.

As such a significant emitter, with approximately 7-9% of global emissions [2], the pressure on the steel sector to take bolder steps is growing. This paper provides an overview of the latest climate science to set the scene and to explore the nature and extent of emissions reductions that are required to align to the science.

It explores a range of drivers for emissions reductions and proposes that these will continue to grow in importance. A range of technologies and responses that are currently available or being developed and provide significant potential for emissions reductions in the sector are explored

at a high, rather than a technical level, to enable a strategic view of responses to be considered.

The paper suggests that there are some very promising opportunities for emissions reductions, especially from the widespread adoption of novel technologies. However, due to the long-time scales to reach commercialisation and limited current adoption, there is a high likelihood that current responses within the steel sector are insufficient to deliver on proposed pathways. It also notes that these pathways are also likely to be the absolute minimum needed to avoid significantly raised costs of emissions reduction and the risks and impacts of global heating.

It concludes by suggesting that decisions on technologies and investments that are made in the next 5 years are critical to enable the sector to meet a reduction pathway aligned to the Paris Agreement. Finally, it acknowledges that for the sector to make these decisions, national and regional governments and broader international cooperation will be needed to manage investment risk and provide suitable market conditions.

### 2. What is the Climate Science Telling us?

The last time CO<sub>2</sub> concentrations in Earth's atmosphere were at current levels, of approximately 411ppm [3], was before humans existed, in the Pliocene, approximately 3m years ago. Arctic summer temperatures were 14°C higher than the present day, sea levels were 15m higher and trees were growing near the South pole [4].

CO<sub>2</sub> emissions levels have continued a growth trend with the most recent data indicating an increase of 2.7% in 2018 [5]. The lifespan of CO<sub>2</sub> in the atmosphere and knock-on impacts of global heating increase the likelihood that the climate will keep heating for years to come.

Impacts of climate change are already being experienced and will worsen. These include: Accelerating sea level rise due to melting ice and thermal expansion - which leads to coastal flooding and storm surges; Stronger atmospheric weather systems with worsening storms, heatwaves, droughts, and

desertification – with increased risks of crop reductions and failures; Health impacts and increased death rates from heat stress and changes in disease distribution; Pressures on food systems and biodiversity, higher migration rates and raised risks of conflict [6].

The economic impacts are also significant, with one recent study estimating that business as usual emissions throughout the 21st century will decrease per capita Gross Domestic Product (GDP) by 23% [7]. The costs of responding to global heating and climate change rise the longer the delay in making significant reductions [8].

### 3. Drivers of Emissions Reductions

The range of drivers for all energy intensive industries to reduce emissions is broad and includes: Ongoing efficiency improvements for cost savings and yield improvement; Legal and voluntary commitments; Minimising costs of market mechanisms such as emissions trading; Client and investor demands for increased transparency; A rise in independent ways to measure emissions, as well as, Civil Activism and Reputation Management. This section will explore selected drivers.

#### 3.1 Cost and yield

Modern steel plants, while still requiring considerable energy inputs, are operating close to thermodynamic efficiency limits and as energy is a high cost of production, companies have sought out and implemented nearly all options available to them, so the scope of using advances in existing technologies to reduce emissions is limited.

Worldsteel data estimates there has been a 61% reduction in energy consumption per tonne of steel produced since the 1960's [9]. Allwood and Cullen suggest there is, at best, the potential for a further 13% emissions reductions if all sites adopted best available energy efficiency technology and a 9% energy reduction potential from improvements in electric motor driven systems used in the steel industry [10].

Increasing collaboration across the steel value chain, including digital transformation and evolving manufacturing technologies are delivering yield improvements from crude steel production to final steel in products. This is enabling the provision of similar utility for less steel.

#### 3.2 Legal and voluntary commitments

The overarching framework of the UN Convention on Climate Change has been built upon by the Paris Agreement. This provides the main international driver for coordinated

global action to limit temperature rise this century to well below 2 degrees Celsius above pre-industrial levels and to pursue efforts to limit the temperature increase even further to 1.5 degrees Celsius.

Nationally Determined Contributions (NDC's) provide individual countries emission reduction pledges. Countries have a legal obligation to prepare and transparently report their NDC's to the UN. However, the nature and ambition of these pledges is for national governments to determine.

At the national level, various legal requirements are in place, often through permitting processes, for monitoring, management and reporting of emissions.

#### 3.3 Market mechanisms

Various regional emission trading schemes are in place or development globally. These encompass schemes in regions, states and cities of; the US, Canada, Japan, Central Europe, South Korea, China and the EU. The Australian scheme has been withdrawn due to political change. Voluntary or regulatory carbon pricing and taxes are now in place, scheduled or under consideration in; Brazil, Columbia, Mexico, Chile and South Africa, Turkey, Ukraine and Thailand [11].

Legal requirements to monitor and report emissions are expanding with the emissions trading schemes providing a market-based incentive to reduce greenhouse gases (GHG's) that contribute to global heating.

When costs of emissions are born by the producers under such schemes and taxes, production and therefore product costs typically increase, and this can reduce competitiveness when compared to markets with differing prices or schemes with less stringent requirements [12]. Market adjustments using allocations of free or reduced allowances are provided under some trading scheme rules and additional support for some companies such as loans to pay carbon trading costs have been provided by governments, for example, as was the case with British Steel in the UK [13]. As trading schemes mature, allowances are reducing, and cost pressures are increasing.

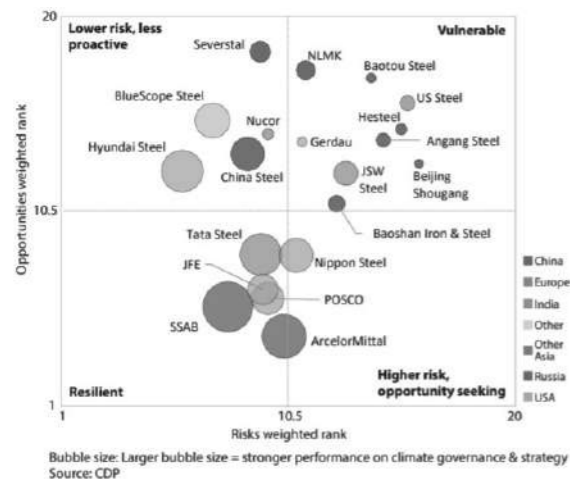
Carbon pricing, trading and other market mechanisms are expanding across the globe. Regional trading markets are emerging, with aligned pricing and transferable emissions reductions certificates. It is not a one-way track however, as political and legal changes are leading to others disbanding and the withdrawal of support for collaboration to tackle global heating.

### 3.4 Investor risk

In addition to regulatory disclosure, investor pressure has meant that for many years the steel and other high impact sectors have disclosed information on energy intensity and emissions profiles. The depth and scope of this information and verification requirements have grown and are increasingly informing investor decision making.

CDP is the not-for-profit charity that coordinates the largest global disclosure system for GHG's and water related emissions for a broad range of stakeholders including investors, companies, cities, states and regions. In May 2019 it released a report looking at which steel companies are ready for the transition to a low carbon economy and the potential financial impacts of industry responses [14].

The recent CDP Melting Pot report, which ranks 20 of the largest and highest-impact publicly listed steel companies on business readiness for a low-carbon transition, finds that the weighted average 'Value at Risk' for the 20 assessed steel companies to be 14% of net present value under a 2°C scenario, where global carbon prices rise to US\$100 per tonne CO<sub>2</sub> by 2040. 'Value at Risk' for individual companies ranges from 2.5% to 30% of net present value. Figure 1., taken from the report, illustrates the opportunities versus the risks for this set of companies.



**Figure 1.** Opportunity versus risk for low-carbon transition from CDP analysis.

The Financial Stability Board, the international body that monitors and makes recommendations about the global

financial systems instigated the Task Force on Climate-related Financial Disclosures' (TCFD) on behalf of the G20. Its recommendations are relevant for all organisations and focus on risks and opportunities related to the transition to a lower-carbon economy. It has made four key recommendations for information that should be included in financial filings. This is designed to solicit decision-useful, forward-looking information on financial impacts, for investors, insurers and other financial stakeholders [15].

Its reporting recommendations cover: the organisation's governance around climate-related risks and opportunities; the actual and potential impacts of climate-related risks and opportunities on the organisation's businesses, strategy, and financial planning; the processes used by the organisation to identify, assess, and manage climate-related risks and the metrics and targets used to assess and manage relevant climate-related risks and opportunities.

The first reports to meet these requirements are beginning to be published. For example, ArcelorMittal published its Climate Action Report in May 2019 [16].

### 3.5 Client demand

As sustainability management matures, organisations are seeking to push more stringent requirements up supply chains and to focus more on Life-Cycle impacts. Companies in the auto, construction and other sectors are increasingly requesting information about the embodied carbon in products such as reinforcement bar and car body panels.

Certification schemes for the steel sector, such as the CARES Sustainable Construction Steels Scheme (SCS) [17] and the forthcoming ResponsibleSteel scheme [18] are developing approaches that use production emission or energy efficiency thresholds to identify higher performing steel producers.

Certification under the CARES SCS scheme requires the production of an Environmental Product Declaration (EPD), which includes the global warming potential of the product which can help to enable comparisons across products. These EPD's are being requested and utilised by construction and infrastructure clients and contractors, in particular, those working on public sector projects where procurement guidance is beginning to specify higher standards and procurement teams are seeking better performing products.

### 3.6 Societal activism

Of growing significance is the rise in civil unrest at the lack of pace, scale and ambition of current emissions reduction policies, performance and actions when the science is clear. For example, the school strike movement instigated by Greta Thunberg, in August 2018, by the then 15-year-old Swedish schoolgirl, has grown into a global movement [19]. Similarly, the non-violent, direct-action movement, Extinction Rebellion [20], formed in Oct 2018, has quickly spread to many countries, causing disruption to raise public awareness of biodiversity collapse and the climate emergency.

Activists attention has also been seen to target high emitting sectors, such as electricity generation, aviation, coal mining and fracking. It is likely that this increase in activism is impacting on the reputations of high emitting sectors.

### 3.7 Legal challenges

Nations, states and increasingly, greenhouse-gas-emitting companies are subject to a growing number of legal cases being filed against them. Recent research on the state of climate related legal cases indicated that climate change cases have been brought in at least 28 countries around the world. The United States has by far the highest number of cases representing approximately three quarters of the total. Even so, litigation in low- and middle-income countries is growing in quantity and importance. Investors, activist shareholders, cities, states, non-governmental organisations (NGO's) and individuals are pursuing climate change-related claims [21].

The research indicates that new lawsuits are also drawing on advancements in attribution science to establish a causal link between a source of emissions and climate-related harms.

### 3.8 Increasing visibility and data

In addition to the increasing sophistication and verification requirements of reported emissions data, attribution science is beginning to provide independent emissions measurements that supports the triangulate of data and helps improve accuracy and understanding. One such example of advances in attribution science is improved satellite monitoring. NASA's OCO-3 launched in May of this year builds on its OCO-2 satellite and enables more focused analysis of natural and anthropogenic sources [22]. A Google.org funded project developed by Watt Time, a technology focused non-profit organization, is using a network of satellite information in order to measure key emissions sources and make the data public [23]. Its initial

focus is on power stations, however, there is potential for the technology to be expanded to cover other significant sources in future.

## 4. The Steel Sector Response

According to worldsteel, the steel sector is responsible for 7-9% of global CO<sub>2</sub>e emissions [24] and is therefore subject to significant focus and activity to reduce emissions. While forecasts of growth in steel production vary, growth in steel production is likely to grow from 1.7bn tonnes in 2018 to around 2.5bn tonnes by 2050 [25].

The steel industry is facing the huge challenge of producing more product while reducing emissions. This is in an industry where capital investments are costly and investment timescales are long. Significant further improvements from existing technologies are limited. Progress towards reducing emissions intensities, which, according to the CDP, have been reduced at an average rate of 0.92% p.a. since 2013, are not in line with the sector transition pathways [26].

To align with the International Energy Agency's 2-Degrees Scenario (IEA 2DS), the sector will be required to reduce its emissions intensity by 65% by 2050, compared to 2014 levels. The IEA describe this scenario, from 2014 as 'a highly ambitious and challenging transformation of the global energy sector that relies on a substantially strengthened response compared with today's efforts' [27]. This scenario is set up to provide at least a 50% chance of limiting average global temperature increase to 2°C, i.e. roughly a 50% chance that we cannot limit warming to 2°C.

As we saw in the introduction, achieving a 1.5-Degree reduction, and aligning with the latest science, which would minimize risks, costs and impacts, requires even deeper cuts in shorter timeframes. This section explores options being adopted and piloted by the steel industry for more significant emissions reductions.

### 4.1 Emission reduction options

Worldsteel summarises CO<sub>2</sub> emission reduction options into five main categories: Hydrogen as a reducing agent; Carbon Capture and Storage (CCS); Carbon Capture and Utilisation (CCU); Biomass as a reducing agent; and Electrolysis.

The following section provides two examples of advances to existing technology and briefly summarises these five technology categories, with examples illustrating demonstration and commercial projects.

Electric Arc Furnaces (EAF's) powered by renewables

Increasing EAF's share of production would reduce emissions as it produces less emissions per tonne of production through the recycling process. However, existing stocks of steel available for recycling are insufficient to meet global steel demand at approximately 20-30% and it is estimated that it will take until the last half of this century before sufficient volumes are available for the majority of EAF production [28].

Increasing the share of production as well as powering EAF's by renewable generated electricity offers significant opportunities to reduce CO<sub>2</sub> emissions and cost. SoftBank Energy executive chairman Manoj Kohli at Worldsteel's 2017 conference went so far as to suggest that solar power 'is likely to revolutionize EAF-based steelmaking in the next 20 years' [29].

Several steel plants are either directly generating a proportion of renewable electricity on site or purchasing renewable electricity through green tariffs and power purchase agreements. For example, Wiscorn, part of the China Baowu Steel Group Corporation has used free rooftop space to install 13 gigawatts annual solar generation capacity at its EAF plant in Wuhan province, China. The installation is projected to cut 220,000 tons of carbon emissions in its lifetime as well as reducing costs [30].

#### Indirect reductions through buying renewable power

While of lower significance than direct reductions, covering all electricity demand through renewables provides an option with a different investment profile and financing opportunities. For example, the CDP Melting Pot report highlighted that seven of the 20 companies reviewed have set up Power Purchase Agreements (PPA's) to utilise renewable energy in their steelmaking operations [31]. PPA's between the electricity generator and the user take several forms and typically define the terms of revenue and credit quality of a generation project over a defined time frame, thus reducing risk and providing a key instrument to enable project finance to be secured.

#### Eco-efficiencies

Improving efficiencies including the reuse of waste products is a continuous strategy in steel production. One example of recent innovation is converting waste CO<sub>2</sub> from the blast furnace into a synthetic gas for reinjection into the blast furnace for the reduction of iron ore, reducing fossil fuel demand and CO<sub>2</sub> emissions.

#### Hydrogen as a reducing agent

The Hybrit partnership between Luossavaara-Kiirunavaara Aktiebolag (LKAB), a Swedish iron ore mining company, SSAB, the Nordic and US steel maker and Vattenfall, the Swedish power company is building a very low carbon steel making system – Hybrit. It is constructing a biofuel-based iron ore pelletising plant which the consortium estimates will, in test phase, reduce CO<sub>2</sub> emissions for pelletising by 40% and eventually to close to zero. By 2020, the consortium expects to have completed the hydrogen-based reduction of iron ore pilot plant in Luleå, Sweden [32]. Several other hydrogen-based steel making pilots are planned or in development globally.

#### Carbon Capture and Storage (CCS)

Effective CCS generates a clean and concentrated CO<sub>2</sub> stream that can be captured and stored. The process involves retrofitting steel plants with capture technology and requires the development of transportation networks and access to storage sites, for example depleted oil and gas fields. While there has been much promise of CCS, demonstration projects have not shown significant emissions capture to date.

Supported by the Horizon 2020, the European Union's research and innovation program, a consortium of 11 European stakeholders including ArcelorMittal, Axens, IFP Energies nouvelles (IFPEN) and Total, is launching a project to demonstrate an innovative process for capturing CO<sub>2</sub> from industrial activities – the DMXTM project. It is part of a more comprehensive study dedicated to the development of the future European Dunkirk North Sea Capture and Storage Cluster [33].

Starting in 2020, at the ArcelorMittal steelworks site in Dunkirk, the project uses a process of post-combustion capture of CO<sub>2</sub> by absorption in a chemical solvent which separates it from other gases. Initial pilot operations are planned by 2021, with an ambition to capture more than 125 tonnes per hour of CO<sub>2</sub>, which equates to more than one million tonnes of CO<sub>2</sub> per year. The target for full operation is 2035.

#### Carbon Capture and Utilisation (CCU)

Carbon Capture and Utilisation (CCU) uses the components of the co-product gases from existing processes to produce fuels or input material for the chemical industry. Lanzatech, a biotechnology company, has developed processes that use captured CO<sub>2</sub> and convert it into fuels and other chemicals. In a Joint Venture with Shougang Group, it opened the world's first commercial facility in May 2018. The facility, at the Jingtang Steel Mill in Caofeidian in Hebei Province,

China has a capacity of 46,000 tons (16 million gallons) of ethanol per year [34].

A similar demonstration plant is under construction at ArcelorMittal's Ghent facility, in Belgium, which is estimated to utilize approximately 15% of the available waste gases to produce a transport fuel that is an estimated 87% less CO<sub>2</sub> intensive [35].

#### Fossil fuel substitution

Partially substituting coal for biomass, such as charcoal produced from waste wood, has significant potential to reduce CO<sub>2</sub>. With EU funding from the LoCO2Fe project, Tata Steel has demonstrated that more than 50% CO<sub>2</sub> emission reduction is possible with HIsarna technology without the use of CCS. IJmuiden steelworks in the Netherlands utilises steel scrap in the HIsarna reactor with up to 40% of coal replaced with sustainable biomass [36].

#### Electrolysis

Research projects have examined the feasibility of reducing iron ore using electricity in a similar way to Aluminium production. The Siderwin project involving 12 partners and funded through EU Horizon2020, is based at the ArcelorMittal Research and Development facility at Maizières, France. The project has developed the first electrolytic cell prototype, proving the viability of iron electrolysis. The process has the potential to operate flexibly dependent on the availability of renewable power and has been shown to use less power than is needed to make hydrogen from water using electrolysis [37].

#### **5. Steel as an Enabler for Broader Emissions Reductions**

While this paper has focused on novel production technologies, to deliver a step change in CO<sub>2</sub> emissions reductions, it should be recognized that the steel industry has a significant role to play in supporting other industries and wider society to reduce emissions.

Steel typically has a very long service life and plays an important role in improving the energy efficiency of buildings, infrastructure, industrial sites, machinery and transportation. It is a core material used in the construction of renewable technologies including solar and wind generation as well as recycling equipment.

Other innovative technologies, where steel can enable emission reductions, are being trailed, currently in very low volumes. For example, 3D additive steel printing technology, which has a cost premium over comparable steel products, has the potential to shorten value chains, better meet client need, reduce costs, waste and emissions. One

company involved in its development, EOS, claims 3D printing of structural steel can reduce material consumption by 75% and CO<sub>2</sub> emissions by 40% [38].

#### **6. Barriers and Enablers of a Swifter Transition**

Due to the high costs and unproven nature of novel technologies, companies and industry bodies are requesting political and structural support to share the risks and opportunities and to help enable this transition.

Market adjustments between nations or regions, so that steelmakers bearing the structurally higher costs of low-emissions technologies can compete on a level playing field with imports from higher-emissions steelmakers, are part of the solution.

Similarly, Carbon pricing needs to expand its geographical scope to encompass all high carbon-emitting industries to ensure a level playing field. The absence of and the current levels of carbon pricing is currently insufficient to fully incentivise deeper emissions reductions. Increasing interoperability across pricing and emissions trading schemes will enhance comparability and incentivize reductions.

Mainstreaming transformative technologies requires a cultural shift away from a focus on incremental continuous improvements to one of improvement towards a defined vision, i.e. zero emissions. To deliver this requires bolder strategies from the steel industry.

The CDP Melting Pot analysis showed that out of the 20 companies considered (which represents some of the leading companies globally) six companies have delivered technologies that CDP consider to be transformative. 60% of them have set emissions reduction targets, with only two companies being aligned to a 2°C or below emissions pathway - SSAB has set a goal to reach carbon neutrality by 2045 across its entire operations and ArcelorMittal recently announced its aim to be carbon neutral across its European operations by 2050. Seven of these companies are using an internal carbon price [39].

Successful collaboration will be a key measure of success, with political and structural level collaboration essential to give the industry and its investors' confidence to transition. Collaboration across the steel value chain between raw materials suppliers, producers and end customers will be critical to enable the industry to deliver more value using less resources at reduced emissions.

## 7. Conclusions

The foundation of sustainability is the ability of humanity to live within Earth's environmental systems, notably maintaining a climate suitable for a reasonable standard of living for 10-11 billion people by 2050, without the impacts and risks of climate heating being too great.

Current transition pathways are based on political agreement, that has built on the science, notably the Paris 2 degrees pathway. The latest climate science suggests progress is not aligned to this pathway and that a swifter transition is needed to minimize risks, impacts and costs to acceptable levels. We are currently trying to slow the growth in emissions rather than reducing them.

The drivers for high impact industries, including steel, to reduce GHG emissions are growing, with cost pressures, increased regulation, investor pressure, customer demand, legal challenges and activism all playing a role. The sector is under increasing scrutiny. It is likely that these drivers will accelerate, putting even more pressure on high emitting sectors.

The steel sector is at the exploratory stages of a transition to low carbon production, with a range of promising options under development or at the very early stages of commercialisation. This currently covers a very small percentage of production.

Out of the set of companies assessed by the CDP, only 60% have set emissions reduction targets, and only two companies are aligned with a 2°C or below emissions pathway. The range of technologies and pilot project results do suggest, however, that the steel industry is technically able to transition towards a low to zero carbon steel production future.

When combined with the enabling impact of steel on other industries to reduce emissions, there is potential for accelerating emissions reductions. The big question is whether the steel industry can change fast enough.

For this to happen, a range of enabling factors are required. Implementation of low carbon production at a larger scale requires step changes in industry culture and its supporting infrastructure, including a fundamental transformation of the global energy system. Large quantities of carbon-free hydrogen, biomass and electricity need to be readily available to feed the nascent technologies.

The investment needed to transition is enormous, the financing models multifaceted and the timescales for raising

and securing funds are short. Asset longevity, high capital requirements and long investment cycles indicate that decision making over the next 5 years is critical if a sufficiently steep emissions reduction pathway is to be achieved.

Political will and coordination at a global, regional and national level are essential to provide confidence to stakeholders to support a timely transition. Funding, tax reduction or subsidy, coordinated carbon pricing and trading mechanisms can reassure the steel industry and its investors that large-scale step changes of the industry are not only possible but necessary.

To operate within the boundaries of climate sustainability is the steel industry's most significant challenge since its inception. Recent innovation suggests that technically it is possible. So perhaps the most important enabler is belief from the industry itself, that it can move beyond its fossil fueled origins, beyond a culture of continuous improvement to one of fundamental transformation.

## References

- [1] Steffen et Al, Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet, *Science* 13 Vol. 347, (2015)
- [2] Worldsteel data  
<<https://www.worldsteel.org/publications/position-papers/steel-s-contribution-to-a-low-carbon-future.h>>  
Dated 8.8.19
- [3] US Department of Commerce, National Oceanic & Atmospheric Administration, Earth System Research Laboratory, Global Monitoring Division  
<<https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/global.html>>  
Dated 8.9.2019
- [4] A Haywood, D Lunt et Al. The Pliocene: The Last Time Earth had >400 ppm of Atmospheric CO<sub>2</sub>. Royal Meteorological Society and Grantham Institute of Climate Change and the Environment. Meeting proceedings 3.4.2019
- [5] Corinne Le Quéré, R Andrew et Al. Global Carbon Budget 2018. *Earth System Science Data*, 10, (2018) 1-54.
- [6] Climate change: impacts, vulnerabilities and adaptation in developing countries, United Nations Framework Convention on Climate Change (2007)
- [7] M Burke, S Hsiang, E Miguel, Global non-linear effect of temperature on economic production, *Nature* 527, (2015) 235-239.
- [8] L. Clarke et Al. "Assessing Transformation Pathways", in Climate Change Mitigation of Climate Change, contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change

Edenhofer, O et Al (Eds), Cambridge University Press and New York, (2014) p.450.

- [9] As [2] above
- [10] J. Allwood and J. Cullen, Sustainable Materials without the hot air, 2015, UIT Cambridge, United Kingdom.
- [11] T. Hussain, S. Kerschner, A Kawano, Greenhouse gas emissions trading schemes: A global perspective, White & Case (2017)
- [12] As [2] above
- [13] <<https://uk.reuters.com/article/uk-britishsteel-carbon/uk-government-loans-british-steel-120-million-pounds-for-eu-carbon-costs-idUKKCN1S73WV>> Dated 8.8.19
- [14] T. Crocker et Al, Melting Pot, Which steel companies are ready for the low-carbon transition? (2019)
- [15] Recommendations of the Task Force on Climate-related Financial Disclosures (2017)
- [16] ArcelorMittal Climate Action Report 1, (2019)
- [17] <<https://www.ukcares.com/certification/sustainable-reinforcing-steel>> Dated 7.8/19
- [18] <<https://www.responsiblesteel.org/>> Dated 7.8/19
- [19] <<https://www.theguardian.com/environment/2019/feb/15/the-beginning-of-great-change-greta-thunberg-hails-school-climate-strikes>> Dated 7.8.19
- [20] <<https://rebellion.earth/the-truth/>> Dated 7.8.19
- [21] Setzer J and Byrnes R (2019) Global trends in climate change litigation: 2019 snapshot. London: Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment and Centre for Climate Change Economics and Policy, London School of Economics and Political Science
- [22] <<https://ocov3.jpl.nasa.gov/>> Dated 9.8.2019
- [23] <<https://www.watttime.org/news/watttime-will-measure-worlds-power-plant-emissions-from-space-with-support-from-google-org/>> Dated 9.8.2019
- [24] As [2] above
- [25] As [10] above
- [26] As [14] above
- [27] <<https://www.iea.org/etp/explore/>> Dated 7.8.19
- [28] As [2] above
- [29] <<https://www.kallanishenergy.com/2017/10/18/solar-power-to-revolutionize-eaf-steelmaking/>> Dated 9.8.19
- [30] <[https://news.cgtn.com/news/3d67444e3055444e/share\\_p.html](https://news.cgtn.com/news/3d67444e3055444e/share_p.html)> Dated 9.8.19
- [31] As [14] above
- [32] <<https://www.ssab.com/company/sustainability/sustainable-operations/hybrid>> Dated 7.8.19
- [33] <<https://www.hydrocarbonengineering.com/the-environment/29052019/consortium-of-european-companies-launches-the-3d-project-for-carbon-capture/>> Dated 7.8.19
- [34] <<http://news.bio-based.eu/lanzatech-and-shougang-group-towards-a-carbon-smart-economy-in-china/>> Dated 9.8.19

[35] As [16] above

[36] <<https://cordis.europa.eu/project/rcn/194922/brief/en>>  
Dated 9.8.19

[37] <<https://www.siderwin-spire.eu/>> Dated 7.8.19

[38] <<https://3dprint.com/5505/3d-printed-steel-arup/>>  
Dated 9.8.19

[39] As [14] above

## Sustainability and Life Cycle Analysis in Construction Materials Certifications – A Case Study Based on Reinforcement Bars for Concrete

Lee Brankley<sup>1</sup>, Ayhan Tugrul<sup>1</sup>, Dave Knight<sup>2</sup>, Jane Anderson<sup>3</sup>, Ladin Camci<sup>1</sup>

<sup>1</sup>CARES, <sup>2</sup>One Planet Limited, <sup>3</sup>Previously of Thinkstep Limited,  
Now of Construction LCA • United Kingdom

### Abstract

Life Cycle Analysis (LCA), Environmental Product Declarations (EPD's) and other social and environmental data are used by construction material certifications to provide confidence to construction clients and public procurement processes that sustainability impacts are understood and that performance is being managed to reduce negative impacts.

This paper explores the drivers behind this certification approach through the context of the CARES Sustainable Constructional Steels certification scheme, predominantly used for steel reinforcement bars in concrete and its markets. It explores the trends shown by data collection, differentiation uses and the challenges and opportunities for improvement.

The findings suggest that requests for information are getting more sophisticated and detailed, with the scope of criteria growing and increasingly being used in procurement processes. It suggests that value could be gained by integrated LCA with wider sustainability information and making it accessible in formats, such as, building information modelling systems

### 1. Introduction

#### 1.1. Introduction to CARES

The UK Certification Authority for Reinforcement Steels (CARES) is an independent, not for profit, certification body covering the steel sector, operating in over 40 countries globally. It provides several product certification schemes covering reinforcing steel and associated products for use primarily in construction, most significantly the Steel for the Reinforcement of Concrete (CARES SRC) scheme<sup>i</sup>. This scheme covers the entire supply chain for reinforcing steels, including welding and the application of mechanical couplers, thereby ensuring reinforcement is correctly produced, processed and delivered to site.

#### 1.2. The CARES Sustainable Constructional Steel (CARES SCS) Scheme

The CARES Sustainable Constructional Steel (CARES SCS) Scheme<sup>ii</sup> was specifically developed for the constructional steel supply chain and launched in 2011. Its objective is to provide independent certification of the sustainability performance of steel products and it provides a robust and transparent mechanism for communicating this performance to designers, specifiers and clients.

Firms wishing to achieve certification to the CARES SCS scheme must first operate in accordance with the CARES Steel for the Reinforcement of Concrete (CARES SRC) scheme. This ensures the use of a management system for quality according to ISO 9001<sup>iii</sup>, and health and safety to ISO 45001<sup>iv</sup>/OHSAS 18001<sup>v</sup>. Firms must also be able to demonstrate their operations are in accordance with

an Environmental/Management System Manual that meets the requirements of ISO 14001<sup>vi</sup>. Additional criteria for the identification, collection, auditing and reporting to CARES of additional performance criteria covering environmental, social, labour, business ethics and local economic impacts must be assessed. Developed by a group of industry experts, the criteria cover the supply chain from the production of the steel through its processing to the delivery of the finished product for use in structural concrete and other construction uses on site.

## 2. Using Sustainability To Differentiate In The Construction Sector

### 2.1. Building product sustainability evaluation criteria

Dodge's World Green Building Trends 2016 Report<sup>vii</sup>, which surveyed Architects, Contractors, Specialist Consultants, Clients and Engineers in US, Mexico, Brazil, Colombia, Germany, Poland, UK, Saudi Arabia, South Africa, Singapore, India, China and Australia, identified 8 criteria used to evaluate "green" construction products, which are shown in Figure 1. A wide range of sustainability criteria are used, with multiple criteria often being used together. This survey was also undertaken in 2008 and 2012 (EPD's were not included in the criteria until 2015) with all seeing drops in importance, suggesting EPD's are becoming more important and other criteria less important.

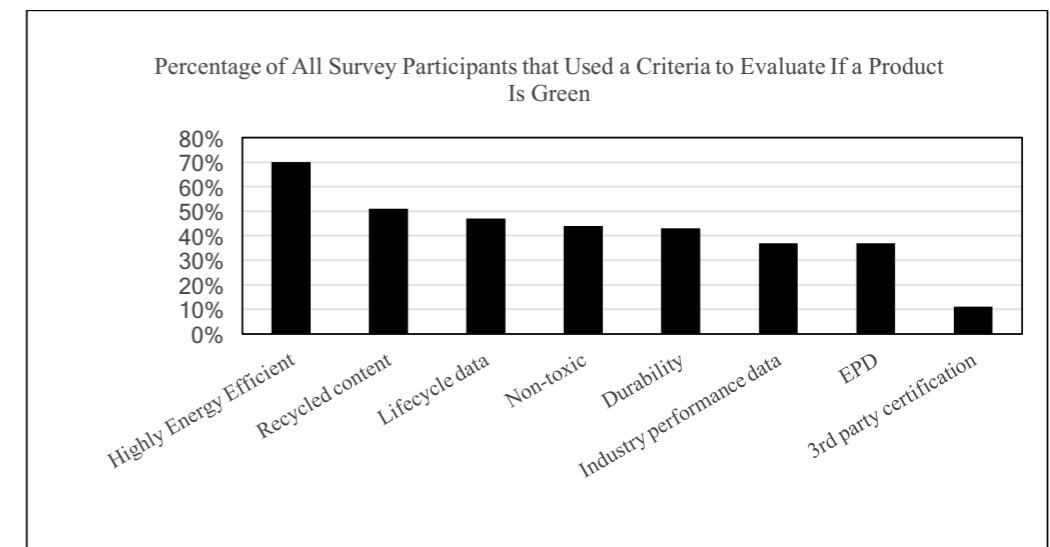


Figure 1: Criteria used to evaluate green products

In 2017, the OECD stated that the global Steel Industry was responsible for using 11% of all hard coal and producing 7-9% of global CO<sub>2</sub> emissions<sup>viii</sup>, so as a sector, it is important to demonstrate that steel has been produced as sustainably as possible. The major determinant of impact for steel production is the technology used, with Blast Furnace (BF)/Basic Oxygen Furnace (BOF) steel having greater impact than Direct Reduced Iron (DRI)/Electric Arc Furnace (EAF) and EAF steel. EAF steel production is also able to use 100% scrap, whereas the BF and DRI processes use iron ore, though a proportion of scrap can be introduced into the BOF process.

Whilst the Intergovernmental Panel on Climate Change, Special Report on Global Warming of 1.5°C<sup>ix</sup>, reiterated the essential and urgent nature of reducing greenhouse gases, it is also worth reminding ourselves that sustainability must promote improvements in a wide range of impact areas consecutively. This was nicely summarized by PWC in their 2011 study of the UK sustainable construction materials market, Materials Gains in Sustainability<sup>x</sup>, stating "Businesses in the sector clearly understand the complexity of sustainability, embracing factors other than simply carbon. Some of the strongest opinions expressed during interviews were about the potentially misleading picture created by over-emphasising carbon and neglecting other environmental factors such as weight, recycling and water use."

## 2.2. The use of Life-Cycle Analysis and EPD's

Historically, the BOF steel sector has focussed on the recyclability of its steel rather than recycled content and developed its own methodology for assessing and reporting life cycle assessment (LCA) studies - the World Steel Association (worldsteel) LCA methodology<sup>xi</sup>. As this method differs from the LCA methodology and resulting Environmental Product Declarations (EPD) provided in the European Standard for all construction products, EN 15804<sup>xii</sup>, much of the data provided to the worldsteel methodology by the steel industry cannot be used easily alongside other LCA data. Additionally, most of the worldsteel data are only provided at a high level, e.g. for Europe rather than for individual sites.

A review of EPD data in the spring of 2017 commissioned by CARES confirmed the status of EPD use for steel products for use in concrete reinforcement and other construction uses. It focuses on the countries where EPD's are used for steel products and where data is available. The numbers specified relate to the numbers of verified EPD's for steel products issued in each country at the time of the research. Verified EPD data to EN 15804 are available for steel products across the three main EPD programmes. In the German EPD programme, IBU<sup>xiii</sup>, EPD are provided for Bauforumstahl structural steel produced using both BOF and EAF from across Europe, for Vallourec's Hollow Section produced in Germany using BOF, for Celsa's structural steel produced using EAF in Spain and Poland, and for JSW's structural steel produced using BOF in India. 5 EPD for carbon steel reinforcement are also cross-listed from the International EPD scheme.

In the Norwegian programme, there are 3 EPD for carbon steel reinforcement produced in Norway and Lithuania and 2 generic EPD for Norway. For structural steel, 9 companies with sites in Norway, Sweden, Finland, Latvia, Lithuania and Poland have produced 25 EPD, and there for 4 Generic EPD for Norwegian structural steel.

In the UK programme, the BRE Verified EN 15804 EPD scheme<sup>xiv</sup>, there are 19 EPD for CARES approved companies producing carbon steel reinforcement in Turkey, Italy, France, Spain, UAE, Qatar and Portugal, using EAF or DRI. There are also 2 EPD for structural steel produced by CARES approved companies in UAE with DRI and in Turkey with EAF, and a generic EPD for carbon steel reinforcement produced by CARES Approved companies.

The International EPD® programme provide EPD for merchant bar produced in Switzerland, France and Italy by EAF, Bluescope's EPD for structural steel produced by BOF in Australia, OneSteel's EPDs for structural steel, reinforcing steel, bar and mesh all made by a mix of EAF and BOF in Australia, four EPD for Celsa carbon steel reinforcement made with EAF in Norway and used across the 4 Nordic states, five EPD for Italian producers of carbon steel reinforcement using EAF, and an EPD for pre-stressed reinforcement produced using EAF in Sweden. The French EPD Programme, FDES<sup>xv</sup>, does not provide any Verified EPD for structural or carbon reinforcing steel.

## 2.3. How Authoritative Is The Data Used By CARES?

The certification process is based on an initial review of application information including management system manuals and certificates, a Stage 1 audit on site and then a Stage 2 audit. The Stage 2 audit is more detailed and is based on checking evidence on site against a self-completed Sustainability Key Performance Indicator (KPI) workbook and Environmental Product Declaration Questionnaire. Over 100 criteria and performance indicators for each approved supplier are audited. The audit cycle is repeated each year for each certified site. Additionally, the EPD data, which are updated once every 3 years, are subject to an additional verification stage by a third party – BRE.

As each site is audited at least once each year, the chances of data errors are reduced when compared to a sampling approach or a less frequent audit cycle.

## 3. What Are The Strengths Of CARES Approach?

### 3.1. CARES Annual Sustainability Reports

CARES collates the SCS scheme data, providing annually updated industry KPIs based on audited data from its approved suppliers and since 2011, has set sector targets for improvements which are published in CARES Annual Sustainability Reports. The latest 2017 report<sup>xvi</sup> covers SCS data and

information from 25 producers of steel and stainless steel reinforcing bar, feedstock coil and structural steel and 11 reinforcing steel processors (fabricators).

### 3.2. Carbon Footprint to EPD

As a core part of the CARES SCS, CARES and thinkstep developed a carbon footprint tool, based on the ISO life cycle assessment and greenhouse gas reporting approaches, to determine the product "cradle to gate" carbon footprint for the production of 1 tonne of steel, one of CARES SCS KPIs. This enabled firms in the reinforcing steel supply chain to establish their carbon footprint data in a consistent, transparent and comparable way using the CARES Carbon Footprint Tool.

In 2013, the CARES Carbon Footprint Tool was further developed by CARES using a bespoke LCA tool developed by thinkstep using their GaBi Envision software<sup>xvii</sup> to provide EPD to EN 15804. The CARES EPD tool has been verified by BRE Global using their EN 15804 verified EPD Scheme<sup>xviii</sup>, and to date BRE have verified 24 EPD from reinforcing steel bar producers, alongside a sector average Verified EPD<sup>xix</sup> for reinforcing bar produced using the secondary production route covering 13 CARES approved suppliers and a number of EPD for structural steel and flat steel.

### 3.3. Integration Of Life Cycle Thinking With Environmental Management Certification

The integration of life cycle thinking with ISO 14001 through the CARES SCS scheme has provided many benefits such as improved awareness of a broader range of sustainability issues and the ability to satisfy procurement requirements for BREEAM and green public procurement. It enables the SCS scheme to cover traceability, responsible sourcing and life cycle assessment, with the integrated provision of Cradle to Gate carbon footprints and verified EPD to EN 15804.

### 3.4. Expanding The Scope Of Life Cycle Thinking To Include Social And Human Rights Impacts

Expectations from construction sector clients and other stakeholders are growing, with CARES experiencing a corresponding increase in demands for data and information on labour conditions including trafficking and forced labour, community impacts and human rights. For a more complete understanding of sustainability impacts across construction product life-cycles, responsible sourcing issues are increasingly being considered within certifications in addition to environmental impacts.

### 3.5. Responsible Sourcing Certification

In the absence of comparable LCA data on environmental impact for steel, the principal point of differentiation used by the UK steel industry relates to responsible sourcing. The CARES SCS scheme has, as of 9<sup>th</sup> November 2018, provided 34 CARES approved suppliers with certification for responsible sourcing to BES 6001, BRE Global's Framework Standard for Responsible Sourcing Scheme for construction products<sup>xx</sup>. 27% of the companies certified to the standard, produce structural or reinforcing steel products and 23% concrete products<sup>xxi</sup>.

This responsible sourcing standard indicators cover management systems and environmental impacts as well as business ethics, health and safety, human rights, community and stakeholder engagement. Criteria within the CARES SCS scheme are aligned to those within BES 6001 to enable an assessment of compliance with the standard alongside audit of the other SCS scheme elements.

### 3.6. Modern Slavery And Labour Conditions

In 2017, BRE issued its Ethical Labour Standard<sup>xxii</sup>, driven in part by the introduction in the UK of the Modern Slavery Act 2015<sup>xxiii</sup>. Research analysing the Modern Slavery Act obligations – the publication of a statement on a company's approach to modern slavery - showed that the construction sector was some way behind sectors such as textiles/apparel and retail in approaches to due diligence and reporting on working conditions and labour issues<sup>xxiv</sup>.

Clauses within the CARES SCS scheme go some way to provide information relevant to aspects of alleviating modern slavery. Clauses are based on the Ethical Labour Initiative Base Code<sup>xxv</sup> and ILO Conventions<sup>xxvi</sup> and require policies, codes of conduct, grievance procedures and a management system which covers the issues and annual reporting of performance information in respect of labour conditions and practices including freedom of association, working hours, forced labour, equality and other human rights issues.

One of the challenges, common to the whole steel industry, and especially relevant to some developing countries, is understanding and evaluating information on modern slavery at stages of high risk, such as the primary sourcing of scrap and ore. The scheme scope currently requests management and performance data and information from scrap and ore suppliers and encourages them to do the same from their suppliers. However, it is limited in its ability to request data indirectly from all locations which are further upstream of the scrap and ore suppliers used by certified companies.

Leading construction and infrastructure companies are requesting data and information on human rights and community impacts as well as evidence of certification at the procurement stage<sup>xxvii</sup>. Anecdotal evidence gained through industry networks and committees indicates that the integration of such information into more widely accessible formats, for example, within building information modelling systems to enable the fuller context behind building components and systems to be traced, is nascent and tends to be limited to evidence of certification to responsible sourcing schemes.

#### 4. Steel In The Circular Economy

Steel, being reusable in many forms, as well as indefinitely recyclable without losing its properties, lends itself well to the principles of the circular economy. In Europe, recycling rates for steel arising from the demolition of buildings are high, as illustrated by the data from a survey of UK demolition contractors as shown in Table 1<sup>xxviii</sup>, though the recycling rates in other sectors vary – European packaging steel is only estimated to have a recycling rate of 74%<sup>xxix</sup>. Many by-products of the steel making process are also re-used in other applications, such as slag replacing natural aggregates in road building.

**Table 1:** Reuse and recycling rate for UK construction steel in 2012

Product	% Re-used	% Re-cycled	% Lost
Heavy structural sections/tubes	7	93	0
Rebar (in concrete superstructures)	0	98	2
Rebar (in concrete sub-structure or foundations)	2	95	2
Steel piles (sheet and bearing)	15	71	14
Light structural steel	5	93	2
Profile steel cladding (roof/facade)	10	89	1
Internal light steel (e.g. plaster profiles, door frames)	0	94	6
Other (e.g. stainless steel)	4	95	1
<b>Average (across all products)</b>	<b>5</b>	<b>91</b>	<b>4</b>

As the global demand for steel outstrips the availability of steel scrap, significant amounts of steel are made from primary raw materials, using the Blast Oxygen Furnace (BOF) or Direct Reduced Iron (DRI) processes. A circular economy requires materials to be kept at the highest level of utility within a circular system. The current tendency is that it is often reused or recycled to lower grade applications (depending on the quality of the material available for reuse and recycling).

One challenge for the steel sector is being able to sufficiently reduce production-based greenhouse gas (GHG) emissions in line with sector emission reduction pathways that are consistent with accepted science and legislation<sup>xxx</sup>. European steelmakers have reduced energy consumption and CO<sub>2</sub> emissions per tonne of steel by 50% since 1960, however, they are now close to the technically feasible minimum<sup>xxxi</sup> using existing technologies.

Research from the University of Cambridge<sup>xxxii</sup> and evidence from engagement with construction sector clients suggests that opportunities for emission reductions remain, by reducing demand, for instance, through product life extension, material substitution, or "light-weighting". Importantly, working with construction clients, encouraging their architects and specifiers to consider the right size and weight for the application rather than over-specifying can significantly reduce impacts. A recent World Economic Forum report on the construction sector stated that 'Better collaboration is needed not just between peer companies but also between companies of different types along the value chain. The current tendency is to push risk down the value chain instead of pulling innovations out of it'<sup>xxxiii</sup>.

Reusing components shows potential to reduce emissions particularly within construction. However, there are barriers to effective reuse including; verifying that the product or component retains its original properties, a lack of identification marking and a lack of a system to register each structural steel component so that its specification is known and can be compared to the reuse demand. Over time there is potential for systems such as building information modelling systems to support reuse. For reinforced concrete structures the barriers include the lack of an established supply chain, increased labour costs in deconstruction and the lack of reversible joining techniques<sup>xxxiv</sup>.

#### 5. Public Procurement Of Steel

##### 5.1. UK Government Procurement Of Steel

In December 2016, the UK Government issued its procurement policy note 11/16<sup>xxxv</sup>, highlighting the need, when procuring steel for major projects, to assess sustainability impacts of potential suppliers through the supply chain, including compliance with relevant health and safety and employment legislation, and to take account of these when procuring for public projects. The guidance applies to all central government departments, their executive agencies and non-departmental public bodies. Clause 29 within the PPN, highlights certifications such as BES 6001 and equivalents like the CARES SCS scheme, as ways suppliers can demonstrate commitment, active management and performance in relation to social and environmental impacts across the life-cycle.

Major UK public infrastructure projects like High Speed 2 (HS2), the organisation developing and promoting the new high-speed rail network in the UK, are using a 'balanced scorecard' approach which takes account of economic, social or environmental considerations in procurement design, technical specifications, award criteria and contract performance conditions linked to the subject matter of the contract. This is in line with procurement policy note 09/16<sup>xxxvi</sup> and is another driver for the provision of quality LCA and social data and information in construction materials certifications.

##### 5.2. Other Green Public Procurement For Construction And Its Use of LCA

Other countries have gone much further than the UK in requiring and using LCA data to inform procurement and funding of construction projects:

In the Netherlands, Rijkswaterstaat (RWS) is the Department of Public Works within the Dutch Ministry of Infrastructure and the Environment, which manages the main waterways, coastal water systems and motorways in the Netherlands. RWS aims to use green public procurement to challenge and encourage contractors and suppliers to deliver of sustainable working practices, green materials, energy efficiency and reduced carbon emissions. To achieve these objectives, RWS uses functional specifications for infrastructure projects, together with tools to gauge bidders' commitments to reducing carbon emissions within projects and to assess the life cycle environmental impacts of the materials they propose to use. These commitments and impacts are monetised within the award phase of the tender and quoted prices are adjusted accordingly.<sup>xxxvii</sup>

Additionally, in the Netherlands, the "Bouwbesluit 2012" (Dutch Building Code 2012), requires in article 5.9 that the greenhouse gas emissions and abiotic depletion associated with construction materials used for all new offices and housing must be quantified and reported using an agreed LCA methodology and approved Building LCA tools which comply with EN 15804 and EN 15978<sup>xxxviii</sup>. Over time it is expected that benchmark limits on these impacts will be set<sup>xxxix</sup>.

In Germany, the Federal Government uses BNB to assess the sustainability of all new and refurbished public buildings and this includes a Building LCA accounting for a significant part of the credit. The Government has provided the Ökobau.dat database of EPD and generic LCA data for construction products used in Germany and eTool to undertake the Building LCA, and buildings must achieve target levels to obtain credits, and must achieve a specific assessment score to obtain funding<sup>xl</sup>.

In Norway, the Norwegian Public Roads Administration (NPR) has over many years established procedures for impact assessments of road transport projects using cost-benefit analysis (CBA) as a central part of impact assessments to assess whether the project is viable. The NPR uses a tool, EFFEKT, developed by Sintef, which includes a full LCA of the project to undertake the CBA.<sup>xli</sup>

In France, the Ministry of Environment and Ministry of Housing have introduced a Regulation, "Transition Énergétique pour la Croissance Verte (TECV)<sup>xlii</sup> which introduces the concept of "Energy



positive and low carbon" buildings and sets out the intention that all new buildings will be low carbon and energy positive from 2018. The definition of "low carbon" includes the impacts from construction materials assessed using an approved a building LCA methodology<sup>xliii</sup> complying with EN 15978.

## 6. Lessons Learnt From The Integrated Provision Of EPD, Management System And Responsible Sourcing Certifications

Addressing the need for additional assurance in public and private sector procurement, this paper provides a manufacturing sector's perspective on the lessons learnt from its integrated approach to the production of EPD alongside product, management system and responsible sourcing certifications.

- Government and private sector expectations about the quality and availability of EPD and social data are growing. This is matched by the more than 70 EPD available for structural and reinforcing steel across Europe, covering both manufacturer specific and generic trade association declarations.
- Public procurement of infrastructure and buildings is increasingly focussing on the environmental and social impacts associated with the construction materials used and their supply chains.
- Regulation on the reporting of impacts associated with construction materials at the building level has been in place in the Netherlands since 2012 and France has introduced a regulation in Summer 2017. In both instances, maximum values are expected to be imposed in the future.
- Linking Life Cycle assessment and building information modelling systems will provide benefits in simpler assessment of LCA impacts associated with construction materials.
- Construction materials assessment should not be limited to LCA but should also include data and information on human rights, social and community impacts.
- Collaborations and engagement across the construction and building materials industries is key to achieving environmental and social performance improvements throughout the value chain
- Use of this information within certifications is one way to demonstrate compliance with and performance management improvements across the construction product life-cycle.

## References

- <sup>i</sup> <<http://www.ukcares.com/certification/steel-for-the-reinforcement-of-concrete>> Dated January 2017.
- <sup>ii</sup> <[http://www.ukcares.com/downloads/general/SCS%20Manual\\_Jan2017.pdf](http://www.ukcares.com/downloads/general/SCS%20Manual_Jan2017.pdf)> Dated January 2017.
- <sup>iii</sup> ISO, BS EN ISO 9001:2015 Quality Management Systems. Requirements, BSI, 2015, London, UK.
- <sup>iv</sup> ISO 45001:2018 Occupational health and safety management systems, ISO, Geneva, Switzerland
- <sup>v</sup> ISO, BS OHSAS 18001:2007 Occupational health and safety management systems. BSI, 2007, London, UK.
- <sup>vi</sup> ISO, BS EN ISO 14001:2015 Environmental management systems. BSI, 2015, London, UK.
- <sup>vii</sup> <<http://fidic.org/sites/default/files/World%20Green%20Building%20Trends%202016%20SmartMarket%20Report%20FINAL.pdf>> Dated 13 March 2017.
- <sup>viii</sup> Laplace Conseil analysis based on data from IEA, WorldSteel etc, <<https://www.oecd.org/sti/ind/Item%209.%20Laplace%20-%20Steel%20Energy.pdf>> Dated January 2017.
- <sup>ix</sup> Intergovernmental Panel on Climate Change, Special Report on the impacts of global warming to 1.5%, World Meteorological Organization/United Nations Environment Programme, Geneva, Switzerland, Sept 2018.
- <sup>x</sup> PWC, Materials Gains in Sustainability, 2001, London, UK.
- <sup>xi</sup> <<http://www.worldsteel.org/en/dam/jcr:6a222ba2-e35a-4126-83ab-5ae5a79e6e46/LCA+Methodology+Report.pdf>> Dated January 2017.
- <sup>xii</sup> CEN, BS EN 15804:2012+A1:2013 Sustainability of construction works. Environmental product declarations. Core rules for the product category of construction products, BSI, London, UK.
- <sup>xiii</sup> <<http://ibu-epd.com/en/epd-program/published-epds/>> Dated 13 March 2017.
- <sup>xiv</sup> <<http://www.greenbooklive.com/search/companysearch.jsp?id=272&sectionid=0&partid=10028&companyName=&addressPostcode=&productName=&certNo=>>> Dated 13 March 2017.
- <sup>xv</sup> <[inies.fr](http://inies.fr)> Dated 13 March 2017
- <sup>xvi</sup> <[https://www.ukcares.com/downloads/general/CARES\\_Sustainability\\_Report\\_2017.pdf](https://www.ukcares.com/downloads/general/CARES_Sustainability_Report_2017.pdf)>
- <sup>xvii</sup> <<http://www.gabi-software.com/software/gabi-envision/>> Dated January 2017.
- <sup>xviii</sup> <[http://www.greenbooklive.com/filelibrary/EN\\_15804/Scheme-Document-SD207-Rev4.0.pdf](http://www.greenbooklive.com/filelibrary/EN_15804/Scheme-Document-SD207-Rev4.0.pdf)> Oct. 2015
- <sup>xix</sup> <[http://www.greenbooklive.com/filelibrary/EN\\_15804/EPD/BREG-EN-EPD-000125.pdf](http://www.greenbooklive.com/filelibrary/EN_15804/EPD/BREG-EN-EPD-000125.pdf)> Dated 1 Dec. 2016

- <sup>xx</sup> BES 6001 is available from [http://www.greenbooklive.com/filelibrary/responsible\\_sourcing/BES-6001--Issue-3.1.pdf](http://www.greenbooklive.com/filelibrary/responsible_sourcing/BES-6001--Issue-3.1.pdf) > Accessed March 2017
- <sup>xxi</sup> Sourced from < <https://www.bre.co.uk/page.jsp?id=3569#Top> > Dated 9<sup>th</sup> Nov 2018.
- <sup>xxii</sup> BES 6002 is available from <<http://www.greenbooklive.com/filelibrary/ELS/BES-6002-Ethical-Labour-Sourcing-Standard.pdf>> Accessed March 2017
- <sup>xxiii</sup> <<http://www.legislation.gov.uk/ukpga/2015/30/contents>> Accessed November 2018.
- <sup>xxiv</sup> Lake et al. Corporate Leadership on Modern Slavery. How have companies responded to the UK Modern Slavery Act one year on? Ethical Trading Initiative and Ashridge Hult International Business School, (2016)
- <sup>xxv</sup> <<http://www.ethicaltrade.org/resources/eti-base-code>> Dated January 2017.
- <sup>xxvi</sup> <<http://ilo.org/global/standards/introduction-to-international-labour-standards/conventions-and-recommendations/lang--en/index.htm>> Dated January 2017.
- <sup>xxvii</sup> E.g. see <<http://www.skanska.co.uk/48d178/siteassets/supply-chain/skanska-sustainable-procurement-policy.pdf>> Dated January 2017.
- <sup>xxviii</sup> Briefing: Reuse and recycling rates of UK steel demolition arisings, Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Engineering Sustainability. Sansom, M. and Avery, N. Volume 167 Issue 3, June 2014, pp. 89-94
- <sup>xxix</sup> <<http://www.eurofer.eu/Sustainable%20Steel/Steel%20Recycling.fhtml>> Dated March 2017.
- <sup>xxx</sup> E.g., Sectoral Decarbonization Approach (SDA): A method for setting corporate emission reduction targets in line with climate science, Carbon Disclosure Project, World Resources Institute and WWF, v1 May 2015.
- <sup>xxxi</sup> Steel, the Backbone of Sustainability in Europe, EUROFER, Brussels, March 2016
- <sup>xxxii</sup> Options for Achieving a 50% Cut in Industrial Carbon Emissions by 2050, J. Allwood, J Cullen, R Milford, University of Cambridge, Environ. Sci. Technol. (2010) 44, 1888-1894
- <sup>xxxiii</sup> Shaping the Future of Construction: A Breakthrough in Mindset and Technology, WEF, May 2016
- <sup>xxxiv</sup> Options for Achieving a 50% Cut in Industrial Carbon Emissions by 2050, J. Allwood, J Cullen, R Milford, University of Cambridge, Environ. Sci. Technol. (2010) 44, 1888-1894
- <sup>xxxv</sup> <<https://www.gov.uk/government/publications/procurement-policy-note-1116-procuring-steel-in-major-projects-revised-guidance>>
- <sup>xxxvi</sup> <<https://www.gov.uk/government/publications/procurement-policy-note-0916-procuring-for-growth-balanced-scorecard>>
- <sup>xxxvii</sup> <[http://ec.europa.eu/environment/gpp/pdf/news\\_alert/Issue36\\_Case\\_Study78\\_Rijkswaterstaat.pdf](http://ec.europa.eu/environment/gpp/pdf/news_alert/Issue36_Case_Study78_Rijkswaterstaat.pdf)> Dated November 2013.
- <sup>xxxviii</sup> BS EN 15978:2011 Sustainability of construction works - Assessment of environmental performance of buildings - Calculation method, BSI, London, UK.
- <sup>xxxix</sup> <[https://www.milieudatabase.nl/imgcms/Brochure\\_Assessment\\_Method\\_Environmental\\_Performance\\_TIC\\_versie.pdf](https://www.milieudatabase.nl/imgcms/Brochure_Assessment_Method_Environmental_Performance_TIC_versie.pdf)> Dated March 2017.
- <sup>xl</sup> < [http://www.oekobaudat.de/fileadmin/downloads/SB14\\_LCAwithinBNB.pdf](http://www.oekobaudat.de/fileadmin/downloads/SB14_LCAwithinBNB.pdf)> Dated October 2014.
- <sup>xli</sup> <<https://abstracts.aetransport.org/paper/download/id/5023>> Accessed March 2017
- <sup>xlii</sup> <<http://www.developpement-durable.gouv.fr/loi-transition-energetique-croissance-verte>> Dated March 2017
- <sup>xliii</sup> <<http://www.batiment-energiecarbone.fr/documents/referentiel-energie-carbone-methode-evaluation.pdf>> Dated March 2017



## Metal Sektöründe Çalışan Sağlığı ve Güvenliği için Davranış Odaklı Yaklaşımlar: Birlikte Sağ Salim Hareketi

*Behavioral Based Safety Approaches to Employee Health and Safety in Metal Industry: Metem Safe and Sound Together Movement*

İdil Işık<sup>1</sup>, Elif Sungur<sup>2</sup>, Muratcan Ocaktan<sup>3</sup>, Müzeyyen Gencer<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Bilgi Üniversitesi, <sup>2</sup>Maltepe Üniversitesi, <sup>3</sup>METEM • Türkiye

### Özet:

İşletmelerde güvenlik performansını iyileştirmek için 3 alanda tutarlı hareket gereklidir: teknik yönler, güvenlik yönetimi, insan ve organizasyona ilişkin faktörler. [1] Yazında insan ve organizasyona ilişkin faktörler güvenlik kültürü kavramı ile açıklanır. "Kültür" bir değerler toplamı olarak, yönetim-organizasyon kavram ve tekniklerinin uygulama ve başarısını etkilemektedir. Koçel'e göre; tüm yönetim kavram ve tekniklerin uygulanması, güvenli de dahil, örgüt kültürü ile birlikte değerlendirilmelidir. [2] Cameron'un [3] ortaya koyduğu "Pozitif örgüt kültürü", işletmelerde çalışanın kendini değerli hissettiği, insana yaraşır iş içerikleri, süreçleri, ilişki ağları ve fırsatlarını öne çıkaran bir yaklaşımdır.

Bildiride Cameron'un yaklaşımını temel alan önleyici ve geliştirici bakış açısını yerleştirmeyi, insan ve organizasyona ilişkin faktörleri pozitif örgüt kültürü modeli çerçevesinde davranışa odaklı yaklaşımla ele almayı önceleyen, metal sektöründe çalışan sağlığı ve güvenliğine yaklaşımı yeniden şekillendirecek "Birlikte Sağ Salim Hareketi" adını verdiğimiz çalışmanın yapısal özellikleri, teorik arka planı, dayanakları ve uygulama örnekleri sunulmaktadır.

### 1. Giriş

Eğer bir işletmede meslek hastalıkları, kazalar ve kayıplar yaşıyorsa bu işletmede negatif yönde bir sapma var demektir. "Birlikte Sağ Salim Hareketi"nde önerimiz; kazasızlığın ötesine bakabilmek, önleyici anlayışla çalışmalar yapmak ve güvenli davranışlara odaklanabilmektir. Bu bakış açısı yaygın, alışkın olduğumuz bakış açısından farklıdır.

Yaygın bakış açısını eleştiren Thebaud-Mony [4] iş hakkındaki bilimsel ve politik diskurun, işi ekonomik ve sosyal maliyet boyutlarına indirgediğini, çalışanların sağlığının ekonomik akılcılık meselesi olarak görüldüğünü ileri sürer. "İş sağlığı"ndan bahsetmekle "çalışan sağlığı"ndan bahsetmenin aynı anlamı taşımadığına, iş sağlığının soyut bir gerçek olarak güvenlik kurallarının ve düzenlemelerinin nesnesi olduğunu, bu konudaki eksiklerin "insan kusuru" (human failure) ve örgütsel veya teknik işleyişteki "arıza"ya gönderme yaptığını, her iki halde de teknokratik bir analizle durumun iyileştirilmesi için bir "çözüm" bulunmasının sağlandığını belirtir. Saptamayı doğrulayan göstergeler hem yazında, hem endüstride çalışan sağlığı ve güvenliği için emek verenler tarafından dile getirilmektedir; "teknik olarak pek çok iyileştirme yapılmasına rağmen sahada hala riskli davranışlar

görüyoruz, "çözüm"ü bulamıyor, "0" kazaya bir türlü ulaşamıyoruz, neden böyle?"

### 2. Çalışan Sağlığı ve Güvenliği Yaklaşımları

Genellikle bir işletmede çalışan sağlığı ve güvenliği için yapılanlar şunlardır: Uzmanların (Üretim, Sağlık Emniyet Çevre vb.) ve operasyonel personelin oluşabilecek durumları öngörmesiyle kurallar oluşturulur. Oluşabilecek riskli durumların olası en iyi şekilde karşılanması ve güvenlik bariyerlerinin uygulanması sağlanmaya çalışılır. Bu tip çalışmalar kural tabanlı güvenlik (Rule based safety) olarak sınıflandırılır. Kural tabanlı güvenliğin odak noktasında kurallara ve prosedürlere uygun davranmak yer alır.

İnsan-davranış odaklı güvenlik (Managed safety) yaklaşımında ise üretim sahasında görevli işçilerin bilgi ve anlayışları gereği oluşan risklerle ilgili durumları ayırt ederek gerektiği şekilde tepki vermesi sağlanmaya çalışılır. İnsan-davranış odaklı güvenliğin odak noktasında bir durumla karşılaştığında önleyici ve uygun bireysel ya da topluca sorumluluk almak bulunmaktadır. İnsan-davranış odaklı güvenlik, çalışanlar tarafından kurallardan benimsenmesini içerebildiğinden, bu iki yaklaşım karşıt değildir. Örneğin; kural tabanlı güvenliğe ait kurallar, insan-davranış odaklı çalışmalarda elde edilen deneyime dayanarak da değişebilir. [1]

#### 2.1 Birlikte Sağ Salim Hareketi'nin İlkeleri

2000'li yıllardan başlayarak psikoloji bilimi alanından araştırmacılar, insan davranışlarının, duygu ve düşünce süreçlerinin "yolunda giden" taraflarına odaklandılar. Örneğin, psikolojik sağlık sorunlarının dinamiklerini anlamaya çalışan araştırmacılar, nasıl olup da aynı koşullar altında başka bir bireyin sağlıklı kalabildiğini sorguladılar. Bu yaklaşım iş yaşamına yansıtıldığında, performans ya da motivasyon düşüklüğünün nedenlerini anlama çabasının yanı sıra, yüksek performans ve motivasyon ile çalışan kişilerin özellikleri ve bu olumlu durumu yaratan koşulları anlama çabası ön plana çıktı. Yaklaşımı daha da özelleştirip çalışan sağlığı ve güvenliği (ÇSG) alanına uyarladığımızda, riskli iş davranışlarının nedenlerinden ziyade ya da bunlara ek olarak, güvenli davranışların dinamikleri, kaza deneyimi yaşamamış kişi ve kurumların özelliklerinin sistematik analizi altı çizilen bir konu oldu. Cameron bu yaklaşımı araştırmalarına temel aldı ve pozitif örgüt kültürünü arzulanan iş davranışlarının tetikleyicisi olarak tanımladı. Bu yaklaşımdan hareketle, Metalurji Mühendisleri Odası

Eğitim Merkezi (METEM) bünyesinde adını "Birlikte Sağ Salim Hareketi" olarak verdiğimiz bir seferberlik ile metal sektöründeki işletmelerde ÇSG için pozitif liderlik, pozitif iletişim ve pozitif davranış örüntülerini oluşturmak, dolayısıyla "pozitif örgüt kültürü"nü ÇSG için bir dayanak haline getirmek üzere yola koyulduk. "Ötesine geçmek" mottosu ile kurgulanan bu seferberlik, metal sektörü işletmelerindeki örgüt kültürünün pozitif ÇSG iletişimi, liderliği ve davranışları ile bezenmesi için bir model olarak sektöre paylaşılmaya başlandı.

Birlikte Sağ Salim Hareketi, Nisan 2018'de yayınlanan ve OHSAS 18001'in yerini alacak olan ISO 45001 [5] İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sisteminin "örgütün bağlamı" vurgusunu çerçeve olarak, metal sektöründeki işletmeler için pozitif liderlik, pozitif iletişim ve pozitif davranış örüntülerinin oluşturulmasını ve ÇSG için pozitif bir bağlam yaratmayı hedeflemektedir. Pozitif liderlik; üst yönetimin ÇSG taahhüdü, çalışanın esenliği ve psikolojik sağlığı, çalışanın ÇSG süreçlerine katılımını sağlayan yaklaşımları ve ortak hedeflere sahip topluluklar haline gelmeyi içeren bir süreçtir. Pozitif iletişimden kast edilenler; olumlu dil ve kişileri etiketlememe, kötü muameleye sızır tolerans, hatalardan öğrenme ve takdir etmektir. Pozitif davranış ise çalışanın ÇSG açısından güçlü yönlerini ödüllendirme/pekiştirme, yapıcı, davranışa odaklı geribildirim verme/alma ve destekleyici iletişim kurabilme yetkinliklerini içermektedir.

"Birlikte Sağ Salim Hareketi" Pozitif liderlik, iletişim ve davranıştan hareketle ISO 45001 yönetim sistemini de destekleyebilecek çalışmalarını aşağıdaki hedefler doğrultusunda Metalurji sektöründe yaygınlaştırmaya odaklanmaktadır:

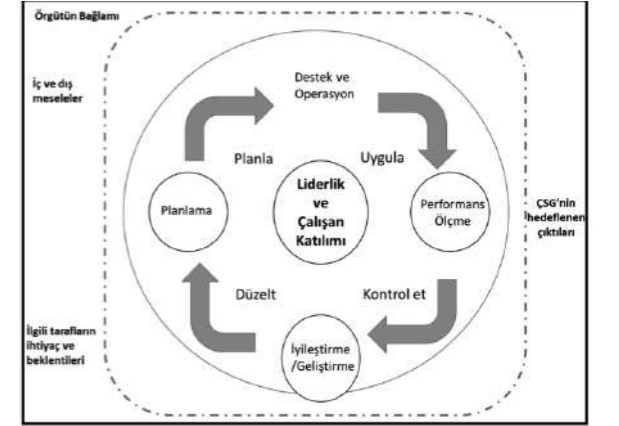
- ÇSG'yi «kurum kültürünün temel bir bileşeni» haline getirmek,
- ÇSG'yi kurumsal süreçlerde «pozitif kurum kültürü» değerleri ile işleyen bir sistematığe dönüştürmek,
- Sektörel iş yapış biçimlerinde «modern yönetim ve liderlik» ilkelerini yerleştirmek,
- Yöneticilere «insana yaraşır iş ve çalışma ortamı» yapılandırılmalarını sağlayacak araçlar sunmak,
- Kurumsal yapı içinde ÇSG alanında çalışan profesyoneller ve uzmanların «güçlendirilmesini» sağlayacak eğitim programları ve araçlar geliştirmek,
- Uzun soluklu sektörel ÇSG seferberliği, bir hareket başlatmak.

Şekil 1'de Birlikte Sağ Salim Hareketinin ISO 45001 yönetim sistemi ile ilişkisi sunulmaktadır.

#### 2.2. Yapılan Uygulamalar

Birlikte Sağ Salim Hareketi kapsamında Metal sektörünün önde gelen bazı kuruluşlarında 2018-2019'da saha araştırmaları ve eğitim çalışmaları ile METEM ev sahipliğinde genel katılıma açık eğitim çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmaların sonuçları ilgili kuruluşlara rapor edilmiş, saha uygulamaları için planlama aşamasına gelinmiştir. 2019-2020 döneminde sektöre duyurularak genel katılıma açık eğitimler, bölgesel eğitim çalışmaları ve ilgili kongrelerde sunumlar gerçekleştirilecektir

### Şekil 1 Birlikte Sağ Salim Hareketi ISO 45001 İlişkisi



Uygulamalar sırasında elde edilen bulgular, sektörün davranış odaklı güvenlik yönetimi konusuna yönelik yüksek düzeyde bilgi ve uygulamalarda desteğe ihtiyaç duyduğunu göstermektedir.

### 3. Sonuç

İş kazası olmamasının "normal", çalışırken zarar görmemenin "çalışan hakkı" olduğunu, insana yaraşır işin ancak böyle sağlanabileceğini düşünmekteyiz. Bu paradigma değişimi ve başarının ne şekilde sağlanacağı ÇSG alanının en önemli tartışması konumundadır. Eduardo Blanco-Munoz, 2015 yılında başkanlığını yürüttüğü Uluslararası Davranış Odaklı Güvenlik Konferansı'nın (Behavioral Based Safety-BBS) ardından kaleme aldığı yazısında, konferansta ele alınan konuların "davranış odaklı güvenlik yönetimi sonrası" (Post-BBS) söylemler içerdiğini belirtmiştir. Artık ödül-cezadan oluşan klasik davranışsal örüntüleri takip etmeyerek liderleri güvenlik kültürü ve değerleri ile donatma zamanı geldiğine vurgu yapmıştır [6]. "Birlikte Sağ Salim Hareketi" metalurji sektörü için pozitif liderlik, pozitif iletişim ve pozitif davranış kültürü konularında işletme yönetiminin sağlık ve güvenlik kültürüne ilişkin taahhüdünü ön koşul almaktadır. Çalışanların işin öznesi olabildiği bir çalışma ortamında, sadece rakamlara odaklanmayan, sağlık ve güvenlik için süreklilik ve sürdürülebilirliği garantileyen bir yaklaşım önermektedir.

### Referanslar

- Institute for an Industrial Safety Culture (ICSI). (2018). Safety Culture From Understanding to Action. Toulouse: Institut pour une culture de sécurité industrielle.
- Koçel, T. (2001). İşletme Yöneticiliği. İstanbul: Beta.W.
- Cameron, K., "Positive Leadership: Strategies for Extraordinary Performance", Berrett-Koehler Publishers, 2012.
- Thebaud-Mony, A. (2012). Çalışmak Sağlığa Zararlıdır. İstanbul: Ayrıntı.
- TS ISO 45001:2018, "İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemi- Kullanım Kılavuzu ile Şartlar", <http://www.obey.com.tr/dosya/yukle/2018/03/Turkce.pdf>, erişim: Haziran 2019
- Blanco-Munoz, E. "Can We Measure a Safety Culture?", <https://www.linkedin.com/pulse/can-we-measure-safety-culture-eduardo-blanco-munoz/?trk=v-feed>, er. Nisan 2016

**İSDEMİR, Entegre Demir Çelik Tesisi İş Sağlığı ve Güvenliği Uygulamaları ve Sonuçları***Occupational Health and Safety Practices and Results of Integrated Iron and Steel Plant (İSDEMİR)*

Cumhur Kocaman

**İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. • Türkiye**

3 Ekim 1970 tarihinde Türkiye'nin güneyinde Akdeniz kıyısında, İskenderun'a 17 km mesafede, Payas (Yakacık) yöresinde kurulan, OYAK Maden Metalürji Grubu şirketlerinden biri olan İsdemir, ülkemizin kuruluş tarihi itibari ile üçüncü, 5.800.000 ton/yıl sıvı ham çelik üretim kapasitesine göre en büyük ve Türkiye'nin uzun ve yassı ürün üreten tek entegre demir ve çelik fabrikasıdır.

İsdemir sürdürülebilir İSG kültürünün sağlanması için, organizasyonun tamamında, yaklaşım, algılama, davranış, taahhüt boyutunda tepeden tırnağa hissedilen, organizasyonun her noktasına etki eden yerleşik davranışlar-algılar bütünü oluşturmaya çalışmıştır. Proaktif İSG yaklaşımının yerleşmesi için kavramın altın ulusal/uluslararası kabul gören uygulamalar ve spesifik yöntemler ile desteklemiştir. Özellikle güvensiz davranışların değiştirilmesi güvenli davranışların pekiştirilmesi ile ilgili olarak eğitim ve sonrasında gözlem ve geri bildirim ile davranış değişikliği üzerinde de çalışmalar yapmış olup, Bradley eğrisinde de gösterildiği gibi çalışanların, birbirlerini emniyetsiz yaklaşımlar ve çalışmalar konusunda uyardıkları, bir kültür oluşturulmaya çalışılmıştır.

İsdemir'de bu çerçevede yapılan çalışmalar sonucunda; yaklaşık 5-10 sene içerisinde güvenlik kültürünün sağlanabileceği ve dolayısıyla % 80-90 oranında kalıcı iyileştirme sağlanabileceği, hatta devamında ise proaktif ve sürdürülebilir bir İSG yaklaşımının "0" kaza hedefine ulaşılabileceği gösterilmiştir.

**ABSTRACT**

On October 3, 1970 south of the Mediterranean coast of Turkey, Iskenderun 17 km from the Payas (Yakacık) established in the region, OYAK Mining Metallurgical Group İsdemir one of the companies, third at the date of the establishment of our country, 5.8 million tons / year of liquid crude steel Turkey's largest and by the production capacity is only integrated iron and steel plants producing long and flat products. In order to ensure a sustainable OHS culture, İsdemir has tried to form a set of established behaviors-perceptions that affect every aspect of the organization in the approach, perception, behavior and commitment dimension throughout the organization. It has supported the concept under the national / internationally accepted practices and specific methods for the establishment of the proactive OHS approach. In particular, modifying insecure behaviors has been studied on reinforcing safe behaviors, followed by observation and feedback and behavior change.

As a result of the work carried out in this framework İsdemir; It has been shown that the safety culture can be achieved in approximately 5-10 years and thus 80-90% permanent improvement can be achieved and even a proactive and sustainable OHS approach can be achieved with the "0" accident target.

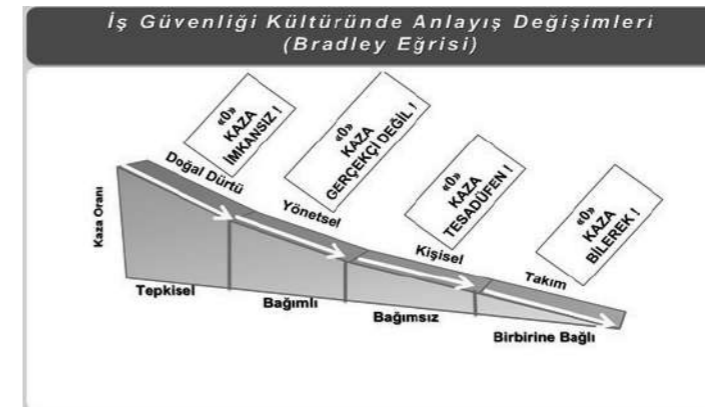
**1. Giriş****a. İSG İklimi ve Kültürü Oluşturma**

Organizasyonlarda istenen kazasızlık oranlarının yakalanabilmesi, emniyetli üretimin yapılması İSG kültürünün sağlanması ile oluşur. İSG kültürü, organizasyonun her noktasında, tepeden tırnağa bireysel ve grup

Diğer bir yaklaşım ise DuPont İSG yaklaşımıdır (Şekil 1). Bu İSG yaklaşımında mükemmelliğin sağlanabilmesi kültürel, tesisler, çalışan ve teknoloji olmak üzere dört boyuttan ve 22 elementten oluşan sistemden söz edilmektedir. DuPont sisteminde, 22 elementten oluşan yaklaşım için hem İSG liderliği hem de Operasyonel Mükemmelliğin birlikte yürütülmesi gerektiği belirtilmiştir. "0" kaza hedefine ulaşılabilmesi için özünde yönetimin taahhüdüne ilaveten kültür, teknoloji, tesis ve çalışan bazlı faktörlerin önemi vurgulanmıştır. DuPont'un İSG yaklaşımında mükemmellik için kültür değişimi ile ilgili Bradley eğrisinde (Şekil 2) reaktif kategoride İSG konusu İş Sağlığı ve Güvenliği ile ilgili yöneticiye delege edilmiş durumdadır.



Şekil 1. DuPont İSG yaklaşımı



Şekil 2. DuPont Bradley Eğrisi, kültür değişimi

Yönetimin gerçek anlamda yaklaşımı, katılımı ve çalışanların algısı yetersiz düzeydedir. Bağımlı (Dependent) kategoride ise, yönetimin taahhüdünde az miktarda olumlu artış olmakla birlikte kural ve prosedürel yaklaşım ağırlık kazanmaya başlamıştır. İSG eğitimleri artış göstermiştir. Bağımsız (Independent) kategoride ise, İSG yaklaşımı yavaş yavaş içselleşmeye başlamıştır.

durumdadır. Alışkanlıklar, iş yapış teknikleri iyileşme göstermeye başlamıştır. Interdependent (karşılıklı bağımlı) olarak tanımlanan evrede ise, çalışanlar birbirini emniyetli yaklaşımlar ve çalışmalar için uyardırmaya başlamış ve İSG konusunun işlerinin bir parçası haline

İSG ikliminin gelişimi sonucu kaza sıklık değerinde düşüş olduğu görülmektedir. Örneğin, Dünyadaki demir çelik üretiminin yaklaşık %80'ini karşılayan şirketlerin üye olduğu, Dünya Çelik Birliği (World Steel Association), bireysel ve organizasyonel bazda İSG yaklaşımının nasıl olması gerektiğini öngören bazı prensipler belirlemiştir ve aşağıdaki bir görselle ilan edilmiştir.

Bu prensipler;

Dünya Çelik Birliği (WSA) İSG Prensiplerinin her bir maddesinin ilgili kişilerdeki (yönetici ve çalışan) geliştirilecek özellikleri aşağıda verilmiştir .

1. Tüm iş kazaları önlenabilir ve önlenmelidir. (değerler)
2. Yönetim, İSG performansından sorumlu olup hesap verebilirdir. (liderlik)
3. Çalışanların katılımı ve eğitimi esastır. (davranışsal)
4. Emniyetli çalışma, istihdamın gereğidir. (davranışsal)
5. İSG de mükemmel yaklaşımlar başarılı iş sonuçları almanızı sağlar. (liderlik)
6. İSG, tüm iş yönetim prosesine entegre edilmelidir.(liderlik)

Prensiplerde de görüleceği üzere, 2-5-6 no'lu maddeler aslında, İSG liderliği konusu ve bu konuda yapılan çalışmaların getirileridir. İSG kültürünün oluşumunda İSG iklimin değişimi kadar kalıcı davranış değişikliğinin sağlanması ve organizasyonel yaklaşımın yerleşmesi için İSG liderliği ve "rol model" olma kavramı önem arz etmektedir.

## 2. İSG SİSTEMATİKLERİ

İSG bilincini yaymak, farkındalık oluşturmak için, saha çalışmaları ve anket çalışmaları gerçekleştirildi. Ayrıca ramak kaldı raporları, kaza raporları, kaza istatistikleri, uygunsuzluk raporları, güvenlik tur tespitleri, saha turları, kaza etütleri, kaza paylaşımları, haberli güvenlik turları, davranış odaklı güvenlik eğitimleri, kişisel koruyucu malzeme komisyon çalışmaları ve 5S çalışmaları yapılmıştır. Ayrıca yapılan çalışmaların tespiti, takibi ve raporlanması için sektöre özgü yazılımlar kullanılmıştır.

Demir çelik sektöründe İSG kültürünün yaygınlaşmasında ve güvenli davranış sergilenmesinde; şirketlerin yaklaşımı ve önceliklerinin önemi, İSG sistematiklerinin önemi, proaktif İSG yaklaşımı için çalışanların katılımının sağlanması, şirket içi iletişim olanaklarının efektif kullanımı konuları üzerinde çalışılmıştır.

Konu ile ilgili "İSG Liderliği"; Yönetimin İSG konusunda rol model olarak kendini adanmışlığını göstermesidir. "Üst Yönetimin Yaklaşımı", "Organizasyonel Öncelikler/Değerler", "Düzeltilici/Önleyici Faaliyetler", "Bradley Eğrisi' başlıkları irdelenmiştir. Ayrıca İSG sistematikleri irdelenmiştir.

- İSG Eğitimleri
- DOGY Sistematığı

- Kaza Paylaşımları
- Acil Durum Uygulamaları
- KKD (Kişisel Koruyucu Donanım) Uygulamaları
- HGT (Haberli/Habersiz Güvenlik Turları)
- 5S Temizlik ve Düzen Uygulamaları
- Can Kardeş Uygulaması
- İSG Kurulları
- Çalışma İzinleri
- Ramak Kaldı Olaylarının Raporlanması Çalışmaları
- Kaza İnceleme
- İSG Performansı ve Değerlendirme
- İstatistikler
- Sonuç ve değerlendirme

### 2.1. İSG EĞİTİMLERİ

#### İSDEMİR Eğitimleri

- Temel İş Güvenliği
- Temel İş Sağlığı
- Yangından Korunma ve Önleme
- Gaz Emniyeti ve Ekipmanlarının Kullanımı
- Malzemeyi Sapanla Doğru Kaldırma Teknikleri
- Yüksekte Çalışma
- Acil Durum Yönetim Sistemi (İ-ADYS)
- İlk Yardım (Sertifika)
- Risk Değerlendirmesi ve Analizi
- İş Güvenliği Sistematikleri
- Radyasyon Güvenliği

#### ➤ Firma Eğitimleri

- İsdemir İş Yerine Özgü Riskler
- Gaz Emniyeti ve Ekipmanlarının Kullanımı
- Yönetim Sistemleri Bilinçlendirme
- İş Makinası Operatörleri Yaya ve Yol Güvenliği

## 2.2. DOGY (Davranış Odaklı Güvenlik Yönetimi)

Çalışan davranışının geliştirilmesi, İSG yaklaşımının iyileştirilmesi kapsamında, çalışanların İSG bilincinin geliştirilmesi, çalışanın algısını iyileştirerek kalıcı emniyetli davranış değişikliğini sağlayarak farkındalıklarının artması ve dolayısıyla iş kazalarının azaltılması hedeflenmiştir.

Aşağıdaki konular çerçevesinde gerçekleştirilen Davranış Odaklı Güvenlik Yönetimi eğitimleri kapsamında çalışanlara bahsi geçen konularda örnek verilen aşağıdaki modüllerde eğitimlerin saha uygulamalarına etkisinin geliştirilmesi hedef alındı. Eğitimler;

- Tozların zararlı etkilerinden korunma
- Sıcak ve sıcaktan korunma
- Tehlikeli gazlardan korunma
- Ağır yük kaldırma ve belin korunması
- İş kazalarından korunma
- Kimyasallar ve tehlike iletişimi
- Kişisel koruyucu ekipmanlar
- Gürültü ve işitmenin korunması
- Ham kok gazından korunma
- Azot, oksijen ve argon gazından korunma
- Spiral ile güvenli çalışma
- Seyyar merdivenin güvenli kullanımı
- Çevrenin bilinçli kullanımı
- El aletlerinin güvenli kullanımı
- Buharın güvenli kullanımı
- Elektrik enerjisi kesme/verme

Çalışanların İSG yaklaşımının gelişimi ve iyileştirilmesi kapsamında bu çalışmalar önem arz etmekte olup iş kazalarının azaltılmasında kullanılan faydalı olduğu değerlendirilen sistematlere dendir.

Emniyetsiz davranışlar eğitilmiş ve seçilmiş DOGY gözlemcileri tarafından gözlemlendi. Gerekiyorsa fotoğrafı veya videosu çekildi. Bu sayede, emniyetsiz davranışın ne olduğu ile ilgili görsel verilerin derlenmesi ve incelenmesi amaçlandı. Aynı şekilde emniyetli davranış sergileyen çalışanların da tespitleri yapıldı (Resim 1).



Resim 1. Saha denetimlerinden/uygulamalarından örnekler

## DOGY Gözlem Uygulamaları

DOGY Gözlem Uygulaması işletme sahasında günlük faaliyet ve operasyonların yürütülmesi esnasında; Çalışanların DOGY eğitimleri ile kazandıkları bilgi ve becerileri eksiksiz uygulamalarının gözlenmesi, Riskli davranışları durumunda gözlemci tarafından anında geri-bildirim verilerek hedeflenen güvenli davranışın kazandırılması ve pekiştirilmesi, veriye dayalı iyileştirme öncelikleri/hedefleri belirlenmesi için sahada yürütülen gözlem faaliyetleridir.

## 2.3. Kaza Paylaşımları

İş yerlerinde meydana gelen örnek alınabilecek iş kazaları ve kazaya ramak kaldı olaylarını sunu haline getirip aynı tür iş kazaları ve ramak kaldı olaylarından ders çıkartarak bir daha yaşanmaması için bu iş kazaları çalışanlarla paylaşılmasıdır.

Kaza Paylaşım sunumları ile geniş çaplı katılımın sağlanması ve yönetimin İSG yaklaşımı da ön plana çıkmaktadır. Üst Yönetimin katılım sağladığı bu oturumlarda verilen açık mesajlarla İSG'ye görünür destek verilmesi sağlanmaktadır.

Oturumların sonunda İSG ile ilgili olarak Şirketin durumu analiz edilmektedir. Genel olarak;

- Şirket, Türkiye ve Dünya İş Kazası İstatistiklerinin paylaşımı ve karşılaştırılması,
- Yıl içerisinde ön plana çıkan kaza nedenleri konusunda çalışanların bilgilendirilmesi,
- Yıl içerisinde ön plana çıkan emniyetsiz davranışlar,
- İSG Performansının artırılması için uygulanması gereken aksiyon planları,
- Dilek ve temennilere yer verilmektedir.
- Aşağıda yapılan kaza paylaşım sunumlarından bazı fotoğraflar paylaşmıştır;



Resim 2. Çalışanlarla üst yönetimin katıldığı kaza paylaşım sunusu (Mavi yakalılar)



Resim 3. Çalışanlarla üst yönetimin katıldığı kaza paylaşım sunusu (Beyaz yakalılar)

Mavi ve Beyaz yakalı çalışanların geniş çaplı katılım sağladığı kaza paylaşım sunularında, değerlendirilmesi yapılarak paylaşımın faydalı ve gerekli olduğu saptanan iş kazaları ve ramak kaldı olaylarının değerlendirilmesi yaptık ve çalışanlarla paylaştık. Yıl içerisinde minimum 4 oturum yaptık. Her bir oturuma farklı çalışanların davet edilmesine özen gösterildi. Bu sayede maksimum ölçüde paylaşım sağlandı. Yıl içerisinde meydana gelen ve paylaşılması önem arz eden farklı olayların olması durumunda ilave kaza paylaşım oturumları da organize edildi.

Görselliği arttırabilmek amacıyla kazaların ve ramak kaldı'ların canlandırma videoları çekildi. Canlandırma videolarının çekiminde profesyonel unsurlar kullanıldı. Bu sayede paylaşıma katılım sağlayan izleyicilerin hafızalarında kalıcılık arttırılmaya çalışıldı.

## 2.4. ACİL DURUM TATBİKATLARI

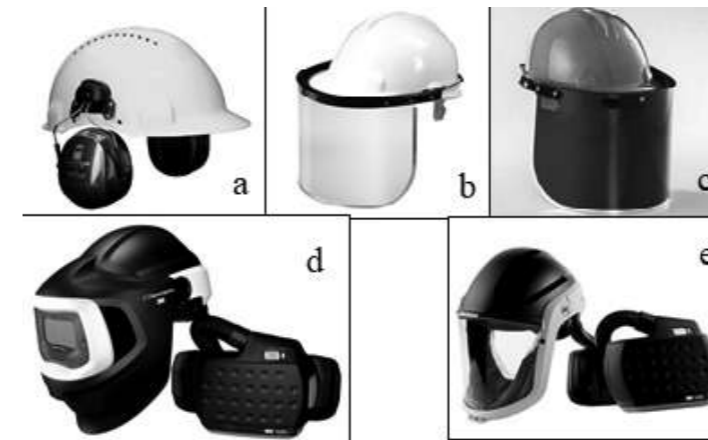
Acil Durum Tatbikatları ile;

- Meydana gelme olasılığı olan olaylarla ilgili çalışanların acil durumlara hazırlıklı olmaları,
- Bireysel eğitime katkıda bulunmak,
- Kişilerin kendi görevlerini uygulamaları sonucunda konularında daha iyi olmaları,
- Acil Durum Yönetiminin geliştirilmesine katkıda bulunmak,
- Tatbikatlardan sonra yapılan değerlendirme sırasında katılımcıların önerileri doğrultusunda iyileştirme yapılması sağlanmaktadır.

## 2.5. KKD Uygulamaları

Çalışma koşullarına uygun koruyucu malzemeleri tespit etmek bu konuda araştırma yapmak koruyucu malzemelerin teknik şartnamelerini hazırlamak, satın alınmasını sağlamak ve kullanırken izleyerek gerekli iyileştirmeleri yapmaya çalışılmıştır.

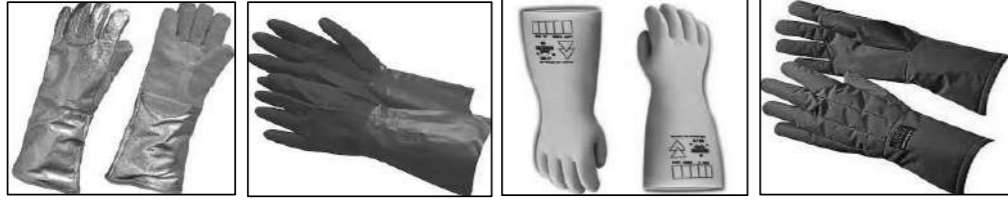
Demir Çelik Firması' de çalışma koşullarına uygun koruyucu malzemeleri tespit etmek, bu konuda araştırma yapmak, koruyucu malzemelerin teknik şartnamelerini hazırlamak, satın alınmasını sağlamak ve kullanırken izleyerek gerekli iyileştirmeleri yapmak amacıyla Koruyucu Malzeme Komisyonu kuruldu. Örneğin; Sıvı çelik ile çalışanların kaza geçirmemesi için sıvı metal sıçramalarına dayanıklı özel iş elbiseleri ve diğer ısıya/aleve dayanıklı koruyucular (yüz siperlikleri, enselikler vb.) kullanıldı. Doğru koruyucu malzemelerin seçiminin sağlanabilmesi amacıyla rehber sayılabilecek KKD Kullanım Risk Analizi oluşturuldu. Bu sayede çalışanlar hangi riske/tehlikeye karşın hangi koruyucuyu kullanması gerektiğini bu matris özellikli risk analizinden tayin edebildi. İşletmelerde birçok farklı koruyucu kullanıldı. Bunlardan bazı özel olanları Resim 4'de gösterilmiştir.



Resim 4. İşletmelerde kullanılan bazı özel kişisel koruyucu donanımlar a) Barete Takılan Kulak Maskeleri, b,c) Tam Yüz Siperleri, d) Otomatik Kararan Filtreli Respiratör, Respiratör Maskesi, Kaynakçı Maskesi, e) Filtreli Yüz Siperi

Yarı kapalı ortamlarda kaynak yaparak çalışan personel için belden filtreli ve motorlu otomatik kararan kaynakçı maskesidir.

Yarı kapalı/çok tozlu ortamlarda çalışan personel için belden filtreli ve motorlu tam yüz siperi olan maskedir.



Resim 5. Isıya/aleve, Kimyasala, Yüksek gerilime, Kriyojenik Eldiven (-160°C)



Resim 6. Aluminize Giysi Seti, Aleve/sıvı metale dayanıklı iş elbiseleri

## 2.6. Haberli/Habersiz Güvenlik Turları

Haberli Güvenlik Turları, ilgili ve diğer ünitelerdeki çalışanların ortak katılımıyla, iş yerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği yönünden iyileştirmeye açık alanların tespit edilmesi, belirlenen eksikliklerin giderilerek emniyetsiz şartların ortadan kaldırılması ve İSG bilincinin tabana yayılması amacıyla yapılmaktadır.

Haberli güvenlik turu uygulamaları yönetimin sahada görünür desteğini gösterdiği gibi aynı zamanda çalışanların farklı disiplinle İSG açısından iyileştirilecek alan tespiti refleksimizin artmasına ve iyileştirilecek birçok uygunsuzluğun giderilmesi sağlandı.

İş yerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği yönünden iyileştirmeye açık alanların tespit edilmesini ve belirlenen eksikliklerin giderilerek emniyetsiz şartların ortadan kaldırılmasını için belirli bir bölgeye haber vererek farklı disiplinle çalışanlarla belirli bir süre içerisinde İSG ile ilgili tespitlerin yapıldığı güvenlik turları yapıldı. Yapılan tespitlerin iş planı dâhilin de vakit kaybedilmeden yapılması sağlayan proaktif bir sistematik oluşturuldu. İSG bilincinin tabana yayılmasını amaçlandı.

İş sahalarında bulunan çalışanların yaptıkları işler ve buldukları ortamlar ile ilgili olarak risk ve tehlikeleri kanıksama veya tam olarak farkına varamama yönünde eğilimleri olduğu bilinmektedir. Bu nedenle, dış sahalardan veya farklı ünitelerden gelen çalışanların söz konusu kanıksanmış tehlike ve riskleri daha kolay fark edebildiği görülmektedir. Yapılan bu güvenlik turlarında saha gezisi ile birlikte çalışanlar iş sahasında gördükleri uygunsuzlukları veya iyileştirmeye açık alanları not etmekte ve

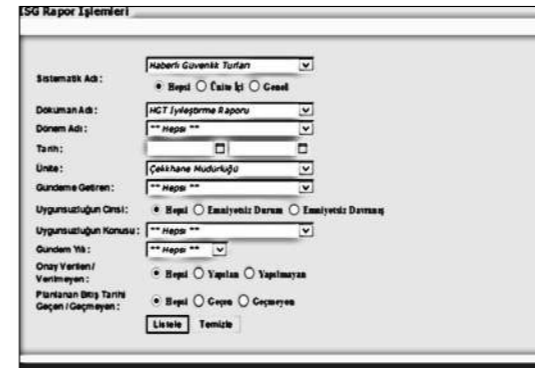
iyileştirilmesi amacıyla ilgili birime iletildi. Ünite yöneticilerinin ve çalışanları katılımıyla gerçekleştirilen haberli/habersiz güvenlik turlarından fotoğraflar aşağıda verilmiştir.



Resim 7. Çalışanların katıldığı HGT ve sonrası değerlendirme toplantısı

Haberli / Habersiz güvenlik turlarının yapılmasının ilk aşamasında denetleme yapılacak sahanın ve sorulabilecek soruların tanımlanması / belirlendi. İkinci aşamada ise, denetleme aşamasına geçmeden önce sahada kısa bir brifing verilerek, amacın ne olduğu belirtildi, emniyetli bir çalışma ortamı oluşturmak üzere toplanıldığının deklare edildi. Üçüncü aşamada, geçen yıllarda yaşanmış olan iş kazalar, potansiyel tehlikeli olaylar vb. veriler üzerinden kontrollerin yapılması, olası acil durumlar ile ilgili farkındalığın ve gerekliliklerin takip edilmesi, yangın koruma sistemleri, kimyasal madde yayılım ihtimali vb. konular irdelendi. Dördüncü aşamada ise detaylı saha teknik gezisi gerçekleştirildi. Bu aşamada genel saha düzeni ve tertibi, çıkışlar, elektrik kabloları, düşme tehlikesi ile ilgili mahaller, merdivenler, iş ekipmanları vb. tüm İSG konuları değerlendirildi. Beşinci aşamada ise bulguların gözden geçirilmesi ve değerlendirilmesi yapıldı. Altıncı ve son aşamada ise tespit edilen hususlar ile ilgili iyileştirme faaliyetlerin takibi yapıldı;

Bu amaçla takipler yazılım programı ile takip edildi.



Resim 8. İSG sistematiklerinin takip program yazılımı

Haberli / Habersiz güvenlik turlarında tespit edilen uygunsuzluklar iş planı yapılması ve takip edilmesi için yazılıma kaydedilir (Resim 8) Bu şekilde uygunsuzlukların tamamlanması ile ortam ve davranışsal uygunsuzlukların azaltılması sağlanmıştır.



## 2.7. 5S Temizlik ve Düzen Uygulamaları

İşyerlerinde iş güvenliği, çevre, verimlilik, makine performansı ile çalışanların katılım ve motivasyonunu arttırarak, düzen ve disiplinin sağlanması çalışıldı. Amaç, işyerlerinde Japonca 5 tane S harfi ile başlayan( Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu, Shitsuke) Türkçeleri

- Ayıklama,
- Düzenleme
- Temizlik,
- Süreklilik
- Disiplin olan sistematiği kurmak, uygulama ve sürdürmektir.

5S Temizlik ve Düzen Uygulamaları ile çalışma ortamları düzenlenerek çalışanın motivasyonunu sağlayarak verimli çalışmak, en önemlisi de güvenli ortamlar oluşturuldu.

İş yerinde İş güvenliği, çevre, verimlilik, makine performansı ile çalışanların katılım ve motivasyonunu artırarak düzen ve disiplini sağlamak amacıyla kurulan 5S sistematiğinde; 5S Saha Tabelası Standardı, Beyaz Etiket, Kırmızı Etiket, Bayrak Standartları, Demir Çelik Firması İşaret ve Renk Standartları, Boru Hatlarının İçinden Geçen Akışkana Göre Renk Kodları, Demir Çelik Firması Fabrika Sahası Renk Kodları, Yer ve Yol Çizgilerinin tüm ünitelerde standart haline getirilmesi sağlandı. Demir Çelik Firması 'de oluşturulan yazılım sistemi ile parsellenmiş olan sahaların belirlenmiş yasal/sahaya özel denetleme soruları ile değerlendirilmesi ve akabinde yıllara ve dönemlere göre periyodik olarak takibinin sürekliliği sağlandı. Aşağıda Demir Çelik Firması için oluşturulan yazılım ve denetleme sayfası ekranlarından görüntüler verilmiştir.

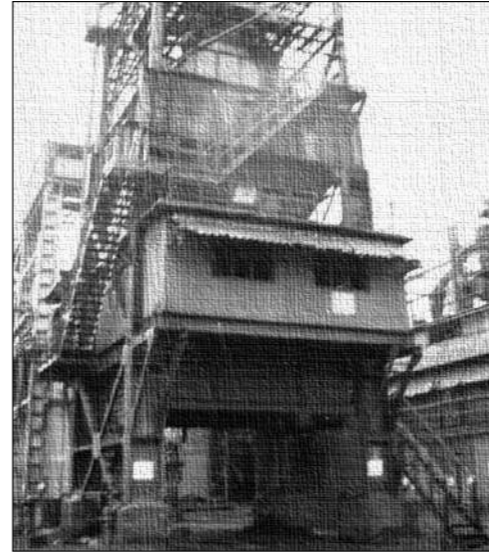
PLAN GİRİŞİ			
Tavuzi Kontrol Listesi 1/10'a İşleme Saham			
No	Soru	Puan	
<b>Araştırma</b>			
1	Çalışma alanında çalışılan alanlar ve iş yerinde bulunan makine ve ekipmanların temizliği için gerekli önlemler alınmış mı?	<input type="radio"/> Hç <input type="radio"/> Az <input type="radio"/> Orta <input type="radio"/> İyi <input checked="" type="radio"/> Çok İyi	
2	Çalışma alanında bulunan makine ve ekipmanların temizliği için gerekli önlemler alınmış mı?	<input type="radio"/> Hç <input type="radio"/> Az <input type="radio"/> Orta <input type="radio"/> İyi <input checked="" type="radio"/> Çok İyi	
3	Sahada bulunan makine ve ekipmanların temizliği için gerekli önlemler alınmış mı?	<input type="radio"/> Hç <input type="radio"/> Az <input type="radio"/> Orta <input type="radio"/> İyi <input checked="" type="radio"/> Çok İyi	
<b>Düzenleme</b>			
4	Parçaların, malzeme ve ekipmanların yerli yerinde tutulup tutulmadığı kontrol edilmiş mi?	<input type="radio"/> Hç <input type="radio"/> Az <input type="radio"/> Orta <input type="radio"/> İyi <input checked="" type="radio"/> Çok İyi	
5	Sahada bulunan makine ve ekipmanların temizliği için gerekli önlemler alınmış mı?	<input type="radio"/> Hç <input type="radio"/> Az <input type="radio"/> Orta <input type="radio"/> İyi <input checked="" type="radio"/> Çok İyi	
6	Sahada bulunan makine ve ekipmanların temizliği için gerekli önlemler alınmış mı?	<input type="radio"/> Hç <input type="radio"/> Az <input type="radio"/> Orta <input type="radio"/> İyi <input checked="" type="radio"/> Çok İyi	
7	Sahada bulunan makine ve ekipmanların temizliği için gerekli önlemler alınmış mı?	<input type="radio"/> Hç <input type="radio"/> Az <input type="radio"/> Orta <input type="radio"/> İyi <input checked="" type="radio"/> Çok İyi	
<b>Temizlik</b>			
8	Her bir makine ve ekipman için "Her Bir Makine Temizliği ve Bakım Etiketleri" hazırlanmış mı?	<input type="radio"/> Hç <input type="radio"/> Az <input type="radio"/> Orta <input type="radio"/> İyi <input checked="" type="radio"/> Çok İyi	
9	Makine ekipmanlarının temizliği için gerekli önlemler alınmış mı?	<input type="radio"/> Hç <input type="radio"/> Az <input type="radio"/> Orta <input type="radio"/> İyi <input checked="" type="radio"/> Çok İyi	
10	Her çalışmada sahada bulunan makine ve ekipmanların temizliği için gerekli önlemler alınmış mı?	<input type="radio"/> Hç <input type="radio"/> Az <input type="radio"/> Orta <input type="radio"/> İyi <input checked="" type="radio"/> Çok İyi	
<b>Süreklilik</b>			
11	Denetimler 30 günde bir düzenli olarak gerçekleştiriliyor mu?	<input type="radio"/> Hç <input type="radio"/> Az <input type="radio"/> Orta <input type="radio"/> İyi <input checked="" type="radio"/> Çok İyi	
12	Denetimler her ay düzenli olarak gerçekleştiriliyor mu?	<input type="radio"/> Hç <input type="radio"/> Az <input type="radio"/> Orta <input type="radio"/> İyi <input checked="" type="radio"/> Çok İyi	
13	5S sistematiğinin uygulanması için gerekli önlemler alınmış mı?	<input type="radio"/> Hç <input type="radio"/> Az <input type="radio"/> Orta <input type="radio"/> İyi <input checked="" type="radio"/> Çok İyi	
14	Sahada bulunan makine ve ekipmanların temizliği için gerekli önlemler alınmış mı?	<input type="radio"/> Hç <input type="radio"/> Az <input type="radio"/> Orta <input type="radio"/> İyi <input checked="" type="radio"/> Çok İyi	

Resim 9. 5S denetiminin kontrol listesi

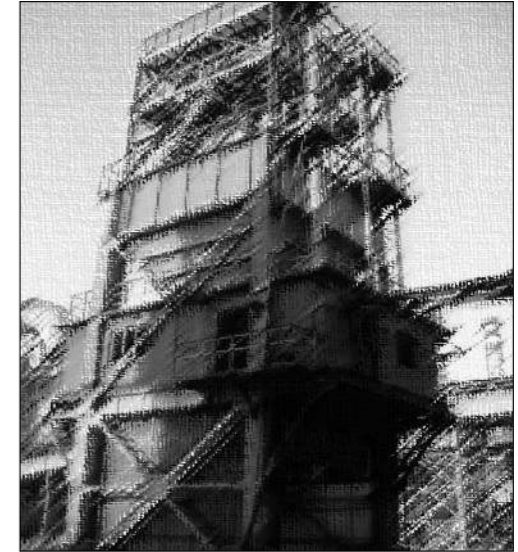
Resim 10. 5S Yazılım programı girişi (Saha tanımlama ekranı)

5S sistematiği gereği parsellenen sahalara kontrol soru formları hazırlanmış olup, bu sorular uzmanlar tarafından değerlendirildi. Daha sonra bu formlar Resim 10'da ki yazılıma takip ve sorgulama aktarıldı. 5 S Talimatı gereği gerçekleşen gelişmeleri takip edebilmek için aynı açılardan tesisin resimleri çekildi ve öncesi, sonrası olarak raporlandı. (Resim 11)

ÖNCESİ



SONRASI





Resim 11. 5S sistematığı uygulama öncesi ve sonrası resimleri

## 2.8. CAN-KARDEŞ UYGULAMASI

İSG Can-Kardeş uygulamasının amacı; birbirine bağlı, güvenen ve yardımlaşan çalışanlarla İMM Toplam Güvenli Üretim Fonksiyonunun "0" iş kazası ve "0" meslek hastalığı hedefini gerçekleştirmektir.



## 2.9. İSDEMİR İSG KURULLARI

İsdemir İSG Kurulu toplantıları düzenli olarak yapılmaktadır.

İşletme ünitesinde her ay düzenli bir şekilde "Ünite İSG Kurul Toplantıları" yapılmaktadır.

Ayrıca ünitelerin her başmühendislik/şefliklerinde vardiya düzenine göre düzenli bir şekilde "Alt Kurul Toplantıları" yapılmaktadır.

## 2.10. ÇALIŞMA İZİNLERİ

- **Gazlı Ortam Protokollü Çalışmaları**

Parlayıcı Patlayıcı Maddelerin Bulunduğu Gaz Sistemlerinde ve Girişi Sınırlı Kapalı Alanlarda (Sahalarda) Yapılacak Ateşli veya Tehlikeli Çalışmalarda İş Güvenliği Müdürlüğü İlgili Ünite ve Kontrol Teşkilatı/Firma İle Birlikte İzin Belgesi Düzenlenir.

- **Alt Yapı Kazı Çalışmaları**

Yapılacak olan alt yapı çalışmalarında, iş kazalarını ve muhtemel hasarları önlemek amaçlanır. Her türlü alt yapı çalışması yapılmadan önce; İlk olarak "Alt Yapı Çalışma İzin Formu" sistematığı uygulanmaktadır.

- **Radyografi Çalışmaları**

Firma, Kontrol Teşkilatı Elektronik Otomasyon, İş Güvenliği ve Çevre Müdürlüğünün ilgili elemanlarının onayına müteakip radyografi çalışmaları başlatılmaktadır.

- **Yüksekte Çalışma İş İzni**

Yüksekte yapılan ve risk değerlendirmesi sonucu yüksekte gerekli tedbirler alınması gereken çalışmalarda "Yüksekte Çalışma İzin Formu" uygulanır. Formun içeriği yüksekte dikkat edilmesi ve uygulanması gereken genel güvenlik önlemleridir.

- **EKED Uygulamaları**

EKED, bakım veya onarım çalışmaları gerçekleştirilirken endüstriyel makinelerin ve ekipmanların *enerji kaynağını* kapatmayı içeren planlı bir güvenlik uygulamasıdır. Enerjinin kesilmesi, etiketlenmesi, kilitlemesi ve emin olunması esastır.

## 2.11. Ramak Kaldı Olaylarının Raporlanması Çalışmaları

Ramak kaldı olarak tabir edilen ve halk arasında "ucuz atlattım", "kıl payı kurtuldum" olarak nitelenen, sonunda kaza ya da hasar yaşanmamış ucuz atlatılmış emniyetsiz durum ve davranışların proaktif olarak raporlanması çalışmalarıdır. "Ramak kaldı" olarak nitelenen bu ucuz atlatılmış ve kazasız yaşanmış olayların raporlanması ve gerekli iyileştirmelerin yapılması, organizasyona bedava öğrenme ve düzeltme imkânı sunacak ve kazasız üretimlerin gerçekleşmesine basamak oluşturacaktır.

Çalışanlara etkisi olmayan, ekipmanı hasarlamayan ancak, tekrarlanması durumunda yaralanma ve hasarlanmaya sebep olabilecek durumların, tespitini yapmak ve kayıt altına almak üzere, "Kazaya Ramak Kaldı Raporu" düzenlenir. Bilgisayar ortamında oluşturulan yazılım ile ilgili rapor hazırlandı ve sisteme girişi yapıldı. Bilgisayar ortamında giremeyecek personeller için(firma dahil) , Kazaya Ramak Kaldı Formu düzenlendi, Ramak Kaldı Kutu ve Panoları oluşturuldu.

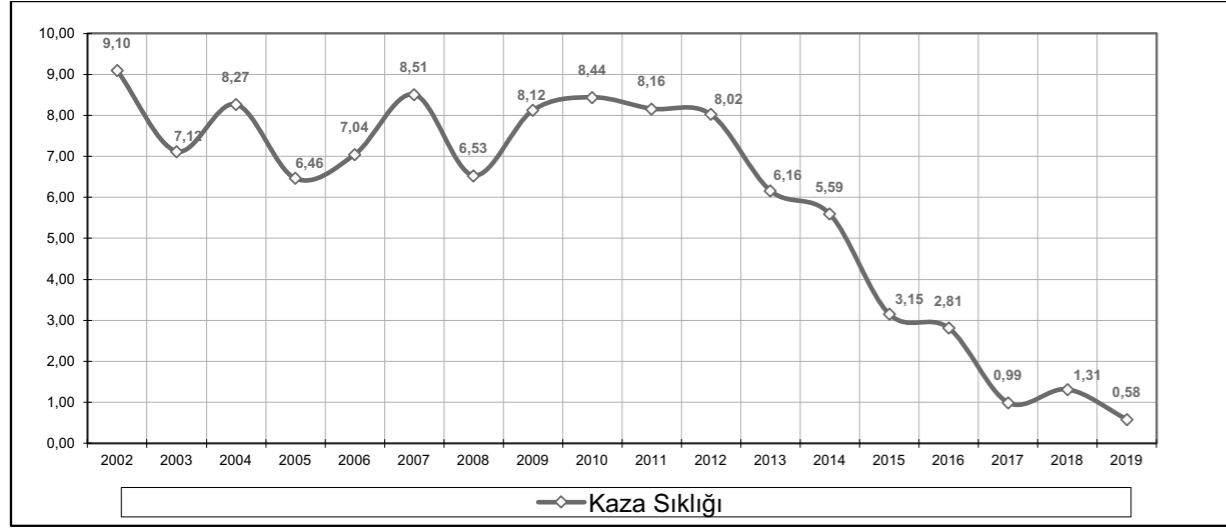


Resim 12. Ramak Kaldı Kutusu



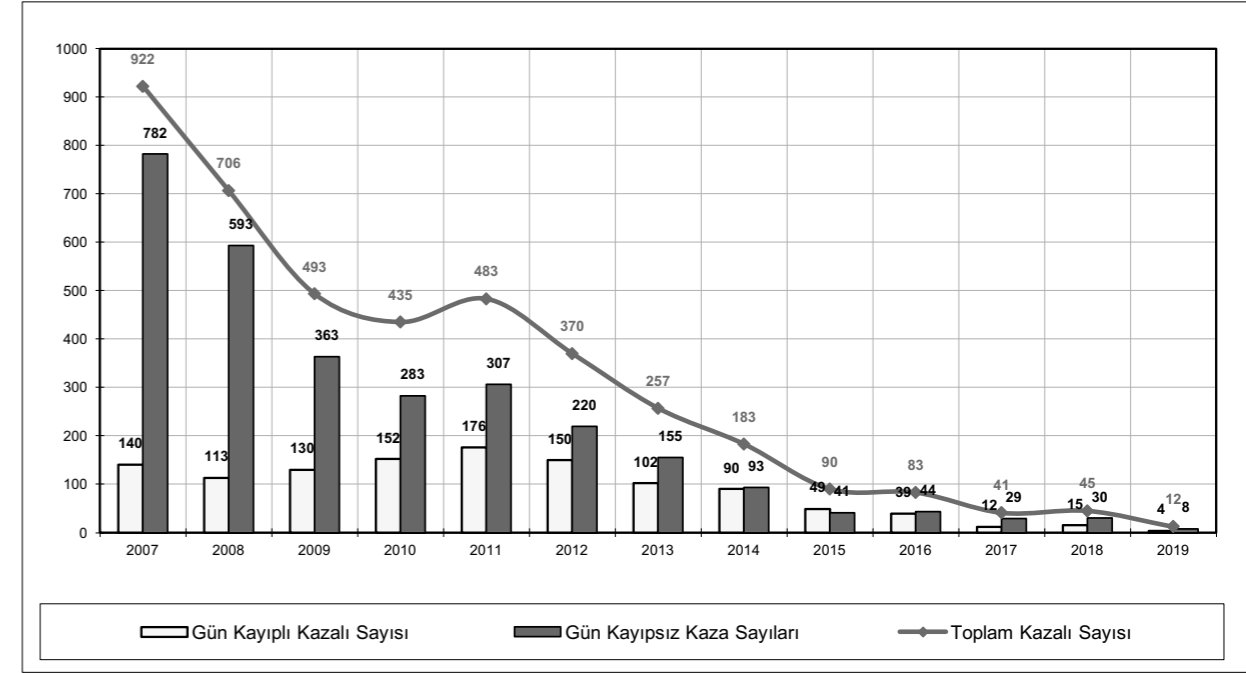
#### 4. İstatistikler ve Grafikler

Bu çalışmalar sonucunda son altı veya yedi yıllık verilere göre kaza sıklık oranı, kaza sayıları ve gün kayıplarında hissedilir ciddi düşüş sağlanmıştır.

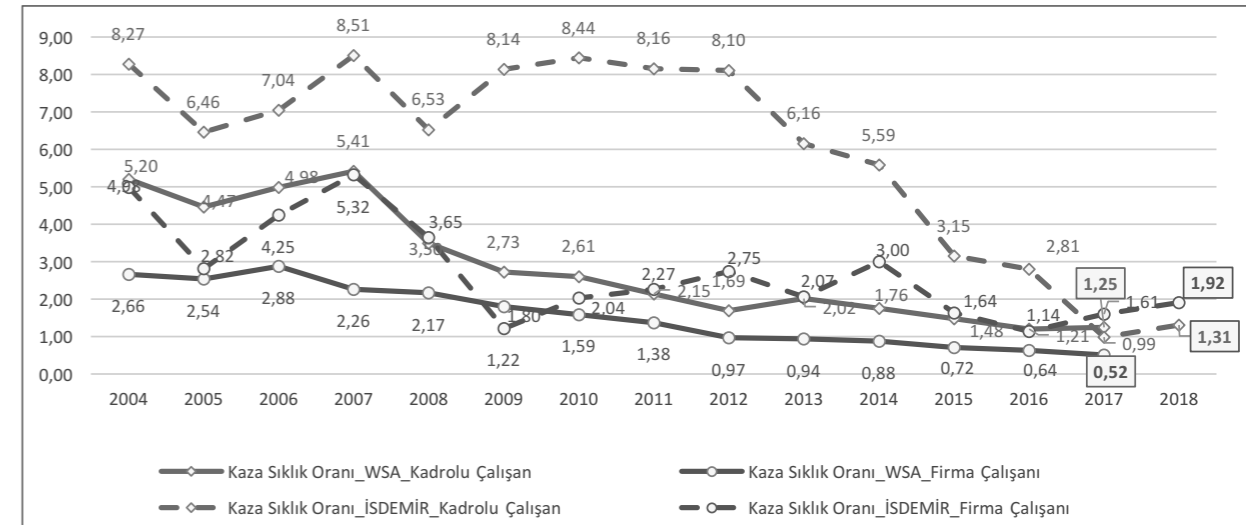


Şekil 3. 2002-2019 yıllarına ait kaza sıklık verileri

$$\text{Kaza Sıklık Oranı} = \frac{\text{Kazalı Sayısı} \times 1000000}{\text{Çalışma Saati}}$$



Şekil 4. 2007-2019 yıllarına ait gün kayıplı-çalışabilir yaralı kaza verileri



Şekil 5. 2004- 2018 yılları arasında İsdemir Demir Çelik Firması - WSA kaza sıklık karşılaştırma grafiği

#### 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmada, özellikle güvensiz davranışların değiştirilmesi güvenli davranışların pekiştirilmesi ile ilgili olarak eğitim ve sonrasında gözlem ve geri bildirim ile davranış değişikliğine kadar sürekli kontroller yapılmıştır. Organizasyonun belirli bir noktasında görevli çalışanlarla birlikte (daha fazla göz ile) emniyetsiz davranışlar ve/veya durumlarla ilgili tespitler yapıldı. Aynı zamanda "ramak kaldı" olarak tabir edilen ve halk arasında "ucuz atlattım", "kıl payı kurtuldum" olarak nitelenen, sonunda kaza

ya da hasar yaşanmamış ucuz atlatılmış emniyetsiz durum ve davranışların raporlanması çalışıldı. Elde edilen sonuçlar ve sonraki çalışmalara yol gösterecek öneriler aşağıda verilmiştir.

### 6.1. Sonuçlar

Konu ile ilgili şirketlerin (Çukurova Bölgesi için Demir Çelik Firması örnek alınmıştır) örnek iş kazası verilerinin ve İSG hedeflerinin değerlendirilmesi, çalışanların proaktif İSG yaklaşımı ile ilgili anlayış değişiklikleri paylaşılmıştır. Davranış değişikliği için yapılan çalışmaların kaza sonuçları ile karşılaştırılması, istatistiksel eğilimleri gösterilmiş ve değerlendirilmiştir.

Yapılan bu İSG uygulamaları sonucunda Demir Çelik Firması'nın iş kazası verileri aşağıdaki değerlere ulaşmıştır. Kaza sıklık değerleri son beş yılın değerlerine göre yaklaşık %70'e varan oranlarda azalma göstermiştir. Güncel durum itibarıyla kaza sıklık verisi 2 civarına gelmiş durumdadır.

Şekil 5.2'de ise, gün kayıplı kaza verileri paylaşılmaktadır. Kaza Sayılarına göre azalış ise %91 olarak gerçekleşmiştir. Kaza sayılarının azalışlarına göre ise gün kayıplarında da eskiye göre oldukça iyi bir duruma gelmiştir. Yukarıdaki grafikte ise yaşanan kazalar sonucu yaşanan iş gücü kaybının gün cinsinden verileri paylaşılmıştır.

### 6.2. Öneriler

Demir Çelik sektöründe güvenli davranış değişikliğinin sağlanması için organizasyonun İSG kültürünün kurumun her basamağına uyum sağlaması, bu entegrasyonun sahada algılanması ve hissedilmesi, bu bağlamda yönetimin ve yöneticilerin görünür desteği, kararlılığı en önemli parametrelerden biridir. Ayrıca yukarıda detaylı uygulamaları gösterilen çeşitli saha uygulamaları, İSG sistematiği (güvenlik turları, tatbikatlar, saha durum ve özellikle davranış gözlemleri, İSG toplantıları, vb.), yaşanan iş kazalarının analizleri, tehlike/risk değerlendirmeleri, birçok proaktif ve reaktif İSG sistematiğinin kullanılması da istenen sonuçların sağlanmasında önem arz eden diğer unsurlardandır. Tüm bunlara ilave olarak bahsi geçen tüm İSG yaklaşımının sürdürülebilir olması olmazsa olmaz koşuludur. Dolayısıyla sistematiğin de günümüz koşullarıyla güncellenmesi diri tutulması uygulama pratiklerinin günümüz şartlarına göre geliştirilmesi sağlanmalı ve tıpkı bisiklette pedala basmak gibi durmadan çalıştırılması gerekmektedir. Aksi takdirde durmanın geriye dönmek riski vardır. Sonucunda bu çalışmalar kaza verilerinin düşmesinde çok önemli rol oynamıştır. Kuşkusuz bu çalışmaların devamında demir çelik gibi ağır sanayi çalışma ortamlarında da güvenlik kültürü geliştirilerek ve değişim sağlanarak hedef olan "0" kazaya ulaşılacağı gösterilmiştir.

Yönetimin bilhassa tepe yönetimin tam desteği ve sahaya yansıyan davranışlar, istenen İSG sonuçlarının alınmasında büyük rol oynar. Yönetimin İSG taahhüdü en tepeden başlar. Önemli olan bu yaklaşımın zincirin en alt kısmına kadar tam olarak yayılımının sağlanmasıdır. Görünür liderlik kavramı bu konuda çok önemlidir.

Bir şirketin güvenlik kültürü, bir şirketin mükemmellik yolculuğunu yaratan, geliştiren ve sürdüren üst düzey yönetici ekibi tarafından yönlendirilir . Bu yöneticiler vizyonu ve stratejik yönü belirler, kaynaklar sağlar ve güvenliğin insanlar ve iş için önemini sürekli olarak vurgular ve güçlendirir. Bu nedenle, etkin olmayan emniyet liderliği, birçok şirketin başarıya ulaşma yeteneğini engellemektedir. Güvenlik uygulayıcıları için pratik bilgiler sağlamayı amaçlayan bu makale, güvenlik kültürünün mükemmelliği ile sonuçlanan etkili emniyet liderliğinin çeşitli özelliklerini vurgulamaktadır. Bu görüşler güvenlik pratisyenleri, operasyon yöneticileri ve çalışanlar tarafından iyi bir şekilde kullanılabilir

Birçok kurum ve güvenlik lideri, daha güvenli bir kültür oluşturmak için güvenlik programları ve eğitimleri bir araya getirerek önemli miktarda zaman ve para harcar. Ne yazık ki, bu programlar genellikle başarısız olur ve bu da organizasyonda ciddi yaralanmalar, verimsizlikler ve maliyetlerle sonuçlanır. Bu başarısızlıkların nedenlerinden biri, bu geleneksel yaklaşımların önemli bir faktörü hesaba katmamaktır- bu da; "emniyet söz konusu olduğunda, bireyler arasında, benzersiz psikolojik farklılıklar." Özetle, bireyler arasındaki psikolojik farklılıklar istenen İSG kültürünün oluşumundaki zorluklardan biridir.

Büyük organizasyonlarda, tepeden tırnağa istenen İSG kültürünün oluşumu kısa zamanda mümkün değildir. Organizasyonun en tepesinden en aşağısına kadar kurumun İSG yaklaşımının son derece samimi, gerçekçi ve birinci öncelikli olduğunun yayılımının sağlanması ve sahada tam yansımaları ile istenen İSG sonuçları elde edilecektir. Taahhütlerden, politikalarından, prosedür ve talimatlardan ziyade asıl önemli olan en alt kademe çalışanların gerçekte ne düşündüğü ve algıladığıdır. Tepe ile taban arasındaki algı birbirine ne kadar yakın ise, sonuçlar o derece başarılı olacaktır. Burada anahtar aktörlerden biri de yöneticilerin İSG yaklaşımıdır. Çalışanlar, ilk amirinden itibaren yakın etkileşim ve temas içinde oldukları yöneticilerine bakarak, gerçekte kurumun İSG yaklaşımının nasıl olduğunu anlarlar. Yöneticilerin önemi işte tam bu kısımda devreye girmektedir. 1.kademe ve daha ileri seviyelerdeki yöneticiler, herhangi bir rutin/rutin olmayan çalışma sırasında, 1. Önceliğin İSG olduğunu samimiyetle vurgular ve problemlerin çözümünde kök nedene samimi bir şekilde indiği zaman, çalışanların algısı gerçek anlamda değişecektir. Konunun kritik parçalarından bir tanesi olan yöneticilerin İSG yaklaşımı ve algısı, İSG ikliminin ve akabinde kültürünün değişiminde önemli rol oynamaktadır. Fakat tabii ki bu da çözümün sadece bir parçasını oluşturacaktır. Konunun diğer parçalarından olan tepe yönetimin sürdürülebilir ve samimi İSG yaklaşımı, üretim/rekor stresi ve yönetimi, tesis/proses emniyeti, önleyici bakımlar, çalışan profili, İK boyutu vb. diğer faktörler de ayrıca değerlendirilmelidir.

#### Liderin Rolü, Sorumluluğu ve Beklentileri;

1. Güvenlik ve sağlık davranış konularında rol model olun. Liderin emniyet ve sağlıktaki rol modeli olarak işlevi açıkça görülmeli ve lider güvensiz davranışlara ve güvensiz koşullara derhal yanıt vermelidir.
2. Tesiste zamanlarının önemli bir bölümünü iş güvenliği için harcayın. Lider, emniyetli davranış övmeli ve güvensiz eylemleri ve güvensiz koşulları derhal vurgulamalıdır. İş güvenliği ile ilgili motivasyon ruhunu teşvik edin.
3. Sadece iş güvenliği için günlük olarak önemli miktarda zaman ayırın. Personellerini kendilerini güvenli bir şekilde yürütmeleri için motive etmelidirler. Personel ile birlikte güvensiz davranışların ve güvensiz koşulların nedenini belirlemek için zaman ayırın. Güvenlik brifingleri yayınlayın ve uygulayın.
4. Bireysel bölümler ve tanımlanmış periyodlar için üst düzey hedefleri ve hedefleri yıkmak. Hedeflerin başarısını izleyin ve etkinliklerini gözden geçirin. Önde gelen göstergeler ile yönlendirin.
5. Hedefleri anlaşılır bir şekilde iletin.
6. Uygun Emniyet Yönetim Sistemlerinin geliştirildiğinden, belgelendiğinden ve uygulandığından emin olun.
7. Güvenlik Yönetim Sisteminin tüm unsurları için mülkiyet ve sorumluluk paylaşın.
8. Mükemmelliğin önemini ve yararlarını güvenlik ve sağlığın tüm yönleriyle dile getirin.
9. Güvenli çalışmak için bir teşvik oluşturmak ve güvenlik ve sağlıkta mükemmelliği tanımak için bir sistemin var olduğundan emin olun.
10. İş sağlığı ve güvenliği ile ilgili temel kuralların var olduğundan ve takım üyelerine anlaşılır bir şekilde iletildiğinden emin olun.
11. Tüm çalışanların beklenen davranış ve kurallarla ilgili sorumluluklarının farkında olduğundan ve güvenlik ihlalleriyle ilgili olası sonuçların farkında olduğundan emin olun.

12. Güvenlik kurallarının ihlal edildiğine bakıldığında şirketin sonuç yönetim planını izleyin. Organizasyonlar, liderlerin organizasyonun tüm seviyelerindeki beklentilerinin açıkça iletilmişinden ve anlaşıldığından emin olmalıdır. Organizasyonun her kademesindeki liderlerin sorumluluklarının bilincinde olmaları esastır. Örgüt, yöneticilere / üst düzey yöneticilere, bölüm yöneticilerine, denetçilere ve tüm çalışanlara verilen beklentileri açıkça belirtmelidir.

#### KAYNAKLAR

1. W. Industry, "Workplace Safety and Health Report 2016," 2017.
2. TMMOB Makina Mühendisleri Odası, *İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Oda Raporu*. 2018.
3. C. Lutchman, R. Maharaj, and W. Ghanem, "Safety Culture Maturity," *Saf. Manag.*, pp. 301–332, 2012.
4. İnternet: Measuring safety culture. URL: <https://publishing.energyinst.org/heartsandminds/culture> Son Erişim Tarihi: 10.05.2019.
5. İnternet: The Dupont, Bradley Curve. URL: <http://www.dupont.com/products-and-services/consulting-services-process-technologies/brands/sustainable-solutions/sub-brands/operational-risk-management/products/bradley-curve.html> Son Erişim Tarihi: 06.04.2019.
6. İnternet: Hearts & Minds Emniyet Kültürü Modu. URL: <https://www.iaea.org/topics/safety-and-security-culture> Son Erişim Tarihi: 16.04.2019.
7. İskenderun Demir Çelik A.Ş. 1 Ocak—31 Aralık 2016 dönemine ait yıllık faaliyet raporu, 2016.
8. Şerifoğlu, U.K. ve Sungur E., (2007), "İşletmelerde Sağlık ve Güvenlik Kültürünün Oluşturulması; Tepe Yönetimin Rolü ve Kurum İçi İletişim Olanaklarının Kullanımı. Yönetim", Ekim 2007, Yıl 18, Sayı 58, Sayfa:302, Ekim 2007, Ankara. Taylor,

### Elektrikli Ergitme Ocaklarında Optimum Hurda İşleme Sistemi Kurulması

*Optimized Scrap Processing Systems for EAF's*

Aykut Karahan

Birim Makina A.Ş. • Türkiye

#### ÖZET

Bilindiği üzere Elektrikli Ergitme Ocaklarında (Ark ve İndüksiyon Ocakları) çelik üretimi için kullanılan ana ham madde çelik hurdasıdır. Türkiye’de üretilen çeliğin çok büyük bir kısmı hurdadan üretilmekte ve hurdanın elektrik ark ocakları ve indüksiyon ocaklarında daha verimli ergitilmesi büyük önem taşımaktadır.

Çelik hurdasının ergitilmeye hazır hale getirilebilmesi için bazı işlemlerden geçirilmesi gerekmektedir. Bu işlemler yoğunluk artırma, ebat küçültme, temizleme ve yabancı malzemeleri ayırma amacıyla yapılan Kesme, Balyalama, Parçalama ve Ayıklama işlemleridir. Bu çalışmada hurda işleme yöntemleri avantaj ve dezavantajlarıyla karşılaştırılmakta ve "Bir Demir Çelik Tesisine yönelik optimum hurda işleme sistemi nasıl kurulur?" konusu tartışılmaktadır.



## Recycling and Reuse Solutions for LF Slag – Creating Value from Steelmaking by Products

Chris Byrne, Nick Jones, Bruce Barker

---

Harsco Environmental • United Kingdom

---

Harsco is at the forefront of developing new technologies for by product processing within the steel industry. This paper will describe solutions can bring value to the iron and steel industry by the reuse and recycling of ladle slags from both integrated and electric arc steelmaking.

Some of the applications that will be discussed are:

- Metallurgical additives
- Fertilizers
- Cement additives

Metallurgical additives are a key component of steelmaking operations. Ladle slags due to their high contents of lime and in some cases other desirable elements can be re-used within the steelmaking process in both the furnace and ladle furnace as combinations of deoxidizers, desulfurizers, fluxes and other additive materials. Harsco has established a separate business for these products in both North America and Europe. Ladle slags can be mixed and blended with other materials to produce a range of metallurgical additive products that can be used within the steelmaking route. Such products have been shown to offer considerable value and deliver improvements in operating practices, alloy yields and slag performance.

Ladle slags often contain several beneficial elements which if used correctly can be incorporated into fertilizer blends. Traditionally lime was the main benefit for soil conditioners produced from ladle slags, but recent research has highlighted the benefits of soluble silicon in fertilizers and the role it plays in plant and agricultural growth. Harsco has developed a fertilizer business utilizing ladle furnace slags as a key raw material in the production of high quality fertilizer products for use in agriculture, sports and plant industries.

Under the correct conditions ladle slag can be recycled within cement production operations. Careful selection of use is required which requires close collaboration with the cement manufacturer. With special processing techniques it is even possible to produce a cement-based product direct from ladle slag. In China, Harsco has pioneered the use of this technology to such an extent that specially prepared ladle slag is now referenced as a cementitious material within Chinese building standards.

This presentation will describe these technologies in detail and explain the operating benefits and financial value that they are able to deliver.

## Comparison of Emissions of Conventional and Shaft-Based Electric Arc Furnaces

H. Beile<sup>1</sup>, T. Steinparzer<sup>2</sup>, L. Noska<sup>2</sup>, D. Steiner<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup>Primetals Technologies Germany GmbH, <sup>2</sup>Primetals Technologies Austria GmbH •  
Germany, Austria

---

### Summary

Environmental emission limits are getting more stringent all over the world since years. In order to fulfill local emission requirements and even surpass them, modern electric arc furnaces have to consequently monitor and treat their off-gas emissions accordingly.

This paper outlines the differences of conventional electric arc furnaces and shaft furnaces in terms of environmental emissions. All relevant emissions like particle matter, carbon monoxide, NO<sub>x</sub>, VOCs, dioxins, furans etc. will be discussed in detail. Emission generation within the furnace as well as different technical solutions for off-gas cleaning and monitoring will be presented.

The different approaches and technical solutions for both furnace types will be highlighted from the emission source to the stack. The conclusion of this paper will show, that differences in final emissions of the two furnace technologies are minimal.

### Key Words

Electric steel making, Environmental emission limits, shaft furnace, Quantum EAF, preheating technology, dedusting

### Introduction

In all industrial fields environmental care is getting more and more important. The emissions limits getting more stringent and the equipment of the technology supplier has to fulfill different requirements and emission limits based on specific regulations valid in each country.

The steelmaking industry and especially the electric steelmaking sector which is one of the biggest energy consuming industry is facing the environmental challenge as well since years.

The direct melting of materials which contain iron (mainly scrap) is usually performed in electric arc furnaces which need considerable amounts of electrical energy and causes substantial emissions to air and solid process residues such as wastes and by-products (mainly filter dust and slag). The emissions to air from the furnace consist of a wide range of inorganic compounds (iron oxide dust and heavy metals) and organic compounds such as persistent organic pollutants (e.g. PCB and PCDD/F). China for example, the biggest steel supplier in the world is currently changing many shops to electric arc furnaces also due to new environmental regulations.

This paper will outline which main emissions will be generated during the scrap melting process in an electric arc furnace and describe why and where the emissions will be created.

Due to the fact, that several types of electric arc furnaces are available this paper will compare and

explain which emissions limits could be achieved in a conventional EAF and in a vertical shaft EAF based on scrap as raw material.

### Main emissions in an Electric Arc Furnace

Due to the use of scrap various solid and gaseous emissions are generated during the electric arc furnace steelmaking process. The main emission components are based on the amount generated listed in the following:

- Dust / particulate matter
- Carbon dioxide
- Carbon monoxide
- Nitric oxides (NO<sub>x</sub>)
- Volatile organic components (VOC)
- Heavy metals
- Dioxins and Furans (PCDD/F)

The emission spectrum of an electric arc furnace can highly vary due to the inhomogeneous and changing scrap composition. Besides scrap, also other input materials like coal have a major impact on the emission situation.

This fact makes emission control in particular very complex for electric arc furnace due to the varying boundary conditions.

Typical emission limits according TA Luft 2002 (cf. [1]) are given in the next table.

	Emission Limit
Dust / Particulate matter	5 mg/Nm <sup>3</sup>
Lead (Pb)	0,5 mg/Nm <sup>3</sup>
Nickel (Ni)	0,5 mg/Nm <sup>3</sup>
Carbon Monoxide (CO)	none
Sulphur Dioxide (SO <sub>2</sub> )	350 mg/Nm <sup>3</sup>
Nitrogen Dioxide (NO <sub>2</sub> )	350 mg/Nm <sup>3</sup>
Dioxin (PCDD/F)	(0,2) 0,1 ng/Nm <sup>3</sup>
VOC's	none
Mercury	0,05 mg/Nm <sup>3</sup>

Table 1 : Emission Limits TA Luft 2002

Besides charging and input material also the type of electric arc furnace has to be considered to select a suitable emission control system resp. gas cleaning plant.

In the next sections the two different major furnace types as well as their emission control systems are described.

### Concept of a conventional EAF

An electric arc furnace consists of a refractory-lined lower shell (bottom), usually water-cooled upper shell (side wall), covered with a retractable roof, where one (DC) or three (AC) graphite electrodes enter the furnace. The furnace is often raised off the ground floor, so that ladles and slag pots can easily be maneuvered under either end of the furnace. Separate from the furnace structure is the electrode support and electrical system, and the tilting platform on which the furnace rests.

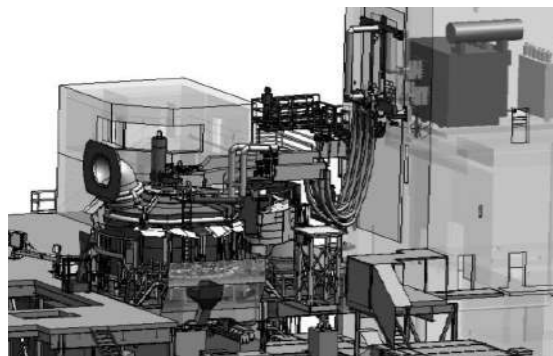


Figure 1: Conventional EAF

Various input materials are possible for an electric arc furnace. As described before this paper outlines a process based on 100% scrap as raw material input. Depending on scrap bucket and furnace size (volume) as well as scrap yield and density such a process could be done with only one scrap bucket charging cycle or sometimes even up to 4 or more. Every time a scrap bucket is charged the roof has to be lifted together with the electrodes and swiveled out. Afterwards the scrap is charged directly into the shell. The primary off-gas system sucks the hot CO

containing gas from the furnace and burns it and is therefore designed for high thermal power. The secondary off-gas system evacuates the air from the melt shop by the canopy hood. The canopy hood is located under the roof of the melt shop. Its function is to capture the secondary emissions of the furnace during charging and to reduce the dust content in the melt shop. Both off-gas systems are connected to the same ID fan. The mass flow distribution between the primary and secondary system is controlled by control dampers in the individual ducts prior to the mixing duct.

In Figure 2 and 3 the primary and secondary off-gas system are plotted.

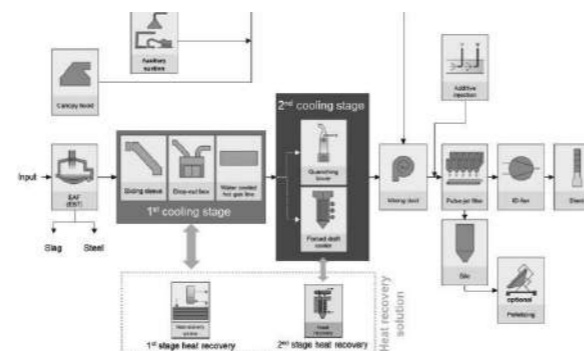


Figure 2: Process Flow diagram conventional EAF emission control system

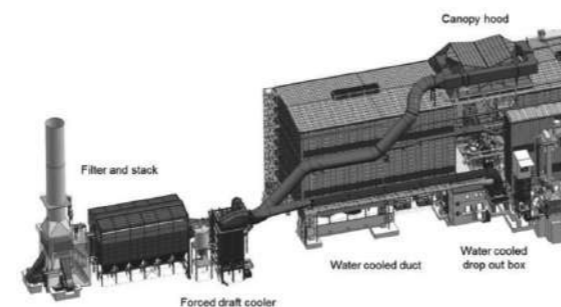


Figure 3: State of the art conventional EAF gas cleaning system

Nevertheless a DEC damper in connection with a furnace pressure control loop is seen as state of the art technology by the authors, many mini mills do not have such a device. Main advantage of the pressure controlled DEC damper is to maintain a constant but small underpressure in the furnace. Hence, the suction volume can be adapted to furnace operation mode to provide clean melt shop conditions and at the same time avoid excessive suction from the furnace. Furthermore, this control loop leads to a reduced electrode consumption and further consumables like natural gas of the furnace and therefore a reduction of the operational expenses.

In the following the main components of the primary and secondary dry de-dusting system are explained briefly following the off-gas flow direction.

The first part of the water cooled off-gas system is called fixed elbow (FE). The hot off-gas leaves the furnace via the furnace elbow and enters the fixed elbow. In this part combustion is initiated. The mass flow of the leakage air for combustion is pre-adjusted by the sliding sleeve and remains fixed in the preadjusted position during melting / refining. The sliding sleeve sets the gap between the fixed elbow and the furnace outlet. The fixed elbow guides the off-gas to a coarse particle separator, called drop-out box.

The drop out box is used for separating coarse particles from the off-gas. Due to its large volume, combustion also takes place. Besides the settling of the coarse particles, residual combustion of carbon monoxide and extensive destruction of dioxins and furans is ensured. It has the function of a post combustion chamber. The necessary oxygen amount is provided by the sliding sleeve. It can be water cooled or in refractory lining design.

The hot gas line itself is a water cooled duct with a tube-tube wall construction. It is a radiation pass and cools down the off-gas to approximately 600°C. The total length of the hot gas line can be required to be up to 100 m. Instead of a standard water cooled hot gas line also a heat recovery system can be applied to utilize the waste heat and generate hot water or steam for different consumers.

Afterwards the off-gas has to be cooled down further in order to reach acceptable temperatures for the fabric filter unit. A state of the art solution is the so-called forced draught cooler (FDC) which is a cross flow off-gas/ air heat exchanger. Design of the heating surfaces can either be plates or tubes. Adequate cooling systems like quenching towers or natural ventilation coolers can be used instead of a forced draft cooler. The outlet temperature of these units is approximately 200 to 300°C.

Uncooled ducts are used as connections between the units. They can be applied for off-gas temperatures up to 600°C. Besides its connective function, the uncooled duct absorbs a large heat amount due to a high temperature difference between the material and the ambient air. Following the flow path the primary and secondary off-gas mass flows are mixed in a mixing duct. Since the temperature of the secondary off-gas is lower than the primary (cooling by mixing with cold gas), this has a further cooling effect. In some installations a separation of primary and secondary off-gas system is realized.

Both off-gas lines (primary and secondary) are led to one filter battery. The filters are bag filters. The filter is the key component for the de-dusting of the off-gas. The dust accumulated on the filter bag surface

leads to an increase of pressure drop over the filter bags. The filter is cleaned by a pulse jet or reverse air process. The filter cleaning process can be either continuous pulsing or depending on differential filter pressure.

The induced draught (ID) fan is necessary to suck the off-gas through the system. Finally, the clean gas leaves the system via the stack to the environment.

The secondary de-dusting system consists mainly of the canopy hood evacuation. It is necessary to evacuate gaseous emissions from the steel plant. The canopy hood sucks in the dust loaded gases in the steel plant respectively melt shop reaching the roof area. Gas emissions result from the electric arc furnace or the ladle furnace. The handling of ladles, EAF charging and tapping, handling of solids and liquids inside the steel plant also leads to dust emission. The gases are mixed with the primary off-gas outside of the melt shop in the mixing duct.

### Concept of EAF Quantum

The rectangular scrap buckets (1) are prepared at the scrap yard and charged into the container (2) from above. The inclined scrap elevator (3) transports the scrap to the top of the shaft. For charging the shaft the container is tilted. There is an off-gas hood (4) on top of the shaft to capture diffusive emissions during charging and a flap to seal the shaft during operation. To ensure proper de-dusting and preheating the off-gas is directly extracted from the top of the shaft via two suction lines at the sides of the shaft. All off-gas extracted via the two ducts is treated in a post-combustion chamber (5) for removal of CO, VOCs, and PCDD/F. The shaft (6) consists of several water-cooled panels forming a trapezoidal shape which opens towards the lower part of the shaft. This design favours the off-gas flow and the preheating efficiency. In contrast to a conventional EAF the EAF Quantum has a larger, horse shoe-shaped vessel (7) for a large hot heel and a fixed shaft and roof. The transformer building (8) is on the opposite side of the shaft. The main idea of the Quantum process is to ensure good preheating of small batches in the shaft and rapid melting through a large hot heel. The scrap preheating decreases the electrical energy demand and increases melting rates which are further boosted by the large hot heel. Since the scrap is not melted directly by the electric arc but by convection from the hot heel, the furnace operates in flat bath operation with a good foaming slag technology which increases the arc efficiency as well. The main process difference between conventional EAF and Quantum EAF is the continuous flat bath operation with constant foaming slag and extraordinary scrap pre-heating capability

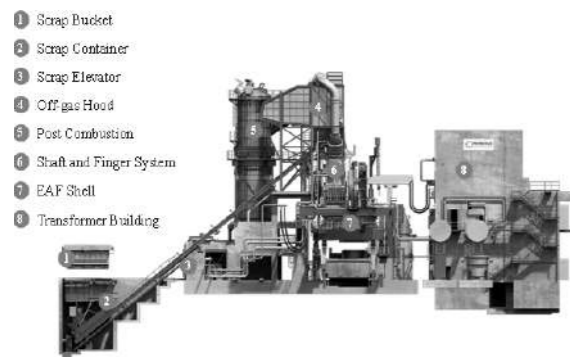


Figure 3: Main equipment of a Quantum EAF

The main equipments of the emission control system of a Quantum EAF are rather similar compared to a conventional EAF. Main difference is that for the primary off-gas line a post combustion chamber is mandatory to re-heat the off-gas for certain process phases to ensure a full combustion of carbon monoxide as well as destruction of hazardous components like dioxins or VOC.

After the combustion chamber a state-of-the art water cooled hot gas line or waste heat recovery system is used to cool down the off-gas further. For Quantum furnace typically quenching towers are applied for the secondary cooling stage which ensures the rapid cooling and therefore minimizes the risk of any de-novo synthesis of PCDD/F as well as the rather

continuous operation of the Quantum furnace compared to conventional EAF.

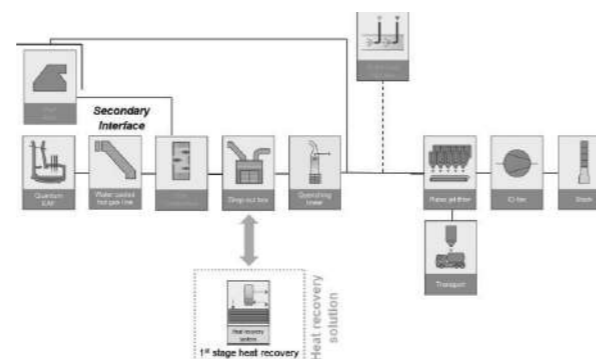


Figure 4: Typical dedusting concept of a Quantum EAF.

**When and where the emissions will be generated?**

Table 2 provides an exemplary overview on the emission generation during the electric arc furnace melting process.

The most important gaseous emissions which can be influenced by adequate process operation as well as their generation mechanism are briefly described in the next sections.

	Oxides of sulphur	Oxides of nitrogen	Carbon dioxide	Carbon monoxide	Hydrogen chloride	Hydrogen fluoride	Oxides of iron	Metallic iron	Inorganic fluorides	Hydrogen cyanide	Cadmium and -oxide	Zinc, lead & -oxides	Other metals & -oxides	Other inorganic chemicals	Slag waste	Refractory waste	PCDD/F	PAH	PCB	Volatile organic compounds	
EAF: Charging	A	A	A	A	A		A				A	A	A	A			A				
EAF: melting & refining	A	A	A	A		A	A				A	A	A	A	L, I		A	A	A	A	A
EAF: steel & slag tapping							A						A		L, I						
EAF: furnace and ladle lining repairs							A, I	A, I	A, I	A, L, I				A, I	A, I	A, L, I					

Legend: I: Main pollution substances, A: release to air, L: release to land

Table 2: Overview on emission generation

**1) Sulfur Oxides (SOx)**

The amount of sulfur oxides in the off-gas is depending on the amount of sulfur in the raw material and in the carbon addition. Also the type of electric arc furnaces has no impact on the concentration of sulfur oxides in the off-gas. The amount of Sulphur in the steel has to be reduced in the LF.

**2) Nitric oxides (NOx)**

Most NOx emissions result from the high temperature oxidation of nitrogen during the combustion processes. Combustion processes that occur during steelmaking either from the electrical arc or from the chemical power injection can form NOx. To reduce the amount of nitrogen in the furnace atmosphere it is

essential to reduce this emissions source. Oxygen burner instead of an air burner or a constant foaming slag process to cover the arc are two main examples.

**3) Carbon monoxide and dioxide**

Carbon monoxide and Carbon dioxide is the result of combusting carbon during the process. The foaming slag technology constantly creates CO. Especially for the shaft furnace technology such CO source is used to significantly save energy. Conversion CO to CO<sub>2</sub> is an exothermic reaction which helps to preheat the scrap in the shaft.

**4) Volatile organic components**

The amount of VOC's depends on the cleanness of the scrap. The organic compounds combust already in an early process phase, either after charging into the hot EAF or during preheating in the shaft most of the VOC's are gone.

**5) Dioxins and Furans**

Also Dioxin- and Furan creation depends on raw material quality. The created Dioxins for example can be adsorbed by active carbon injection. Additionally

de novo synthesis should be avoided by quick gas cooling.

**6) Heavy Metals**

Heavy metal emissions purely depend on the scrap and feed material quality Not additional creation during the melting and refining process occurs. The type of Electric Arc Furnace has no impact on the concentration of heavy metals in the off-gas.

**Possible levers to reduce emissions**

The knowledge about the emission generation process is an essential basis for appropriate emission reduction concept. The reduction measures therefore can be divided in measures which affect the primary process operation and in end-of-pipe solutions which consider gas cleaning systems.

The following table gives an overview of possible emission reduction levers.

Emissions	Sources	Solution for steelmaking industry
heavy metals (Pb, Ni, Cd, Hg)	Scrap containing: <ul style="list-style-type: none"> <li>Corrosion protection</li> <li>Plastics</li> <li>Galvanizing materials</li> <li>Alloying materials</li> <li>Electronics</li> </ul>	Adsorption (AC-injection) Prevention by usage of higher scrap quality steel (if possible)
SO <sub>x</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sulfur content of used fossil fuels</li> <li>Combustion kinetics</li> </ul>	Reaction with hydrated lime & sodium bicarbonate
NO <sub>x</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nitrogen content of used coal</li> <li>Combustion kinetics</li> </ul>	Selection of low NOx burners SCR or NSCR (in special cases) Correct foaming slag practice
HCl, HF	<ul style="list-style-type: none"> <li>Combustion kinetics</li> <li>Fluxes</li> </ul>	Reaction with hydrated lime & sodium bicarbonate
Dioxins & Furans	<ul style="list-style-type: none"> <li>Scrap (chlorine compounds in plastics)</li> <li>De Novo Syntheses if gas cooling rate is too slow (&lt; 300 °C/s)</li> </ul>	Adsorption (AC-injection) Prevention by usage of higher scrap quality steel (if possible) Offgas treatment (Post combustion, heating, quenching)

Table 3: Overview on emission reduction measures

Solid particulate matter resp. dust can be easily separated with a state-of-the art fabric filter. Applying this technology lowest emission figures (below 5 mg/Nm<sup>3</sup>) can be achieved.

Regarding gaseous components the situation is more complex. Most of the emissions are driven by the input mix into the furnace. This fact is independent if a conventional or a shaft-based furnace is considered. Depending on the input mix or furnace process steps a proper gas cleaning solution has to be applied to remove the hazardous components before emitting them to the environment.

The gas cleaning technology for substances like heavy metals, VOC, dioxins and furans are mainly

adsorption based. This means that in front of the fabric filter unit a adsorption material is injected. This injection has to be done at an adequate off-gas temperature. Generally, it can be said that the adsorption process is more efficient at lower off-gas temperatures. The temperature shall be at least below 100°C. As adsorption material typically activated carbon is used due to its high specific inner surface. Harmful substances as mentioned above are bound to the injected material particles and afterwards separated on the bag filter unit. Besides the appropriate temperature also fluid dynamic topics like mixing and retention time before entering the bag filter have to be considered. As a general rule about

50% of the adsorption happens "on the fly" before entering the bag filter and approx. 50% are adsorbed by the material on the bag filter. Hence, an adequate bag filter cleaning control is also crucial for optimum adsorption.

For acid gas components like sulphur oxides, hydrochlorides and hydro fluorides different injection materials can be applied. For example, hydrated lime or sodium bicarbonate can be used for binding these substances. In addition to the physical adsorption process these materials bind the acid components chemically.

A different gas cleaning approach compared to the injection is required for the removal of nitric oxides and carbon monoxide. Nitric oxide can be only removed with high effort in the gas cleaning system. Selective catalytic reduction (SCR) or non-selective catalytic reduction (NSCR) could theoretically be applied for very specific cases. These catalytic gas cleaning steps are well known from power plant industry and sintering plants. Nevertheless, these end of pipe solutions lead to high investment costs as well as operational expenses.

Carbon monoxide can be only reduced by achieving a full combustion of the off-gas. For the primary off-gas this can be done by an optimum design of the post combustion chamber. Hence, the design of the combustion chamber must reflect the three t's: time, temperature, turbulence to ensure a full combustion. Therefore, CFD simulations considering the post combustion chamber geometry as well as burner input are applied to achieve an optimum design. In figure 5 a schematic simulation result of a post combustion chamber is given.

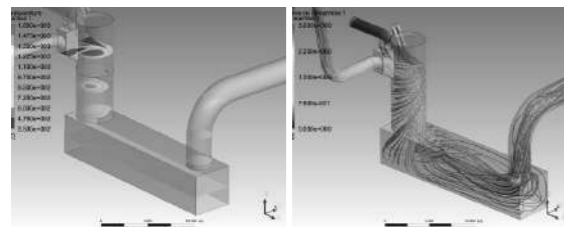


Figure 5: Schematic result of CFD simulation of a post combustion chamber

Major target of the CFD evaluation of the post combustion chamber is to achieve a constant resp. homogeneous temperature distribution (minimum 800-850°C), a sufficient retention time at the required combustion temperature to ensure the combustion process is finished, as well as a high turbulence at the inlet to achieve a mixing of the off-gases, combustion air and burner heat input. The same temperature.

Besides the combustion of CO the post-combustion chamber has to be designed in an appropriate way not to enhance the formation of NOx when CO is combusted resp. reduced. The simultaneous reduction of NOx and CO leads to a contradiction up to a certain point, since the boundary conditions for NOx formation and CO reduction are in a similar range. NOx is typically formed due to an air and therefore nitrogen ingress and combustion temperatures above 1200°C. Whereas CO is reduced due to surplus of air resp. oxygen and combustion temperatures above 900°C. In [2] these controversial effects within a conventional EAF have been analyzed in a simulated based on CFD. The main result is shown in the next figure where the exhaust flow rate is directly correlating with the combustion temperature.

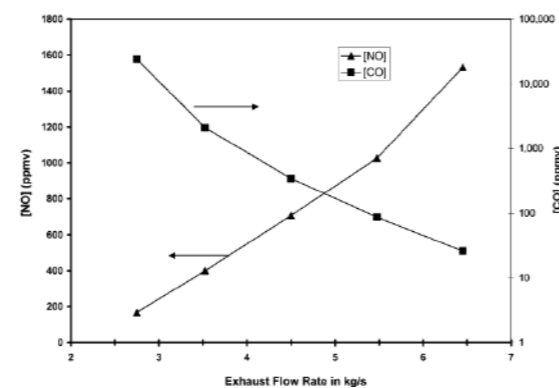


Figure 6: Emission generation CO vs. NO [2]

Besides the CO generation in the primary dedusting line, also the secondary dedusting line (suction during charging) has a major contribution to the average CO emissions. This fact is mainly resulting from the incomplete combustion during charging. Since temperature is rather low and volume flows are rather high during charging, there is no economically reasonable way for CO abatement in the gas cleaning system. This effect can be only influenced by optimization of the production resp. charging process.

Figure 7 shows once again the temperature level which is needed for a full combustion of Dioxin as well as VOC's. Also the temperature level for the recreation of Dioxin is shown in Figure 7. The shock cooling is done via quenching tower.

It can be summarized that for both furnace types the measures for emission control in terms of gas cleaning are very similar.

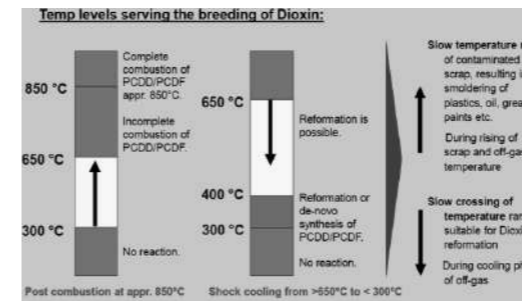


Figure 7: Temperature levels serving the breeding of Dioxin generation [2]

### Measurement results and comparison

To evaluate the environmental impact of conventional and shaft-based electric arc furnaces measurement campaigns for these furnace types have been carried out. The results as well as typical figures are summarized in the following table.

	Conventional EAF	Shaft-based EAF
PM [mg/Nm <sup>3</sup> ]	3 - 10	3 - 10
CO [mg/Nm <sup>3</sup> ]	30 - 200	100 - 350
SO <sub>x</sub> [mg/Nm <sup>3</sup> ]	8 - 15	8 - 15
NO <sub>x</sub> [mg/Nm <sup>3</sup> ]	3 - 30	2 - 15
PCDD/F [ng/Nm <sup>3</sup> ]	0,1 - 0,5	0,1 - 0,5
VOC [mg/Nm <sup>3</sup> ]	10 - 40	10 - 40

Table 4: Measurement data

The table shows that the emission figures for conventional and shaft EAF are the same except for carbon monoxide and nitric oxides. Generally the NOx creation in the Quantum EAF is lower due to the continuous flat bath operation. Nearly all the time the arc is well covered by slag and the overall installed burner power in the shell is less compared to a conventional EAF with the same tap weight. As it can be seen in Figure 5 a NOx optimized process is counterproductive for a CO optimized process. The level of CO in average over all measurements done by Primetals are higher compared to a conventional EAF. The main CO source in the Quantum EAF is coming from the foaming slag practice which is fully treated in the post combustion chamber during the process. The standard Quantum EAF process is based on 4 scrap batches. Every time the fingers open and the preheated scrap falls into the steel bath, CO peaks are created which are collected in the canopy. The same is valid for a conventional EAF. Generally a one bucket process is creating less CO peaks for the secondary line compared to a three or even 4 bucket process. The carbon monoxide which enters the Canopy hood will stay until the stack because the average off-gas temperature is around 50 °C. With this temperature no exothermic conversion from CO to CO<sub>2</sub> can occur. Means the

main difference in CO emissions is based on the number of charging cycles. One bucket charging on a conventional EAF creates less CO peaks which go to secondary line compared to a 4 batch Quantum process.

### Conclusion

The shaft based electric arc furnace achieves from environmental point of view similar emission figures like a conventional electric arc furnace. The only 2 exceptions are CO and NOx.

The slightly increased values of carbon monoxide are mainly based on the number of batches during one heat. A conventional furnace with three or four charging cycles is in terms of CO creation worth compared to the Quantum EAF because of a complete open roof situation for around 1,5 - 2 minutes each charging cycle, where the CO emissions escape directly to the secondary system. The Quantum EAF with a four batch process has no open roof situation and the main amount of offgas is still going through the primary line where the post combustion takes place. Nevertheless a conventional one bucket and mostly a two bucket process as well, has slightly lower CO emissions compared to a Quantum EAF.

The second difference are the NOx emissions. The NOx emissions on a Quantum are lower compared to a conventional EAF mainly because of the continuous foaming slag practice and a new tapping systems with less turbulences and a lower distance to the ladle which creates NOx peaks as well during tapping.

The measurement campaigns for the different furnaces showed that for all the other emissions discussed in this paper the furnace type (conventional vs. shaft-based) is not decisive.

To consider everything holistically the lower amount of greenhouse gases created during energy production should be also taken into account due to lower electrical energy consumptions on a Quantum EAF of around 25 - 30%.

## Abbreviations

Abbreviation	Text
EAF	Electric Arc Furnace
QEAF	Quantum EAF
TTT	Tap to Tap
FE	Fixed Elbow
DEC	Direct Exhaust Control
FDC	Forced Draught cooler
ORC	Organic Rankine Cycle
CFD	Computational Fluid Dynamics
BOF	Basic Oxygen Furnace

## References

- [1] Degner, M., Fandrich, R., Endemann, G., Ghenda, J. T., Letz, K., Lungen, H. B., Steller, I., Wieland, H.-J., and Winkhold, A. (2011). *Stahlfibel*. Verlag Stahl Eisen.
- [2] Chan, E., Riley, M. Thomson, M.J., Evenson, E.J., Nitrogen Oxides (NOx) Formation and Control in an Electric Arc Furnace (EAF): Analysis with Measurements and Computational Fluid Dynamics (CFD) Modeling, *ISIJ International*, Vol. 44 (2004), No. 2, pp. 429–438

## Image Processing Applications for Sustainable Production in Iron and Steel Industry

Fatih Yılmaz<sup>1</sup>, Nazlı S. Dağılğan<sup>2</sup>, Murat Furat<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ekinciler Iron & Steel Ind. Inc, <sup>2</sup>İskenderun Technical University • Turkey

### ABSTRACT

The role of image processing in industrial applications are rapidly increased as the development of technology. The industrial cameras which are currently essential equipment of the automation systems take place throughout all of the production lines such as in food, health, textile, iron and steel, and ports for variety of objectives. In addition, the new communication concept, called internet of things, makes easy to follow the quality of the products with wireless communication systems. The growing technological developments day by day may bring futuristic systems into real systems. In the present paper, we mention about studies that can be performed with image processing methods in the iron and steel industry and describe the opportunities and challenges of these studies for sustainable production. Moreover, in terms of occupational safety and health, we have considered the optimization through image processing.

### I. INTRODUCTION

The concept of image processing, which we often hear today, has become an important element for computer programming. One of the main objective of image processing is to obtain meaningful image or extracting applicable information by transforming the image into digital media. Because of this feature, it is used in many areas nowadays. Image processing is used in many industrial areas such as food, healthy, iron and steel, and ports. The application in these areas can be quality control, robotics, human and vehicle tracking, license plate recognition, speed measurement and control, thermal imaging, etc.

In the present study, we deal with image processing applications in the production of iron and steel industry (ISI). Since iron and steel industry produce semi-finished materials for other industry sectors, the quality of the products is very important for the remaining process of the metal [1]. One of the important methods to follow the quality of the product can be provided by observing the product visually. In this sense, image processing methods play important role in this industry. For example, quality of iron rod, defect detection on strip steel surface, right

number of rods in a package can be given for the image processing opportunities in this industry. Otherwise, large amount of energy and time are consumed for the reprocessing of faulty products [1]. In the present applications, there are many human-based quality control processes which is generally inefficient when the production lines are too faster to follow by the human. Although the production lines are supported by many automatic control systems currently, the quality control process is still carried out by some quality control personnel. The detection of some minor defects on the iron and steel becomes difficult [2]. Machine vision can be replaced human inspection in such cases. Automated assembly lines make flexible manufacturing, thus the costs due to underuse of production lines can be dramatically reduced [3]. An arrangement for image processing applications with essential equipment is illustrated in Fig. 1.

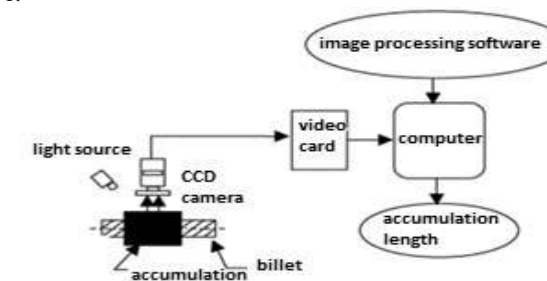


Figure 1: Arrangement for image processing applications

### II. IRON AND STEEL PRODUCTION

The initial step in the production of heat in an Electric Arc Furnace (EAF) is to select the grade of steel to be made. Scrap bucket in the scrap yard is prepared to fulfil the requirement of the specification of this grade. The prepared scrap is charged to the arc furnace and heated to 1650 °C degrees. In this case, elements such as lime and coal are added. After the melting process, alloy ratios are adjusted in the ladle furnace. Liquid steel is taken to the continuous casting machine in the ladle furnace for billet production.

The produced billets are heated up to rolling temperature in the reheating furnace and rolled to the rolling stands. After

quenching process final products are packed and stoked to the stock yard. These steps are illustrated in Fig. 2.

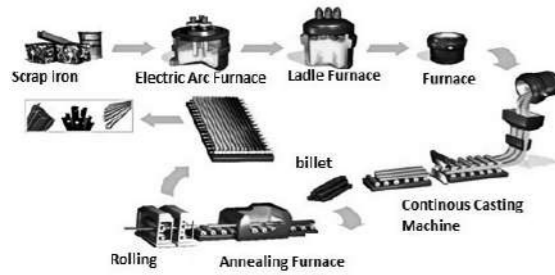


Figure 2: Processing of iron and steel industry

### III. IMAGE PROCESSING EQUIPMENT

Industrial image processing equipment consist of a camera (i.e., CCD or CMOS) and its accessories set up in an environment designed with suitable light systems, a video card used to process the image mounted on a computer which contains a related software as shown in Figure 1. CCD and CMOS, in fact, are the sensors used in the cameras and these cameras is called with the name of the sensors. These types of cameras differ from each other due to some features in industry.

#### CCD Camera

CCD sensors capture photons from the light source and convert them into signals and transmit them to image processor. It has some advantages and disadvantages for image processing applications. Main properties of CCD cameras are as follows:

- High performance in low light
- WDR (light balancing system)
- Less sensitive to vibration
- Low noise
- High sensitivity
- High resolution

One of the important disadvantages of CCD is sensitivity of the camera against heat. In order to overcome this phenomenon, it is required external elements for digital signal conversion which causes extra cost. In addition the frame rate of the CCD may be insufficient when it used in fast production lines. In spite of having these drawbacks, CCD cameras are widely used in image processing applications [4].

#### CMOS Camera

CMOS image sensor can convert the photoelectric signal directly into a digital signal. Some of the CMOS camera features may be better than the CCD camera features as follows:

- Fast frame rate
- Low power consumption
- Lower costs

CMOS camera used to in industry has some disadvantages as high noise, intermediate sensitive etc. When it is compared between CCD and CMOS cameras it is pretended that more accurate results are obtained using the CCD camera instead of CMOS camera.

Computers types (i.e., Raspberry pi, industrial computers) have important role according to application areas in image processing system. When a computer is preferred for image processing system, improper working conditions should be considered such as high temperature, production lines that require high processing speed and excessive pollution especially in iron and steel industry. Also, a video card is used to provide to data connection between the computer and camera.

Image which is received from camera is processed thanks to computer based software. Opencv includes free libraries to describe objects with processing and filtering images, for both commercial and academic purposes. These libraries can be used with Python and Visual Studio which includes interface.

### IV. IMAGE PROCESSING APPLICATIONS IN ISI

The spectrum of industrial applications of image processing is very large. Image processing can realize operations of visual quality control both with less error and less time than that of realized by the staff [5]. In addition to these advantages, the cost of running a visual quality control system is also cost-effective method.

Developments in image processing technology brings potential new perspectives on improving productivity and quality not only in iron and steel industry but also other industrial applications [6]. For iron and steel industry, these perspectives can be classified such as the detection of defects on billets counting of iron rods, automatic label sticking on the iron rod in a package, defect on iron in cooling platform, detection of liquid steel ladle refractory thickness.

When the detection of defects on billets is to be determined, a CCD camera is suitable choice to obtain the defects on the billet moving at a speed of approximately 1m/s. By analysing the images with the help of computer-based image processing software, the defects in the images can be displayed in detail as shown Fig. 3. As seen in Fig. 3, it can be realized the smooth part and defected part of the billet. Another example can be given as counting of iron rods. Approximately 12 m long iron rods on the grid are

counted with image processing for the desired number of rods in a package. The counting of the iron rods is performed by processing the tips of the iron rods in the processed image until the desired number is reached. Iron rods on the grid which are separated each other to package when the counting is completed.



Figure 3: Sample images for detection of defects on the billet with image processing applications

When the hot iron product is in the cooling platform, a system can be designed that detects and warns of defects on iron with help of the image processing.

Detection of refractory thickness also is important. Because the refractories of the ladle used to transport the liquid steel may melt in time and if this refractory is too thin, it can melt the ladle, this can cause liquid to spill. These ladle with thermal camera can be followed continuously and the refractory thicknesses can be determined by image processing. Thus, ladle breakdown can be prevented by this system. As shown in Figure 4, maximum ladle surface temperature indicates refractory thickness on this area. If the refractory thickness is thinned or there is a crack in the refractory, it can be detected before the hazardous situation occurs.



Figure 4: Real and thermal image of ladle

### IV. CHALLENGES AND OPPORTUNITIES OF IMAGE PROCESSING

Steel inspection is not a trivial task. As the strip is moving fast it is difficult to follow the strip with high speeds. In the iron and steel industry, it is mentioned that image processing can be used in many parts of the production phase. This method used in the production phase of the computer-based method has many advantages and difficulties. It has many opportunities such as raw material input efficiency, prevention of environmental pollution, labour efficiency, capital efficiency, energy efficiency, time and money earning, more accurate and reliable results. On the other hand, image processing applications means technology and innovation. The quality of the raw material, the defects in the casting and the alloy quantities can cause the problem of scar and burr on the rolled product. These problems cause the final product to become unusable and scraped. Seeing these errors even in a single bar causes the whole bundle to be distinguished into second class or scrap.

The scar and burrs detected by the camera are inspected on the rod in the cooling platform and the flawed rod is removed before the bonding. In this way, instead of scrapping the whole bond, the flawed bars are scrapped. And it is worked any worker in this part of process, so the risk of work accidents becomes zero. Also both raw material, labour efficiency and time, money earnings can be occurred. The image processing also provides a fast and secure measurement opportunity. Although the image processing method in the iron and steel industry has many advantages, it has some difficulties. Being extremely hot iron in dusty and noisy environment bring some problems in the image processing system. Due to problems of environmental factors related to the protection, placement and durability of materials which are used in image processing.

### V. SAFETY AND HEALTH WITH IMAGE PROCESSING

Iron and steel industry should be considered to be heavy industry and so occupational safety and health is much more important. Ensuring occupational safety and health is both a humanitarian necessity and a legal conviction. Preventing occupational accidents by providing worker safety and health is much easier than the resulting financial



losses. The most important result of the event is human health and life-threatening. Lost time and money can be recovered, but the lost work force can never be restored [7]. Since iron and steel industry is a heavy industry, the risk of death from work accidents is very high. The risks against safety may occur with the reasons as follows [8]:

- Heavy, extremely large materials and machines are moved from one place to another continuously
- Molten metals with a temperature up to 1650 °C
- Toxic and corrosive substances
- Smells and fumes exposed to the respiratory system by air
- Noise

There are precautions to be taken to prevent all these risks. The use of ventilation and staff protective equipment is very important in preventing work accidents and occupational diseases in the iron and steel industry. It should be used breathing protective masks and breathing apparatus against chemicals, dust and fumes. In addition, when eye protection glasses, masks do not wear during the use of laser eyes may be occur injuries. Nonetheless, dusts, fumes, vapors and molten metals at very high temperatures are dangerous for the eyes [8]. It should be wore suitable protective glasses against all these risks. Extremely noise may be occurred while operating machines, moving iron-steel, doing ventilation and other operations and this noise can be caused loss of hearing. In order to prevent staff against this dangers, the staff can be followed visually with cameras whether they have protective equipment as shown in Fig. 5.



**Figure 5:** Control of using helmet with image processing

It is difficult to control the staff working under all these risks. Staff may be bored with occupational safety and health equipment for long periods of working time and may take off them. Staff may ignore the risks of the work accidents due to having the same job for a long time (reduction in occupational safety and health awareness). Also in separate departments, the remote follow of staffs is

very difficult. Nowadays such staff control can be made more easily with the help of technological applications. Image processing application is one of the most suitable technological applications for remote following. Thanks to the image processing algorithms, occupational safety and health equipment can be followed whether they are on the staff as shown in Fig. 5.

## CONCLUSION

In this study, challenges and opportunities of image processing applications are described for iron and steel industry. Current technological developments for image processing applications allow us to improve production quality in iron and steel industry with sustainable occupational safety and health. Today, not only the iron and steel but also in all other industrial areas, it is possible to improve the production processes and prevent critically accidents. Further studies will be on the specific improvements to contribute sustainability in iron and steel industry.

## Acknowledgement

The authors gratefully thank Ekinciler Iron & Steel Ind. Inc. for the valuable support to create the present paper.

## REFERENCES

- [1] Tunuz, A. Furat, M. 2018. A Sensorless Crude Steel Cutting Method for Continuous Casting Machine, CILICIA International Symposium On Engineering and Technology Ciset, Mersin, Turkey, 19-22 June, 2018.
- [2] Molina, J., Solanes, J. E., Arnal, L., & Tornero, J. (2017). On the detection of defects on specular car body surfaces. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 48, 263-278.
- [3] Ciora, R. A., & Simion, C. M. (2014). Industrial applications of image processing. *Acta Universitatis Cibiniensis*, 64(1), 17-21.
- [4] Liu, B., Wu, S., & Zou, S. (2010, June). Automatic detection technology of surface defects on plastic products based on machine vision. In *2010 International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering* (pp. 2213-2216). IEEE.
- [5] <https://docplayer.biz.tr/270694-Endustrivel-goruntu-isleme-atel-sistem.html> (Last access: April 10<sup>th</sup>, 2019)
- [6] Samtaş, G., & Gülesin, M. (2011). Sayısal Görüntü İşleme ve Farklı Alanlardaki Uygulamaları. *Ejovoc (Electronic Journal of Vocational Colleges)*, 2(1), 85-97.
- [7] Safety and Health in the Steel Industry, Position Paper, <https://www.worldsteel.org/en/dam/jcr:c2726a91-1e5d-4a64-abfe-734a3160b2a7/Safety+and+Health+Position+Paper+2016.pdf> (Last access: April 10<sup>th</sup>, 2019)
- [8] <https://www.isguvenligi.net/iskollari-ve-is-guvenligi/demir-celik-sektorunde-is-sagligi-ve-guvenligi> (Last access: April 10<sup>th</sup>, 2019).

## High Quality Wire Rod and Bar Production at Yongxing Special Stainless Steel

J. Hsueh<sup>1</sup>, S.M. Shore<sup>2</sup>, R. Masini<sup>3</sup>

<sup>1</sup>YongXing Special Stainles Steel Co. Ltd., <sup>2</sup>Primetals Technologies USA LLC,

<sup>3</sup>Primetals Technologies Italy S.r.l. • China, USA, Italy

A new combination bar, bar in coil and wire rod mill has recently been commissioned at YongXing Special Stainless Steel Co. Ltd. in Huzhou City, China. The mill is designed to produce 250,000 tons per year of stainless valve steels, nickel-based alloy steel and numerous stainless grades, including austenitic, ferritic, dual phase and hardening steels. The new rolling mill, supplied by Primetals Technologies, has capabilities for rolling wire rod in sizes 4.5 – 16.0 mm, bar in coil from 16 – 40 mm and straight bar from 30 – 130 mm. The equipment includes quenching and heat treatment facilities to maximize in-line processing, plus new innovations such as stepless coil reforming for wire rod and optical bar counting for straight bar products, all selected to deliver higher grade stainless products. As production in the new mill continues to increase, YongXing is able to meet demands of customers seeking special grades for applications in the nuclear, automotive and petrochemical industries, among others, affirming their position as a top stainless steel supplier in China.

This paper presents several modernization solutions that take advantage of equipment and process innovations and examines the resulting improvements.

## 1 INTRODUCTION

YongXing Special Stainless Steel Co., Ltd (referred to as YongXing Special Steel) specializes in the development and production of special stainless steel rod and wire, mainly used in petrochemical, basic energy, equipment manufacturing and other industrial fields. As a leading enterprise of stainless steel rod and wire in China, it plays an important role in the development of the nation's basic industries.

The recent evolution in the industry has also led to a severe lack of skilled/experienced workers. The previous generation of workers could rely on their experience to optimize aging equipment and process practices. Now, the key to success in sustaining/improving operations is to selectively replace the outdated equipment with new technology and increase the level of automation. Mill modernization projects can provide consistent operations with higher speeds, less maintenance and downtime, and longer wear part life for more up time between changes, and as little operator intervention as possible.

## 2 PRODUCTS AND PROCESSING

YongXing produces wire rod and bar products for applications in nuclear and petrochemical industries, among others. Grades rolled in the combination mill are principally various stainless steels and nickel-based alloys. The stainless steels include austenitic, ferritic, martensitic, welding, vulcanized, dual phase and hardening grades, plus austenitic and martensitic stainless valve steels.

A wide range of sizes are rolled to satisfy the specialty steel market – wire rod from 4.5 – 16.0 mm, bar in coil from 16.0 – 40.0 mm and straight bar from 30.0 – 130.0 mm. The wire rod is formed into coils with an outer diameter of 1,250 mm and an inner diameter of 850 – 900 mm. The bar in coil package has an outer diameter of 1,250 mm and an inner diameter of 850 mm. Straight bar bundles are made in lengths from 6 – 12 m.

Starting billet for the stainless steel grades are either 220 mm, 180 mm or 150 mm square, from 6 - 7 m in length and weights from 1,200 – 1,800 kg. The nickel-based alloy billets are 120 mm round, with a length of 7 m and weight of 612 kg.

The mills are designed to roll at a maximum speed of 80 m/s with production rates up to 62 t/h. Yearly production for the modernized mill is expected to be approximately 250,000 t.

## 3 ROLLING MILL EQUIPMENT

A significant amount of equipment was provided to YongXing for the mill modernization. In the main roughing and intermediate mill trains, additions included a new reversing breakdown mill and a 3-roll sizing block.

The wire rod line equipment includes a new 680 shear, a 10-stand Morgan Vee No-Twist<sup>®</sup> Mill, 4-stand Morgan Reducing/Sizing Mill, Morgan Water Boxes, Morgan Intelligent Pinch Roll and Morgan High Speed Laying Head. For controlled cooling of

the coiled rod, a 4-zone Morgan Stelmor<sup>®</sup> Conveyor was installed, ahead of a new stepless coil reforming station.

The bar in coil line was enhanced with new pouring reels and coil quenching tanks for heat treatment of the coiled product. Coil handling of both bar in coil and wire rod coils was combined in a common system with vertical stem pallets and a vertical coil compactor.

New equipment for the straight bar line included a cooling bed run-in table with brake slide, cooling bed, plus bar handling with hot saws and bar counting. Automated bar bundling and binding prepare the finished bar for storage and shipment.

Figure 1 below shows the overall layout of the rolling mill.

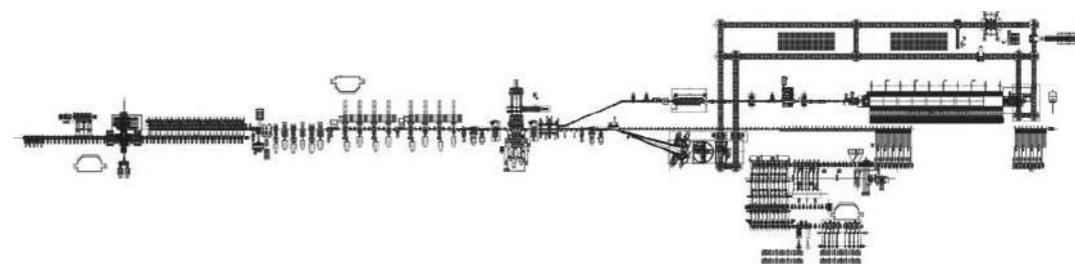


Figure 1 – Mill layout

### Bar Line

#### Mill

The breakdown mill is a housing-less reversing sliding stand, with RedRing<sup>®</sup> design (see Figure 2). Grooves are changed according to pass design by sliding the stand transversally to the rolling line, which remains fixed. Between subsequent passes, rotating devices turn the bar under rolling. The sliding breakdown has a 940 mm maximum roll centerline distance and a 1,800 mm roll barrel length.



Figure 2 – Reversing sliding breakdown with bar rotating device

The roughing, intermediate and pre-finishing trains are all composed with fifth-generation RedRing stands, scaled in three sizes, with maximum roll openings variable from 450 to 750 mm.

#### Cooling Bed

For the bar line at YongXing, a shear arrangement is used to cut the bars headed to the cooling bed. In order to cover the complete size and speed range, a 1,400 mm dual ratio crop and divide shear with 600 mm chopping shear is used for dividing sizes  $\leq 60$  mm. For sizes greater than 60 mm, no divide cuts are necessary due to the length of the cooling bed. The cut lengths to the cooling bed are calculated based on multiples of the finished commercial cut length. The cut length optimization software adjusts the primary cut lengths to the cooling bed to minimize yield losses. The tail end of the last bar can be cobble cut at the divide shear arrangement, or if the length is greater than 3 m, collected at the short bar recovery after the abrasive saws.



Figure 3 – Brake Slide to Cooling Bed

Immediately after the divide shear arrangements are the approach and run-in tables to the cooling bed. The approach table is provided with individually driven horizontal rollers that are gradually inclined to match the incline of the run-in roller table. The approach table is designed to operate faster than the finishing stock speed in order to create a gap between divided bars prior to entering the brake slide to the cooling bed.

The run-in table rollers are also individually driven and inclined at the same angle as the brake slide. The brake slide, as shown in Figure 3, lifts the bar off the run-in table rollers to allow braking of the bar under friction before being discharged onto the first notch of the cooling bed. A hydraulic cylinder cushions the bar against the brake slides while lowering it for a smoother control. The entry section of the run-in table is equipped with drop down walls to prevent the larger bar from sliding down the brake slide before the previous bar is discharged. The number of drop down walls used depends on the product size. Special wear-resistant plates along the approach table and brake slide prevent scratching of the bars prior to the lifting of the brake slide.

For conventional operation at YongXing, the bars are deposited from the brake slide onto the straightening grid of the cooling bed. Moving rakes, operating automatically by two variable speed motors, advance the bars one notch at a time from the straightening grids to the fixed rakes. The speed of the rake section can be varied to control the temperature of the product exiting the cooling bed. A set of aligning rollers are located at the end of the rake section to align the front of bars in layers before cutting at the cold saw for better yield.

During normal operation, the bars are cooled on the moving rakes and then discharged one by one, onto a grouping chain transfer, driven electromechanically, which shifts layers of bars in required numbers. A lifting tray system picks up each layer of bars and moves them onto the cooling bed run-out roller table feeding the cold saws.

Fast transfer across the cooling bed is also provided to deliver products to the slow cooling bins at elevated temperatures. In this case, the lifting tray system picks up the layer of bars immediately after they have been deposited on the moving rakes after the straightening grid and quickly transfers them to the cooling bed run-out table for cutting the final commercial lengths, before depositing them into the slow cooling bins.

#### Sawing Systems

Dividing the finished product at YongXing for handling and shipping requires a high-quality cut to prevent product surface cracks or undesirable hardening effects.

As installed at YongXing, the EVO abrasive disc saws, Figure 4, enable cutting several different sizes, shapes and grades with the same machine, improving operational flexibility. This high-speed, fully automated process allows full production capability of the plant. Both hot and cold materials may be processed and all the cutting parameters are system-controlled, including sample cuts and removal.



Figure 4 – EVO Abrasive Disc Saw

#### Bar Counting

The patent-pending bar counting system at the entry to the bar bundling area at YongXing provides the accurate piece count of the bars as they are transported to the stacker. The autonomous system consists of illumination of the ends of groups of bars as they pass on the conveyor, an image processing camera, and ancillary components. As bars pass the camera, the images of the bar ends are digitally captured and the image is processed with a proprietary algorithm to provide the number of pieces in the layer. The system provides an accurate and reliable means of providing a count for each of the bar bundles.

#### Bar Bundling and Binding

The bundle forming station at YongXing includes three independently driven chain sections. The first is a buffer chain section accumulating bars that cannot be advanced to the next section. The second section pre-selects a fixed number of bars for feeding into the bundle-forming cradle. The third section feeds the bars to the bundle-forming

cradle. The cradle lowers incrementally, minimizing the drop distance from the lances to the top of the bundle. Vertical and horizontal rollers then help support the loose bundle during transfer to the tying machines.

Two sets of fixed bundle-forming arms and tying machines are provided at the exit of the bundle forming station. The loose bundle advances through the tying machines and stops at a pre-set position depending on the commercial length to space the ties equally along the length. The bundle-forming arms compact the bars into a bundle before the ties are applied. After tying, the bundle forming arms retract and the bundle advances to the next tying position. Figure 5 shows the bundle-forming station arrangement.

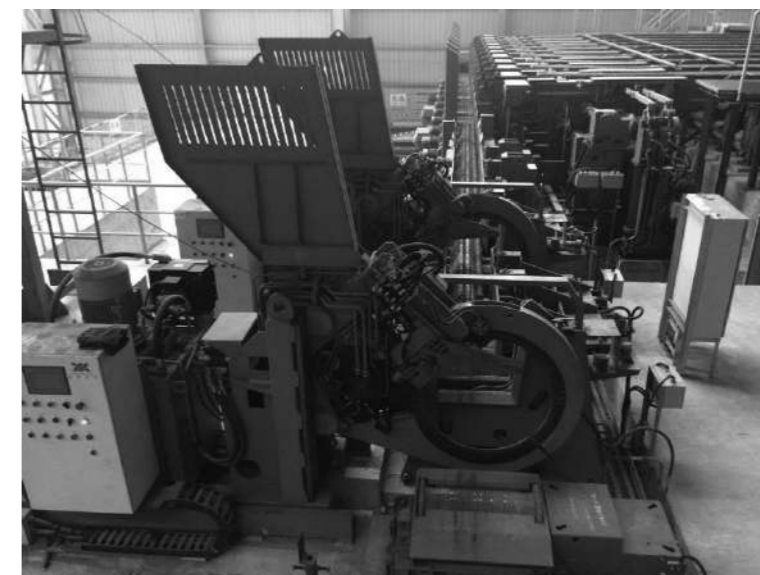


Figure 5 - Bundling Station & Tying Machines

#### Wire Rod

#### Shears

A 680 mm continuously rotating divide shear arrangement, preceded by a pinch roll unit, was installed ahead of the finishing block. This shear arrangement is used for front and tail end crop cuts which are collected in scrap buckets below mill floor level. In case of production interruptions downstream, the shear makes a divide cut and chops the bar.

#### Vee No-Twist Mill

The modular and versatile design features of the Vee No-Twist Mill allow the mill to be supplied in 4-, 6-, 8- or 10-stand configurations with fixed single pass reductions from 10 to 25%, allowing a wide range of grades to be rolled.

The Vee No-Twist Mill, Figure 6, can be configured with 250 mm, 230 mm or 160 mm cantilevered roll housings, depending on the processing requirements and product size range. Due to the unique design of the pinion and bevel gear housings, the roll housings are interchangeable, allowing the mill configuration to be changed to increase the mills product size range (5.0 mm to 26.0 mm) or enhance the processing requirements depending on the future demands of the world market. For this application, a 10-stand 16 % average reduction Vee No-Twist Mill was installed with a 230 mm ultra heavy-duty (UHD) roll housing providing the optimum configuration for the size range specified as well as reduced roll cost and improved section control.



Figure 6 – Morgan Vee No-Twist Mill

#### Reducing/Sizing Mills

One of the most significant advancements in high speed rod mills was the development of the patented Morgan Reducing/Sizing Mill (RSM) in the early 1990's, which serves as a post-finishing mill block. More than 70 strands of RSMs have been installed worldwide, mostly as part of major mill modernization projects.

At YongXing, a two family rolling method is used in conjunction with the 16% average reduction No-Twist Mill to restrict the overall reduction of the special stainless and nickel alloy products. With the installation of the 3-roll sizing, a



Figure 7 – Morgan Reducing/Sizing Mill

single roll groove setup is used in each stand from the first stand in the roughing mill to the last stand in the finishing mill to produce the necessary feed sections to the rod outlet. This not only simplifies the mill setup, but also improves yield through reduced number of cobbles and elimination of trial bars. It also significantly reduces the roll and guide changes, and thereby their inventory. Future provision has been provided for off-line roll units and the quick-change transfer car to allow size changes to be made within five minutes. As a result, even when the rolling rate or finishing speed has not been significantly increased, the mill is still capable of improving its productivity through increased operating efficiency with the reduction in downtime for roll changes.

The RSM also provides improved product tolerance and ovality – typically  $\pm 0.1$  mm tolerance and 0.12 mm ovality. With special steel products, the ability to produce a close-tolerance product reduces the amount of peeling required, resulting in large savings during post-rolling operations.

In addition, experience with the oval-round-round-round pass sequence in many mills has shown that the overall pass life is double that of conventional rolling, thereby reducing the downtime for pass changes. This pass sequence is also beneficial to wire drawers and other post-rollers, since it minimizes circumferential surface variations at the parting areas.

#### Water Boxes

A common limitation in rod and bar mills is the control of product temperature through the process line. In many cases, there is a lack of cooling capacity, making control of mechanical and metallurgical properties, as well as amount and type of scale, difficult. Product quality requirements have therefore prompted many mills to upgrade their water box systems, as did YongXing, replacing older systems with new technology offering more efficient cooling that is easier to maintain. Depending on available space, more cooling can be provided to allow for an expanded range of product qualities.

The Primetals Technologies split bore cooling nozzle design allows operators to quickly and easily open a nozzle for inspection or cleaning.

#### Pinch Roll and Laying Head

An area of the process line that commonly limits the success of a rod mill is that of the laying head and pinch roll. The ability to roll small size product at high speeds is meaningless if the ring pattern on the Stelmor<sup>®</sup> cooling conveyor is not consistent and the laying head pipe needs frequent changes. A bad ring pattern can result in failure to achieve the specified tensile uniformities and additional personnel required at the laying head or reform station to prevent cobbles in each coil. The Morgan High Speed Laying Head was developed to operate at those speeds and has achieved a good reputation for reliable high-speed operation. Numerous mills have upgraded their laying head and pinch roll systems in recent years to increase production, reduce manpower, improve yield and ensure consistent product quality.

Recent developments on the high-speed laying head system have resulted in a new upgrade package, which YongXing included in its new mill. Design changes in the laying head and pipe support have led to even better performance at high speeds, with



extremely low vibration levels. Also, a significant advancement in the technology of the laying head pipe, the patented SR Series® pipe, now enables the rolling of many, many more tons of small diameter products at high speeds – resulting in a dramatic reduction in downtime for pipe changes.

The success of the laying head and pinch roll system is also dependent on the mechatronics package that is integral to an equipment upgrade. This system provides

for consistent coordination of speeds between the units, for repeatable front end positioning of each coil, fine control of ring diameter and wobble adjustment for large sizes. The Morgan Intelligent Pinch Roll incorporates servo control of pinch force and position, closed loop control of pinch force and speed, plus rapid and repeatable roll close times.



Figure 8 – Morgan High Speed Laying Head and Pinch Roll

#### Stelmor Conveyor

The Stelmor controlled cooling system incorporates a wide range of processing conditions, including both fast and slow or hybrid fast and slow cooling in a single system to produce a wide spectrum of plain carbon and alloy steel grades. This flexibility, coupled with controlled temperature rolling, allows more grades to be produced in a directly useable condition, thus eliminating or accelerating downstream processes such as recrystallization and solution treatment.

For slow cooling, the Stelmor is equipped with insulated covers which can be closed to retard the cooling rate. Solid conveyor rollers on the conveyor deck are designed to dissipate heat transferred from the rings during slow cooling, thus preventing distortion and reducing maintenance requirements. For YongXing, this operating mode is specifically used for martensitic stainless steels that will be heat treated off-line.

Immediately after the entry section is a curved traversing zone that directs product to either the Stelmor conveyor or Direct Solution Treatment (DST) line (Figure 9). This is used for direct charging of the coils on the conveyor into the solution treatment furnace for annealing/slow cooling through isothermal transformation of stainless steel grades.



Figure 9 - Stelmor and DST Lines

#### Coil Reform

The coil reform station is a critical element of the finishing end of the wire rod mill, collecting the rings from the Stelmor conveyor and DST line into an ideal coil package, while minimizing cycle time in order to meet production demands.

Accurate control of coil plates and nose cone supports insures smooth and continuous coil collection. Integral to the reform tub is the ring distributor system, with a specially designed rotating blade to guide the rings as they fall, creating a well-ordered coil package.

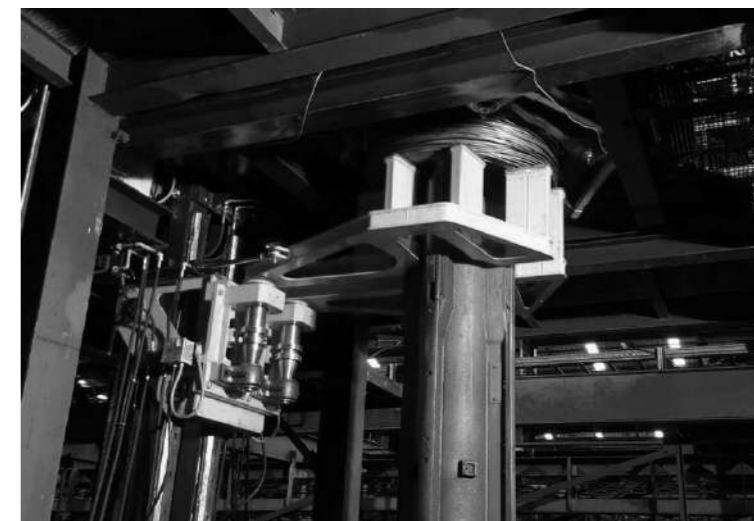


Figure 10 – Stepless Reform Station

At YongXing, the new, patented stepless reform station replaces the conventional long tub assembly that had fixed position iris fingers. In the new design, a dual coil plate arrangement supports the forming coil with independent drives for each. The two coil plates maintain a constant distance from the bottom of the ring distributor to the top of the forming coil during the forming cycle, eliminating the conventional system's crop between iris fingers and coil plate.



### Pouring Reels

A high-speed pouring reel switch located immediately before the rollerized turndown into the pouring reels at YongXing directs alternating bars within the billet gap into the individual pouring reels, providing sufficient time to transfer the coils from the reels onto the walking beam cooling conveyor. The turndown utilizes three cluster rollers to prevent scratching of the bar on the bar as it enters the pouring reels. These roller clusters are water cooled and air/oil lubricated for long life and reduced maintenance.

Two pinch rolls are located close to the pouring reels for control of tail ends as they enter the reel. All pinch rolls are traversable to allow quick change between the grooves required to cover the complete size range and include hydraulic roll mounting.

The pouring reels are equipped with wear strips on the outer rotating drum to prevent mechanical damage during the formation of the coil. An elevating coil plate assembly incorporated in the reel removes the coil from the tub.

A coil transfer mast transports the coils from either of the two pouring reels and delivers them directly to either water quenching tanks or the vertical pallet system (Figure 11).



Figure 11 - Pouring Reel Outlet with Water Quenching Tanks

### Coil Handling and Compacting

A common vertical pallet coil handling system is being used to transport both the wire rod from the Stelmor or Direct Solution Treatment lines and bar in coil products to either the slow cooling pits or unloading station for internal transportation to off-line annealing and pickling facilities. The vertical pallet system has been designed with the flexibility to ensure the shortest transport time to allow the coils to be delivered to the slow cooling

pits as quickly as possible while also providing sufficient cooling distance to ensure low coil temperatures prior to trimming and compacting.



Figure 12 – Vertical pallet coil handling system

## **4 PRODUCTION EXPERIENCE**

The newly expanded combination wire rod, bar in coil and bar mill in Huzhou has been installed and has begun production.

The wire rod and bar mills are ramping up their production with a focus on the commercial austenitic stainless steel grades such as 201Cu, 204Cu, 303Cu, 304DC, 304H, 304HC (1,2 & 3), 304L, 304S, 316 and 316L. Harder stainless grades such as ER2209, ER 309LSI and Nickel Alloys will begin their initial testing in the upcoming months.

The contracted mill production rates and finishing speeds have been achieved on grades rolled to date with a maximum finishing speed of 80 m/s and rolling rate of 62 tph for all rod sizes and bar in coil sizes < 40.0 mm.

Very good product tolerance has been achieved on all rod and bar products, with all rod products achieving the guaranteed tolerance of  $\pm 0.1$  mm with an ovality  $\leq 0.12$  mm. For many sizes these performance parameters have been exceeded (Figure 13). The only rod product size remaining to be rolled is 4.5 mm.

A major focus of the mill performance is related to surface defects. Many improvements have been made to reduce the defect depth especially on the rod and bar in coil lines. Surface defect depths of 0.04 mm are being achieved consistently on rod sizes  $\leq 8.0$  mm and between 0.04 to 0.08 mm on rod sizes  $> 8.0$  mm. Bar in coil products surface defect depths are typically 0.08 to 1.0 mm; however, additional testing on reducing these depths to levels consistently  $< 0.08$  mm are currently underway.

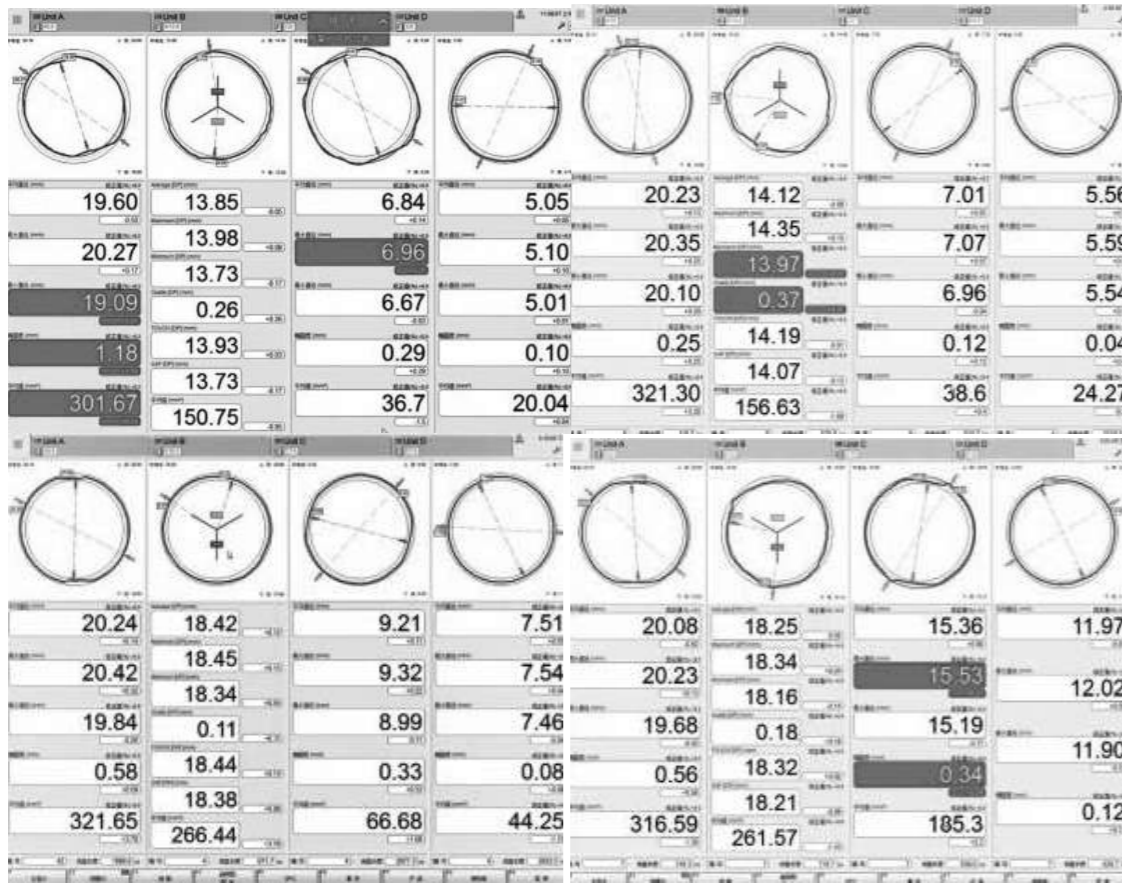


Figure 13 – Finished Product Tolerances

From a metallurgical properties standpoint, the mill has been able to meet or exceed the performance parameters for the grades and sizes rolled to date. The following table outlines a comparison between the on-line and traditional off-line heat treatment processing routes for both rod and bar in coil products.

Wire Rod Products						
Grade	Size [mm]	Property		Stelmor	Direct Solution Treatment	Off-line Treatment
304HC	7.5	Mechanical Property	Tensile Rm/MPa	578	519	513
			Elongation A%	56	64	67
			Reduction Z%	80	82	83
		Grain Size		9.5 - 10	4.5 - 6	3.5 – 5 Partial 1.5 – 2.5
304HC1	7.5	Mechanical Property	Tensile Rm/MPa	588	529	525
			Elongation A%	58	68	70.4
			Reduction Z%	80	83	81.8
		Grain Size		9.5 - 10	4.5 - 6	3.5 – 5 Partial 1.5 – 2.5

Wire Rod Products						
Grade	Size [mm]	Property		Stelmor	Direct Solution Treatment	Off-line Treatment
304HC3	7.5	Mechanical Property	Tensile Rm/MPa	572	511	505
			Elongation A%	54	61	62
			Reduction Z%	79	82	81
		Grain Size		9.5 - 10	4.5 - 6	3.5 – 5 Partial 1.5 – 2.5

Grade	Size [mm]	Property		Water Quench	Off-line Treatment
304D	18.0	Mechanical Property	Tensile Rm/MPa	582	554
			Elongation A%	58	58
			Reduction Z%	78	77
		Grain Size		8 - 9	2.5 – 4.5
304HC	16.0	Mechanical Property	Tensile Rm/MPa	560	503
			Elongation A%	53	55
			Reduction Z%	78	80
		Grain Size		8 - 9	3.6 – 6
304D	16.0	Mechanical Property	Tensile Rm/MPa	580	542
			Elongation A%	59	60
			Reduction Z%	79	79
		Grain Size		8 – 9.5	2 – 4.5

### 5 CUSTOMER RESPONSE

Improved dimensional tolerance and surface quality has provided yield savings to the downstream processing lines due to reduced peeling after pickling.

Production of rod sizes ≤ 5.5 mm has reduced the downstream wire drawing cost to produce fine wire.

Based on the above shop tests, the material quality is more uniform with respect to grain size through the on-line heat treatment process route compared with off-line. This has already met the higher material property requirements for spring wire and valve steel grades. In addition, the on-line heat treatment cost is less than 50% of the traditional off-line heat treatment cost.

### 6 CONCLUSION

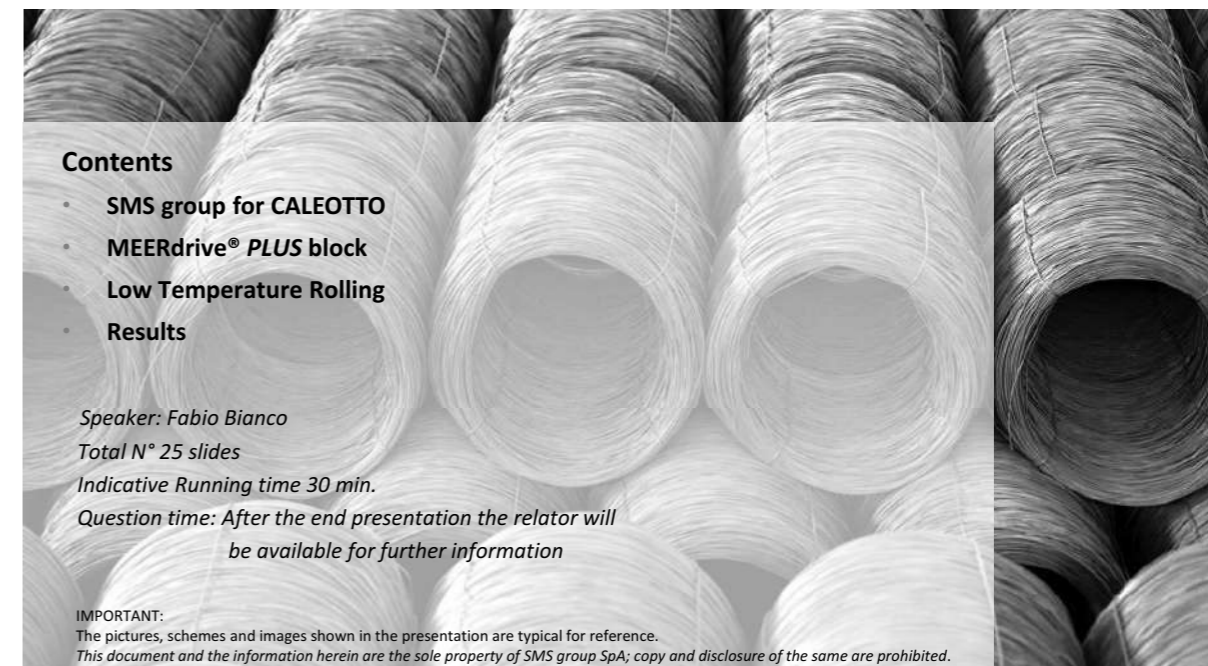
The mill has successfully demonstrated the ability to produce high-quality stainless steel products with superior dimensional tolerance, surface quality and mechanical properties. This, coupled with increased operating flexibility, allows the mill to support short delivery cycles while maintaining a high operating efficiency by minimizing downtime due to reduced family rolling and quick-change capabilities. Increased productivity and reduced conversion cost through in-line heat treatment puts YongXing Special Steel in a dominant and unique position in the Chinese market.

With the continuing focus on rolling harder stainless grades with enhanced properties, the new mill will allow YongXing Special Steel to better service and expand their existing customer base within China and the export market to Europe and the United States.

No-Twist, SR Series and Stelmor are registered trademarks of Primetals Technologies USA LLC. RedRing is a registered trademark of Primetals Technologies Italy S.r.l.

## MEER Drive PLUS® + TMR Rolling @ Caleotto

SMS Group S.p.A., Caleotto S.p.A. • Italy

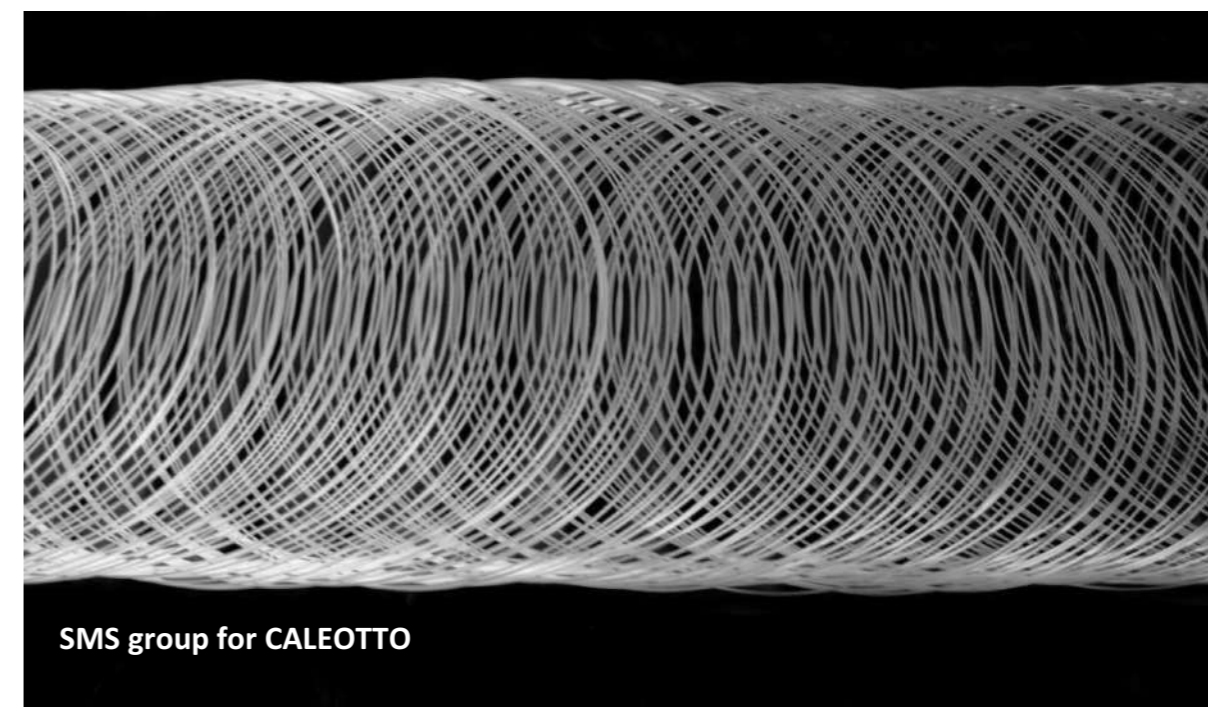


**Contents**

- SMS group for CALEOTTO
- MEERdrive® PLUS block
- Low Temperature Rolling
- Results

*Speaker: Fabio Bianco*  
*Total N° 25 slides*  
*Indicative Running time 30 min.*  
*Question time: After the end presentation the relator will be available for further information*

**IMPORTANT:**  
 The pictures, schemes and images shown in the presentation are typical for reference.  
 This document and the information herein are the sole property of SMS group SpA; copy and disclosure of the same are prohibited.



**Project targets**

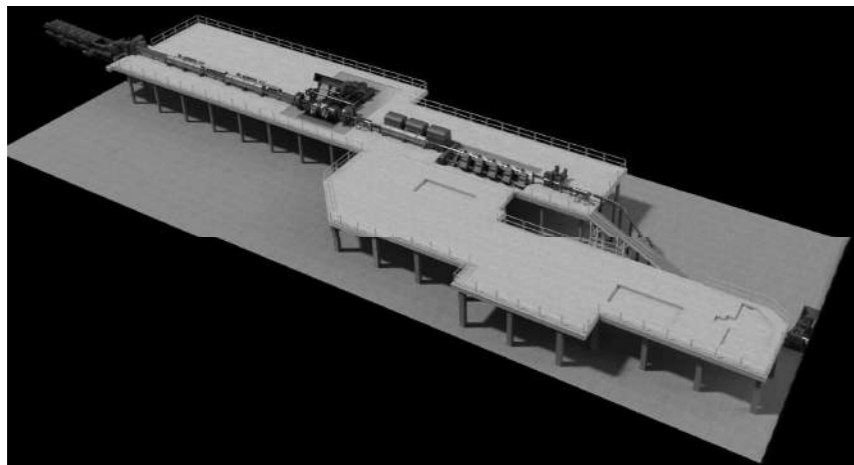
- Improving of product dimensional tolerances
- Enhance rolling procedure (low temperature rolling process) to obtain benefits in terms of improved product features such as:
  - Mechanical properties
  - Surface quality
  - Quantity and quality of scale
  - Microstructure
- Optimization of existing mill pass design
- To increase of rolling speed for smaller sizes
- To improve coil shape and quality

**Main data**

- Hourly production: 80t/h
- Billet size: 170mm x 9,5m (140-160mm 7-9,5m)
- Product sizes: 5,5 – 26mm:
- Max rolling speed: 115 m/s
- Steel grades types:
  - Cold Heading
  - Low/Med/High Carbon
  - Spring steel
  - Boron steel
  - Welding wire
- Min block in. temp: 780° C (thermo-mechanical rolling)
- Coil size: 1250 / 850mm x1,8 m - 2,1 t
- Required Tolerance: +/-0,05mm (5,5mm).

**Project phases**

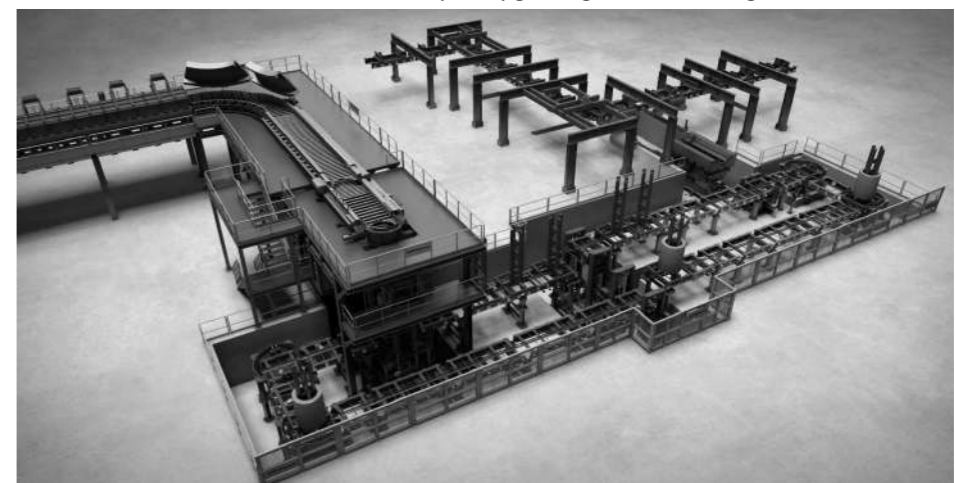
- Phase #1 – Installation and start up of sizing block and cooling lines.

**Project phases**

- Phase #2 – Installation and start up of more cooling lines and loop

**Loop area arrangement after phase #1 and phase #2****Project phases**

- Phase #3 – Installation and start up of upgrading of coil finishing







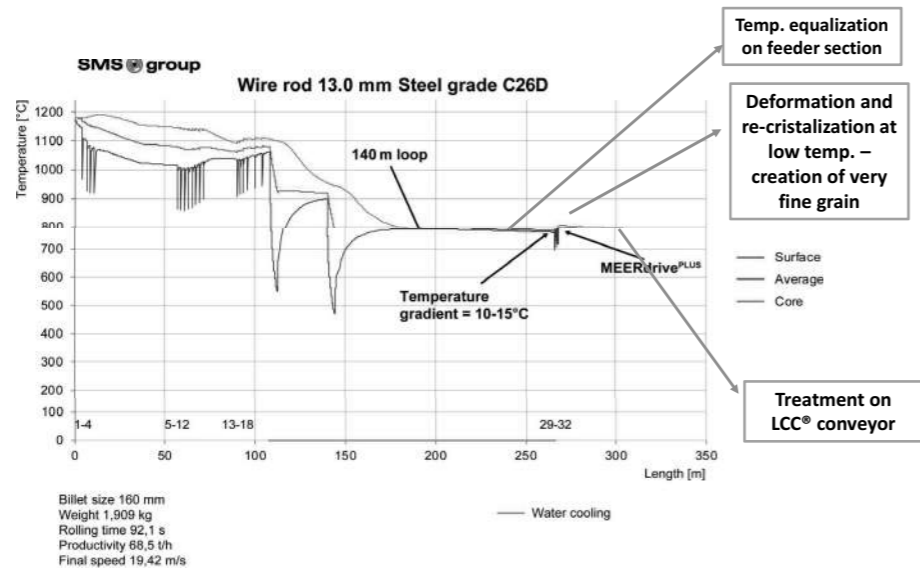
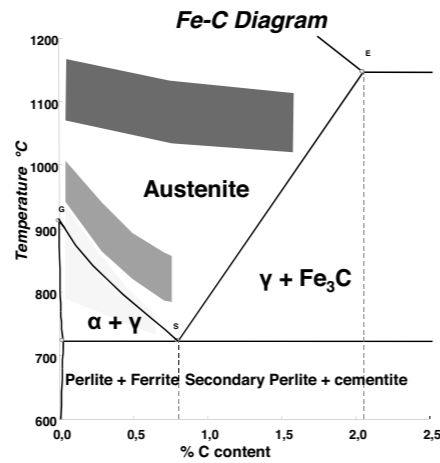
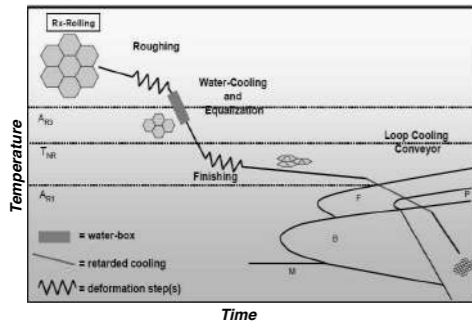
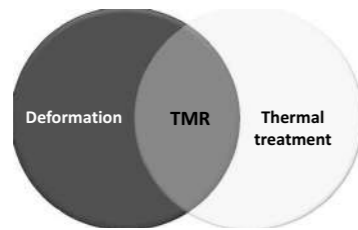
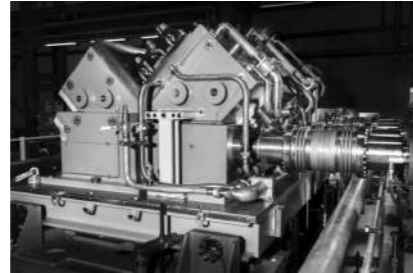
**LTR key factors**

**Rolling procedure at last rolling passes**

Too limited % of deformation will lead to uncontrolled increasing of grain size (Orange skin effect)

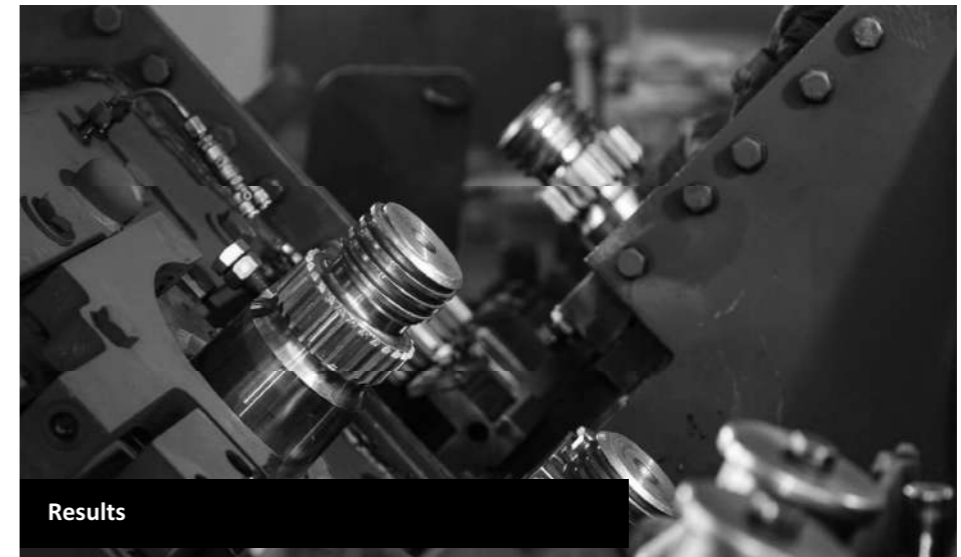
Excessive reduction will lead to uncontrolled heating of material jeopardizing the effects of low temperature rolling procedure

Usually are used 2 – 4 rolling passes with total reduction values between 25 – 40%



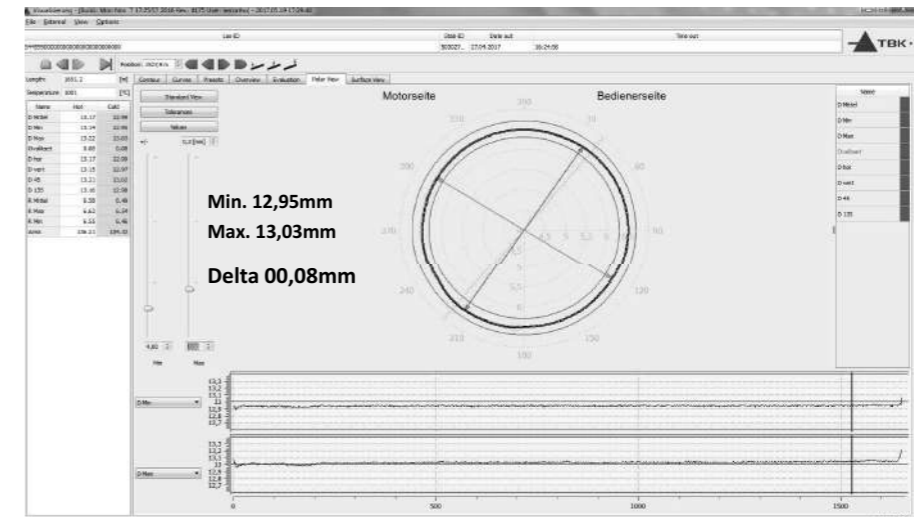
**TMR targets**

MECHANICAL CHARACTERISTICS	ELIMINATION / REDUCTION OF THERMAL TREATMENT	MICROSTRUCTURE
<ul style="list-style-type: none"> <li>Uniform mechanical properties</li> <li>Increasing of yield and tensile strength (Structural and medium carbon steel grades)</li> <li>Improving of plasticity – Increasing of ferrite content (Steel for bolts)</li> <li>Reduction of tensile strength for alloy grades (various applications)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Normalization</li> <li>Annealing for workability</li> <li>Annealing for shearing</li> <li>Globular annealing</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fine and homogeneous grain for all kinds of steels with regular distribution of ferrite and perlite on diameter</li> <li>Obtaining of microstructures more reactive on off-line thermal treatments</li> <li>No formation of fragile structure (Bainite / Martensite) during product cool down after rolling</li> <li>Reduction of scale content</li> </ul>



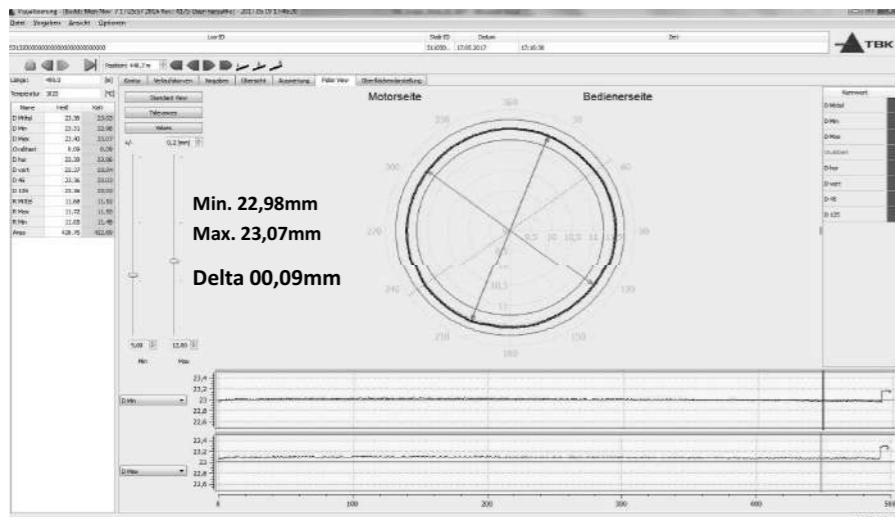
Results

**Product tolerance wire rod 13 mm dia**

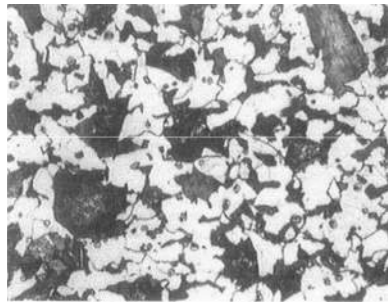




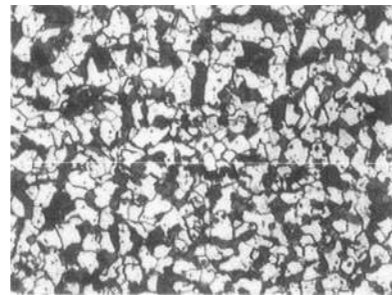
**Product tolerance wire rod 23 mm dia**



**Results: Cold heading grade 30MnB4**



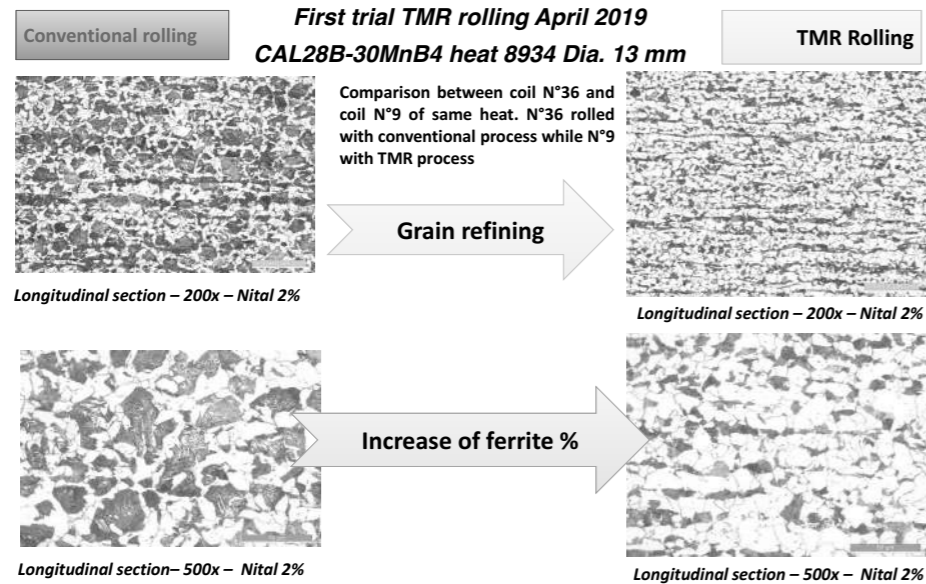
V: 500X



V: 500X

Conventional rolling + Slow cooling under hoods on LCC:  
Grain size: ASTM 8  
UTS: 622 N/mm<sup>2</sup>  
Area reduction: 55 %

LTR rolling + Slow cooling under hoods on LCC:  
Grain size: ASTM 10  
UTS: 585 N/mm<sup>2</sup>  
Area reduction: 60 %



**Quality Without Compromises: SMS Group “On The Blocks” for the Rebirth of the Caleotto Wire Rod Mill**

Nicola Redolfi<sup>1</sup>, Andrea Taurino<sup>1</sup>, Attilio Panzeri<sup>2</sup>, Nicola Bolognani<sup>2</sup>

<sup>1</sup>SMS group S.p.A., <sup>2</sup>Caleotto S.p.A. • Italy

**INTRODUCTION**

Recently two of the main leaders in the steel industry came together with the aim of creating a unique project. It was a rebirth. 2015 was the year in which the partnership between the Duferco and Feralpi Groups was established to create a new joint venture company. The production remained located at the Lecco rolling mill, strongly linked to the surrounding area choosing to preserve the historical names of Caleotto and Arlenico, always recognized and praised. The Feralpi Group which was founded in 1968, is one of the leading steelmakers in Europe and specializes in the production of steel for both construction and special applications. The Duferco Group, founded in 1979, is a strong and international group with an integrated and diversified industrial system in the energy, shipping, steel and trading sectors. The Caleotto Group moved towards a new path of competitiveness, with the aim of becoming a proactive element in the sector and in the renewal of a great tradition. The partnership between Duferco and Feralpi helped Caleotto regain its leading role, with its deep know-how accumulated in over a century of work activities. The company follows the mission of respecting tradition, innovation and granting high-quality processes. The whole production and growth activity will respect mankind and the environment. The production must be guided by sustainability criteria to be a source of “well-being” for people participating in it.

## 1. THE CALEOTTO WAY TO RESTART WIRE ROD PRODUCTION WITH HIGH TECHNOLOGICAL CONTENT

The top management of Feralpi and Duferco when they decided to concentrate all efforts to regain positions on the production of high-quality steel wire rod stated: *"We intend to guarantee the highest standards for our clients both in terms of products, processes, services, and assistance. This is why our goal is to increase our presence abroad in order to better achieve the opportunities available on the international market and continue to keep alive and competitive the manufacturing tradition of steel in the territory, through constant innovation, respect for the environment and economic and social sustainability. At the same time we need a steel-partner to permit us to reach our target"*.

### 1.1. THE PROJECT

The original plant design (from the late 80s and before) was capable of producing quality wire rod from 5.5 to 17 mm diameter starting from 140 and 160 mm billet 9,500 mm length and up to 1,850 kg. 170 mm billet 2,300 kg weight could also be rolled to obtain heavier coils. Steel grades were low, medium, high carbon steel for all applications, case hardening, cold heading, quenching & tempering steel, spring steel, boron steel, welding wire produced at rates of 70 t/h. The aim of the project was to obtain more sellable products with the possible best tolerances required by final users. Final products (in some grades and diameters) will be produced also by a thermomechanical rolling process.

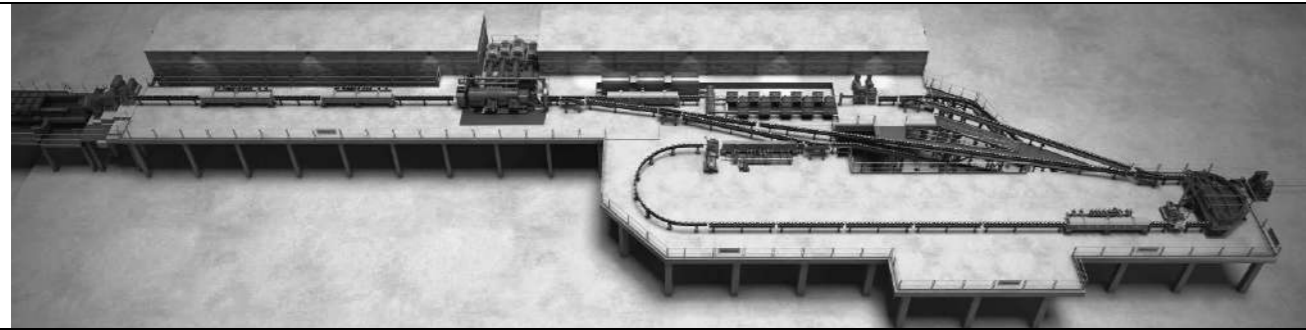


Figure 1: 3D view of LTR multiline loop concept and MEERdrive®PLUS areas

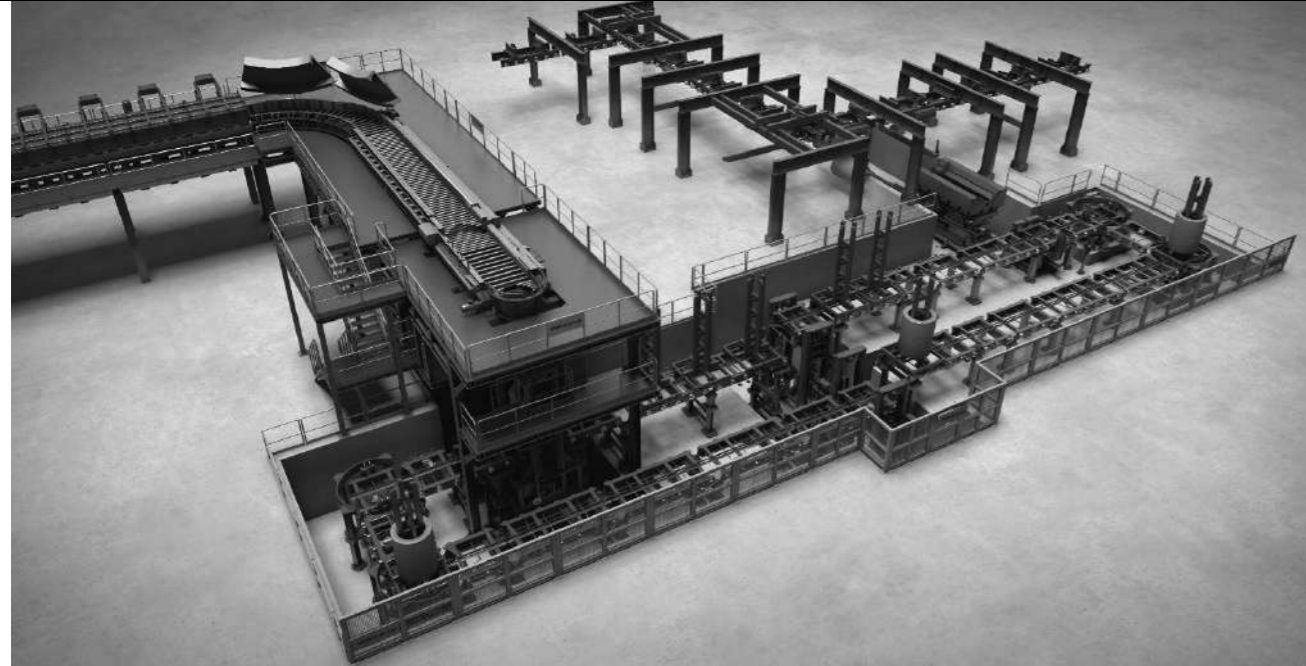


Figure 2: 3D view of Loop Controlled Conveyor, Rotary Distributor System and V-pallet coil handling area

## 2. SMS group MEERdrive®PLUS technology for a fast response to Caleotto's demands

With the successful implementation of the MEERdrive® technology in the beginning of 2000's a revolutionary drive concept was introduced into the market for most modern wire rod production. The individual drive technology offers a wide range of outstanding operation advantages in comparison to conventional solutions and required inventory will be reduced drastically.



Figure 3: A recent MEERdrive® installation

The only way to get the required tight tolerances on wire rod mills is using a 4-stand wire rod sizing block after the classic finishing block, with the essential precondition to adopt an ORRR (Oval Round Round Round) pass design with low reduction on the last two passes.

SMS group has been a pioneer in blocks with individually driven stands (2005 - 1<sup>st</sup> plant -). Blocks with the new technology are named MEERdrive®.

The huge advantages of the innovative MEERdrive® solution with individual drives are obvious:

- Total flexibility in the roll pass design: no more fixed reduction ratio among the stands;
- Minimized wear and maintenance of the block, much less gears;
- Reduced roll inventory and simplified logistics;
- Significant reduction of energy consumption;
- Reduced operation costs.

SMS group merged the market request of a 4-pass Wire Rod Block with an individually driven-stand MEERdrive® block. The result was the MEERdrive®PLUS, a 4-pass sizing block capable of rolling and of finishing wire rod from 4.5 mm to 26 mm. With this wire rod sizing, it will be possible to achieve tolerances close to 0.05mm on 5.5mm with an exceptional ovality thanks to ORRR pass sequence.

Figure 4: The MEERdrive<sup>®</sup>PLUS in operation at Caleotto works - Italy

A typical application of the MEERdrive<sup>®</sup>PLUS is to install it after an 8/10 pass traditional finishing block as adopted in Caleotto rolling mill.

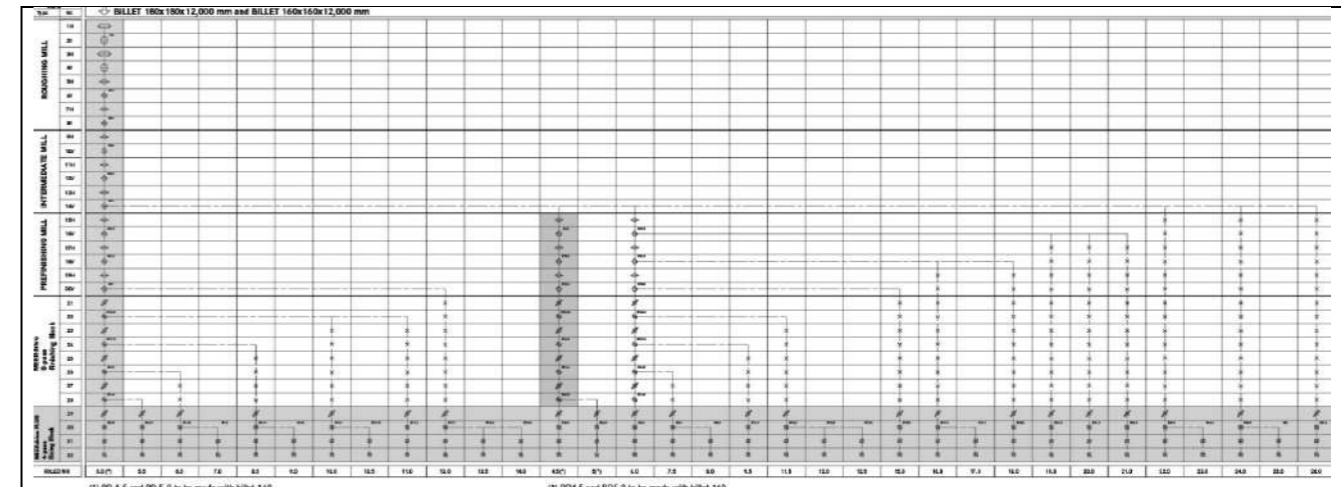
The technological distances and the necessary water boxes before and after the wire rod sizing block depend on steel grades and on final utilizations.

The MEERdrive<sup>®</sup>PLUS is already designed to perform thermomechanical rolling up to 750°/800°C, with all the related benefits in terms of refining the final grain sizes and microstructure.

This configuration, in addition to better dimensional tolerances, offers a great operative cost-reduction, allowing a simplified pass design as shown in Figure 5.

All sizes are finished on the MEERdrive<sup>®</sup>PLUS, using the 8-pass block as a feeder of small sizes: 4.5 mm to 12.5 mm, and the intermediate mill for the remaining sizes up to 26 mm. With this solution, changing times are drastically reduced and the mill utilization is significantly improved.

If the produced mix of sizes is particularly extended, a quick changing device for changing all 4 stands simultaneously in less than five minutes, is also possible.

Figure 5: Typical pass design of a MEERdrive<sup>®</sup>PLUS after a 8-pass Block

### 2.1. THE MULTILINE LOOP CONCEPT (PATENTED)

In all fields of steel production, the goal of best possible mill availability even with changing market conditions is present. Especially for mills producing quality steel, small lot sizes are required. This in turn necessitates frequent mill changes with the associated increased down time. In view of this, SMS group has developed the Multiline Loop concept allowing mill utilization in excess of 90% for mills producing quality wire rod with small lot sizes. Thus a quick response to market needs is possible and inventories can be reduced.

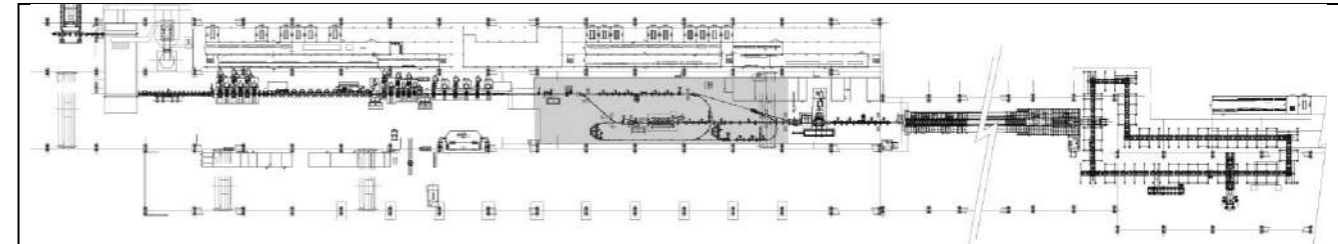


Figure 6: Multiline Loop Concept in a modern wire rod mill

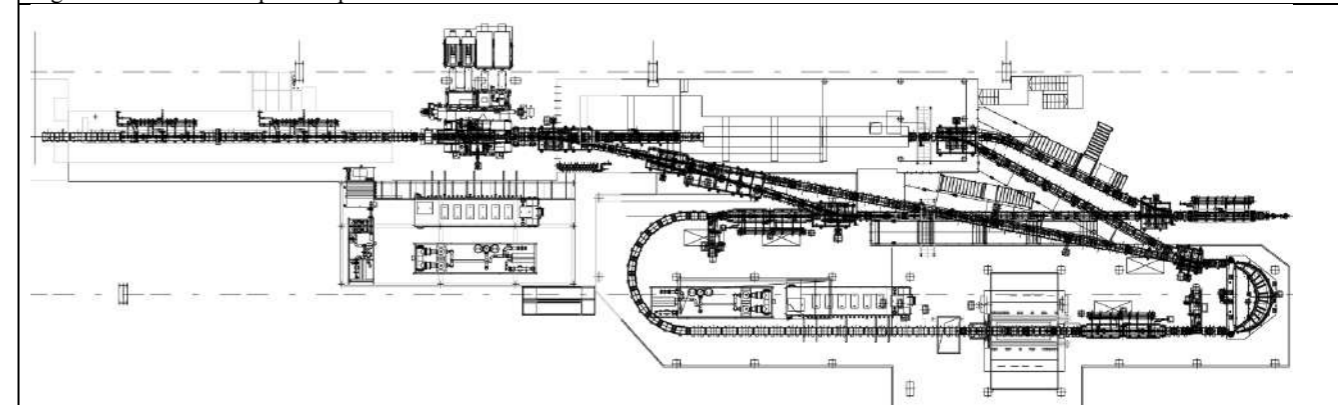


Figure 7: Caleotto Multiline Loop Concept

Figure 6 shows the layout of a typical mill with all features for the production of quality steel. A mill of this type can produce from 550,000 to 700,000 tons per year, depending on the product mix. This fully continuous mill is suitable for a maximum billet size of 160 to 180 mm square, depending on the steel grades to be rolled. In this case the entry speed still achieves an acceptable level.

Furthermore, a billet-welding machine can be installed, provided there is adequate space between the furnace and stand no.1. If larger billets were to be used, the layout would be as shown in Figure 6 since a free run out of the product is required behind the roughing mill. Four stands are installed in the roughing mill. This allows a favorable box pass design in the first 2 stands followed by an oval / round sequence. In any case the intermediate roller table must be covered in order to avoid undesirable heat losses of the product.

Using the concept with the 8-stand block and the 4-stand MEERdrive<sup>®PLUS</sup> mill in the finishing part of the mill, single family rolling is used from stand 1 up to the block exit. The complete finished product size range 4.5 to 26 mm is rolled on the MEERdrive<sup>®PLUS</sup>. Quick changing facilities are available in 2 different alternatives. The most economical solution is a quick roll change allowing a complete size change within 15 to 20 minutes. The other possibility would be to change the complete 4-stand MEERdrive<sup>®PLUS</sup> within five minutes requiring an additional unit. Tolerances are within  $\pm 0.1$  mm for the complete size range. The design speed is 120 meters per second with dressed rolls. In addition to the above, there is the patented Multiline Loop in combination with the 8-stand block and the 4-stand MEERdrive<sup>®PLUS</sup> offering advantages that cannot be achieved with any other mill concept.

At the end of the existing controlled cooling conveyor, a new curved portion of a most modern Ring Distribution System (RDS) is installed in order to properly distribute the windings to achieve a compact coil formation. The RDS is followed by a coil lowering station which is lowering smoothly the compact coils onto a vertical pallet system. The pallets finally hand over the coils finally to the installed C-hook system for subsequent trimming and compacting procedure. It is designed to be particularly protective to the finished wire rod material and is also adapted to the high-quality finished product. The whole coil handling system is designed of course for human friendly operation.

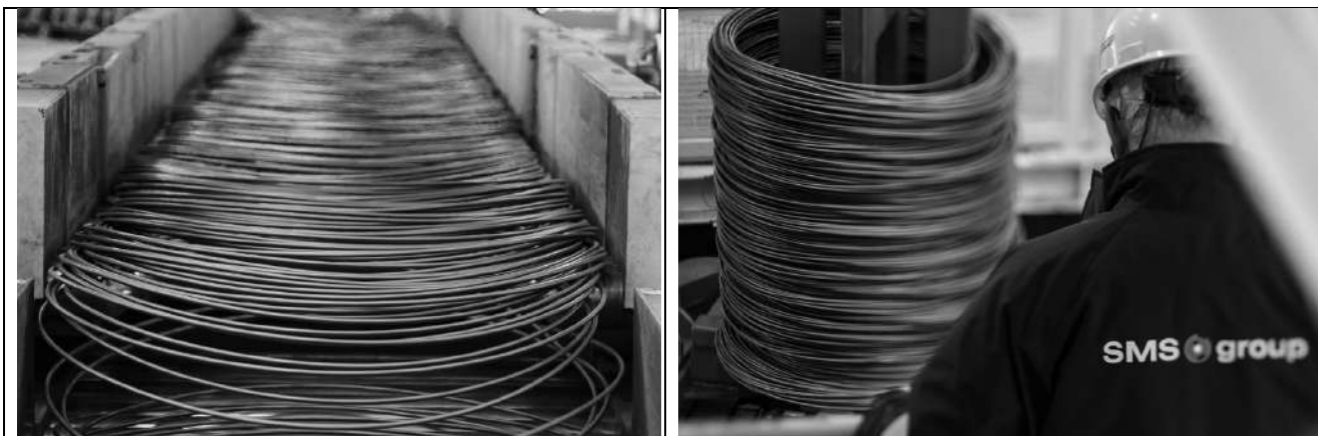


Figure 8: Loops on the roller conveyor



Figure 9: Coil deposited on the vertical pallet

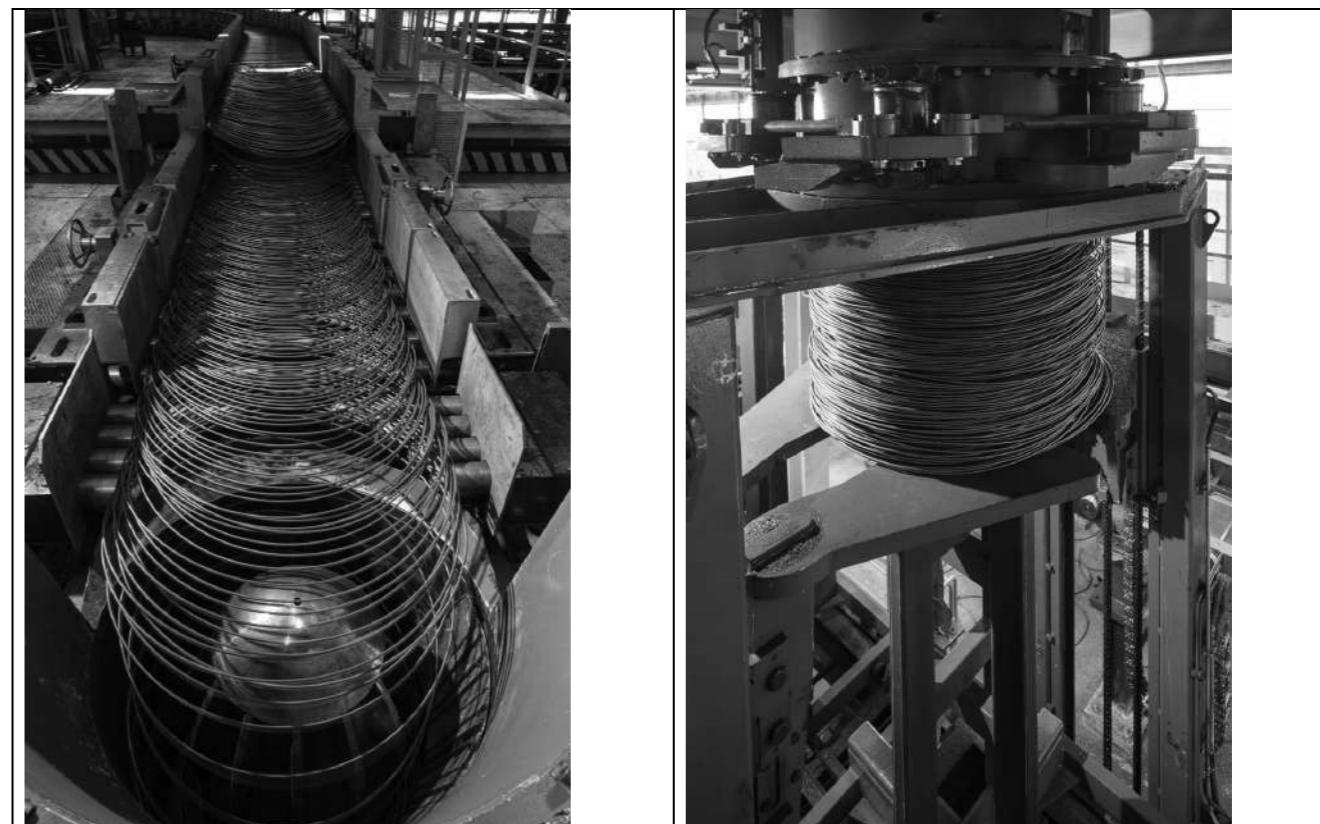


Figure 10: Loops approaching the rotating pit



Figure 11: Coil formed and laid down on coil lowering station



### 3. RESULTS

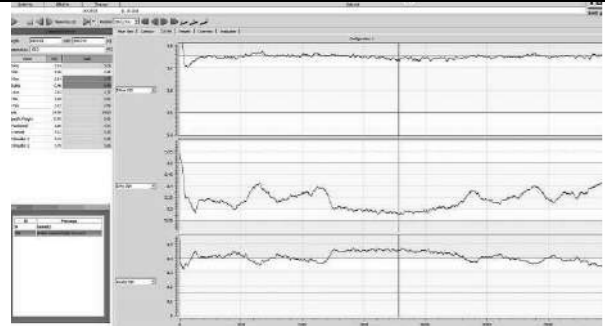
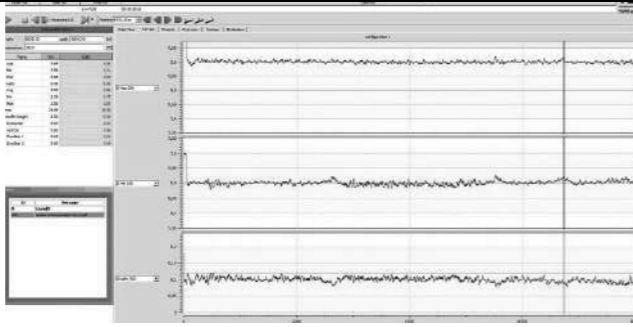
The obtained results in terms of dimensional tolerances attest the process and equipment quality.

Since the very first billets rolled via the MEERdrive<sup>®</sup>PLUS, in one of the recent plants installed in Europe, very tight tolerances (also ovality) have been achieved and constantly repeated.

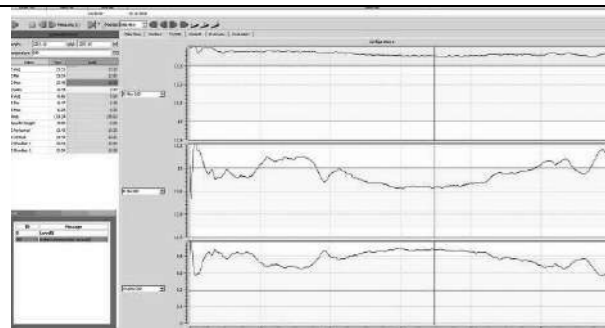
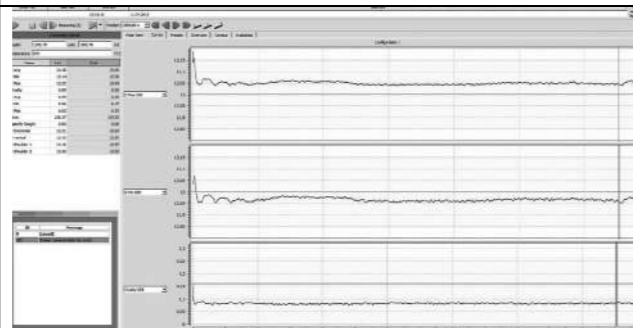
The in-line MEERgauge<sup>®</sup> measuring system on basis of light-cut technology installed after the MEERdrive<sup>®</sup>PLUS can measure up to 99% of bar surface (depending on speed), showing better outcomes than the design-related expectations.

The measuring gauge using a High Definition CMOS camera reading a laser beam shape on product surface, can perform up to 15,000 measurements/sec with a precision of up to 0.015mm.

The results reached on nominal 5,5 mm (Figure 12 and 13) are:

Ø 5,5 mm rolled on existing FFB		Ø 5,5 mm rolled on MEERdrive <sup>®</sup> PLUS	
			
11/10	Date	05/04	
5,26	Ø min.	5,52	
5,77	Ø max.	5,60	
0,49	Ovality max	0,08	

The results reached on nominal 13 mm (Figure 14 and 15) are:

Ø 13 mm rolled on existing FFB		Ø 13 mm rolled on MEERdrive <sup>®</sup> PLUS	
			
13/11	Date	03/12	
12,92	Ø min.	12,96	
13,36	Ø max.	13,04	
0,44	Ovality max	0,08	

The outstanding figures above are better than the 1/8 DIN 59110 requirements. The results are already transformed at room temperature by the software.

The constancy of measurements are highlighted by the bar graphs at the bottom of the screen shots, where red lines indicate the nominal tolerances required by the reference standard (e.g DIN 59110).

### 4. CONCLUSIONS

MEERdrive<sup>®</sup>PLUS, adopting single-motor drive technology, is the right tool on the market remarkably reducing operative costs as for rolling rings inventory, changing time and maintenance and producing top quality wire rod products easily.

The MEERdrive<sup>®</sup>PLUS grants a solid opportunity to produce a supreme wire rod in terms of dimensional tolerances and surface quality, but not only this single machine does the "right job". It is a combination of equipment, to grant new opportunities to Caleotto, from the rebirth up to the consolidation of its position in the market.

The final product at Caleotto plant becomes much more attractive for the drawing line operators and for forgings, reducing to zero spread stamping operation. The final users prefers a product with better surface and dimensional tolerances, to avoid stoppages in the drawing lines because of starting material defects and this is repaid immediately from the market, requiring quality wire-rod trend to only buy selected products.

## Energy Efficient Steel Production with the Primary Energy Melter (PEM)

Christian Thiede, Peter Starke, Jan Bader, Arnd Frankenberger

SMS Group GmbH • Germany

### Abstract

Nowadays new technologies for the steel production are of major importance. New processes focus on solutions which have a low investment cost, are energy-efficient, have low environmental impact (focus on circular economy, lower CO<sub>2</sub> emissions, etc.), and are focused on the actual available resources for the production of steel.

To meet this market demands SMS group has developed the Primary Energy Melter. Together with ArcelorMittal Gent, Belgium, an industrial scale pilot plant was built and successfully tested. This paper presents the technological features of the PEM furnace, its process and the results gained in the pilot plant installation in ArcelorMittal Gent.

### 1. Introduction

With the CO<sub>2</sub> taxation proceeding and the subsequent need to lower the CO<sub>2</sub> footprint of the steel production the steel industry is facing the challenge, especially for the integrated production route, to significantly cutting down the CO<sub>2</sub> emissions per ton of produced steel. For the LD converter production route one way to reduce the CO<sub>2</sub> emissions is the increase of scrap charging rates. However additional energy is required to equalize the energy balance of the process. The concept of the Primary energy melter is to melt scrap and charge it together with hot metal, having a temperature of the scrap-hot metal mixture of approx. 1370 degrees Celsius.

### 2. Concept of the primary energy melter (PEM)

The efficient use of primary energy in the heating and melting steps should be possible in a counter-current reactor. In such a reactor the scrap is continuously charged at the top, is heated by the combustion of fossil fuels with oxygen, becomes liquid and then is tapped at just above liquidus temperature. Since it is not possible to significantly superheat the melt in the presence of solid material, superheating and temperature control occurs in a separate buffer vessel. Figure 1 shows an exemplary layout of the primary energy melter with the buffer vessel for tapping into a torpedo ladle car.

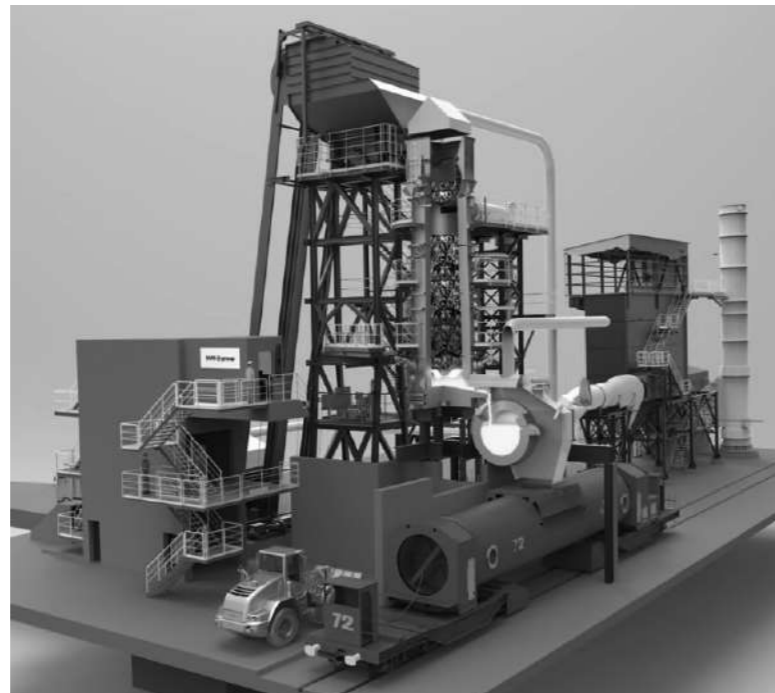


Figure 1: Primary Energy Melter plant layout

- Power consumption in melting vessel approx. 530kWh/t liquid steel
- continuous melting process with batch type tapping from the superheating and buffer vessel

### 3. PEM pilot plant

The PEM is designed to operate with natural oxygen/gas burners. In a common project between ArcelorMittal and SMS group an industrial-scale PEM plant has been built up at the steelwork location in Gent, Belgium. The pilot plant consists of: scrap loading system, gas analysis system, a runner, oven shell where eight burners are installed and a de-dusting system (see Table 1). Each burner has a maximum power of 3 MW. There are eight burners at different levels. Natural gas (mainly CH<sub>4</sub> and C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>) is used as the fuel gas. The products of completed combustion are thus CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O. E40 and E8 scrap was initially used for the melting tests.

Table 1: Basic data of the PEM installed at ArcelorMittal Gent

Plant features	Plant data ArcelorMittal Gent
Melting power	350 to 500 kg/min
Burner power	24 MW
Specific power	8 MW/m <sup>2</sup>
Vessel height (outer)	6 m
Vessel diameter (outer)	3.5 m
Overall height	25 m

Figure 2 shows the PEM installation in ArcelorMittal's Gent plant, where on the left side the skip system for transporting the scrap to the scrap feeding drum is shown. The scrap feeding system ensures a continuous and smooth feeding of scrap into the furnace shaft and at the same time ensures no fumes escape into the surroundings. The charging drum also serves as shear cutting scrap pieces, which exceed the maximum charging dimensions. The photograph on the right side shows the furnace shaft with the tapping runner and de-dusting hoods.



Figure 2: PEM installation at ArcelorMittal Gent

### 4. Results of the pilot plant operation

The operation of the pilot plant in Gent (refer also Figure 3) showed that the process of melting scrap with primary energy is an efficient way to provide additional liquid Fe material for the BOF process. In detail the following conclusions result from the evaluation of test campaigns:



Figure 3: PEM operation at ArcelorMittal Gent

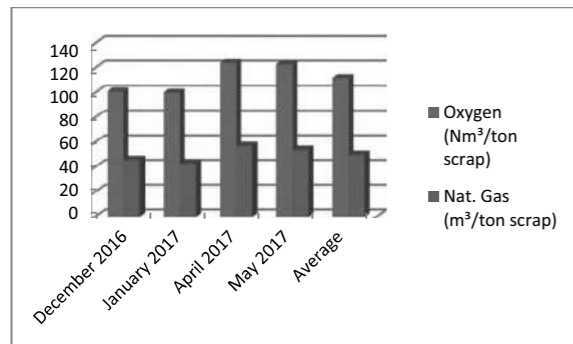
1. Oxidation level of liquid scrap at the PEM is comparable with the oxidation in an EAF. Table 2 shows the Fe yield of different test campaigns. The main difference between the different yield values depends on the variation of the charge material composition.

Table 2: Fe yield during test campaigns

Campaign	Fe yield Fe metallic out / Fe total in (%Fe slag+Fe scrap)
May 2014	91,5
April 2016	93,6
June 2016	88,4
September 2016	95,8
January 2017	92,5
Average	92,3

2. The amount of primary energy required during the test campaigns outlined that the PEM process has a higher efficiency for melting of steel scrap than alternative processes as the EAF or induction furnace. During the test campaigns, it was possible to melt the scrap in the PEM shaft with an average energy consumption of 112 Nm<sup>3</sup>/t Oxygen per ton scrap and 50Nm<sup>3</sup> of natural gas (see Figure 4).





**Figure 4:** Oxygen and natural gas consumption during PEM test campaigns

3. The off-gas was once analyzed for Dioxins and NO<sub>x</sub> during a test campaign with E40 / E8 scrap.

- Dioxins:

The results of dioxins are just indicative for a period of melting time of one hour. Dioxins content in the off-gas was measured to 0.0158 ng TEQ/Nm<sup>3</sup>, where the norms require a value not higher than 0.1 ng TEQ/Nm<sup>3</sup> measured during a 6 hours analysis time.

- NO<sub>x</sub>:

NO<sub>x</sub> measured 145 mg/Nm<sup>3</sup> where the European regulations call for a maximum of 500 mg/Nm<sup>3</sup> NO<sub>x</sub>.

In the future, the off-gas analysis should be done in with different scrap types and for longer test periods to verify the results given above.

4. The installed burner system, consisting of eight 3MW burners, using natural gas as fuel and oxygen was capable of melting the scrap column in the furnace shaft. During the test campaigns the burner system was modified to optimize the efficiency rate and ensure a stable formation of a cavity for the burner flame

## 5. Use of liquid scrap in downstream steelmaking process

### 5.1 Integrated steelmaking route

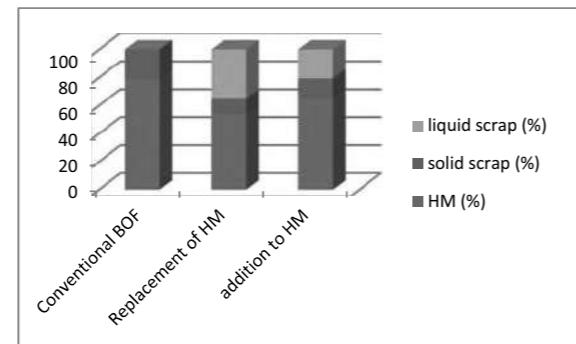
The usage of liquid scrap, molten in the PEM, gives two possible scenarios for the production of crude steel using the integrated production route.

The first scenario is the increase of production by adding liquid scrap to the process. The second scenario is the replacement of hot metal and subsequently cooling scrap by liquid scrap.

In conventional converter operation, the hot metal ration is in the range of 80% hot metal and 20% solid scrap.

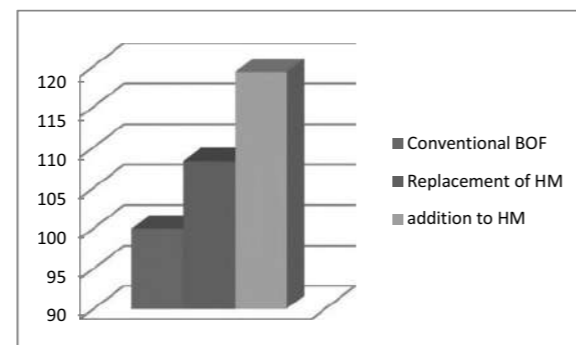
Based on the process simulations and commissioning experience gained by SMS in the last decades up to 35% of

the material charged to the converter process can be substituted by liquid scrap. The use of liquid scrap instead of hot metal does not only reduce the CO<sub>2</sub> footprint for the steel produced in addition it will also increase the production in the range of 5-8% as the lower carbon content of the charging material decreases the blowing time required in the converter.



**Figure 5:** Charge mix input for BOF considering PEM

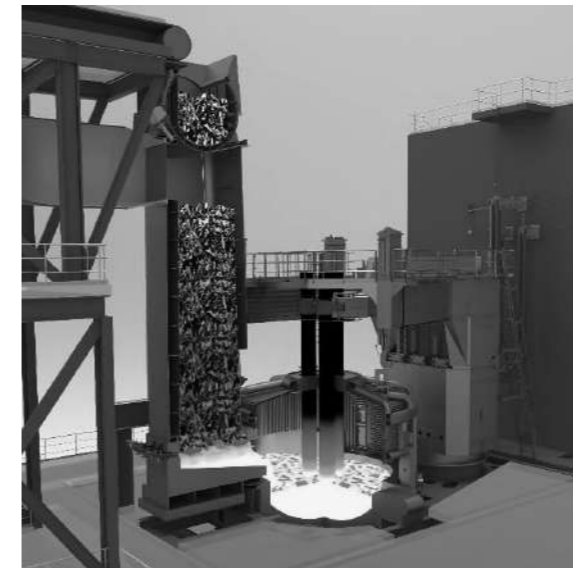
If liquid scrap is not used to replace hot metal in the process but used to boost the production, depending on the boundary conditions more than 20% percent of the charge material can be liquid scrap. By applying such operation practice the productivity will also go up by approximately 20% compared to a conventional converter process (Figure 5).



**Figure 6:** Productivity increase using liquid scrap in BOF process

### 5.2 Electric arc furnace route

For using the liquid scrap in the electric arc furnace route the PEM shaft will be connected directly to the shell of the electric arc furnace. This will allow for a continuous charging of liquid scrap into the furnace and avoids the necessity of an intermediate buffer vessel. Figure 7 shows plant configuration model of the PEM-EAF furnace with the charging system, melting shaft and electric arc furnace vessel.



**Figure 7.** PEM-EAF plant layout.

The combination of the Primary Energy Melter with an EAF can bring down the operating cost for the production of liquid steel as well as reduce the emission of NO<sub>x</sub>.

Depending on the market specific unit costs for electrical energy, natural gas, oxygen and electrodes. Table 3 shows the comparison between a 100t EAF and PEM-EAF with respect to the consumption data. For this specific case, based on the US market unit prices a cost saving of more than 24 US\$/t liquid steel can be achieved.

**Table 3.** cost comparison of PEM-EAF and AC-EAF

Parameter	Unit	Process Variant		DELTA		Specific PEM savings in US\$/t
		PEM-EAF	AC-EAF	DELTA individual consumptions	unit costs in US\$	
Tap weight	t	100	100			
Production time	d/y	310	310			
HBI charge	%	20,0	20,0			
Scrap charge	%	80,0	80,0			
Tap to tap	min	61,9	59,8			
Power on time	min	51,9	46,8			
Elec. Energy Cons. EAF	kWh/t <sub>liq.</sub>	150,0	445	295,0	0,06	17,7
Electrode Cons.	kg/t <sub>liq.</sub>	0,55	1,57	1,02	20	20,4
NG PEM + EAF	Nm³/t	55,0	5,9	-49,1	0,13	-6,5
Oxygen Cons. PEM + EAF	Nm³/t	124,0	26,3	-97,7	0,05	-4,9
Carbon Injection EAF	kg/t <sub>liq.</sub>	12,0	12,0	0,0	0,14	0,0
Lump Carbon EAF	kg/t <sub>liq.</sub>	0,0	0,0	0,0	0,12	0,0
Refractory PEM add. to EAF	kg/t <sub>liq.</sub>	1,5 add.		-1,5	1,7	-2,6
						24,2

## Conclusion

The results of the test campaigns at ArcelorMittal Gent showed that using primary energy to melt scrap is an interesting alternative or addition to the established melting units such as electric arc furnace or induction furnace. In addition, the PEM technology gives an opportunity to satisfy the growing market demand of significantly increased scrap charging rates for the BOF process. Furthermore utilizing the PEM-molten scrap in the steelmaking production will have a positive influence on the productivity, the overall conversion cost as well as the emission of CO<sub>2</sub> greenhouse gas of the integrated steelmaking route is reduced.

## References

- [1] Voj, L.; Lüttenberg, M.; Reifferscheid, M.; Rose, L.; Bergs, A.; Kleinschmidt, G.: Off-gas analysis and X-Melt Designer for Process modeling; EOSC 2014 proceedings
- [2] Schlüter, J.; Falkenreck, U.; Kempken, J.; Bader: Primary Energy Melter – A hybrid process using an energy efficient technology; AisTech 2008 proceedings

## The Minimill Flat of the Future - EAF and Arvedi ESP Based Best Practice

M. Fleischer<sup>1</sup>, J. Apfel<sup>1</sup>, D. Frascini<sup>1</sup>, A. Viehböck<sup>2</sup>, A. Jungbauer<sup>2</sup>, G. Arvedi<sup>3</sup>, G. Soldi<sup>4</sup>, A. Bianchi<sup>4</sup>, G. Conti<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Primetals Technologies Germany GmbH, <sup>2</sup>Primetals Technologies Austria GmbH,

<sup>3</sup>FINARVEDI Spa, <sup>4</sup>Acciaieria Arvedi Spa • Germany, Austria, Italy

### Summary

New targets for CO<sub>2</sub> emissions and reduced energy consumption are dominating the daily news as we strive to keep global warming under control. In parallel, the steelmaking raw materials industry is changing structurally as Chinese obsolete scrap is set to increase substantially. In the long term, this means that the electric arc furnace route for flat products will become much more important. Investors in the steel industry should bear this in mind when developing their strategies and applying for production approvals and new investments.

In steel production, melting and rolling are the process steps that consume the most energy and, therefore, the levers to be investigated. EAF and Arvedi ESP combined is the ideal solution for achieving significant reductions in energy consumption and emissions, while also making use of local raw material sources. Based on scrap input, this energy-saving flat minimill concept allows for premium products with the lowest energy input, thereby reducing operating costs significantly.

Details on plant setup, parameters, and reference projects will be discussed in this paper.

### Key Words

Minimill flat, energy reduction, emission reduction

### Introduction

Steel producer Giovanni Arvedi has spent his entire professional life pioneering and innovating steel production. Firstly, he invented and implemented the Inline Strip Production Process (ISP), which was later followed by Endless Strip Production (ESP). With regard to liquid steel production, Arvedi has also played a pioneering role in installing one of the latest state-of-the-art EAF technologies of Primetals Technologies.

Global trends such as rising CO<sub>2</sub> emissions, demographic changes, and urbanization, are forcing steel industries towards modern and more environmentally-friendly production concepts. To maintain a competitive edge, steel companies need to widen the product mix window to produce higher grade materials with improved properties. Indeed, steel producers have been, and will continue to be, forced to overcome these boundary conditions by upgrading their facilities or investing in new equipment and processes to improve the making and processing of steel.

The increasing availability of scrap for recycling, together with greater flexibility in the use of different raw materials, is driving the trend toward "environmentally friendly" electric steelmaking, since nowadays the overall energy balance can be kept low using state-of-the-art, smart, and new technologies.

In this context, one excellent example of "process innovation" is the combination of Primetals Technologies' Electrical Steel Making concept with the Arvedi ESP, resulting in "just-in-time" production at best utilization of the overall energy from raw material to the finished product.

Traditional process routes for flat production consist of an EAF or BOF plant, secondary metallurgy, and a thin-slab casting and rolling mill (with and without endless concept).

Studies have revealed energy consumption for different flat products with different production processes (see Table 1).

Process	Product	Rolling	Energy (MJ/t)
BF-BOF Conventional slab	Hot rolled sheet	Direct Reheat	7878 8703
BF-BOF Conventional slab	Cold rolled sheet	Direct Reheat	7895 8720
EAF (scrap) Thin slab	Hot rolled sheet	Direct Reheat	1341 2166
EAF (scrap) Thin slab	Cold rolled sheet	Direct Reheat	1358 2183
EAF (50 % DRI) Thin slab	Cold rolled sheet	Direct Reheat	6081 6906

Table 1: Typical energy consumption required to produce steel

The comparison shows that hot-rolled sheet produced via EAF, thin-slab caster, and direct rolling requires about 1/6 of the energy consumption compared with a traditional BOF + re-heating furnace + hot rolling route. There is less of an advantage if more virgin material is used in the EAF, but the energy saving is still more than 20%. The biggest saving comes from switching from BOF to EAF steelmaking.

### Electric Arc Furnace at Arvedi Steel

The new EAF installed at the Arvedi plant in Cremona shows how an efficient and modern electrical steel plant can further decrease the overall energy balance.

The new furnace #1 installed at the Acciaieria Arvedi Steel Plant has a production capacity of 1.4 million metric tons of crude steel per annum. It also includes a dedusting system for primary and auxiliary dedusting and supplementary extraction points. This is combined with a heat recovery system, which uses the thermal energy of the furnace off-gases to generate steam, which is used in the existing strip pickling lines.

The new 150-ton electric arc furnace from Primetals Technologies increases the production capacity of Acciaieria Arvedi, at reduced conversion costs. The power-on-time is just 36 minutes, which is the result of a single bucket operation. This enables around 200 metric tons of crude steel to be produced every hour. The electricity requirement of the furnace is between 340 and 350 kilowatt hours per metric ton and one of the lowest for this type of EAF. The necessary electrical energy is supplied by a 155 MVA rated transformer. The furnace is usually charged with a mixture of 65% scrap iron, 25% pig iron, and 10% HBI (hot-briquetted iron), but it has the flexibility to charge in the range of 100% to 50% of scrap and remaining 50% of virgin material. This ensures the production of high-quality steel. If required for the steel grade, a vacuum treatment after the ladle furnace treatment is possible. The EAF includes five refining combined burner (RCB) systems for post-combustion, a newly developed electrode control system (MeltExpert), the shell weighing system, the FluidGuard system—a comprehensive water-leakage control system—and a new type of automatic tap-hole filling. These smart products increase the safety of the plant, since no members of staff have to be near the furnace during operation. The plant is also equipped with a level 2 process optimization system, so is well prepared for Industry 4.0.

An existing dedusting system was modified for the new electric arc furnace. The total extraction volume has been increased by installing an additional filter for both auxiliary and supplementary extraction points at the new electric arc furnace. The dedusting system

meets the strictest European environmental requirements, as it achieves residual dust contents of less than 5 mg/m<sup>3</sup> air.

To optimize the energy balance of the plant, the waste heat from the electric arc furnace is recovered and is used to generate steam. Some 17 tons of steam are generated per hour from the heat harvested in the primary fume duct. This steam is used for the three pickling lines of the steel works. The energy recovery system allows the existing gas boilers to be kept in stand-by mode, thereby zeroing natural gas consumption and the relative costs.

A comparison of this new electrical furnace concept with a traditional plant clearly reveals impressive the savings in terms of electrical energy of approx. 50 kWh/ton, as can be seen in Table 2. Other important factors such as increased safety due to the implemented smart products and a profitable flexibility of charging mix to react on the market conditions are achieved at the EAF.

	Old 118 ton EAF	New 150 ton EAF
Raw material charge mix	92 t scrap 29 t pig iron 10 t HBI	110 t scrap 36,3 t pig iron 12 t HBI
Tap weight	118 tons	142 tons
Electrical energy	410 kWh/t	350 kWh/t
Oxygen	34 Nm <sup>3</sup> /t	43 Nm <sup>3</sup> /t
Natural gas	4.6 Nm <sup>3</sup> /t	5.2 Nm <sup>3</sup> /t
Power-on-time	35 min	35.3 min
Tapping temperature	1660°C	1665°C

Table 2: Performance figures of old and new EAF at Arvedi plant based on monthly average.

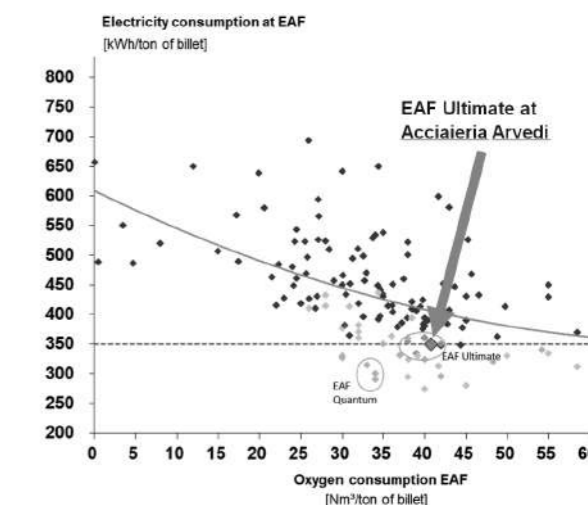


Figure 1: Correlation between electrical energy consumption and oxygen injection for more than 100 EAF

Figure 1 shows that the new Primetals EAF Ultimate at Arvedi is one of the lowest electrical energy-consuming arc furnaces without using scrap preheating or charging of hot metal.

#### Arvedi ESP – Endless Strip Production

Up until the 1980s there was only one way to produce hot strip, and this involved a combination of continuous casting machines and hot-strip mills or Steckel mills. This was when the first thin-slab casting and rolling plants were introduced, with the aim of reducing production costs. These concepts were further developed until the early 2000s, when Arvedi Steel presented and implemented the idea to fully endlessly operate a cast-rolling line. Before the start-up of Arvedi ESP in 2009, there were many doubts as to whether endless operation could work at all, but the impossible was proven possible.

In the Arvedi ESP process, hot-rolled coils are produced in a directly linked casting and rolling line in a continuous and uninterrupted manufacturing process from the liquid steel to the strip. The line commences with the casting of a thin slab that is subsequently rolled to an intermediate thickness of 8–20 mm in a high-reduction mill positioned at the end of the caster. After reheating in an induction heater, rolling of the transfer bar to the targeted end thickness is performed in a finishing mill, followed by laminar strip cooling. Strip cutting is then carried out by means of a high-speed shear immediately in front of the coilers.

The full range of steel grades can be flexibly produced at Arvedi ESP plants. As a result of the endless strip production mode of Arvedi ESP lines, repeated threading into the individual rolling stands is not necessary. This is the basis for the production of ultra-thin strip gauges down to 0.6 mm. The tolerance values for the required strip geometry are fully met along the entire length of the rolled product. Endless production is also key to assuring the homogeneity of the steel microstructure, grain size, yield strength, and tensile strength. Because the strip is continually under tension, the cobble rate is below 0.1%, even when producing more than 50% below 1.2 mm in thickness.

Compared to conventional casting and rolling processes, energy consumption and the related costs are reduced by up to 45%. This also results in a major reduction in CO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> emissions, minimizing the environmental impact.

Due to the very short length of the line (only 180m), ESP requires only a very small footprint of land. This compact layout also reduces overall investment in such as foundations, roofing, cladding, piping, and cabling.

With regard to energy consumption, the steel industry is looking to minimize its carbon footprint by self-defining reasons not only for environmental purposes, but also to cut costs. Significant results were achieved by optimizing each process step and also by trying to link single process steps. The Arvedi ESP technology goes even further by reducing energy consumption for the process of hot rolling by leveraging all of the advantages of the fully endless production process. Furthermore, it is possible to reduce energy consumption even more by either modifying or completely avoiding the production route of cold rolling and annealing processes. This approach is leading to a totally new production process and concept.

At Acciaieria Arvedi Steel Works in Cremona, Italy, the ESP line was combined with a PLTCM comprising only three instead of the usual five rolling stands, while still reaching minimum gauges of 0.2 mm cold-rolled material (Figure 2). The energy savings with two fewer rolling stands and without any intermediate annealing compared to typical setups are obvious. Not to forget is the investment reduction by two rolling stands compared to typical configurations.

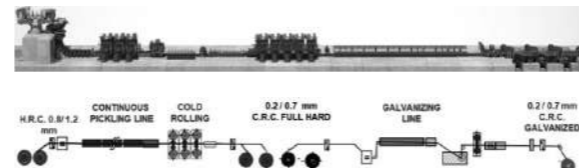


Figure 2: Arvedi ESP combined with 3-Stand Tandem Cold Mill

Measurements of ESP plants show lowest energy consumptions in all thickness ranges, as can be seen in Figures 3 and 4. The total energy consumption includes continuous casting, rolling, heating, auxiliaries like roller tables, cooling pumps, hydraulic pumps, high-pressure descaler pumps, and other auxiliaries. The energy savings on ESP lines are achieved firstly because the hot strip does not have to be reheated after casting and before entering the first rolling step. Secondly, the short induction heater only has to be operated during operation of the plant, unlike gas-fired furnaces, which have to be maintained at certain temperatures, even during idle times, for refractory life-time reasons.

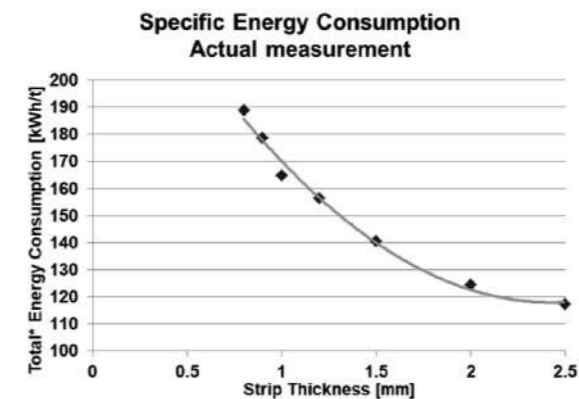


Figure 3: Arvedi ESP energy consumption for various thicknesses

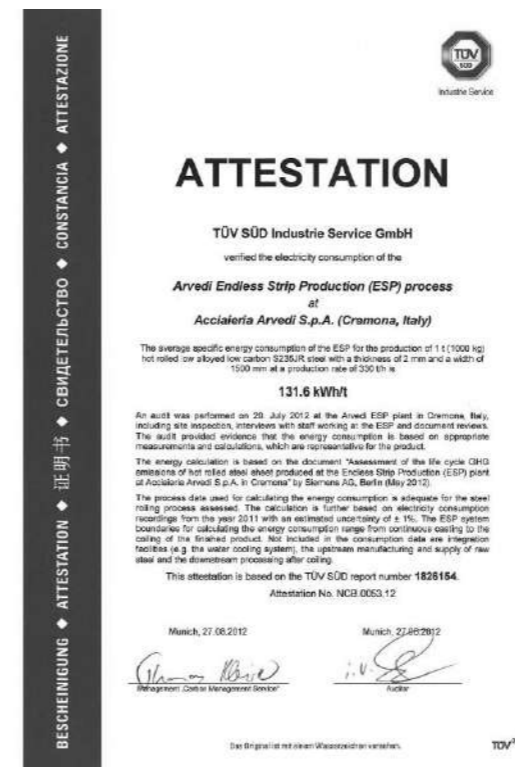


Figure 4: Arvedi ESP energy consumption attestation from TÜV Süd

The plant performance of a thin-slab rolling and casting plant is one aspect, but influence on upstream and down-stream aggregates is also significant. In combination with Arvedi ESP, upstream effects can be noticed in the melt shop in the form of a significant reduction in alloying requirements for HSLA and pipe grades. Thanks to the constant process parameters of endless operation, particularly with respect to the strip-temperature profile, production of advanced steel grades is accomplished with a far higher degree of accuracy compared to conventional casting-rolling processes.

#### Minimill Concepts for flat Products

Traditionally, flat products are produced via the BF+BOF route, also because of the quality of the liquid steel. Virgin raw material has, of course, its advantages. But in recent years EAFs have become more and more flexible in terms of raw materials and also capable of producing a high-quality liquid steel. The range from 100% DRI to 100% scrap and all mixtures with HBI and pig iron are common practice to overcome the quality hurdle. Beside the quality the investment cost for an integrated plant to produce flat products is huge. Smaller units became more interesting with the emergence of thin-slab caster technology like the Arvedi ESP. The production range of a minimill flat stretches from below 1 Mtpy up to 3 Mtpy. Depending on annual production, a single or double line melt shop will be designed without major changes on the Arvedi ESP line. The advantage of the Primetals Technologies minimill concept is that a small mill for entering into a market can easily be expanded by a second melting line. Size and kind of the EAF will be aligned to the raw material availability and the secondary metallurgy process route (LF/VD/RH) adopted to the final product quality. The Primetals Technologies' minimill concept is modular, flexible, and has the lowest operational cost to produce high quality steel. Figure 5 shows a possible plant layout.

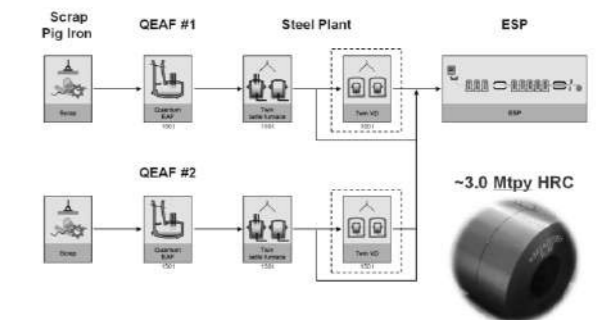
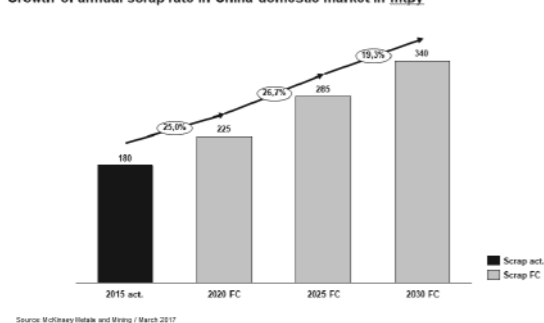


Figure 5: Possible plant layout of a minimill for flat products with three million tons per year

### Realization of the minimill flat of the future

The first minimill combination of Quantum EAF and Arvedi ESP with major reduction in CO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> emissions is already being realized in China at a private steel producer. In the new production plant, the arc furnaces will replace existing induction furnace production and converter steelmaking, resulting in a more environmentally-friendly electric steelmaking process. The Chinese market in general is about to increase the capacity of electric steel making, since scrap availability is forecast to rise (as can be seen in Figure 6).

Growth of annual scrap rate in China domestic market in mtpy



Source: McKinsey Metals and Mining / March 2017

Figure 6: Growth of annual scrap rate on China's domestic market in mtpy

Developed by Primetals Technologies, the EAF Quantum combines proven elements of shaft furnace technology with an innovative scrap feeding process, efficient preheating system, new tilting concept for the lower shell, and an optimized tap system to attain significantly reduced tap-to-tap times. The electrical energy requirement is considerably less than that of a conventional electric arc furnace. In conjunction with reduced consumption of electrodes and oxygen, a cumulative benefit of around 20% is achieved for respective conversion costs. Overall, reductions of up to 30% in CO<sub>2</sub> emissions per metric ton of crude steel can be achieved compared to conventional arc furnaces.

The Arvedi ESP line will enable the Chinese customer to produce high-quality, ultra-thin strip to enter new market segments. The Arvedi ESP line has a design capacity of 1.6 million metric tons per year with the potential to produce 2.5 million tons per year later on. It is capable of rolling strip to a reproducible strip thicknesses down to 0.8 mm with widths of up to 1,600 mm. Carbon steels, high-strength low alloyed (HSLA) grades, and dual-phase steels will be produced.

This is the first environmentally-friendly minimill installation worldwide where EAF Quantum and Arvedi ESP are combined and—as Figure 7 shows—the footprint of the plant is extremely small.

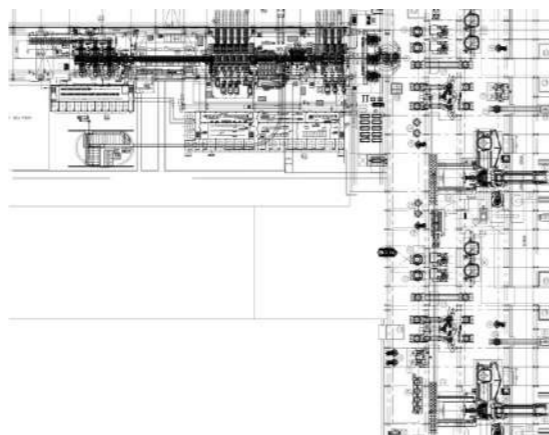


Figure 1: Layout of minimill flat with adopted requirements on customer location

ESP lines to be integrated into minimills are fully scalable for capacities from below 1 Mtpy up to 3 Mtpy. As in the example of the Chinese customer, the plants are also expandable on phase concepts, starting with lower production and later upgrading to higher production volumes.

### Conclusion

The increasing availability of scrap and the requirement for reduced energy consumption and related emissions is driving steel producers to use smart, new, and state-of-the-art technologies. The combination of energy-saving EAF technologies and Arvedi ESP allows for reduced energy consumption as well as reduced operational costs. This not only creates opportunities for entering the flat steel business, but also enables renowned flat producers to react to changing situations.

### References

- [1] McKinsey & Company, A. Chalabyan, J. Ma, O. Ramsbottom, C. Tsai, S. Vercammen, Metals and Mining March 2017
- [2] Johnson, M.; Argyris, R.; MCGee, T.: Iron ores and coke supplies for the German steel industry; Int. J. Machine Tool Res., 25-50 (2009), P. 30
- [3] Goodfellow, H. D.; Pozzi, M.: Coke reactivity in steelmaking; MPT, 2006, No. 6, P. 24-30
- [4] Fruehan, R.J., Fortini, O., Paxton, H.W., Brindle, R. Theoretical Minimum Energies To Produce Steel for Selected Conditions, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA, U.S. Department of Energy Office of Industrial Technologies Washington, DC, March 2000

## The Newest Generation of the ESR (Electro Slag Remelting) Unit with Rotating Electrode Function Desigend by SMS Mevac GmbH

Cihangir Demirci<sup>1</sup>, Jochen Schlüter<sup>1</sup>, Benjamin Mellinghoff<sup>1</sup>, Christoph Wissen<sup>1</sup>, Martin Schwenk<sup>2</sup>, Prof. Dr. Friedrich<sup>2</sup>

<sup>1</sup>SMS Mevac GmbH, <sup>2</sup>RWTH Aachen University • Germany

### Abstract

One of the key parameter of the ESR process is the melt pool formation respectively accurate crystallisation speed with thin slag thickness (like the skin of the snake) on the surface of the remelted ESR ingot by defined melt rate.

These fundamental parameters detemine the mechanical and technological characteristics of the the "isotropic" materials for industrial products of supreme requirements.

The rotating electrode opens up the possibility of reduction of the melt pool volume during ESR process.

To examine the results of the rotating electrode during the ESR process, the atmospheric static mold ESR unit at the IME Institute for Process Metallurgy and Metal Recycling at RWTH Aachen University was redesigned by SMS Mevac GmbH from the vertically-oscillating function to a rotating and vertically-oscillating function.

### 1. Introduction

Tertiary metallurgy units produce economically, reliable and cost-effective of the "isotropic" materials for industrial applications of highest demands. These materials will be applied especially by industries such as air-and aerospace, power and energy, automotive as well as oil and gas. The core units of the tertiary metallurgy are VIM (Vacuum Induction Melting), ESR (Electro Slag Remelting) and VAR (Vacuum Arc Remelting) units.

**1.1 VIM** (Vacuum Induction Melting) unit is employed in the production of ultra-clean metals, speciality steels, superalloys and NF metals.

The key components of the unit include a melting chamber equipped for melting under vacuum with integrated MF-power supply, the charging equipment, a casting chamber and a launder exchange chamber. All the chambers are connected to the vacuum pump system.

#### Features and benefits of the VIM unit

- Evaporation of undesired trace elements
- Melting in an oxygen-free atmosphere avoids the oxidation of elements with strong oxygen affinity
- Massive degassing of crude materials
- Attainment of very close analysis tolerances (PPM range)
- Removal of dissolved gases (O,N,H)
- Precise setting of the melting temperature and excellent homogeneity of the melt
- Casting of electrodes for remelting and semis for further processing

**1.2 ESR** (Electro Slag Remelting) unit involves the gradual and controlled melting of the lower end of a self-consuming ingot through a layer of molten slag. As the process continues, a purified ingot is built up in a water cooled mold. Being electrically conductive, the molten slag acts as a resistance heating element when high current is passed between the electrode and the mold.

**1.3** Remelting takes place under inert gas (Ar, N<sub>2</sub>). The plant consists of two melting stations arranged at 90°. The remelting process is computer-controlled and takes place fully automatically.

#### Features and benefits of the ESR units:

No increase in hydrogen content and no core segregation  
Controlled nitrogen contents, lowest sulfur contents and minimized non-metallic inclusions

- Excellent material properties
- Low melting loss caused by elements with affinity for oxygen
- Ingot diameters from 300 to 1,600 mm
- Ingot weights from 2.0 to 160 t

**1.4** VAR (Vacuum Arc Remelting) unit involves the gradual and controlled melting of the lower end of a self-consuming ingot by electric arcing.

As the process continues, a purified ingot is built up in a water-cooled mold. The process takes place under vacuum. This ensures that the electric arc is stable at all times and oxidation of the remelt material is avoided. At the same time, volatile, non-metallic matter is removed and non-metallic inclusions are separated by flotation and solidify at the upper surface of the ingot.

Undesired elements with low evaporation temperature, such as Pb, Sb, Sn, are also removed. The VAR units are likewise designed with two melting stations arranged at 90°. The process is also computer controlled. Remelting takes place fully automatically.

#### Features and benefits of the VAR unit:

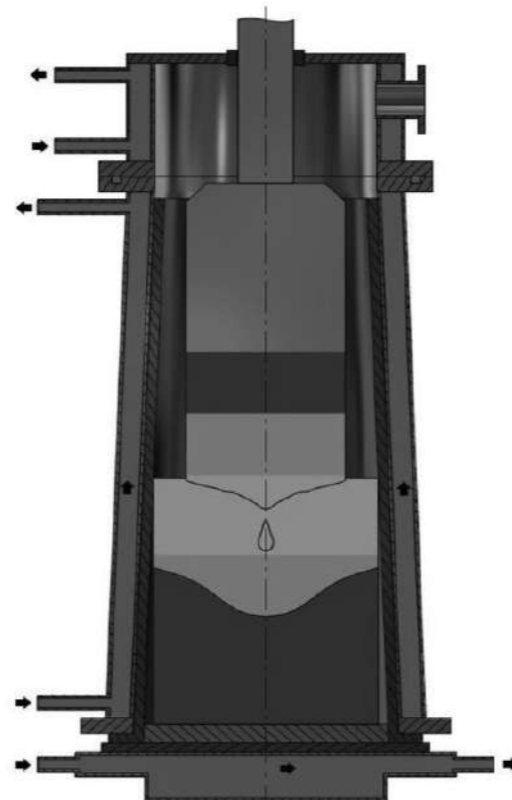
- Ultra-low gas contents and reduction of tramp elements
- Low degree of core micro segregation and low susceptibility to freckle formation
- High analysis accuracy
- Ingot diameters from 300 to 1,000 mm
- Ingot weights from 1.0 to 30 t

**1.5 ESR-RE** The latest generation of ESR allows the operation with rotating electrode. The volume of the melt pool is the main influencing parameter in both ESR and VAR processes determining the accuracy of crystallization speed and melt rate.

## 2. Fundamentals

The electroslag remelting (ESR) process is as a metallurgical method of refining metals making use of molten slag. The electrical power is converted into heat by the resistance of the slag which consequently heats up. The required heat is generated by the alternating current (AC) which flows from the electrode ram to the stub electrode through the slag, ESR ingot, finally to the copper plate [1-3].

Thereby the slag temperature rises above the melting temperature of the electrode alloy, the tip of the electrode melts and the film of molten metal crates into droplets,



being refined by contact with the liquid slag, before falling through the slag and collecting in a melt pool in the water-cooled copper crucible (Fig. 1).

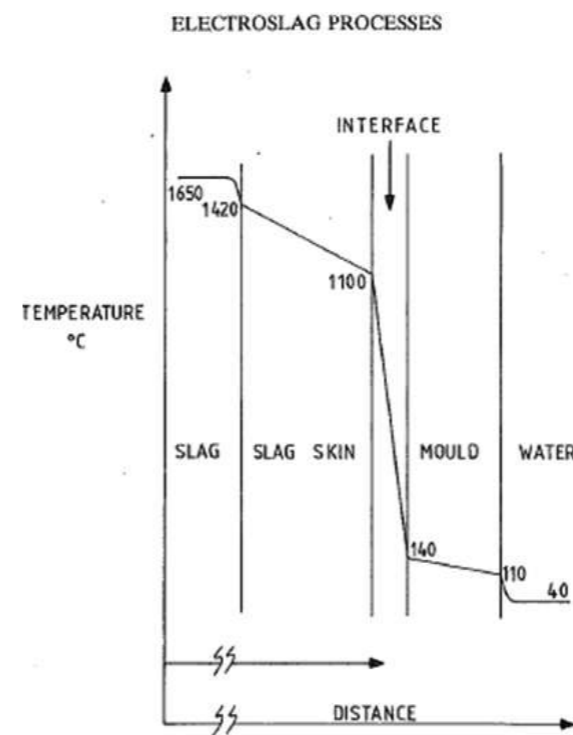
**Figure 1:** Schematic of electro slag remelting

The crystallisation of the molten metal in correspondence with the melt rate is an important feature of the ESR process. It depends on power level, cooling rate of the copper crucible, slag composition, the immersion depth of the electrode in the liquid slag respectively the thickness of the slag skin.

The thickness of the solid slag skin and the interface between the ingot and mould is demonstrated in figure 2<sup>[5]</sup>.

Also the slag composition is very significant for the ESR process, it influences the [4];

- dissolution and absorption of impurities
- precipitation and growth of new impurities during solidification of the ingot
- encasing of the ESR ingot with thin slag skin



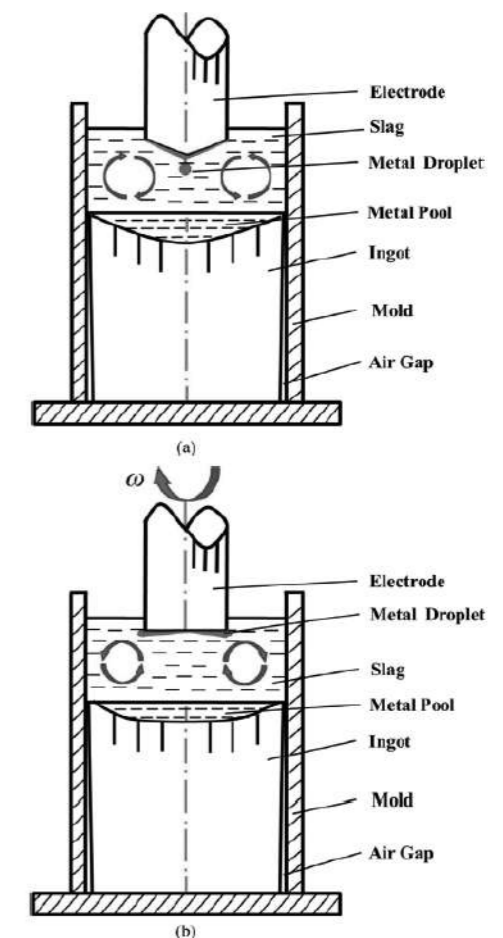
**Figure 2:** Temperature gradients in slag mould interface [5].

## 3. Electro Slag Remelting with a rotating electrode (ESR-RE)

Numerous publications of ESR studies deal with rotating electrode, and rotating crucible[6-11].

The differences of the two ESR processes with; (a) static electrode and (b) with rotating electrode are illustrated in figure 3[6].

The ESR process with a rigid electrode just moves down depending on the melt rate. The liquid slag creates metal droplets on the touching surface of the electrode top. The droplets sink by gravitational forces through the slag pool and crystallize the liquid metal pool to a "V-Form" in the water-cooled copper crucible.

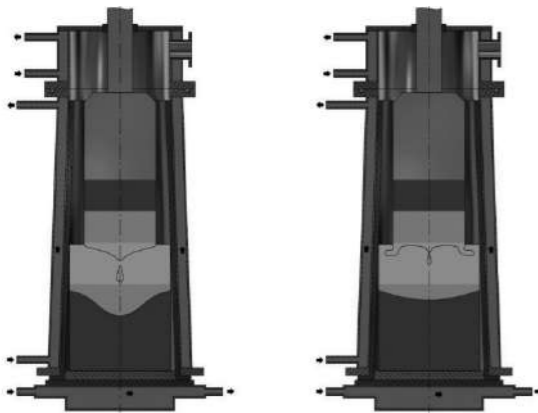


**Fig. 1.** Comparison of the two ESR processes, (a) with traditional electrode, (b) with rotating electrode. (Online version in color.)

**Figure 3:** ESR processes with (a) rigid electrode and (b) rotating electrode [6]

The ESR process with a rotating electrode function has an electrode that rotates around its own vertical axis. The droplets from the touching surface of the electrode top in the liquid slag move by centrifugal force also horizontally. Thereby the number of the droplets increases with smaller sizes, sink through the liquid slag pool by gravitational forces and crystallize to a flat "U-Form" metal pool in the water-cooled copper crucible.

The figure 4 presents a comparison of the metal droplets shape in the liquid slag pool and crystallisation profile of the melt pool in the water cooled crucible with a rigid electrode and a rotating electrode during ESR process.



**Figure 4:** Shape of the melt droplets and pool profile with rigid (a) and rotating (b) electrode during ESR processes.

#### 4. Experimental procedure

##### 4.1. Experimental equipment

SMS Mevac redesigned the existing atmospheric ESR furnace at the IME Institute for Process Metallurgy and Metal Recycling, RWTH Aachen from a rigid electrode function to a rotating electrode function.

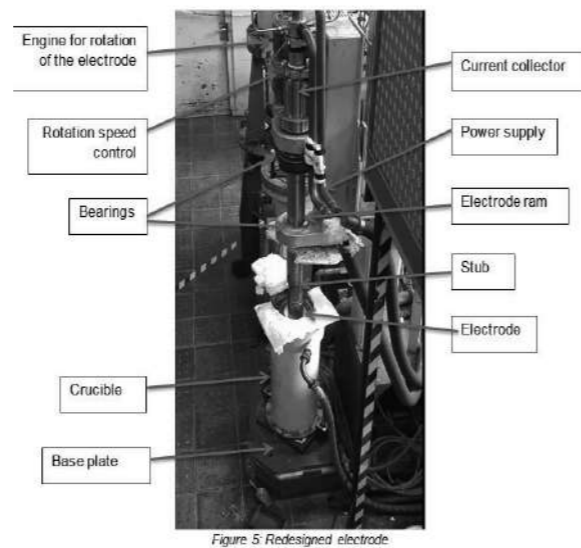
A new developed liquid gallium current collector device transmits power from a static ram onto a rotating electrode ram as shown in figure 5.

The variable-speed motor operates between 0 and 50 rpm and it can be up-scaled to 250 rpm. The rotating speed can be adjusted during the ESR process without interruption.

Table 1 shows the main technical parameters of the redesigned ESR unit.

Main technical data of the Electro-Slag-Remelting unit from IME Institute for Process Metallurgy and Metal Recycling, RWTH Aachen University	
Max. Power level	450 kW
Max. Current level	6 kA
Max. Voltage level	80 V
Frequenz	50 Hz
Max. Electrode dimension	Ø 110mm x 1400mm
Max. Mould dimension	Ø 160mm x 800mm
Operation mode	Atmospheric
Installed electrode rotating speed level#1	0-50 rpm
Optional designed electrode rotating speed level#2	0-250 rpm

**Table 1:** Main technical data of the atmospheric ESR furnace



*Figure 5 Redesigned electrode*

**Figure 5:** ESR-RE furnace at Institute IME/RWTH Aachen

## 5. Results and Discussion

After five initial function tests melts with rotating electrode, a number of experimental trials were executed with structural steel, S235JR / ST37-2 and tool steel, H13 / X40CrMoV5-1 / 1.2344. An inductive proximity sensor was used for measuring the rotational speed. A control system continuously recorded the speed of the ram. The premelted electroflux consisted of 70% CaF<sub>2</sub> and 30% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and was preheated up to 650°C before it was added manually into the crucible.

### 5.1. Experiments with structural steel, S235JR / ST37-2

The ESR process basically consists 3 phases: 1. Phase: The starting phase, 2. Phase: steady state phase and 3. Phase: the hightopping phase.

Two bars of structural steel were remelted as follows:

The process started with cold start and afterwards approx. 350mm (one third of the electrode length) were remelted without rotation. Then the electrode rotation speed started at 20rpm for the second third of the electrode length and finally the rotation speed was ramped up to 50 rpm in the last third of the electrode until 1050mm. The remelting process was finished without hightopping (table 2).

No	Grade	Slag	Average power	Average current	Average voltage	Average melt rate	Rotation per minute / $\omega$ (r/min)	Approx. electrode length
6	S235JR / ST37-2 structural steel	70%CaF <sub>2</sub> +30%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	110 kW	2,97 kA	35,77 V	0,91 kg/Min.	0 rpm	from 30 mm to 350mm
							20 rpm	from 351mm to 750mm
							50 rpm	from 751mm to 1050mm
7	S235JR / ST37-2 structural steel	70%CaF <sub>2</sub> +30%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	103 kW	3,02 kA	34,81 V	0,92 kg/Min.	0 rpm	from 30 mm to 350mm
							20 rpm	from 351mm to 750mm
							50 rpm	from 751mm to 1050mm

**Analysis:** C: max.0,17%, Si: max.0,30%, Mn: max.1,40%, P: max.0,045%, S: max.0,045%, N: max. 0,009%

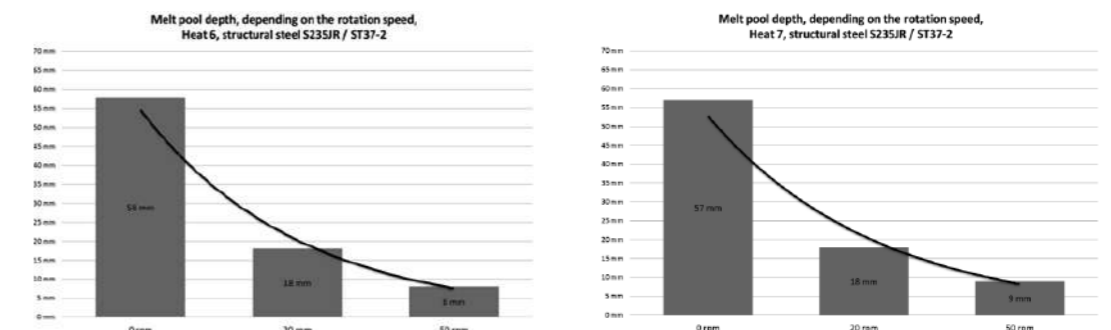
**Table 2:** Experimental schemes of the structural steel S235JR / ST37-2

### 5.2. Decreasing of the melt pool depth depending on the rotation speed

It was observed that the melt pool depth decreased exponentially with the increase of the electrode rotational speed (figure 6 and 7).

**Heat 6:** At 20 rpm electrode rotation speed, the melt pool depth decreased from 58 mm to 18 mm by 40 mm, i.e. 222% reduction of melt pool depth in the second third of the ESR ingot and at 50 rpm from 58 mm to 8 mm by 50 mm or 625% reduction in the last third of the ESR ingot in comparison with the first third of ESR ingot on non-rotating operation, Fig. 6).

**Heat 7:** At 20 rpm electrode rotation speed, the melt pool depth decreased from 57 mm to 18 mm by 39 mm, i.e. 217% reduction of melt pool depth in the second third of the ESR ingot and at 50 rpm from 57 mm to 9 mm by 48 mm or 533% reduction in the last third of the ESR ingot in comparison with the first third of ESR ingot on non-rotating operation, Fig. 7).



**Figure 6 und 7:** Melt pool depth, depending on the rotation speed, heat 6&7



5.3. The ESR remelting graph of the heat 6 and heat 7

The typical ESR remelting parameters of the heat 6 and heat 7 presents the **figure 8 and 9**.

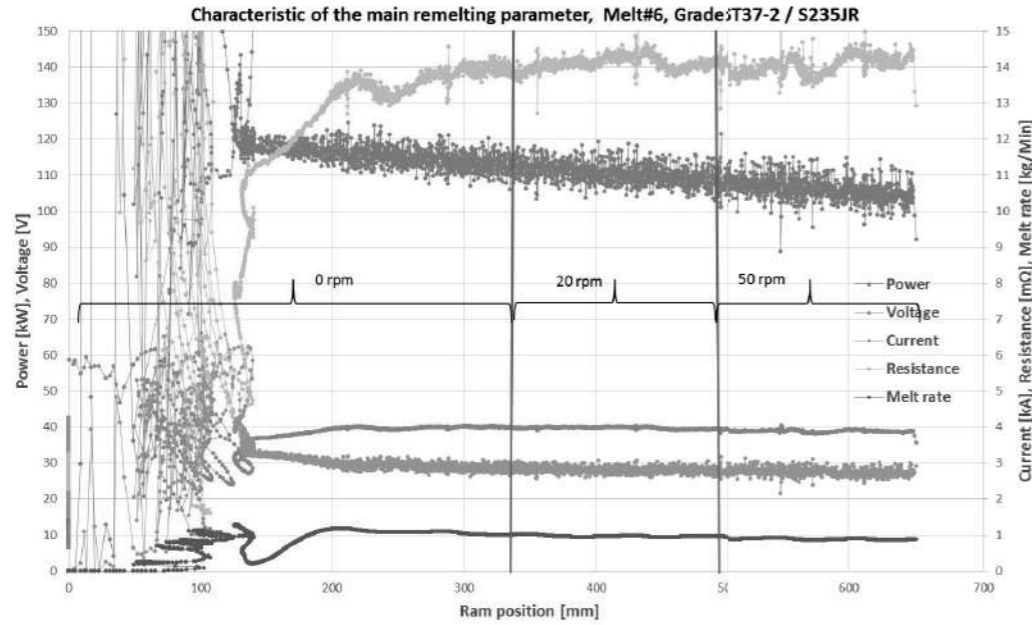


Figure 8: Typical ESR remelting parameter, heat6, grade: S235JR / ST37-2

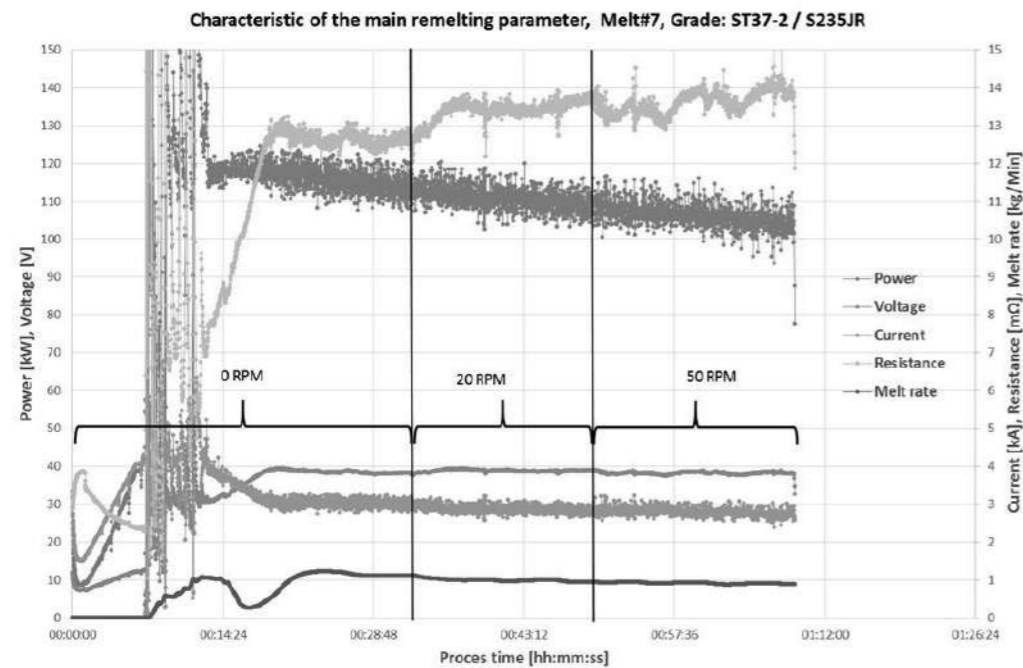


Figure 9: Typical ESR remelting parameter, heat 7, Grade: S235JR / ST37-2

5.4. Melt profile formation of the heat 6 and 7

The same ESR procedure is used with the heat 6 and 7 to compare and confirm the results. That means, the first third of the electrode length remelted with nonrotating electrode. The second third of the electrode remelted with 20 rpm and the last third with 50 rpm.

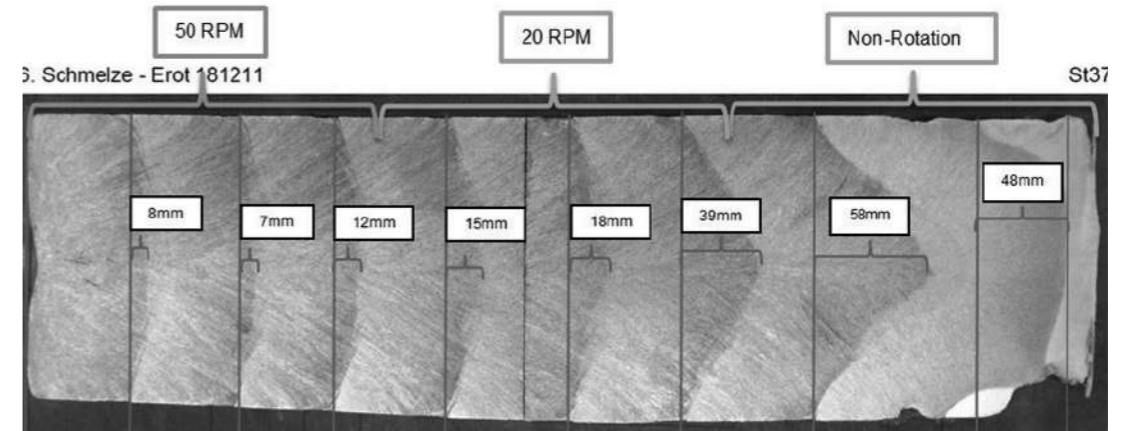


Figure 10: Melt pool profiles depending on the electrode rotation speed heat 6.

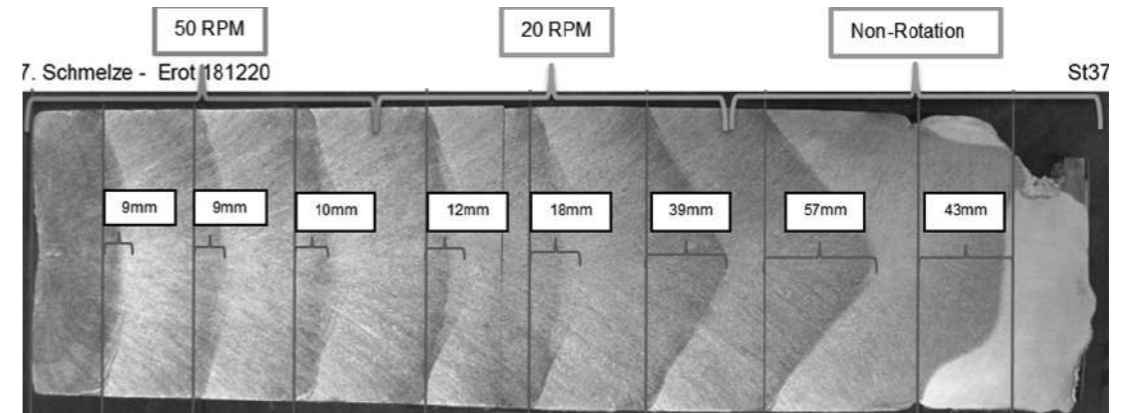


Figure 11: Melt pool profiles depending on the electrode rotation speed heat 7.

5.5. Melt pool decreasing dimension of the heat 6 & 7

There is no doubt, that the rotation of the electrode reduces the specific melt pool depth in comparison with a nonrotating electrode as follows (**table 3** and **figure 10&11**):

Rotation per minute (rpm) / $\omega$ (r/min)	Heat 6		Heat 7	
	Pool depth	Melt pool reduction	Pool depth	Melt pool reduction
0 rpm	58 mm		57 mm	
20 rpm	18 mm	-40 mm -222%	18 mm	-39 mm -217%
50 rpm	8 mm	-50 mm -625%	9 mm	-48 mm -533%

Table 3: Rotation speed and melt pool dimension or reduction heat 6&7

## 6. Conclusion and outlook

1. SMS Mevac GmbH redesigned the atmospheric static mould ESR unit at the IME Institute for Process Metallurgy and Metal Recycling at RWTH Aachen University to an ESR unit with rotating electrode and with integrated vertically-oscillating function.
2. Two different steel grades, structural steel S235JR / ST37-2 and tool steel and H13 / X40CrMoV5-1 / 1.2344, have been remelted to study the influence of a rotating electrode during the ESR process.
3. It should be generally noted that rotation of the electrode during the ESR process substantially reduces the melt pool depth.
4. The rotating of the electrode creates slag thickness less than 1mm on the surface of the ESR ingots.
5. Significant melt pool decreasing (more than 500%) has been achieved by increasing the electrode rotation during ESR remelting of structural steel S235JR / ST37-2.
6. The melt pool reduction has been also reached with the tool steel and H13 / X40CrMoV5-1 / 1.2344.

## 7. References

- [1] Plöckinger, E.: "Electroslag Remelting – a Modern Tool in Metallurgy", The twenty-third hatfield memorial lecture, 1972
- [2] Hoyle, G. – "Electroslag Processes – Principles and Practice", Applied Science Publishers LTD, London & New York, 1983
- [3] B. E. Paton and L. B. Medovar: Steel Transl., 2008, 38, 1028.
- [4] A. Michel and S. Joshi, The thermal characteristics of the electroslag process, Met. Trans., 4 (March 1973) p. 631.
- [5] Alec Mitchel, Ingot forum Pittsburgh 2005
- [6] Chumanov, I. V. and Chumanov, V. I.: "Technology for electroslag remelting with rotation of the consumable electrode", Metallurgist Vol. 45, No. 3-4, 2001, p. 125 ff
- [7] Chumanov, V. I. and Chumanov, I. V.: "Increasing the efficiency of the electroslag process and improving the metal quality by rotating a consumable electrode: Part 1", Russian Metallurgy (Metally), Vol. 2010, No. 6, 2010, p. 499 ff.
- [8] Wang, Q. et al.: "Effect of Rotating Electrode on Magnetohydrodynamic Flow and Heat Transfer in Electroslag Remelting Process", ISIJ International, Vol. 54, No. 9, 2010, p. 2408 ff.
- [9] Chang, L. et al.: "Effects of relative motion between consumable electrodes and mould on solidification structure of electroslag ingots during electroslag remelting process", Ironmaking and Steelmaking, Vol. 41, No. 8, 2014, p. 611 ff.
- [10] Chang, L et al.: "Effects of Mould Rotation on Element Segregation and Compact Density of Electroslag Ingots during Electroslag Remelting Process", High Temperature Materials Processing, Vol. 34, No. 4, 2015, p. 469 ff.
- [11] Chumanov, V. I. and Chumanov, I. V.: "Speed Control of Remelting in the Electroslag Process by Changing the Rotation Speed Consumable Electrode", 2016 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM)

## Tribological Approach to Calcium Sulfonate Complex Greases

Onur Cansever<sup>1</sup>, Francesc Alomar<sup>2</sup>, Duygu Kaptan<sup>2</sup>, Tolga Aykurt<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Alpet Industrial, <sup>2</sup>Lubrizol Hazelwood Laboratory • Turkey, United Kingdom

### Abstract

R & D studies of greases that provide protection against machine and equipment parts in the presence of high temperatures and water in industrial systems are increasing day by day. Calcium sulfonate complex greases are one of the most remarkable areas to meet these needs. It is preferred in important lubrication points of heavy industry with its additive technology that extends the life of machinery and equipment as well as having formulation that can prevent material loss in wet and humid environments.

### 1. Introduction

Lubricants in industrial systems are one of the most important parameters of processes. Choosing the right lubricant is very important in terms of minimizing the problems that may occur in the systems and it is also important to increase the efficiency that can be obtained from the systems. Lubricant technology is developing rapidly with continuous improvement of machinery and equipment technology. Many investments are being made worldwide in order to keep lubricant formulations and performance additives in line with developing machinery and equipment technology.

In case of insufficient liquid lubricants in industrial systems, greases produced with many different soap and thickener technologies have been used for many years. Many different soap technologies have been developed in these systems. Calcium sulphonate and calcium sulphonate complex based soap technologies are the majority of the grease formulation studies since 1980s. The fact that the greases produced by calcium sulphonate complex thickener has much more water resistance and thermal resistance properties against high temperatures is one of the main reasons for the acceleration of these investigations.

Calcium sulphonate complex greases are generally preferred in industries with the largest market share of the economy and heavy industry, such as the iron and steel industry and the mining industry. In these systems, greases are generally used in bearings exposed to high temperatures and water. Although additive technologies are advancing in many ways to produce chemicals that can improve the performance of

lubricants, exposure to water and temperature is often associated with the chemistry of soap and thickeners.

### 2. Experimental

The chemical structure of the calcium sulphonate consists of one end which is capable of establishing hydrogen bonding with water and thereby enhancing the lubricant performance, and another end which allows molecules to be dissolved in fatty acids.

The variation of the hydrophilic end formed by a series of chemical reactions and the other end having a different chemical sequence at different carbon numbers associated with it leads to the formation of different micelle structures. With these different micelle structures, especially water resistance and thermal resistance of calcium sulfonate complex greases are tried to be optimized.

Global grease manufacturers have started to invest heavily in R & D activities in this field. Atak Technology Center, which is part of Atak Lubricants, has started to produce Alpet Garneta CT Series greases by concentrating its R & D studies especially on calcium sulphonate complex greases. Since 2014, Atak technology center has continued its grease activities with high acceleration and has invested in calcium sulphonate complex soap technologies which are highly resistant to water and temperature as well as additive technologies that are resistant to overload, protection against abrasion, resistance to rust and corrosion formation.

Atak Technology Center carries out the grease studies with the help of pilot grease reactor in the laboratory. Pilot grease reactor with 15 kg capacity supports fast grease production and formulation studies in R & D studies. The reactor is designed to perform simulation of reactors with a production capacity of 5 tons at Atak Lubricant and Grease Production Plant. It is possible to control the process factors with the help of the panel which provides control of parameters such as mixing speed and time, while the transition to the desired temperatures is realized in the fastest time with the heater and cooling jackets.



Figure 1: Pilot grease production reaktor

Reactions for the formation of end and tail structures of grease, calcium sulphonate source and soap molecules are carried out using the necessary chemicals. This step is the most important step in the design of the soap structure required for the formation of greases with desired properties. The combinations of aromatic and paraffinic structures

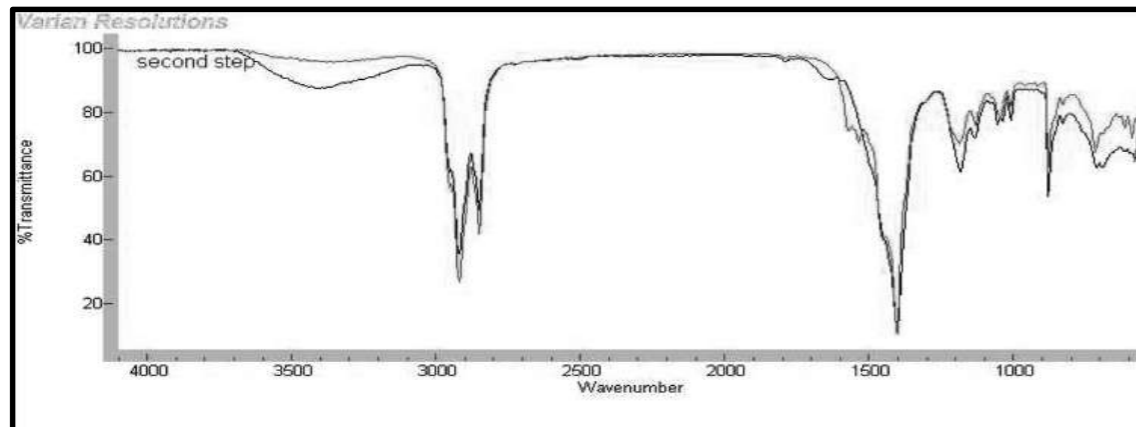


Figure 2: Comparative FTIR-ATR peaks for process monitoring (Black peak: 1st step, Pink peak: 2nd step)

present in the tail portions form the base of the structure which will then be complexed with the second saponification compound called Lithium 12-hydroxystearate. More than 100 pilot production has been carried within the scope of R&D studies of Garneta CT Series grease.

One of the important parameters in the resistance to high temperatures is the use of boric acid. The acidic hydrophilic ends in calcium sulphonate complex greases may include calcium sulphonate, calcium phosphate, calcium carbonate and calcium borate salts in different compositions. These ingredients, Calcium Phosphate, Calcium Borate and Calcium Carbonate are not necessary salts in the production of grease. However, when the thermal strength of the soap structure is improved, increasing the concentration of Calcium Borate has become an important study for the thermal resistance parameter known as the dropping point of greases and which can be measured by ASTM D 2265 and ASTM D 566 methods in the Atak Technology Center. Garneta CT series greases are formulated to provide the optimum concentration of Calcium Borate after many trials.

During the formation of the formulations, several steps are followed during grease production. The durations of these steps and optimizations of these are made by series physical and chemical controls of the structure. The reaction times are optimized by following the formation of the chemical bonds of the molecules formed with the help of FTIR-ATR device within the Atak Technology Center.

Every step of the process is followed with the help of FTIR-ATR device. The time required for the second step is optimized according to the reduction in the initial water quantity relative to the characteristic water peak at the 3400-3600 wave numbers at the black peak. The doubling of the pink and black peaks at 1400 wave numbers and the characteristic calcite peaks detected at 800 wave numbers are also monitored to optimize reaction progression and required times.

Following the soap formation reaction steps is crucial for successful production. If the following reactions are not fully terminated, the unreacted raw material remains in the product in the other process steps. In addition to the poor

performance of the final product, this may lead to problems of consistency due to variations in the amount of soap.

12-HSA optimization studies which differentiate calcium sulphonate greases and calcium sulphonate complex greases and reduce the amount of soap structure formed is another important subject. Grease performance, consistency and stability were determined by forming complex soap structure in different ratios.

### 3. Results and Discussion

The necessary methods for determining the results of the studies have been increasing since 2014 with continuous investments in Atak Technology Center. These investments are accelerated by increasing the number of R & D studies of calcium sulphonate based greases.

One of the most important parameters in greases, ASTM D 217 method is followed by consistency determination according to the specified standard and in some cases

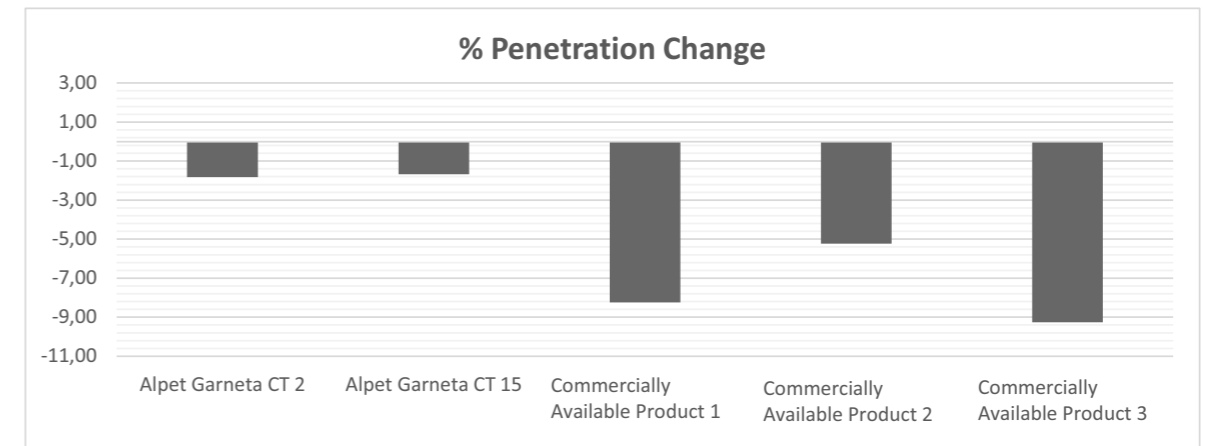


Figure 3: Penetration variation graph under non-standard conditions

extreme conditions are simulated to observe different effects outside the standard. Alpet Garneta CT series greases are mainly produced as NLGI 2 and NLGI 1.5. Such consistency greases are the most preferred consistency grades among the heavy industry sectors where calcium sulphonate complex greases are used.

Garneta CT 2 grease is manufacturing 2 number grease in limits of 270 – 275 narrowed boundary which has the limits of 265 – 285 according to NLGI. At the same time, 295 – 305 limits are preferred for 1.5 NLGI greases called Garneta CT 15 which is the reason of choice for central pumping systems in different parts of the industry.

Table 1: ASTM D 217 Worked Penetration Results

	ASTM D 217 (60 Strokes)	ASTM D 217 Revised (%10 Water + 1000 strokes + 5 times homogenizer)	ΔP
Garneta CT 2	275	270	-5
Garneta CT 15	298	293	-5
Commercially Available Product 1	291	267	-24
Commercially Available Product 2	306	290	-16
Commercially Available Product 3	270	245	-25

Produced calcium sulphonate complex greases have the desired consistency as well as this consistency

stability is also important. For this reason, ASTM D 217 method was processed with extreme conditions as shown in Table 1 and measurements were taken. At this stage, penetration measurements were made in comparison with the greases produced in Atak Technology Center and other calcium sulphonate complex greases in the market.

In the systems where greases are used, the resistance to overload and the degree of abrasion that may occur between the metal surfaces it is in contact with are among the parameters determining the grease performance. ASTM D 2596 – 4 ball weld point and ASTM D 2266 – 4 ball anti wear performance are other important methods that is in Atak Technology Center. Thanks to the soap structure created for calcium sulphonate complex greases, they have a better performance compared to other soap structures and

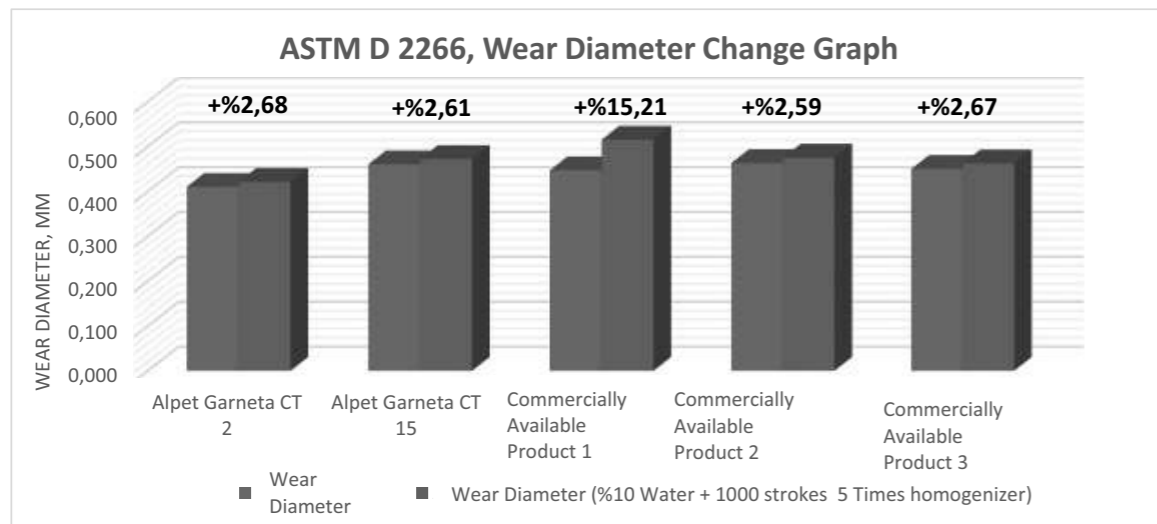


Figure 4: ASTM D 2265 Wear Diameter Change Graph

different additive studies have been realized. Greases where penetration changes were determined by exposure to non-standard conditions were compared with their anti-wear performances under these conditions. As a result of measurements made according to ASTM D 2266 test method, Alpet Garneta CT series greases and other commercially available calcium sulphonate complex greases can maintain their anti-wear performance.

Calcium sulphonate complex greases exhibit significant performance differences due to their thermal resistance, overload resistance and anti-wear performance as well as their ability to work in an aqueous environment and contain water. As Atak Technology Center, the resistance of greases to water is monitored by 2 different simulation methods.

ASTM D 1264 - Quantitative losses of water and water vapor from the bearings where the grease is used are determined by the method of the amount of grease sweeping with water. Greases are applied to the bearing specified by the standard and exposed to water and reported as percentage loss by measuring the amount of material before and after the test.

ASTM D 4049 - Quantitative losses that can be experienced by direct water contact can be tested by sweeping the greases from the surface by water spraying method. Greases are applied to the stainless steel plates specified by the standard and the water temperature of 38 C (100 F) is sprayed as the pressure of 40 psi.

Water resistance is directly proportional to the quality of soap and thickener produced. Although calcium sulphonate complex greases have improved performance compared to other thickener technologies, they have been formulated with different polymer technologies in order to improve

these properties and their water resistance one step further. Water resistance performance shows significant differences compared to other soaped greases.



Figure 5: ASTM D 4049 – Device of Amount of Sweeping of Greases from Surface by Water Spray Method

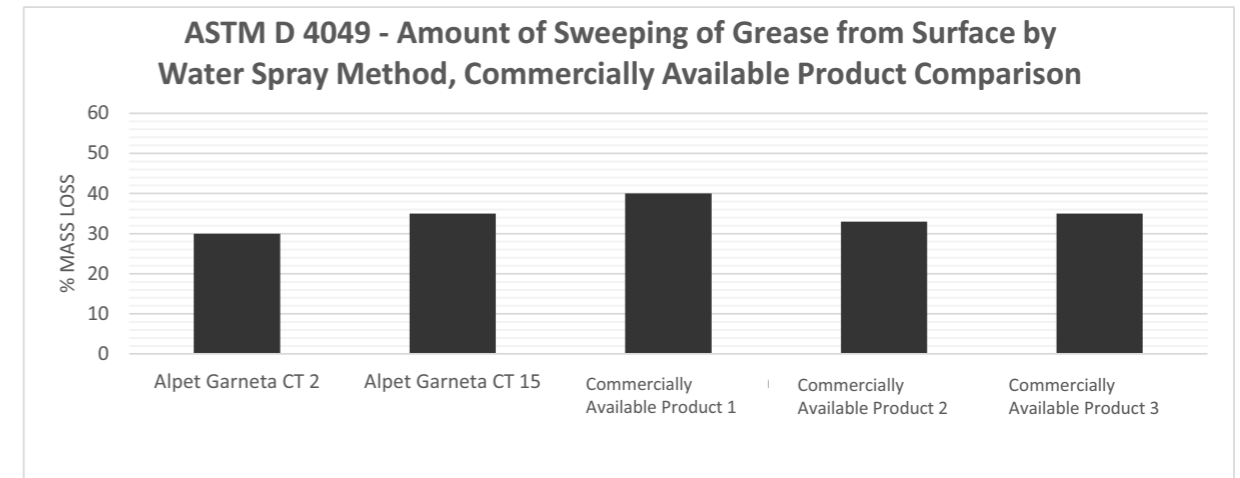


Figure 6: ASTM D 4049 - Amount of Sweeping of Greases from Surface by Water Spray Method, Commercially Available Product Comparison

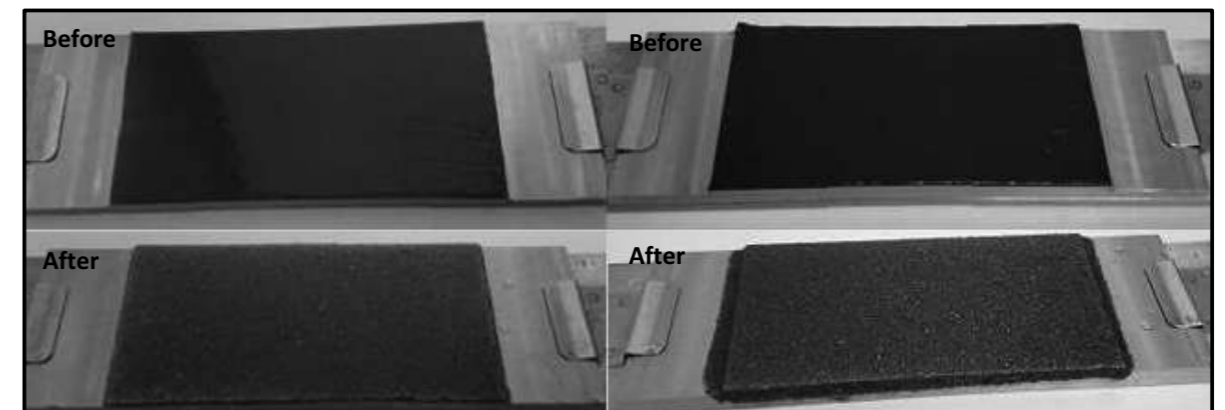


Figure 7: ASTM D 4049 – Test Results of Water Spray of Plates

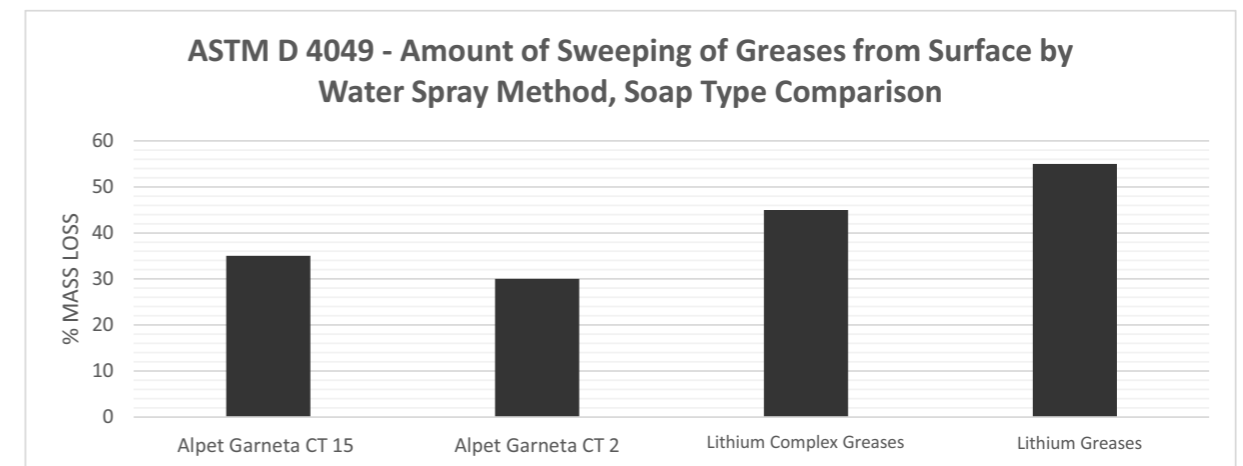


Figure 8: ASTM D 4049 – Amount of Sweeping of Greases from Surface by Water Spray Method, Soap Type Comparison

In addition to the differences in soap types in greases, the use of various polymer technologies in different steps and conditions during the production process affects the water resistance performance.

In Atak Technology Center, more than 100 pilot production processes carried out by using polymers in different combinations, and ratios and optimum ratios between water resistance performance and final product consistency were studied. Since the polymer ratios used also affect the grease base oil viscosity and base oil properties, the combinations are formed by a versatile control mechanism. Alpet Garneta CT 2 and Alpet Garneta CT 15 are designed with their own polymer combinations to optimize water resistance and product consistency.

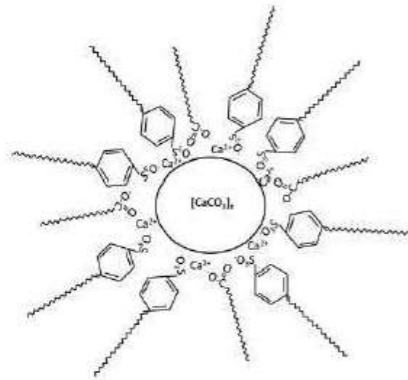


Figure 9: Micelle structure of calcium sulfonate greases, Kobylyanski et al [3]

The main reason why calcium sulfonate complex greases are more resistant to water than other thickeners is that molecules with hydrophilic ends and fat-soluble tails form stable micelles around calcite particles. The calcite particles in the nuclei of these micelles contain thickening structure water molecules within the structure due to the electrostatic bonds formed with water molecules. This is schematized in Figure 9.

In addition to their resistance to water, the ability of greases to protect the machines and equipment they are in contact with in case of exposure to salt water is another subject of study. According to ASTM D 6138 EMCOR test method, the level of rust and corrosion occurring on wet surfaces in greases is measured. EMCOR test results of Garnet CT 15 and Garneta CT 2 calcium sulfonate complex greases produced at Atak Technology Center are given in the table. According to the test results, rust and corrosion formation is not observed.

Table 2: ASTM D 6138 EMCOR - Rust / Corrosion in Wet Environment Test Results

ASTM D 6138 EMCOR – Rust / Corrosion in Wet Environment Test Results		
Garneta CT Series		
Water Type	Pure Water	%100 Synthetic Sea Water
Bearing 1 Rate	0	0
Bearing 2 Rate	0	0
Final Bearing Rate	0/0	0/0

Calcium sulphonate complex greases are generally used in the lubrication of bearings in heavy industry. Under certain conditions, they must be pumped at low temperatures and do not cause freezing and jamming within the bearings they are in. ASTM D 1478 method is designed to simulate this situation by calculating the torque required for rotation of the grease in the bearings. With this test performed at -20 C and below, the starting torque required to rotate the bearings filled with grease and the operating torque measured as a result of 1 hour operation can be compared to the properties of greases such as clogging and freezing at low temperatures. The types of base oils used in the formulations of greases and the amount of soap formed are among the process parameters that should be taken into consideration in order to avoid these clogging and freezing. Figures 10 and 11 show the ASTM D 1478 result graph of the Alpet Garneta CT 2 product. Starting torque increased to 4100 g.cm (402 mNm) followed by a torque of 499 g.cm (49.0 mNm) after 1 hour of test time.

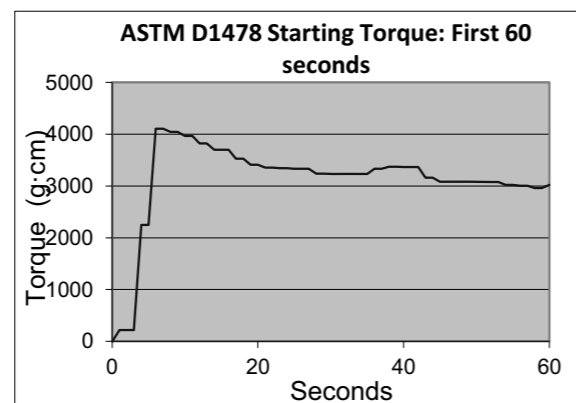


Figure 10: ASTM D 1478 Graph of Starting Torque

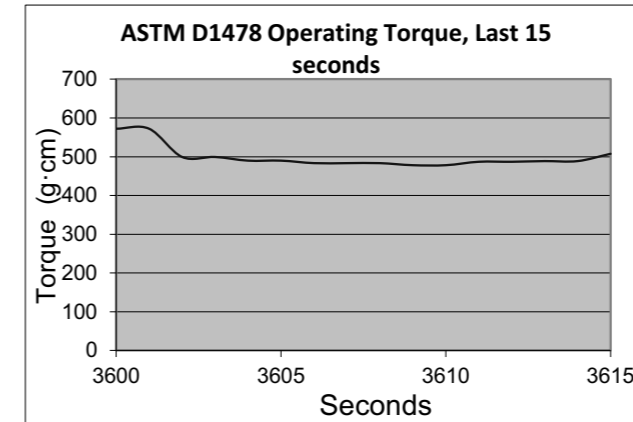


Figure 11: ASTM D 1478 Operating Torque, Last 15 Seconds

#### 4. Conclusion

Calcium Sulphonate Complex thickening greases developed in industrial systems to meet the need for grease lubrication under difficult conditions were formulated with process simulation tests. The studies on calcium sulfonate complex soap technology formulation are summarized and the results of the tests simulating industrial conditions for water resistance performance are shared.

#### References

- [1] Gareth Fish, Calcium Sulfonate Greases, White Paper - 2016
- [2] W.Macwood, Tribology and Lubrication Technology, October 2016, P 28 – 40
- [3] Kobylyanski, E.V., O.A. Mishchuk, and Y.L. Ishchuk, Lubricating properties of thixotropic systems based on overbased calcium sulfonate. Lubrication Science, 2004. 16(3): p. 293-302.
- [4] Rob Bosman & Piet M. Lugt (2018): The Micro-structure of Calcium Sulphonate Complex Lubricating Grease and its Change in the Presence of Water, Tribology Transactions,
- [5] David Autier and al. Calcium Sulfonate Greases, A solution to Water Resistance, presented at ELGI 25th Annual Meeting, Amsterdam, April 22-23, 2013

## The Rust Guard Bearings of Highly Corrosion-resistant Bearings

Takashi Yagi

NTN-SNR Roulements • Japan

### Abstract

The environment of bearings for steel mill machinery has recently become more severe. For example, the time intervals between machine maintenance has increased and the composition of the water used in the rolling process varies. Lastly, there is a growing demand for long-life bearings for the steel mill industry. To combat these tough conditions, NTN has developed the Rust Guard bearings of highly corrosion-resistant bearings.

This publication describes the Rust Guard bearings in detail.

### 1. Introduction

The steelmaking industry worldwide has recently been undergoing a strong restructuring drive to ensure the availability of iron resources, including iron ores, and to prevent the oversupply of steel products in the future. To accomplish this, the production lines in present-day steel mills are being used to their full capacity, while extending maintenance intervals for steel mill machinery in order to improve productivity.

The durability of the bearings used in various applications in steel mills, such as the production and transportation machinery for raw materials and steel products, directly affects the productivity of such machinery. If a bearing failure occurs in an unexpectedly short time (hereafter referred to as "premature failure"), a long time is necessary for restoration and significant monetary loss results.

NTN has developed the **RustGuard™** bearing line of highly corrosion-resistant roll neck bearing products for rolling lines where damaged bearings can greatly affect the operability of production lines. The goal in developing the RustGuard™ line is to prevent the premature failure of bearings.

### 2. Background for Developing RustGuard™

Flaking, which is a typical bearing failure, can be categorized into flaking that starts internally, in which fissures start inside immediately below the raceway surface, and flaking that starts from the surface, in which flaking begins at damage on the outermost raceway surface. Many cases of premature bearing failures result from flaking that starts on the surface.

Therefore, flaking that starts on bearing surfaces must be actively inhibited to ensure reliable operation of the rolling lines in steel mills.

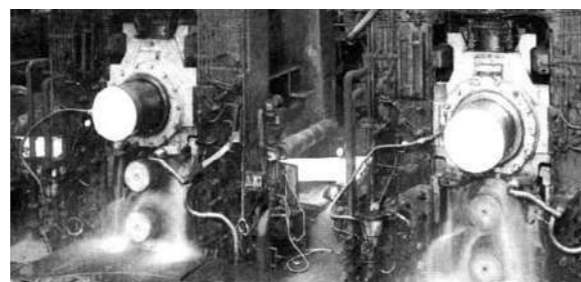


Photo 1 View of a Rolling Mill in the Rolling Process

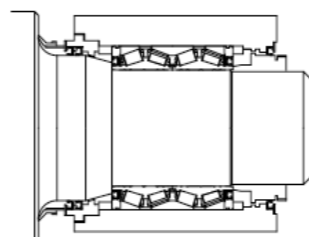


Fig. 1 Cross-sectional View of a Roll-neck Bearing on a Rolling Mill

The initial efforts to realize longer life for roll neck bearings have included an attempt to achieve a higher bearing capacity by increasing the number of rollers through adoption of a pin-type cage and efforts to prevent failure that starts internally by adopting cleaner bearing materials. However, despite these efforts, premature

failures still occur frequently because flaking that starts on the surface is unavoidable. A starting point for flaking could be a rusty spot or dent resulting from the ingress of water or foreign matter into the bearings, and the production sites in steel mills are usually contaminated with much water (rolling water and cooling water) and foreign matter (scale and the like). To address this problem, the lubricant and chock seal were improved, and sealed bearings have also been incorporated into components such as the work rolls in cold rolling machines. Despite these attempts, ingress of water and foreign matter has been unavoidable.

NTN has already marketed the EA Bearings, which are specially heat-treated products boasting limited loss in life even in contaminated conditions. This product line has attained a good reputation, and, when installed on a hot rolling machine, this bearing type has achieved L10 life three times as long compared with conventional bearings.

Incidentally, the problem known as "downtime induced rust" (Photo 2) should be noted. This results from the ingress of water into the bearing and occurs when the bearing is at a standstill while the rolls are being polished or inspected. To address this type of rusting, NTN developed a special phosphating process (hereafter referred to as the "previous specification") and has adopted this technique in conjunction with EA Bearings on actual steel mill machinery, verifying its effectiveness.

However, despite our efforts, the need to further improve the corrosion resistance of bearings has been mounting because much longer maintenance intervals are needed at the workplaces of steel manufacturers.

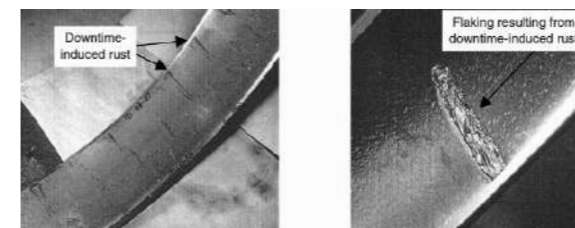


Photo 2 Examples of Downtime-Induced Rust

#### 2.1. Features of RustGuard

The author's newly developed RustGuard coating is a unique type of coating with improved corrosion resistance that was developed through further improvement of the previous special phosphate bearing coating (previous specification).

A phosphate coating is a type of a chemical conversion coating, in which chemical reactions with the compositions of the steel base material form crystals and an accumulation of these crystals creates the phosphate coating. Generally, phosphate coating is used to provide the initial sliding fit for sliding sections or to prepare a base for the application of paint. The purpose of phosphating on the bore surface of

the inner ring of ordinary roll neck bearings is to provide initial sliding fit for sliding sections.

Capable of retaining lubricating oil between its crystals due to the capillary effect, the phosphate coating also provides corrosion resistance. However, because the base material is somewhat attacked during the initial coating formation process, the roughness of the base material surface (boundary with the coating) will deteriorate and can lead to loss in rolling life even though the oil retention capability of the base material will be improved. Therefore, the ordinary phosphate coating cannot be applied to the raceway surface of a bearing.

To address this problem, NTN has long been applying a special phosphate coating that does not lead to loss in rolling life by employing a special miniaturization technology. Photo 3 shows rollers of the previous specification that underwent operation for a duration equivalent to five times as long as the calculated life L10 and new non-treated rollers. Both samples were partially submerged for 24 hours in tap water. From the state of rusting at the water surface of each sample, it can be seen that the rollers of the previous specification maintained corrosion resistance after use. Incidentally, the previous specification was, in principle based on compatibility with bearing steel, and was not an optimal specification for the case hardening steel used for roll neck bearings. Therefore, we improved the previous specification, and determined the optimal crystal size through consideration of compatibility with components of case hardening steel. By using a special miniaturization technology, we successfully developed the RustGuard coating that boasts much improved corrosion resistance.



### 3. Corrosion Resistance Test

On actual steel mill machinery, each bearing goes through a repeated cycle of running and stopping. The protective coating is worn down when the bearing is running, and rust occurs on the rollers when the bearing is at a standstill. The author's corrosion resistance test is intended to simulate use with actual steel mill machinery, so the test pieces were allowed to stand in a rust-promoting environment after operation, and then their rolling life was evaluated.

The author has a wide range of experience with investigations into bearings that have been used in various actual steel mill machines. Based on this experience, the author set up a rust-promoting environment for simulation so that the severity of rust on the previous specification test pieces was equivalent to that on the samples from actual



steel mill machines operated in rather severe operating conditions.

As a result of the corrosion resistance test, the author's new design exhibited a smaller variation in life and boasted a longer life with an L10 that is 3.5 times greater than the previous specification.

Incidentally, in a clean environment, RustGuard samples have exhibited lifespans virtually equivalent to those of the previous specification samples.

#### 4. Anti-Seizure Property-Confirmation Test

Other than the downtime-induced rusting, the typical causes of premature bearing failure on actual steel mill machinery include lubrication failure and seizure caused by a failed lubrication system (for example, a clogged nozzle on an oil-mist lubrication system).

Boasting good oil retention and corrosion resistance quality, the RustGuard coating does not readily coagulate.

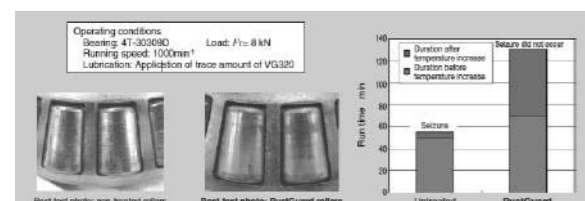


Fig. 3 Seizure resistance confirmation test

Fig. 3 summarizes results of a comparison test that simulated an under lubricated state. After the start of operation, the temperatures of the non-treated rollers and RustGuard rollers first stabilized and then increased. The non-treated rollers seized after 5 minutes of temperature increase. In contrast, the RustGuard rollers did not seize even after 60 minutes of temperature increase, showing their good anti-seizure qualities.

#### 5. Examples of Applications in Actual Machinery

The major objectives of adopting the RustGuard coating, though varying somewhat between different steel manufacturer sites, include the extension of maintenance and replacement intervals, the simplification of maintenance works and the achievement of more reliable steel-making operations.

Both in Japan and in other countries, RustGuard bearings are used on work rolls and backup rolls in cold rolling machines, in work rolls in hot rolling machines and in guide rolls in continuous casting machines.

The life (L10) of the RustGuard bearings in the work rolls of actual cold rolling machines has been twice as long as that of the previous specification bearings. In addition, compared to the non-treated bearings from other bearing manufacturers, the bearing replacement intervals with the previous specification bearings have been increased to 1.3

times as long, while those with the RustGuard bearings have been extended to 1.7 times as long.

Incidentally, as with steel manufacturing works, papermaking plants using previous specification products (phosphate coating for bearing steel) have been experiencing problems of downtime-induced rust, particularly with the suction rolls used in the paper making process. Compared with the non-treated bearing products, the average life of RustGuard bearing products used in this type of application is sometimes more than four times as long.

#### 4. Conclusion

The operating conditions for the roll neck bearings on rolling machines in steel mill machinery are very demanding, and can lead to bearing failures that start from the surface. We have developed and commercialized the RustGuard product that actively resists the occurrence of "downtime-induced rust," which is a typical cause of bearing failures that start from the surface. Furthermore, RustGuard also features good anti-seizure properties. In summary, the RustGuard line of products is highly suitable to the needs of steelmaking sites, including, for example, the stable operation of bearings in actual machinery.

NTN will remain committed to the development of products that satisfy customer worksite needs.

#### References:

NTN TECHNICAL REVIEW, Autor Takashi YAGI, NTN Japan, Industrial Engineering Dept.

## Zero Carbon Print POA Gear Oil with Innovative Plastic Deformation Additive (POAX)\* and Energy Efficiency Benchmark Against Commercially Available Leading Gear Oils

Luis Blazquez, Phil Booker

BP Castrol Plc • United Kingdom

#### Abstract

Energy efficiency, Carbon footprint and operational excellence measures are shaping companies sustainability strategies. Innovations in Tribology labs are tested on simulation benches and on realtime field applications. In a fast pace spread into all components in our lives. PAO based PAOX\* with innovative Plastic deformation additive; delivers higher efficiency compared to available gear lubricants whereas gaining the first Zero Carbon Print tag in its class. Proven both in Simulation tests in Porto University and Amaral Wind Farm. PD technology both brings in energy efficiency and protection against micro pitting; opening a new era for gear oils. This paper explains the simulation tests and validation of measured data with; Sacada data collected from operating windmills. It presents the new PAOX technology benefits; Efficiency; Durability and Sustainability.

## The CONSTEERRER™ Technology for the Improvement of the Steelmaking Process

A. Grasselli<sup>1</sup>, S. Reali<sup>1</sup>, J. Andersson<sup>2</sup>, A. F. Lehman<sup>2</sup>, L. Teng<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Tenova S.p.A., <sup>2</sup>ABB Metallurgy AB • Italy, Sweden

### Abstract

The electromagnetic stirring system ArcSave® can now be applied to the Consteel® process. TENOVA and ABB have become partners to jointly developed CONSTEERRER™ technology with the aim of getting the most out of the electric steelmaking process. Thanks to a mutual technological effort and close collaboration, the CONSTEERRER™ technology can make the liquid steel faster, in a safer manner and at lower cost. The CONSTEERRER™ is a new and original concept specifically designed for the Consteel® furnace. Integration of electromagnetic stirring within the EAF continuous charging process allows to control the movement of the liquid steel in the flat bath operation, thus enhancing the continuous scrap melting process and improving the Consteel® performances. This paper provides an overview of the technical features of this technology developed by Tenova and ABB: complete with water modelling and fluid dynamic simulations, it demonstrates the benefits of the CONSTEERRER™ technology on the operation of the Consteel® EAF. The flexibility given by the CONSTEERRER™ technology matches with any steelmaking scenario. Operation is characterized by low cost, consistent and reliable practice and high repeatability of results in the context of improved maintenance and safety, due to the elimination of stirring porous plugs.

## The New Challenge and Prospects of the Ultimate EAF, "ECOARC™"

Yasuhiro Sato, Tsuyoshi Okuyama

JP Steel Plantech Co. • Japan

### Abstract

JP Steel Plantech Co. (hereinafter referred to as "SPCO") has already successfully supplied Seven unit of "environment-friendly", "high-efficiency" electric arc furnace "ECOARC™" in the world and each unit has been operating smoothly.

Besides, we have received new additional three orders, all of them will be started an operation in next year.

"ECOARC™" is an advanced preheating type furnace with a vertical shaft and furnace shell directly connected to and it achieves the electricity power consumption unit 250 kWh/t or less by completely flat bath operation.

"ECOARC™" does not equipped any mechanism to hold scraps in the shaft, like a "finger" device. So, there can minimize a mechanical trouble and critical risk as much as possible. Scrap is softly charged into inside melting chamber continuously, operation is possible without any power off time from the start of power on time to tapping, so it can be achieved high productivity.

Since, scrap does not contact the electrode at the time of scrap charging from the shaft, there are quite low electrode breakage, and an electrode consumption unit can be achieved less than 0.7 kg / t in AC furnace cases.

Furthermore, a user can enjoy various merits such as achieving environmental standard by advanced exhaust gas treatment system, reducing dust emissions, reducing flicker, noise by flat bath operation and improving yield by preventing oxidization.

So far, "ECOARC™" has already achieved various "breakthrough" of preheating furnace technologies.

In this paper, we will describe farther more challenges and prospects for future evolution, such as advanced automation technologies and the saving scrap procurement costs by the diversity of scraps grade at "ECOARC™"

Besides, introduce an actual example of amazing performance of "ECOARC™" that has responded to the various steel grade production such as the deformed bar steel bars and special steels for automotive.

### 1. Outline of ECOARC™

#### 1.1. Concept of the furnace

Figure 1 shows the concept diagram of ECOARC™. It consists of a melting chamber along with a preheating shaft. The preheating shaft is rigidly connected to the melting chamber. The rigidly connected shaft for preventing air infiltration is one of the most important features. As the connection is tight, there is no air infiltration into the preheating shaft. Also, gap between panels etc. in the melting chamber is minimized and semi-air tight configuration is realized. As another mechanical feature of ECOARC™ it has no mechanism to hold charged scrap in the shaft such as a "Finger". As a result, scrap at the bottom of the shaft is always in contact with the molten steel in the melting furnace. During operation, scrap is fed to the furnace from the top of the shaft. Accordingly, except cold start, the melting process goes under so-called flat bath condition. Even in super heating and tapping periods, the shaft keeps certain amount of the scrap for preheating. In ECOARC™, scrap is supplied semi-continuously, approx. 10 –13 times a heat. Because of its price and high preheat efficiency; it is more economical to use as much light scrap as possible within the constraints of metallurgical requirements. As a matter of course, turnings, can bundle and large scrap are also used. In addition, low bulk density scrap and highly combustible scrap such as automobile soft bundle can be easily utilized. Practically, there is no limitation of scrap in commercial operation.

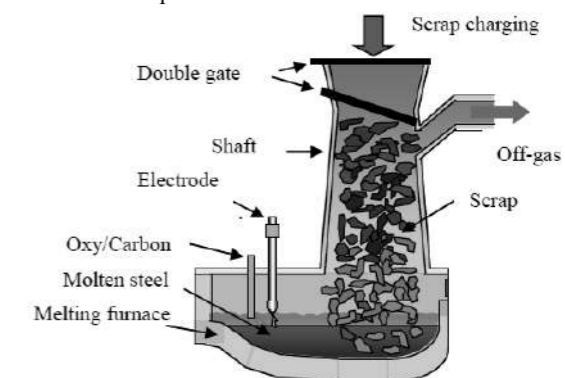


Figure 1. Concept diagram of ECOARC™

**1.2. Concept of ECOARC™ off-gas treatment system**

Figure 2 shows the flow of off gas from the preheating shaft. By using CO gas contained in the off gas, it is possible to avoid the generation of harmful chemicals with a little amount of extra fuel. Because in ECOARC™, the oxidation degree ( $OD = CO_2 / (CO + CO_2)$ ) of the off gas from the preheating shaft is controlled from 60 to 70%. The gas with such composition burns by itself. In the combustion chamber located downstream of the preheating shaft, the off gas is maintained at a temperature high enough to decompose dioxins. After combustion, the gas is rapidly cooled by spray water in the cooling chamber to prevent the re-composition of dioxins. Through this process, ECOARC™ has achieved dioxins degree less than 0.1 ng-TEQ/m<sup>3</sup>N without using activated carbon. ECOARC™ can provide better treatments for harmful chemicals with lower cost.

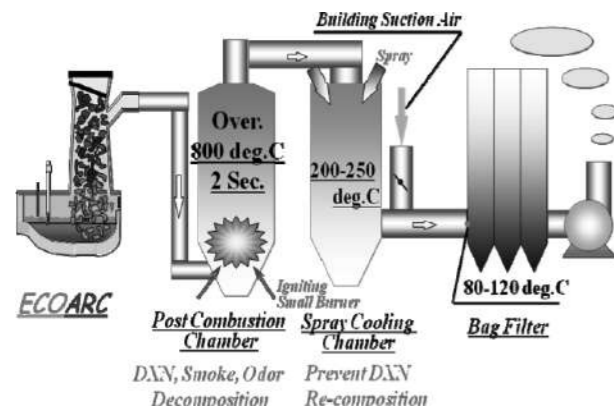


Figure 2. Outline of ECOARC™ process

**2. Automation / Highly sophisticated control system**

**2.1. Automatic scrap charging system**

ECOARC™ is also equipped with high level sophisticated control system. Almost all operation tasks are automated including scrap blend instruction, scrap handling, sub material blend instruction and handling, etc. The operator in pulpit can control the ECOARC™ through the seamless control stations including HMI and level 2 with helpful guidance systems. Figure 3 shows an example. It is used for keeping appropriate balance between the volume of charged scrap and the input power.

**2.2. Automatic water-cooled oxygen lance system**

In cutting edge electric arc furnaces, a coherent type oxygen burner installed on the furnace wall replaced instead of a manipulator type water-cooled lance is getting popular. As a result, the manpower saving is promoted, besides, it gives the big merit that is the difference of the operation result by skill and performance of each operators will be leveling.

However, this coherent oxygen burner is very effective from the end of melting process to the temperature rising period when the distance between the burner and the molten steel surface is close.

On the other hand, there are demerit that the efficiency decreases at the beginning of melting process when the distance between the burner and the molten steel surface is long.

To avoid such a situation, ECOARC™ has applied a movable water-cooled lance shown in Figure 4. This calculates the surface height of the molten steel by HMI, and can automatically keep appropriate distance between the tip of water-cooled lance and the hot metal surface. With this lance, even when the molten steel surface is low at the starting of melting, high oxygen efficiency can be obtained. Of course, an operator dedicated to the water-cooled lance is not required.

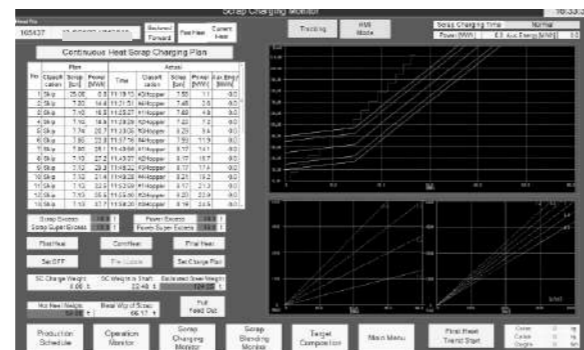


Figure 3. Scrap charging guidance

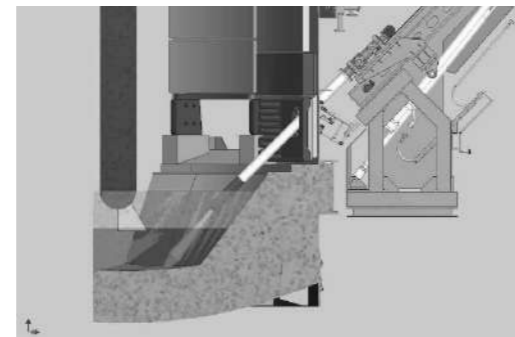


Figure 4. Automatic water cooled oxygen lance system

**2.3. Scrap monitoring technology in the shaft**

The behavior of the scrap in the preheating shaft has a big influence on the preheating efficiency of the scrap. In other words, if the time is longer the amount of scrap in the shaft is small, the preheating efficiency of the scrap decreases and the electric power consumption ratio will be worse. Therefore, it is very important that keep as scrap as much as possible in the shaft. ECOARC™ is equipped with a system that captures the behavior of scrap in the shaft as a video

image. Figure 5 is the actual video. This image allows the operator to monitor whether the shaft is full of scrap or not. As a result, it can provide the preheating efficiency of the shaft in the maximum.

Now, we are developing a system that can be realized more optimal scrap charging management by feeding back the analysis result of the video image to "Automatic scrap charging system" as previously mentioned.



Figure 5. Scrap in the shaft preheater

**2.4. One-man operation in the pulpit**

As mentioned earlier in this section, ECOARC™ operation is fully automated, and operation can be done by just one person in the operation room. Figure 6 is the actual photo of the operation room of ECOARC™ under operation.



Figure 6. One-man operation in the pulpit

**3. Scrap used in ECOARC™**

Figures 7 and 8 show the actual scrap photos used in ECOARC™. Not only general scrap but also scrap such as Turnings, HBI, Soft can bundles can be used without any problems. Figure 9 shows the change in scrap mixing when revamping from a conventional top charge furnace to ECOARC™.

At the conventional top charge furnace operation, scrap was charged three times. At that time, there was a risk for overflowing of scraps during charging, so mainly heavy scraps were mixed in high ratio.

After the installation of ECOARC™, it has been able to change to low-density scrap blends such as light scraps and

turnings. In the case of ECOARC™, scrap is charged to the shaft divided into 10 to 13 times. This is to say, in the case of 100 ton tapping, scrap charge amount in one time is around 7 to 10 tons. By efficiently blending this small amount of scrap, it has been able to realize to change from a mainly heavy scrap blending to mainly a lightweight scrap blending. Obviously, it means that a scrap purchasing cost will be reduced through change in the scrap mixing ratio. By installing ECOARC™, it will be realized a big merit that not only utility costs such as electric power consumption and electrodes consumption, but also raw material costs can be reduced.

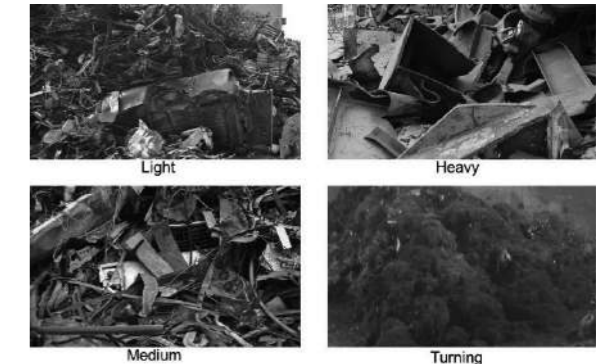


Figure 7. Scrap used in ECOARC™

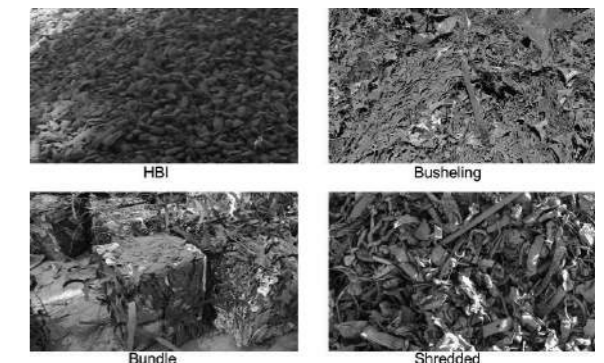


Figure 8. Scrap used in ECOARC™

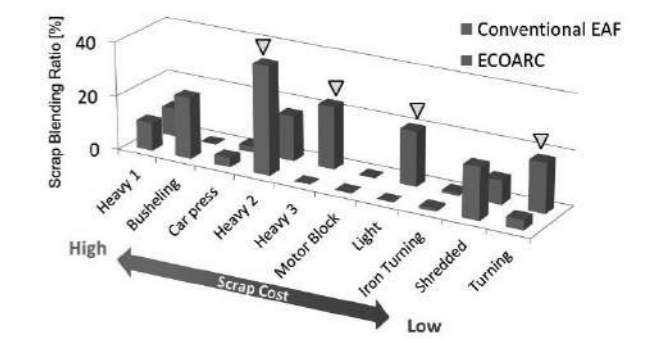


Figure 9. Scrap blending change

**4. Commercial application of ECOARC™**

Table 1 shows the main specification of the seven commercially operating ECOARC™. Three of them are green field and the rest three are renewing project. As shown in Table 1, ECOARC™ has wide range on the tapping size, and can handle the worldwide scrap.

Here, the 5<sup>th</sup> ECOARC™ project in Thailand is shown as an example. The project was planned with an aim to improve the EAF performance and environmental condition of the surrounding area with a minimum shutdown period for revamping the old conventional furnace into ECOARC™ with its auxiliary equipment, direct fume suction system and scrap handling system. Concurrently, reuse of the existing melt-shop facilities as much as possible, in order to minimize capital expenditure was another important task.

Diversity of steel types in production

As shown in Table 1, ECOARC™ has realized the production of various product steel grades. In addition to deformed bars and profiles, it can produce special grade steel materials for automotive parts, construction machinery parts and bearing steel material.

**Table 1.** Main specification of commercial ECOARC™

NO	1	2	3	4	5	6	7	8*	9*, 10*
Startup year	2001	2005	2008	2010	2012	2014	2018	- *2	2020
Country	Japan Kishiwada	Japan Himeji	Japan Sendai	Korea Incheon	Thailand Rayong	Japan Toyohashi	Japan Osaka	China	China Benxi
Heat size	70 ton	140 ton	130 ton	120 ton	70 ton	200 ton	100 ton	- *2	- *2
Annual Production	600kT/Y	1,000kT/Y	800kT/Y	1,200kT/Y	500kT/Y	1,500kT/Y	800kT/y	- *2	- *2
Type	AC	AC	AC	AC	AC	AC	DC	- *2	- *2
Trans Capacity	41 MVA (Reuse)	88 MVA (Reuse)	75 MVA (New)	80 MVA (New)	50MVA (Reuse)	115MVA (New)	78MVA (Reuse)	- *2	- *2
Electrode	20 in	24 in	24 in	22 in	22 in	28 in	28 in	- *2	- *2
Product	D-Bar	H-beam, FB, Angle	Rod/Wire For Automobile	D-Bar	D-Bar Billet	Long Products, D-Bar	D-Bar	- *2	Special Steel

\*1, Under construction \*2, Confidential

**5. Excellent performance result of operational result and environmental**

Figure 10 shows the annual operating rate (actual operating hours / planned operating hours) of a certain ECOARC™. The average value for the year is 97.6%, which indicates the operation is very stable. ECOARC™ is characterized by less trouble such as water leakage in the shaft because there is no "water-cooled finger system" to holding scrap in the shaft. Besides, since always operating under flat bath condition, there is no spark caused due to scrap contact with the furnace roof in the melting chamber. For this reason, extending the life of water-cooled equipment such as furnace roof and water-cooled panels also contributes to stable operations. ECOARC™ has realized a very high and stable operation with a sophisticated automation function and a simple structure with direct shaft connection. As a result, each melt shops has been realized an incredible excellent operation records. Table 2 shows an example of these operating specifications.

**Table 2.** Main performance of ECOARC™

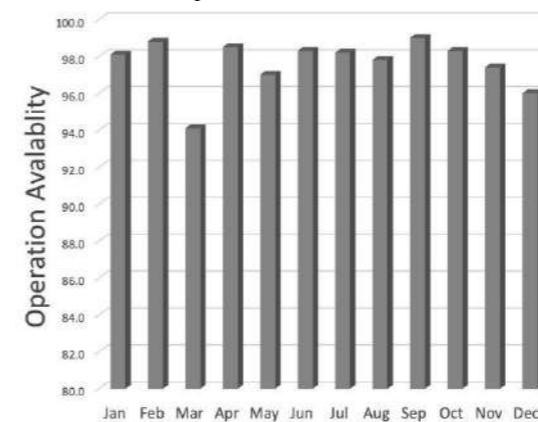
Tap to Tap time	40 min
Power consumption	240 kWh/t
Electrode consumption	0.7 kg/t
Scrap / Molten steel yield	95 %
Annual operation time	7,900 hours

Decrease of electrode consumption

With the continuous flat bath operation, there is no scrap bore-in period like a conventional furnace. Therefore, the occasion of electrode breakage by scrap cave-in is decreased, and the arc becomes stable as arcing takes place between molten steel and electrodes. For these reasons, electrode consumption can be decreased. One of our customers has reported the following value in AC ECOARC™. This value is far below that of conventional furnaces.

Improvement in tapping yield

In ECOARC™, oxygen is always blown into molten steel by flat bath operation. In other words, there is not so-called scrap cutting work by oxygen lance. From this aspect, generation of excess FeO is avoided compared to the conventional EAF. The air tight shaft also contributes to avoid oxidation of charged scrap. As a result, the tapping yield is improved. Tapping yield improvement by around 1.0 – 1.5 % has been reported.



**Figure 10.** Operation availability

In terms of environmental aspects, it has been confirmed that it has shown excellent performance so far. Table 3 shows the specifications.

**Table 3.** Environmental performance of ECOARC™

GHG emission	-30 %
DXN emission	< 0.1 ng-TEQ / m <sup>3</sup> N
Dust emission	-50 %
Noise level	-15 dB
Flicker level	-40 %
Slag emission	-30 %

DXN

As for the Dioxins emission, it has been achieved 0.1 ng-TEQ / m<sup>3</sup>N that is becoming an international standard value.

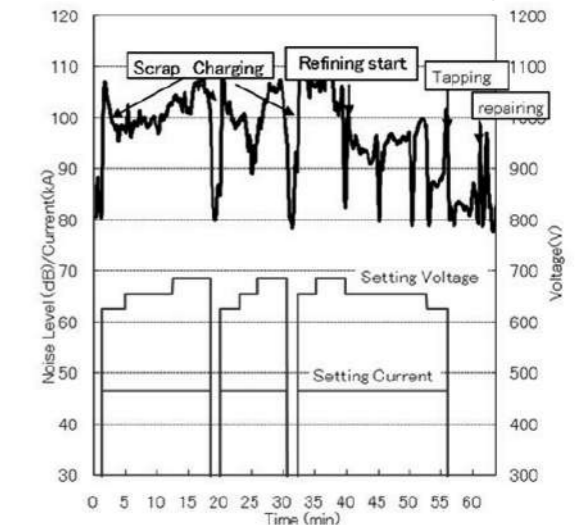
It is remarkable event that this value is achieved without any activated carbon.

Lower dust generation & higher Zn condensation in the dust

Because of flat bath operation with submerged arc, and scrap charging without opening the roof and a dust adsorption removal effect in the shaft, quantity of dust emission decreases. As a consequence, an operation result, equal or less than around 50 %, has been reported after conversion from a conventional furnace. In addition, Zn condensation in the dust becomes higher, because vapored Zn is captured by the scrap layer in the shaft. For the EAF dust, higher Zn concentration means higher transaction price. Then, total dust processing cost decreases and tapping yield improves. Environment inside the meltshop building is also kept clean in comparison with the conventional furnace.

Lower Noise

Noise during the operation is largely reduced by ECOARC™ because of flat bath operation with sufficient foamy slag and no scrap charging from top of the furnace. Figure.11 and Figure.12 are the results of noise level measurement at the time of operation of a conventional furnace and an ECOARC™ with the same productivity. In the conventional furnace, the noise level more than approximately 100 dB was recorded in the melting period. On the other hand, the noise level in ECOARC™ was always less than 100 dB and around 90 -95 dB in average.



**Figure 11.** Noise level of conventional EAF

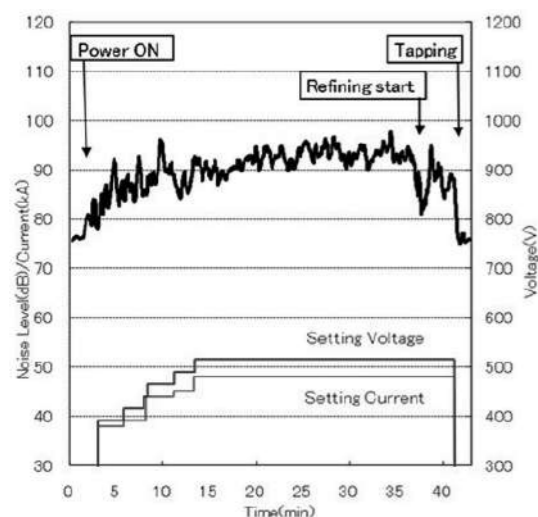


Figure 12. Noise level of ECOARC™

## 6. Conclusion

SPCO has developed most advanced arc furnace "ECOARC™", based on totally new ideas, which are

- Preheating shaft directly attached to the melting furnace.
- Keeping the shaft fully filled with scrap throughout a heat to preheat it continuously for maximizing energy efficiency.
- Scrap and molten steel co-existing for efficient heat transfer.

Through the stable operation of the first commercial plant, SPCO has confirmed that power consumption 210kWh/t is achievable. In addition, 2<sup>nd</sup> to 7<sup>th</sup> ECOARC™ are operating smoothly and they keep updating their operation records. It is notable that the largest 6<sup>th</sup> ECOARC™ also successfully started up in the end of 2014.

Production cost and the recent environmental measures are contradicting issues for EAF application. ECOARC™ is the best solution for saving production costs and developing more eco-friendly iron and steel industry.

## Fast and Reliable Temperature Measurement at End of Melting Cycle in EAF

Danny Van Dooren<sup>1</sup>, İsa Keskin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Heraeus Electro-Nite Intl. NV, <sup>2</sup>Heraeus Electro-Nite A.S. • Belgium, Turkey

### Abstract

Modern EAF steelmakers can benefit in several ways from the newly developed technique. With increased sampling frequency overheated production cycles and tap hole blockages are more easily avoided. Prolonged deep foamy slag conditions increase efficiency of the furnace. Both effects lower energy and consumables cost while increasing productivity. In this paper, the fundamentals, applications and advantages of Dynamic Temperature Measuring System (Coretemp) are explained and illustrated detailly. For a typical high powered, high productivity EAF it is estimated that approximately 3.2 USD per ton of liquid steel can be saved on each heat.

### 1. Introduction

According to Worldsteel statistics the total steel production of World was reached 1.686 Mtons in 2017. 71,6 % of this production provided by oxygen blowing converters (BOF.) rest is from Electric Arc Furnaces.(EAF)[1] The electric arc furnace (EAF) process is a main element and the highest energy consumer in the recycled steel processing industry. The EAF contains electric energy, with a moderate addition of chemical energy, that is used for generating the required heat for the melting of recyclable scrap. The energy costs of steelmaking companies are increasing day by day. For that reason with the help of developing technology every steel producer is trying to decrease energy costs for their process.

Under these conditions, problem-free tapping is key to achieve efficient operations. Uncertainties on input material quality and thermal efficiency of the furnace introduce large variations on the progress of individual melting cycles. An accurate and reliable temperature measurement is therefore needed to determine the appropriate end point for each single heat. Current automatic lances use disposable probes to determine temperature of steel bath. These single dip measurement systems are however not accurate enough to guarantee problem-free tapping at all times. Erratic temperature profiles and significant fractions of residual solid scrap near the end of the production cycle are observed despite considerable safety margins being applied. A next generation of temperature measurement techniques is needed to further improve operational performance of EAF.

A new, optical fiber based, measuring system has been developed, capable of delivering accurate temperature readings every 20 seconds. Black body radiation from inside the liquid steel pool in the EAF is transmitted through a shielded optical fiber onto a light emission detector where Planck's law is applied. A semi-continuous temperature profile can now be established to help accurately define the desired end point of the melting cycle.

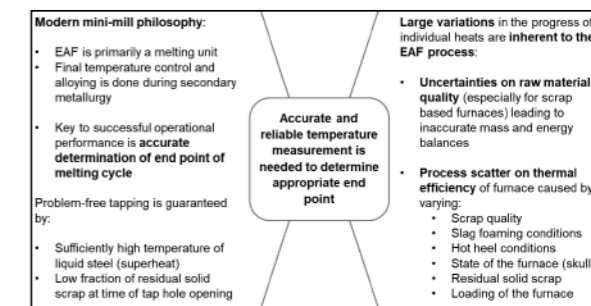


Figure 1: The philosophy of modern EAF processing

### 2. Theoretical Background

Liquid steel temperature can be determined by applying Planck's law of black body radiation to emitted light intensity.

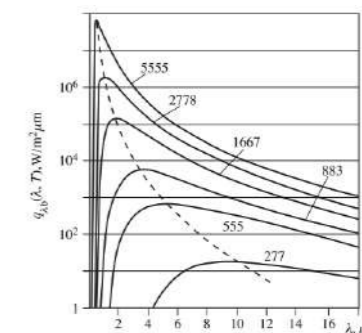
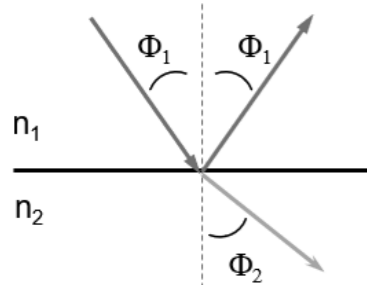


Figure 2: Visualization of the emission characteristics of a black body over a wide range of wavelengths and temperatures.

Qualitative thermodynamic considerations and daily experiences shows that the energy of total radiation should increase with the temperature. Also, this is valid for radiation energy corresponding to each wave length. When we check the cross sections of Figure 2 at fixed wavelengths, energy of radiation, emitted in the short wave extremity of spectrum increases with the temperature faster than radiation energy of greater wavelengths. When we consider human body temperature around 36 Celsius, only a very small fraction energy falls on a visible spectrum range which cannot be detectable by human eye. [2]

Different materials exhibit different surface emissivity coefficients (liquid steel: ~0,3; liquid slag: ~0,6): a large degree of uncertainty is introduced when applying remote optical temperature measurement to liquid steel temperature in an EAF. With the help of Coretemp system bypassing the slag layer completely by submerging an optical fiber into liquid steel bath prevents this unprecise results of this technology.

EM radiation from inside the liquid steel is transmitted to the light emission detector through internal refraction in the optical fiber. The transportation principle is the law of refraction, which is generally known as Snell's law, governs the behavior of light-rays as they propagate across a sharp interface between two transparent dielectric media.



- Mathematical formulation of Snell's law :  $n_1 \sin \Phi_1 = n_2 \sin \Phi_2$
- Internal refraction when  $n_1 < n_2$  or  $\Phi_2 > \Phi_1$
- Total internal reflection when  $\Phi_2 = 90^\circ$  or  $\Phi_1 > \Phi_C = \arcsin (n_2 / n_1)$

Refractive index, also known as index of refraction, measures of the bending of a ray of light when passing from one medium into another. Each material has a unique refractive index such as air: 1, water:1.33, ice:1.31.

## 2. System Overview

The CoreTemp system uses standard industrial cored wire technology to inject the optical fiber into the liquid steel bath. The general overview of system is showed in figure 3.

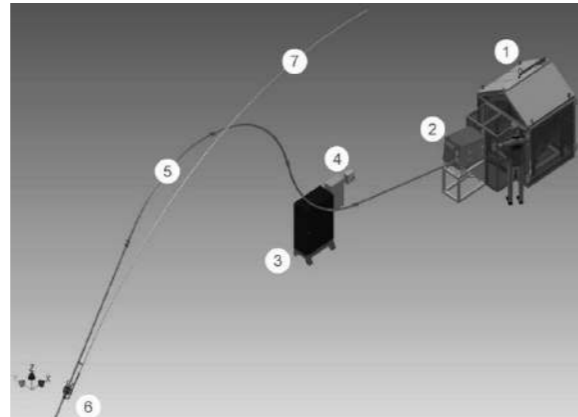


Figure 3. Schematic overview of Coretemp system.

The main components of system are 1- Safety cage containing coil and pyrometer box 2- Cored wire feeder 3- Electrical cabinet containing CoreTemp PLC 4- Pneumatic box (controls airflow to blowing lance) 5- Guiding tube system 6- Blowing lance (injection device for cored wire delivery into the furnace) 7- Pneumatic hose

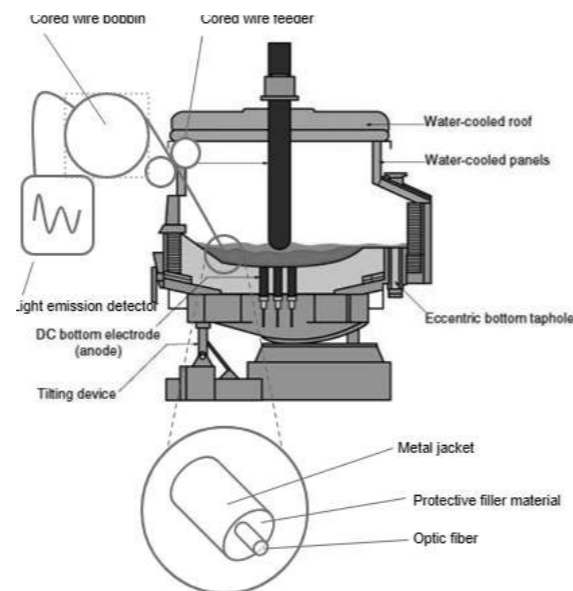


Figure 4. The installation of Coretemp system on EAF.

The sequence of measurement is first injecting cored wire through furnace wall opening into foamed slag and after passing the foamy slag layer cored wire is fed into liquid steel bath. Once the wire is injected the emitted light intensity is translated into a temperature trace by the CoreTemp software. And finally the cored wire is retracted due to save un-burnt portion. The total sampling time is average 20 – 30 seconds. The critical parameters for qualified measurement are length of injection profile, injection point location (distance to refractory, entry angle, ...), presence of deep liquid steel bath, homogeneity of the furnace. The end position of cored wire should be in deep liquid steel bath and optimum speed profile has to be applied during injection and measurement.

Temperature is determined at maximum signal strength in the expected time frame and temperature range. And optical temperature trace is very sensitive to variations in measuring conditions (e.g. unmolten scrap). A semi-continuous temperature evolution profile of the heat is constructed through a sequence of measurement dips and heat evolution curve takes into account all primary and secondary peaks of the trace frequency distribution. (Figure 5-6)

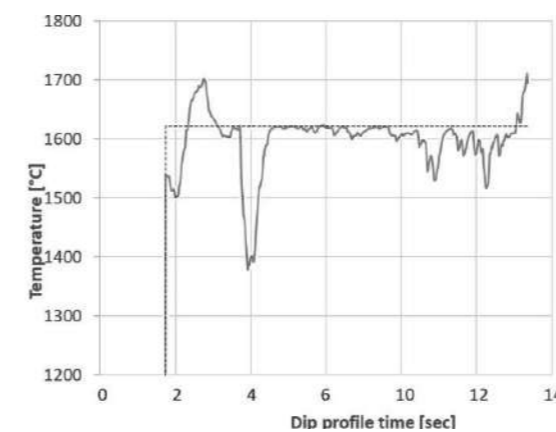


Figure 5. Typical Coretemp Dip Trace

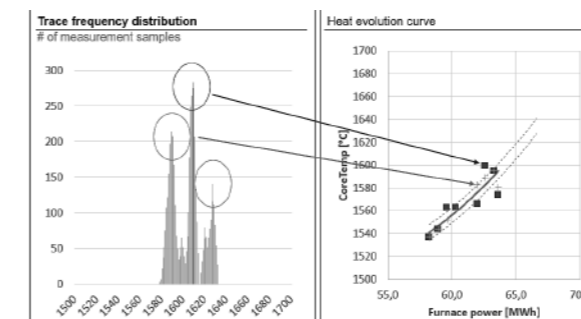


Figure 6. The frequency distribution of traces and heat evaluation curve of Coretemp Software.

'Heat Evolution Curve' is obtained by max 5 dips. It represents the estimated temperature evolution versus total electrical energy input. Via Coretemp software the estimated tap window is displayed on the operator screen and provide the operators optimum tapping time. Due to the inhomogeneous nature of EAF process, some temperature measurements may not be representative for the entire bath, although they are correct for the measurement spot at that time. Those measurements do not affect the estimated temperature of CoreTemp because the algorithm excludes those measurements.

## 3. System Outcomes

The new developed optical temperature measurements offer several clear advantages over current standard sampling techniques.

1. *Increased sampling frequency:* Superheated production cycles can be avoided through better operational control of furnace, decreased energy consumption in EAF due to lower tapping temperature.
2. *Limited impact on foamy slag conditions:* Increased energy efficiency of furnace during final phase of melting, decreased costs in EAF for energy and consumables from improved operational performance.
3. *Residual solid scrap assessment:* Possibility to better predict liquid steel temperature in ladle after tap, Lower occurrence of freezing in EBT zone during tapping of liquid steel.

According to calculations for a typical high powered, high productivity EAF a potential savings of 3,2 USD/ton steel can be made. The detail saving analysis is given in figure 7 below;

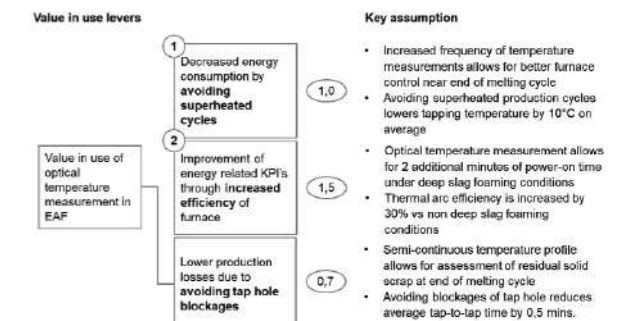


Figure 7. Value in use and key assumptions of Coretemp System.

The implementing of Coretemp system takes almost 1 month including installation and commissioning. Installation phase adapting and installing the system and guiding tubes on the furnace, determine optimal furnace entry point. After that starting of wire injection profile optimization for maximal signal quality and system availability. During the commissioning wire injection profile is optimized for maximum availability and optimized measurement cost and level 2 connections are being set. Finally, related operators



are being trained in using measurement sequences to establish confidence in CoreTemp system.

### 3. Industrial Trials and Results

The new developed temperature measurement system implemented several steelmaking companies around world. The comparison of temperature measurements in Ladle furnace between thermocouple and Coretemp is illustrated in figure 8. The scatterplot shows that there is good correlation between both temperature measurements.

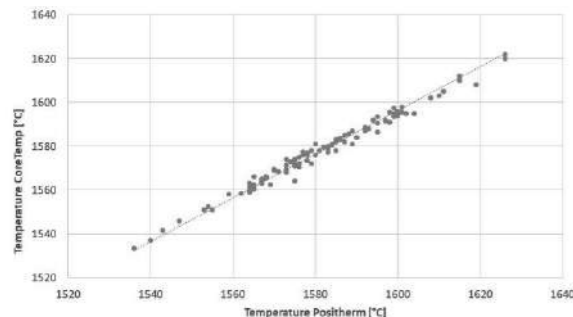


Figure 8. Scatterplot of dip temperature measurements and Coretemp measurements.

The potential cost reduction values are calculated for specific EAF electric consumption of 330 kWh / ton steel. Decreasing average tapping temperature by 10°C decreases cost base by 1,0 USD per ton liquid steel. It is assumed in calculation model lowering average tapping temperature by 10°C shortens TTT time by 28 seconds. Secondly, In order to having a good isolation of arc the slag plays an important role. As seen in figure 9, energy transfer from arc to steel bath is ~30 % more efficient under deep foamy slag conditions than under partial arc coverage. [3] Increasing deep foamy slag conditions by 2 minutes reduces TTT by 47 seconds through higher furnace efficiency.

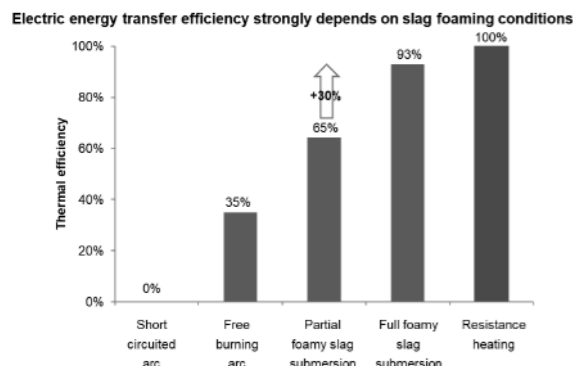


Figure 9. Distribution of thermal energy according to slag conditions in EAF.

Finally, Standard EAF operations the tap hole blockages typically add 30 seconds to the average TTT. Avoiding production losses by tap hole blockages and related costs yields additional 0,7 USD per ton of liquid steel. In one of the users of Coretemp system the preliminary cost reduction figures are stated below;

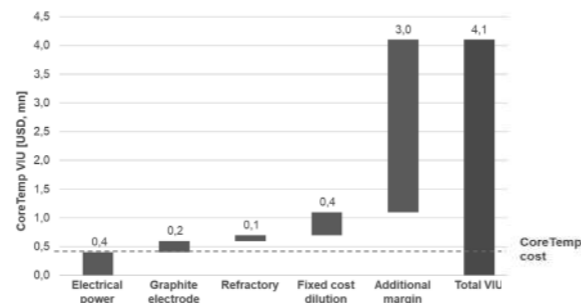


Figure 10. Coretemp Value in use figures with detailed incomes.

### 3. Conclusions

Energy is one the biggest challenge for steelmakers and with respect to energy issues, researchers has mainly focused total energy, residual molten steel, scrap rate, electrode and carry over slags.[4,5] Coretemp system offers several beneficitions for steelmakers to decrease the energy and time consumption during the EAF process. The preliminary calculations reveals that potential saving can be 3.2 USD per ton of liquid steel. When compared this potential profit with Coretemp costs, it will be almost 10% of annual income.

### References

- [1] Steel Statistical Yearbook, World Association, 2018
- [2] Black body radiation, Space research institute, [http://www.iki.rssi.ru/asp/pub\\_sha1/Sharch06.pdf](http://www.iki.rssi.ru/asp/pub_sha1/Sharch06.pdf) , copied from address.
- [3] M. Aula, J. Haapakangas, A. Heikkita, A. Kempainen, Some Environmental Aspects of BF, EAF and BOF, Technical Report, 2012
- [4] Tunc, M.; Camdali, U.; Arasil, G. Energy Analysis of the Operation of an Electric-Arc Furnace at a Steel Company in Turkey. Metallurgist 2015, 59, 489–497.
- [5] Wiczorek, T.; Blachnik, M.; Maczka, K. Building a Model for Time Reduction of Steel Scrap Meltdown in the Electric Arc Furnace (EAF): General Strategy with a Comparison of Feature Selection Methods. In Artificial Intelligence and Soft Computing—ICAISC 2008; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2008; pp. 1149–1159.

## An Innovative Ultrasonic System for Steel Level Control

Stefano Spagnul, Isabella Mazza, Giovanni Schiavon, Stefano Miani

Ergolines Lab, S.r.l. • Italy

### Abstract

Steel level control in the mold is one of the key points of the continuous casting technology, very strictly related with quality and productivity, today still mainly based on radiometric technology.

Ergolines developed an innovative ultrasonic, therefore non-radioactive, contactless sensor (ULD - Ultrasonic Level Detector) for steel level control, with an installation that does not require any machining of the copper tube since the sensor is installed on the water jacket.

The performance of the sensor is very interesting and versatile, since it has been fruitfully applied not only to steel level control but also to mold powder feeding control and mold thermal mapping, with an interesting application as breakout prevention system.

Successful field application results are presented.

### 1. Introduction

Mold level control is one of the key technical points of the continuous casting process, very strictly related with quality and productivity [1]. The radiometric sensor is currently the predominant technology for steel level control. However, since it involves a radioactive source, this system implies relevant criticalities related with handling, source disposal and health precautions.

In the last decades several technologies have been developed to provide the user with some non-radioactive tools. Electromagnetic, eddy currents, thermal monitoring, visual systems using cameras or laser have been applied with some pro but also with some cons. The result is that the radiometric system is still covering most of the installed strands.

, With a significant R&D effort in terms of investments and time spent on field testing, Ergolines developed an innovative contactless ultrasonic sensor for steel level control in continuous casting molds (Fig. 1).

There are a lot of key points that differentiates this technology from the others currently present on the market, in terms of both performance and installation. .

The performance is interesting because of an intrinsic stability of the steel level detection characterized by accuracy and fast reading based on the temperature profile monitoring of the copper mold in the meniscus area.

Thanks to ultrasounds, the copper temperature is measured without contact: contrary to thermocouples or the optical fibre cables [2], there is no need to machine the copper mold tube for the insertion of the probes [3]. The installation of the sensor is made outside the water jacket (Fig. 1), therefore without any machining of the copper tube. This is remarkable advantage especially for curved copper tubes, since there is no need for tube machining.

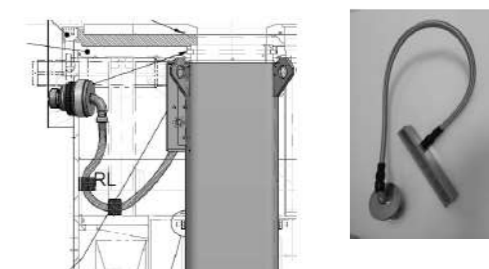


Figure 1. ULD Ultrasonic Level Detector.

This Ultrasonic Level Detector, ULD, is used for three different applications:

- 1) Steel level control,
- 2) Mold powder thickness control [4],
- 3) Mold thermal mapping with embedded breakout prevention features.

For the application to steel level control, only one single ultrasonic sensor is required with four (or eight) detection points.

Since the ULD detects the steel level, when it is used in combination with a second sensor which is affected by mold powder (such as a radiometric or optical sensor), the powder thickness can be measured in real time. The value of the measured thickness is then used as feedback signal to drive

Ergolines automatic powder feeding machines, implementing closed-loop powder thickness control.

Finally, as a further application, one or more ultrasonic sensors can be used to measure the copper temperature at several locations on the mold surface creating a thermal map.

## 2. ULD installation

Ergolines' project consists of a multipurpose system, characterized by an innovative approach:

- Non-intrusive, real-time, fully contactless ultrasonic system, with no need for CNC machining or customization of the copper tube.
- Cost-effective system, with a long life and virtually no maintenance.

Ergolines' Ultrasonic Level Detector, ULD, has very compact dimensions and, as a main advantage, the installation of the ULD is on the external side of the water jacket, with one single output cable only. This is a remarkable advantage because the customization is made with minimal machining on the water jacket only (long life component) and not on every single copper tube, as currently done in the systems detecting mold temperature based on thermocouples or optical fibre cables. The mold tube is completely unaffected and can be changed as in any standard installation (Fig. 2).

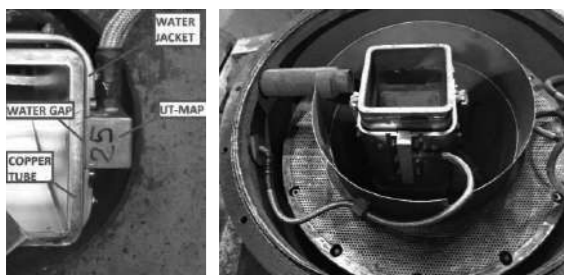


Figure 2. ULD Installation on the mold water jacket.

The ultrasound technology is mature to provide consistent answers for effective copper mold temperature detection, but it also has a wide development potential.

Since the sensor is contactless, the thermal mapping of the mold in the meniscus region can be extended simply by increasing the number of sensors, without any major installation problem, with the possibility to extend the detection region to the complete mold geometry (thermal mapping).

In the configuration shown in Fig. 3 and 4, the Ultrasonic Sensor measures the copper temperatures at four locations in the meniscus region.

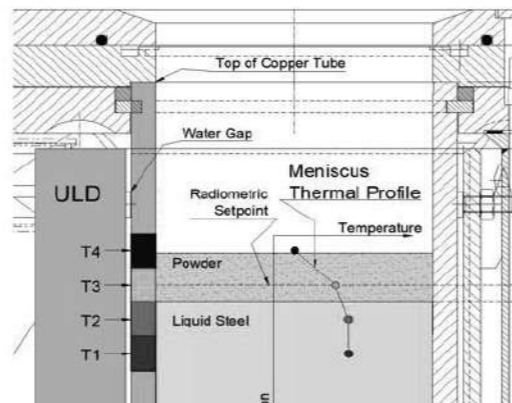


Figure 3. ULD working principle. One ultrasonic transmitter and four receivers installed in the meniscus area

Each detected temperature refers to a copper volume with the same thickness as the mold wall and approx. 20 mm for the two other dimensions. The Meniscus Thermal Profile is obtained by plotting the four temperature values versus the vertical position of the center of each volume. The temperatures are labelled T1, T2, T3 and T4, where T4 is the closest to the top of the copper tube (Fig. 3).

With a minimum number of four temperature detection points, the system is able to reconstruct the shape of the meniscus thermal profile and to extract information related with the steel level position.

If a larger mold area needs to be monitored, as for the breakout prevention, the sensors number must be increased in different locations on the mold tube surface.

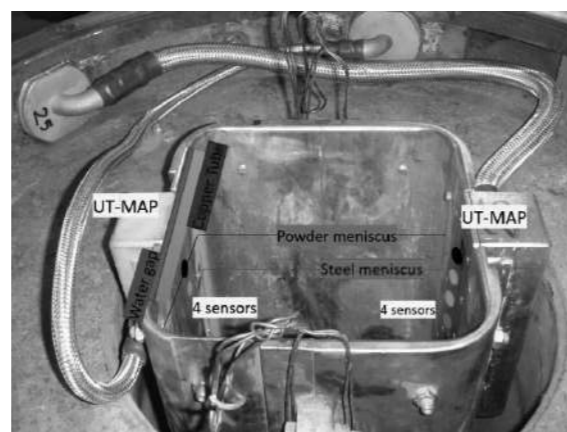


Figure 4. ULD installation details

The front side of the sensor is aligned with the inner wall of the water jacket, enabling the primary cooling water to flow in front of the sensor (Fig. 4).

The system "temperature step response" is fast due to two key factors: the ULD detects the copper temperature, including the contribution of the "hot side", namely the interface between the copper tube and the liquid steel. Thanks to the high conductivity of copper, the heat is moving very fast through the mold wall, reaching the "steady state" temperature in a very short time.

A closed-loop configuration consisting of "temperature detection → event recognition → feedback on flow control system or withdrawal unit" is completed in a fraction of second.

## 3. Results of field testing

Ergolines' ULD is currently installed on several European billet casters producing mainly high-quality steel. The installation measures four or eight (detection area is more than doubled) copper temperatures located at the top of the mold in the meniscus area. The applications are conceived for a real-time detection of the liquid steel level, powder thickness and the mold thermal mapping of the near-meniscus area to understand how the first solidification process behaves.

The first application of the ULD was the measurement of the instantaneous mold powder thickness, serving as feedback to drive an automatic mold powder feeder in closed-loop mode [5,6].

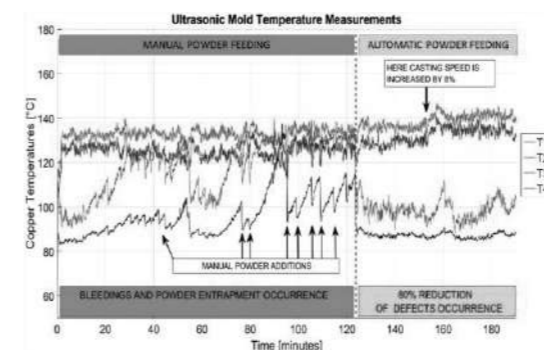


Figure 5. UT-MAP trends detect difference between manual feeding (left), leading to defects occurrence on tracked billets, and automatic feeding (right), leading to marked defect reduction

In this application the steel level is regulated with the feedback from the radiometric sensor. In the left part of Fig. 5 (red area) the powder is added manually, as evident from the black line oscillation (meniscus instability). In the second part of the picture (green area) the oscillation of the black line is instead smooth (stable meniscus), thanks to the automatic powder feeding.

This result shows how temperature monitoring through ULD enables metallurgists to optimize the casting practice, leading to a stable meniscus and improved steel quality.

## 3. ULD for steel level control

As intuitive from the ULD's application to mold powder feeding, the signal (temperature) provided by the ULD is in close correlation with the radiometric signal. The behavior of the ULD steel level signal strictly follows the variation of the radiometric signal (Fig. 6), proving that the ULD can be used as mold level detector with a very similar performance compared to the radiometric one.

In the next figure are shown the first three minutes of the casting start using sampling rate of 0.1 s. The casting start has been chosen as a significant example because there is a large steel level variation in a very short time.

Focusing the attention to the upper green dotted line, the ULD steel level signal, and the just below cyan dotted line, the radiometric signal, it is evident that the two signals show the same trends with a very small standard deviation, indicating a similar accuracy of the two systems.

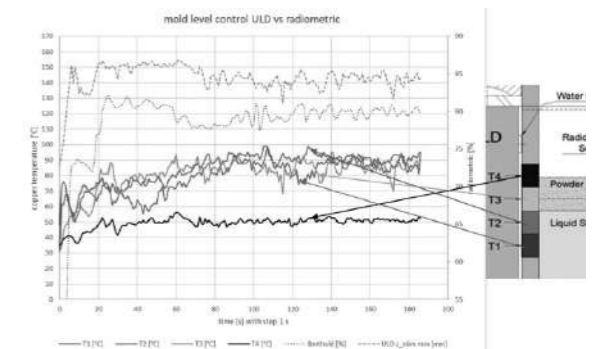


Figure 6. ULD vs radioactive steel level control: casting start

The lower part of the diagram shows the temperature trends of the four ULD detection points, named T1-T4, respectively.

The upper temperature T4 (the black line) remains low since the steel level is far below. The T2 and T3 temperatures are

quite close to each other after the start up indicating that the steel level is in the area close to the top of the T2 (red) detection point.

The steel level position is deduced by analyzing the temperature signals and their behavior. Intuitively, it is where the peak of the temperature on the copper surface is located.

#### 4. Developments

A potential application is the breakout prevention system. Extending the thermal mapping to the upper part of the mold, as deeply discussed in the literature, it is possible to make correlations between the temperature trends of the several detection points, particularly subsequent vertical points, and the sticker phenomenon.

Typical temperatures trends between two consecutive vertical points where the sticker occurs show a double peak (upper and lower detection point), with a propagation speed a bit lower than the casting speed.

The UT-MAP software is able to recognize a deviation from the normal conditions and can suggest an action to the strand PLC characterized by "normal", "warning" and "alarm" mode. The level of confidence (given by the automatic detection of false alarms) can be determined by the metallurgist.

Fig. 7 shows the temperature trends of two vertically consecutive points with a sticker event detection. The time frame is 25 s. [7]

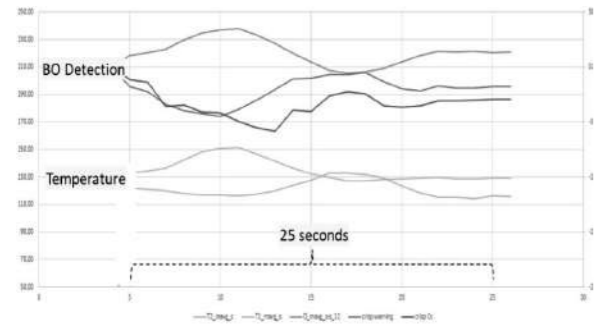


Figure 7. UT-MAP and Sticker detection

The upper temperature T2 (orange) and the lower temperature T1 (azure) are monitored and mathematically analyzed. The safety signal (pink) has a minimum (warning threshold) after 7 s from the T2 slope starting and the corresponding raise up of T1 slope having similar intensity of T2. The strand PLC suggests to slow down the casting speed.

#### 5. Conclusion

The increase of the CCM performance and the need for greater billet quality have pushed the development of cutting-edge technologies applied to the mold.

Ergolines conceived a contactless ultrasonic sensor, ULD, a multipurpose system to be installed on the mold water jacket with no need for machining or customization of the copper tube. The working principle is based on the copper temperature detection in real time. The use of ULD as steel level control in the mold is a promising application able to substitute the radioactive systems.

Field applications of the ULD systems installed in European CCMs have been presented. Other ULD applications, include mold powder thickness control and mold thermal mapping for breakout prevention.

#### Acknowledgment

Ergolines would like to thank the key clients who allowed field-testing of the system, providing an important opportunity for product development and contributing to the technological advancement of steelmaking.

#### References

- [1] Thomas B. G. On-line detection of quality problems in continuous casting of steel. Modelling, Control and Optimization in Ferrous and Nonferrous Industry, Chicago, IL, TMS, Warrendale, PA, 2003.
- [2] Ecke W.: Applications of Fibre Bragg Grating Sensors, IPHT Jena, The 19th International Conference on Optical Fibre Sensors, Perth, 2008.
- [3] Mazza, I.; Miani, S.; Schiavon, G.; Spagnul, S.; 2018, Contactless Mold Thermal Mapping at Meniscus through an Innovative Ultrasonic Sensor, Proceedings of ICS 2018, Venice, Italy, 13-15 June 2018.
- [4] Mazza, I.; Spagnul, S.; 2015, A Novel Ultrasonic Sensor for Mold Powder Thickness Control, Proceedings of METEC 2015, Düsseldorf, Germany.
- [5] Mazza, I.; Spagnul, S.; Olivo, L.; Milani, F.; 2017, Review of Technologies and Methods for Mold Powder Thickness Control, La Metallurgia Italiana
- [6] Mazza, I.; Spagnul, S.; Mantovani, F.; 2015, Review of the Mold Powder Control Technology, Proceedings of METEC 2015, Düsseldorf, Germany.
- [7] S. Spagnul, I. Mazza, S. Miani, G. Schiavon, Breakout Prevention for Billets and Blooms through Contactless Mold Thermal Mapping: A New Tool for Metallurgists, Quality Control and Productivity Improvement, Metec proceedings, 2019

## Sıvı Ham Demir Kükürt Giderme Prosesinde Kullanılan Granüle Magnezyum Tüketiminin Seviye-2 Yazılımı ile Optimizasyonu

Optimization of Granular Magnesium Amount using in Hot Metal Desulfurization Process with Level-2 Software

Kaan Özmen<sup>1</sup>, Turan Görkem Eskiurt<sup>1</sup>, Hikmet Şahin<sup>1</sup>, Haldun Erkal<sup>1</sup>, Tayfun Kocabaş<sup>2</sup>, Abdurrahman Mesud Çakır<sup>1</sup>, Burcu Soysal Atan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>İskenderun Demir ve Çelik A.Ş., <sup>2</sup>Oyak Maden Metalurji Grubu • Türkiye

#### Özet

Sıvı ham demir (SHD) içerisinde bulunan kükürt, çelikte sıcak kırılabilirliğe sebep olması, haddelenebilirliği ve kaynaklanabilirliği olumsuz etkilemesi nedeniyle istenmeyen bir elementtir. Bu nedenle sıvı çelik üretim prosesi öncesinde şarj potalarında SHD'de kükürt giderme işlemi Co-Injection (Metalürjik Kireç ve Granüle Magnezyum) yöntemiyle yapılmaktadır. Kükürt giderme işlemi kimyasal reaksiyonlar içeren oldukça kompleks ve doğrusal olmayan bir işlemdir. İskenderun Demir ve Çelik A. Ş. (İsdemir)'de Kükürt Giderme Tesisi, Yüksek Fırımlar ve Konverterler arasında SHD trafiğini yönlendirmesi nedeniyle zaman öncelikli olarak çalışmakta, bu nedenle en hızlı kükürt giderme işlemi için granüle magnezyumu ana kükürt giderme elemanı olarak kullanılmaktadır. Üfenecek granüle magnezyum miktarı, giderilecek kükürt miktarına göre değişkenlik göstermektedir. Tesisin yapımcı firması tarafından hazırlanmış olan Seviye-2 programının önerdiği magnezyum miktarı ile işlem yapıldığında hedef kükürt değerini tutturma oranı düşük olmaktadır. Bu nedenle hedef kükürt değerini yakalayabilmek için operatöre bağlı değişkenlik gösteren ilave granüle magnezyum kullanılmaktadır. Bu durum magnezyum tüketim miktarında operatör kaynaklı değişkenliğe yol açmaktadır. Yapımcı firmanın Seviye-2 programı kapalı kaynak kodlu ve hesaplanacak malzeme miktarına müdahale erişimi kısıtlı bir programdır.

Yapılan çalışmada, operatör kaynaklı değişkenliğin azaltılması ve kullanılan granüle magnezyum miktarının

optimize edilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda, 8583 adet döküme ait proses verileri MiniTab® yazılımı ile analiz edilmiştir. Hedef kükürt değerine göre kullanılması gereken granüle magnezyum miktarını tahminleyen en iyi modeli bulmak amacıyla en iyi alt küme regresyon analizi yapılmıştır. Yapımcı firmanın Seviye-2 programı hesaplama modülü devre dışı bırakılarak, çoklu doğrusal regresyon analizi sonucunda elde edilen matematiksel model İsdemir Seviye-2 programına entegre edilmiştir. Çalışma sonucunda kükürt hedef değerine uyum oranı %32'den %81'e çıkarılmıştır.

#### Abstract

Sulfur contained in hot metal is an undesirable element because it causes hot brittleness in steel and adversely affects the rollability and weldability. Therefore, prior to the liquid steel production process, the desulfurization process in hot metal is carried out by Co-Injection (Metallurgical Lime and Granular Magnesium) method. Desulfurization is a complex and nonlinear process involving chemical reactions. Desulfurization Plant in the Iskenderun Iron and Steel Co. (ISDEMİR) has time priority because it directs the hot metal traffic between the blast furnaces and the converters and therefore granular magnesium is being used as the main desulphurization element for the fastest desulphurization process. The amount of granule magnesium varies according to the sulfur content to be removed. When processing with the magnesium amount calculated and recommended by the Level-2 software prepared by the manufacturer of the desulfurization plant, the target value compliance rate is low. In this case, to reach

the target sulfur value additional granular magnesium is used, which varies depending on the operator. This leads to operator-induced variability in the amount of magnesium consumed. Level-2 software prepared by the manufacturer of the desulfurization plant is closed source code and has limited access to intervention to the amount of material to be calculated.

In this project, it is aimed to reduce operator-induced variability and to optimize the amount of granular magnesium. By this way 8583 heat datas were analyzed with MiniTab® software. Best subset regression analysis was performed to find the best model to estimate the amount of granular magnesium that should be used according to the target sulfur content. The mathematical model obtained as a result of multiple linear regression analysis is integrated into the ISDEMIR Level-2 software by disabling the Level 2 software calculation module of the manufacturer. As a result of the project, the compliance rate to the sulfur target has been increased from 32% to 81%

**Key Words:** Sulphur, Granulated Magnesium, Line, CaO, hot metal, Steel Plant, Liquid steel, Lade, Level-2, Iron and Steel, multiple linear regression

## 1. Giriş

Kükürdün sıvı ham demirden uzaklaştırılması işlemine "sıvı ham demirde kükürt giderme (sıcak metalin desülfürizasyonu)" denir. Kükürt, çelikte sıralanan nedenlerle istenmeyen bir elementtir: çeliğin hem iç hem de yüzey kalitesini etkiler, çelik kırılma hızına artırır ve sülfür fazında olduğunda çelik ürünlerde stres artırıcı olarak görev yapar, katılma sırasında çelikte granüler zayıflığı ve çatlakları destekleyen istenmeyen sülfürler oluşturur, mekanik özellikler üzerinde olumsuz bir etkisi vardır, erime noktası ve taneler arası mukavemeti düşürür.



Şekil 1. Kükürt giderme prosesi şematik gösterimi

Kükürt Giderme Tesisinde, sıvı ham demir içerisine azot itici gazı ve lans kullanılarak kalsine mikronize kireç ve granüle magnezyum enjekte edilir. Enjeksiyon sırasında kireç ve magnezyum sıvı ham demir içerisinde bulunan

kükürt ile reaksiyona girerek, cürufu oluşturur. Cürufu sıyrılarak potadan uzaklaştırılır.



Kükürt Giderme Tesisi Yüksek Fırınlara ve Konverterler arasında sıvı ham demir trafiğini yönlendirmesi nedeniyle zaman öncelikli olarak çalışmakta, bu nedenle en hızlı kükürt giderme işlemi için, granüle magnezyumu ana kükürt giderme elemanı olarak kullanılmaktadır. Üflenecek granüle magnezyum miktarı, giderilecek kükürt değerine göre değişkenlik göstermektedir. Tesisin yapımca firması tarafından hazırlanmış olan Seviye-2 programının önerdiği magnezyum miktarı ile işlem yapıldığında hedef kükürt değerini tutturma oranı düşük olmaktadır. Bu nedenle hedef kükürt değerini yakalayabilmek için operatöre bağlı değişkenlik gösteren ilave granüle magnezyum kullanılmaktadır. Bu durum magnezyum tüketim miktarında operatör kaynaklı değişkenliğe yol açmaktadır. Operatör kaynaklı değişkenliği azaltmak ve hedefe uyum oranını arttırmak amacıyla çalışma yapılmıştır.

## 2. İstatistiksel Model Çalışmaları ve Seviye-2 Yazılımı Uygulaması

Çalışma kapsamında deney tasarımı yöntemi (DOE) ve regresyon analizi yöntemi karşılıklı olarak değerlendirilmiştir. Kükürt giderme sürecinde, girdi faktörlerinin değişken olması, faktörlerin belirlenmiş seviyeleri üzerinden deney yapmanın mümkün olmaması ve elimizde geçmişe dönük veri seti olması nedeniyle regresyon modeli tercih edilmiştir. Regresyon iki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkileri ortaya koymaya yarayan bir yapay zeka yöntemidir. Basit ve çoklu regresyon olmak üzere ikiye ayrılır. Basit regresyonda bir bağımlı değişken ile bir bağımsız değişken arasındaki ilişki matematiksel olarak ortaya konur. Benzer şekilde çoklu regresyonda bir bağımlı değişkenle birden fazla bağımsız değişken arasındaki ilişkiler matematiksel olarak ortaya konur. Analiz edilen değişkenler arasındaki ilişki doğrusal ise doğrusal regresyon olarak adlandırılır. Aşağıda (3) numaralı eşitlik basit doğrusal regresyon modelini, (4) numaralı eşitlik ise çoklu doğrusal regresyon modelini ifade etmektedir.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \epsilon \quad (3)$$

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_n x_n + \epsilon \quad (4)$$

Formüllerde y bağımlı değişken (çıkıtı faktörü), x<sub>i</sub> kendi aralarında bağımsız değişkenler (girdi faktörleri), β<sub>i</sub> tahmin edilecek parametreler (faktörlerin katsayısı) ve ε (artık) regresyon modelinin hata miktarıdır (gerçekleşen değer ile modelin tahminlediği değer arasındaki farktır).

Çalışmalara başlamadan önce regresyon modeli ile ilgili literatür taraması yapılmış ve çeşitli yöntemler incelenmiştir. İncelenen yöntemlerden birinde Yukun Wang ve arkadaşları [1] SVM (destek vektör makinesi) kullanarak proses sonunda oluşacak çıktının tahmin edilmesi üzerinde durmuşlardır. Burada bahsedilen yöntemde veri setinin doğruluğunun sağlanarak modelin tahmin gücünün artırılması başarılmıştır. Modelin hata oranı ±%0,04 aralığındadır. Yine aynı ekip [2] tarafından uygulanan diğer yöntemde PCA-RBFNN (principal component analysis - radial basis function neural network) aynı veri seti üzerinde çalışılmış ve model tahminlerinin gerçek çıktılara ±%2 gibi kabul edilebilir bir farkla yaklaştığı tespit edilmiştir. Son olarak D. S. Vinoo ve arkadaşlarının [3] yaptığı bir çalışmada ise regresyon yaklaşımı kullanılarak proses sonuçları tahmin edilmiştir. Burada sıcaklık baz alınarak birden çok regresyon modeli kurulmuş ve tahminler ilgili sıcaklığa ait model üzerinden yapılmıştır. Tahminler ±%0,003 aralığında hedefi yakalamaktadır.

Bir yıllık dönemde gerçekleştirilen dökümlere ait proses bilgilerini içeren veri seti hazırlanmıştır. Hazırlanan veri seti gözden geçirilerek her bir faktör için ayrı ayrı değerlendirme yapılmış, uç değerler çıkarılmış ve 8.583 adet döküme ait proses bilgilerini içeren nihai veri seti oluşturulmuştur. Girdi faktörleri arasında güçlü doğrusal ilişki olup olmadığını tespit etmek amacıyla korelasyon analizi yapılmıştır. Aralarında güçlü doğrusal ilişki olan faktörlerden birer tanesi süreç bilgisi doğrultusunda veri setinden çıkarılmıştır. Korelasyon analizi sonucunda düzenlenen veri seti üzerinden ana kükürt giderme elemanı olarak kullanılan granüle magnezyum miktarını tahminleyen en iyi modeli bulmak amacıyla en iyi alt küme regresyon analizi yapılmıştır. Granüle magnezyum miktarını en iyi tahminleyen modelin girdileri; kükürt giderme tesisine giriş kükürt oranı, hedeflenen kükürt oranı ve sıvı ham demir miktarı olarak tespit edilmiştir. En iyi alt küme regresyon analizi sonucunda tespit edilen üç adet girdi faktörü dikkate alınarak kullanılması gereken granüle magnezyum miktarını tahminleyen en iyi modeli bulmak amacıyla çoklu doğrusal regresyon analizi yapılmıştır. Analiz sonucunda elde edilen modelin tahmin gücü %83'tür. Oluşturulan regresyon modeli aşağıdaki gibidir:

$$\text{Granüle Magnezyum Miktarı} = -22,22 + \beta_1 * \text{Giriş Kükürt Miktarı} - \beta_2 * \text{Hedef Kükürt Miktarı} + \beta_3 * \text{Sıvı Ham Demir Miktarı} \quad (5)$$

İsdemir Kükürt Giderme Tesisine ait veriler bir veri tabanında kayıt altına alınmaktadır. Elimizde tesise ait veri tabanında girdi faktörleri ve çıktılara ait geçmiş veriler mevcuttur. İşlem (döküm) numarası bazlı geçmişe dönük veriler tutulmaktadır. Çoklu doğrusal regresyon analizi ile oluşturulan "Kükürt Giderme Tahmin modeli" C# dili kullanılarak uygulama haline getirilmiş ve otomasyon sistemleri ile haberleşmekte olan bir sunucu üzerinde devreye alınmıştır. Uygulamanın devreye alınması ile

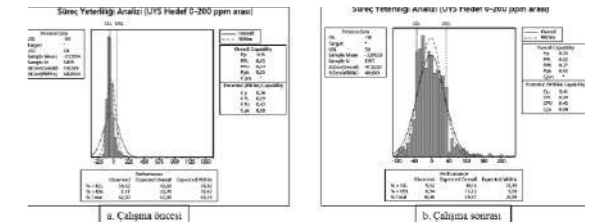
beraber gerçek zamanlı olarak yapılacak döküm ile ilgili hesaplamalar otomasyon sistemine gönderilmeye başlanmıştır.



Şekil 2. Kükürt giderme modeli

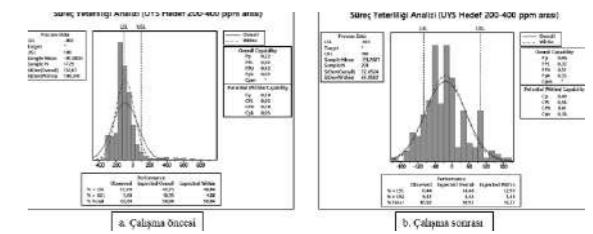
## 3. Sonuçlar ve Tartışma

Oluşturulan regresyon modeli Seviye-2 yazılımına entegre edildikten sonra sahada kademeli olarak (kalite grubu bazlı) devreye alınmıştır. Oluşturulan modelin performansını ve çalışma öncesi-sonrası durumu karşılaştırmak amacıyla MiniTab® yazılımı ile çeşitli analizler yapılmıştır. Kükürt Giderme Tesisi'ne gönderilen sıvı ham demirin hedef kükürt değeri, üretilecek kaliteye bağlı olarak değişmektedir. Yapılan analizlerde bütünsellik sağlamak amacıyla hedef kükürt değerine göre dökümler 3 gruba ayrılmıştır: 0-200 ppm arası, 200-400 ppm arası, 400 ppm. Her bir hedef grubu için çalışma öncesi-sonrası dönem performansını ve hedefe uyum oranı karşılaştırmak amacıyla süreç yeterliliği analizleri yapılmıştır. Hedef kükürt değeri 0-200 ppm olan dökümler üzerinden çalışma öncesi ve sonrası için ayrı ayrı süreç yeterliliği analizi yapılmıştır. Hedefe uyum oranı çalışma öncesi dönemde %32,62 iken çalışma sonrası dönemde %70,63 oranına çıkmıştır (Şekil 3).



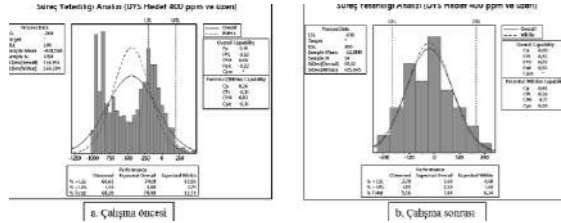
Şekil 3. 0-200 ppm grubu süreç yeterliliği analizi: a. çalışma öncesi; b. çalışma sonrası

Hedef kükürt değeri 200-400 ppm olan dökümler üzerinden çalışma öncesi ve sonrası için ayrı ayrı süreç yeterliliği analizi yapılmıştır. Hedefe uyum oranı çalışma öncesi dönemde %41,92 iken çalışma sonrası dönemde %81,08 oranına çıkmıştır (Şekil 4).



**Şekil 4.** 200-400 ppm grubu süreç yeterliliği analizi: a. Çalışma öncesi; b. Çalışma sonrası

Hedef kükürt değeri 400 ppm ve üzeri olan dökümler üzerinden çalışma öncesi ve sonrası için ayrı ayrı süreç yeterliliği analizi yapılmıştır. Hedefe uyum oranı çalışma öncesi dönemde %21,51 iken çalışma sonrası dönemde %92,16 oranına çıkmıştır (**Şekil 5**).



**Şekil 5.** 400 ppm ve üzeri süreç yeterliliği analizi: a. Çalışma öncesi; b. Çalışma sonrası

Yapılan analizlerde tüm dökümler dikkate alındığında hedefe uyum oranının çalışma öncesi dönemde %32 iken çalışma sonrasında dönemde %81 oranına çıktığı görülmüştür.

#### 4. Sonuç

Yapılan çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- Hedef kükürt değeri 0-200 ppm olan dökümlerde hedefe uyum oranı %32,62'den %70,63'e çıkmıştır.
- Hedef kükürt değeri 200-400 ppm olan dökümlerde hedefe uyum oranı %41,92'den %81,08'e çıkmıştır.
- Hedef kükürt değeri 400 ppm ve üzeri olan dökümlerde hedefe uyum oranı %21,51'den %92,16'ya çıkmıştır.
- Tüm dökümler dikkate alındığında hedefe uyum oranı %32'den %81'e çıkmıştır.
- Oluşturulan regresyon modeli ile kullanılması gereken granüle magnezyum miktarı ve kireç miktarı belirlenerek operatör kaynaklı değişkenlik azaltılmıştır. Operatör kaynaklı değişkenliğin azalması ve hedefe uyum oranının artması ile kullanılan malzeme miktarlarında düşüş yaşanmıştır. Kullanılan granüle magnezyum miktarı %10, kullanılan kireç miktarı ise %6 oranında azalmıştır.

#### Referanslar

[1] Yukun Wang, Yong Zhang, Final Sulfur Content Prediction Model in Hot Metal Desulphurization Process

Based on IEA-SVM , 2011 Chinese Control and Decision Conference (CCDC), 23-25 Mayıs 2011, Mianyang, Çin.

[2] Yukun Wang, Yong Zhang, Hot Metal Desulphurization Control Model Based on PCA-RBFNN, 2011 Chinese Control and Decision Conference (CCDC), 23-25 Mayıs 2011, Mianyang, Çin.

[3] D. S. Vinoo, D. Mazumdar, S. S. Gupta, Optimisation and prediction model of hot metal desulphurisation reagent consumption, Ironmaking & Steelmaking, 2007, 34:6,471-476.

## Prediction of BOF Endpoint Phosphorus and Carbon via Artificial Neural Network Modelling

Selahattin Okur<sup>1</sup>, İsa Keskin<sup>1</sup>, Taner Tüylüoğlu<sup>1</sup>, Ayhan Özdemir<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ereğli Iron and Steel Works, Co., <sup>2</sup>Sakarya University, • Turkey

#### Abstract

In this study, Feed Forward Back Propagation Multi-Layer Neural Network in Matlab with training function Trainscg is proposed for prediction of the end phosphorus and carbon in BOF Converter. In order to ensure and validate the randomness of input data, a single BOF plants data is collected. The data set is filtered with a strict limitation method according to the plant specific metallurgical interactions, bottom stirring effect and 10 Fold Cross Validation used for clustering in order to have homogenous learning process. The simulated results hit rate %92 within the error range  $\pm 0.01$  for end-point carbon and %89.4 within the error range  $\pm 0.025$  for end-point phosphorus are observed. The results showed that the output could be used in software to calculate P and C during the end of blowing without interrupting the blowing process like TSO measurement.

#### 1. Introduction

In today's technology, with the changing mentality, models are commonly developed and applied to predict and control the end point of any processes, with the aim of obtaining sustainable product quality. The power of model and its usage will be more precise and accurate in case of the system is explained in details and defined completely. Nevertheless, during the steelmaking process there are several plants that modelling becomes challenging. Blast Furnace (BF) and Converter process are the most difficult processes that can be modelled due to being liquid, metal and gas reactions and a large number of input variables that can impede reaching the end point.

Steel has been widely used for various type of materials, which are used in daily life products to critical high-end equipment. Basic Oxygen Furnace (BOF) and the Electric arc Furnace (EAF ) are two major production method of steel makings. In the early 1950s BOF process

was developed in two Austrian steelworks at Linz and Donawitz and today %75 of crude steel production is using BF-BOF route [1].

In Basic Oxygen Furnace, there are several steps to reach the required quality molten steel that is planned for the customer needs. The steps are:

- 1- First Scrap is charged then Hot Metal charged in to the converter.
- 2- Calculated amount of oxygen blown in to the converter while crucial charging materials added for the aimed chemical composition. The Oxygen is used to remove impurities it reacts with carbon, silicon and manganese.
- 3- To measure the molten steels temperature, carbon and to take a sample almost at %80 of the Oxygen blowing a probe is inserted. In some steel plants this case could be dismissed if there is a reliable Supervisory Control System model (Level 2 automation). After receiving calculated carbon and temperature measurements immediately the amounts of Oxygen and the rest of the charging materials are calculated for the second blow.
- 4- With the second Oxygen blowing period end the molten steel is checked with TSO (temperature, sample, oxygen) probe. If the values are acceptable without waiting the sample analysis, tapping phase starts which ends BOF blowing process.

The endpoint element content of molten steel should be strictly controlled for the quality requirements of the final product. The Carbon (C) and the Phosphorus (P) are two critical elements which effects cold brittleness, hardness and strength of steel products [2]. Carbon content could be acquired via measurement devices without any delays but the different probe brand types, device calibration

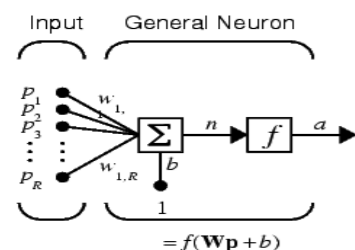
and operation could affect results. Phosphorus content could not be measured without any delays caused by the time used for sample analysis. Developing a precise prediction system, which is not effected by the measurement devices drawbacks, is necessary.

There are many studies proposing intelligent models to predict the end point Phosphorus and Carbon content to guide and help the command room operator. For example, Fei He et al. [3] used PCA and BP neural network prediction model for end point phosphorus content. H. Wang et al. [4] studied on a hybrid utility of GMDH (Group Method of Data Handling) polynomial neural network techniques and weighted K-means clustering algorithm in predicting the endpoint phosphorus content of steel in BOF. Shuming Xie et al. [5] studied to create a model with Grey Model (GM) and Linear Regression to predict the endpoint temperature and carbon content in BOF process. Wang et al. [6] studied with the hybrid utility of fuzzy neural network techniques and weighted K-means clustering algorithm in predicting the endpoint phosphorus content of molten steel in BOF. C. Liet al. [7] used BP Neural Network with the training function Levenberg-Marquardt (LM) and reached to an accuracy that is almost satisfying the requirements of BOF production [8]. In this study, a prediction model based on k-fold cross validation and BP Multi-Layer Neural Network (MLNN) with Scaled Conjugate Gradient (SCG) training function is proposed for end point Carbon and Phosphorus content of the molten steel in BOF.

## 2. BP MLNN and K-Fold Cross Validation

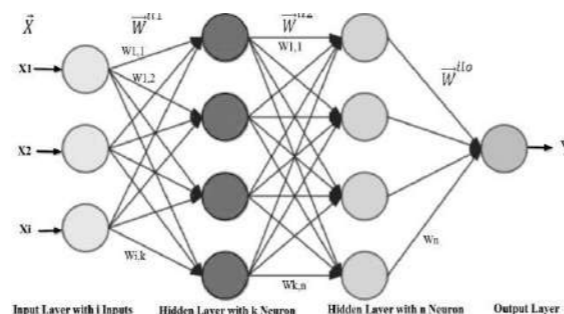
### 2.1. BP MLNN

Artificial Neural Network is a system that acts similar as human brains multi-layer interconnected neurons while processing information [9]. In Figure 1, as an example a simple neuron with R inputs is shown. Each input has a suitable w for weight. Their sum is simply  $Wp$ , the dot product of the (single row) matrix W and the vector p. The sum of the bias (b) and the weighted inputs, weighted inputs are result of multiplication of single row (single row) matrix W the matrix of weights and the vector p of inputs, creates the input to the f transfer function. Any differentiable transfer function f could be used by neurons to generate the output.



**Figure 1.** General Neuron [9]

There are many neural network architectures such as Multi-layer Neural Network (MLNN) that has an input layer, one or more hidden layer(s) and the output layer as seen in Figure 2. Equations of neural network model are shown in (1)-(3). The backpropagation (BP) algorithm [10] is the widely known method for training a MLNN under supervision the learning process consists of forward-propagation of signal through the layers to the output and the back-propagation of error in order to find the best weight values.



**Figure 2.** General multi layer neural network with one output.

The output  $\vec{O}^1$  vector of first hidden layer neurons are,

$$\vec{O}^1 = f((\vec{X} * \vec{W}^{il1}) + \vec{b}^{il1}) \quad (1)$$

The output  $\vec{O}^2$  vector of second hidden layer neurons are,

$$\vec{O}^2 = f((\vec{O}^1 * \vec{W}^{il2}) + \vec{b}^{il2}) \quad (2)$$

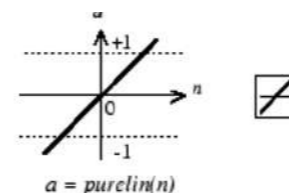
The output of the Network is,

$$Y = f((\vec{O}^2 * \vec{W}^{ilo}) + b^{ilo}) \quad (3)$$

where the weight data between the input and the first hidden layer is  $W^{il1}$  with a dimension of input number multiplied by first layer neuron number,  $b^{il1}$  are first hidden layers bias values with a dimension of first layer neuron numbers,  $W^{il2}$  is the weight data between the second and the first hidden layer with a dimension of first layer neuron number multiplied by second layer neuron number,  $b^{il2}$  is the second hidden layers bias values with a dimension of second layer neuron numbers,  $W^{ilo}$  is the weight data between the second hidden layer and the output layer with a dimension of second layer neuron numbers,  $b^{ilo}$  is the output layer bias values with a dimension of second layer neuron numbers in this case 1, n is the input count,  $\vec{X}$  denotes the input values, Y is the output, f is the transfer function of choice.

In BP algorithm, the weights are adjusted with the steepest descent method (negative of the gradient) because of this the BPNN could behave with a slow learning convergence rate and be trapped in local minima [10]. To avoid this drawback, researchers introduced many algorithms and comparative studies also have carried out for those training algorithms [11] [12]. The Scaled Conjugate Gradient algorithm (SCG) is selected and used in this study. SCG algorithm updates weight and bias values faster compared to the other CG algorithms, as it is not using a time consuming line search per learning iteration [13] [14].

Transfer function also known as activation function, calculates output of a layer from its net input, it forces the output to be kept in the normalized zone. Transfer function of a neural network also plays a significant role. There are different kinds of transfer functions that have been used for different kind of problems. Linear output neurons are used function fitting problems while Sigmoid functions are highly in demand in case of pattern recognition problems. In Figure 3 the linear transfer function purelin is depicted.



**Figure3.** Purelin transfer function graphic. [9]

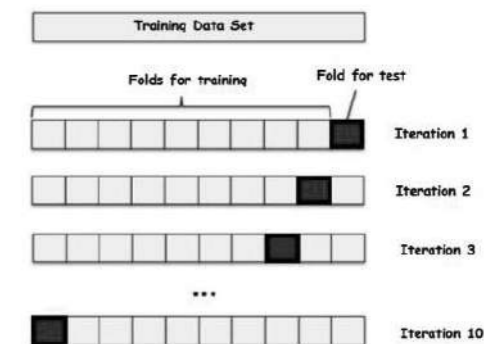
In different studies, it is shown that transfer function Purelin is giving better results in prediction methods [15].

### 2.2. K-Fold cross-validation

Cross Validation is a technique to evaluate the error of a machine-learning model. For training and testing model needs different set of data but the method we use in grouping the data may affect the result of the model. It could affect the performance statistics values like mean squared error. To lessen the bias related with the random sampling of the training and test data samples in neural network, k-fold cross-validation is widely used by researchers [16]. In k-fold cross validation all data pool divided in to k subsets that are equal in number (Figure1). This division could be done arbitrary or according to rules. With the divided subsets, the neural network trained and tested k times. In each training, a single fold is selected as test data set and all of the remaining folds are used for training data set. Therefore, for each training-test group, k different test results occur. Due to empirical studies it is seen that stratified cross validation

is producing results with lower variance and lower bias and 10 is an optimal number for folding process [17][18][19].

The trained Neural Network makes generalization to the problem if it learns the training set. A well trained network produces similar results with the untrained new data sets. If the sample data sets are well organized, the neural network could avoid the trap of data memorization. Memorization of training set leads to decrease in generalization and the performance of network could not be improved with the untrained data sets [20]. The k-fold cross-validation method shows by using neural networks how good generalization can be made [21] [22]. In this study 10-fold cross-validation approach used to train, validate and test our neural network.



**Figure 4.** 10 Fold cross validation training and test folds selection.

## 3. Prediction Model For BOF End-Point Carbon And Phosphorus Content Establishment.

### 3.1 Input and Output Variables Selection

There are several factors affecting the end-point hot metal/steel content and there could be many abnormal conditions affecting the BOF process from phase blowing-start to blowing-end. Abnormal cases such as wrong sample analysis, wrong charged material amount entered manually, false blown oxygen amount etc. could deviate the neural network results. To avoid such deviation and have reliable input a selection through the heats is done according to the following criteria's:

- Heats of a single converters must be used.
- The bottom stirring must be available during blowing, as bottom stirring is a key functionality for homogenizing the molten hot metal for increasing the efficiency of blown oxygen, which is calculated according to the C\*O2 value.



After the first sifting plant specific limitations are applied to the rest of the heat data. Final sample space consisted of 720 heats with 109 different steel quality.

In this study we have selected 18 different elements by knowledge of field data and general BOF process knowledge which could affect the content of Carbon and Phosphorus in end point. Plants site-specific knowledge is also important on the selection on the parameters, which are:

Steel Quality, Hot Metal Weight, Scrap Weight. Hot Metal sample before BOF analysis values of C, Si, Mn, P, S. TSC sample analysis values of C, Si, Mn, P, S. Charged Materials Lime, Dolomitic Lime, Iron Ore, Anthracite(heating). Blown Oxygen amount. For each heat these parameters have been selected as primary elements which affects the end-point Carbon and Phosphorus content.

For the same 18 inputs, Carbon and Phosphorus element values in end point molten steel are selected as the outputs.

There are varieties of practical reasons and studies why normalizing the inputs can make training faster and reduce the chances of being stuck in local optima. In addition, Bayesian estimation and weight decay can be done more conveniently with normalized inputs [23] [24]. In this study min-max Normalization method is used (4).

$$n = \left[ \frac{X_i - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} * (R_{\max} - R_{\min}) \right] + R_{\min} \quad (4)$$

X = real value 1 to i

R= range for normalisation.

n = normalised value

### 3.2 10-Fold Cross Validation Establishment

10-Fold cross validation is chosen in order to minimize the data dependency. Matlab programs are written to use within the MATLAB Neural Network Toolbox where all combinations of datasets are used for training and testing.

First, a function created in Matlab environment to read and divide 720 rows of data into 10 sets consisting of 72 rows in each. Another function is written to create a training set with the 9 out of 10 and the last one is kept for the test set. All functions are used in the main Matlab routine that creates and trains the neural network.

### 3.3 Establishment BP MLNN

Back Propagation Multi Layer Neural Network (BPMLNN) is established by using MATLAB. *Newff* function is used for the creation of the neural network, transfer function PURELIN is selected. The training

function Scaled conjugate gradient backpropagation (TRAINSCG) is adopted with the following parameters and values. The minimum performance gradient (min\_grad) selected as 10.0e-30, parameter for regulating the indefiniteness of the Hessian (lambda) selected as 5.0e-5, Change in weight for second derivative approximation (sigma) selected as 5.0e-5 and maximum number of epochs to train (epochs) selected as 30000. Extended information about the parameters could be found in MATLAB documentations [9][25].

Both Carbon and Phosphorus end-point prediction BP MLNN models are designed with 18 input parameters (nodes). For the Carbon end point prediction calculation 3 hidden layers selected with [50 50 50] number of neurons respectively, for Phosphorus end point prediction neural network 2 layers selected with [50 30] number of neurons respectively via empirical. Both neural network is used same transfer function and same training function with the same parameters. The neural networks is shown in Figure 5.

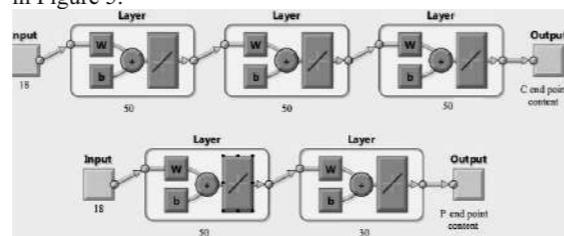


Figure 5. BPMLNN overview for Carbon and Phosphorus prediction neural networks.

### 3.4 Experiments and Results

All the data sets normalized according to the min-max normalization method, the range is taken [0.01 0.097] as those values tend to avoid local minima according to empirical studies and prepared via 10-fold cross validation Matlab functions for the MLNN. The designed BP MLNN neural networks for Carbon and Phosphorus end-point element content are trained with the training sets in Matlab with *newff* and tested with the test set groups via *sim* function.

The efficiency of end point Carbon Prediction model is shown in Table 1 with the absolute error ranges and the percentage of the values between the error range for each absolute range group. Hitting rate of prediction has reached %92 within the error range  $\pm 0.01$  and the rate reached %97.9 within the error range  $\pm 0.02$ . The histogram for the difference between simulated and real Carbon value can be seen on Figure 6 and the real carbon value vs. the predicted (simulated) carbon value is shown on Figure 7.

Table 1. Percentage of carbon prediction hits

Error Range	Sample in Range	Percentage
[0.005]	493	68.47
[0.010]	665	92.36
[0.015]	692	96.11
[0.020]	705	97.92
[0.025]	718	99.72

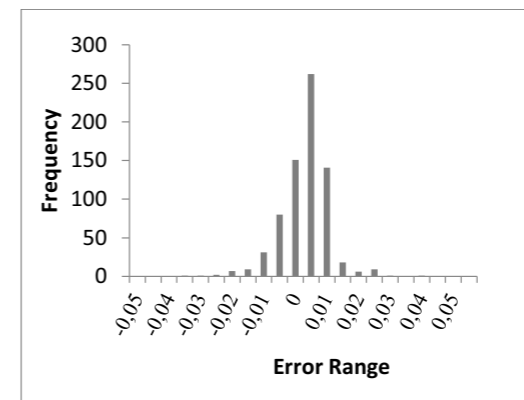


Figure 6. End-Point Carbon Actual - Simulation Output Difference Histogram

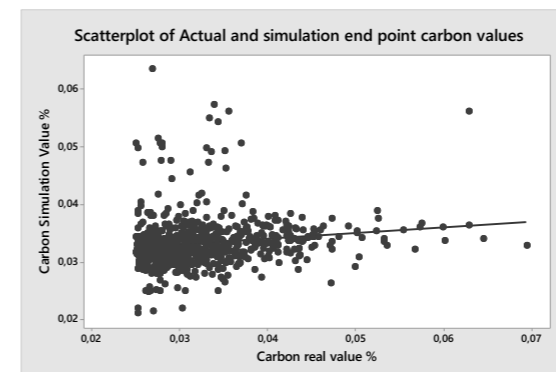


Figure 7. Actual and simulation end point carbon values

The efficiency of end point Phosphorus Prediction model is shown in Table 2 with the absolute error ranges. Hitting rate of prediction has reached %81 within the error range  $\pm 0.02$  and the rate reached %89.4 within the error range  $\pm 0.025$ .

The histogram for the difference between simulated and real phosphorus value can be seen on Figure 8 and the real phosphorus value vs. the predicted (simulated) phosphorus value is seen on Figure 9.

Table 2. Percentage of phosphorus prediction hits

Error Range	Sample in Range	Percentage
[0.001]	406	56.39
[0.015]	520	72.22
[0.020]	590	81.94
[0.025]	644	89.44
[0.003]	666	92.50

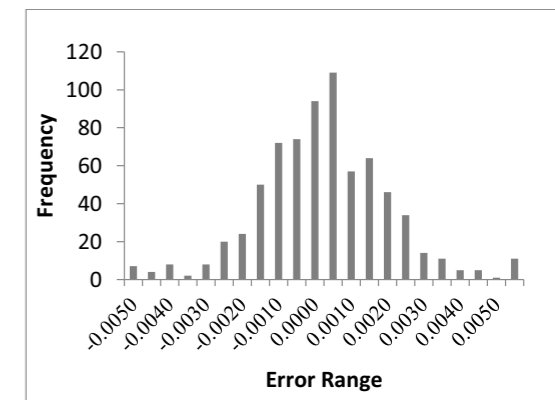


Figure 8. End-Point Phosphorus Actual - Simulation Difference Histogram

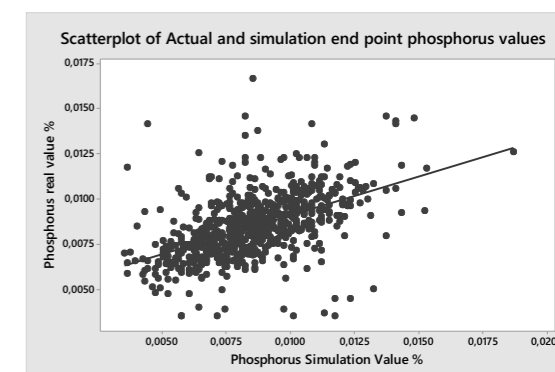


Figure 9. Actual and simulation end point phosphorus values

## 4. Conclusion

BOF end-point carbon and phosphorus prediction is a hard work during steelmaking with loosing time with the measurement devices or sample analyzers. In order to acquire a fast low cost end point control method, a Back Propagation Neural Network with 10-fold Cross Validation technique for resampling and Scaled Conjugate Gradient for training function is proposed in this work.

The effectiveness of this proposed method is shown with the hit rate %92 within the error range  $\pm 0.01$  for end-point carbon and %89.4 within the error range  $\pm 0.025$  for end-point phosphorus. It is seen that SCG and 10 Fold cross validation methods can be used with high hit rates in prediction models. The good results with the purelin transfer function also shows that inputs linear aim with the outputs as they have a chemical balance in the physical process.

This prediction method could work with automation systems and guide the command room operator during the blowing end of BOF process. For future work to get better hits in predicting, the sample data used for learning and testing of neural networks normalization methods and clustering algorithms could be improved.

#### Acknowledgment

The authors would like to thank to the management of Ereğli Demir Çelik Fabrikaları T.A.Ş. (ERDEMİR - Zonguldak,TURKIYE) for the extensive technical support.

#### References:

- [1] <<https://www.worldsteel.org/about-steel.html>> Dated:25.03.2018
- [2] Özkan Özdemir ,Uğur Özserağ, Demir-Çelik Metalurjisi (Ders Notu),2015
- [3] Fei He, Lingying Zhang, Journal of Process Control 66 (2018) 51–58
- [4] H. Wang, X. An-jun', A. Li-xiang, T. Nai-yuan , Journal Of Iron And Steel Research. International. 2012, 19(1): 11-16
- [5] S. Xie ,T. Chai , Prediction Of Bof Endpoint Temperature And Carbon Contentl , IFAC 14th Triennial World Congress Beijing. P.R. China.
- [6] H. Wang, J. Cai, K. Feng, Journal of Iron and Steel Research, International, 2014, 21 (Supplement 1)
- [7] Haykin S. Neural Networks: A Comprehensive Foundation,1998,,New Jersey: Prentice Hall.
- [8] C. Li,H. Zhao,Q. Yin, Advanced Materials Research Vols 189-193,2011 4446-4450
- [9] Matlab Documentation. (20014). The Math-Works, Inc.
- [10] Rumelhart, D. E., Hinton, G. E., & Williams, R. J. . Learning İnternal Representations By Error Propagation. In D. E. Rumelhart & J.L. McClelland Eds, 1986, Cambridge, MA: MIT Press.
- [11] M. Gori, A. Tesi, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence,1992, 14, 76–85.

- [12]S.Lahmiri , International Journal of Computer Science, Engineering and Applications (IJCSEA) 2011 Vol.1, No.4, 2011
- [13] S., Sagioglu, E.Besdok , M. Erler,Turkish Journal of Electronic Engineering, 2000 , Vol 8,No2, 137–147.
- [14] M.F. Moller , Neural Networks, Vol. 6, 1993, pp. 525–533
- [15] M. Dorofki, A. H. Elshafie, O. Jaafar, O. A. Karim and S. Mastura , Comparison of Artificial Neural Network Transfer Functions Abilities to Simulate Extreme Runoff Data ,International Conference on Environment, Energy and Biotechnology IPCBEE vol.33 (2012) IACSIT Press, Singapore
- [16] Delen, D., Walker, G., & Kadam, A. (2005).Artificial Intelligence in Medicine Artificial Intelligence in Medicine , 34(2), 113–127.
- [17] Breiman L, Friedman JH, Olshen RA, Stone CJ. Classification and regression trees. Monterey, CA: Wadsworth & Brooks/ Cole Advanced Books & Software; 1984.
- [18] Hastie T, Tibshirani R, Friedman J. The elements of statistical learning. New York, NY: Springer-Verlag; 2001.
- [19] Kohavi R. A study of cross-validation and bootstrap for accuracy estimation and model selection. In: Wermter S, Riloff E, Scheler G, editors. The Fourteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI )San Francisco, CA: Morgan Kaufman; 1995. p. 1137–45
- [20] Gulbag, A., & Temurtas, F. Sensors and Actuators B, (2006). 115, 252–262.
- [21] Y. Kokkinos , K. G. Margaritis , Neurocomputing 295 (2018) 29–45
- [22]F.Temurtas, Expert Systems with Applications 36 (2009) 944–949
- [23] D. Kornreich, Y. Benbenisti, H.B. Mitchell, P. Schaefer, Signal Processing: Image Communication 10 (1997) 269-278
- [24] S. Ioffe, C. Szegedy Proceedings of the 32nd International Conference on Machine Learning, PMLR 37:448-456, 2015
- [25] Neural Network Toolbox for Use with MATLAB® Howard Demuth Mark Beale Users Guide Version 4,14-330.

## Towards Quality in BOF Steel Refining – Trends and Innovative Plant Concepts for Ladle Treatment

Christian Redl, Christian Buchmaier, Matthias Pfennig, Alexander Weigl

INTECO Melting and Casting Technologies GmbH • Austria

#### ABSTRACT

Over the last years ladle metallurgy becomes an important factor in BOF plants. The driving force is the steady development and increasing demand for high quality steel grades fulfilling highest technical requirements. This leads to a rising share of vacuum treated steel. New alloying concepts and stringent quality targets requires ladle furnace treatment. The design , erection and installation of additional ladle treatment units such as ladle furnaces or vacuum treatment plants into existing and fully operating mills require thorough planning, flexible and innovative plant concepts and excellent project management in close cooperation with the customer in order to meet project time, budget and performance requirements. The paper presents recent developments in vacuum treatment plants and ladle furnace technology for utmost operation availability. Selected examples of realized projects illustrate different plant concepts customized for the client's specific situation regarding available space, operation safety, plant logistics and metallurgical targets.

#### 1. INTRODUCTION

During the last years the requirements on steel properties were steadily increasing. This led to new alloying concepts, very narrow chemical target analysis and very stringent demands on steel cleanliness. The request for vacuum treated heats tremendously increased from 25 % up to 75 % [1-5] and more during only two decades.

Therefore steel producers expanded vacuum treatment capacities by installing new degassing units. To cope with accompanying challenges in steel plant logistics and to open new possibilities to reach more and more stringent quality targets ladle metallurgy becomes an important factor in BOF plants. The key equipment in this field is the ladle furnace.

#### 2. VACUUM TREATMENT

The main reason for installing degassing unit is clearly to lower the gas content of the melt. Achievable results are e.g. a hydrogen content below 1.2 ppm as well as a nitrogen content lower than 40 ppm. Also the production of ULC grades with carbon content as low as 10 ppm is possible by

a combination of vacuum treatment and oxygen blowing for efficient decarburization.

Two main plant concepts prevail in modern steel industry:

- Vacuum tank degassing (VD/VOD)
- Recirculatory treatment (mainly RH type degasser; DH degasser can barely found nowadays)



Figure 1 RH degassing

Although the achievable metallurgical results are almost the same for both types the RH degasser is in most cases the preferred solution for BOF shops due to the following reasons:

- Fast degassing in time with BOF tapping cycle
- No ladle freeboard required, therefore the full heat size can be treated

One restriction compared to a VD plant (which is the preferred equipment for EAF shops) is the limited possibility to remove Sulphur. This could principally be solved by using an injection lance system which has the disadvantage of higher refractory wear in the vacuum vessel. However the optimum solution is to transfer desulphurization to the ladle furnace, which is perfectly suited for this task.

#### 2.1 RH DEGASSER

Most plants are designed as single treatment stations (see Figure 2), sometimes also RH plants with two treatment positions are installed (see Figure 3).

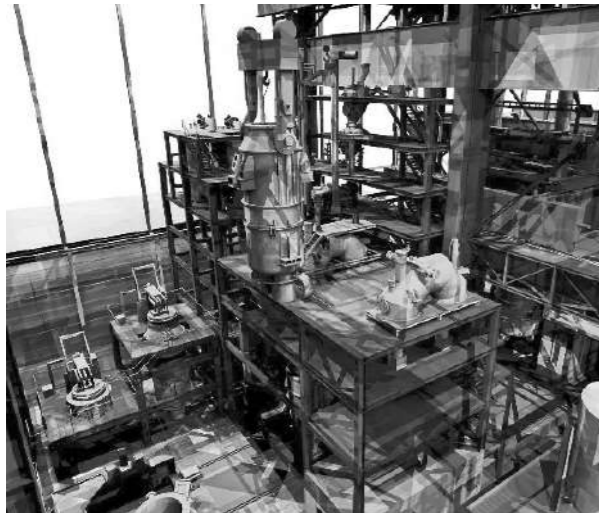


Figure 2 RH single treatment stations

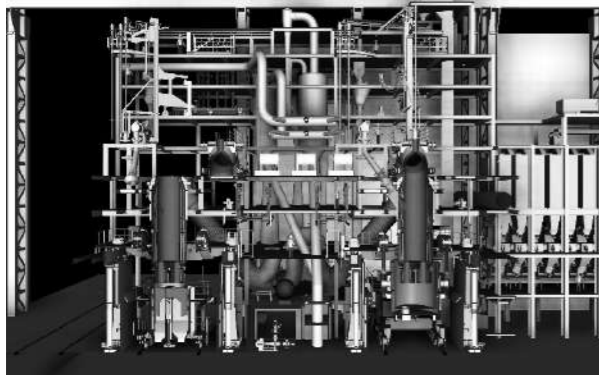


Figure 3 RH double treatment station

Immersion of the snorkels into the melt can either be done by lowering the vacuum vessel or lifting the ladle. As a possible example a hydraulic ladle lifting device is shown in Figure 4. This solution is characterized by a small footprint and easy maintenance possibility. Alternatively lifting could also be done by winch system. Lifting the ladle (instead of lowering the vacuum vessel) has the advantage that no moveable parts in the vacuum system (which are potential points of leakages) are necessary.

The vacuum vessel itself can either be designed as mono block or split type design. Using a split type vessel allows rapid and easy exchange of the lower vessel part and snorkels, which are prone to high refractory wear. Snorkel dimensioning is done in a way to ensure efficient circulation rates.



Figure 4 Hydraulic lifting system



Figure 5 Split type vessel

One of the key components is the top lance (Figure 6) which is used for decarburization and chemical heating by oxygen blowing. In combination with the burner function easy removal of skulls can be achieved as well as vessel heating and temperature holding between treatments is possible.

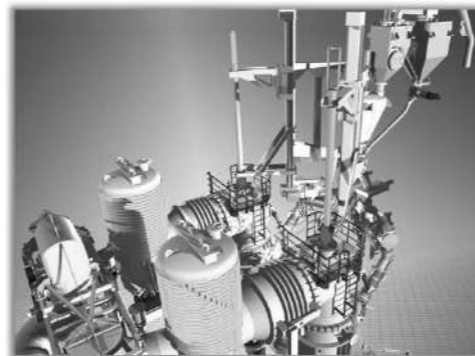


Figure 6 Oxygen lance and burner system for twin RH plant

As steam is usually available in appropriate quantity and quality in integrated mills most RH plants are equipped with steam ejector vacuum pumps. As against the trend in electric steel mill towards dry mechanical pumps this is barely considered in BOF shops. Nevertheless it is worth to mention the modern mechanical pumps systems are of course suitable also for RH operation.

In a summary it is obvious that the major decision factor for a specific plant concept and corresponding equipment configuration is obviously the required treatment capacity as well as the available treatment time to follow the CCM sequences.

As many installations are incorporated into an existing plant (as so called brown field projects) the available space is also of utmost importance. To ensure smooth engineering and subsequent installation in narrow spaces nowadays a 3D-Laser scan of existing shops and surrounding equipment prior to project start is almost mandatory.

### 3. LADLE FURNACE

#### 3.1 Tasks

The reasons to install a ladle furnace in a BOF shop are manifold, the most important ones are the following:

- The tapping temperature in the BOF can be decreased, which yields a considerable increase in refractory lining of the converter
- Due to lower tapping temperature dephosphorization in the BOF is enhanced
- Very low Sulphur contents can be achieved by injection of desulphurization agents or slag treatment
- Precise adjustment of temperature and chemical composition to achieve optimal casting conditions and meet narrow product specifications
- The ladle furnace acts as an important buffer and helps to synchronize between BOF, RH and CCM
- Higher level of steel cleanliness can be achieved by appropriate stirring practice using porous plugs in the ladle.



Figure 7 Ladle furnace

#### 3.2 Basic furnace design

To cope with challenging installation situations in narrow spaces as well as high productivity requirements led to a variety of layout solutions and equipment configurations. Below two different furnace design concepts are shown exemplarily. Figure 8 illustrates a furnace with fixed portal and one treatment station, whereas Figure 9 depicts a twin ladle furnace with swiveling portal. A side view showing the "hanging" electrode portal of the twin LF is given in Figure 10. The obvious advantage of the twin ladle furnace is the flexibility offered by two treatment positions. This is a versatile solution enabling heating of one ladle and simultaneously having the possibility for other ladle treatments (e.g. wire feeding or material injection). Additionally the hanging portal gives the advantage of little space requirement but also allows the ladle to pass through underneath the transformer from one to the other bay.

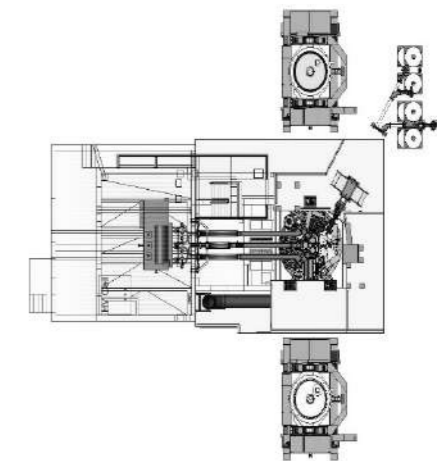


Figure 8 Standard LF with single treatment position

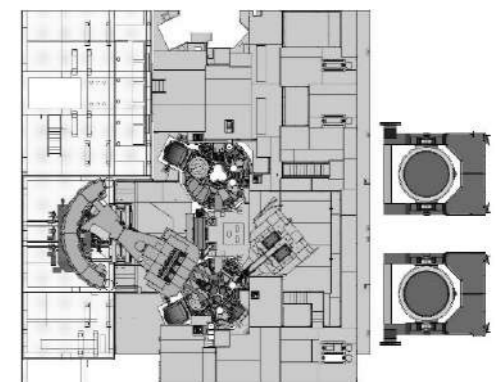


Figure 9 Twin LF with hanging portal

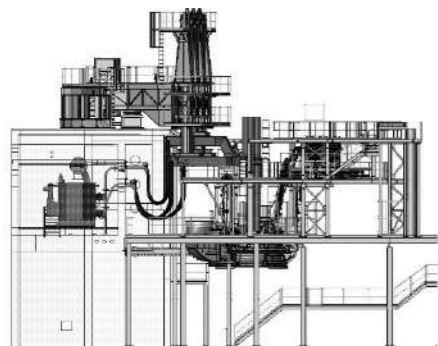


Figure 10 "Hanging" electrode portal for Twin LF

### 3.3 Ladle furnace auxiliaries

Beside the selection of the basic furnace concept as shown above the auxiliary equipment is of utmost important to reach the targets of ladle furnace treatments. Usually modern LF installations consists of following auxiliaries:

- Injection systems (Figure 11) for lime, coal, CaSi etc to enhance metallurgical reactions such as desulphurization
- Wire feeding machines with up to 8 strands for very accurate material additions (Figure 12)
- Gas stirring system for ladle purging through porous plugs in the ladle bottom.
- An emergency top lance adds production safety as stirring is possible when the porous plug fails (or if the plant is still using a ladle without porous plugs)

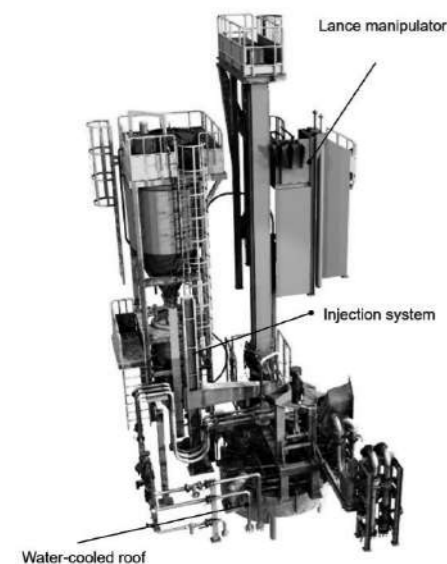


Figure 11 Injection system

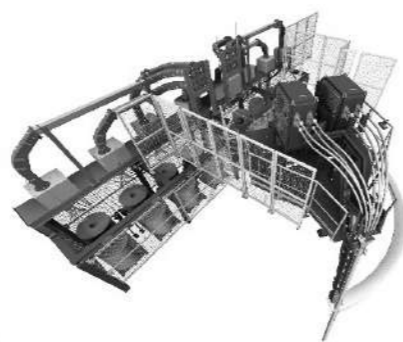


Figure 12 Wire feeder for 8 strands installed at a Twin LF

### 3.3 Roof design

For ladle furnaces using injection systems a roof design with flat inner surface have proven to be an optimal solution to minimize sticking of splashed materials on the roof (Figure 13).

Optimized adjustment of ladle rim and fume collection chamber offgas at the roof, a regulation damper in the dedusting system in combination with state-of-the-art electrode regulation system ensures minimum carbon and nitrogen pick up as well as low electrical energy and electrode consumption.

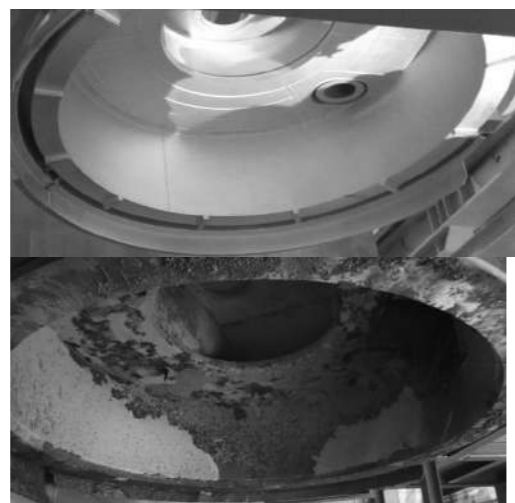


Figure 13 Ladle furnace roof with flat inner surface

## 4. PROCESS AUTOMATION AND PRODUCTION MANAGEMENT SYSTEMS

The required features of today's steel plant automation systems are much more than simple data collection and processing, plant control etc. Nowadays production

management systems (like IMAS – INTECO metals application suite) covers a wide range of functionalities such as (see Figure 14)

- Level 2 Process Automation
- Level 3 MES Functionalities
- Level 4 Integration



Figure 14 Automation Pyramid

## 5. SAFETY CONSIDERATIONS

Nowadays occupational safety is becoming more and more important. Severe accidents in modern European steel plants are down to a minimum thanks to strict safety regulations and recent equipment developments.

Operation of the plants from one common control room via production management systems (as shown above in Figure 14) these days is standard. For process observation CCTV systems with dozens of cameras are common practice and reduces physical presence of operator in endangered areas drastically. Key transfer system (as e.g. installed at the Secondary Metallurgy No 4 at voestalpine Stahl Linz [2]) further prevents unauthorized access to plant components and additionally provides safety to people working on plant components from unintentionally caused plant movements.

Formerly necessary manual operations like coupling purging gas connection can easily be replaced by proven automatic gas coupling systems as depicted in Figure 15.

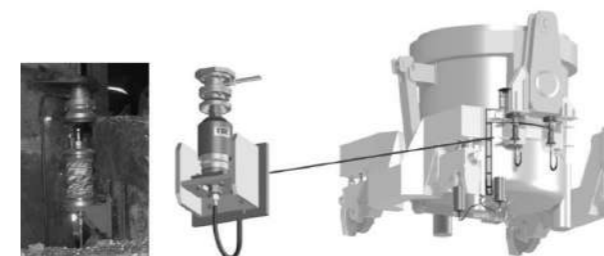


Figure 15 Automatic gas coupling system

While the use of robots is kind of standard in the automotive or electronic industry unfavorable ambient conditions (like heat and heavy dust) combined with maybe conservative mindset prevents its procession into the steel industry. However trend towards robotisation is irresistible and led to sophisticated technical solutions also in harsh environments. An example (as shown in Figure 16) is the complete automatic handling of samples, hydrogen probes and temperature measurements.

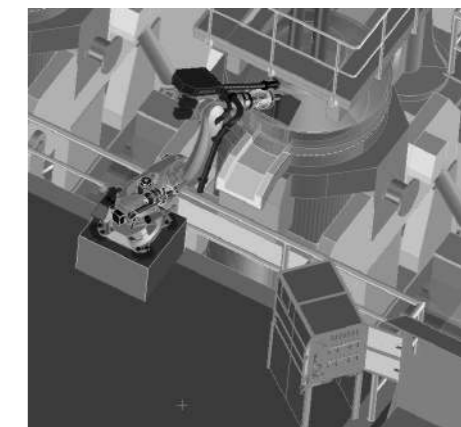


Figure 16 Roboter for temperature measurement and sampling at the ladle furnace

## 6. REFERENCE PROJECTS

During the past 15 years INTECO executed a number of projects with the aim to install refining units at BOF shops.

### voestalpine Stahl Linz – Secondary Metallurgy #3 & #4

One of the first projects was the engineering for the Secondary Metallurgy No 3 for voestalpine Stahl Linz, which was started up in December 2006. This project comprised the installation of a ladle furnace and a RH degasser [1]. The success of the plant concept was proven by the decision of voestalpine to further invest into the extension of secondary steelmaking capacities for the top most quality segment which leads to Secondary Metallurgy No 4 started up in 2015. The background was another increasing demand in vacuum treated steel (from 60 % up to 75 % [2, 3]) and concurrent higher production flexibility. As reported by Gantner et al [2, 3] the new plant shows excellent metallurgical results.

### Saarstahl AG

Saarstahl AG contracted INTECO in 2011 with the engineering and supply of a new secondary metallurgical complex. This complex comprises two Twin Ladle Furnaces and one RH plant. Each Twin LF is equipped with an 8 strand wire feeder, sampling devices, emergency stirring

lance etc. Alloying is done by a 34 bin material handling system. The entire plant was commissioned in 2012. Remarkable results regarding lifetime increase of converter refractories (+ 39 %) due to lower tapping temperatures have been observed [4].

#### thyssenkrupp Steel Europe

The most recent ladle furnace installation is a 265 t Twin LF for thyssenkrupp Steel Europe AG for the German enterprise's plant in Duisburg Beeckerwerth [5]. This new furnace is equipped with all kinds of technological innovations and is completely encased with noise insulation panels to reduce the noise level.

Again one challenge was the design works to fit the furnace into the narrowest space into the existing building whilst steel production in the surrounding area continues. First heat successfully commences in summer 2018.

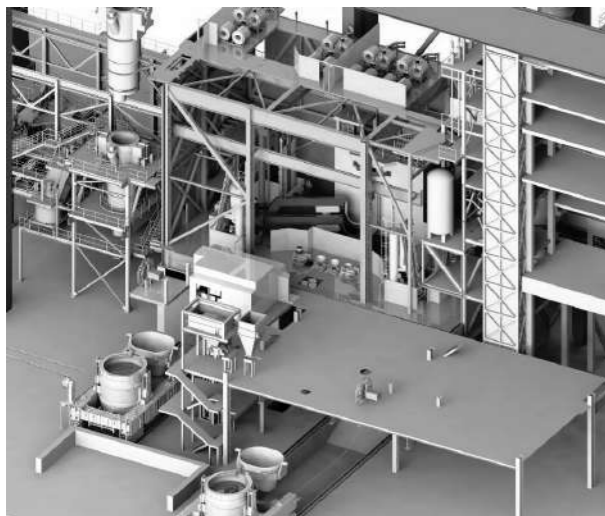


Figure 17 Twin ladle furnace

Pnomarenko et al [6] published first operational results showing low energy consumption as well as electrode consumption well below 4.5 g/kWh.

The furnace roof has been designed to avoid any unnecessary nitrogen pick up. During operation this concept has been proven as the maximum N-pick up during treatment is non-critical.

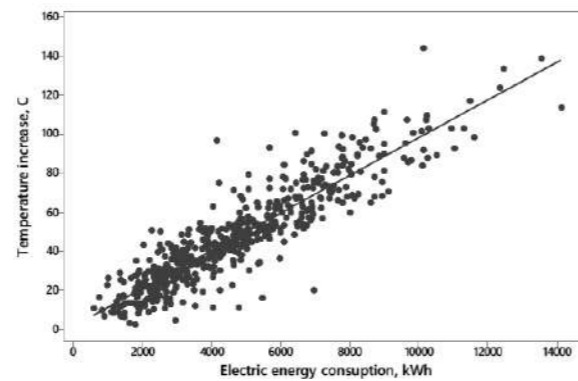


Figure 18 Electric Energy Consumption [6]

#### Isdemir

In spring 2019 Turkish steel producer Isdemir, the only local integrated mill that produces both flat and long product, started a project with INTECO to install a new 200 t RH plant [7].

To fulfill all requirements of modern steel refining it will be equipped with wire feeding machines, top lance as well as manipulators for temperature measurement and sampling. A complex material handling system with individually weighed bunkers ensures exact dosing of slag builders and alloys. The supply is completed by an additional ladle treatment station and a powder feeding station, which is well integrated in the production flow.

#### 7. CONCLUSION

Summarizing INTECO's experiences gained during the recent projects leads to following conclusion:

- Plant layout concepts are usually dictated by narrow space constraints and at once keeping the running production of the BOF shop uninterrupted. Up-to-date 3D engineering in combination with smart plant design and 3D scanning of existing surrounding is therefore indispensable.
- Proper vacuum pump design to safely reach minimum pump down times and low vacuum pressure (usually below 5 minutes to reach 0.67 mbar)
- Adequate dimensioning of ladle furnace power supply to ensure sufficient heating rates (up to 5 °C/min) and simultaneously low electrode (values well below 4 g/kWh have been achieved) and power consumption values (typically below 0.4 – 0.5 kWh/t/°C).

Beside the basic plant requirement as mentioned above equipment configurations which have been proven

successful for production of high quality steel grades are the following:

- Connection of the refining units to a material handling system equipped with sometimes more than 30 bins for numerous (ferro-) alloys and slag conditioners.
- Installation of wire feeding machines with up to 8 lines at the ladle furnace to enable flexible and highly precise addition of material
- Gas purging (with automatic coupling system) is inevitably at ladle furnace for further enhancing steel quality
- Injection system for e.g. lime, CaC<sub>2</sub>, CaSi at the ladle furnace to enhance desulphurization (down to below 10 ppm)
- Automatic temperature and sampling devices (including hydrogen measurement) for both LF and RH. The nowadays standard manipulators are most likely be replaced in future by fully autonomous robots.
- Strict compliance with highest safety and environmental standards is compulsory

#### REFERENCES

1. Gantner, A., Egger, M., Lehner, J., Experiences with the new Secondary Metallurgy No. 3 at voestalpine Stahl Linz. Proceedings 6<sup>th</sup> European Oxygen Steelmaking Conference, 2011, September, Stockholm, Sweden
2. Gantner, A., From SekMet 3 to SekMet 4 - Developments at voestalpine Stahl GmbH Linz. Proceedings INTECO Technical Symposium, 2018, July 5th, Bruck/Mur, Austria.
3. Ganter, A., Reisinger, P., Grimm, G., Egger, M., Rössler, R., Secondary Metallurgy No 4 - The Answer to Future Quality Demands at voestalpine Stahl GmbH. Proceedings ESTAD, 2017, June, Vienna, Austria; p. 1167 - 1169.
4. Heinen, A., Deckers, D., Schreiner, M., Kläser, D., Ladutkin, D., Commissioning of the new Secondary Steelmaking Facilities at Saarstahl AG. Proceedings 7<sup>th</sup> European Oxygen Steelmaking Conference, 2014, September, Trinec, Czech Republic.
5. Brand, T., Future Possibilities of Steel Treatment at thyssenkrupp Steel Europe. Proceedings INTECO Technical Symposium, 2018, July 5th, Bruck/Mur, Austria.
6. Pnomarenko, A., Brand, T., Löcken, M., Arns, M., Meiß, S., Dolle, B., The first production results of a new ladle furnace in Oxygen Steel Plant No. 2. Proceedings ESTAD 2019, June, Dusseldorf, Germany.
7. n.n. An Order from a steel giant – Isdemir orders 200 t RH plant. BHM 2019 (7), p. 288 – 289.



## Vinçlerde Güvenilirlik Çalışması, Tasarım Ömrü Analizi ve Sürdürülebilirlik

Reliability Study in Cranes, Design Life Analysis and Sustainability

Barış Küpeli, Mustafa Ceyhan, Hakkı Emre Altundaş, Yalçın Tekin

İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. • Türkiye

### Özet

Vinçler, ağır yüklerin transferinde kullanılan kaldırma ve ileme makineleridir. Vinçler yaptıkları işe bağlı olarak belirli bir ömür için tasarlanır. Vinç çalışması, yükleme döngüleri ve yük spektrumu kombinasyonu ile ifade edilir ve bir takvim çalışma süresi ile doğrudan ilişkili değildir.

Vinç güvenilirlik çalışması, vincin mevcut koşullarda çalışmaya devam etmesi durumunda;

- Vinç ve bileşenlerinin kalan tasarım ömrü hakkında bilgi sağlar.
- Vincin mevcut koşullarda çalışmaya devam etmesi durumunda, vincin kalan tasarım ömrünü değerlendirir.
- Vincin güvenilirliğini nasıl arttıracığımız konusunda karar vermenize yardımcı olacak bilgiler sağlar.

Tasarım ömrü analizi, tasarım ömrü sona erdiğinde vincin gerçek kullanım ömrünü ve tahminlerini tanımlar. Vinçlerin kullanım ömrü hesaplanan tasarım limitine yaklaştığında, vincin yapısında veya ekipmanlarında daha yüksek arıza olma olasılığı anlamına gelir.

Sıvı maden potalarının şarjında kullanılan 320/75/10 M.T. kapasiteli CH-3 ve CH-4 nolu vinçlerde bu kapsamda analizler yapıldı. 2006 yılında devreye alınmış vinçlerde yapılan analiz sonuçlarına göre, 2018 yılında CH-3'te ve 2023 yılında CH-4'te ana kaldırma sistemlerinin tasarım ömürlerinin sonlanacağına dair veriler elde edildi. (*Genel olarak vinç tasarım ömrü, vinç çalışma sınıfına bağlı olarak yaklaşık 20-25 yıl olacak şekilde seçilir.*)

Ancak vinçlerin ana kanca sistemlerinde; 2009 yılından itibaren travers ve sevk makaralarında rulman hasarlanması, 2012 yılından itibaren redüktörde rulman ve gövde hasarlanması, 2014 yılından itibaren ana kanca motor-redüktör bağlantı kaplinlerinde dişli hasarlanması gibi arızalar meydana gelmeye başlamıştır. İmalatçı firma süpervizörleri hasarlı redüktörlerin tamir edilemeyeceğini ve yeni redüktör kullanılması gerektiğini belirtmişlerdir. Buna rağmen kendi imkânlarımızı kullanarak redüktörler tamir edildi. Buna ek

olarak ana kaldırma sisteminde güvenilirliği artıracak ve sürdürülebilirliği sağlayacak şekilde çeşitli revizyonlar yapılarak ana kaldırma sistemlerinin kullanım ömürleri artırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Vinç, performans ve güvenilirlik, vinç güvenilirlik çalışması, tasarım ömrü, tasarım ömrü analizi, sürdürülebilirlik, ekipman hasarlanmaları, ekipman kullanım ömrünün artırılması.

### Abstract

Cranes are lifting and conveying machines used for the transfer of heavy loads. Cranes are designed for a certain lifetime depending on the work they do. Crane operation is expressed by the combination of loading cycles and load spectrum and is not directly related to calendar working time.

Crane reliability study, if the crane continues to work in the current conditions;

- Provides information about the remaining design life of cranes and components.
- Evaluates the remaining design life of the crane if the crane continues to operate under the current conditions.
- Provides information to help you decide how to improve the reliability of the crane.

The design life analysis defines the crane's actual lifetime and estimates when the design life is over. When the lifetime of the cranes is close to the calculated design limit, it means the possibility of a higher breakdown in the structure or equipment of the crane.

CH-3 and CH-4 cranes with 320/75/10 MT capacity used in the charging of liquid mine crucibles were analyzed in this scope. According to the results of the analysis of the Cranes commissioned in 2006, data were obtained that the design life of main lifting systems about would be terminated, in CH-3 in 2018 and CH-4 in 2023. (In general, crane design life is

selected to be approximately 20-25 years depending on the crane working class).

However, in the main hook systems of the cranes have started to occur such as bearing damage on traverse and forwarding sheaves as from 2009, bearing and body damage in the gearbox as from 2012, gear-coupling damage in the motor-gearbox as from 2014. Nevertheless, the gearboxes were repaired by using our own facilities. In addition, the main lifting systems have increased their lifetime by making various revisions to increase reliability and ensure sustainability.

**Keywords:** Crane, performance and reliability, crane reliability study, design life, design life analysis, sustainability, equipment damage, increase the life of equipment.

### 1. Giriş

Tasarım ömrü analizi, tasarım ömrü sona erdiğinde vincin gerçek kullanım ömrünü ve tahminlerini tanımlar. Tasarım ömrünün sonu, vincin o günden itibaren kullanılmayacağı anlamına gelmez. Bu, vinç yapısının ve ekipmanlarının tasarlandıkları ömrünün sonunda olacak şekilde tasarlandığı anlamına gelir. Sonuçlar, yapının ve ekipmanlarının kalan ömrünün on yıllar sonra olacağını gösterse bile, gerçekte ömrün o kadar uzun süreceğini garanti etmez. Tasarım ömrünün sonu, vinçteki farklı ekipmanların değiştirilmesinin muhtemel olduğunu gösteren bir göstergedir.

### 2. Vinç Tasarım Ömrü Analizi ve Sürdürülebilirlik

Vinçte tasarım ömrü analizi yapılabilmesi için öncelikle vince ait tüm ekipmanların proje resimleri ve teknik özellikleri incelendi. Bununla birlikte vincin çalışma şartları sahada bire bir gözlemlendi ve ilgili kişilerle teknik görüşmeler yapıldı. BAYS verilerinde geriye dönük incelemeler yapıldı ve kronikleşen arızaların tespiti yapıldı.

CH-3 vinci işletmede 3 vardiyada sürekli olarak kullanılır. Normal çalışma sırasında, vinç çelik arabasından dolu potayı aldıktan sonra kükürt giderme istasyonuna ya da konvertöre şarj etmeye götürür. Boş pota çelik arabasına geri taşınır. Dolu potanın yaklaşık ağırlığı 305 ton ve kaldırma kirişinin (*kanca traversi*) ağırlığı yaklaşık 45 ton 'dur. Toplam ağırlık 350 tondur.

Hesaplama yıllık üretim verilerine, vinç ekipmanlarının teknik özelliklerine ve sahada yapılan incelemelere dayanmaktadır. İnceleme süresi, 2006'dan 2014 sonuna kadar olan yılları kapsamaktadır. Hesaplama Kone vinç yazılımı ile ISO 12482: 2014 standardına göre yapılmıştır. Değerlendirmeler ve öngörüler vinç kullanımının önceki yıllara kıyasla benzer olacağı varsayımına dayanmaktadır. ISO 12482: 2014 Standardına göre, hesaplamada 1.3 güvenlik faktörü kullanılmıştır.

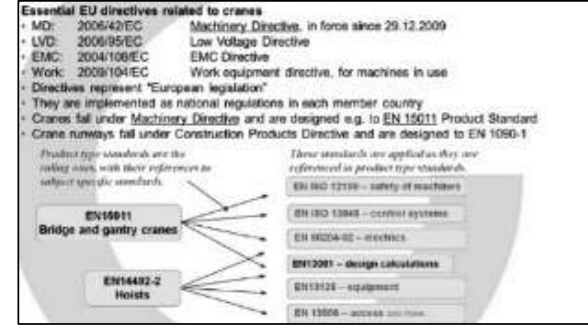


APPENDIX 1: DESIGN LIFE ANALYSIS DATA						
<b>1. TECHNICAL CRANE DATA</b>						
Design Standard	DIN 15018					
Crane Structures	Rated Load [t]	Design Class	Weight of a trolley [t] = 165,0			
Trolley Structures	320,0	D5	Number of trolleys = 1			
Movements	Speeds [m/min]	Design Class	Weight of the bridge [t] = 544,0			
	Nominal	Low	Weight of non-fixed load			
Hoisting	10	0	Rigging attachment [t] = 0			
Trolley	30	0	Weight of fixed LLA [t] = 45,0			
Crane	80	0				
Years of Latest New Installations						
Crane str.	Trolley str.	Hoist mech.	Trolley travel	Crane travel		
2006	2006	2006	2006	2006		
<b>2. DESCRIPTION OF THE USE HISTORY</b>						
Work Cycle Description	Pay Load [t]	Lift + Lower Height [m]	Traversing Distance [m]	Travelling Distance [m]		
1 Charging 2006-2010 middel	225,0	25,0	15,0	40,0		
2 Charging 2006-2010 middel	225,0	10,0	10,0	100,0		
3 Carrying free pot	130,0	16,0	5,0	70,0		
4 Without load	1,0	16,0	5,0	65,0		
5 Carrying vehicle	25,0	16,0	10,0	78,0		
6 Charging 2011-2014	300,0	25,0	15,0	40,0		
7 Charging 2011-2014	300,0	10,0	10,0	100,0		
Specification of Periods						
Years in a Period	Period 1	Period 2	Period 3	Period 4	Period 5	
Start Year of a Period	2006	2011	2012	2013	2014	
Cycles per Year in a Period						
	2006 - 2010	2011 - 2011	2012 - 2012	2013 - 2013	2014 - 2014	
1 Charging 2006-2010 middel	16078	0	0	0	0	
2 Charging 2006-2010 middel	1897	0	0	0	0	
3 Carrying free pot	2998	3435	3865	3769	4000	
4 Without load	630	690	690	690	709	
5 Carrying vehicle	730	790	790	700	809	
6 Charging 2011-2014	0	19316	21736	21164	22600	
7 Charging 2011-2014	0	2147	2416	2362	2000	
Handled Pay Load per Year [t]	4.852.126	6.903.550	7.786.150	7.561.700	8.040.700	
The safety factor for duty estimation acc. to ISO 12482-1				F <sub>1</sub> =	1,5	





Avrupa Birliği, üye ülkeler (Türkiye dahil) tarafından ulusal yasalar halinde uygulanması gereken yönergeleri yayımlar. En ilgili yönerge, vinç ve vinç ekipmanı üreticilerini bağlayan ve en son güncellenen Makine Yönergesidir. Yönerge; temel sağlık ve güvenlik gerekliliklerine, CE işaretlemesine, AB'de üretilen veya AB dışından getirilip piyasaya sürülen yeni taşıma ekipmanlarına yönelik kurallar sağlar. Aynı zamanda mevcut ekipmanların modifikasyonu için kurallar sağlar.



Şekil 1. Tasarım sınıflarına göre ekipmanların kullanımı

Vinç, birkaç alt standartlara sahip EN 15011 standartlarına göre tasarlanmıştır. Yukarıdaki grafik ana ilgili standartları göstermektedir.

Denetlenen vinç, yeni EN standartları yürürlüğe girmeden önce eski DIN standartlarına göre tasarlanmıştır ve hatta Türkiye'de geçerli olan 'kullanım için yasal' şeklindeki EN standart performans seviyesini bile yerine getirmemektedir.

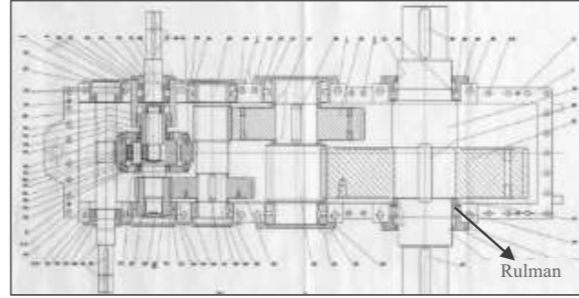
#### 4. Kaldırma Grubu Ekipmanları Kronik Arızalar

Kaldırma ekipmanları içerisine dişli kutusu, dişli kaplinler, tamburlar, tambur kaplinleri, travers, makara grupları, kancalar ve halatlar girmektedir.

2006 yılında devreye alınan vincin analiz sonuçlarına göre, 2018 yılında ana kaldırma sisteminin tasarım ömrünün sonlanacağına dair veriler elde edildi. Ancak 2012 yılından itibaren vinçlerin ana kanca redüktörlerinde rulman ve gövde hasarlanması, motor-redüktör bağlantı kaplinlerinde dişli sıyrması gibi arızalar meydana gelmeye başlamıştır.

##### 4.1. Redüktör Rulman Arızası

Vincin ana kaldırma sistemi redüktöründe 03.09.2015 tarihinden başlayarak 3 defa çıkış kademesi rulman hasarlanması arızası meydana gelmiştir. Rulman hasarlanmasına bağlı olarak redüktör gövdesinde ve dişli milde de hasarlanma meydana gelmiştir. (Bu arıza kronolojik olarak 2012 yılında SD-3'te, 2014 yılında SD-4'te, 2015 yılında CH-4 ve CH-3'te meydana gelmiştir)



Şekil 2. Redüktör ve çıkış kademe rulmanı



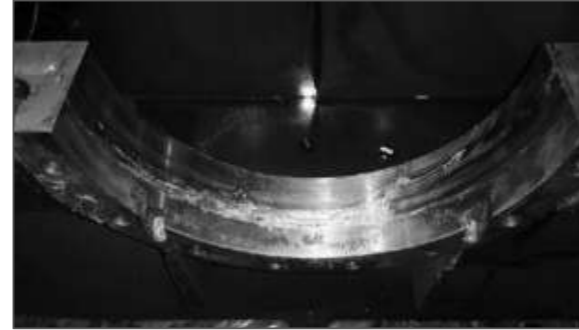
Şekil 3. Redüktör genel görünüm



Şekil 3. Redüktör dişlileri ve rulmanları



Şekil 4. Hasarlı rulman



Şekil 5. Hasarlı redüktör gövdesi



Şekil 6. Hasarlı redüktör mili

##### Tamir süreci:

Arızanın giderilmesi sürecinde ilk başta orijinal tasarıma bağlı kalındı. Buna göre aynı tip rulman (SL182972) kullanıldı ve redüktör gövdesi ve dişli milde kaynak dolgu yapıldıktan sonra tezgâhta işlenmiştir. Fakat bu tamir şekli yeterince verimli olmamış ve redüktör kısa süre sonra aynı şekilde rulman dağıtarak arızalanmıştır.

##### Arıza kök neden araştırmaları:

08.12.2014 tarihinde Siemens-Flender Süpervizörü ile birlikte SD-4 nolu vinçte tekrarlayan redüktör arızasına ilişkin vinçten kaynaklı bir problemin olup olmadığına dair incelemeler yapıldı. SD-4 nolu vinç boş ve dolu pota kaldırırken tamburlardaki esnemenin redüktör rulmanına baskı yapıp yapmadığını tespit etmek için ölçümler yapıldı. Kompresör kullanılarak yapılan ölçümlerde SD-4 vinci boş pota kaldırırken tamburlardaki esneme miktarı 1,5-2 mm, dolu pota kaldırırken ise Payas taraf tamburda 4 mm, İskenderun taraf

tamburda 3,5 mm esneme olduğu görüldü. Benzer inceleme ve kontroller SD-5 nolu vinçte de yapılmış ve aynı değerler ölçülmüştür. Sonuç olarak yapılan incelemeler ve ölçülen değerlere göre SD-4 vinci üzerinde ekipman (redüktör-tambur-tambur başı yatak şasesi-motor-dişli kaplin vb.) montajından kaynaklı bir problemin olmadığını görülmüştür.

##### Tamir sürecine ilişkin değerlendirmeler:

Redüktörün tamir sürecine ilişkin firma süpervizörünün teknik değerlendirmesi; hasarlı redüktörün tamir edilemeyeceği ve yeni redüktörün kullanılması gerektiğini şeklinde olmuştur.

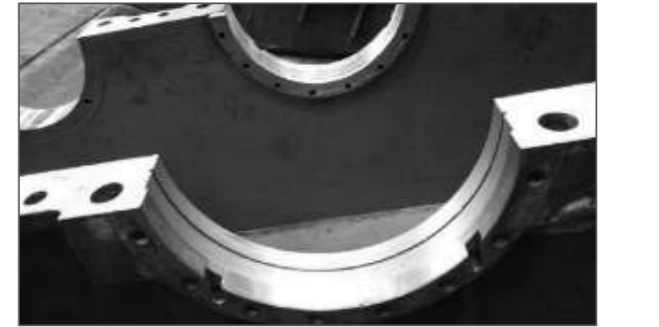
##### İyileştirme çalışmaları:

Redüktörün tamir sürecinde güvenilirliği artıracak, kullanım ömrünü uzatarak sürdürülebilirliği sağlayacak şekilde çeşitli revizyonlar yapıldı. Bunlar;

- Proje dışına çıkılarak rulman tipi değiştirildi. SL182972 tip rulman yerine 23972 tip rulman kullanıldı.
- Gövde tamirinin kaynakla yapılması yetersiz kaldığı için burçlu tamir yöntemine gidilmiştir. Yeni rulman ölçülerine göre gövdeye ve rulmana oturacak şekilde hassas burç imalatı yapılmıştır.



Şekil 7. Hassas burç imalatı



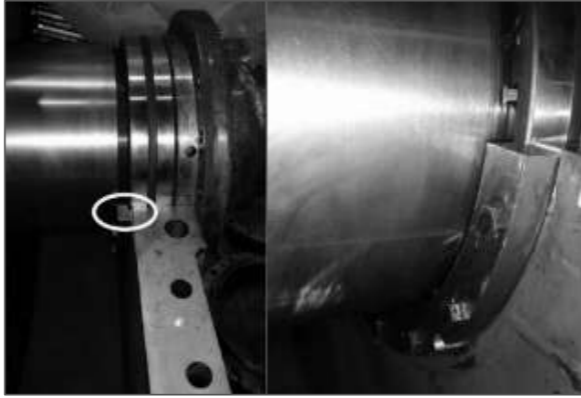
Şekil 8. Burcun oturacağı kanalın açılması



Şekil 9. Rulman yatağı segmanlı burçlu hale dönüştürüldü



Şekil 12. Flaş imalatı

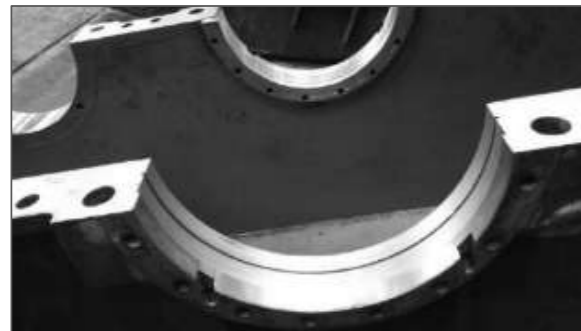


Şekil 13. Flaşla rulmanın sabitlenmesi



Şekil 10. Çıkış kademe milinin rulmana göre işlenmesi

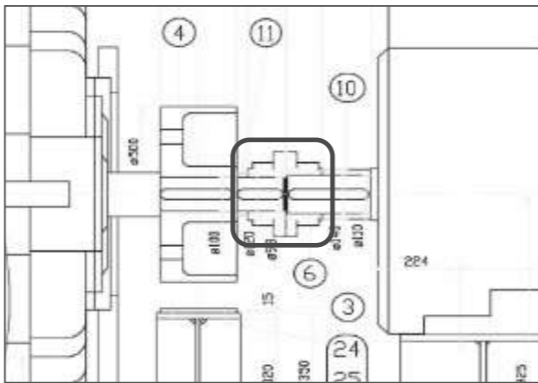
- Redüktör gövdesinde çıkış kademesini kilitlemesi için 2 parçalı flaş imal edilmiştir. Redüktör gövdesinde flaşın oturacağı yer işlenmiş ve delikler delinerek flaş redüktör gövdesine civatalar ile sabitlenmiştir.



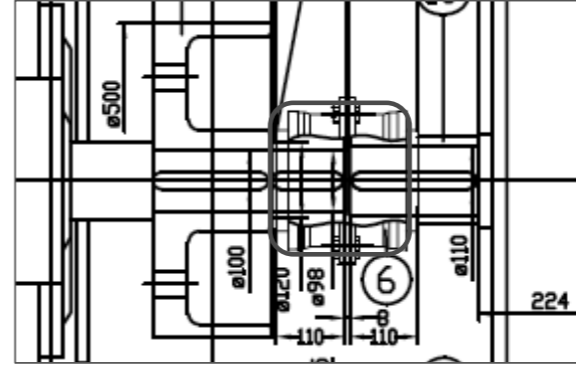
Şekil 11. Gövdede flaşın oturacağı yerin işlenmesi

#### 4.2. Motor-Redüktör Bağlantı Kaplin Arızası

Vinçlerin ana kaldırma sisteminde motor-redüktör bağlantı kaplininde 2014 yılından itibaren dişli sıyrması, o-ring hasarlanması ve buna bağlı yağ sızıntı olması şeklinde arızalar yaşanmıştır. Bu arızanın kök nedeni dişli kaplinin vincin çalışma sınıfına göre küçük seçilmiş olmasıdır. Arızanın tekrarını önlemek, kullanım ömrünü uzatarak sürdürülebilirliği sağlamak amacıyla dişli kaplin tipinde değişiklik yapılmıştır. Buna göre orijinal tasarımda kullanılan ZIN-3 tip dişli kaplin yerine ZVN-230 tip dişli kaplin kullanımına başlanmıştır.



Şekil 14. Orijinal dişli kaplin (ZIN-3)



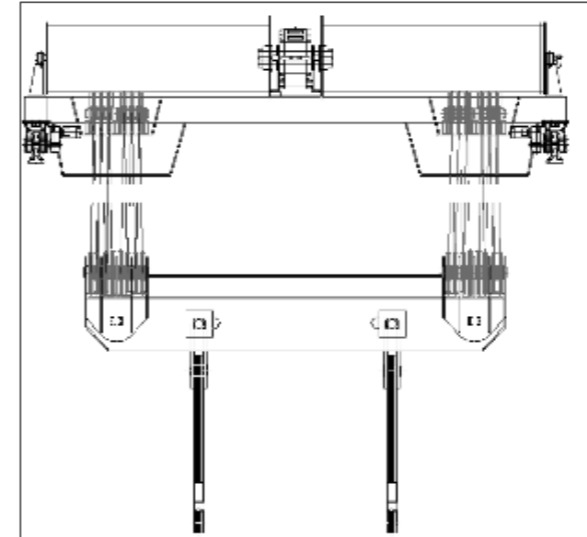
Şekil 14. Yeni dişli kaplin (ZVN-230)

#### 4.3. Travers ve Sevk Makarası Rulman Arızası

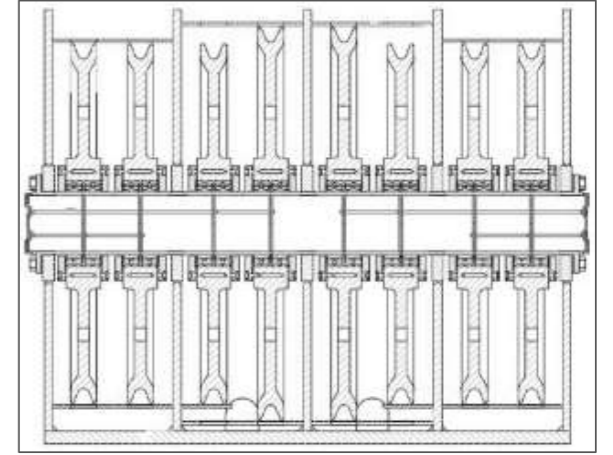
Vinçlerin ana kanca travers ve sevk makaralarında 2009 yılından itibaren rulman dağılması şeklinde sık sık arıza yaşanmaya başlanmıştır. (CH-3, CH-4, SD-2, SD-3 ve SD-4 vinçlerinde toplamda 13 defa travers makara rulman dağılması ve 18 defa sevk makarası rulman dağılması arızası meydana gelmiştir).

##### Arıza kök neden araştırmaları:

Arızanın kök nedeni incelendiğinde, 1000 mm çapındaki halat makarası için seçilen 6036 tip tek sıra bilyalı rulmanın boyutsal ölçülerinin küçük olduğu ve buna bağlı olarak mukavemetinin yetersiz kaldığı öngörülmüştür.



Şekil 15. Travers ve sevk makara sistemi



Şekil 16. Makara bloğu

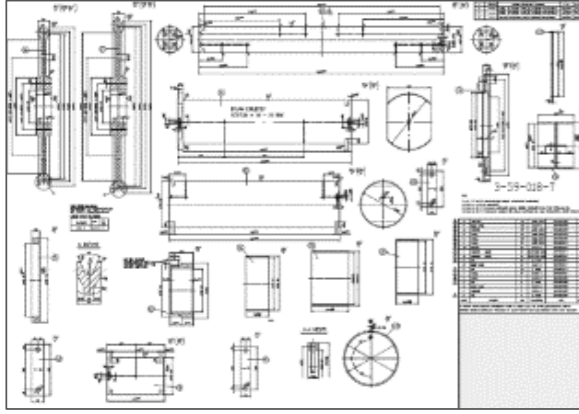
##### İyileştirme çalışmaları:

- Proje dışına çıkılarak rulman tipi değiştirildi. 6036 tip rulman yerine 23938 tip rulman kullanıldı.

Rulman Tipi	6036	23938
Rulman Ölçüleri (mm)	180X280X46	190X260X52
Temel dinamik yük oranı (kN)	190	499
Temel statik yük oranı (kN)	200	800
Yorulma yük limiti (kN)	5,6	76,5

Şekil 17. Rulman revizyonu

- Travers ve denge makaralarında kullanılacak yeni rulmanın boyutları gereği imalat malzemelerinde (mil, kapak, burç vb.) değişiklik yapılmıştır. Ayrıca imalat malzemelerde demontaj-montaj kolaylığı sağlayacak ve yağlama kalitesini artıracak iyileştirmeler yapılmıştır.



### Referanslar

- [1] ISO 12482:2014 – Cranes – Monitoring for Crane design working period  
 [2] KONECRANES Lifting Business  
 [3] DIN EN 15011-2011 – Cranes – Bridge and Gantry Cranes

## Özkan'ın Kaliteli Çeliğe Evrilmesi

*The Evolution of Ozkan Demir Çelik to Quality Steel Producer*

Hakan Erçay<sup>1</sup>, Enver Soner<sup>1</sup>, Nurdan Gündoğan<sup>1</sup>, Tuncay Dikici<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ozkan Demir Çelik Sanayi A.Ş., <sup>2</sup>Dokuz Eylül Üniversitesi • Türkiye

### Özet

Dünyada gelişmiş ülkeler, demir-çelik üretiminde yüksek tonajlarda üretim yapmak yerine, katma değeri yüksek ve rekabet üstünlüğü sağlayan kaliteli (vasıflı) çelik üretme yönünde çabalarını sürdürmektedir. Kaliteli çelik, otomotiv, savunma sanayi, gemi inşa endüstrisi, madencilik endüstrisi, tarım sektörü, dövme ve makine imalat sanayinde kullanılmaya uygun, kimyasal, fiziksel ve metalurjik özellikleri garanti edilebilen ve tüm güvenilir muayene, ölçüm ve deneyleri yapılmış olan, müşteri talebi üzerine, ilgili izlenebilir belgeleri sunulabilen, karbon, orta ve yüksek alaşımli çelik mamüllerdir. Özel amaçlar için kullanılan kaliteli çelik üretiminde ABD, Japonya, Almanya, Rusya, İsveç, Fransa ve Avusturya adı geçen ülkelerin başında gelmektedir.

Bir ülkenin ekonomisi ve sanayileşmesinde lokomotif bir sektör olan demir-çelik sanayisinde gözlenen gelişmeler ile kalkınma süreci arasındaki ilişki incelendiğinde ekonominin gelişiminde vasıflı çelikler çok önemli bir rol oynamaktadır. Özkan Demir Çelik, son 10 yılda ülkemizin ihtiyaç duyduğu ve ihracat potansiyeli bulunan kaliteli çeliklerle ilgili yatırımlarını aralıksız olarak sürdürmektedir. Firmanın vizyonu da kaliteli çeliklerde dünya markası olmaktır. Nitelikli çelik üretebilmek için bilgi ve tecrübenin yanı sıra, özgün formüllerin üretilebildiği Ar-Ge çalışmalarına, teknoloji ve yatırıma ihtiyaç vardır. Bu kapsamda şirket içinde nitelikli personel istihdamı, üretim-test alt yapı yatırımları ve 2016 yılında resmi Ar-Ge merkezinin kurulumu ile proje odaklı katma değeri yüksek ürünlerin üretimine devam edilmektedir.

### Özkan'ın kaliteli çelik üretimine yöneliminin sebepleri

Rekabetin her geçen gün arttığı günümüz iş dünyasında işletmelerin kalıcı ve sürdürülebilir kârlı bir büyümeyi sağlayabilmesi için ar-ge ve teknoloji yatırımları önemli bir unsur olarak ön plana çıkmaktadır. Gerek teori, gerekse de gözleme dayalı veriler, rekabet için çok sayıda kritik bileşen olduğunu ortaya koymaktadır. Demir-çelik sektörü için bu bileşenlerden biri ise vasıflı çelik üretebilme kabiliyeti ve imkanlarıdır. Son yıllarda Çin başta olmak üzere gelişmekte olan ülkelerde, demir çelik

sektörüne yapılan yatırımlar dünyadaki demir çelik üreticisi ülkeler arasında rekabetteki dinamikleri değiştirmeye zorlamıştır. Fiyatlama bakımından rekabet gücü zayıflayan Avrupa ülkeleri pazardaki mevcudiyetini korumak için katma değeri yüksek ürünleri üretmek ve bunları ihraç etme yolunu seçerken, katma değeri düşük ürünler içinde diğer ülkelerden ithal etme yoluna gitmiştir.

Özkan Demir Çelik Sanayi A.Ş., 1953 yılında İzmir'in Buca ilçesinde sıcak haddelenmiş profil ile üretime başlamış olup, 2003 yılına kadar köşebent, I, U gibi standart yapı profilleri konusunda saygın bir üretici olmayı başarmıştır. Firmamız bugün İzmir-Aliğa demir çelik bölgesinde 460 bin m<sup>2</sup>'lik bir alanda üretimini sürdürmektedir.

Katma değeri yüksek "Daha Zor Ürün Daha Çok Ülke" hedefi ile 60 yılı aşkın süredir faaliyet gösteren Özkan Demir Çelik' in kaliteli çelik üretimine yönelmesi 2003 yılında, gemi sektöründe kullanılan Hollanda profilini üretmesi ile başlamıştır. İlk olarak, bu tür profillerde düşük çekme mukavemetli ve çentik darbe testi istenmeyen kalitelerin üretimi gerçekleştirilmiştir. Bunun sebebi de düşük sıcaklıkta istenen darbe dayanımını sağlayacak yüksek mukavemetli çelik hammaddesinin tedarik edilememesi olmuştur. 2005 – 2006 yılları arasında bu tip çeliklerden kesiti en fazla 160 kareye kadar olanları İskenderun Demir Çelik' ten tedarik edilmeye başlanmıştır Büyük kesitli Hollanda profillerini üretebilmek için ise gerekli hammaddenin yurtdışından tedarik edilmesine ihtiyaç vardı. Ancak yurtdışından hammadde temininin de hem süre olarak hem de maliyet açısından çeşitli zorluklar bulunmaktaydı. Bu da bizim ürün geliştirmemize ve pazarda büyümemize engel teşkil ediyordu. Özel profil haddeleme ile ilgili tecrübe ve yeteneğimiz olmasına rağmen bu tip özel profilleri üretmek için gerekli olan hammaddenin yurtiçinden kısıtlı veya hiç tedarik edilememesinden dolayı katma değerli ürünleri üretmek mümkün değildi.

2006 yılında İtalyan bir firma ile özel profil üretimi için ortak bir şirket kurulumu konusunda görüşmeye başlanmıştır. Bu görüşme süresince hammadde tedariki konusunun çok önemli bir husus olduğu görülmüştür. Bu nedenle öncelikli olarak çelik

üretimi yapabileceğimiz bir yatırımın çok daha gerekli olduğuna karar verilmiştir.

- 2007 yılında çelikhaneye yatırımına karar verildiğinde iki üretim konsepti dikkate alınmıştır. Birincisi yapı çelikleri üretimi, ikincisi de vasıflı çelik üretimidir. Sonuç olarak 2008 yılında çelikhaneye ekipmanlarının tedariki konusunda SMS CONCAST firması ile sözleşme imzalanmış ve çelikhanenin temelleri atılmıştır.
- İlk sıvı çeliğin alındığı 2010 yılı eylül ayından 2013 yılına kadar yapı çelikleri ve karbon çelikleri üretimleri gerçekleştirilmiştir.
- Çelikhaneye kurulumu ile birlikte 2010 ve 2011 yıllarında maden, tünel ve demiryolu sektörlerine giriş yapılmıştır.
- 2013 yılında vakum ocağı kurulması ile birlikte düşük karbonlu ve düşük alaşımlı çelikler üretilmeye başlanmıştır. Vakum ocağı, çelik içerisindeki gözünmüş O, H ve N miktarlarının azaltılması ve çeliğin yorulma, tokluk gibi özelliklerinin iyileştirilmesini sağlamaktadır.
- 2013 yılı içerisinde büyük kesitli yuvarlak, kare ve lama mamul üretimi için Haddehane-6 yatırımına başlanmıştır.
- 2014 yılında orta kesit haddehanelerimizde yuvarlak üretimi için gerekli modernizasyonun tamamlanması ve NDT (Tahribatsız muayene) hattının devreye alınması ile birlikte sementasyon ve ıslah çeliklerinin üretimine başlanmıştır.
- 2015 yılına geldiğimizde orta alaşımlı çelikleri üretebilmek amacıyla sürekli döküm makinesinde air mist (hassas soğutma) sistemi devreye alınmış ve bu sayede alaşım elementleri (Cr+Ni+Mo) toplamı %4' e kadar olan ıslah ve sementasyon çeliklerinin üretimine başlanmıştır.
- 2016 yılında, yatırımına başlanan büyük kesitli yuvarlak, kare ve lama üretim haddehanemiz (Haddehane-6) devreye alınmıştır.
- Haddehane-6'nın devreye alındığı yıl ıslah hattımız da devreye girmiştir. ıslah hattımız Türkiye'de 12 m boyunda çubukların ıslah edilebileceği tek tesisidir.
- Tüm bu yatırımların tamamlanması ile birlikte otomotiv, savunma sanayi ve iş makineleri sektörlerine giriş yapılmıştır
- Yine 2016 yılının haziran ayında resmi Ar-Ge Merkezimiz kurulmuştur.

- 2017 yılında alaşım elementleri toplamı (Cr+Ni+Mo) maksimum %5,5' e kadar olan çelikler üretilmeye başlanmıştır.
- 2018 yılında da plastik takım çelikleri üretimine başlanarak kalıp çelikleri sektörüne giriş yapılmıştır.
- 2018 yılında vinç raylarının üretimine başlanmıştır.

#### Gerçekleştirdiğimiz projeler:

- Fransa 'da yapımı tamamlanan dünyanın en büyük kruvaziyer gemisi Harmony of the Seas' de kullanılan hollanda profilleri firmamız tarafından üretilmiştir.
- Amerika'da özel amaçlı çıkarma gemilerinin yapımında kullanılan Hollanda profilleri firmamız tarafından üretilmiştir.
- Makine ve Kimya Endüstrisi Kurumu'nun üretmiş olduğu T-155 Fırtına Obüs' ünün mermilerinin hammaddesi ve Milli Piyade Tüfegi MPT-76'nın tetik mekanizmasında kullanılan çelikler firmamız tarafından üretilmiştir.
- Fırkateyn sınıfı milli uçak gemilerinin yapımına başlandığı Biga'daki tersanenin vinç rayları firmamız tarafından üretilmiştir.
- Avrupa'da İtalya, İsviçre, Avusturya ve Almanya'yı birbirine bağlayan 57 kilometre uzunluğu ve 2 bin 300 metre derinliğiyle dünyanın en uzun ve en derin demiryolu tüneli olan Gotthard Tüneli'nde kullanılan tünel profilleri firmamız tarafından üretilmiştir.
- İzmir – Manisa arası ulaşım süresini 15 dk.'ya düşüren Sabuncubeli Tüneli'nde kullanılan tünel profilleri firmamız tarafından üretilmiştir.
- 2023 metre ile dünyanın en büyük ayak açıklığına sahip olacak olan 1915 Çanakkale Asma Köprüsü projesinde, köprünün ayaklarında kullanılan 10.9 kalite 10,5m uzunluğunda ıslahlı ankraj çubukları firmamız tarafından üretilmiştir.
- Tarım sektörü için yeni nesil, yüksek aşınma direncine sahip çeliklerin üretimi gerçekleştirilmiştir.

#### Hedefler:

Vasıflı çelik üretimi konusunda Ar-Ge faaliyetlerimizi ve yatırımlarımızı devam ettirerek, Türkiye' de üretilmeyen ve ihracata katkı sağlayacak ürünleri üretmek hedefimizdir.

## Arvedi ESP: Pioneering Mature Technology for Endless Casting and Rolling

A. Jungbauer, B. Linzer, T. Lengauer, S. Grosseiber

Primetals Technologies Austria GmbH • Austria

### Summary

Arvedi ESP's unique ultra-thin strip production technology has made major advancements by setting new hot rolling world records with final strip thickness down to 0.6 mm. It is also the first hot rolling process ever to produce cold rolled substitutes on an industrial scale and a large variety of final products are now produced directly from ESP hot band without implementing a cold rolling process. Energy consumption and related CO<sub>2</sub> emissions are drastically reduced by the compact layout of ESP lines as well as by omitting subsequent cold rolling steps.

### Key Words

Arvedi ESP, Endless strip production, 0.6 mm hot strip, ultra-thin rolling (UTR), cold rolled substitute, ultra-thin rolling stability

### Introduction

Arvedi ESP - Endless Strip Production is a unique hot rolling technology already widely established in the market [1, 2, 3]. This endless rolling technology enables the production of ultra-thin hot rolled strips on an industrial scale. Production shares of up to 50 % of strips with thicknesses below 1.0 mm can be realized. This brings big advantages compared to standard hot rolling routes and allows subsidizing of formerly cold rolled material.

### World's first 0.6 mm Hot Strip

Since the introduction of the Arvedi ESP process in 2009, the process and plant design has been constantly improved to follow new customer and market demands. This development peaked in the world's thinnest hot rolled strip ever produced. On October 2nd, 2018 an ultra-thin hot strip with a thickness of just 0.6 mm was rolled at an Arvedi ESP plant belonging to the Chinese steel producer Rizhao Steel Group Co., Ltd (Rizhao). A picture of the 0.6 mm thick coil can be seen in figure 1.



Figure 1 Arvedi ESP mill produced ultra-thin hot strip with a thickness of 0.6 millimeter

The said ESP line entered service in April 2018, just six months before setting this new record. In figure 2 an overview of the rolling sequence including 8 coils below a thickness of 0.8 mm can be seen. The minimum thickness was reached by successively reducing the thickness in endless operation from approx. 3.5 mm down to 0.6 mm. The thickness steps for decreasing and increasing the thickness below 0.8 mm were chosen to be 0.05 mm.

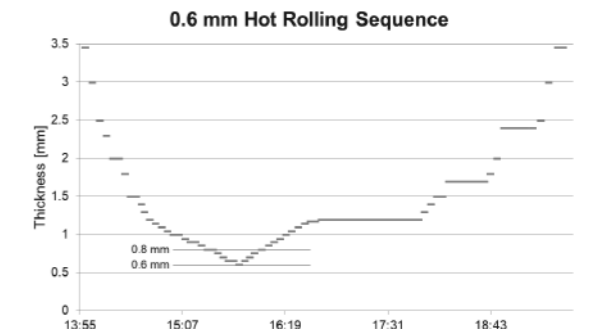


Figure 2 Overview of the 0.6 mm hot rolled coil sequence

Such an outstanding performance was made possible by the familiar characteristics of the ESP process, such as an extremely high process stability accompanied by constant speeds and temperatures. At the same time, advances were made in control technologies that had formerly only been used in cold rolling mills.

To illustrate the ultra-thin rolling operation for thicknesses below 0.8 mm, level 1 process data are shown in figure 3. The finishing mill (FM) exit strip thickness is depicted together with the high speed shear (HSS) cut signal, which indicates the separation of the endless strips into individual coils



just in front of the down coiler. Additionally the small inductive heater (IH) exit temperature deviation, stable finishing temperature (FDT), constant looper tensions and excellent strip flatness down to 0.6 mm can be seen.

Sound strip flatness is extremely important for a stable rolling process. It can be seen in figure 3, that less than 10 I-Units were reached even throughout the entire ultra-thin rolling region. In figure 4 the corresponding strip profile for a 0.6 mm strip is shown.

Endless production is vital for ultra-thin hot strip production, since no head/tail threading through the finishing mill has to be done. Thickness changes during endless operation are done by means of a so called "Flying Gauge Change" (FGC). Figure 5 presents details of the Flying Gauge Change from 0.65 to 0.60 mm strip thickness. It is demonstrated that the Flying Gauge Change was finished rapidly within about 0.4s, corresponding to only about 6 m strip length. Note that the finishing mill exit strip speed at 0.6 mm is about 14m/s!

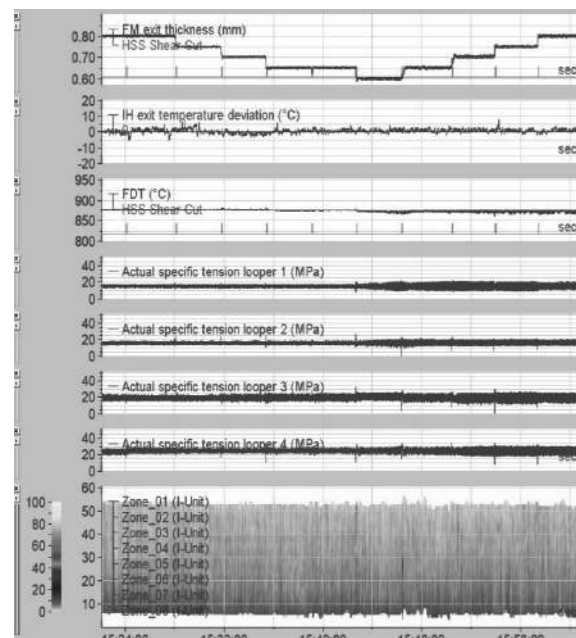


Figure 3 Process data at 0.8 to 0.6mm rolling showing outstanding stability and flatness

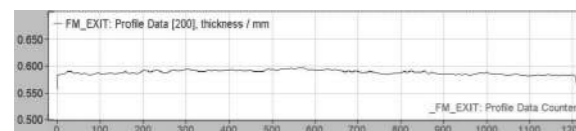


Figure 4 Thickness profile of 0.6 millimeter strip

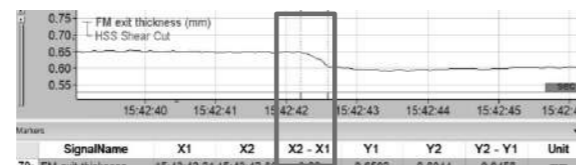


Figure 5 FM exit thickness measurement showing detail of extremely fast Flying Gauge Change from 0.65 to 0.6mm taking only about 0.4s!

### Ultra-Thin Rolling Stability

#### Mass Flow Control

For rolling of ultra-thin strips constant conditions in the finishing mill are crucial. Especially a high specific mass flow ( $>>t/\text{min}/\text{mm}$ ) without big fluctuations over several hours are required to achieve optimal performance.

For mass flow control, especially in the finishing mill, Primetals Technologies has developed an innovative strip control concept for endless rolling. The target of the control is to improve the stability and thickness performance during rolling of ultra-thin strips below 1 mm thickness.

Furthermore it is connected to the "Thickness Feedback Monitor", which controls the final strip thickness. The new mass flow controller called "Ultra-Thin Rolling Control" (UTR) [4] is an adapted cold rolling concept which uses the roll gap of individual rolling stands to control the strip entry tension. Therefore the load cells of the looper roll (located between two stands) measure the strip tension between rolling stands while the looper position is kept constant.

The Ultra-Thin Rolling control is implemented at each mill stand of finishing mill, except for the first stand. With UTR the strip thickness performance (deviation of target strip thickness) can be significantly improved over conventional hot rolling control concepts.

The Ultra-Thin Rolling control achieves excellent results at Rizhao ESP and the control is used for endless rolling of strips with exit thickness below 3 mm. To prove the capability, the exit thickness performance of two similar sequences is compared with Ultra-Thin Rolling mode and with conventional hot rolling mode. Such comparable sequences with exit thickness between 0.7 mm and 1.0 mm and a time period of 2 hours are shown in Fig. 6. The standard deviation of exit thickness deviation is used over the whole time period as performance indicator. In the conventional endless hot rolling mode sequence, the standard deviation of the whole period is  $3.1 \mu\text{m}$ . In Ultra-Thin Rolling mode, the sequence has a standard deviation of  $2.4 \mu\text{m}$ , which corresponds to an improvement of more than 20 %.

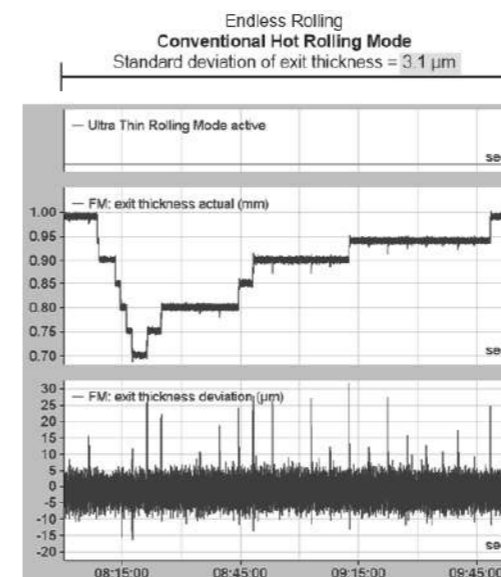


Figure 6 Exit thickness performance of Ultra-Thin Rolling control compared to conventional hot rolling control

### Work Roll Wear Compensation

Typical sequences including ultra-thin gauges are of a rolled length (work roll durability) of more than 170 km. It immediately becomes clear, that this brings big challenges in respect to work roll wear compensation, roll stack and profile control.

It has been proven crucial to strongly adapt work roll and back-up roll shapes compared to the conventional hot strip mill philosophy. Adaption of roll shapes is not reduced to a parameter variation of conventional shapes, but is a completely new approach - especially in the last finishing mill stands. Furthermore the exploitation of the interplay between

work roll and back-up roll shape in combination with wear compensation and constant work roll lubrication is required to achieve a good profile and hence stable rolling.

As can be seen in figure 7, ESP specific process design, together with a tailored automation, leads to remarkable geometrical performance parameters.

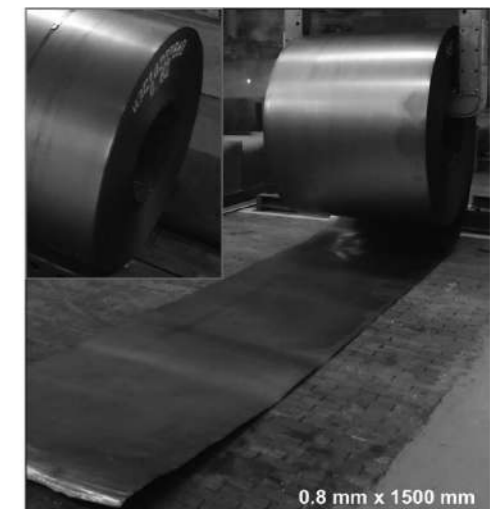


Figure 7 Picture of a 0.8 mm thick and 1500 mm wide hot rolled strip in partly uncoiled condition. Since no tension is applied to the uncoiled strip part, it gives a very good impression on the achievable profile and flatness performance

### Profile Control

To maintain rolling stability for more than 170 km rolled length, it is important – especially for high amounts of ultra-thin strips - to keep the strip profile (strip thickness over strip width) in a controllable range and in a "good" shape (which is of course directly related to strip flatness).

In order to achieve a proper strip profile additional points, compared to conventional hot rolling, need to be considered.

One point is the small profile control window necessary for rolling ultra-thin strips. Thin strips are very sensitive to flatness defects, which means the relative allowable strip profile change (relative profile error) gets very small especially towards the last finishing mill stands. The allowable crown change for a 0.8 mm strip to stay within the limits for flat strip is given in figure 8. For this, conditions in the finishing mill need to be very stable (no roll force and speed fluctuation, no temperature drift etc.). Simulations and operational experience imply that only endless operations, preferably with applied work roll



lubrication, can provide respective conditions for appropriate profile control.

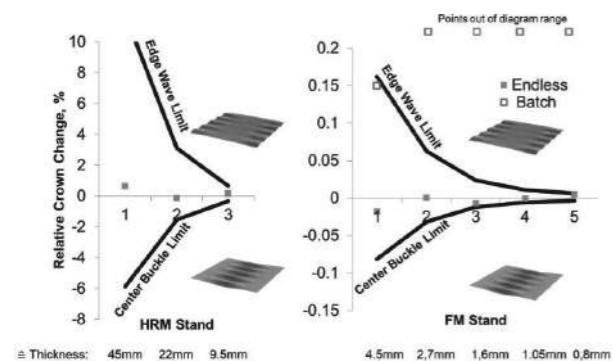


Figure 8 Profile control cone between edge and center buckle limit to target a flat strip for a  $\leq 0.8$  mm thick product.

Another point is that it has been seen, that with conventional work roll and back-up roll shapes (roll stack) only very small amounts of thin products can be rolled. For industrial scale ultra-thin strip production the work roll and back-up roll shapes need to be adapted in such a way to enable compensation of work roll wear on one hand and stable profile control on the other hand.

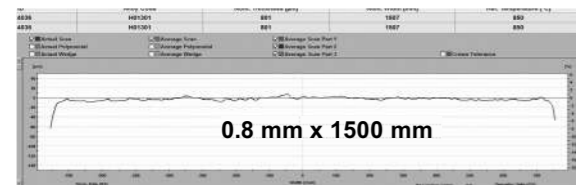


Figure 9 Measured strip profile (with X-ray gauge) at exit of finishing mill of a strip with thickness 0.8 mm and width of 1500 mm.

Even though work roll and back-up roll shapes are strongly adapted to allow a special wear shifting strategy, it has been proven that these roll shapes compared to the conventional hot strip mill philosophy are resulting in an advantageous flat profile, figure 9. Adaption of roll shapes is not reduced to a parameter variation of conventional shapes, but is a completely new approach - especially in the last finishing mill stands. Furthermore the exploitation of the interplay between work roll and back-up roll shape in combination with wear compensation and constant work roll lubrication is required to achieve a good profile and hence stable rolling.

#### ESP Material for Direct Application

The required properties for rolled steel strip products are strongly related to their respective field of final application intended. Therefore, there is a vast amount of components in customer specifications for

each steel grade, going far beyond its strength class reflecting market requirements for value-added products. The requirements characterizing a specific steel product may be categorized in terms of mechanical properties, e.g., yield and tensile strength as well as elongation, r- and n-value for characterizing drawability and strain hardening as well as internal properties partly reflected and/or required by mechanical properties such as cleanliness, microstructural homogeneity or texture. Besides this, geometrical properties such as thickness, profile, flatness or width as well as surface appearance characterized by tip to tip and average roughness, color, density of imprints or scale defects and suchlike are crucial.

To facilitate comparability among products of different vendors, the above mentioned requirements were cast into international norms and standards such as EN 10111 [5], EN 10025 [6], EN 10163 [7] which characterize requirements for hot rolled general mild steels and structural steels as well as their cold rolled counterparts. Traditionally, the majority of final products was constituted by cold rolled material, especially for the class of mild steel grades. Beside technical limits of respective production equipment, this fact is reflected in the corresponding standards which are much wider for hot rolled than for cold rolled material in nearly every above mentioned category, making hot rolled products appear as being partly viewed as a kind of semi-finished products. Historically, a rather small amount of value-added products could be delivered directly to the market via classical hot rolling facilities without any further downstream processing. However, because of the necessity for tighter tolerances and the limited thickness range for thin gauge accessible via this route, the number of applications and, hence, market share was rather limited. Having a short look on cold rolling production, derived from a comparison of worldwide cold rolling facilities, the thickness distribution can be roughly estimated as shown in figure 10.

ESP mills are guaranteed to produce strip thicknesses of 0.8 millimeters, which are used industrially and traded on the market for direct applications. Whereas a strip thickness of 0.8 millimeters covers around 50 percent of cold-rolled thicknesses, a strip thickness of 0.6 millimeters can cover more than 80 percent of cold-rolled thicknesses. Conventional hot strip production has a lower thickness limit of 1.8 millimeters, or 1.2 millimeters for special processes. This widens Rizhao's range of products, especially for cold strip substitutes. With Arvedi ESP it is not only possible to produce high quality hot rolled coils but it enables also to partially substitute cold rolled material in just one production step.

#### Cold Rolling Thickness Distribution

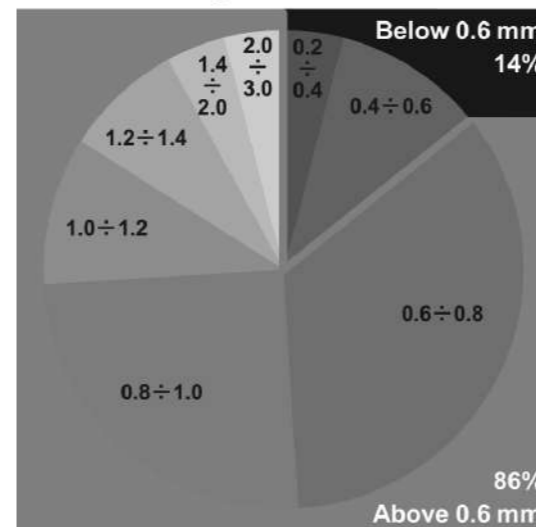


Figure 10 Thickness distribution on cold rolling market

#### Energy Consumption and Emissions

The ESP line in Cremona has been audited by TÜV Germany Süd and received a PAS2050 Green certificate identifying extremely low emissions. Compared to conventional plants ESP shows a CO<sub>2</sub> reduction of 39% and minus 88% of NO<sub>x</sub> emissions. Part of the certificate is also the attestation of 131.6 kWh/t energy consumption for production of 2mm thin and 1,500mm wide low carbon steel. ESP needs no gas for preheating of slabs. When operating the plant for direct application production as cold rolled substitutes energy consumptions and emissions of cold rolling plants are completely omitted.

#### Conclusion

Detailed process considerations are only one part of the complex challenges of ultra-thin strip production. Furthermore, the interaction of all mechanical and electrical components as well as an especially precise state of the art automation system, that is able to cope with very sensitive tension control and extremely prices tolerances, make this next step of hot rolling possible.

#### References

- [1] C. Bernhard, S. Bragin, S. Gelder, B. Linzer, A. Jungbauer, R. Venturini & A. Guindani, Arvedi ESP – Real Endless Strip Production: The Next Generation of Producing High-Value Steels Started Up, 2nd International Conference on Super High Strength Steels, Proceedings Peschiera del Garda, 2010
- [2] B. Linzer, A. Jungbauer, Arvedi ESP for High-Quality Hot-Strip Production at Rizhao Steel, Mat Sci Forum (2016), Trans-Tech publications, Production

and further processing of flat products, MEFORM 2016, 207-214, p. 42.

[3] A. Jungbauer, B. Linzer, A. Viehböck, Give Me Five –Rizhao Steel Counts on Arvedi ESP for High-Quality Hot Strip Production; AISTech 2015

[4] Kotzian D., Gruess A.: New Strip Tension Control for Better Thickness Performance at Finishing Mills; ESTAD2017

[5] DIN EN 10111, Kontinuierlich warmgewalztes Band und Blech aus weichen Stählen zum Kaltumformen – Technische Lieferbedingungen; (EN 10111:2008)

[6] DIN EN 10025, Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen - Teil 2: Technische Lieferbedingungen für unlegierte Baustähle; (EN 10025-2: 2004 11)

[7] DIN EN 10163-2, Lieferbedingungen für die Oberflächenbeschaffenheit von warmgewalzten Stahlerzeugnissen (Blech, Breitflachstahl und Profile) - Teil 2: Blech und Breitflachstahl; (EN 10163-2: 2004 12)

## Quality Steelmaking Through Induction Furnace Route

Swaren Bedarkar

---

**Electrotherm (India) Limited • India**

---

### 1 Introduction

Induction furnace is widely used route for producing plain carbon steel and low alloy steel. It is normally used for making construction grade hot rolled long products. Many countries in Middle East Asia, South East Asia, Africa and Eastern Europe, besides Indian Subcontinent have taken up this route for steel making. Steel making through induction furnace (IF) has been one of the most prominent routes in India. India produces around 27 million tonnes of steel through induction furnace route which is about 28% of country's total crude steel production [1].

About three decades back, induction furnaces were used only in the foundry industry. During mid-80's Electrotherm introduced it for steel making despite resistance from other major manufacturers of induction furnaces at that point of time. Gradually, induction furnaces of larger capacities were introduced successfully from 3T to 60T over a period of three decades. Many efforts have been put into effect to make the steel making efficient through induction furnace route. Advancements have been done not only in the induction technology but also in the operation of supporting equipments. Electrotherm has taken the furnace to digital platform with DiFOC furnace. With introduction of DiFOC furnace, large capacity steel plants have become reality with top most efficiency. As the capacity of steel making increased, scrap became scarcer and eventually direct reduced iron (sponge iron) has become the main raw material for steel making through induction furnace. Higher use of sponge iron in steel making gives rise to high phosphorous content in steel [2]. To tackle this P problem ELdFOS technology has been developed which uses ladle metallurgy. Once the liquid steel is prepared in induction furnace it is treated in the ladle based on needs and then it is cast in the form of billets through continuous casting machine (CCM). In past few years the concept of direct rolling has been developed. In direct rolling the billet is cut at CCM and sent to rolling mill directly without intermittent cooling and reheating the billet. The concept avoids the generation of the gases during reheating, saves the fuel cost and utilizes the sensible heat of billet for rolling. The effective implementation of direct rolling demands high speed casting. Considering the same, high speed billet casters have also been developed. If required for particular steel grade,

and if plant layout demands, in-line Billet Heater (ILBH) can be installed prior to roughing stand of rolling mill where temperature of the billet can be raised by 200-300 0C. The concept avoids the generation of the gases during reheating, saves the fuel cost and utilizes the sensible heat of billet for rolling. The effective implementation of direct rolling demands high speed casting. Considering the same, high speed billet casters have also been developed.

In the present paper efforts have been made to discuss many such developments that have taken place in the induction furnace based steel plants. These developments aim towards efficient steelmaking, save the energy at various stages from melting to casting; and ultimately make the process economical to produce quality steel. All such developments have made it possible to install large capacity induction furnace based plants. The work encompasses the use of various raw materials, their impact on quality of steel, the corrective measures taken to produce good quality steel.

### 2 Induction furnace steelmaking - various routes

As mentioned earlier, steelmaking through induction furnaces is one of the most prominent routes in India. Over the time, various routes have been developed with induction furnace as the main steelmaking equipment. The routes are discussed herewith.

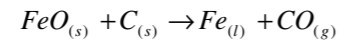
#### 2.1 Use of scrap and sponge iron in induction furnace steelmaking

About three decades back, IFs were using only steel scrap in induction furnace for steelmaking. With time the use of sponge iron in induction furnace became popular. Main driving force to the use of sponge iron in induction furnace is scarcity of scrap in the international market and economics of production of sponge iron. Sponge iron or DRI is the product of direct reduction of iron ore in solid state. The chemical composition of sponge iron is specified in terms of Fe-metallic, FeO, carbon and gangue. Coal based sponge iron has carbon in the range of 0.10%-0.18%; while gas based sponge iron has carbon 1.2-4%. During its melting in induction furnace, unreduced iron oxide reacts with carbon remain in the steel bath and improves its recovery. Thus, yield of sponge iron melting is always greater than its metallic iron. Main advantages of use of sponge iron for steel making are,

- Cheaper compared to steel scrap
- No tramp elements
- Less pollution during melting compared to steel scrap

- Ease in carbon adjustment

During the melting of sponge iron it is necessary to maintain carbon level in the bath. As a general practice of sponge iron melting, initially high carbon material is melted in the induction furnace. As soon as sponge iron is added in the bath, iron oxide starts its reaction with carbon as follows,



For melting coal based sponge iron as major raw material initially high carbon liquid bath is formed essentially to improve yield and also to protect acidic refractory lining of the furnace. The high carbon liquid bath may be obtained by melting pig iron, cast iron, high carbon automotive parts, coal addition in the bath, etc. As the sponge iron is added into the bath it starts melting and iron oxide of sponge iron starts reacting with carbon in the bath. The result is bath carbon starts decreasing gradually. By the time furnace becomes full of liquid metal, the desired carbon level is achieved. In case of gas based sponge iron, the carbon requirement for iron oxide reaction is fulfilled by the carbon in the sponge iron itself. Thus, carbon and iron oxide take care of each other. Whether sponge iron is coal based or gas based, the percentage of sponge iron in the charge mix depends on carbon level and iron oxide content. At the same time, the economics of steel making also impacts the use of sponge iron in induction furnace. At places where the price difference between sponge iron and scrap is large, the induction furnaces are operated mainly with sponge iron. On the other hand, minimal price difference leads to use the medium carbon scrap throughout the heating cycle. In such practices, hardly 10% sponge iron is used at the end of the heat cycle mainly to adjust the final carbon level.

## 2.2 Use of hot metal along with sponge iron in induction furnace

Increased use of sponge iron in induction furnace requires high carbon bath. Once high carbon bath is prepared, the sponge iron is added in the induction furnace at required feeding rate for steel making.

Electrotherm Steel Plant in Kutch has two blast furnaces for ductile iron pipe production. The same plant produces steel with 4x20T induction furnaces. For steel making, use of sponge iron goes up to as high as 80%. Higher use of sponge iron demands high carbon bath in the initial stage. This requirement is fulfilled by the hot metal available from the blast furnace. Many plants in eastern India have installed cupola to meet the requirement of high carbon bath to use sponge iron for steelmaking. Use of hot metal from the external source reduces the energy consumption of steel production. It also helps to increase the production by 10-15%.

Though the scope of application is limited, the route is marginally dependent on the coke prices in the international market.

## 2.3 IF – Decarb converter route of steelmaking

Decarb converter is popularly known as AOD converter or Metal Refining Konverter (MRK). It is mainly the vessel with oxygen injection from the bottom or from the sides in the lower portion of the vessel.

To start the process, initially, high carbon or cast iron scrap is melted in the induction furnace. The minimum carbon requirement in the melt is 1.50%. It may go up as high as 4.0%. The melt is then charged in Decarburization Converter and the oxygen is supplied through tuyeres situated in the lower portion of the vessel. The oxygen blow times typically range from 30 to 35 minutes. High carbon metal is transferred through ladle from the induction furnace. When oxygen is injected, it reacts mainly with Si, Mn, S, P and C in the melt and oxidation takes place. The oxidation of these elements is exothermic which increases the bath temperature. The scrap is added in the converter as a coolant. The coolant can be added as high as 15% of the total bath weight, which ultimately increases the yield of the process i.e. 15% of the charge is melted by the heat generated during the process. No additional heat is required. The basicity of the slag is maintained by adding required lime and dolomite in the bath. The process is capable of reducing unwanted elements like P and S.

IF-Decarb/Decarburization process is very popular where high carbon scrap is available at relatively lower cost. The main source of such scrap is automobile parts and engine parts. This process is mainly used in African continent.

## 3 ELdFOS technology

The presence of phosphorous and sulphur in steel, except in certain grades, is harmful to its quality, and therefore, they have to be brought down to the specified / acceptable levels. It has become very important to adopt the technology to reduce P and S from the steel. For induction furnace steel makers this is the big challenge. Electrotherm is one of the leading manufacturers of steel making equipments in India. Through continuous R&D, the company has developed ELdFOS technology (Electrotherm Ladle Dephosphorization and Desulphurization process) where P and S can be reduced to the required limit [3].

## 4 DiFOC furnace

Recently Electrotherm has designed and developed state of the art digital technology for solid state frequency converters in the range from 2750 kW to 36000 kW. This has opened the new regime of

large capacity furnaces with high efficiency. The furnace is popularly known as Digital Inverter Fibre Optic Controller (DiFOC) furnace. The main features of the furnace are as follows,

- Microprocessor based digital control for solid state frequency converter
- Fibre optic communication between controller and thyristor modules
- Performs all controlling, regulating and protecting functions of converter and inverter
- Automatic control of energy requirement for melting and super heating through in-built Melt Evaluator
- Internal self-diagnostics which provides specific diagnosis and root cause of the problem
- Globally accessible equipment through secured ethernet connectivity

All these features have made even 60T or large capacity furnaces a reality.

## 5 Energy conservation

Induction furnace steelmaking has gained popularity because it has been able to melt all kinds of scrap generated by various industries and produce steel that can be well used for construction purposes. Since, IFs are (electrical) power intensive, their sustainability in present market scenario is very crucial because survival through this route can be possible only when one can produce steel more economically and contain their cost within the market driven pricing. Present topic intends to cover many of the productivity improvement equipments and processes that can be adapted by all steel making units and optimize energy usage for sustainability.

### 5.1 Programmable Dynamic Load Manager

Electrical power is a raw material for induction furnaces. In an ideal situation, the sanctioned power for the plant (kVA) should be utilized completely in operating various steel making equipments or auxiliary loads without any loss. These conditions can be met by installing Programmable Dynamic Load Manager (PDLM) that can manage the entire plant load (under single meter) intelligently and without any human interference. Other than the induction furnace, there is usually auxiliary load that is variable in steel making plant which comprises of EOT cranes, magnets, cooling towers, pumps, compressors, factory lighting etc. It is very rare to find all these equipment operating at their full capacity during any time in a given cycle. PDLM senses the exact requirement of furnaces and adjusts the power that is fed to each equipment optimally so that production stays uninterrupted and the available load is efficiently managed, thereby reducing the maximum demand recorded. Figure 2 depicts PDLM and its function.

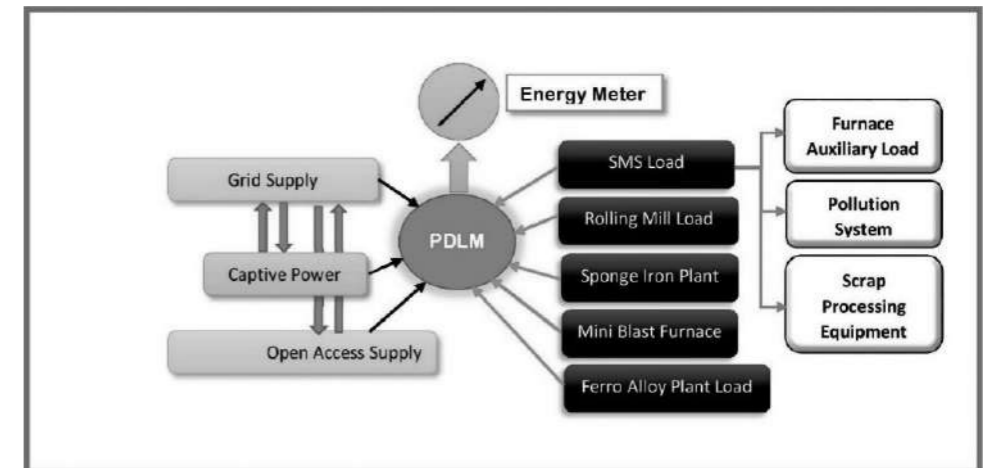


Figure 1 PDLM - Programmable Dynamic Load Manager capabilities

PDLM can also be synced with real time grid clock that can take care of peak and off-peak hours. It is also able to work with a variety of inputs like grid power, captive power and power from open access. The overall Load Factor improves because of PDLM and some states have even started offering Load Factor incentives to optimize power usage. PDLM is competent enough to work with any make of induction furnaces and also to handle various other load within a plant like Sponge Iron kilns, Rolling Mills, Mini-Blast Furnaces, and Submerged Arc Furnaces etc. that are connected to a common metering unit.

### 5.2 Power optimizers

Power Optimizers improve overall power factor of furnace by maintaining maximum voltage over the entire melting cycle. They eliminate unwanted delays due to manual operation of adding/removing capacitors and reduce heat time and power consumption by 10-20 Units/Ton, depending upon furnace size. Just by virtue of the extensive research and development that has gone in for this product, they are confined to equipment of Electrotherm make only.

### 5.3 Direct rolling of billets

Hot billet charging implies converting the billet into a rolled product without any intermediate reheating arrangement, thereby avoiding criminal waste of energy. As per this new concept, billet coming out of the caster is directly charged to the rolling mill. The billet that comes out of the caster has surface temperature of about 1100°C while the core temperature is still higher. The same hot billet is sent to the rolling mill where it is rolled through roughing stand, intermediate stand and finishing stand [4].

During continuous casting, the billet is cooled from surface to core. The heat is lost by means of convection and radiation. In conventional method, the billet is transferred to the cooling bed after casting where it is cooled to the ambient temperature. The heat loss to the atmosphere is about 0.8 GJ/T of billet. Before rolling, the billet is pushed to reheating furnace, where it is heated to about 1100 °C. In reheating furnace the billets are heated from outer surface. Thus, the heat transfer is from surface to core. The billets are allowed to soak and are then transferred to rolling mill for further processing. In the concept of direct rolling, the billet obtained from the caster is transferred to rolling mill in hot condition itself. To make it possible, it is very important to obtain a proper balance between solidification of billet in caster and transfer time to rolling mill before the temperature goes below rolling temperature. Depending on the billet size and section, the rolling temperature is decided. This rolling temperature is achieved by precise temperature control at the continuous casting machine.

Direct rolling of billets without reheating facilitates saving of about 35-40lit/T of furnace oil or diesel oil. In addition to this, environmental pollution of CO<sub>2</sub> emission by reheating furnaces is saved. Total of about 1.2GJ /T of energy behind reheating of billet is saved by the new concept of direct rolling.

#### 5.4 High speed casters

Heat dissipation for billet of a particular cross section is purely the function of time after billet is cast. The travelling time of billet from caster to rolling mill can be minimised or controlled by the high speed conveyor design. Therefore, the factor which plays important role in heat loss of billet is the casting speed. The conventional casters operate with the average casting speed of 1.8 to 2.5 m/min. To obtain a 4 m long billet cut, such casters would take 120 to 150 seconds. This allows drastic temperature drop from the billet as the temperature gradients are the highest. Further, the synchronization between billet casting speed and rolling speed is also reduced. With several experiments and continuous study, it has been observed that casting speed affects 80% of direct rolling while remaining 20% is affected by speed of billet transfer after cutting table to rolling mill.

To counter this problem, Electrotherm has developed high speed caster with the top speed of 3.5 m/min to 5.5 m/min depending on caster size and cross section of billet being cast. With this speed, 100% hot billet charging or direct rolling has become possible. The state-of-the-art concept

developed by the Electrotherm allows the billet to solidify thoroughly and deliver the billet to high speed conveyor within shortest possible time.

#### 5.5 In-line billet heater

Many a times it may happen that the rolled product demands 9m or 12 m long billets. In such conditions, the billet which goes to roughing stand of rolling mill is not at uniform temperature throughout. The temperature difference of about 200-300 °C prevails from billet head to tail. In such cases in-line induction billets heater (ILBH) is installed which is capable to increase the temperature of billet by 300°C or to the required level. ILBH is also useful where distance between CCM and rolling mill is very high. For such plants, to carry out direct rolling one can install ILBH in between roughing and CCM. ILBH compensates the travelling temperature drop after continuous casting and send billet to roughing and specified required temperature. The block diagram of ILBH is depicted in Figure.

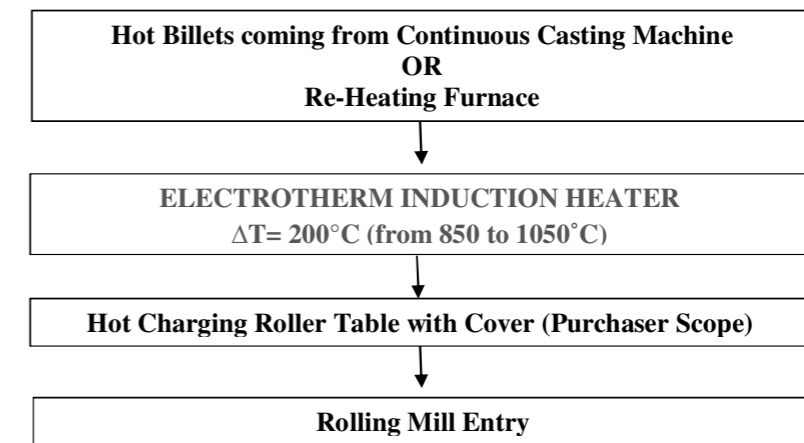


Figure 2 Schematic block diagram of ILBH

## 6 Conclusions

Induction furnace route started its journey of steel making with plant capacities around 40,000 TPA to 0.1 MTPA. With continuous developments the capacities got enhanced to 0.3 to 0.4 MTPA. However, with latest developments of DiFOC technology by Electrotherm, the installation of 1 MTPA steel plant has become reality. The production can be achieved with 3 x 30MW/60T induction furnace with 1 x 70T LRF, ILBH and high speed CCM. Compared to conventional BF-BOF route, induction furnace based steel plants can be erected and commissioned at very low

CAPEX. Gestation period of these plants is less than half compared to BF-BOF plants. With the use of ELdFOS technology, quality steel can be produced which is at par with conventional BF-BOF route. With all these latest developments, IF-LRF-CCM route is capable of producing plain carbon steel, and alloy steels. Installation of vacuum degassing (VD) unit, enables this route to produce forging grade steels with very low OPEX.

Over last couple of decades, induction furnace steel making has become one of the very important routes. In India, sponge iron is very useful raw material, and in many cases inevitable, to produce steel through induction furnaces. Use of sponge iron in induction furnace helps maintain desired carbon level in the bath, reduce tramp elements and reduce cost of steel produced. The only problem with sponge iron is phosphorous levels which cannot be controlled in the induction furnace. In order to overcome this limitation of induction furnace, ELdFOS process has been developed using Electrotherm Refining Furnace. Electrical power is the raw material for induction melting furnaces. PDLM can be effectively used by almost all induction furnace based units for managing the entire plant load and reducing the overall demand. PDLM can be synchronised with grid clocks effectively and can comfortably be worked with a variety of inputs like grid power, captive power and power from open access. Direct rolling is a very novel concept. A steel plant can adopt the concept to roll 100% billets produced by high speed casters. Elimination of reheating furnace saves huge energy and CO<sub>2</sub> emission to environment, and enhances profitability of steel plants. The process is eco-friendly and helpful to reduce environmental pollution remarkably.

## References

1. Ministry of steel, Government of India, Annual Report (2017-18), p 18
2. Bedarkar S.S. and Singh R, Removal of Phosphorous from Steel Produced by Melting Sponge Iron in Induction Furnace, *Trans IndInst Met*, 66 (2013), p 207-211.
3. Dr Swarn Bedarkar, Quality steelmaking through induction furnace – LRF route using DRI/sponge iron, *Steel Technology*, July 2016, vol. 60 (2), p 79 – 81.
4. Manoj and Swarn Bedarkar, Energy saving by direct rolling of hot billets through high speed casters, *Minerals & Metals Review*, March 2014, p 36-39

## Modeling and Practice on Ca-Treatment of Al-Killed Steel with Sulfur Addition at Asil Çelik

Erol Işık<sup>1</sup>, Emre Temel<sup>1</sup>, Bora Derin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Asil Çelik San. ve Tic. A.Ş., <sup>2</sup>Istanbul Technical University • Turkey

### Abstract

Calcium treatment process for aluminum-killed steels is mainly used during secondary metallurgy operations to minimize nozzle blockage as well as to modify the shapes of the sulfide inclusions which have some positive effects depending on the steel grades. In the present article, a modeling study and an industrial practice for Ca-treatment process of a selected Al-killed steel grade with sulfur addition were carried out in Asil Çelik. Inclusion evaluations of the selected samples taken at different points in the ladle process were investigated.

### 1. Introduction

Calcium treatment is mainly carried out in ladle operations to improve steel castability minimizing the submerged entry nozzle clogging problem during tundish draining. Calcium treatment also enables shape modification of sulfide inclusions which has a few gainful impacts relying upon steel grades [1, 2]. Binary Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-CaO phase diagram shown in Figure 1 is one of the mostly used tools to understand the Ca-treatment process looking at the deep eutectic point between the calcium aluminate cliffs [1].

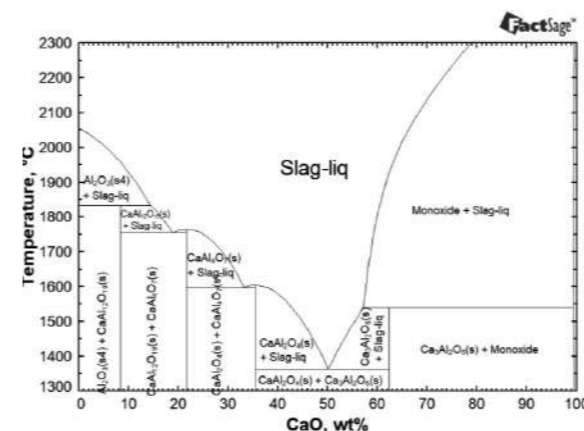


Figure 1. CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> binary phase diagram.

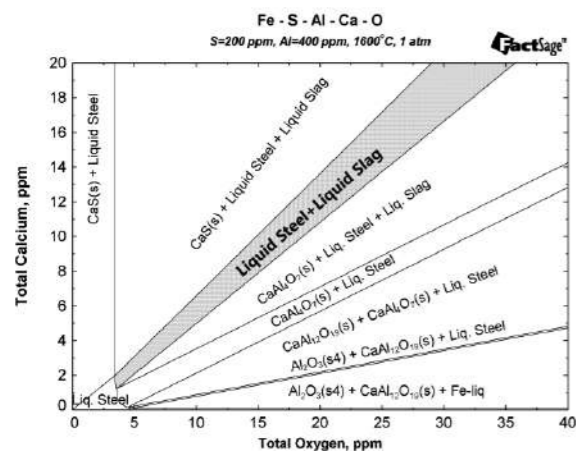
One easily calculates the amount of Ca wire required for liquid CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> formation (ideal molar ratio as 12CaO/7Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) looking at the phase diagram (~CaO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>=1 as weight ratio), when insoluble Al and Ca concentrations in steel are known. However, this diagram presents only a simplistic approach, since it is not sufficient enough to simulate a real ladle operation, especially when other ingredients are taken into account in molten steel such as S, Mg, Si, Ti, O, Mn, etc.

Thermochemical modeling has been actively used in steel researches for decades. The steel/slag/refractory/gas equilibria and multicomponent phase diagrams can be calculated by means of critically assessed thermodynamics database which makes them indispensable tools to simulate the complex steelmaking processes such as Ca-treatment, deoxidation, desulfurization, vacuum degassing, etc. [3]. Asil Çelik has started embedding such thermochemical calculations into their practical applications in order to yield better performance, especially in the secondary metallurgy.

Asil Çelik produces special and alloyed steels mainly for the automotive, machine tool manufacturing and defense industries [4]. Sulfur is added on purpose to some steel grades in Asil Çelik for improving machinability by providing optimum chip formation that reduces tool wear during turning.

During ladle refining process of high sulfur containing steels, Ca content in the steel should be limited to avoid precipitation of calcium sulfides which also stimulate nozzle clogging problems [1-3,5-7]. Figure 2 shows thermochemical calculation by FactSage [8] on the possible inclusions formed during Ca-treatment, plotted as a function of the total contents of Ca and O in an Al-killed steel (e.g. S= 200 ppm, Al=400 ppm) at 1600 °C. As can be seen, the slag window, the area (shaded) where the inclusions are liquid, becomes very narrow due to the solid CaS and calcium aluminate formations. In addition to that, the spinel inclusions (MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) which have a tendency to form in killed heats during long holding times between EAF and continuous caster, can also attach to the nozzle walls and blocks the liquid stream [5-7].





**Figure 2.** Thermochemical calculation on the inclusion formation as functions of total oxygen and calcium contained in an Al-killed steel at 1600 °C.

In the current study, thermochemical calculations were performed by FactSage to predict the evolution of inclusions during the Ca treatment and results were compared with an industrial ladle trial for a selected Al-killed steel with sulfur addition.

#### Modeling and Experimental Study

The production route of the plant trial was EAF → LF → VD → Al-wire → Ca-wire → S-wire → Tundish → CC. The final composition of the steel is shown in Table 1.

**Table 1.** The final composition of the plant trial steel.

wt%					
C	Si	Mn	S	Al	Ni
0.42	0.25	0.85	0.024	0.0026	1.1
					≤0.25

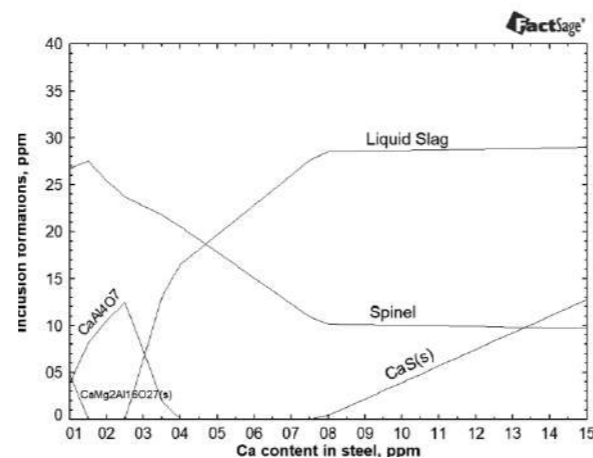
Steel (lollipop) and slag samples, as well as temperature and dissolved oxygen measurements, were taken at the different points throughout the ladle process: i.e. before vacuum degassing (VD), immediately after VD, just before Ca-treatment, 10 mins after Ca-treatment and, finally in tundish (10 mins).

Thermochemical modeling was carried out by using FactSage to estimate the required amount of CaSi wire to prevent the nozzle clogging. The selection of proper databases for a given system is essential for accurate thermodynamic calculations. Thus, FTmisc and FToxid databases of FactSage were selected for the modeling of molten steel and slag systems, respectively. The composition of liquid steel (including total [O], [Ca], [S], [Mg]) was measured just before entering the calcium station ("before-Ca treatment" sample) and served as an input parameter.

The steel samples collected at different points in ladle process were investigated by a scanning electron microscopy (SEM, Zeiss Evo MA15) and energy dispersive spectroscopy (EDS, Oxford X-Max 20) after a sample preparation according to ASTM E3-11 and with an automated polishing machine (Struers Hexamatic). The chemical compositions of the steel samples were measured by an optical emission spectrometer (OES, Thermo Scientific ARL 4460).

#### Results and Discussion

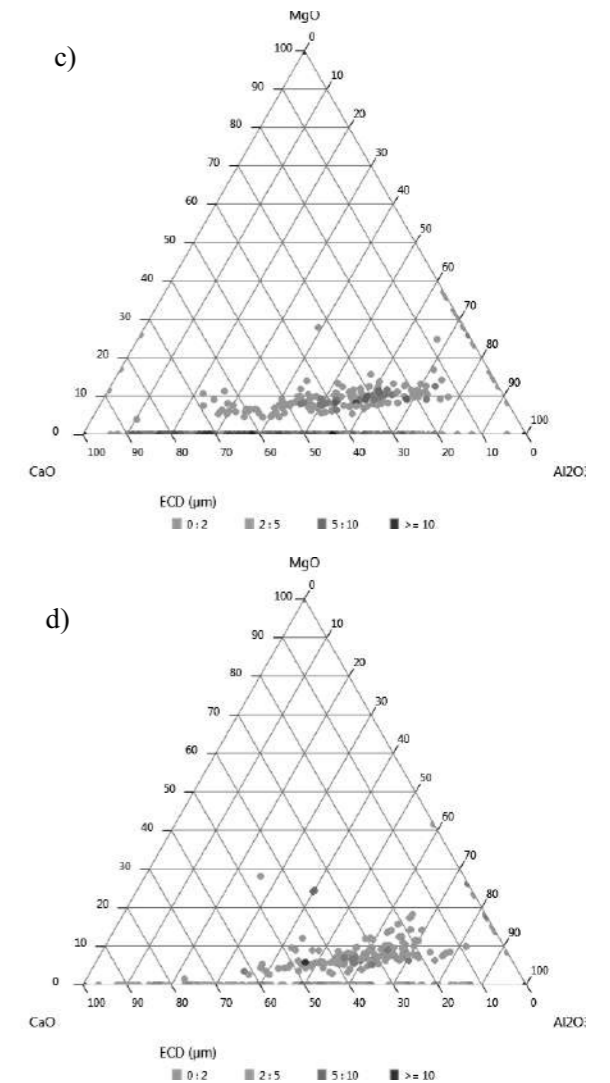
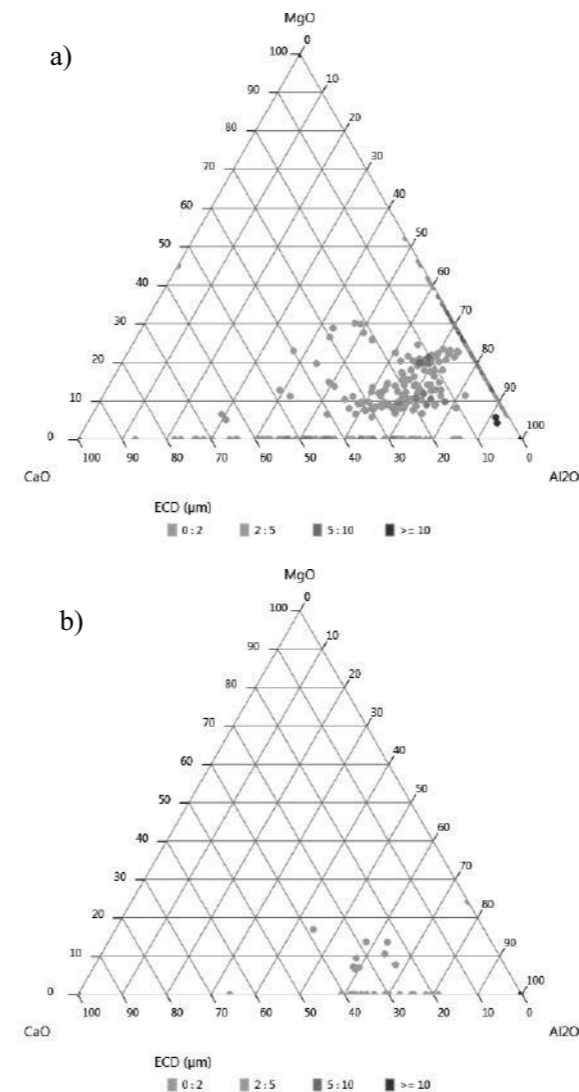
A thermochemical calculation result which describes the Ca-treatment of the selected steel composition is shown in Figure 3. In the calculation, the chemical composition of the lollipop sample taken before Ca-treatment and ladle temperature during Ca-treatment were used as input parameters. As seen in the below figure, before Ca addition, spinel is the dominant phase with certain amounts of  $\text{CaMg}_2\text{Al}_6\text{O}_{27}$  and  $\text{CaAl}_4\text{O}_7$ . The liquid formation of the inclusions starts after 2.5 ppm of Ca in steel. Although spinel formation cannot be avoided throughout the procedure, it can be decreased to some extent with Ca addition. The following criteria were considered in the present ladle trial when determining the optimum amount of CaSi wire; minimum spinel, maximum liquid slag and, minimum CaS formations.



**Figure 3.** Thermochemical calculation on the inclusion formations as a function of Ca addition designed for the plant trial steel.

SEM-EDS analysis was performed from the lollipop samples to observe the morphology and chemical analysis of inclusions. Oxide type of inclusions in the samples were detected in terms of size and composition distribution and displayed in CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-MgO ternary plots in Figure 4(a-d). Before VD, inclusions mainly consisted of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oxides due to the deoxidation process with Al (Figure 4(a)). The

inclusions were accumulated in  $\text{CaAl}_4\text{O}_7$ , as well as solid spinel and  $\text{CaMg}_2\text{Al}_6\text{O}_{27}$  regions owing to relatively high Mg content in the steel. After VD, most of the inclusions, including spinels with >5 μm in size, were eliminated from the steel (Figure 4(b)). Remaining inclusions mostly shifted to the liquid region due to the Al and Mg evaporations during the vacuum stage.



**Figure 4.** Evolution of oxide type inclusions in terms of size and composition distribution; (a) before VD, (b) after VD, (c) after Ca-treatment and, (d) Tundish. Color scale was used to indicate sizes of inclusions.

It is noted that after following Al-wire and Ca-wire injection operations, MgO content in the inclusions also increased (Figure 4(c)). This can occur mostly due to the slag/metal/refractory interactions and refractory wear owing to the long holding times. As also proven from FactSage calculation in Figure 3, the solid spinel-type and liquid inclusions (<2 μm) formed after Ca-treatment. During tundish operation, most of the oxide-type inclusions became larger than 2 μm, while some moved to the slag layer of the tundish (Figure 4(d)). The statistical results of the inclusions measured from the samples are also shown in Figure 5. The inclusions were roughly divided into four categories, i.e.,

single MnS,  $Al_2O_3+MnS$ ,  $CaO+CaS+MnS$ , and  $MgO+MnS$ . Due to the sulfur content of the steel, all samples consisted of a certain amount of MnS inclusions. The sample "after VD" has the highest ratio of MnS/oxide due to eliminations of Mg and Al during the vacuum stage. As expected, MnS/oxide ratio again increases due to the separation of some inclusions (mostly liquid) from the steel in tundish. Figure 6 represents a SEM-EDS investigation of a selected inclusion in the steel sample taken from tundish. A typical oxy-sulfide formation was observed in the inclusion (~5  $\mu m$  in diameter). A Ca-sulphide ring surrounds the oxide inclusion as an outer layer. Spinel phases located in the Ca-aluminate core. However, MnS formation was not observed in the inclusion.

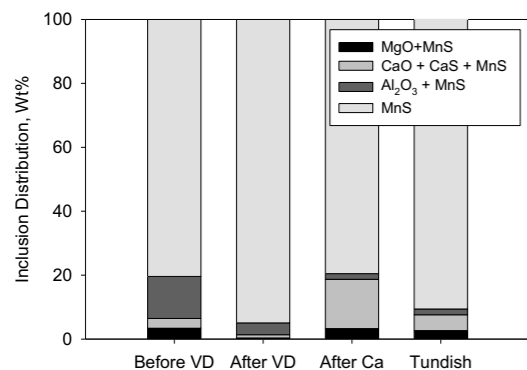


Figure 5. Composition distributions of inclusions in the selected steel samples.

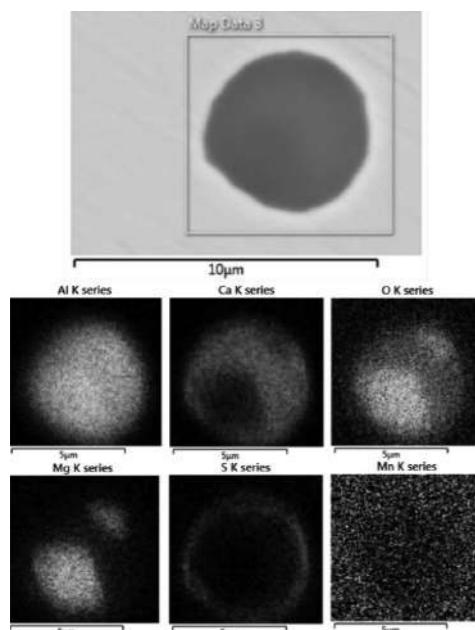


Figure 6. SEM image and elemental x-ray mapping of an oxysulfide inclusion from tundish sample.

## Conclusion

Thermochemical modeling was carried out for Ca-treatment process of a selected Al-killed steel grade with sulfur addition in Asil Çelik. It can be concluded that, according to SEM-EDS investigations, the practical findings could be explained by the results of the calculations. The ladle trial proved that the modeling is an ideal tool in simulating the reactions in the Ca-treatment processes. The current study is in a very early work stage and detailed investigations on the inclusion examinations are still in progress.

## Acknowledgment

The authors thank to the workers of Asil Çelik who help during ladle operations, chemical analysis and metallographic sample preparations.

## References

- [1] J. Lehmann and R. Meiland, Inclusion cleanliness in calcium-treated steel grades, Ed. by K. Hack, The SGTE Casebook: Thermodynamics at Work, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, England 2008, 267-272.
- [2] I.H. Jung, J. Lehmann, E. Jak, Applications, Ed. by S. Seetharaman, Treatise on Process Metallurgy Vol. 2 Process Phenomena Elsevier, Oxford, UK, 685-689
- [3] I.H. Jung, Overview of the applications of thermodynamic databases to steelmaking processes, CALPHAD: Computer Coupling of Phase Diagrams and Thermochemistry 34 (2010) 332-362.
- [4] <<http://www.asilcelik.com.tr>> Dated: 05.05.2019.
- [5] J. H. Shin and J. H. Park, Formation Mechanism of Oxide-Sulfide Complex Inclusions in High-Sulfur-Containing Steel Melts” Metallurgical and Materials Transactions B, Vol. 49B, (2018) 311-324.
- [6] Z.W. Hou, M. Jiang, E.J. Yang, S.Y. Gao, X.H. Wang, Inclusion Characterization in Aluminum-Deoxidized Special Steel with Certain Sulfur Content Under Combined Influences of Slag Refining, Calcium Treatment, and Reoxidation, Metallurgical and Materials Transactions B, Vol. 49B, (2018) 3056–3066.
- [7] J. Mendez, A. Gómez, C. Capurro, R. Donayo, C. Cicutti, Effect of process conditions on the evolution of MgO content of inclusions during the production of calcium treated, aluminum killed steels. 8th International Conference on Clean Steel; 2012 May 14-16; Budapest, Hungary.
- [8] C. W. Bale, E. Bélisle, P. Chartrand, S. A. Deckerov, G. Eriksson, A.E. Gheribi, K. Hack, I. H. Jung, Y. B. Kang, J. Melançon, A. D. Pelton, S. Petersen, C. Robelin, J. Sangster and M-A. Van Ende, FactSage Thermochemical Software and Databases, 2010-2016, Calphad, vol. 54, pp 35-53, 2016 <[www.factsage.com](http://www.factsage.com)>

## Long Steel Casting with Flexible System for Open and Shrouded Stream

F. Jesus<sup>1</sup>, A. Pinheiro<sup>1</sup>, R. Maddalena<sup>2</sup>, P. Coutinho<sup>3</sup>, J. Navarro<sup>3</sup>, E. Villanova<sup>3</sup>, L. Goulart<sup>3</sup>, Stephane Taburiaux<sup>4</sup>, Yağız Ozan Bute<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Vesuvius Brazil, <sup>2</sup>Vesuvius USA, <sup>3</sup>ArcelorMittal Brazil, <sup>4</sup>Vesuvius Belgium, <sup>5</sup>Vesuvius Turkey • Brazil, USA, Belgium, Turkey

## Abstract

The CNC Shrouded\* is a tundish flow control system that allows the cast of long products in both open or shrouded stream from the tundish to the mold. This allows steel of higher quality to be cast by protecting the stream from the re-oxidation from atmosphere as well as the usage of flux powder as lubricant, which also improves quality in terms of surface and thermal exchange with the mold. The trials were conducted to validate the proposition and evaluate the differences in terms of quality, considering surface of the billet, and as a second step, chemical analysis of samples. The preliminary results have proven the system improves significantly the quality, by having a much better surface quality as well as no re-oxidation, while being of simple usage operationally and of lower cost compared to other systems where there is flow control, such as tundish slide gate or stopper and submerged entry nozzle.

\*trademarks of the Vesuvius plc group of companies, unregistered or registered in certain countries

## Key Words

CNC Shrouded; Billet casting; Unshrouded casting; Long carbon steel quality increase.

## 1. Introduction

Production of long carbon steel is usually made through open stream from the tundish to the mold, with the exception for special steel grades, that require protection from atmosphere to preserve quality mainly. To protect the stream from re-oxidation and reduce turbulence in the mold, steel plants use submerged entry nozzle or submerged entry shroud. To protect the meniscus from contact with the atmosphere, is used flux powder, which plays other roles such as heat transfer control from steel to the mold as well as mold lubrication<sup>1</sup>.

However, some steel grades, which are currently cast through open stream do not meet enough quality criteria, or a lower inclusions level is desired, or even

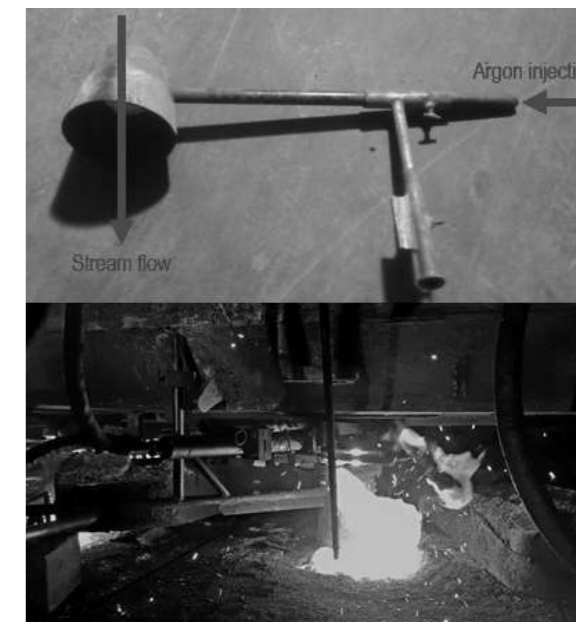


Figure 1: Example of a device for argon injection to create an inert atmosphere. Severe turbulence, as it may be observed through the steel splashes, besides the fire, indicates low effectiveness of this solution.

an improvement is needed in terms of surface quality of the billet. Some solutions are developed to minimize the effects of re-oxidation, such as a protection can with argon flow (or nitrogen) inside to create an inert atmosphere, as it can be observed on Figure 1.

However, such solutions are of difficult implementation and produce low effect on quality, as the gas available on steel plants have impurities, there are gaps when placing the can around the mechanism below the tundish and above the mold, allowing severe air aspiration, among other problems, besides having no effect on mold turbulence, hence on mold level variation, as well as on surface quality of the billet cast.

This motivated the development of a flexible system which can operate both in open stream, and when required, in a shrouded stream, to achieve optimal quality in terms of inclusions as well as surface quality of the billet at a low cost and low complexity of operation.

The refractory stack up as well as mechanical parts are described on Figure 2, where items with \* are of regular use on unshrouded casting. The installation of the CNC Shrouded system is similar to a CNC conventional system. It uses the same top plate refractory and same mechanism, however, with added parts and refractories. A similar lower plate (here called "Center plate") is placed to be used and changed whenever desired to control speed by the change of the diameter, as well as a bottom plate is added, where the Shroud will be connected to.

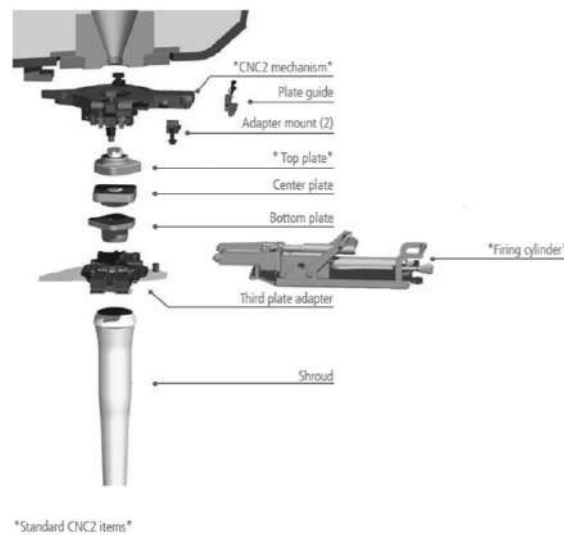


Figure 2: Stack up of refractories and mechanical parts for the CNC Shrouded.

This allows the steel plant to operate using both types of casting, shrouded and unshrouded. Also, allows the usage of either oil or flux powder as lubricant, depending upon the quality requirements.

The motivation to both plants that ran the trials conducted, was to produce higher quality steel grades, such as leaf spring for automotive industry, than their current portfolio more focused on civil construction steel grades.

## 2. Development

### 2.1 Casting Start Trials

Prior to the trials, it was studied the optimal layout for casting start. Current practice is opening the strand by pulling the rope and using oxygen lance. Doing so, it is required for the stream to stabilize and then place the Shroud within the open stream. In order to start casting directly with the Shroud, without the need to place it after casting start, trials were conducted to develop a method that requires no interference such as oxygen lancing. The layouts found on the Figure 3, Figure 4 and Figure 5 below were tried, and the optimum was placing the metal starter tube with swarf around it, in order to stabilize it in place once the molten metal reaches it. On all trials with this last layout the strand opened within 90 seconds to 150 seconds, depending on the steel temperature, among other variables.



Figure 3: First starter tube, with opened top and mortar setting.

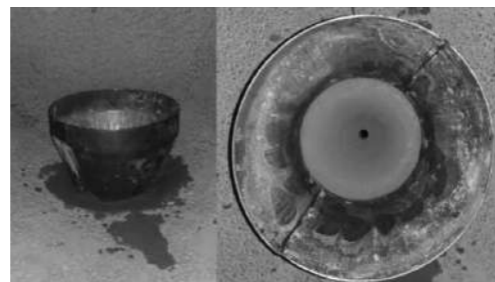


Figure 4: Second starter tube, shallow, with opened top and mortar setting.



Figure 5: Third starter tube, with 240mm height, closed top with swarf setting.

### 2.2 AM Resende Trials Set-ups and Results

The trials were conducted comparing the regular strand (number one) against the strand equipped with the system (number six at AM Resende and number five at AM B Mansa), over several times, with different set ups, as described below on Table 1.

Table 1. Trials set ups.

Trial No.	Plant	Initial Heat No.	Argon
1	AM Resende	52076	No
2	AM Resende	52255	No
3	AM Resende	56546	No
4	AM Resende	56566	Yes
5	AM Resende	56399	Yes
6	AM Resende	56424	No
7	AM Resende	56472	No
8	AM B Mansa	73592	No

Trial No.	Lubricant	Heats Cast	Shroud Used
1	Oil	3	1 x BX06240
2	Oil	7	2 x BX06240
3	Oil	6	2 x BX06240
4	Oil	7	1 x BX06240
5	Oil	6	1 x BX06240
6	Powder	5	2 x BX06083
7	Powder	6	1 x BX06083
8	Powder	5	2 x BX06083

The following data presented and discussed are relative to trial number 5 and 6.

The refractory tube was preheated to temperatures around 900°C to 1000°C. The preheating has two main reasons, first to avoid steel freezing inside the tube, and

second, to fulfill thermal requirements of the refractory for usage, as illustrated on Figure 6.



Figure 6: Thermographic image of tube during preheating.

After preheating, the refractory is placed as per the stack-up on Figure 2 and the strand is started. On the Figure 8 below it can be observed the difference of layout of the system compared to the current standard operation.

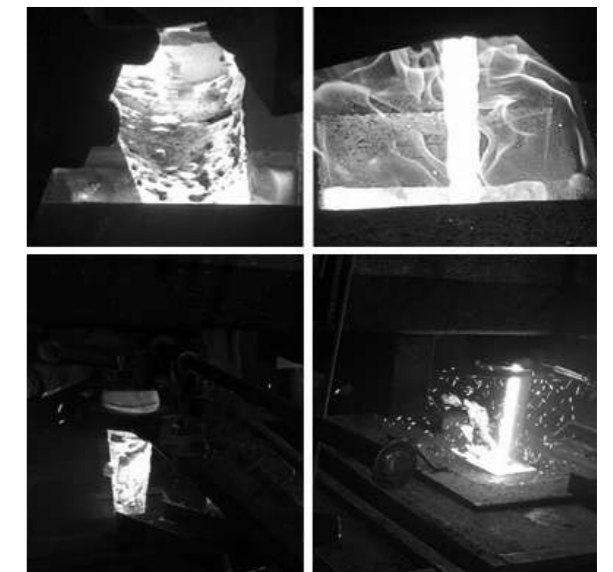


Figure 7: Casting from tundish to mold with open stream (right-hand side) and Shrouded stream (left-hand side).

Several variables were evaluated on these trials, such as mold level and casting speed, as observed below on the Figure 8, as well as the temperature after the billet passed the UED (Extraction and Unbending Unit), as observed on the Figure 9 where it may be observed that the surface temperature of strand number 6 is within the standards, which ranges from 900°C to 1100°C. An important highlight from these thermal images is that the strand of the trial showed much better thermal distribution on the billet, due to the usage of flux

powder, which controls heat transfer more homogeneously and precisely than oil.

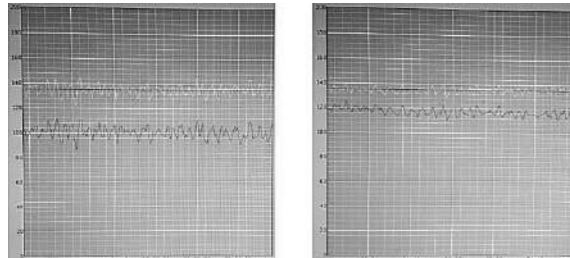


Figure 8. Comparison between strand number one (left) and strand number six (right) for trial on heat 56424 in ArcelorMittal Resende, in terms of casting speed in red (m/min – scale not shown) and mold level in yellow (mm).

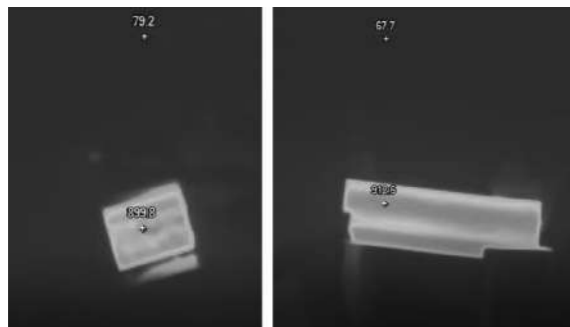


Figure 9. Thermographic images of the UED (Extraction and Unbending Unit) shows temperature within the standard range during trial No. 4, and more uniformity on temperature on the strand of the trial. Left-hand side is strand 1 (regular) and right-hand side is strand 6 (trial).

After casting, it was compared the surface quality of the billets, as seen below on Figure 10. It can be observed that it was significantly improved with the usage of the shroud combined with flux powder.



Figure 10: Comparison of a regular billet cast with opened stream (strand 1 – left) and a billet cast with CNC Shrouded with flux powder (strand 6 – right).



Figure 11: Samples of billets after blasting. Sample A was the standard open stream with oil (strand 1), Sample B was from trial number 5, cast with the shroud and oil as lubricant, and Sample C was from trial number 6, cast with the shroud and flux powder as lubricant.

After visual inspection of the billets, 3 samples were taken for blasting, as illustrated below on Figure 11. It may be observed that the surface quality improves significantly from Samples A to C, where the latter showed the best results, being cast with the CNC Shrouded combined with flux powder.

Heats number 56404 (cast with CNC Shrouded and oil) and 56428 (cast with CNC Shrouded and mold powder) were chemically analyzed on an inclusion study compared with another sample of regular casting (open stream and oil). The study consisted on analyzing 100mm<sup>2</sup> of samples, identifying inclusions of 2 microns of minimum size on an ASPEX Explorer automated SEM.

The following rules were used for classification, as seen on Table 2:

Inclusion Type	Classification Rules (At %)
MnS Rich	Mn>25 and S>10
Al Rich	Al>35
CaSi	Ca>5 and Si>5
MnSi	Mn>20 and Si>10

For this steel grade (ABNT 1026) CaSi are typically steelmaking inclusions, originated from the process, and the CaAlSi ternary diagrams below, on Figure 12, shows the amount of these inclusions on each heat:

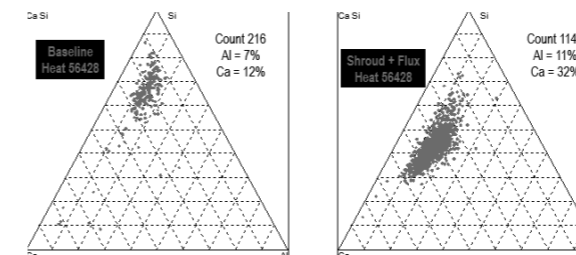


Figure 12: CaAlSi ternary diagrams comparing the strand with CNC Shrouded and mold powder against the baseline strand, with open stream and oil.

On the diagrams above it can be observed that on the trial sample the amount of inclusions is higher. However, this means that the steel was made with this level of inclusions, and that in fact they were re-oxidized on the open stream sample. In fact, the sample of the trial can be compared to a sample taken from the tundish, regarding CaSi inclusions. Further adjustments could be made on the addition of alloy elements, which also could bring savings due to less usage of Ca, in order to reduce the overall inclusion count. Unfortunately, the samples with CNC Shrouded and oil and its baseline cannot be fully comparable since they were taken from different heats, hence will not be shown on this paper.

The same results can be seen on another analysis, which is regarding MnAlSi ternary diagrams, where MnSi re-oxidation type inclusions, which are typically formed due to the contact with atmosphere, are shown. On the Figure 13 below it can be seen a comparison, with CNC Shrouded and mold powder compared to its baseline.

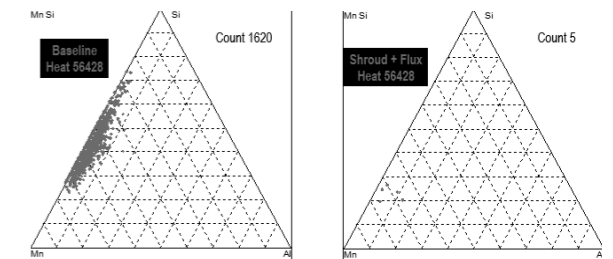


Figure 13: MnAlSi ternary diagrams comparing the strand with CNC Shrouded and mold powder against the baseline strand, with open stream and oil.

As seen above, the count of these type of inclusions are 5 on the sample strand against 1620 on the regular one, which represents 99,7% reduction. This shows the effectiveness of the system, as these kinds of inclusions are formed due to the contact of the steel with the atmospheric oxygen.

Higher CaSi and Al rich inclusions count, as well as higher percentage of Ca and Al on the final steel composition, indicate less re-oxidation in CNC Shrouded and mold powder sample. Lower MnSi count and percentage of Mn confirm the same. As per Ellingham Diagram, seen on Figure 14, oxygen activities are increasing from Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> to SiO<sub>2</sub> to MnO, thus, added MnO comes from re-oxidation. These data can be seen on the Table 3 and Table 4 below, where shows other aspects of the chemical analysis performed on the samples:

Grade	Heat	Condition	MnS Rich
1026	56428	Open + Oil	1011
1026	56428	Shroud + Flux	176

Grade	Al Rich	CaSi	MnSi	Total Oxides
1026	27	216	1620	1863
1026	62	1142	5	1209

Grade	Heat	Condition	Ca
1026	56428	Open + Oil	0.01
1026	56428	Shroud + Flux	0.25

Grade	Al	Si	Mn	S
1026	0.02	0.22	0.44	0.27
1026	0.13	0.25	0.21	0.10

Other important points to highlight is the reduction on MnS rich inclusions, which is an important control



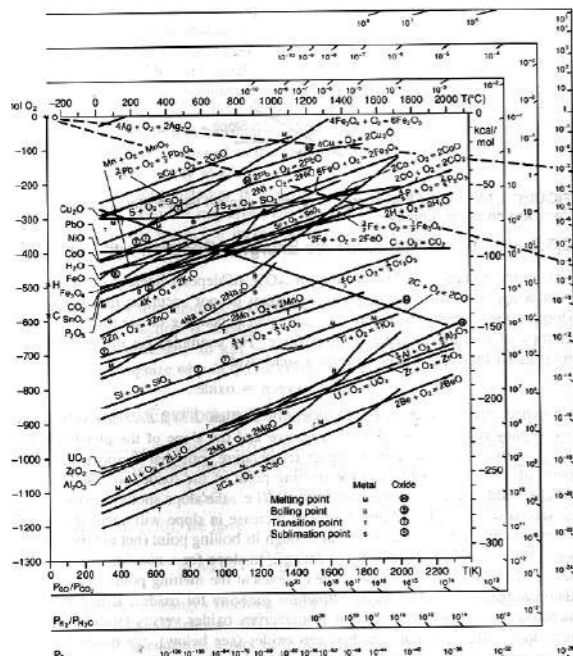


Figure 14: Ellingham-diagram for the formation of oxides based on their standard free energy of formation over temperature<sup>3</sup>.

item on the production of this steel grade, as well as an increase on alloy elements such as Ca and Al on the sample cast with CNC Shrouded and mold powder. However, more trials are recommended to confirm these phenomena.

### 2.2.1 IDC Trials Set-ups and Results

The trials were conducted comparing the regular 5th strand against the strand 4th equipped with the system with two quality, as described below.

Table 5. Trial grades

Heat	Gr	C	Si	Mn	S	Al	Ca	V	Cu
15106806	A	0,15	0,20	0,73	0,02	0,003	0,0005	0,002	0,25
15106807	B	0,11	0,19	1,33	0,01	0,003	0,0003	0,040	0,22

Figure 15: During trials



Metallurgical analysis was performed on blooms via automated and manual SEM. All samples (40x30mm) analyzed at same position.

Automated inclusion analysis;

- Bloom cross section
- 1 cm<sup>2</sup> area scanned
- Size 2-225 μm
- Chemistry size and shape.

Figure 16: Scanned area



Table 5. Trial grades Automated feature analysis (AFA), inclusion classification (Rev 5)

Inclusion type	Classification rules (At%)
MnS Rich	Mn>35 and S>10
CaSi	Ca>5 and Si>5
MnSi	Mn>35 and Si>10

Figure 16: Composition Average

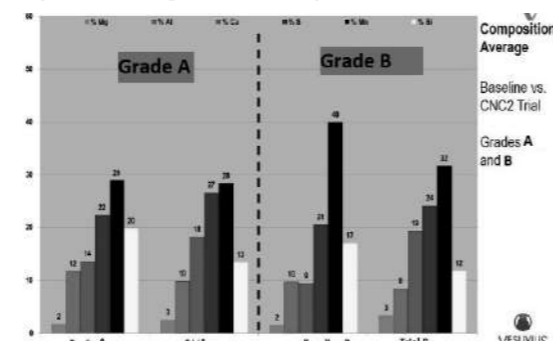


Figure 17: Type count average

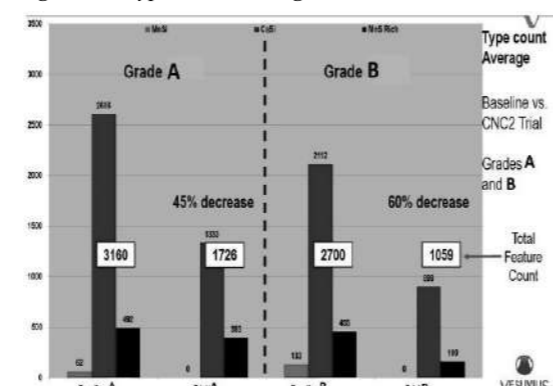


Figure 18: Ternary diagrams

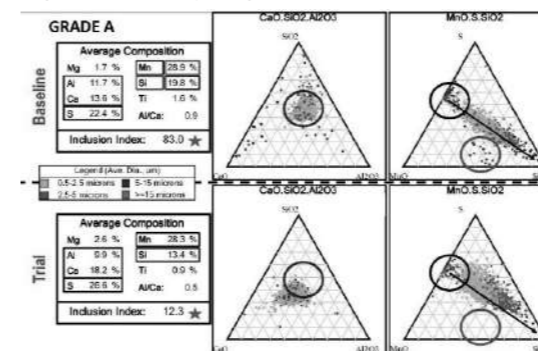


Figure 19: Ternary diagrams

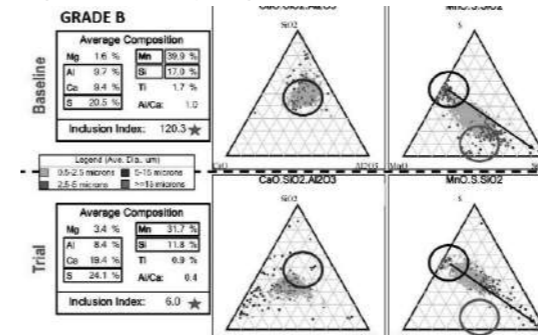


Figure 20: Feature map

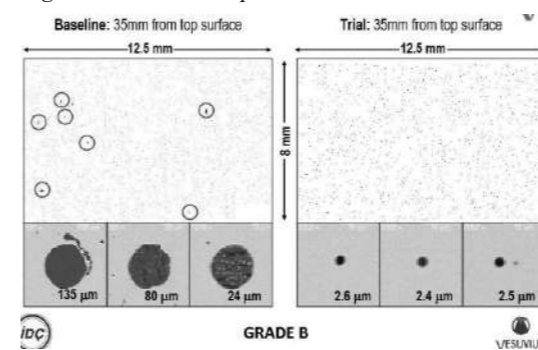
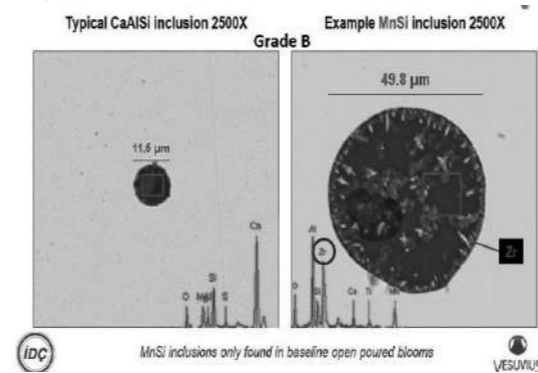


Figure 21: SEM analysis



### 2.3 Further Steps

Besides a better surface quality and inclusions level, there are more gains to be studied from this project such as metallic yield on alloys, reduction of surface scale, which will increase productiveness of the caster, and yield increase on rolling mill from a lower rejection rate due to this higher quality of the billet. However, with the results already obtained, the Steel Plants where the trials were taken will convert to this system, and more can be studied in an industrial scale.

### 3 Conclusions

Lower inclusion count on shrouded blooms

- 45% fewer features on grade A.
- 60% fewer features on grade B.
- Lower inclusion area on shrouded blooms.

Reoxidation noted only on baseline open poured blooms.

- Ternaries show higher Mn+Si oxide content.
- Manganese silicate inclusion size up to 135 μm.
- Zirconia from metering nozzle observed in these inclusions.

Casting with mold powder in a Shrouded stream enhances quality, as mold level variations are narrower, as well as steel contact with the atmosphere and oxygen are virtually inexistent. There is a much cleaner and safer environment by using a shrouded stream against an opened stream, due to oil droplets and the steel flow being protected.

The billets were approved by the better surface quality, as well as for inclusion analysis, which showed great effectiveness of the system, and further trials will be conducted to evaluate macrography of the billet and to capture more gains from this project.

### 4 Acknowledgments

We would like to thank Mr. Roger Maddalena and his former staff at Vesuvius Pittsburgh R&D Center for the report prepared on Inclusion Study and SEM Analysis, which was paramount for the understanding and quantification of the improvements.

We would also like to thank all team from the continuous casting machines of Barra Mansa, Resende, IDC plants, who collaborated significantly for the trials to be performed.

## References

- [1] Seetharaman S, McLean A, Guthrie R, Sridhar S. Treatise on Process Metallurgy Volume 2: Process Phenomena. Elsevier. 2014.
- [2] Yuan Q, Thomas B. Transport and Entrapment of Particles in Continuous Casting of Steel. 2005. Available from: [http://ccc.illinois.edu/PDF%20Files/Reports05/paper\\_3rdicsts\\_2005\\_yuan\\_rev96.pdf](http://ccc.illinois.edu/PDF%20Files/Reports05/paper_3rdicsts_2005_yuan_rev96.pdf)
- [3] Evans, J.W., De Jonghe, L.C., The Production of Inorganic Materials, Macmillan, New York, N.Y., 1991.

## Farklı İzolasyon Pratiği ve Tuğla Örümü Uygulanan Çelik Potalarının Pota Ocağı Enerji Verimliliğine Etkisi

*The Effects of Different Isolation Practice and Brick Type of Steel Ladles on Energy Efficiency of Ladle Furnace*

Oğuzhan Sakarya, Burak Ekin, Uğur Cengiz, Muammer Bilgiç

Bilecik Demir Çelik San. ve Tic. A.Ş. • Türkiye

### Abstract

In this study, the effect of the insulation practice and the type of refractory bricks on the heat loss of liquid steel in the ladles was investigated. Prevention of heat loss in ladles is an important parameter on both of the tapping temperature of the Induction Furnaces and operating time and energy consumption of Ladle Furnace (LF). Accordingly, it was aimed to save energy in the LF due to reduce the heat loss from ladles via using insulating materials which have different thickness and thermal conduction coefficient together with MgO-C and Dolomite refractory bricks.

In this context, the parameters such as temperature differences between the tapping temperature and the inlet temperature of LF, the outlet temperatures of LF, working time and the energy consumption were recorded, and analyzed with the isolation-brick differences.

As a result; Dolomite ladle offers higher energy efficiency than MgO-C ladle due to the properties of Dolomite bricks. However, the type of brick is not only parameter for good insulation and energy efficiency. Due to the insulation materials that provide better thermal insulation, the energy spent in MgO-C ladles for heating 1°C of liquid steel was reduced by 6% while in Dolomite ladles was reduced by 3%.

### Özet

Bu çalışmada, BDC'de kullanılan çelik potalarında uygulanan izolasyon pratiğinin ve örülen tuğla cinsinin potadan sıvı çelik sıcaklığı kaybına olan etkisi incelenmiştir. Çelik potalarında sıcaklık kaybını önlemek hem İndüksiyon Ocakları'nın döküm devirme sıcaklığı hem de Pota Ocağı çalışma süresi ve enerji tüketimi üzerinde etkin bir parametredir. Bu doğrultuda, çelik potalarında MgO-C ve Dolomit olmak üzere iki farklı pota tuğlasıyla birlikte farklı kalınlık ve farklı ısı iletim katsayılarına sahip pota izolasyon malzemelerinin kullanılmasıyla potalardan sıcaklık kaybının azaltılarak Pota Ocağında enerji tasarrufu sağlanması amaçlanmıştır.

Bu kapsamda, Döküm devirme ve Pota Ocağı girişi arasındaki sıcaklık farkları, Pota Ocağı çıkış sıcaklıkları,

çalışma süresi ve harcanan enerji gibi parametreler kayıt altına alınmış ve izolasyon-tuğla farklarıyla birlikte incelenmiştir.

Sonuç olarak; Dolomit bir pota Dolomit tuğlaların özelliği gereği MgO-C potalara göre daha yüksek enerji verimliliği sunmaktadır. Ancak iyi bir izolasyon ve enerji verimliliği için tuğla cinsi tek etken değildir. Daha iyi ısı yalıtım sağlayan izolasyon malzemeleri sayesinde MgO-C potalarda sıvı çeliği 1°C ısıtılmak için harcanan enerji %6 düşürülürken Dolomit potalarda ~%3 düşürülmüştür.

### 1. Giriş

Uluslararası yayınlanan enerji raporlarında, son yıllardaki CO<sub>2</sub> emisyonlarındaki düşüşün büyük bir kısmının geliştirilen enerji tasarrufu teknolojileri sayesinde olduğu belirtilmektedir. Enerji tasarruf uygulamaları, çoğunlukla yüksek enerji tüketiminden dolayı sanayi sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır [1]. Bununla birlikte, endüstriler toplam küresel enerji tüketiminin yaklaşık %37'sinden ve günümüzde çevresel etkilerin büyük bir kısmından sorumlu olduğundan, bu uygulamaları geliştirmek için hala birçok fırsat bulunmaktadır [2].

Demir-Çelik endüstrisi gibi yüksek sıcaklık süreçleriyle çalışan endüstriler, üretim süreçleri sırasında düşük ısı kayıpları elde edebilmek için verimli ısı yönetim kontrol sistemlerinin kullanılması ve bu sistemlerin geliştirilmesi için enerji tasarrufu teknolojilerine yatırım yapmaktadırlar. Dünya Çelik Birliği'ne göre, CO<sub>2</sub> emisyonlarının %7'si demir ve çelik üretiminden kaynaklanmaktadır [3]. Bu nedenle, çelik üreticileri, modern çelik ürünlerine olan talebin artması ve çevresel etkileri nedeniyle çelik üretimindeki enerji tüketimini azaltmak için yeni stratejiler aramaktadır. Çelik üretim süreçlerindeki enerji çözümlerinin çoğu, tüm fırınlarda, potalar ve tandişlerdeki refrakter ve izolasyon tasarımının uygun olmasına direkt bağlıdır. Bu sayede ısı kayıpları kontrol altına alınabilir ve bir ton çelik başına spesifik refrakter tüketimi azaltılabilir.

Özellikle çelik potaları çelik üretiminde önemli bir rol oynamaktadır. Potalar, sıvı metali ana ergitme biriminden (*indüksiyon ocağı*) önce ikincil metalürjik işlem birimine (*LF*) sonra da sürekli döküm makinesine (*SDM*) aktarmak için kullanılan çok işlevli kaplardır. Potalar, sıvı metali



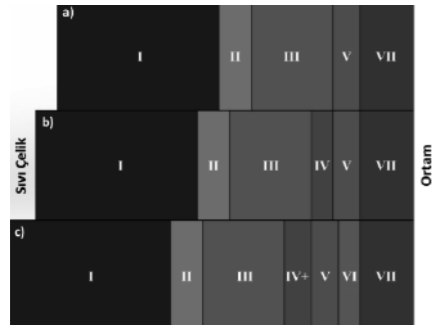
içerisinde tutarken aynı zamanda alaşımlama, gaz giderme ve yeniden ısıtma işlemlerinin gerçekleştirilmesine olanak sağlarlar [4,5]. Çelik potalarının refrakter ve izolasyon optimizasyonlarının doğru olarak yapılması için üretim süreçleri boyunca oluşan parametrelerin, enerji tüketiminin ve ısı dengenin iyi gözlemlenip doğru anlaşılması oldukça büyük bir öneme sahiptir. Çelik potaları üretim süreçleri içerisinde döngüsel olarak çalışırlar ve bunlar dolu (sıvı metal var iken) ve boş olmak üzere iki durumda bulunurlar. Her iki durumda da karşımıza fiziksel ve kimyasal olarak farklı etmenler çıkar ve potanın döküm sayısına bağlı olarak pota refrakterleri (tuğlalar) başlangıç kondisyonlarına göre değişiklik (aşınma) gösterirler. Her pota döngüsünün enerji tüketimi; içerisinde sıvı çeliğin beklediği durumda sıvı çelik tarafından kaybedilen ısı miktarına (bu ısı kayıplarını geri kazanmak için gereken ekstra enerji tüketimi dikkate alınarak) ve ısıtma basamaklarında harcanan enerji miktarına göre tahmin edilebilir.

Tüm bu etkenler göz önünde bulundurulduğunda bu çalışma kapsamında, BDÇ'de kullanılan 35 ton kapasiteye sahip çelik potalarında ısı kayıplarını azaltmak ve pota ocağı enerji kullanımını daha verimli kılabilmek için pota izolasyon katmanları ve örülen pota tuğlalarının cinslerinin ısı kayıpları üzerindeki etkileri incelenmiştir.

## 2. Deneysel Çalışmalar

### 2.1. Malzemeler

BDÇ bünyesinde kullanılmakta olan çelik potalarında, enerji verimliliği sağlanması ve ısı kayıplarını azaltılması amacıyla farklı izolasyon malzemeleri kullanılarak üç farklı tipte izolasyon pratiği uygulanmıştır. Potaların yan duvar katmanlarının görünüşü *Şekil 1*'de ve taban katmanlarının görünüşü *Şekil 2*'de verilmiştir.



**Şekil 1.** a) Standart izolasyon, b) ilave katmanlı izolasyon ve c) ilave iki katmanlı izolasyon tiplerindeki pota yan duvar katmanları

Pota yan duvarı katmanlarının isimleri, et kalınlıkları ve ısı iletkenlik katsayıları *Tablo 1*'de verilmiştir. Buna göre; *Şekil 1a*'daki konfigürasyonda toplam pota duvar kalınlığı

317 mm olur iken *Şekil 1b* konfigürasyonu için 323 mm ve *Şekil 1c* konfigürasyonu için de 332 mm olmaktadır.



**Şekil 2.** a) Standart izolasyon, b) ilave katmanlı izolasyon ve c) ilave iki katmanlı izolasyon tiplerindeki pota taban katmanları

**Tablo 1.** Pota yan duvar katmanlarının isimleri, et kalınlıkları ve ısı iletkenlik katsayıları

	Malzeme Adı	Kalınlık (mm)	Isıl İletkenlik Katsayısı (W/K <sup>o</sup> m)
<b>I</b>	MgO-C/ Dolomit Tuğla	150	3,64/2,05
<b>II</b>	Toz Dolgu	30	2,5
<b>III</b>	%80 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Emniyet Tuğlası	76	0,95
<b>IV/IV+</b>	Nefalit 16	6/10	0,30
<b>V</b>	1000°C Mikroporoz	11	0,03
<b>VI</b>	1100°C Mikroporoz	5	0,034
<b>VII</b>	Pota Sacı	50	52

*Şekil 2*'de taban katmanları gösterilen potaların katman isimleri, et kalınlıkları ve ısı iletkenlik katsayıları ise *Tablo 2*'de verilmiştir.

**Tablo 2.** Pota taban katmanlarının isimleri, et kalınlıkları ve ısı iletkenlik katsayıları

	Malzeme Adı	Kalınlık (mm)	Isıl İletkenlik Katsayısı (W/K <sup>o</sup> m)
<b>I</b>	MgO-C/ Dolomit Tuğla	250	3,64/2,05
<b>II</b>	Toz Dolgu	10	2,5
<b>III</b>	%80 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Emniyet Tuğlası	181	0,95
<b>IV/IV+</b>	Nefalit 16	6/10	0,30
<b>V</b>	1000°C Mikroporoz	11	0,03
<b>VI</b>	1100°C Mikroporoz	5	0,034
<b>VII</b>	Pota Sacı	50	52

*Tablo 2*'deki et kalınlığı değerleri incelendiğinde *Şekil 2a*'da belirtilen taban konfigürasyonu için toplam kalınlık 502 mm olur iken *Şekil 2b* ve *Şekil 2c* konfigürasyonları için sırasıyla 508 mm ve 517 mm olmaktadır.

### 2.2. Yöntem

Yukarıda konfigürasyonları (*Şekil 1* ve *Şekil 2*) ve kullanılan malzemelerin özellikleri (*Tablo 1* ve *Tablo 2*) verilen izolasyon pratiklerinin pota ocağı enerji verimliliğine etkisini belirlemek adına potaların kaybettiği enerji miktarları ve pota yüzeyine ilettiği sıcaklıklar Fourier Kanunu (*Eşitlik 1*) ile hesaplanarak üretim süreci verileriyle karşılaştırılmıştır.

$$Q_{kayıp} = Q_{kayıp-yan\ yüzey} + Q_{kayıp-taban} + Q_{kayıp-yayınım} \quad (1)$$

*Eşitlik 1* kullanılarak Pota Yan Yüzeyleri, Taban Yüzeyi ve Pota ağzından kaybedilen ısı miktarı hesaplanarak izolasyon katmanları arası sıcaklıkları tek tek belirlenmiştir. Bu hesaplamalar yapılırken kullanılan sabitler *Tablo 3*'de verilmiştir.

**Tablo 3.** Varsayılan katsayı ve sabitler

Isıl İletkenlikler	Değer
Cüruf ( $\lambda_{cüruf}$ )	1.21 W/K <sup>o</sup> m
Sıvı Çelik ( $\lambda_{sıvı\ çelik}$ )	41 W/K <sup>o</sup> m
<b>Isı Transfer Katsayıları</b>	
Sıvı çelik ( $\alpha_{sıvı\ çelik}$ )	7000 W/K <sup>o</sup> m <sup>2</sup>
Ortam ( $\alpha_{hava}$ )	50 W/K <sup>o</sup> m <sup>2</sup>
<b>Yayınım Sabitleri</b>	
Cüruf ( $\epsilon_{cüruf}$ )	0.60
Sıvı Çelik ( $\epsilon_{sıvı\ çelik}$ )	0.40
Boltzman Sabiti ( $\sigma$ )	5.67x10 <sup>-8</sup> W/m <sup>2</sup> oK <sup>4</sup>
<b>Üretim Süreci Değerleri</b>	
T <sub>ortam</sub>	25°C
T <sub>sıvı çelik</sub>	1628°C
Cüruf Kalınlığı ( $t_{cüruf}$ )	150 mm

### 3. Sonuçlar ve Tartışma

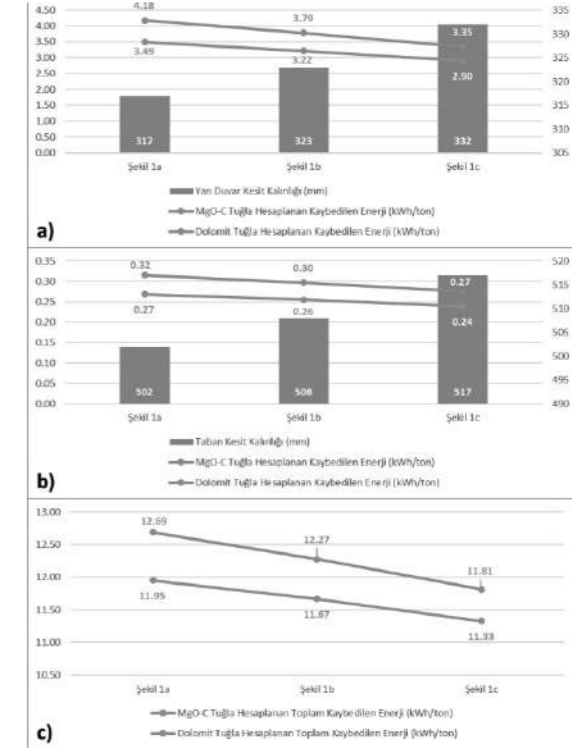
$$Q_{kayıp-yan\ yüzey} = q_{iletim-yy} + q_{yayınım-yy} + q_{yayınım-yy} \quad (2)$$

$$Q_{kayıp-taban} = q_{iletim-t} + q_{yayınım-t} + q_{yayınım-t} \quad (3)$$

*Şekil 1* ve *Şekil 2*'de gösterilen pota yan duvar ve taban izolasyon konfigürasyonlarının ve tuğla cinsinin kaybedilen enerji miktarına etkisi *Eşitlik 2* ve 3 kullanılarak hesaplanmıştır. Potalarda toplam kaybedilen enerji *Eşitlik 1* kullanılarak hesaplanmış ve *Şekil 3c*'de verilmiştir.

*Şekil 3c*'ye göre standart izolasyon (*Şekil 1a* ve *Şekil 2a*) olan bir potada sadece tuğla cinsi bile değiştirildiğinde toplamda %5.8 değerinde bir enerji tasarrufu sağlanması mümkün görünmektedir. *Şekil 1c*'de gösterilen duvar konfigürasyonuna sahip MgO-C potalarda yan yüzeyden %19.9 enerji tasarrufu sağlanabilirken Dolomit potalarda yan yüzeyden %17 enerji tasarrufu sağlanabileceği hesaplanmıştır. Aynı konfigürasyona sahip MgO-C potalardan toplam %6.9 Dolomit potalardan ise %5.2 enerji tasarrufu sağlanabilmektedir. Bu noktada, yan duvar tasarruf miktarları ile toplam tasarruf miktarları arasındaki

fark dikkat çekmektedir. Bu fark, *Eşitlik 1*'de de yer alan ve  $Q_{kayıp-yayınım}$  olarak tanımlanan radyasyon (ışınım) yoluyla pota üst yüzeyinden kaybedilen büyük miktarda ısı kaybından kaynaklıdır ve cüruf kalınlığı, pota kapağı kullanıp kullanmama vb. parametrelere bağlıdır.



**Şekil 3.** Farklı tuğla ve farklı izolasyon konfigürasyonları için hesaplanan a) yan duvar, b) taban ve c) toplam enerji kayıpları

Pota yan yüzeyinde gerçekleşen enerji kayıplarına paralel olarak pota yan yüzeyinde oluşan sıcaklıkların da incelenmesi önemlidir. Bu noktada termal kamera yardımıyla ölçülen yan yüzey sıcaklıkları hesaplanan sıcaklıklarla birlikte *Tablo 4*'de verilmiştir.

**Tablo 4.** Ölçülen pota yan yüzey sıcaklıkları

Konfigürasyon	MgO-C		Dolomit	
	Ölçülen Sıcaklık (T <sub>o</sub> , °C)	Hesaplanan Sıcaklık (T <sub>h</sub> , °C)	T <sub>o</sub> (°C)	T <sub>h</sub> (°C)
Şekil 1a	286.7	285.1	265.0	259.0
Şekil 1b	270.8	269.9	280.5	248.2
Şekil 1c	262.8	253.0	245.5	235.8

Potaların yan yüzey sıcaklıkları ve kaybedilen enerji miktarları incelendiğinde izolasyon seviyesi artırıldığında enerji tasarrufu miktarı artırılırken aynı zamanda yüzeye iletilen sıcaklıkların azaldığı görülmektedir. *Tablo 4*'de

hesaplanan ve ölçülen sıcaklık değerleri arasındaki farklar; (1) çalışma tuğlalarının (*MgO-C/Dolomit*) döngüsel süreç içerisinde aşınması ve (2) emniyet tuğlalarının aşınma ya da zamanla ömrünü tamamlamasıyla açıklanabilir.

#### 4. Sonuç

Bu çalışma kapsamında BDÇ'de kullanılan çelik potalarının izolasyon seviyeleri, farklı ısıl iletkenlik katsayısına sahip malzemeler ve farklı tuğla cinsleriyle artırılmıştır. Çalışma sonucunda sadece tuğla cinsinin değiştirilmesinin bile toplam enerjide %5.8 tasarruf sağlayabileceği görülmüştür. Ancak tuğla cinsi değişimi tek başına yeterli bir izolasyon yöntemi olmamaktadır çünkü çalışma tuğlasının zamanla aşınmasının ısı iletiminin neden olmaktadır. Bu nedenle üretim sürecinde yer alan potalarda zamanla içten dışarıya doğru ısı iletimi fazlalaşacaktır. Bu durumun etkilerine azaltabilmek için farklı ısı iletim katsayısı ve farklı kalınlıklara sahip izolasyon malzemeleri kullanılmıştır (*Tablo 1 ve Tablo 2*).

Şekil 3'de görüleceği üzere uygulanan en yüksek izolasyon seviyesi (*Şekil 1c ve Şekil 2c*) için MgO-C tuğlalarla yaklaşık %6.9 Dolomit tuğlalarla yaklaşık %5.2 toplam enerji tasarrufu sağlanması hesaplanmıştır.

Üretim sürecimizin verilerine bakıldığında ise standart izolasyona (*Şekil 1a ve Şekil 2a*) sahip MgO-C tuğlalı bir potadaki sıvı çeliği 1°C ısıtılmak için 21.58 kWh enerji harcanmışken en yüksek izolasyon seviyesinde ~%6 düşürülerek 20.28 kWh'ye indirilmiştir.

Standart izolasyona sahip Dolomit tuğlalı bir potadaki sıvı çeliği 1°C ısıtılmak için 20.23 kWh enerji harcanmıştır. En yüksek izolasyon seviyesindeyken bu değer ~%3 düşüşle 19.62 kWh olmuştur.

Enerji kullanımı yüksek olan demir çelik endüstrilerinde sürdürülebilir bir üretim süreci için enerji kullanımının verimli hale getirilmesi sürekli gündemde olan bir konudur. Bu nedenle bu tip çalışmaların artırılması ve sistem içerisindeki enerji kaybedilen yerlerin tek tek tespit edilip nedenlerinin belirlenerek uygun çözümlerin uygulanması oldukça önemli verimlilik adımlarıdır.

#### Kaynakça

- [1] International Energy Agency, Energy, Climate Change & Environment, 2016  
 [2] E.A. Abdelaziz, R. Saidur ve S. Mekhilef, Renewable Sustainable Energy Review, 15 (2011) 150–168.  
 [3] B.B. Ciftci, Global steel industry: outlook, challenges and opportunities, 5<sup>th</sup> International Steel Industry and Sector Relations Conference, 20 April 2017, Istanbul, Turkey.  
 [4] T. Fredman, H. Saxen, Metallurgical and Materials Transactions B, 29 (1998) 651–659.

[5] A.V. Zabolotskii, Refractories and Industrial Ceramics, 51 (2010) 263–266.

## High Tundish Life and Steel Cleanless

Ziya Cirit

Sheffield Hi-Tech Refractories • Germany

### Abstract

More than 16 hours casting time with 1 tundish became standart application for Turkish Steel Producers. It was normal practise for open casting in history but now it is also normal practise for closed casting as well in Turkey. On the other hand customer's steel cleanless requests are increasing day by day

### 1. Introduction

Some literatures clarify Steel Cleanless as "Clean steel is a general concern and an operating philosophy. Control of re-oxidation at the different stages of steelmaking and casting are essential to attain the required quality of products." We also agree with this clarification.

Besides Steel Cleanness requesting low cost is also another important expectation in the Market due to top level competition. Turkish Steel producers provided less cost with high Tundish life. For example, casting 7.500-ton liquid steel is normal application for 1 plant while casting 45 heats with 1 Tundish achieved in another slab producer. Knowing that reached 30 heats with 1 tundish in closed casting for billet producer.

We are trying to give advise to Steel Producers, how they can keep high-level Steel Cleanness along a long casting time.

**This literature focus on only practical suggestions.** Deep Makroinclusion studies and investigations must be done for the future.

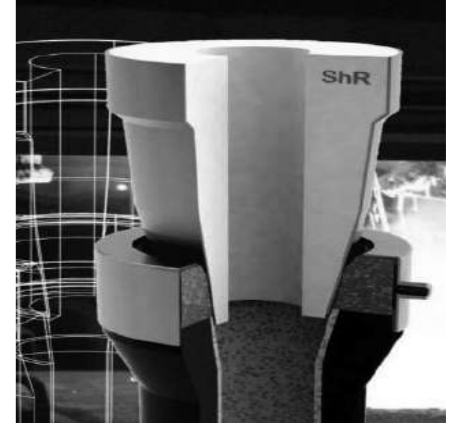
### 2. Tundish Applications

#### 2.1 Ladle Shroud Design

Min % 50 re-oxidation occurs during pouring liquid steel from ladle to Tundish. So that, the correct Ladle shroud design is too important thing to decrease re-oxidation

- 1- Collector Nozzle penetration depth into Ladle Shroud should be 40 – 60 mm

- 2- Ladle Shroud immersion depth to liquid steel should be min 200 mm to provide long life and better flow distribution.
- 3- There are many designs for LS head but still the older Y shape LS provides better erosion resistance and stable condition for long casting times.



- 4- Cleaning LS heat by heat with correct tools are also very important to effect LS life. We suggest using shower type cleaning tool



- 5- Reverse Taper type LS design provides submerged opening and less waves on the tundish surface

### 2.1 Ladle Shroud Ar Blowing Design:

Mainly there are 3 kind of design to blow Ar between LS and Ladle CN

- 1- Slot Type
- 2- Groove Type
- 3- Porous Type

We suggest Steel Producers to use the Porous Type LS due to long life expectation. Because especially as the cleaning practice effects less than the others, which provide equal result for first and 10<sup>th</sup> heat of LS



### 2.2 Measuring N Pick up

Measuring N pick up between Ladle Furnace to Tundish/mould still easiest way to clarify Re-oxidation condition in Continuous Casting process. We suggest regularly checking it and using the data to understand improvements of Plant

Especially for slab casters taking a sample from a mould gives a clearer picture for steel producers.

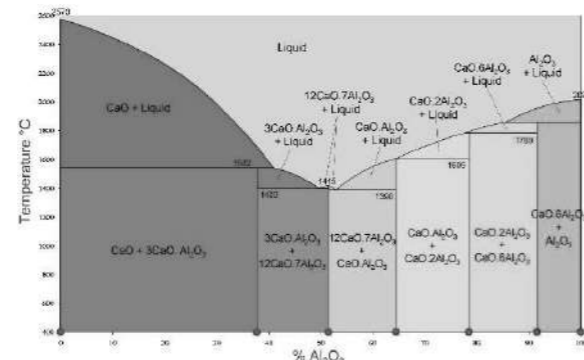
The Target should be providing 5 -6 ppm N pick up in Continuous Casting Process.

### 2.3 Tundish, Tundish Metallurgy and Tundish Furniture Design

Choosing the correct tundish design which provides a lesser death zone and less short cuts to the mould is very important. Detailed studies should be made to clarify the correct tundish itself design especially during the project step of new plants.

Using slag detection systems is also very important equipment against slag carry over problem from ladles. it is very important equipment especially for closed casting.

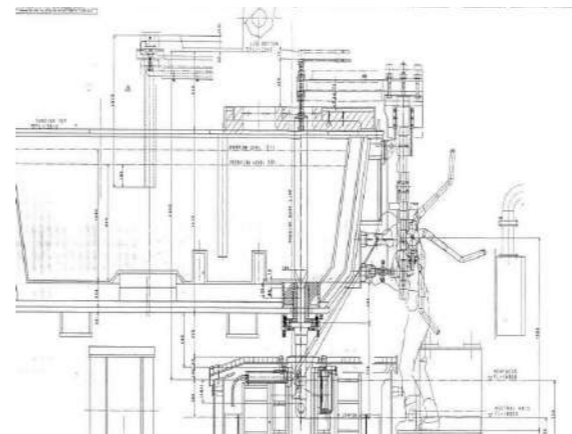
Using Ca-Aluminate based Tundish powder is also beneficial way to increase Steel cleanness.



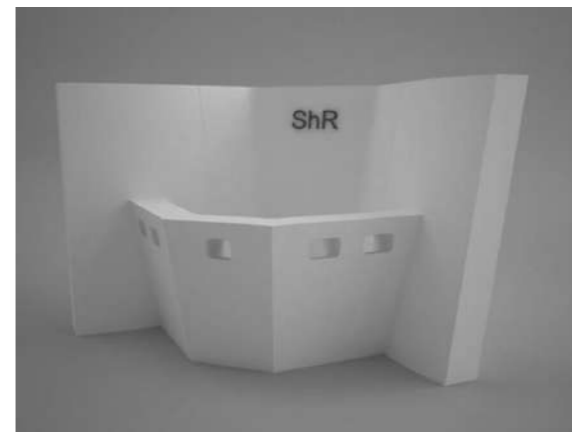
On the other hand Ca-Aluminate based Tundish powders creates a high level erosion on the body of Tundish refractories. Should work with Refractory companies to change designs and mixes to provide still long life



Careful studies must be done to decide the correct Tundish Furniture selection. Liquid steel should reach the surface in a short time without creating any surface waves besides remaining time of liquid steel in the tundish should be increased without creating any death zone.



There isn't 1 certain way to achieve correct flows in Tundish. Should work on it together with Refractory companies about finding correct design for your own tundish.



### 3. Tundish To Mould Flow Control Systems

A lot of Steel producers prefer using Stopper Control system in Turkey

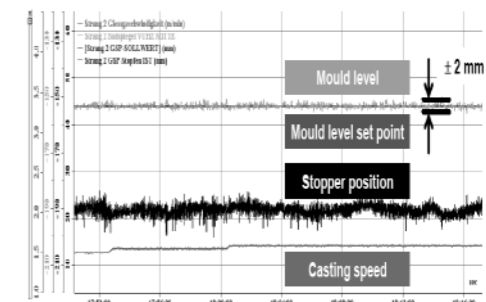
- ✓ Erdemir (Slab)
- ✓ İsdemir (Slab+Billet)
- ✓ Kardemir (Billet+Beam Blank)
- ✓ Çolakoğlu (slab)
- ✓ Habaş (Slab)
- ✓ Tosçelik (slab)
- ✓ Asilçelik (Billet+round)
- ✓ Cemtas (Billet)
- ✓ Kroman (Billet)
- ✓ Özkan (Billet)
- ✓ Egeçelik (Billet)

Stopper Systems certainly provides more tight casting, less mould fluctuations and equal steel flow into the mould.

The most important thing is that Stopper systems provides long casting time while there is limited life for plates systems especially due to hole erosion.



Additionally, Stopper systems are more suitable for providing higher quality requests. For example designing SEN instead SES+IN design certainly creates more tightness

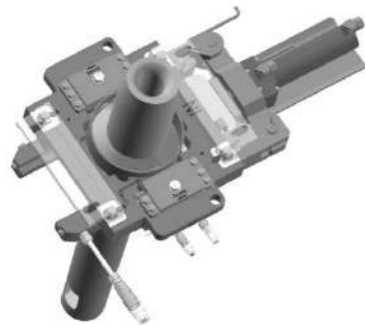


### 4. Tundish Tube Changer System, TC-12

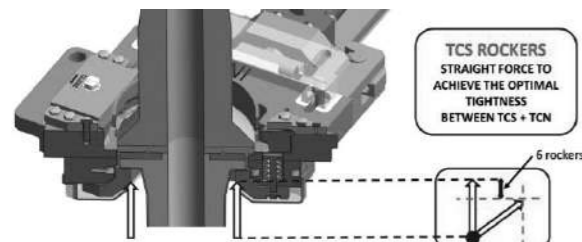
Tube-changer is an essential tool to increase Tundish life in slab casters. But using the correct Tube-Changer is very important to provide the expected Steel Cleanless level

There are several systems in on the Market from each company, we believe that SHR TC-12 is one of the best

which is designed for providing long casting time with the same tightness level after each SES changing operation



Straight force to achieve optimal tightness between IN and SES just one of the advantages of the new generation TC-12 Tube changer system

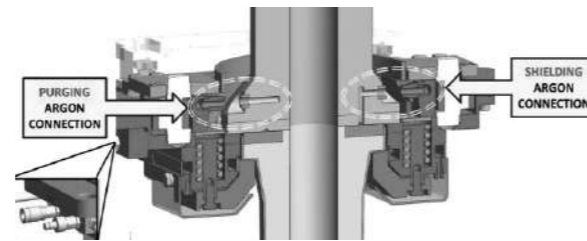


Site results show that the SHR TC-12 tube changer creates a tight casting condition. 0,10 bar backpressure on the shielding line with only 0,4 l/min Ar flow observed during usage of SHR TC-12 system.



Also tightness was stable even after the 3<sup>rd</sup> - 4<sup>th</sup> SES changing operation.

The other important development is Ar locking system, which is another reason why it achieves a tight casting condition



### 5 . Argon Box

Blowing Ar is still an important application to provide tightness between LS&CN and SES&IN and also using Ar from Stopper and IN against clogging affects and creating positive pressure in the refractory surface is important as well.

Providing always positive pressure on the line is essential for steel cleanness.

Because of that reason, we suggest all steel producers to have an Argon box for Ladle Shroud and also Tundish to mould flow applications.

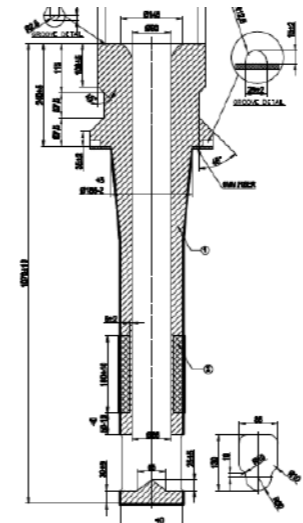


### 6 . Mould Metallurgy

Choosing the correct mould powder is necessary to improve steel cleanness and create stable casting condition. Correct mould powder should match Steel grades and casting speeds.

Mould metallurgy is also another big discussion to provide defect free casting

We suggest Steel producers to open new refractory ideas to develop steel flow in the mould.



### 6. Results and Discussion

Achieve low cost with higher steel cleanness level will become more and more important in the market. Detailed R&D researches must be done in the future

We suggest Steel producers to work together on the following :

- 1- Re-check existing refractory designs
- 2- Re-built practices to achieve long life with high steel cleanness
- 3- Engineering solutions for Tundish furniture
- 4- Working on Tundish powders to improve cleanness without decreasing tundish life
- 5- Selecting a correct flow control system from Tundish to mould
- 6- Using new generation more tight a Tube changer systems for slab caster.
- 7- Checking alternative Submerged Entry Nozzle/Shroud designs

### References

[1] Arcelor contribution to the IISI Steel Cleanness WG literature survey: control of steel re-oxidation and CC nozzle clogging, M. Nadif, M. Burty, H. Soulard, M. Boher, C. Pussé, J. Lehmann, F. Ruby-Meyer, MA. Guiban (Arcelor)

[2] AISI, Technical Committee on Metallurgy – Steel Making and casting, April 1997

## Elektrik Ark Ocağı Curufunun Geri Kazanım Amaçlı Ayrıştırılıp Sınıflandırılması İşlemlerinden Sonra Yapısal Beton Agregası Olarak Kullanılması

*Recycling Electric Arc Furnace Slag as Structural Concrete Aggregate after Separation and Classification*

Reza Jahangiri<sup>1</sup>, Halit Yazıcı<sup>1</sup>, Ahsanollah Beglarigale<sup>2</sup>, Mehmet Ali İrfan Akyol<sup>3</sup>, Şanver Derin<sup>4</sup>, Raif Evlek<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Dokuz Eylül Üniversitesi, <sup>2</sup> İstanbul Okan Üniversitesi, <sup>3</sup>Ege Demir Geri Kazanım, <sup>4</sup>Dere Beton Hazır Beton ve Yaş Sıva San. • Türkiye

### Abstract

Replacement of waste electric arc furnace slag with a part of natural aggregate in concrete production has environmental and the economic beneficial. In this study, the usability of electric arc furnace slag as fine and coarse aggregate in concrete has been investigated. Some parts of the results of the TÜBİTAK-TEYDEB research project that was carried out by Egedemir - Dere Beton companies are presented here. Limestone aggregate was used as a natural aggregate. Due to expansion and some similar problems, the use of slag as aggregate in structural concrete has practically remained very limited yet. Electric arc furnace slag obtained from the Ege Demir Recovery Area that was waited and aged for years under atmospheric conditions (Y-EAFC) was ground and classified in 0-4 mm, 4-12 mm and 12-22.5 mm in size. The second used type of slag is fresh and ageless ones (T-EAFC): Fresh slag taken from Ege Demir Electric Arc Furnace without additional retention was ground and classified in 0-4 mm, 4-12 mm and 12-22.5 mm size too. C30/37 class concretes were prepared by replacing the limestone aggregate with slag in different ratios (20%, 40%, 60%). The fresh and hardened state properties and mechanical characteristics of concretes were determined. It was revealed that the slag investigated in this study, can be used in structural concrete production in certain proportions as fine and coarse aggregate.

### ÖZET

Atık cürufun beton üretiminde doğal agreganın bir kısmının yerine kullanılması hem çevresel fayda hem de ekonomiye katkı sağlamaktadır. Bu çalışmada, Elektrikli Ark Ocağı Cürufunun betonda ince ve kaba agrega olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Egedemir - Derebeton firmaları tarafından gerçekleştirilen TÜBİTAK-TEYDEB araştırma projesinin sonuçlarının bir kısmı burada sunulmuştur. Doğal agrega olarak kireçtaşı agregası kullanılmıştır. Cürufun yapısal betonlarda agrega olarak kullanılması genleşme vb. bazı problemlere yol açması nedeniyle uygulamada çok sınırlı kalmış henüz yaygınlaşmamıştır. Ege Demir Geri Kazanım sahasından alınan elektrik ark ocağı cürufu (atmosfer şartlarında yıllarca beklemiş ve yaşlanmış cüruf (Y-EAFC) 0-4 mm, 4-12 mm ve 12-22.5 mm boyutlarına getirilecek şekilde kırılıp, sınıflandırılmıştır. Kullanılan ikinci tür cüruf taze,

yaşlanmamış cüruftur (T-EAFC): Ege Demir elektrik Ark fırından taze halinde alınan cüruflar ek bir bekleme süresine tabi tutulmadan, 0-4 mm, 4-12 mm ve 12-22.5 mm boyutlarına getirilecek şekilde kırılıp, sınıflandırılmıştır. C30/37 beton sınıfında yapısal betonlar hazırlanmıştır. Bu betonlarda ince ve kaba agrega olarak farklı oranlarda (%20,%40,%60) kireçtaşı agregasının yerine cüruf ikame edilmesi ile yapısal betonun taze ve sertleşmiş hal özellikleri ile mekanik özellikleri incelenmiştir. Bu çalışma ile araştırılan atık durumundaki cürufun yapısal beton üretiminde belirli oranlarda agrega olarak değerlendirmesinin mümkün olabileceği ortaya konmuştur.

### 1. Giriş

Agregalar tipik olarak beton hacminin yaklaşık %75'ini oluşturur ve işlenebilirlik, kuvvet, boyutsal stabilite ve dayanıklılık gibi farklı beton özelliklerinde önemli bir rol oynar. Geleneksel beton, ince agrega olarak kumdan ve kaba agrega olarak çeşitli boyutlarda ve şekillerde doğal çakıl, kireçtaşı bazalt, granitten vb kayaçlardan kırma eleme ile elde edilen agregalardan oluşur. Atık malzemelerin alternatif agrega malzemeler olarak kullanılmasına artan bir ilgi vardır. Kömür külü, yüksek fırın cürufu, çelik cüruf agregası gibi agrega ikameleri olarak bir çok farklı malzemenin kullanımı konusunda önemli araştırmalar yapılmaktadır. Bir atık malzemenin bu şekilde kullanılması, çeşitli şantiyelerde agrega eksikliği sorunlarını çözebilir ve toplam madencilik ve atık bertarafı ile ilgili çevresel sorunları azaltabilir, atık agrega kullanımı, beton üretiminin maliyetini de azaltabilir [1].

Santamaría vd. (2018), elektrikli ark fırını cürufunun (EAFC) beton imalatında uygun bir şekilde kullanımı şartıyla işlenebilirlik ve mekanik dayanım açısından iyi kalitede karışımlar elde edilebileceğini belirtmişlerdir. Spathy vd. [3] beton karışımlarda kaba agrega yerine EAFC ikame etmişlerdir. Ham cüruf agregalarının yüzey boşluklarını kapatmak için cürufların yüzeyinde bazı modifikasyonlar gerçekleştirilmiştir. Birkaç denemeden sonra, 1: 6: 14'lük bir karışım oranının (çimento: taşıyıcı tozu: cüruf agregası) cüruf agregalarının yüzey modifikasyonu için en uygun karışım oranı olduğunu tespit etmişlerdir. Farklı oranlarda modifiye cürufla (%0'dan % 100'e kadar) agregaların yer değiştirmesiyle çeşitli karışımlar hazırlanmıştır. Söz konusu çalışmada üç sınıf

beton (20 MPa, 30 MPa ve 40 MPa) kullanılmış ve beton karışımların basınç ve yarmada çekme dayanımları değerlendirilmiştir. Optimum ikame oranı %25 olarak belirlenmiştir.

Faleschini vd. [4] yapıtlıkları çalışmada yüksek performanslı beton (YPB) karışımlarında kaba EAFC agregaların kullanılabilirliğini incelemişlerdir. Araştırmacılar YPB karışımların kaba doğal agregalarının tamamını yerine EAFC agregalarını ikame etmişlerdir. Faleschini vd. (2015) EAFC agregaların YPB karışımların mekanik ve durabilite özelliklerini geliştirdiğini rapor etmişlerdir.

Saxena ve Tembhurkar [5] EAFC agregaların doğal kaba agregaların yerine ikame edilmesinin (%15, %25, %50, %75 ve %100 oranlarında) beton karışımlarının taze ve sertleşmiş hal özelliklerine etkisini incelemişlerdir. Bazalt agrega yerine %50 EAFC ikamesi betonların 28 günlük basınç ve eğilme dayanımlarını sırasıyla %33 ve %9.8 oranında arttırmıştır. Ayrıca SEM analizi, ultrases ve hızlı klorür geçirimsizlik testleri karışımların içyapısını ve kalıcılık özelliklerinin iyileştiğini ortaya koymuştur [5]. Ayrıca çelik cüruflarının ekonomik ve ekolojik değerlendirilmesi konulu başka bir çalışmada, Elektrikli Ark Ocağı Cürufunun betonda karışımlarda kullanılabilirliği incelenmiştir.

Çelik cüruf agregalarının betonda kaba agrega olarak kullanmanın fizibilitesini araştırmıştır. Çelik cüruflarının betondaki performansını değerlendirmek için dayanıklılık özellikleri de kapsamlı bir şekilde incelenmiştir [6, 7].

Bu çalışmada ise, Ege Demir Çelik Fabrikaları'nda yan ürün olarak ortaya çıkan ve bütünüyle bölgedeki söz konusu atık malzemeleri temsil edebilen, Ege Demir Geri Kazanım sahasına ait Elektrikli Ark Ocağı Cürufu (EAFC) üzerinde fiziksel deneyler gerçekleştirilerek, Ege Demir Geri Kazanım sahasından alınan elektrik ark ocağı cürufu (atmosfer şartlarında yıllarca beklemiş ve yaşlanmış cüruf (Y-EAFC) 0-4 mm, 4-12 mm ve 12-22.5 mm boyutlarına getirilecek şekilde kırılıp, sınıflandırılmıştır. Kullanılan ikinci tür cüruf taze, yaşlanmamış cüruftur (T-EAFC): Ege Demir elektrik Ark fırından taze halinde alınan cüruflar ek bir bekleme süresine tabi tutulmadan, 0-4 mm, 4-12 mm ve 12-22.5 mm boyutlarına getirilecek şekilde kırılıp, sınıflandırılmıştır. C30/37 beton sınıfında yapısal betonlar hazırlanmıştır. Bu betonlarda ince ve kaba agrega olarak farklı oranlarda (%20,%40,%60) kireçtaşı agregasının yerine cüruf ikame edilmesi ile yapısal betonun taze ve sertleşmiş hal özellikleri ile mekanik özellikleri belirlenmiştir.

## 2. MALZEME

### 2.1. Çimento

Çalışma kapsamında CEM II/B-M (L-W) 42.5 R çimentosu kullanılmıştır. Kullanılan çimentonun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikler Tablo 1 'de sunulmuştur.

Tablo 1. Kullanılan çimentonun özellikleri

Kimyasal özellikler	Miktar (%)
SiO <sub>2</sub>	23,36
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,98
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,50
CaO	54,03
MgO	1,81
Na <sub>2</sub> O	1,23
K <sub>2</sub> O	0,92
SO <sub>3</sub>	3,40
Kızdırma Kaybı	2,85
Cl	0,075
Çözünmeyen Kalıntı	7,83
Serbest CaO	2,32
Fiziksel özellikler	
Özgül Ağırlık	2,98
Özgül Yüzey (cm <sup>2</sup> /g)	3610
Priz başlangıç Süresi, (dak.)	190
Priz Sona Erme Süresi, (dak.)	320
Basınç Dayanımı (MPa)	
2 gün	30,5
7 gün	44,9
28 gün	58,7
90 gün	65,5

### 2.2. Agregası

Kırma kireçtaşı Dere Grup agrega üreticisinden 0-4 mm, 4-16 mm ve 11,2-22,4 mm tane sınıflarında olacak şekilde temin edilmiş ve depolanmıştır. Çalışma kapsamında 2 farklı elektrikli ark fırını cürufu (EAFC) agregası kullanılmıştır. Birinci yaşlanmış EAFC agregası (Y-EAFC): Ege Demir Geri Kazanım sahasından alınan cüruflar ek bir bekleme süresine tabi tutulmadan, 0-4 mm, 4-12 mm ve 12-22.5 mm boyutlarına getirilecek şekilde kırılıp ve sınıflandırılmıştır. İkinci taze EAFC agregası (T-EAFC): Ege Demir elektrik Ark fırından taze halinde alınan cüruflar ek bir bekleme süresine tabi tutulmadan, 0-4 mm, 4-12 mm ve 12-22.5 mm boyutlarına getirilecek şekilde kırılıp ve sınıflandırılmıştır.

Taze ve yaşlanmış çelik cürufların fiziksel özellikleri ve kimyasal bileşimleri sırasıyla Tablo 2 ve Tablo 3'de sunulmuştur.

**Tablo 2.** Agregalar üzerinde yapılan deneyler

Agrega Deneyleri	Birim	KIRMATAŞIN			Y_EAFC			T_EAFC		
		0-4 mm	4-12 mm	12-22,5 mm	0-4 mm	4-12 mm	12-22,5 mm	0-4 mm	4-12 mm	12-22,5 mm
Su emme	%	1,95	0,25	0,16	3,01	3,65	2,06	4,9	3,66	2,08
Özgül ağırlık		2,64	2,71	2,7	3,29	3,14	3,17	3,1	3,15	3,3
Los Angeles deneyi	%	22,02			30,22			28,9		
Metilen mavisi	g/kg	0,75	-	-	0,75	-	-	0,75	-	-
Donma-çözülme deneyi	%	13			0,09			0,11		

**Tablo 3.** Agregaların kimyasal kompozisyonu

Bileşik	KIRMATAŞIN	Y-EAFC	T-EAFC
SiO <sub>2</sub>	0,8	16,19	13,60
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,4	7,59	7,28
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,1	39,61	40,59
MgO	0,3	4,19	3,11
CaO	54,9	24,99	27,68
Na <sub>2</sub> O	<0,1	0,29	0,21
K <sub>2</sub> O	<0,1	0,09	0,09
MnO	<0,1	4,45	4,13
TiO <sub>2</sub>	<0,1	0,51	0,78

### 2.3. Beton karışımları

Elektrikli Ark Ocağı Cürufu (EAFC) agregası içeren iki tip cüruf agregalı (Y-EAFC ve T-EAFC) beton karışımının yanısıra tamamen kalker agregalı bir kontrol karışımı tasarlanmıştır. Farklı oranlarda (%20, %40 ve %60) ince agrega ve kaba agrega olarak ayrı ayrı kırma kireçtaşı yerine curuf ikame edilerek karışımlar tasarlanmıştır (Tablo 4). Karışımlar benzer işlenebilirliğe sahip olacak şekilde hazırlanmıştır. Her bir beton için ölçülen taze halde çökme değeri 18-22 cm aralığındadır.

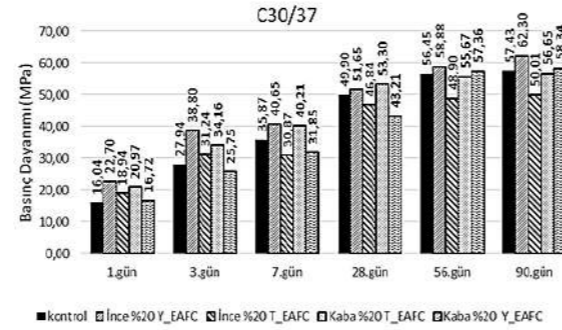
### 3. DENEYSEL ÇALIŞMA

Beton karışımı hazırlandıktan sonra, betonun mekanik özelliklerini belirlemek üzere basınç ve eğilme testleri için

küp ve kiriş beton numuneler (150mm×150mm×150mm) ve (100mm×100mm×500mm) üretilmiştir. Üretilen numuneler, 24 saat sonra kalıptan çıkarılmış ve 20±2°C'deki standart su kürüne tabi tutulmuştur. Sertleşmiş beton örneklerinde erken ve uzun dönemli eğilme (7 ve 28 günlük) ve basınç (1, 3, 7, 28, 56, 90 günlük) mukavemeti testleri yapılmıştır.

#### 3.1 Beton Basınç Davanımının Tavini

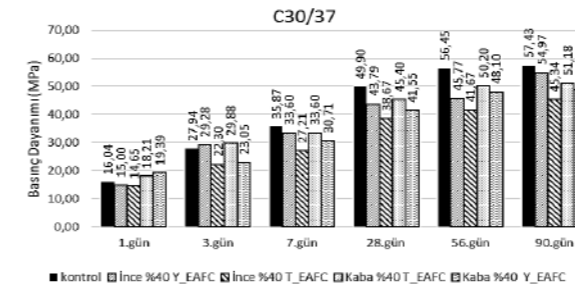
Şekil 1 - 3'de sırasıyla %20, %40 ve %60, oranlarında ince veya kaba Y-EAFC veya T-EAFC içeren C30/37 karışımların zamana bağlı basınç dayanımları sunulmuştur. Sonuçlardan görüldüğü gibi karışımların 28 günde sağlaması gereken minimum değer olan 37 MPa sınırını %20, %40, %60 Y-EAFC ve T-EAFC içeren karışımlar geçmiştir. Genel olarak tüm ikame oranları ve yaşlarda Y-EAFC içeren karışımlarda daha iyi sonuçlar elde edilebilmiştir. Y-EAFC içeren karışımların sonuçlarına bakıldığında, %20 ikame oranında Kontrol karışımından daha yüksek basınç dayanımları elde edilebileceği görülebilmektedir.



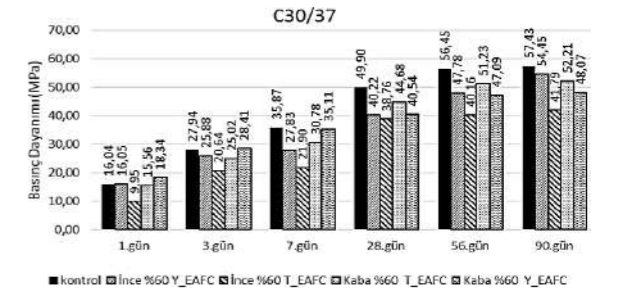
**Şekil 1.** %20 oranında ince veya kaba Y-EAFC ve T-EAFC içeren C30/37 karışımların zamana bağlı basınç dayanımları

**Tablo 3.** EAFC agregası içeren karışımların tasarımları ve taze hal özellikleri

C30/37	Kontrol	İnce Y_EAFC			İnce T_EAFC			Kaba Y_EAFC			Kaba T_EAFC		
		20%	40%	60%	20%	40%	60%	20%	40%	60%	20%	40%	60%
CEM II 42,5 R	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260
w/c	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53
Su	153	153	153	153	153	153	153	153	153	153	153	153	153
KIRMA 0-3	916	745	559	372	745	559	372	931	931	931	931	931	931
CURUF 0-3	0	232	464	696	232	437	656	0	0	0	0	0	0
KIRMA 4_16	439	439	439	439	440	440	440	352	264	176	352	264	176
CURUF 4_16	0	0	0	0	0	0	0	102	204	306	102	204	307
KIRMA 11_22	514	514	514	514	514	514	514	411	309	206	411	309	206
CURUF 11_22	0	0	0	0	0	0	0	121	242	362	126	251	377
Min.Katkı (İZ ENERJİ)	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
KATKI (politon 707)	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29
Ortam Isısı	25,5	31	27	26	28,5	28,3	25,4	32,2	33,3	29,8	33,9	32,2	31,7
Çimento Isısı	28,4	30	28	26	27,3	27,5	26,5	29,2	31,2	29,1	30	29,7	29,7
Su Isısı	24,5	27	25,5	24	24,7	25	25,2	26,3	27	28,3	29,2	27,9	27
Beton Isısı	28	32,7	30	28	27,7	30	30	30,3	33,1	30	32,5	30,5	32,8
Birim Ağırlık	2389	2402	2421	2432	2406	2426	2445	2429	2461	2518	2373	2391	2410
Slump (cm) 10"	22	21,5	21,5	21	21,5	21,5	21	21,5	21,5	21	21	20,5	20
Slump (cm) 45"	18	14,5	12,5	10,5	14,5	12,5	10,5	14,5	12,5	10,5	18	17,5	15
Hava Miktarı.%	2,5	2,5	3	3,5	2,5	3	3,5	2,5	3	3,5	2,5	3	3,5



**Şekil 2.** %40 oranında ince veya kaba Y-EAFC ve T-EAFC içeren C30/37 karışımların zamana bağlı basınç dayanımları



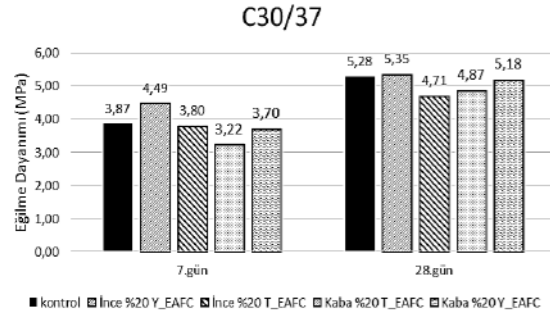
**Şekil 3.** %60 oranında ince veya kaba Y-EAFC ve T-EAFC içeren C30/37 karışımların zamana bağlı basınç dayanımları

#### 3.2. Beton eğilme Davanımının Tavini

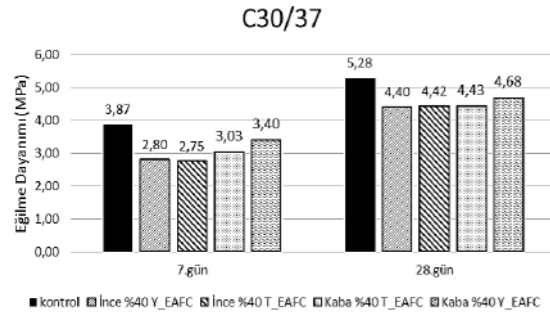
Şekil 4- 6'da sırasıyla %20, %40 ve %60, oranlarına ince ve kaba Y-EAFC ve T-EAFC içeren C30/37 karışımların 7 ve 28 günlük eğilme dayanımları sunulmuştur.



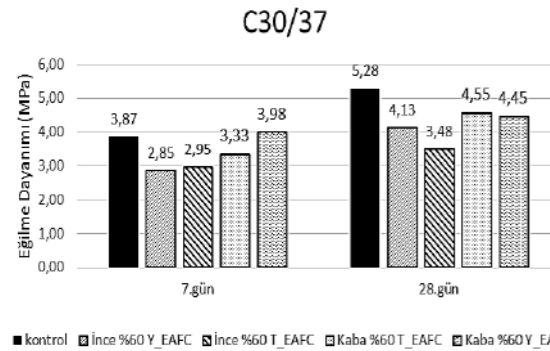
Sonuçlara bakıldığında basınç dayanıma paralel bir şekilde Y-EAFC içeren karışımların daha iyi bir performans gösterdiği görülmektedir.



Şekil 4. %20 oranında ince veya kaba Y-EAFC ve T-EAFC içeren C30/37 karışımların 7 ve 28 günlük eğilme dayanımları



Şekil 5. %40 oranında ince veya kaba Y-EAFC ve T-EAFC içeren C30/37 karışımların 7 ve 28 günlük eğilme dayanımları



Şekil 6. %60 oranında ince veya kaba Y-EAFC ve T-EAFC içeren C30/37 karışımların 7 ve 28 günlük eğilme dayanımları

#### 4. SONUÇLAR

Farklı oranlara taze (T-EAFC) veya yaşlanmış (Y-EAFC) cürufur ince veya kaba agrega olarak yapısal C30/37 beton karışımın da kırma kireçtaşı yerine ikame edilmiş, yapılan çalışmalardan başlıca şu sonuçlar elde edilmiştir:

1. Cüruf agregaların kireçtaşı agregaya kıyasla daha yüksek özgül ağırlıkları nedeni ile ikame oranının artmasıyla beton taze birim hacim ağırlıklarının da ciddi artışlar gözlemlenmiştir.
2. Elektrikli Ark Ocağı Cürufunun ikame oranları artışıyla 45. Dakika slump (çölme) değerleri bir miktar azalmıştır. Ayrıca karışımların hava içeriği, ikame oranları artışıyla, artış göstermiştir.
3. C30/37 Betonda 28 günde sağlanması gereken 37 MPa mukavemet sınırını, kaba EAFC içeren tüm karışımlarda geçmiştir. Genel olarak tüm ikame oranları ve yaşlarda, yaşlanmış cüruf, kaba agrega olarak kullanılırsa, (Y-EAFC) daha iyi sonuçlar elde edileceği görülmüştür.
4. Cüruf içeren karışımların eğilme dayanımları kontrol karışımından bir miktar düşük olmasına rağmen benzer mertebelindedir.
5. Cürufun betonda yaratabileceği hacim sabitliği problemi ile agrega olarak cüruf içeren betonların mekanik ve durabilite özellikleri ile ilgili deneysel çalışmalar proje kapsamında sürmektedir.

#### TEŞEKKÜR

Bu çalışma, 3160442 Nolu TÜBİTAK TEYDEB Bilimsel Araştırma Projesi sonuçlarının bir kısmını içermektedir. Sağlanan maddi destek için Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK)'a teşekkürlerimizi sunuyoruz. Desteklerinden dolayı Dokuz Eylül Üniversitesi Yapı Malzemesi Laboratuvarı personeline, Egedemir Demir Geri Kazanım San. Tic. Ltd. Şti. ve Dere Beton Hazır Beton ve Yaş Sıva San. Ve Tic.A.Ş. ye teşekkür ederiz.

#### KAYNAKÇA

- [1] Asi, Ibrahim M., Hisham Y. Qasrawi, and Faisal I. Shalabi. "Use of steel slag aggregate in asphalt concrete mixes." Canadian Journal of Civil Engineering 34.8 (2007): 902-911.
- [2] Santamaría, A., et al. "A study on the durability of structural concrete incorporating electric steelmaking slags." Construction and Building Materials 161 (2018): 94-111.
- [3] Sabapathy, Y. K., et al. "Experimental investigation of surface modified EOF steel slag as coarse aggregate in concrete." Journal of King Saud University-Engineering Sciences 29.4 (2017): 388-393.
- [4] Faleschini, Flora, et al. "High performance concrete with electric arc furnace slag as aggregate: mechanical and durability properties." Construction and Building Materials 101 (2015): 113-121.
- [5] Saxena, Shekhar, and A. R. Tembhurkar. "Impact of use of steel slag as coarse aggregate and wastewater on fresh and hardened properties of concrete." Construction and Building Materials 165 (2018): 126-137.
- [6] Manso, Juan M., et al. "Durability of concrete made with EAF slag as aggregate." Cement and Concrete Composites 28.6 (2006): 528-534.
- [7] Luxán, M. P., et al. "Characteristics of the slags produced in the fusion of scrap steel by electric arc furnace." Cement and Concrete Research 30.4 (2000): 517-519.
- [8] Türkiye çelik üreticileri derneği (TÇÜD). Demir çelik cüruf raporu (2015)

## Optimization of Annealing & Pickling Processes for AISI 304 Stainless Steel Sheet Corrosion Resistance

AISI 304 Paslanmaz Yassı Çelik Üretiminde Korozyon Dayanımı için Tavlama ve Passivasyon İşlemlerinin Optimizasyonu

Eda Dağdelen, Erdem Güler, Eser Paçman, Hamdi Ekici

Trinox Metal San. ve Tic. A.Ş. • Turkey

### Abstract

AISI 304 quality stainless steel has become an indispensable material for daily use thanks to its high corrosion resistance, high heat conductivity, formability and visual properties [1-2]. Stainless steel flat materials are produced with hot rolling, annealing and cold rolling after the casting process and then it is prepared for service processes by ensuring annealing and surface passivation. In this study, the effect of annealing temperature, time and the difference of acidification processes on the corrosion resistance of the material is investigated.

### 1. Introduction

#### 1.1. Surface Passivation in Stainless Steel

The next stage in stainless steel plate production is surface passivation after cold rolling process. Surface passivation is usually done in 2 phases. In the first stage, the descaling which caused by the annealing process on the surface of the plate with a specific acid solution is resolved. After that, descaling surface will be passivated with a specific acid solution. Thus, the material will regain its stainless property.

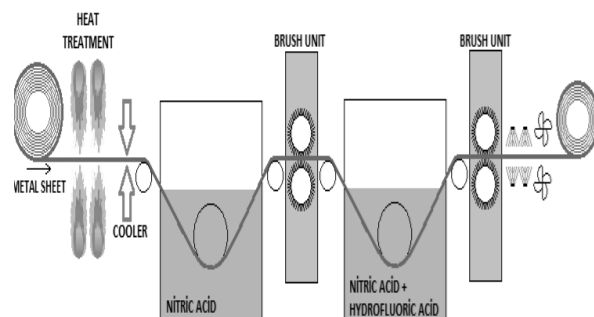
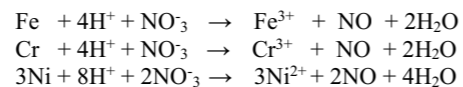
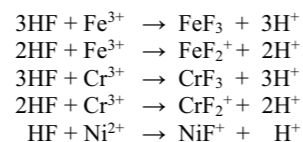
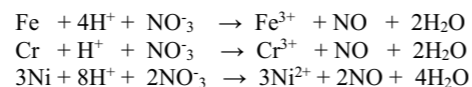


Figure 1: Trinox Metal Annealing and Pickling Process Machinery

In the passivation process, the material is submerged in nitric acid for firstly descaling operation and surface is prepared to passivation. The following reactions occur here:



The material is submerged in nitric acid and hydrofluoric acid tank for the passivation after the nitric tank operation. In this bath, following reactions occur:



The schematic representation of the reactions is given in figure 2. [3]

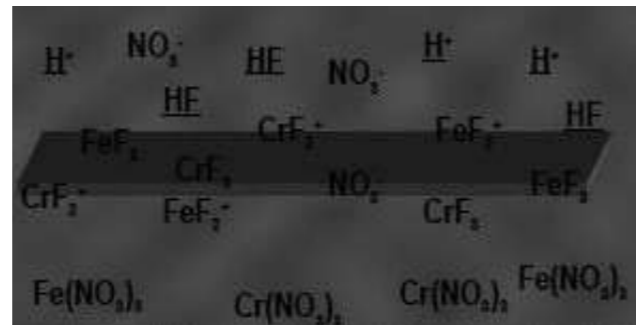


Figure 2: Chemical reactions in the pickling process

In this point, HNO<sub>3</sub> is used as H<sup>+</sup> Source, oxidizing and shining agent. HF is used as a complex agent for Fe<sup>3+</sup>, Cr<sup>3+</sup>, Ni<sup>2+</sup>, and H<sup>+</sup> Supplier.

The physical effect of the HNO<sub>3</sub> / HF mixture on the surface of the sheet is like in Figure 3. [3]

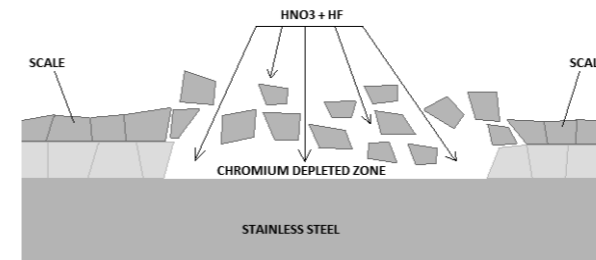


Figure 3: Effect of pickling chemicals on material surface

The relationship between the acid concentration and the concentration of metal in the acid baths should be under control to make the passivation process well done. [4]

Figure 4 shows the areas belonging to this relationship, and in Figure 5 shows the surface images of the plate that arise depending on these regions.

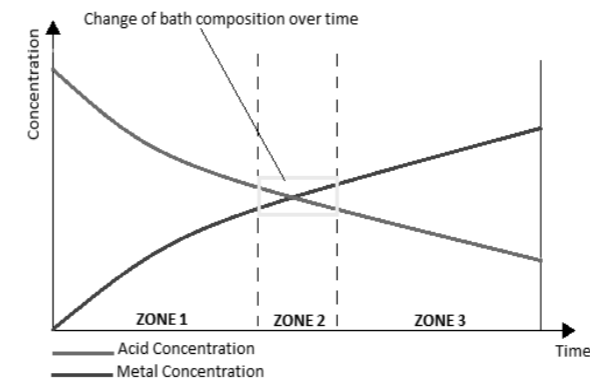


Figure 4: Connection of metal and acid concentrations

- Over pickled surface
- Waste of material
- High chemical consumption
- Rapid destruction of pickle
- Uniform surface quality
- Less production rejects
- Best use of chemicals involved
- Bad surface quality
- Production rejects
- Acid must be wasted
- Sludge formation

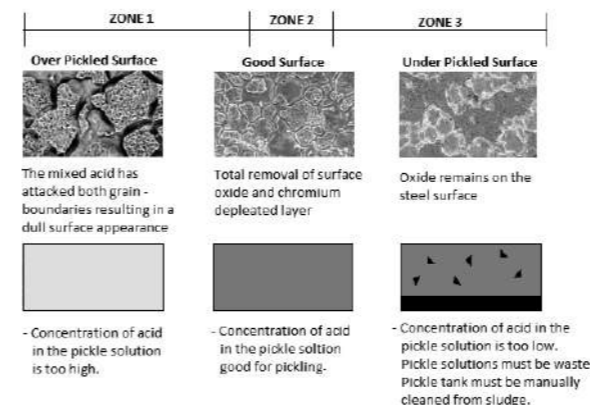


Figure 5: Material surface depending on metal amount and acid concentrations [4]

### 1.2. Pitting Corrosion in Stainless Steel

Corrosion is an electrochemical phenomenon that causes various problems depending on the conditions in which the engineering alloys are used. Stainless steels are also alloys produced for conditions where corrosion resistance is required. Although stainless steels have good corrosion resistance alloys, the conditions of use and unsuitable operations on the material surface can cause undesirable consequences.

Corrosion resistance of stainless steel is most fundamentally dependent on alloying elements. Then, the surface layers resulting from process conditions become important for corrosion. [5]

Especially in aggressive conditions or when the surface is subjected to a physical effect along with a chemical effect, the protective passive layer is deteriorated by a localized effect, resulting in a very narrow area of pitting corrosion.

The determination of this type of corrosion is difficult and a dangerous situation occurs because it handles the material from very small areas to the inside

On the basis of pitting corrosion which is a type of galvanic corrosion due to the potential difference of electrochemical between the weakened passive layer and the strong passive plate. As corrosion progresses, the weaker passive layer becomes weaker. In this case, the potential difference of the electrochemical between the weak layer and the strong layer will increase more. The corrosion of the pitting will progression rapidly increasing.

This is the direction that makes the çukurcuk corrosion aggressive. Starting from a very small area, it is difficult to detect and quickly processes the material deeper into the material. And there will be no significant weight loss during this time, so the progressive corrosion may not be detected. [1].

The nonmetallic structures contained in the environment are not sufficient to initiate the pitting corrosion alone. Especially the presence of an oxidizing catheter (Fe<sup>3+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Hg<sup>2+</sup> etc.) creates a reaction starting point for weak areas in the protective layer. However, especially in the presence of oxygen, all chlorides become dangerous. In the environment where there is an oxygen or an oxyhydrogen component, the corrosion of the pitting becomes much more aggressive. [6]

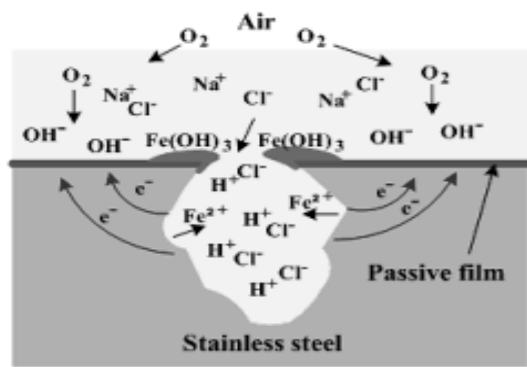


Figure 6: Pitting corrosion appearance [7]

Austenitic stainless steels are the largest and most important group in the stainless steel family. Austenitic stainless steels are alloys with high welding ability, high formability capabilities as well as high corrosion resistance

As the passive chromium oxide layer on the surface provides corrosion resistance. The nickel element in the inner structure stabilises the austenitic phase, preventing carbide precipitating and releasing the chrome. Thus, even if the passive chromium oxide layer on the surface is grazed by a mechanical effect, a passive chromium oxide layer may occur again in the same region.[3]

But over time, this resistance can be broken. In different conditions, the material may become corrosion resistant. This is an acceptable state of engineering for stainless steels; The important thing is to produce the appropriate material in the appropriate process conditions and to find optimum harmony with the environmental conditions [4-5]

There are basically 2 ways to protect the material from corrosion because it is caused by the interaction between the environment and the material.

1. Create appropriate environmental conditions
2. Create a layer of passive film as uniform and deep as possible on the surface of the material [5]

The aim of this study is to create the appropriate material surface as stated in article 2.

## 2. Experimental Procedure

### 2.1. Prepare to sample

25x10 cm in size 32 pieces of the 304 stainless steel plate samples are processed annealing operation in different temperature and times in the laboratory type of furnace. Then, the samples are cooled in the air environment. (32

pieces: 15 pieces are 0,5 mm thickness; 7 pieces are 1,09 mm)

The work was conducted in the Trinox Metal product and process development laboratory.

A passivation process with HNO<sub>3</sub> and HNO<sub>3</sub>/HF solutions was applied to the annealing specimens at different time and concentrations, respectively.

Samples of 5, 13, 29 were washed with NaNO<sub>3</sub> + NaOH liquid water solution before passivation.

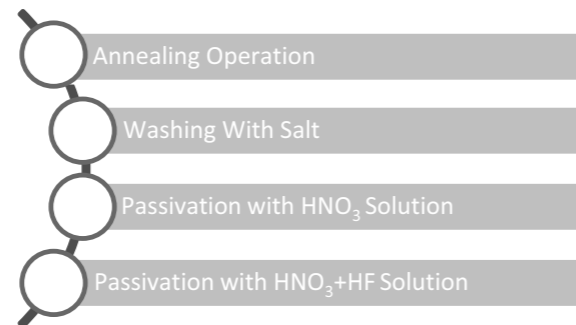


Figure 7. Sample processing steps

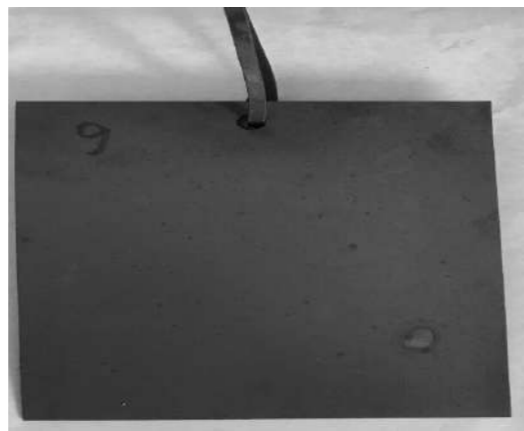


Figure 8. Sample appearance after annealing process

### 2.2. Comparative Corrosion Test

The prepared specimens are insulated to be tested for the surface area of 25 cm<sup>2</sup> for corrosion testing. Isolated specimens weighed.

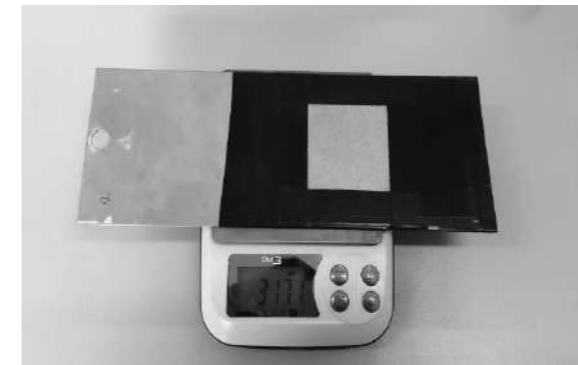


Figure 9: Weighing of prepared material

Samples were placed in pools containing 3.5% NaCl solution. The uninsulated area has been considered to be immersed in the pool.



Figure 10: Placement of samples

Samples and cathodes are connected to the power supply set according to the circuit connection in Figure 11.

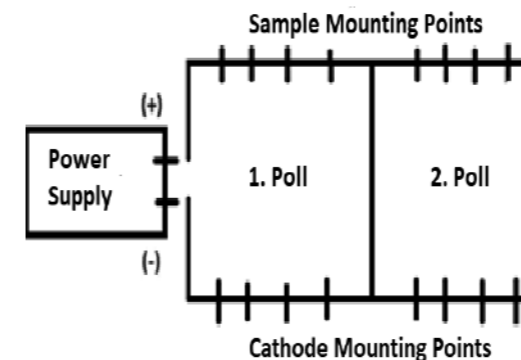


Figure 11: Circuit connection type

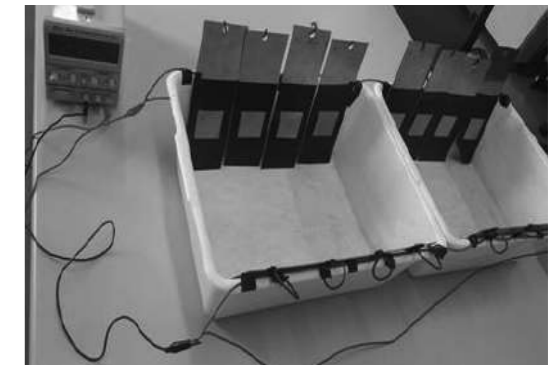


Figure 12. Establishment of an experimental set-up

After making the necessary connection, 4A Current was given and corrosion test was carried out 1 hour.

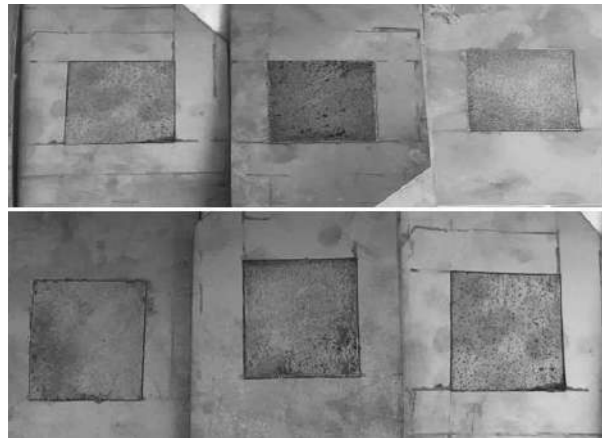
## 3. Results and Discussion

### 3.1. Corrosion Test Result

The table with all the data is as follows.

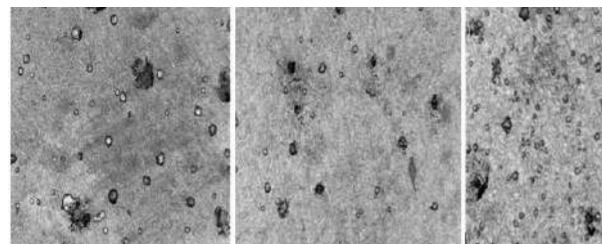
Table 1. Experimental Data

No	Thick-ness (mm)	Anneal-ing Temp. (°C)	Anneal-ing Time (sec.)	NaNO <sub>3</sub> +NaOH Conc.	Temp.	1. Pickling Unit HNO <sub>3</sub> Conc. (%)	Temp. (°C)	2. Pickling Unit HNO <sub>3</sub> Conc. (%)	HF Conc. (%)	Temp. (°C)	Pickling Time (sec.)	Corrosi-on Time (sec.)	Weigh Loss (Gn/c m <sup>2</sup> )
1	1,1	1050	180			22	65	17	2,9	65	120	60	0
2	1,1	1050	180			16	60	15,4	2,05	61	140	60	0,16
3	1,1	1050	180			13,7	60	15,4	0,91	60	140	60	0,16
4	0,5	1100	180			13,7	59	15,4	0,91	61	70	60	0,2
5	0,5	1100	60	30	420	12	60	10	2,05	61	70	60	0,24
6	0,5	1000	120			16	60	15,4	0,91	61	70	60	0,24
7	1,1	950	180			13	58	12	3,5	61	120	60	0,28
8	1,1	1050	120			18	60	18	3,69	60	120	60	0,28
9	0,5	950	120			18	65	17	2,91	68	90	60	0,28
10	0,5	1000	60			22	65	17	2,9	68	70	60	0,28
11	1,1	1100	120			13	57	12	0,87	57	100	60	0,32
12	0,5	1050	180			13,7	60	15,4	0,91	61	70	60	0,32
13	0,5	1050	120	30	420	11,8	60	10	2,05	60	70	60	0,32
14	1,1	1000	180			18	60	18	3,69	60	120	60	0,36
15	0,5	950	60			18	65	17	2,91	68	90	60	0,36
16	0,5	1000	120			22	65	17	2,9	68	70	60	0,36
17	0,5	1100	60			22	65	17	2,9	68	70	60	0,36
18	1,1	1000	180			13,7	59	15,4	0,91	60	140	60	0,36
19	1,1	1000	120			18	58	18	3,69	61	120	60	0,4
20	0,5	1050	120			22	65	17	2,9	68	70	60	0,4
21	1,1	1000	240			13,7	59	15,4	0,91	60	140	60	0,4
22	0,5	1050	180			18	65	17	2,91	68	90	60	0,44
23	0,5	1100	120			16	60	15,4	2,05	15,4	70	60	0,44
24	1,1	1050	120			16	60	15,4	2,05	61	140	60	0,44
25	1,1	1100	240			13	57	12	0,87	57	100	60	0,56
26	1,1	1100	60			16	60	15,4	2,05	61	140	60	0,64
27	1,1	1150	180			13	57	12	0,87	57	120	60	0,72
28	1,1	1000	180			16	60	15,4	2,05	61	140	60	1,56
29	0,5	1000	120	30	420	11,8	60	10	2,05	60	140	60	1,76
30	1,1	1100	120			13,7	59	15,4	0,91	60	140	60	1,8
31	1,1	1050	120			13,7	59	15,4	0,91	60	140	60	1,8
32	0,5	1100	180			11,8	60	10	2,05	60	70	60	2,52

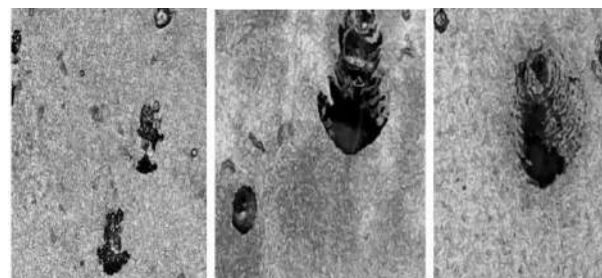


**Figure 13.** Visual appearance of sample after corrosion test

After corrosion testing, all surfaces were made to visual examination. In addition, some samples were examined with help of microscope. During the investigations, the pitting corrosion was seen very clearly.



**Figure 14.** Respectively 2,5,10 Sample Microscope Appearance (500X)



**Figure 15.** Respectively 27,28,32 Sample Microscope Appearance (500X)

Weight loss and sample visuals confirm each other.

#### 4. Conclusion

Pitting corrosion is a variety of corrosive, manifested in the presence of halogens in the surface of metals and alloys. In a very common corrosion type, the material can become unusable in a short time by drilling in the region or by

decreasing mechanical strength. In our study, corrosion impacts appear in microscope images.

In our study, annealing temperature, annealing time and passivation process are taken into consideration. The findings of the study are as follows.

At the same temperature in 1100 °C and the amount of the material annealed at the same time, the HF concentration rate of 1% is increased by 12 times the loss of quantity after corrosion.

At all temperatures, the HNO<sub>3</sub> ratio has no effect on corrosion resistance in annealing periods.

As a result of the annealing operation under the temperature of 1100 °C, the difference in HF concentration has not been influenced by material loss after corrosion. HF concentration is especially the effect of 1100 °C.

In thick materials, annealing temperatures and acid grouts in the same materials, the duration of 10 seconds increase in the 0.037 gr weight loss causes.

It will be useful to continue the study with different sample sets. The study will be enriched by increasing the number of experiments in the coming period.

#### References

- [1] European Steel Technology Platform (ESTEP). Strategic Research Agenda. A Vision for the Future of the Steel Sector; European Commission: Brussels, Belgium, 2005
- [2] Andersson, R.; Schedin, E.; Magnusson, C.; Ocklund, J.; Persson, A. Stainless steel components in automotive vehicles. In Proceedings of the 4th European Stainless Steel Science and Market Congress, Paris, France, 10–13 June 2002; p. 57.
- [3] Pitting Corrosion, Multimedia corrosion guide 2nd edition, [http://www.cdcorrosion.com/mode\\_corrosion/corrosion\\_pitting.htm](http://www.cdcorrosion.com/mode_corrosion/corrosion_pitting.htm)
- [4] Fossati, A., Borgioli, F., Galvanetto, E., Bacci, T., Corrosion resistance properties of glow- discharge nitrided AISI 316L, austenitic stainless steel in NaCl solutions. Corrosion Science 48(6), 1513-1527 (1996)
- [5] Gouda, V.K., Hashem A, Al. International Conference on Advances in Corrosion and Protection, UMIST, UK (1992)
- [6] Szklarska-Smialowska, Z. Pitting Corrosion of Metals, NACE, Houston (1986) 218
- [7] Willert-Porada M. Electrochemical Metal Corrosion. [http://www.lsw.unibayreuth.de/de/download/documents/kripten/Electrochemical\\_Metal\\_corrosion.pdf](http://www.lsw.unibayreuth.de/de/download/documents/kripten/Electrochemical_Metal_corrosion.pdf)

## The Effect of Hot Forging Process Parameters on the Production of the Lower Part of the Cardan Shaft

*Sıcak Dövme Proses Parametrelerinin Kardan Mili Alt Parçası Üretimine Etkisi*

Fulya Eycin<sup>1,2</sup>, Tuğçe Yağcı<sup>1,3</sup>, Serhat Bardakçı<sup>3</sup>, Osman Çulha<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Manisa Celal Bayar University, <sup>2</sup>Tirsan Kardan San. ve Tic. A.Ş.,

<sup>3</sup>Twin Ar-Ge Müh. Tic. Ltd. Şti. • Turkey

#### Abstract

In this study, hot forging processes in which 1.1191 and 1.7035 quality hot rolled long products were used as raw materials were designed and the cardan shaft part was produced. In simulation supported studies, raw material sizing, heating regime, tempering, press type and properties, forging temperature, friction coefficient and model were taken as Crank press production input. After the detailed mold design, the simulation supported production phase was started. At this stage, parameters such as material flow in each operation, mold pressure, force requirement, folding and mold replenishment are emphasized. The flow curve between 1000-1250 °C of raw material has been taken into consideration and the cooling analyzes to be applied after the last operation were carried out according to the TTT and CCT diagrams of the alloys.

#### 1. Introduction

Hot forging is a metalworking process in which metals are plastically deformed above their recrystallization temperature, which allows the material to retain its deformed shape as it cools [1]. It is preferred because of the more precise product geometry in shaping by forging process than other plastic forming methods. The most important production parameters in the hot forging process are the temperature of the forging, the amount of deformation, the mold-operation design, the cooling process-phase transformation relationship [2,3]. Depending on the type of steel alloy used, the change in the hot deformation properties of the raw material causes significant changes in the process.

Today, the most important point of R&D studies is the model simulation applications where the design can be confirmed and improved. Simulation applications, as well as static and dynamic analyzes, provide important information about stress and strain distributions, deformation, residual stresses, temperature distributions and final product dimensional changes of shaping and thermal processes. Thanks to computer-aided engineering solutions developed specifically on specific issues, there are many software used to predict both physical and

mechanical properties of both raw materials and final products produced by hot forming processes such as forging.

One of the process simulation softwares is Simufact.forming. It is capable of the investigation of material flow, temperature distribution, springback, thickness change, residual stress, ductile fracture, phase transformation, hardness and grain size and etc.

#### 2. Experimental Procedure

In this study, hot forging and cooling performance of related alloys are simulated and analyzed by using Simufact.forming software. The modeling in this software should be structured by the following five steps: Import of CAD data, Definition of the material, Definition of forging press, definition of friction and definition of thermal properties.

#### 3. Results and Discussion

Table 1 shows the chemical composition of the studied steel alloys as wt.%. The P and S values are the same for two studied alloys and it is maximum 0.035 wt.%.

**Table 1.** Chemical composition of the studied alloys (wt.%).

Alloy type	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni
41Cr4	0.38-0.45	0.15-0.40	0.60-0.90	0.90-1.20	-	-
C45E	0.42-0.50	≤0.40	0.50-0.80	≤0.40	≤0.10	≤0.40

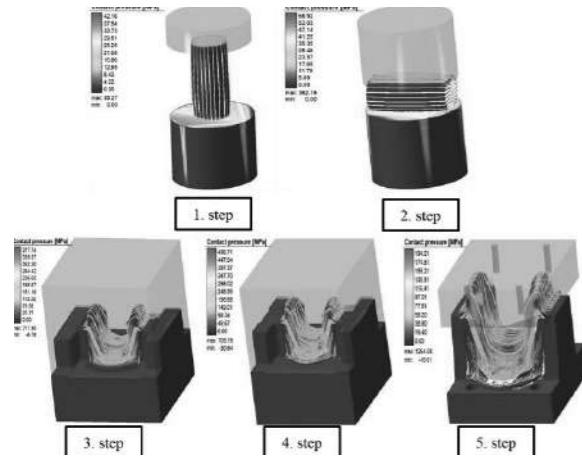


Figure 1. Simulation results of the contact pressure for 41Cr4-1.7035 alloy.

At the first step of simulation, the contact pressures of the work piece to the mold were calculated in five step. The simulation results of the contact pressure for 41Cr4-1.7035 alloy is given in Figure 1 as visually. All the details about the simulation results are given in Table 2 as numerically.

Table 2. Maximum contact pressure values of the 41Cr4-1.7035 alloy, in MPa.

Simulation Step Number	Maximum Contact Pressure (MPa)
1	39.56
2	58.92
3	377.74
4	496.71
5	194.01

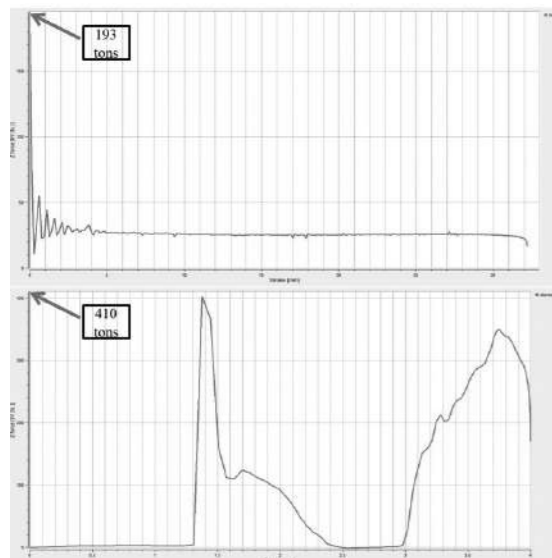


Figure 2. Force-displacement curves of steps 1 and 5 for steel alloy 41Cr4-1.7035.

In addition to contact pressure values, force-displacement curves are also obtained by using simulation programme. The graphs for the first and last steps of the analysis are given in Figure 2. At the first step, the maximum force is 193 tons and the last one is 410 tons.

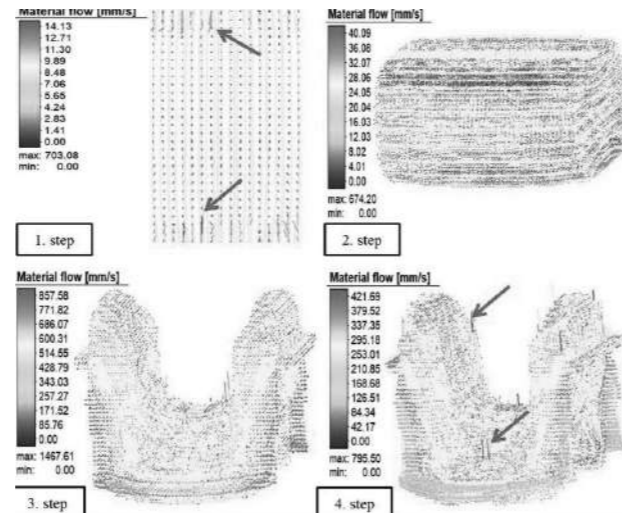


Figure 3. Simulation results of the material flow for 41Cr4-1.7035 alloy.

Figure 3 shows the simulation results of the material flow for the 41Cr4 alloy. Compared to the experimental data, the material flow data obtained in the simulation were matched. The detailed experimental data is available at the relevant source [4]. In other respects, the simulation results of controlled cooling process for 41Cr4 alloy are given in Figure 4. As a result of controlled cooling of the forged workpiece, the microstructure has a 99.46% martensite phase.

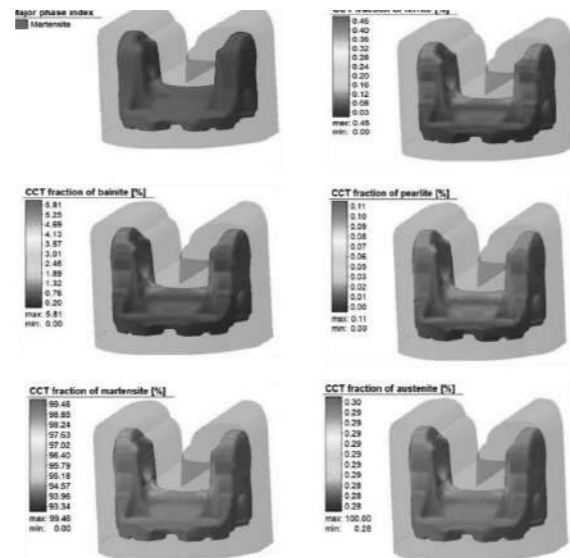


Figure 4. Simulation results of controlled cooling process for 41Cr4-1.7035 alloy.

For C45E-1.1191 alloy, the contact pressures of the work piece to the mold were calculated in five step, like 41Cr4 alloy. The simulation results of the contact pressure for this alloy is given in Figure 5 as visually. All the details about the simulation results are given in Table 3 as numerically.

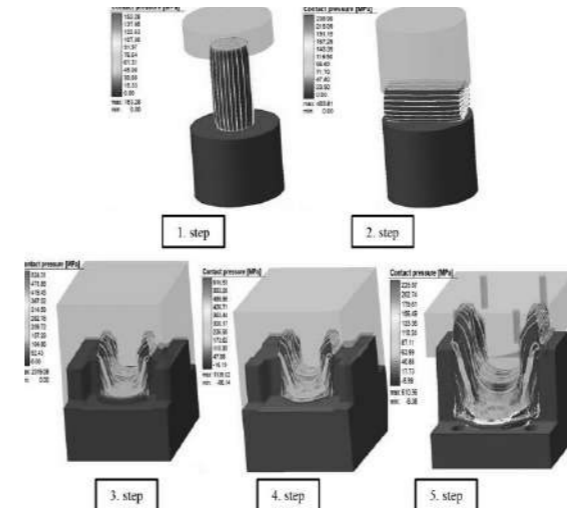


Figure 5. Simulation results of the contact pressure for C45E-1.1191 alloy.

Table 3. Maximum contact pressure values of the C45E-1.1191 alloy, in MPa.

Simulation Step Number	Maximum Contact Pressure (MPa)
1	153.28
2	238.99
3	524.31
4	616.53
5	225.87

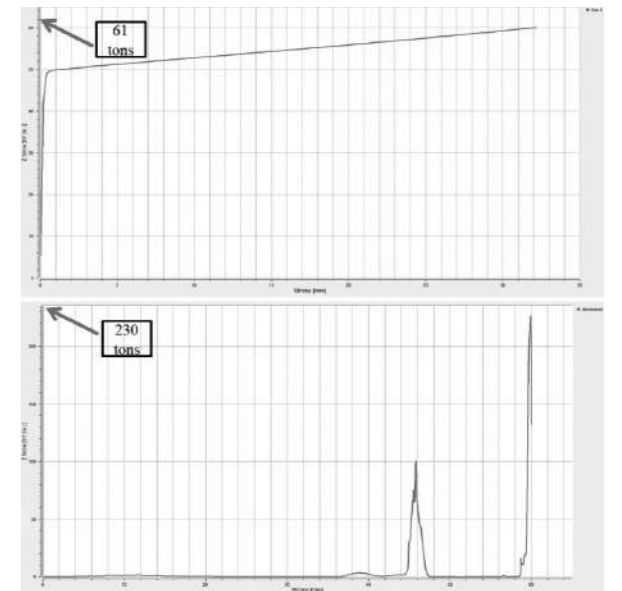


Figure 6. Force-displacement curves of steps 1 and 5 for steel alloy C45E-1.1191.

After that, force-displacement curves are also obtained for C45E alloy. The graphs for the first and last steps of the analysis are given in Figure 6. At the first step, the maximum force is 61 tons and the last one is 230 tons. On the other hand, Figure 7 shows the simulation results of the material flow for C45E-1.1191 alloy.

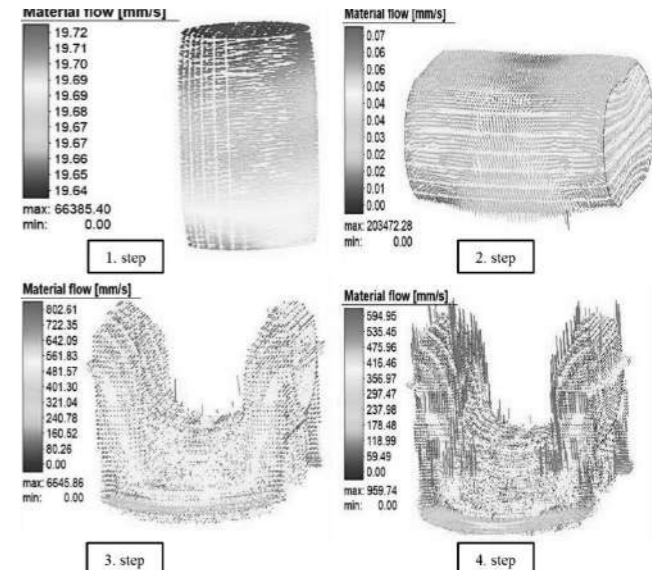
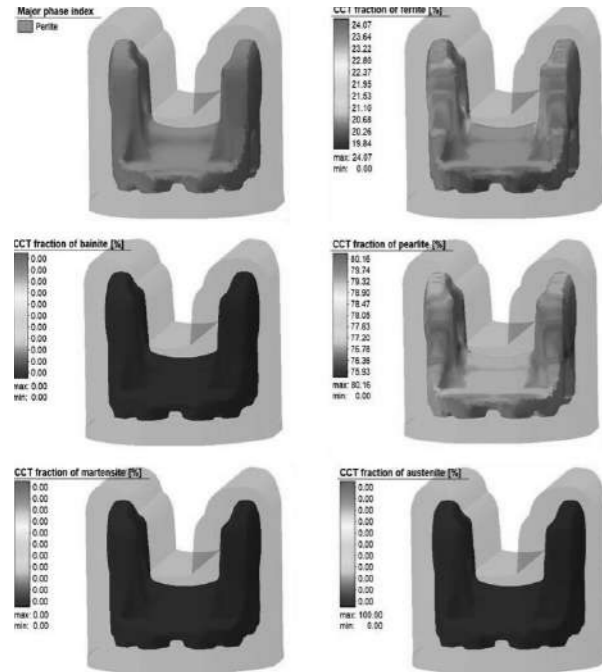


Figure 7. Simulation results of the material flow for C45E-1.1191 alloy.

Figure 8 shows the simulation results of controlled cooling process for C45E-1.1191 alloy. According to the results, the last microstructure consists of approximately %80 pearlite and %24 ferrite.



**Figure 8.** Simulation results of controlled cooling process for C45E-1.1191 alloy.

#### 4. Conclusion

As a result of this study, real hot forging process data and the data in the simulation environment were compared. According to the results of the comparison, 99% of the analysis details were found to be compatible. Thus, the real hot forging process has been verified in a virtual environment. This study is a pioneer in the new generation high strength microalloyed steel development projects of Tirsan Kardan A.Ş.

#### Acknowledgment

In this study, we would like to express our special thanks to TWIN R&D Engineering Company for providing consultancy services to our company.

#### References

- [1] Hawryluk, M. and Ziemia, J. U. Measurement, 110 (2017)284-295.
- [2] Karadağlı, Ö. and Çulha, O. DEÜ Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 16 (2014) 27-40.
- [3] Çapan, L. Plastik Şekil Verme, Makine Mühendisliği El Kitabı, 2 (1990).
- [4] Eycin, F. and Çulha, O., 2<sup>nd</sup> International University Industry Cooperation R&D and Innovation Congress, MCBU, (2018).

## Sürekli Dökümlerin Sürekliliğini Sağlama Mücadelesi; Zirkonya Nozullarda Karşılaşılan Problemler ve Çözüm Önerileri

*The Challenge of Keeping Continuous Casting Continuous; Problems Faced in Zirconia Nozzles and Suggestions for Solutions*

Vedat Köroğlu<sup>1</sup>, Serdar Özgen<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Metamin Mümessillik San. ve Tic. A.Ş., <sup>2</sup>İstanbul Teknik Üniversitesi • Türkiye

#### Abstract

Zirconia nozzles currently used in flow control systems of continuous casting machines in the steel melting steps are widely preferred because of high melting temperature, high resistance to corrosion, abrasion, and slag. During application, problems such as mechanical wear, spalling and orifice contraction may be encountered by zirconia nozzles. These problems lead to undesirable changes in the continuous casting machine such as uncontrolled change of casting speed and scattering during the transfer of steel to the mold. The aim of this article is to investigate the problem of uncontrolled change of casting speed in the continuous casting process and develop solutions.

In this study, the reasons of usage problems in zirconia nozzles were investigated by morphological analysis, phase analysis and thermal expansion analysis. The characterization of various features of zirconia nozzles before and after use has been made. After the research, improvements were made in the production process, and industrial trials were carried out. Trial results are analysed comparatively.

#### Özet

Günümüzde sürekli döküm makinalarının akış kontrol sistemlerinde kullanılmakta olan zirkonya nozullar; ergime sıcaklığının yüksek olması, korozyon ve aşınmaya karşı yüksek dayanıklılık, ortamdaki maddelere ve cürufa karşı direncinin yüksek olması gibi özellikleri nedeni ile yaygın olarak tercih edilmektedir. Söz konusu uygulama sırasında zirkonya nozullarda mekanik aşınma, parça kopması ve orifis daralması gibi problemlerle karşılaşılabilir. Bu problemler sürekli döküm makinalarındaki döküm hızının kontrolsüz değişimi ve çeliğin kalıba aktarımı sırasında saçılma gibi istenmeyen sonuçlara yol açmaktadır. Bu makalenin kapsamı, çelikhanelerin sürekli döküm makinalarındaki akış kontrol sistemlerinde kullanılan zirkonya nozullarda karşılaşılan döküm hızının yavaşlaması probleminin araştırılması ve çözüm önerileri geliştirilmesidir.

Bu çalışmada, zirkonya nozullarda yaşanan kullanım

sorunlarının nedenleri, morfolojik analiz, faz analizi ve termal genleşme analizi yöntemleriyle araştırılmıştır. Söz konusu sorunun görüldüğü zirkonya nozulların, kullanım öncesi ve sonrası muhtelif özelliklerinin karakterizasyonu yapılmıştır. Problemlerin çözümüne yönelik yapılan araştırmaların sonucunda endüstriyel denemeler yapılmıştır. Denemelerin ardından ortaya çıkan sonuçlar karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

#### 1. Giriş

Zirkonya (ZrO<sub>2</sub>), iyi bilinen bir yüksek sıcaklık malzemesidir. Yüksek ergime sıcaklığı, düşük ısı iletkenliği, demir bazlı malzemelere yakın termal genleşme katsayısı ve cürufa karşı dirençli olması, zirkonyayı iyi bir refrakter malzeme haline getirmektedir [1]. Bununla birlikte, zirkonyanın monoklinik, tetragonal ve kübik olmak üzere üç adet polimorfu bulunması [2] nedeniyle yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanımı zorlaşmaktadır [1].

Isıtma ve soğutma anında zirkonyada faz dönüşümleri olmaktadır. Oda sıcaklığından 1170°C'ye kadar monoklinik fazı kararlı haldedir. Tetragonal fazı 1170-2370°C aralığında kararlı haldedir. 2370°C üzerinde zirkonya kübik faza dönüşmektedir. Tersinir olarak soğuma esnasında tetragonal fazından monoklinik fazına dönüşüm oranında hacimsel genleşme ile yaklaşık olarak 950°C civarında olmaktadır [3].

Zirkonya, MgO, CaO, Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> gibi stabilize edici oksitlerin kullanılması ile birlikte oda sıcaklığında monoklinik, tetragonal ve kübik fazlarında kararlı hale gelebilir. Bu üç fazın zirkonyada beraber bulunmasına kısmi stabilize edilmiş zirkonya adı verilir. Kısmi stabilize edilmiş zirkonyanın soğuma esnasında tetragonal fazdan monoklinik faza geçişindeki hacimsel genleşmesi tokluk ve sertlik değerlerini iyileştirmektedir. MgO ile kısmi stabilize edilmiş zirkonya bu özellikleri sayesinde zirkonya nozul üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır.

#### 2. Deneysel Çalışmalar

Bu çalışmada, ana hammadde olarak ergimiş zirkonya kullanılmıştır. Tablo 1'de çalışmalarda kullanılan ergimiş

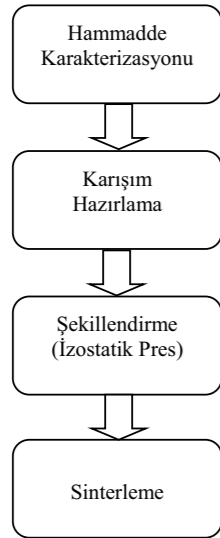


zirkonya hammaddelerinin kimyasal ve tane boyut analiz sonuçları gösterilmiştir.

**Tablo1.** Ergimiş zirkonya kimyasal ve tane boyut analizi sonuçları.

No	Kimyasal Özellikler			Tane Boyut
	ZrO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	d(90) µm
1	99.0	0.24	0.34	4.90
2	99.0	0.22	0.21	11.00

Zirkonyanın stabilizasyonu için Magnezyum Hidroksit (Mg(OH)<sub>2</sub>) ve Magnezyum Oksit (MgO) olmak üzere iki farklı MgO kaynağı kullanılmıştır. Zirkonya nozul numuneleri izostatik preste şekillendirildikten sonra 1600°C'de sinterlenerek üretilmiştir. Zirkonya nozulların üretim şeması Şekil 1'de gösterilmiştir.



**Şekil 1.** Zirkonya nozul üretim şeması.

## 2.1. Karakterizasyon

Üretimi tamamlanan zirkonya nozul numunelerine yapılan analizler aşağıda verilmiştir.

- Zirkonya nozulların görünür porozite ve hacim ağırlığı değerleri Archimedes metodu ile belirlenmiştir.
- XRF kimyasal analiz (Rigaku NEX CG) yöntemi ile numunelerin kimyasal özellikleri belirlenmiştir.
- XRD faz analizi (Rigaku Miniflex 600) ile zirkonya nozulların kullanım öncesi ve kullanım sonrası monoklinik, tetragonal ve kübik fazlarının miktarları belirlenmiştir.

- Zirkonya nozullara kullanım öncesi ve kullanım sonrası SEM analizi (FEI Quanta FEG 450) uygulanarak kristal yapısı incelenmiştir.
- MAP ve EDS analizi ile kullanım sonrası zirkonya nozul içerisine difüze olmuş cüruf incelenmiştir.

## 3. Sonuçlar ve Tartışma

A numunesinin üretiminde; d(90) değeri 4.90µm olan ergimiş zirkonya ve stabilize edici oksit olarak Mg(OH)<sub>2</sub> kullanılmıştır. B numunesinin üretiminde; d(90) değeri 11.00µm olan ergimiş zirkonya ve stabilize edici oksit olarak MgO kullanılmıştır.

### 3.1. Kullanım öncesi yapılan analizler

#### Kimyasal özellikler

Zirkonya nozul numunelerine uygulanan kantitatif kimyasal analizin sonuçları Tablo 2'de gösterilmiştir. Kimyasal analiz sonuçlarına göre iki numune arasında kimyasal özellik bakımından belirgin bir fark gözlemlenmemektedir.

**Tablo 2.** Kantitatif kimyasal analiz sonuçları.

Numune Adı	ZrO <sub>2</sub>	MgO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
A	95.70	2.90	0.98	0.11
B	95.90	2.95	0.99	0.11

#### Fiziksel özellikler

Zirkonya nozul numunelerinin görünür porozite ve hacim ağırlığı değerleri Tablo 3'de gösterilmiştir. Tane boyutu daha ince olan ergimiş zirkonya kullanıldığı için A numunesinin hacim ağırlığı değeri B numunesinden fazladır, buna bağlı olarak porozite değeri daha düşüktür.

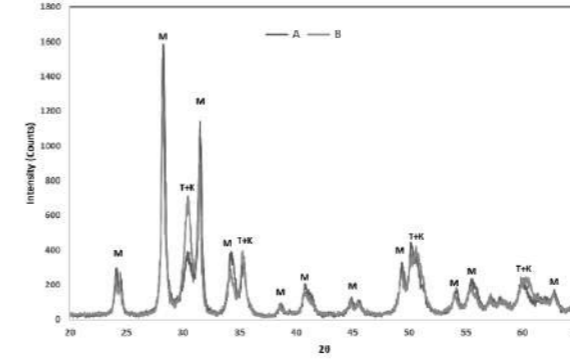
**Tablo 3.** Görünür porozite ve hacim ağırlığı sonuçları.

Numune Adı	Görünür Porozite (%)	Hacim Ağırlığı (g/cm <sup>3</sup> )
A	2.42	5.25
B	6.04	5.00

#### Faz analizi

Tetragonal ve kübik fazlarının 2θ değerleri birbirlerine çok yakın olduğu için faz analizi sonuçları monoklinik ve tetragonal+kübik olacak şekilde verilmiştir.

A ve B numunelerine ait karşılaştırmalı faz analizi grafiği Şekil 2'de gösterilmiştir. Monoklinik fazına ait pikler A numunesinde, tetragonal+kübik fazına ait pikler B numunesinde daha şiddetlidir.



**Şekil 2.** A ve B numunelerinin faz analizi grafiği.

Tablo 4'de kantitatif faz analizi sonuçları gösterilmiştir. A numunesinin tetragonal+kübik faz miktarı %19.50, B numunesinin tetragonal+kübik faz miktarı %30.60 olarak ölçülmüştür. Bu durum B numunesinde stabilizasyonun daha fazla olduğunu göstermektedir.

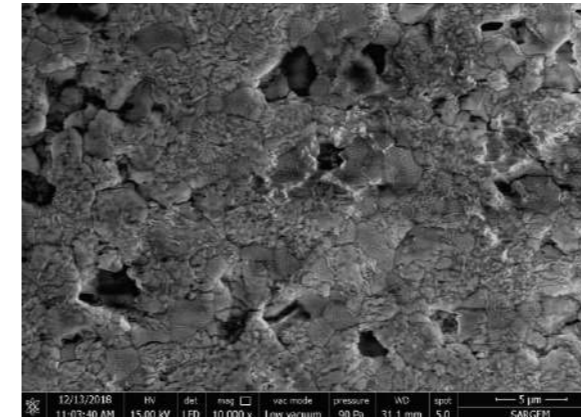
**Tablo 4.** Kantitatif faz analizi sonuçları.

Numune Adı	Monoklinik (%)	Tetragonal+Kübik (%)
A	80.50	19.50
B	69.40	30.60

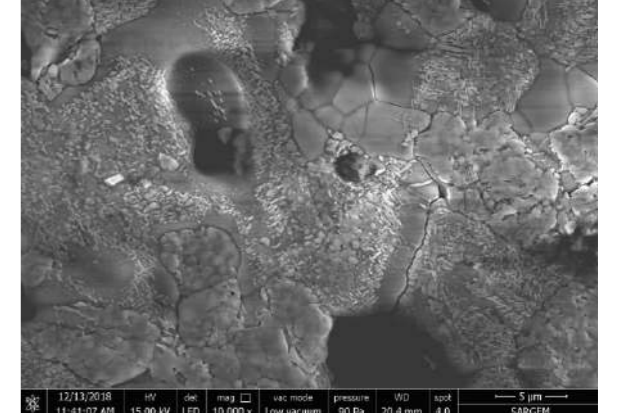
#### SEM analizi

Parlatma ve termal dağlama işlemi sonrasında numunelere SEM analizi uygulanmıştır. Şekil 3'te A ve B numunelerinin SEM görüntüleri verilmiştir. A numunesinin üretiminde kullanılan ergimiş zirkonyanın tane boyutu ince olduğu için sinterleme sonrası kristal yapısının tane büyüklüğü B numunesinden küçüktür.

Kübik taneler üzerine çökelmiş eliptik şekildedeki tetragonal taneler B numunesinde ince ve küçük iken, A numunesinde daha iridir.



(1)

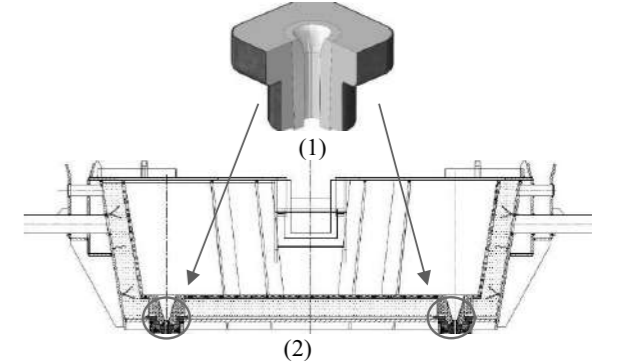


(2)

**Şekil 3.** SEM görüntüleri; 1: A Numunesi 10000x büyütme, 2: B numunesi 10000x büyütme.

### 3.2. Kullanım sonrası yapılan analizler

Endüstriyel denemeler için çelikhanenin sürekli dökümler bölümündeki tandişlerin akış kontrol mekanizmalarında kullanılan uçan nozul ürünü seçilmiştir. Bu ürün sac içerisinde, zirkonya nozul etrafına refrakter harç dökülerek elde edilmektedir.



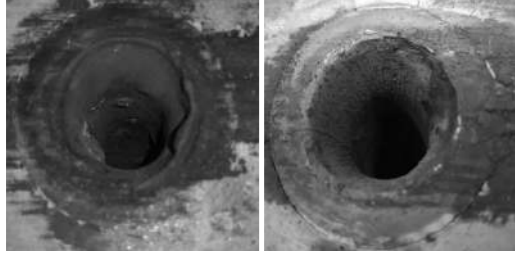
**Şekil 4.** (1) TNCM Mekanizmasına ait uçan nozul. (2) Tandiş üzerinde TNCM mekanizması ve uçan nozul montajı.

A ve B numuneleri ile üretilen tandiş uçan nozullar 8 saat boyunca Türkiye'de yerleşik ark ocaklı demir çelik işletmelerinde denenmiştir.

Uçan nozulların kullanıma başlandığı ilk çelik akış hızı ve son çelik akış hızı Tablo 5'te gösterilmiştir. A numunesinin 8 saat sonundaki döküm hızında düşüş olduğu görülmektedir. B numunesinde ise 8 saat sonunda hız sabit kalmış ve döküm esnasında değişiklik göstermemiştir. Şekil 5'de 8 saat kullanım sonrasında zirkonya nozul numunelerinin fotoğrafları verilmiştir. A numunesinin yüzeyinde deformasyon mevcutken, B numunesinin yüzeyi oldukça temizdir.

**Tablo 5.** Numunelere ait ilk çelik akış hızı ve son çelik akış hızı değerleri.

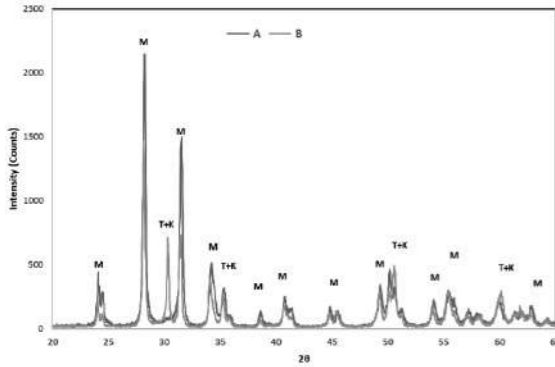
Numune Adı	İlk Çelik Akış Hızı (metre/dk)	Son Çelik Akış Hızı (metre/dk)
A	2.30	1.70
B	2.60	2.60



(1) (2)

**Şekil 5.** 8 saat kullanılmış zirkonya nozul fotoğrafları 1: A Numunesi. 2: B numunesi.**Faz analizi**

Kullanılmış numunelerin çelik ile temas yüzeylerine faz analizi ile incelenmiştir. Şekil 4'de kullanılmış A ve B numunelerine ait karşılaştırmalı faz analizi grafiği gösterilmiştir. B numunesinde görünen tetragonal+kübik fazına ait pik A numunesinde mevcut değildir.

**Şekil 4.** Kullanılmış A ve B numunelerinin faz analizi grafiği.

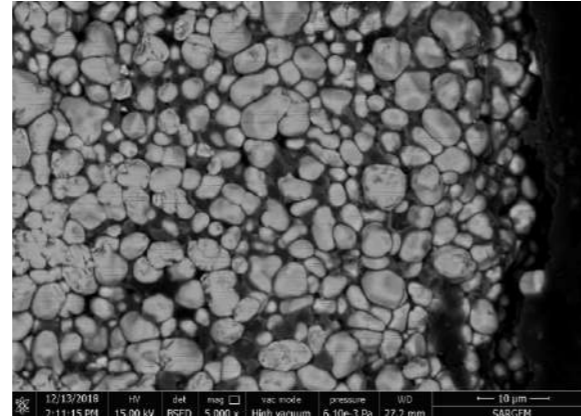
Tablo 6'da kullanılmış numunelerin kantitatif faz analizi sonuçları verilmiştir. A numunesinin tetragonal+kübik faz miktarı %7.00, B numunesinde ise %18.84'tür. Çelik ile temas sonrasında A numunesinin monoklinik faza dönüştüğü görülmektedir. B numunesinde monoklinik faza dönüşüm başlamasına rağmen yapı kısmi stabilize zirkonya olarak kalmıştır.

**Tablo6:** Kantitatif faz analizi sonuçları.

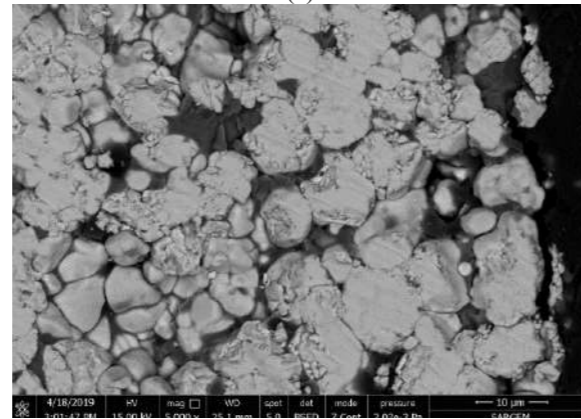
Numune Adı	Monoklinik (%)	Tetragonal+Kübik (%)
A	93.00	7.00
B	81.16	18.84

**SEM analizi**

Kullanılmış numunelerin çelik ile temas eden yüzeyleri SEM analizi ile incelenmiştir. Şekil 5'te A ve B numunelerinin 5000x büyütmede SEM görüntüleri görülmektedir. Her iki numunede de çelik ile temas sonrasında ZrO<sub>2</sub> tanelerinde başlangıç kristal tane boyutlarına göre kristal büyümesi görülmektedir. A numunesinde ZrO<sub>2</sub> tanelerinin arasındaki bağ zayıflayarak tanelerin birbirlerinden ayrılmaya başladığı görülmektedir. Yüzeydeki tanelerin kopması düzensiz aşınmaya ve içe doğru genişlemeye sebebiyet vermektedir. Bundan dolayı çelik akış hızında yavaşlama gerçekleşmektedir. B numunesinde ZrO<sub>2</sub> tanelerinde ayrışmanın daha az olduğu ve taneler arasındaki bağ yapısının korunduğu görülmektedir. Taneler arası bağ zayıflamadığı için kullanım anında çelik akış hızı değişmemektedir.



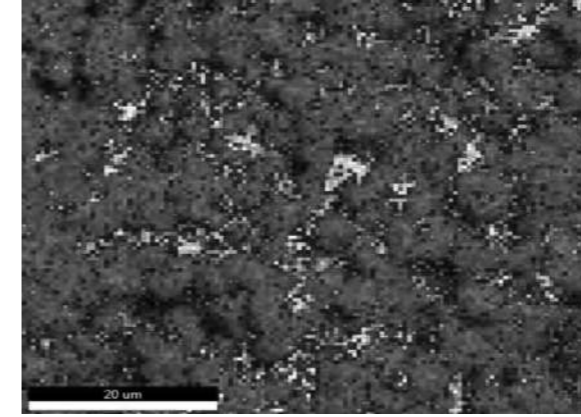
(1)



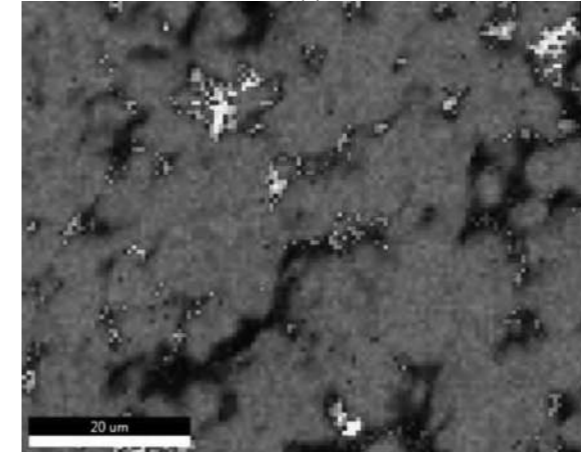
(2)

**Şekil 5.** SEM görüntüleri; 1: Kullanılmış A Numunesi 5000x büyütme, 2: Kullanılmış B numunesi 5000x büyütme.**MAP ve EDS analizi**

5000x büyütmedeki SEM fotoğraflarına MAP analizi uygulanarak zirkonya nozul içerisine infiltre olan cürufun dağılımı incelenmiştir. Şekil 6'da MAP analizi fotoğrafları verilmiştir. ZrO<sub>2</sub> içeren bölgeler pembe renk ile gösterilmiştir. Mor bölge içerisindeki diğer renkli bölgeler infiltre olan cürufu göstermektedir. İnfiltrat olan cürufun, A numunesinde B numunesine göre daha fazla olduğu ve daha çok yayıldığı görülmektedir.



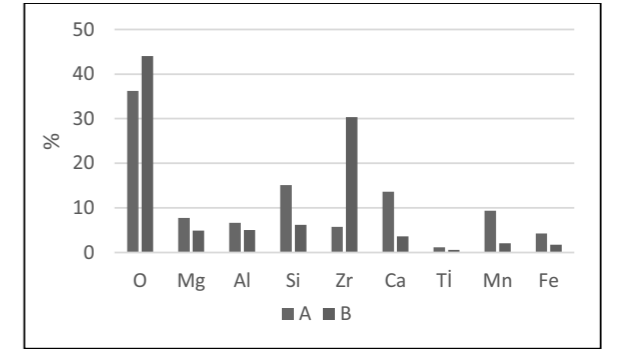
(1)



(2)

**Şekil 6.** MAP analizi; 1: Kullanılmış A Numunesi 5000x büyütme MAP analiz görüntüsü, 2: Kullanılmış B numunesi 5000x büyütme MAP analiz görüntüsü.

Her iki numunenin de cüruf infiltre olmuş bölgelerinden EDS analizi alınmıştır. EDS analizi sonuçları Tablo 7'de gösterilmiştir. İnfiltrat olan cüruf içerisindeki Si, Ca, Al, Mn, Fe miktarı A numunesinde daha fazladır. B numunesinde ise, daha az miktarda cüruf infiltre olduğu için Zr element miktarı daha fazladır.

**Şekil 7.** Cüruf bölgeleri EDS analizi.**4. Sonuç**

Bu çalışmada, iki farklı stabilize edici oksit kullanılarak üretilen zirkonya nozulların kullanımı esnasında çelik akış hızına olan etkisi incelenmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen bulgular aşağıda özetlenmiştir.

- Stabilize edici oksit olarak MgO kullanılan numunenin Mg(OH)<sub>2</sub> kullanılan numuneye göre daha iyi stabilize olduğu görülmüştür.
- B numunesinin kristal yapısındaki tanelerin daha büyük ve tetragonal tanelerinin eliptik şekilli ve daha ince olduğu görülmüştür.
- Kullanım sonucunda A numunesinin monoklinik faza dönüşüm oranı daha fazla iken, B numunesinde monoklinik faza geçiş daha azdır.
- Kullanım esnasında, B numunesinin kısmi stabilizasyon bölgesinde kalmış olması kristal tanelerin daha az genişlerken bir arada kalmasını ve çelik döküm hızının sabit kalmasını sağlamıştır.
- Çelik akışı sırasında kristal tanelerinin birbirlerinden ayrışmasını engellemek için zirkonya nozulun stabilizasyon seviyesinin etkili olduğu ve tetragonal fazına ait tanelerin eliptik şekilde kübik tanelerinin üzerinde oluşması gerektiği anlaşılmıştır.

**Referanslar**

- [1] Wen-Cheng J.Wei,Yuh-Pring Lin, Journal of the European Ceramic Society, Volume 18, Issue 14, (1998) 2107-2116.
- [2] R. Stevens, Zirconia and Zirconia Ceramics 1986, Magnesium Electron Ltd., Manchester.
- [3] G. Kaya, Metal Desteksiz Diş Porselenlerinin Üretimi ve Karakterizasyonu, Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi, 1998, Eskişehir, Türkiye

## Investigation of the Effects of the New Generation Microalloyed Steel Compositions on the Flange Yoke Part of the Cardan Shaft

Yeni Nesil Mikroalaşımli Çelik Kompozisyonunun Kardan Milinin Çatalı Flanş Parçasının Özelliklerine Olan Etkilerinin Araştırılması

Fulya Eyçin<sup>1,2</sup>, Tuğçe Yağcı<sup>1,3</sup>, Serhat Bardakçı<sup>3</sup>, Osman Çulha<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Manisa Celal Bayar University, <sup>2</sup>Tirsan Kardan San. ve Tic. A.Ş.,

<sup>3</sup>Twin Ar-Ge Müh. Tic. Ltd. Şti. • Turkey

### Abstract

In this study, the flow curves of A1.1 and B2.1 with different compositions microalloyed steels which were hot forged at 1200 °C in are obtained in simulation medium. At the end of the simulation of the forging process, controlled cooling was applied to the material and TTT and CCT diagrams of the alloys were obtained. Within the scope of these studies, A1.1 and B2.1 material were hot forged in a simulation environment at 1200 °C in 5 operations. The phase distributions and hardness values of the forged material were obtained. As a result of the study, the mechanical properties of new generation steel materials with different chemical compositions were compared.

### 1. Introduction

Forging is a manufacturing process in that metallic materials are plastically hot or cold deformed below or above their recrystallization temperature, which allows the material to retain its deformed shape as it cools [1, 2]. The chemical composition of the production material with hot forging is important due to the design requirements such as material properties, deformation amount and number of operations and infrastructural requirements such as friction and press type [3, 4]. As with all plastic deformation methods, hot forging parameters vary depending on the material composition.

There are many commercial software for determining new forging process regimes according to the changing material composition. Simulation studies have a very important place in today's engineering applications. Simulations to understand the behavior of the existing real system can provide competitive advantage to the enterprise in many respects. In other words, simulation is often used to solve complex engineering problems, since it is an analysis and design tool used to predict the effects of changes to the actual system or to estimate the efficiency of a new system [5].

Simufact forming offers the appropriate functionality for any forming process such as forging, rolling, extrusion, sheet metal forming, heat treatment, mechanical joint and pressure welding. The application module hot forging brings special functionalities for the simulation of hot forging processes and enables also the process of hot die forging as well as further core processes like clamping and cooling, cutting, prior deformation and also extrusion processes.

### 2. Experimental Procedure

In this study, the new alloy compositions belonging to the flange yoke part of a cardan shaft which is formed according to the chemical composition of the material or process parameters based on A1, A3 temperatures calculated by the theoretical approaches, have been developed with Simufact Forming software. Then, the hot forging process is carried out to reveal the effect of the new generation developed chemical composition on the final product properties.

### 3. Results and Discussion

The new generation microalloyed steel compositions developed cannot be given due to patent studies.

Table 1. Maximum contact pressure values of the A1.1 alloy, in MPa.

Simulation Step Number	Maximum Contact Pressure (MPa)
1	35.73
2	54.58
3	9681.38
4	813.90
5	179.86

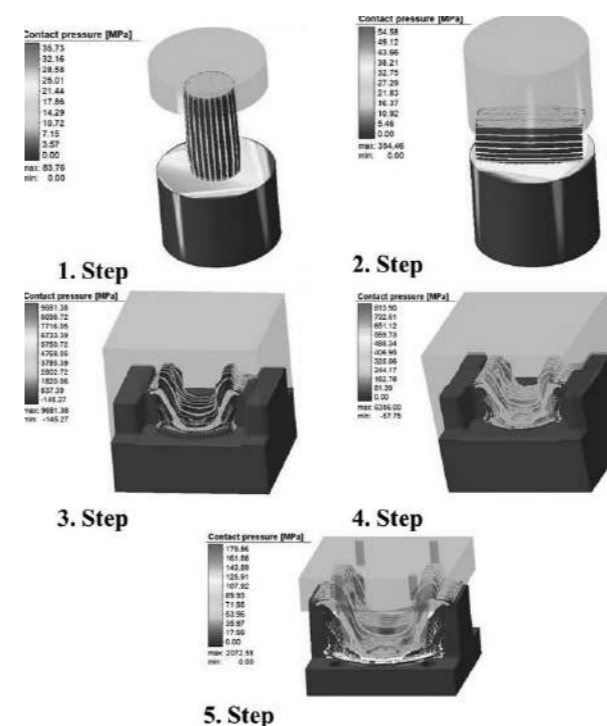


Figure 1. Simulation results of the contact pressure for A1.1 alloy.

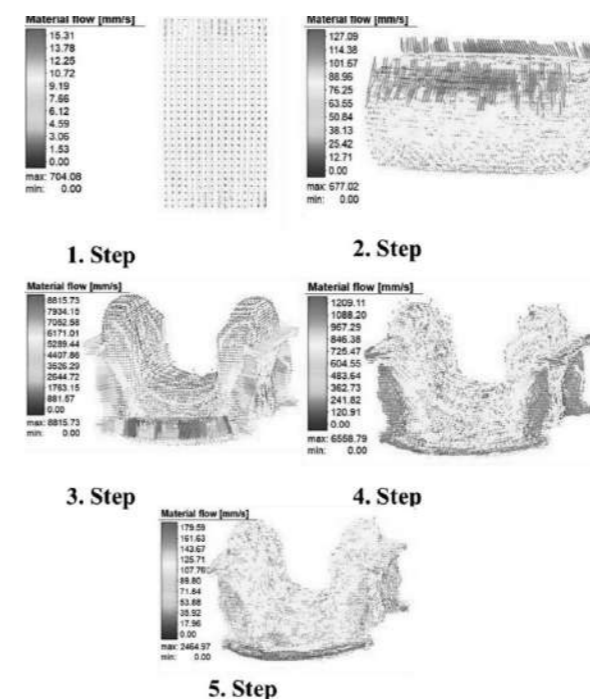


Figure 2. Simulation results of the material flow for A1.1 alloy.

Figure 2 shows the simulation results of the material flow for the A1.1 alloy. Compared to the experimental data, the material flow data obtained in the simulation were matched. The detailed experimental data is available at the relevant source. In other respects, the simulation results of controlled cooling process for A1.1 alloy are given in Figure 5. As a result of controlled cooling of the forged workpiece, the microstructure has a 84.49% martensite phase.

Table 2. Maximum flow rate of A1.1 alloy in mm.s<sup>-1</sup>.

Simulation Step Number	Maximum Flow Rate (mm.s <sup>-1</sup> )
1	15.31
2	127.09
3	8815.73
4	1209.11
5	179.59

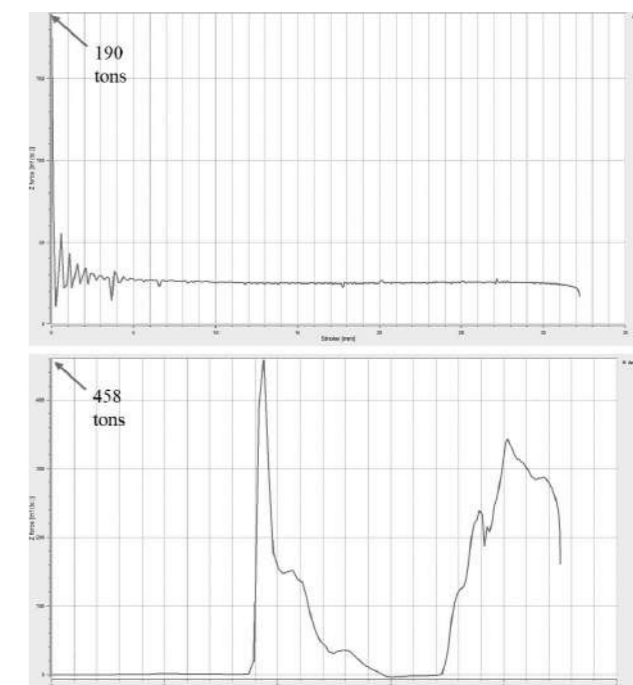


Figure 3. Force-displacement curves of steps 1 and 5 for steel alloy A1.1.

In addition to contact pressure values, force-displacement curves are also obtained by using simulation programme. The graphs for the first and last steps of the analysis are given in Figure 3. At the first step, the maximum force is 190 tons and the last one is 458 tons. Also, hardness results are given in Figure 4 for A1.1 alloy.

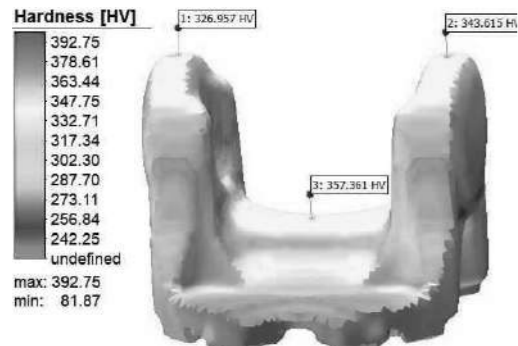


Figure 4. Hardness values of the simulated forged A1.1 alloy after cooling process in HV.

Table 3. Hardness of A1.1 alloy in mm.s<sup>-1</sup>.

Points	Hardness (HV)
1	326.957
2	343.615
3	357.361

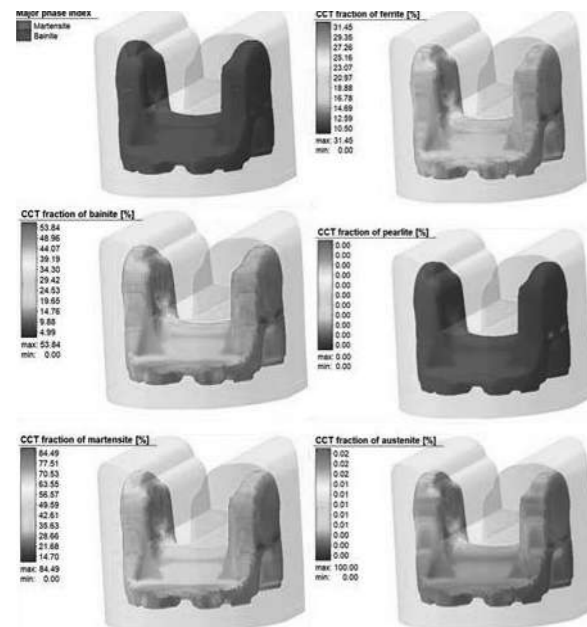


Figure 5. Simulation results of controlled cooling process for A1.1 alloy.

For B2.1 alloy, the contact pressures of the work piece to the mold were calculated in five step, like A1.1 alloy. The simulation results of the contact pressure for this alloy is given in Figure 6 as visually. All the details about the simulation results are given in Table 4 as numerically

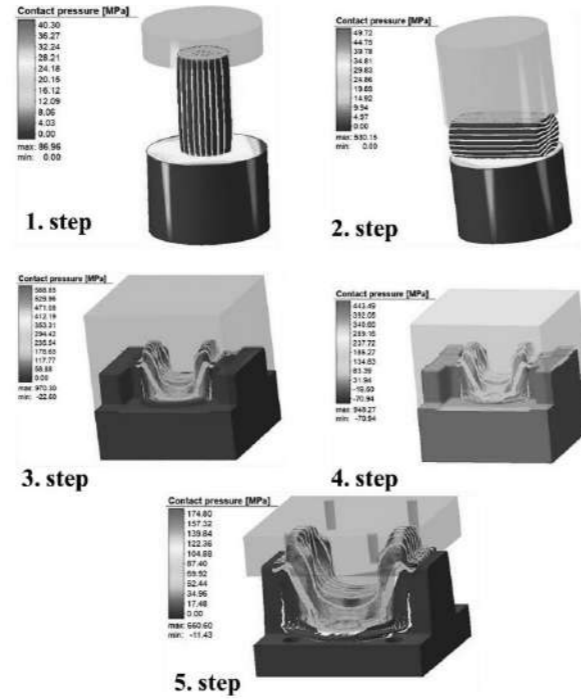


Figure 6. Simulation results of the contact pressure for B2.1 alloy.

Table 4. Maximum contact pressure values of the B2.1 alloy, in MPa.

Simulation Step Number	Maximum Contact Pressure (MPa)
1	40.30
2	49.72
3	588.85
4	443.49
5	174.80

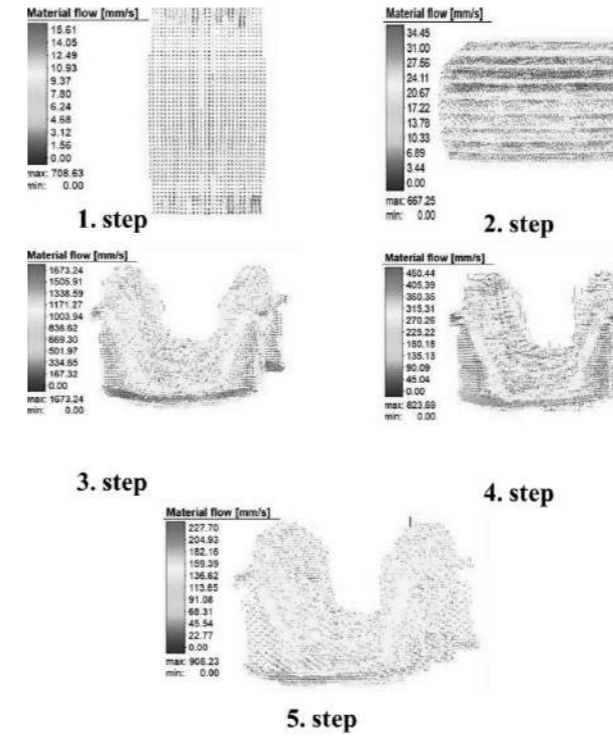


Figure 7. Simulation results of the material flow for B2.1 alloy.

Table 5. Maximum flow rate of B2.1 alloy in mm.s<sup>-1</sup>.

Simulation Step Number	Maximum Flow Rate (mm.s <sup>-1</sup> )
1	15.61
2	34.45
3	1673.24
4	450.44
5	227.70

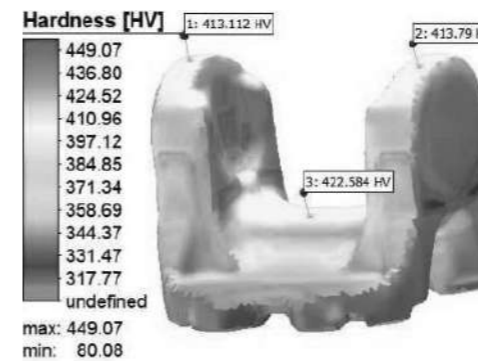


Figure 8. Hardness values of the simulated forged B2.1 alloy after cooling process in HV.

Table 6. Maximum flow rate of B2.1 alloy in mm.s<sup>-1</sup>.

Points	Hardness (HV)
1	413.112
2	413.79
3	422.584

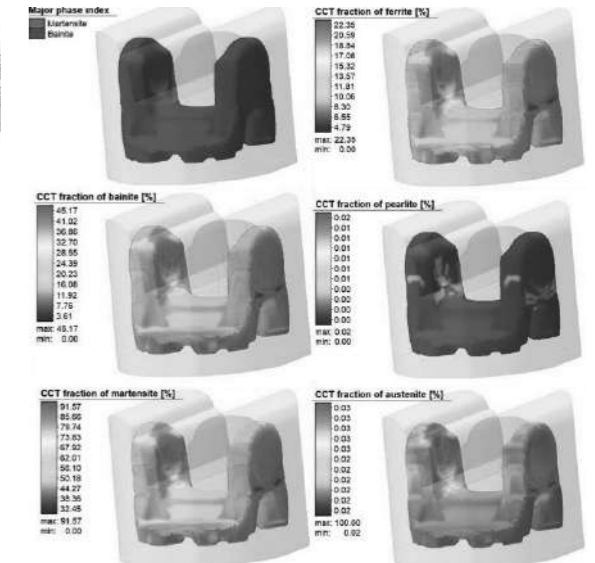


Figure 9. Simulation results of controlled cooling process for B2.1 alloy.

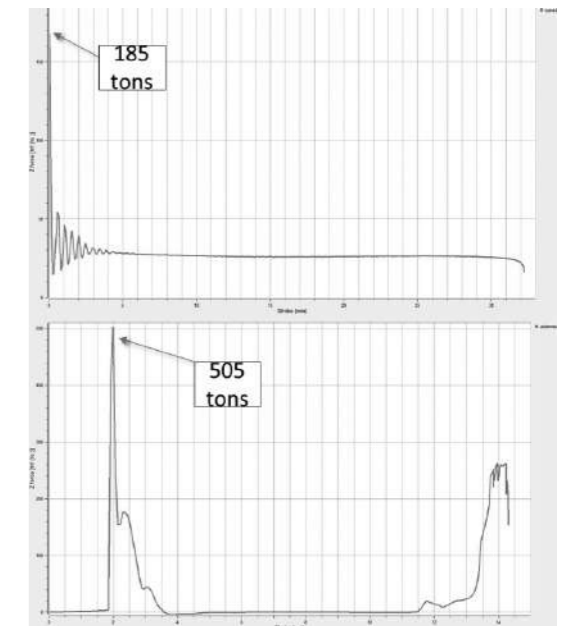


Figure 10. Force-displacement curves of steps 1 and 5 for steel alloy B2.1.

In addition to contact pressure values, force-displacement curves are also obtained by using simulation programme. The graphs for the first and last steps of the analysis are given in Figure 10. At the first step, the maximum force is 185 tons and the last one is 505 tons. Also, hardness results are given in Figure 4 for B2.1 alloy.

#### 4. Conclusion

Alternative and new alloy compositions have been developed for the traditional steel compositions used in the hot forging process. Alloy development works were carried out with simulation support via Simufact forming software. It has been checked whether these alloys are suitable for real production conditions. It is aimed that the new alloys exhibit superior properties than the traditional alloys in terms of mechanical properties. With the help of simulation programs, the producibility of the alloys was investigated and the results were reported in detail.

#### Acknowledgment

In this study, we would like to express our special thanks to TWIN R&D Engineering Company for providing consultancy services to our company.

#### References

- [1] Hawryluk, M. and Ziemia, J. U. Measurement, 110 (2017)284-295.
- [2] Karadağlı, Ö. and Çulha, O. DEÜ Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 16 (2014) 27-40.
- [3] Çapan, L. Plastik Şekil Verme, Makine Mühendisliği El Kitabı, 2 (1990).
- [4] Eycin, F. and Çulha, O., 2<sup>nd</sup> International University Industry Cooperation R&D and Innovation Congress, MCBU, (2018).
- [5] Güler, M. E. "Değişim mühendisliğinde proje planlama araçları ve simülasyon uygulaması" (2010). Alınılma tarihi: 04.2019 "http://hdl.handle.net/20.500.12397/12180".

## Hurda Nem Oranının İndüksiyon Ocağı Enerji Verimliliğine Etkisi

*The Effect of Scrap Moisture Ratio on the Energy Efficiency of the Induction Furnace*

Burak Ekin, Uğur Cengiz, Oğuzhan Sakarya, Muammer Bilgiç

Bilecik Demir Çelik San. ve Tic. A.Ş. • Türkiye

#### Abstract

Nowadays, iron - steel production is the most important source of iron metal after iron ore. Therefore, it is considered as an important raw material input of the steel industry. Scrap metal, generally, although the new legal regulations require closed stock places; It is stored on floors that are large, not covered and have no coating. However, scraps stored in the open area are directly affected by the seasons, that is to say, from the rainfall, and in the case of induction furnaces where there is no scrap preheating, this drying process takes place in the furnace. It is also the result of these factors that even the slag analysis, which is known in the arc furnaces and which is known as the winter syndrome, is even changed due to the adhesion of dust and soil to scrap.

In this study, the effect of % moisture content of scrap melted in induction furnaces on kiln energy efficiency was investigated in BDC. Scrap that is fed to induction furnaces and stored in open areas is exposed to moisture in rainy weather and winter conditions. The amount of moisture in the scrap surface is a parameter that negatively affects the energy spent in the induction furnace.

Steel shavings scraped into induction furnaces have higher moisture retention potential than other types of scrap due to their high hollow structure (large surface area). The amount of moisture contained in the surface of the steel shavings scrap was calculated by drying the samples taken from different parts of the scrap stock area. The energy consumed per unit tone of wet and dry scrap, which is charged to induction furnaces, was compared for 12 months and the effect of seasonal variability on energy consumption was investigated.

As a result; It has been observed that energy consumption can be achieved between 3.2% and 6% in unit energy consumption by drying or dry storage of scrap charged to induction furnace.

#### Özet

Günümüzde, Demir - Çelik üretiminde demir cevherinden sonra en önemli "demir metali" kaynağı hurdadır. Bu nedenle çelik endüstrisinin önemli bir hammadde girdisi olarak kabul edilir. Hurda metal, genellikle, her ne kadar yeni yasal düzenlemeler kapalı stok yerlerini zorunlu tutsa da; geniş, üzeri kapatılmamış ve herhangi bir kaplaması olmayan zeminlerde depolanmaktadır. Ancak açık alanda depolanan hurdalar mevsim koşullarından yani yağıştan doğrudan etkilenmekte ve hurda ön ısıtmanın olmadığı indüksiyon ocaklı tesislerde bu kurutma süreci ocak içerisinde gerçekleşmektedir. Ark ocaklarında bilinen ve kış sendromu denilen toz ve toprağın hurdaya yapışması sonucu ocak cüruf analizinin bile değişmesi yine bu etkenlerin sonucudur.

Bu çalışmada, Bilecik Demir Çelik A.Ş.'de indüksiyon ocaklarında ergitilen hurdaların % nem miktarının, ocak enerji verimliliğine etkisi incelenmiştir. İndüksiyon ocaklarına beslenen ve açık alanda depolanan hurdalar yağmurlu havalarda ve kış koşullarında neme maruz kalmaktadır. Hurda yüzeyindeki nem miktarı, indüksiyon ocağında harcanan enerjiyi negatif yönde etkileyen bir parametredir.

İndüksiyon ocaklarına beslenen çelik talaşı hurdası yüksek boşluklu(*geniş yüzey alanı*)yapısından dolayı diğer tür hurdalara kıyasla daha fazla nem tutma potansiyeline sahiptir. Çelik talaşı hurdası yüzeyinde içerilen % nem miktarı hurda stok alanının farklı bölgelerinden alınan numunelerin kurutulmasıyla hesaplanmıştır. İndüksiyon ocaklarına şarj edilen nemli ve kuru hurdaların 12 ay boyunca birim ton başına harcanan enerjileri kıyaslanmış, mevsim değişkenliğininenerji tüketimine etkisi incelenmiştir.

Sonuç olarak; bu çalışma kapsamında indüksiyon ocağına şarj edilen hurdaların kurutulması veya kuru ortamda stoklanması ile birim enerji tüketiminde %3.2 ile %6 arasında enerji tasarrufu sağlanabildiği görülmüştür.



## 1. Giriş

Çelik genel anlamda demirin düşük oranlarda karbonla yaptığı alaşımdır. Dolayısıyla çeliğin ana bileşiği demir (Fe) elementidir. Günümüzde çelik üretiminde demircevhenden sonra en önemli "demir metali" kaynağı hurdadır ve bu nedenle demirçelik endüstrisinin önemli bir hammadde girdisi olarak kabul edilir. Eskimiş,bozulmuş, kırılmış, hasar görmüş, patlamış, çatlamış ve kullanılması ekonomik olmayan makine, tezgah, ekipman, tır, kamyon, otomobil, gemi, uçak, ev eşyası,köprü, demir yolu malzemeleri, tank, silah, top, mermi, bina, fabrika vb. başlıcabileşeni demir olan her türlü kullanım ömrü dolmuş sanayi ürünü, ara iş ve kırıntı,imalat artığı, talaş, ıskarta vb. üretim esnasında ortaya çıkan maddelere de hurda denir[1].

BDÇ, ergitme ünitesi olarak İndüksiyon ocaklarını kullanmaktadır. İndüksiyonla ergitme, metal parçaların belirtilen sıcaklık ve sürelerde ısıtmakta kullanılan temassız bir ısıtma ve ergitme yöntemidir. Denetim kolaylığı, yüksek enerji verimliliği, yüksek elektrik iletim verimliliği, yüksek metalik malzeme verimliliği, tam otomatik üretime uygunluğu, göreceli düşük emisyon ve atık, çevre kirliliği yaratmaması gibi üstünlüklerinden dolayı indüksiyon ocakları son yıllarda demir – çelik sektöründe ilgi çekici uygulamalar olmuşlardır.[2].

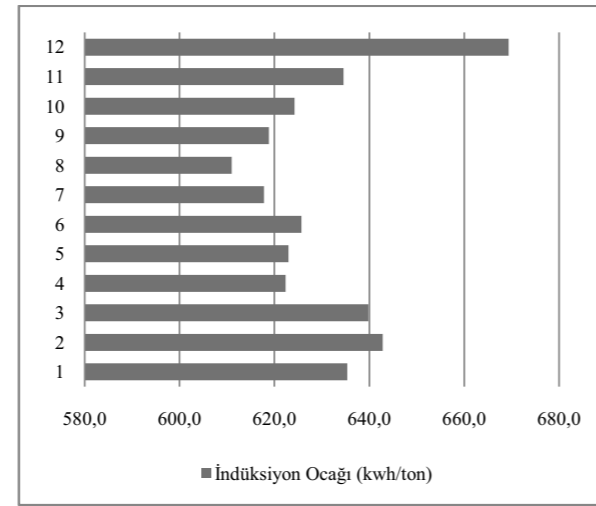
İndüksiyon ocağında ergitme işlemi, seçilen hurdaların ocağa sarsaklı şarj arabaları veya manyetik vinçler yardımıyla beslenmesiyle başlar ve primerden geçen yüksek frekanslı akım sekonderde yani şarjda çok daha şiddetli bir indüksiyon akımı oluşturur, şarj malzemesi bu akıma karşı gösterdiği kendi direnciyle ısınır ve ergir. Sıvı banyosu oluşur olmaz şiddetli bir karışma (*sıvı banyo hareketi*) başlar ve katı durumda olan hurdalar sıvı metal tarafından yalınarak ergime hızlanır. Metal (*şarj malzemesi*) tamamen ergiyince oluşan cüruf temizlenir. Ocağa şarj edilen hurdanın kirliliği (*plastik, toz, nemli, ıslak şarj malzemesi vb.*) cüruf miktarının artmasına ve ocak enerji tüketiminin yükselmesine neden olmaktadır. Cüruf süzülükten sonra ise sıvı metalsıcaklığı yakalanır, enerji kesilerek ocak kaldırılır ve sıvı metal potaya alınır [2].

## 2. Deneysel Çalışmalar

İndüksiyon ocaklarına beslenen ve açık alanda depolanan hurdalar yağışlı havalarda ve kış koşullarında soğutucu etkilere maruz kalmaktadır. Hurda yüzeyindeki nem miktarı, indüksiyon ocağında harcanan enerjiyi negatif yönde etkileyen bir parametredir. Bu nedenle hurda stok alanındaki farklı bölgelerden alınan demir talaşı numuneleri 200°C'deki etüvde 4 saat boyunca kurutulmuştur. Numunelerin kurutulmadan önceki ve kurutulduktan sonraki ağırlıkları kayıt altına alınıp hurda % nem miktarı belirlenmiştir.

İndüksiyon ocaklarına beslenen demir talaşı hurdası, diğer hurdalara (*yağın yoğunluğu yüksek hurdalar*) nazaran yüzey alanının yüksek olması nedeniyle daha fazla nem tutma potansiyeline sahiptir. Demir- Çelik talaşı hurdası bünyesinde ihtiva edilen % nem miktarı hurda stok alanının farklı bölgelerinden alınan numunelerin kurutulmasıyla hesaplanmıştır. İndüksiyon ocaklarına şarj edilen nemli ve kuru hurdaların 12 ay boyunca birim ton başına harcanan enerjileri kıyaslanmıştır.

BDÇ. indüksiyon ocaklarına beslenen hurdaları ergitmek için birim ton başına (*2018 yılında alınan 10262 adet döküm*) harcanan enerji (*Kwh*) verileri Şekil 1'de belirtildiği gibi kayıt altına alınmıştır. Ton çelik başına (Satılabilir iyi ürün, ton) enerji tüketiminde meydana gelen değişim, mevsimsel şartlar, soğuk şarj etkisi ve hurda yüzeyinde ihtiva edilen nem miktarı ile ilişkilendirilmiştir.



Şekil 1. Birim ton başına (2018 yılında alınan 10262 adet döküm) harcanan enerji (Kwh) verileri

## 3. Sonuçlar ve Tartışma

Hurda stok alanındaki farklı bölgelerden alınan farklı numunelerin nem miktarları Tablo 1'de verilmiştir. İndüksiyon ocaklarında ergitilen hurdaların nem oranı yaklaşık %4.9 olduğu görülmüştür.

Numune	İlk Ağırlık (g)	Kurutma Sonrası Ağırlık (g)	Nem Miktarı (%)
1	2759	2609	5.5
2	1548	1457	5.9
3	3798	3597	5.3
4	843	808	4.1
5	537	516	3.9

Tablo 1. Farklı demir talaşı numunelerinin nem miktarı.

Mevsimsel şartlar, soğuk şarj etkisi ve nemli hurda kullanımının birim ton enerji tüketiminin hesaplanabilmesi için hurda yüzeyinde ihtiva edilen nem miktarı, suyun ısınma ısısı ve suyun buharlaşma ısısı gibi veriler Tablo 2'de belirtilmiştir.

Suyun Isınma Isısı	4.18 kJ/kg.K
Suyun Buharlaşma Isısı	2260 kJ/kg.K
Suyun Sıcaklık Değişimi	~100 K

Tablo 2. Su özellikleri

Bununla birlikte soğuk hava şartları için hurda besleme sıcaklığının mevsim koşullarına göre değişiminin birim enerji üzerine etkisi incelenmiştir.

1 ton çelik hurdasında bulunan 50 kg suyun buharlaşma enerjisinin ton başı birim enerji üzerine teorik incelemesi aşağıdaki gibidir.

1 ton çelik hurdasında bulunan yaklaşık 50 kg su için;

$$\text{Isınma enerjisi}(H_1): \\ 4,18\text{kJ/kgK} \times 100 \text{ K} \times 50 \text{ kg} = 20900 \text{ kJ}$$

$$\text{Buharlaşma enerjisi}(H_2): \\ 2260\text{kJ/kg} \times 50 \text{ kg} = 113000 \text{ kJ}$$

Hurda içerisindeki suyun uzaklaştırılması için gereken toplam enerji ( $H_T$ ):

$$H_1 + H_2 = H_T \\ H_T = 20900 \text{ kJ} + 113000 \text{ kJ} \\ = 133900 \text{ kJ}$$

1 ton Çelik hurdası içerisindeki %5 oranındaki suyun uzaklaştırılması için gereken enerji 133900 kJ olarak hesaplanmıştır.

İndüksiyon ocağında 1 ton çelik hurdasındaki suyun uzaklaştırılması için gereken teorik elektrik enerjisi:

$$1 \text{ kJ} = 0,00028 \text{ kWh}$$

$$133900 \text{ kJ} = 37,5 \text{ kWh}$$

BDÇ. indüksiyon ocaklarında kış mevsimi şartlarında ergitilen her 1 ton çelik için suyun sistemden uzaklaştırılma enerjisi 37.5 kWh olarak hesaplanmıştır. Tablo 3'de 2018 yılına ait aylara göre ton başı birim enerjileri verilmiş ve mevsimlere göre sınıflandırılmıştır. Bu doğrultuda pratik uygulamadaki mevsimsel şartların etkisi teorik hesaplama sonucunda elde edilen değer ile ilişkilendirilmiştir.

Mevsimler	Aylar	Birim Enerji (kWh/ton)	Mevsimsel Ort. (kWh/ton)
Kış	Kasım	635	640
	Aralık	672	
	Ocak	618	
	Şubat	639	
Geçiş	Mart	638	622
	Nisan	619	
	Mayıs	623	
	Eylül	620	
Yaz	Ekim	627	619
	Haziran	628	
	Temmuz	619	
	Ağustos	612	

Tablo 3. 2018 yılı aylık ortalama birim enerjiler

Tablodaki veriler doğrultusunda BDÇ. İndüksiyon ocağı yaz ve kış koşulları ortalama ergitme enerjileri arasında yaklaşık 21 kWh / ton fark bulunmaktadır. Nemi uzaklaştırmak için gerekli enerjiler hesaplanan değer 37.5 kWh / ton ve pratikteki değer ise 21 kWh / ton olmuştur. Aralarında olan 16.5 kWh / ton enerji farkının muhtemel nedenleri; (1) aylık üretim miktarlarındaki değişiklik, (2) hurda şarjlarındaki farklılıklar ve (3) indüksiyon ocaklarında enerji-süre verimliliğindeki değişiklikler olarak sıralanabilir. Ancak kış şartları ve diğer mevsimsel şartların arasındaki birim enerji farkının büyük bir kısmı kullanılan hurdaların hurda stok alanında maruz kaldığı nem kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Hem hurdaların nem miktarındaki değişimler hem de birim enerjilerin uğradığı değişimler mevsimsel koşullardan direkt olarak etkilenmektedir. Bu doğrultuda, 2019 yılı ilk üç ayı indüksiyon ocakları birim enerjileri Tablo 4'de verilmiştir.

Aylar	Birim Enerji (kWh/ton)	Mevsimsel Ort. (kWh/ton)
Ocak	685	673
Şubat	674	
Mart	659	

Tablo 4. 2019 yılı ilk üç ay ortalama birim enerjiler

Tablo 3 ve 4'deki değerlere göre her iki yılın ilk üç ayındaki değişime bakıldığında 2019 yılı ilk üç ayında 41 kWh fazla enerji tüketimi gerçekleşmiştir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü verilerine göre fabrikamızın yer aldığı Bozüyük/Bilecik konumunda 2019 yılında 2018'e göre yaklaşık %80 yağış artışı gözlenmiştir [3].



#### 4. Sonuç

BDÇ, indüksiyon ocaklarında yapılan bu çalışmada nemli ve kuru hurdaların arasındaki birim ton ergitme enerjisi farkı kıyaslanmış olup teorik çalışma ile ilişkilendirilmiştir.

Kış şartlarında hurda stok alanındaki farklı bölgelerden alınan demir talaşı hurdasında bulunan %5 nemi uzaklaştırmak için hesaplanan teorik enerji 37.5 kWh'dir. Bununla birlikte 2018 yılına ait mevsimsel ortalama farkı yaklaşık 21 kWh/ton olarak hesaplanmıştır.

Pratik uygulamada ise Aralık 2018 indüksiyon ocakları birim ton ergitme enerjisi 672 kWh iken%80 yağış artışı ile bu değer Ocak 2019'da 685 kWh/ton olarak gerçekleşmiştir.

BDÇ'de hurda neminin buharlaştırılması sırasında harcanan enerjiyi azaltmak amacıyla hurdalar ergitilmeden önce işletme içerisinde kapalı ve yağış almayan bir bölgede stoklandıktan sonra ergitilmesinin temini ile birim enerjiler üzerinde %3.2 ile %6 arasında enerji tasarrufu sağlanabileceği öngörülmektedir.

Bu çalışma ile; çelik üretim esnasında mevsimsel şartların, soğuk şarj işleminin ve nemli şarj malzemesi kullanımının birim ton enerji tüketimine etkisini anlamlandırmada temel bilgi oluşturulmuştur.

#### Referans

[1]TC. DPT Müsteşarlığı: 2126-ÖŞK:328, (Ankara,1988), *Demir ÇelikHammaddeleri*.

[2]Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi (MEGEP), Metalurji Alanı, "İndüksiyon Ocağı" Ankara, 2006.

[3]<<https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/yagis-raporu.aspx?b=m#sfB>> Son erişim:16.04.2019

## İndüksiyon Ocağı Cüruflarına Farklı Oranlarda MgO İlavesi ile Nötr Astarın Aşınma Davranışının İncelenmesi

*Investigation of Wear Behavior of Neutral Lining with Addition of Different Amount of Used MgO Brick to Induction Furnace Slags*

Uğur Cengiz, Oğuzhan Sakarya, Burak Ekin, Muammer Bilgiç

Bilecik Demir Çelik San. ve Tic. A.Ş. • Türkiye

#### Abstract

Continuous improvement activities of refractory materials are required for cost optimization studies in iron and steel production. In order to determine suitability for the usage conditions of monolithic refractories used in induction furnaces, it is important to know the characteristics, application conditions and the sintering parameters and also the wear properties against the different slags. In this study, the slag characteristics which is more compatible with Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - MgO Spinel Neutral lining was formed by adding recycled MgO-C brick ballast to the induction furnace slags at different rates.

The ladle bricks of Bilecik Demir Çelik A.Ş, dismantled and demolished are broken to roughly 10 - 50 mm grain size. Brick-cut bricks for waste minimization studies have been fed to induction furnaces in certain quantities as slag regulators. The slags' chemical composition of BDC's induction furnaces are composed of CaO = 25.41%, SiO<sub>2</sub> = 34.60%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 13.38%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 10.19%, MnO = 8.68%, and MgO = 3.61%. Minor Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and TiO<sub>2</sub> are present. In our study, MgO-C brick ballasts added to slag and %MgO content was brought to the range of 10.7 - 12.96 and its effect on lining working surface was investigated. At the same time, XRD analysis was performed locally on the demounted neutral lining and the effect of corrosive slag was investigated.

As a result; both quantitative and qualitative improvement of the mechanisms causing the chemical corrosion acceleration due to the slag have been determined.

#### Özet

Demir çelik üretiminde maliyet optimizasyonu çalışmaları gereği refrakter malzemelerin performanslarında sürekli iyileştirme faaliyetleri zorunlu olmaktadır. İndüksiyon ocaklarında kullanılan monolitik refrakterlerin özellikleri, uygulama koşulları ve sinterleme parametrelerinin yanı sıra farklı cüruflara karşı aşınma özelliklerini bilmek, kullanım

koşullarına uygunluğunu saptamak açısından önemlidir.

Bu çalışmada indüksiyon ocağı cürufuna farklı oranlarda geri dönüşüm MgO-C tuğla kırığı ekleyerek Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - MgO Spinel Nötr Astara daha uyumlu cüruf karakteri oluşturulmuştur.

BDÇ'nin kendi bünyesinde bulunan ve söküme ayrılan pota tuğlaları kaba kırılarak 10 - 50 mm tane boyutu aralığına indirilmiştir. Atık minimizasyonu çalışmaları gereği kırımı yapılan tuğlalar cüruf düzenleyici olarak indüksiyon ocaklarına belirli miktarlarda beslenmiştir. BDÇ indüksiyon ocağı ilk cürufunun kimyasal kompozisyonu CaO=25.41%, SiO<sub>2</sub> =34.60%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>=13.38%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>=10.19%, MnO=8.68%, ve MgO=3.61% olup minör oranda Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve TiO<sub>2</sub> bulunmaktadır. Çalışmamızda cürufa ilave edilen MgO-C tuğla kırığı ile %MgO içeriği 10,7 - 12,96 aralığına getirilerek astar çalışma yüzeyine etkisi incelenmiştir. Aynı zaman söküme ayrılan astara bölgesel olarak XRD analizi yapılmış olup, aşındırıcı cürufun etkisi de incelenmiştir.

Sonuç olarak; cüruftan dolayı meydana gelen kimyasal korozyon ivmelenmesine sebep olan mekanizmaların hem nicel hem de nitel olarak iyileştiği saptanmıştır.

#### 1. Giriş

Demir & çelik üretimi yapan tesislerde prosesin her basamağında refrakter malzemelerin kullanımı gerekmektedir, refrakter performansı sadece maliyet açısından değil, aynı zamanda çelik iç yapı temizliği ve sürdürülebilir metalürjik proses açısından da çok önemlidir. Prensip olarak, yaygın inancın tersine, refrakter performansında proses koşullarının ve dizaynının, refrakter ürün kalitesinden daha önemli olduğunu düşünmekteyiz.

İndüksiyonla ergitme yapan geri dönüşüm tesislerinde çoğunlukla kuru, dövülebilir, şekilsiz (monolitik) refrakterler kullanılmaktadır. Refrakter uygulamalarında her geçen gün kullanımı artan şekilsiz refrakterler, uygulama şekline göre dövme harçları, döküm harçları, püskürtme harçları, sıvama ve

örgü harçları olarak sınıflandırılır. Monolitik refrakter kullanımı özel şekilli tuğla kullanımına olan ihtiyacı azaltmıştır ve fırın tamirlerini daha kolay hale getirmiştir. Aynı kompozisyona sahip monolitik refrakterler tuğlalara göre daha yüksek kimyasal dayanım, daha yüksek ısı şok direnci ve daha düşük ısı geçirgenlik sağlayabilmektedirler [1,2].

Refrakterlerin bozunma dayanımı; matriste meydana gelen evrelerin kimyasal yapısı, yüzey dokusu, gözeneklilik, koruyucu tabakaların oluşup oluşmaması, termomekanik mekanizmalar, kimyasal korozyon, mekanik erozyon ya da aşınma vb. gibi birçok etkene bağlıdır [3]. Kimyasal olarak bozunmanın cüruf - refrakter etkileşimi ve eriyik metal - refrakter etkileşimi olmak üzere iki temel sebebi vardır. Bu iki temel nedenden en etkili olanı refrakterin cüruf ile kimyasal etkileşimidir [4].

Çelik üretim prosesi dışarıdan takviye cüruf yapıcılar ile cüruf kimyasının değiştirilmesine fırsat tanımaktadır. Cüruf tanımı birçok kişi için bir anlam ifade etmese de metal endüstrisinde çok önemli bir kavramdır, cüruf ve proste kullanılmak üzere refrakter biri birine uyumlu olmak zorundadır, uygun / dizayn edilmiş cüruf, metalürjik proseslerin olmazsa olmazıdır. Metal üretimi sırasında oluşan cürufun kimyasal yapısı çeşitli katkı malzemelerinin ilavesi ile refrakterlere daha az zararlı hale getirilebilmektedir. Cüruf kimyası sıvı metal işleme proseslerinin en önemli unsurudur.

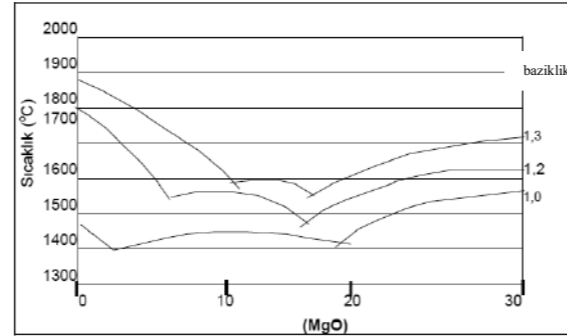
Refrakterlerin cüruf tarafından kimyasal olarak bozunmasında, asidiklik ve baziklik kavramları önemlidir. Çelik cüruflarında asidiklik ve baziklik kavramları malzeme içerisindeki SiO<sub>2</sub> ve CaO ile açıklanabilir. Basitçe CaO/SiO<sub>2</sub> oranı 1 den büyükse yapı bazik, küçükse asidik olarak nitelendirilir. SiO<sub>2</sub> ve ZrO<sub>2</sub> gibi asidik refrakterler asidik cürufarla, MgO ve CaO bazik refrakterler bazik cürufarla uyum içerisinde çalışabilirler. Genellikle indüksiyonla eritme yapan geri dönüşüm tesislerinin eritme fırınlarında yüksek alümina içerikli (Spinel) monolitik refrakterler hem asidik hem de bazik ortama karşı yüksek kimyasal direnç göstermesinden dolayı tercih edilmektedir. Çünkü indüksiyon ocağı cürufu EAO'lardan farklı olarak daha düşük Fe oksitler ve CaO ile daha yüksek Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içerir. Bu anlamda klasik tanımlama ile daha düşük bazikliğe sahiptir. Ancak yüksek sıcaklıklarda çalışılan birçok durumda asidiklik ve bazikliği açıklamak için daha kompleks formülasyonlar gerekir [5].

Asidiklik / baziklik kavramı ile ilgili olarak endüstride B4 oranları kullanılmaktadır. B4 oranlarının hesaplaması aşağıdaki eşitlikle yapılır.

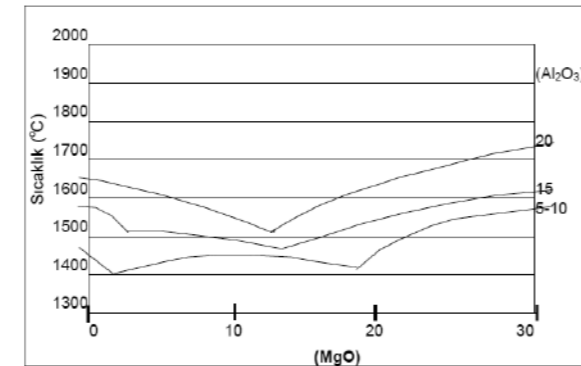
$$B4 \text{ oranı} = \frac{CaO \% + MgO \%}{SiO_2 \% + Al_2O_3 \% + TiO_2 \%}$$

Bir cürufun fiziksel ve kimyasal özellikleri her şeyden önce cüruf kompozisyonunun ve sıcaklığının

fonksiyonudur. Cürufun ergime sıcaklığı cüruf bazikliği ve %Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, % MgO'nun artması ile artış göstermektedir. Aynı zamanda MgO oranının %8 - 14 arasında olması halinde ise cüruf bazikliği ya da Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'ün her birinin artması ile sıvılaşmada meydana gelecek artış Şekil 1 ve Şekil 2'de belirtildiği gibi en aza doğru yönelir. Bu durumda yüksek ergime noktasına sahip MgO, cüruf ergime sıcaklığını yükselterek cürufun refrakter yüzeyine tutunmasını artırır [6]. Cürufun refrakteri ısıtma özelliklerinin bir fonksiyonu olan bu özellik çok daha detay çalışmalara ihtiyaç gösterir. Refrakter çalışma astarı üstüne kompozisyonu değiştirilmiş proses cürufunun yapışmasının sağlanması refrakter ömrüne olumlu katkı sağlayan bir mekanizmadır. Her ne kadar indüksiyon ocaklarındaki farklı banyo hareketi refraktere cüruf kaplama prosesinin etkinliğini sınırlasa da pratik uygulamalarda kısmi bir fayda sağlanabildiği görülmüştür.



Şekil 1. Sıvılaşma sıcaklığı ve cüruf bazikliği



Şekil 2. Sıvılaşma sıcaklığı ve %10 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Bir diğer cüruf & refrakter etkileşim mekanizması; çalışma refrakterinin ana bileşenlerinin cüruf içinde çözülmesini sınırlama veya cürufa yapılan bir takım ilaveler ile cürufu bu ana bileşen açısından yapay olarak doyuma ulaştırmaktır. Cürufun, onları oluşturan ana bileşenler açısından çözünürlük (Leaching, solubility) sınırları vardır. Herhangi bir cüruf bileşeni ister refrakterden, ister prosten gelsin, isterse dışarıdan ilave edilsin, cürufun özellikleri tarafından belirlenen bir noktaya kadar çözünür, bu nokta doyum noktası olarak tanımlanır (Saturation

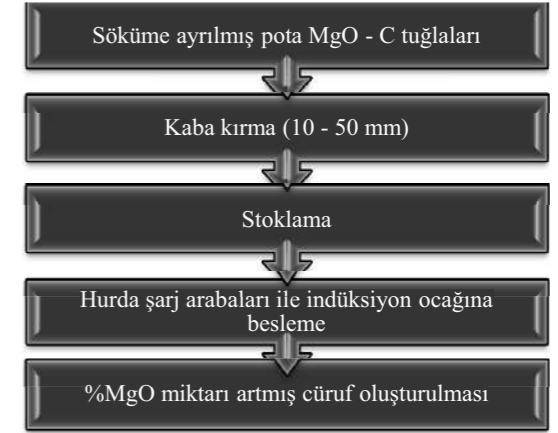
point). Örneğin indüksiyon ocağında kullanılan refrakterin ana bileşenleri olan MgO ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ocak cürufunda belli bir noktaya kadar çözünebilir, bunu ötesinde oluşacak bileşiklerin bu bileşeni içinde çözmesi güçleşir. Değişik cüruf kompozisyonları için değişik bileşenlerin doyum noktaları teorik ve deneysel olarak belirlenmiştir. Spinel refrakterler için az olsa da bazı çalışmalar yapılmış ve özellikle proses cürufundaki Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> doyum noktaları belirlenmeye çalışılmıştır. [5]. Değişik prosesler için cürufun refrakterdeki ana bileşenleri içinde çözme hızını yavaşlatmak veya durdurmak için bu bileşeni dışarıdan ve cürufun doyum noktasına kadar ilave etme uygulaması yaygın bir proses enstrümanıdır. Bu konuda en yaygın bileşenler MgO ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dir. Dışarıdan ilave, doyum noktasına kadar cürufun ergime derecesini ve çözünürlüğünü önemli ölçüde etkiler. Bu tür dışarıdan ilave edilen malzemeler; mineral konsantreleri, kalsine ürünler, kullanılmış tuğla veya harç kırıkları, sentetik cüruf olabilir.

MgO için çok daha yaygın çalışmalar vardır[4]. yüksek Fe oksit içeren Çelik yapım cüruflarında % 13-14 e kadar MgO doyum sınırı değerleri sık görülür, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> için ise Alümina refrakter kullanılan ortamlarda % 5-10-15 oranlarında ilaveler ile cüruf doyum noktaları kontrol edilmeye çalışılmıştır. [7].

## 2. Deneysel Çalışmalar

Bu çalışma kapsamında BDÇ'de ikincil metalürji potansiyelini tamamlamış MgO - C tuğlaları indüksiyon ocağı cürufuna MgO kaynağı olarak ilave edilmiştir. Bu süreç içerisinde ıskarta olarak ayrılan MgO - C tuğla atıkları geri kazanılmıştır.

Kazanılan bu malzemeler indüksiyon ocağı cürufunun MgO doyumunu artırarak cürufun bazikliğini düzenlemeye kullanılmıştır. BDÇ'de farklı hurda kompozisyonlarının eritildiği indüksiyon ocaklarında asidik karaktere kayan cürufun, bazikliği MgO - C tuğla ilavesi ile artırılmıştır. 28 ton çelik eritme kapasitesi olan 10 mW trafo gücüne sahip indüksiyon ocağına sarsaklı arabalar ile beslenen hurdaların yanına kırık MgO - C tuğla atıkları belli miktarlarda Tablo 1'de belirtildiği gibi ilave edilmiştir.



Tablo 1. MgO - C tuğla kırıklarının cürufa eklenme işlemi.

## 3. Sonuçlar ve Tartışma

### 3.1. Cüruf kimyasal analizi ve sonuçları

BDÇ 'de indüksiyon ocağı ile hurda eritmesi yapılırken farklı kompozisyonlara sahip hurdalardan farklı kompozisyona sahip cürufun oluşur. Bu nedenle cüruf bazikliğini hesaplayabilmek farklı cüruf örneklerinin analizi yapılmıştır.

	MgO-C Tuğla İlaveli			
	10,25	8,88	8,6	7
%MnO	10,25	8,88	8,6	7
%TiO2	1,54	2,14	1,8	1,06
%Cr2O3	1,66	1,69	2,27	2,41
%CaO	27,62	29,2	26,82	18
%MgO	3,49	2,87	4,69	3,37
%Fe2O3	10,98	7,67	8	14,1
%SiO2	31,4	35	35	37
%Al2O3	12,33	12,2	12,8	18
Toplam(%)	99,27	99,65	99,98	100,94
B4 Ratio	0,69	0,65	0,64	0,38
	50 kg MgO-C Tuğla İlaveli			
	8,7	10,6	9,7	10,8
%MnO	8,7	10,6	9,7	10,8
%TiO2	1,6	0,51	1,12	1,45
%Cr2O3	1,3	1	1,13	1,24
%CaO	29	25	25,3	22,2
%MgO	6,31	7,76	8,45	9,05
%Fe2O3	9,9	7,4	17,2	11,23
%SiO2	29,14	33,81	26	30,12
%Al2O3	13,9	11,09	11	13,13
Toplam(%)	99,85	97,17	99,9	99,22
B4 Ratio	0,79	0,72	0,89	0,7
	75 kg MgO-C Tuğla İlaveli			
	9,66	10,08	9,18	10
%MnO	9,66	10,08	9,18	10
%TiO2	0,9	1,55	0,44	1,6
%Cr2O3	1,9	1	0,9	1,1
%CaO	27,05	29,47	25	25,47
%MgO	10,68	13,13	15,9	12,13
%Fe2O3	15	7,19	9	12,19
%SiO2	24	23,33	28,12	22,3
%Al2O3	11,17	15	11,1	14,46
Toplam(%)	93,91	99,16	99,64	99,25
B4 Ratio	0,8	0,69	1,03	0,98

Tablo 2. İndüksiyon ocağı cüruf analizlerinin MgO-C ilavesi ile değişimi

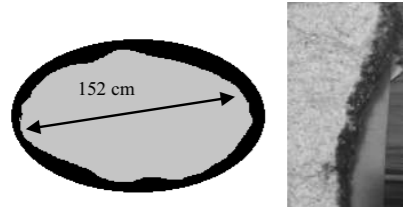
BDÇ'de bulunan 28 tonluk indüksiyon ocaklarında bir dökümden yaklaşık 800 kg cüruf oluşmaktadır. Bu cürufun MgO-C tuğlası ilavesi yapılmadan önceki analizi ve belirli miktarlarda MgO-C tuğla ilavesi

yapıldıktan sonraki analizleri baziklik değerleri (B4 oranı) ile birlikte Tablo 2'de verilmiştir.

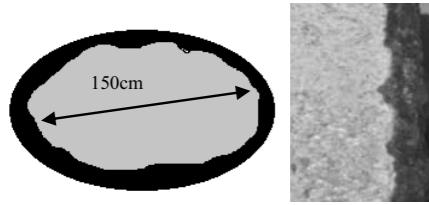
Tablo 2'deki sonuçlar incelendiğinde MgO-C ilavesi yapıldığında, cüruf içerisindeki MgO yüzdesi artarken SiO<sub>2</sub> yüzdesi azaldığı ve buna bağlı olarak cüruf bazikliğinin de arttığı görülmüştür. Bu değişimler göz önünde bulundurulduğunda indüksiyon ocaklarının refrakter kesitlerindeki değişimler Şekil 3., Şekil 4. ve Şekil 5.'de verilmiştir.

### 3.2. İndüksiyon ocağı çalışan astar çap ve kesit analizi

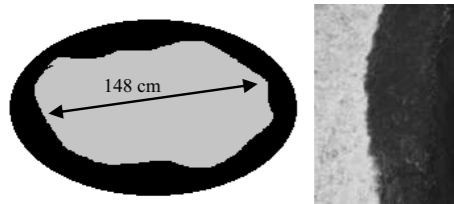
İndüksiyon ocağı cürufuna MgO-C tuğla kırığı ilavesi yapılmamış ocak astarının ilk aşamadaki çapı 152 cm olarak Şekil 3'de gösterilmiştir. Daha sonra ayrı ayrı 50 ve 75 kg cürufa ilave edilen MgO - C tuğla kırığının 152 cm'lik ocak astarı çapını Şekil 4 ve Şekil 5'de belirtildiği gibi 150 cm'ye ve 147 cm'ye daralttığı gözlenmiştir.



Şekil 3. MgO - C tuğla kırığı yapılmamış astar çapı ve kesiti



Şekil 4. 50 kg MgO - C tuğla kırığı yapılmış astar çapı ve kesiti

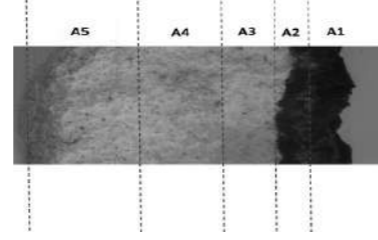


Şekil 5. 75 kg MgO - C tuğla kırığı yapılmış astar çapı ve kesiti

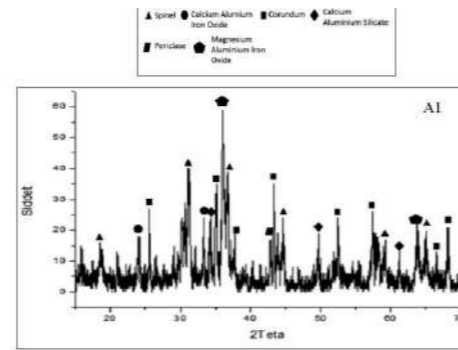
### 3.3. İndüksiyon ocağı söküm astarının XRD faz analizi

İndüksiyon ocağı söküm astarının kesitinden alınan 5 farklı bölgede oluşan fazlar incelenmiştir. Cürufun temas ettiği ve katman oluşturduğu bölgede ki fazlar

astarın refrakterlik özelliğini doğrudan etkilemektedir. Ancak astar yüzeyine yapışan cüruf miktarının kalınlığı refrakterin aşınma miktarını azaltıcı yönde etkilemektedir. Ağırlıkça %12,96 MgO miktarına sahip cüruf kompozisyonun kesit görüntüsü Şekil 6. belirtilmiştir.

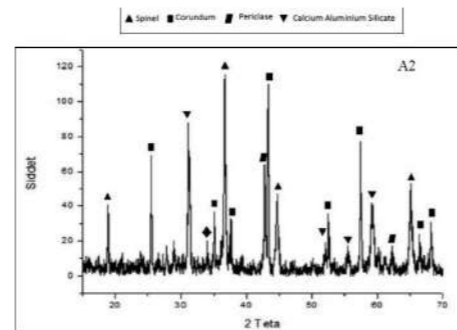


Şekil 6. İndüksiyon ocağından sökümü yapılan nötr astar kesiti



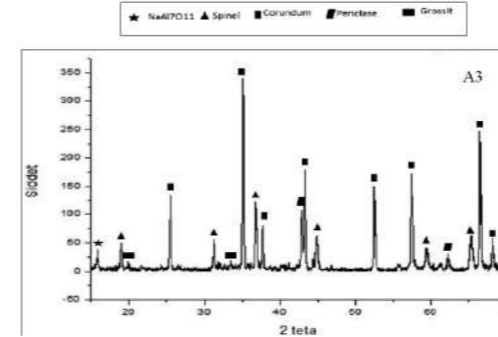
Şekil 7. A1 bölgesinden alınan numunenin XRD analizi

A1 bölgesinin XRD analiz sonucuna göre yapıda kısmen amorflik olduğu gözlemlenmektedir, bu amorflik refrakter yüzeyine yapışan kristallenmemiş cüruf tabakasından kaynaklanmaktadır. Oluşan fazlar incelendiğinde bu bölgede, refrakter yapısında olmayan refrakter ile cürufun etkileşimi sonrasında, Magnezyum Alüminyum Demir Oksit (MgFeAlO<sub>4</sub>), Kalsiyum Alüminyum Silikat (Ca<sub>4</sub>Al<sub>2</sub>SiO<sub>11</sub>), Kalsiyum Alüminyum Demir Oksit (CaAl<sub>4</sub>Fe<sub>8</sub>O<sub>19</sub>) fazları oluşmuştur.

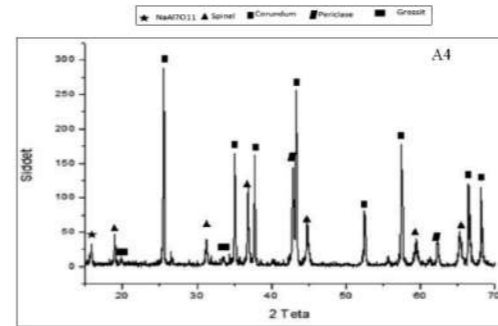


Şekil 8. A2 bölgesinden alınan numunenin XRD analizi

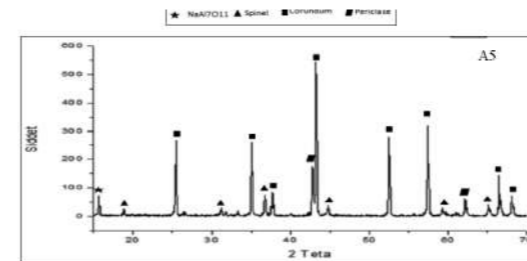
A2 bölgesinden alınan numunenin XRD analizi Şekil 8'de gösterilmiştir. Bu XRD paternine göre bu bölgede spinel oluşumunun yüksek oranda olduğu, yapı içerisinde Alümina ve MgO piklerinin de şiddetli olduğu ve astar malzemesinin bileşenleri ve cürufun etkileşimi sonrasında oluşan Kalsiyum Alüminyum Silikat gibi fazların bulunduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 9. A3 bölgesinden alınan numunenin XRD analizi



Şekil 10. A4 bölgesinden alınan numunenin XRD analizi



Şekil 11. A5 bölgesinden alınan numunenin XRD analizi

A3, A4, A5 bölgesinden alınan numunenin XRD paterni Şekil 9, Şekil 10 ve Şekil 11'de gösterilmiştir. XRD analizi sonuçlarına göre bu bölgede oluşan fazlar tamamen astar malzemesinin bileşenleri tarafından

oluşturulan fazlardır. Cüruf ile etkileşim sonrasında oluşan fazlar bu bölgede bulunmamaktadır.

### 4.Sonuç

Bu çalışmada, ağırlıkça farklı %MgO oranına sahip cüruf kompozisyonlarının indüksiyon ocağı nötr astarının aşınmasına etkileri incelenmiştir. Ömrünü tamamladıktan sonra 10 - 50 mm aralığına kırılarak indüksiyon ocağı cürufuna 75 kg ilave edilen MgO - C tuğla kırığı, aşındırıcı cüruf içerisindeki ağırlıkça %3,61 MgO miktarını %12,96'a çıkarmıştır. Buna bağlı olarak 152 cm'lik ocak çap ölçüsünü 147 cm'e düşürerek nötr astar yüzeyini kaplamıştır. Alınan XRD örneklerinde nötr astar yüzeyinin cüruf ile etkileşimi bölgesel olarak incelenmiştir. Cüruf içerisine MgO - C tuğla kırığı katkılanması yapılmayan ve 50 kg, 75 kg olarak iki kez katkılandırma yapılan cürufun, astar yüzeyini sıvama etkisi gözlemlenmiştir. Yapılan çalışma ile söküm MgO - C tuğla kırıklarının cüruf düzenleyici olarak kullanımı sağlanmıştır. Cürufun kimyasal ve fiziksel özelliklerinin kontrol edilmesi ile indüksiyon ocak astarının aşınma mekanizmasını anlamlandırma da temel bilgi oluşturulmuştur.

Bu çalışmaya, kullanılan refrakterin asıl ana bileşeni Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nin cürufa Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeren ilavelerdeki davranışlarının irdelenmesi ile devam edilecektir. Cüruf prosesi dizaynı ile ilgili olarak Endüstriyel Metalurji Prosesi koşullarındaki belirsizliklerin, değişkenlerin, ölçüm ve proses uygulaması sorunlarının azaltılması ve bunları dikkate alacak termodinamik modelleme çalışmaları BDC'nin önündeki konulardır.

### Referanslar

- [1] Banarjee, S. (2011). Properties of refractories, Answer Technology Inc., Wheaton, Illinois, U.S.A., 1-10.
- [2] Bahatia, A. (2012). Overview of Refractory Materials, [www.PDHonline.org](http://www.PDHonline.org)
- [3] Bengisu M. (2006). Seramik Bilimi ve Mühendisliği, Nobel Yayın No:895 Teknik yayınlar dizisi:69, 243-425.
- [4] Pretorius E. Steelmaking Slag Fundamentals, What is Slag? Basic Steel Making for Electric Arc Furnaces.
- [5] Brosnan, D.A. (2004). "Corrosion of Refractories", Refractories Handbook -Marcel Decker Inc., New York, ABD, 39-78.
- [6] S. Baycık, Granule Yüksek Fırın Cüruflarının Karo Sektöründe Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Y. Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2002, İstanbul, Türkiye.
- [7] Sina Mostaghel, Influences of Alumina on Fayalite-type Slags Properties. Lulea University of Technology, Licentiate Thesis. 2010

## Magnezya Spinel Kompozit Refrakterlerin Termomekanik Özelliklerinin İncelenmesi

*Investigation of Thermomechanical Properties of Magnesia Spinel Composite Refractories*

Mert Turfanda, Uğur Cengiz, Muammer Bilgiç

Bilecik Demir Çelik San. ve Tic. A.Ş. • Türkiye

### Abstract

MgO-Spinel composite refractory materials are effective constituents of MgO based refractories in case of thermal shock behaviour and thermal resistance. MgO refractories are widely known as convenient materials with its favourable combinations low thermal expansion coefficient and high thermal durability at both ambient temperature, elevated temperature and constant extreme high temperatures at several industries such as "steelwork plants" in applications of insulation lining of steel teeming ladles and production processes of "cement industry" in way of usage on high temperature transition zones in rotary kilns. However, MgO-Mg-Aluminate spinels do not present appropriate benefits in mechanical aspect in at elevated operating temperatures. For this regard of attention on improvement of thermomechanical properties of MgO-spinel refractories, requires a convenient optimization in practical range of spinel additives into MgO powder refractories.

MgO-spinel refractory materials might require a fine optimization and balance to improve thermomechanical behaviour of M-Spinel refractories to find out the best favourable option of samples among pure MgO and MgO with Mg-aluminate additives by % wt present considering both enhancement of thermomechanical properties with rising thermal shock damage parameters and thermal stress resistance parameters and striking decline in mechanical properties during progress of experiments but provides opportunity to be more appropriate material with thermal shock resistance indicating longer service life for industrial applications at high temperatures.

### Özet

Demir – Çelik sektöründe kullanılan refrakter tuğlaların termomekanik özelliklerini bilmek, kullanım koşullarına uygunluğunu saptamak

açısından önemlidir. Manyezitin ( $MgCO_3$ ) kalsine edilmesi ile elde edilen Magnezya'ya farklı oranlarda magnezyum alümina spinel ( $MgAl_2O_4$ ) katkısı yapılarak termal dayanım özellikleri geliştirilebilmektedir.

Söz konusu termomekanik özellikleri belirleyen değişkenler termal şok direncini gösteren R ve  $R_{st}$  parametreleridir. Bu parametreler ile elde edilen termal şok değerleri arasında korelasyon kurularak, malzemelerin termal şok davranışları değerlendirilmektedir. R parametresi çatlak başlangıç direncini tanımlar ve kırılmanın başlaması için gerekli minimum sıcaklık farkını ifade etmektedir.  $R_{st}$  şiddetli termal gerilim koşulları altında uzun çatlakların ilerlemesine neden olan maksimum sıcaklık farkıdır.  $R_{st}$  parametresi termal şok şiddetinin artmasıyla refrakter malzemenin daha fazla zayıflamasını ve çatlak kararlılığını tahmin etmekte kullanılmaktadır.

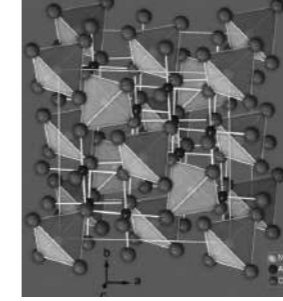
Bu çalışmada, MgO içerikli refrakter tuğlalarına farklı oranlarda spinel ilavesi yapılmıştır. Farklı katkı oranları ile termal şok hasar direnci ve termal şok direnci parametrelerinin değişimi göz önüne alınıp mühendislik pratikleri ile değerlendirilmesi yapılmıştır.

Kütlece % spinel miktarı arttırıldığında refrakter malzemenin kırılma dayanımı, kırılma tokluğu ve elastik modülü düşmüş, termal şok direnci (R) ve termal hasar direnci ( $R_{st}$ ) parametreleri ise spinel katkısının % 10 - 30 oranları arasında artmıştır. En yüksek değerler % 20 – 30 arası spinel ilavesinin yapıldığı numunelerde elde edilmiştir.

### 1. GİRİŞ

MgO-spinel malzemeler yüksek sıcaklık koşullarında yüksek ısıl dayanımla birlikte rigidliğini koruyan ve yüksek kimyasal aşınma direnci sayesinde demir çelik sektörlerinde ısı transferine maruz kalan bölgelerde izolasyon

malzemesi olarak tercih edilmektedir. Diğer bulk formda şekillendirilmiş manyezit bazlı tuğlalara göre düşük termal iletkenliğinin yanı sıra cüruf ataklarına karşı etkili olan korozyon direnci MgO-alüminat spinel malzemelerin demir çelik sektörlerinde tercih edilmesinin bir diğer sebebidir. Genel olarak düşük termal genleşme özelliği ve yüksek ergime noktası ile Mg-Spinel refrakter türevleri izolasyon pratiklerinde oldukça kullanışlı malzemelerdir. [1, 4]



Şekil 1. Magnezyum-Alüminat ( $MgAl_2O_4$ ) Spinel Kafes Yapısı

Mg-spinel türevlerinden bu deneysel çalışmada Magnezyum alüminat ( $MgAl_2O_4$ ) spinel malzemesi kullanılmıştır. Mg-alüminat spinel refrakterler izolasyon katmanı olarak işlevsellik sağlayan yüksek sıcaklıktaki termal özelliklerinin aksine oda sıcaklığında mekanik özellikleri aynı yeterlilikte değildir.

Mg alüminat spinel tozu Bayer prosesi ile elde edilen alüminyum oksidin ( $Al_2O_3$ ) kalsine edilmiş manyezit ( $MgCO_3$ ) ile füzyon edilmesi ile meydana gelir. MgO refrakter toza, bu Magnezyum alüminat spinel katkısı ile sinterlenmiş malzemenin dayanımı, kırılma tokluğu, kırılma yüzeyi enerjisi ve kırılmanın başlangıcından ilerleme aşamasına kadar gereken eşik enerjisinde düşüşe sebep olur. Bu bağlamda alüminat spinel katkılı refrakter malzemelerin ısıl dayanımdaki olumlu etkisi mekanik özelliklerine yansımamaktadır ve yetersiz kalmaktadır. Spinel katkısı ile oda sıcaklığında düşüş gösteren mekanik özellikleri de dikkate alınarak yetersiz kalan mekanik dayanım, kırılma yüzey enerjisi ve kırılma noktası ile iyileşme gösteren termal davranış bu deneysel çalışmanın esas odağdır. [2, 3]

Deneysel çalışma kapsamında ağırlıkça %0-%30 aralıkta alüminat spinel bileşimlerinde MgO toz refrakter malzeme numunelerine katkı yapılarak termomekanik özelliklerde kayda değer artış elde edilmesi planlanmaktadır.

MgO refrakter toz malzemelerin 0% spinel, 5% spinel, 10% spinel, 20% spinel ve 30% spinel katkılı numunelerin, deneyin geniş spektrumunda analizi ve katkı malzemelerin refrakter yapıda termomekanik özelliğe sağladığı etkiyi doğru

değerlendirmek açısından önemlidir. Alüminat spinel katkısı MgO-spinel malzemede yoğunluk, görünür porozite ve kritik hata boyutunu da değiştirmektedir. Burada en önemli nokta termomekanik özelliklerin iyileştirilmesi ile bu belirtilen görünür porozite ve kritik hata boyutu ölçümlerinde en doğru optimizasyon sağlanmasıdır. Sonuç olarak, alüminat spinel katkısı (0-5-10-20-30%wt-ağırlık) MgO refraktere sentezlenerek termomekanik özelliğe etkisinin gözlemlenmesi çalışmasında,

- **Kırılma yüzey enerjisi**
- Çatlak başlangıcından ilerleme sonucunda kırılma noktasına kadar gereken **kırılma enerjisi**
- **Kırılma tokluğu**
- Isıl şok altında malzemenin dayanım gösterdiği en fazla sıcaklık farkını ve ısı akısını ifade eden **termal gerilim (stres) dayanım parametrelerini**
- Termal deformasyonda oluşan çatlakların ilerlemesini başlatan minimum elastik enerji eşliğini ve nihai termal gerilme çatlakının sebep olabilecek minimum çatlak boyunu ifade eden **termal şok hasarı parametrelerini**

şeklinde sıralanan kavramların değerlendirilmesi ile MgO-alüminat-spinel refrakterlerin termomekanik davranışlarında gelişiminin yanı sıra diğer spinel katkısı ile düşüş trendi gösteren mukavemet, kırılma tokluğu ve kırılma yüzey enerjisi gibi değişkenlerin korelasyonu ile uygun bir mühendislik optimizasyonu amaçlanmaktadır. [4]

## 2. Deneysel Çalışmalar

### 2.1. Numune Hazırlama

Deneysel çalışmanın ilk aşamasında MgO-spinel-zirkonya refrakter malzeme numuneleri ağırlık olarak spinel katkısında 5%, 10%, 20% ve 30% ; zirkonyum ise aynı bileşim miktarının seçimleri ile 5%, 10%, 20% ve 30% ağırlık olarak presleme öncesi hazırlanır. Tabii ki numunelerden biri termomekanik davranışın spinel ve zirkonya ( $ZrO_2$ ) katkısına göre daha doğru değerlendirmek için saf MgO olarak hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelerin kompozisyonları aşağıdaki gibidir:

- 1.) 100 wt% M
- 2.) 95 wt% M-5 wt% S
- 3.) 90 wt% M-10 wt% S
- 4.) 80 wt% M-20 wt% S
- 5.) 70 wt% M-30 wt% S

(M:MgO, S:  $MgAl_2O_4$ )

## 2.2. Presleme

Presleme aşamasında her biri 10 g olarak hazırlanan numunelerin çelik kalıp ile preslenmesi sağlanır. Numunelerin her biri bir kağıt keseye konduktan sonra çelik kabın içerisine dökülür; öncesinde kalıba titreşim verilerek içindeki tozun homojen olarak dağılımı sağlanır ve 80 kg/cm<sup>2</sup> şiddetinde bir basınç uygulanır. Presleme işlemi bittikten sonra numunenin çatlak kontrolü yapılır. Numuneyi toz halinde kalıba dökmeden önce çelik kalıbın iç yüzeyleri 50% bor yağı 50% saf su bileşimli sıvı ile yağlanır.

## 2.3. Sinterleme

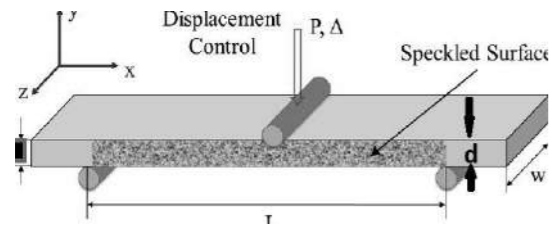
Numunelerin sinterleme işlemi en yüksek 1700°C sıcaklığa ulaşacak şekilde fırında 5°C/dk. Oranında sıcaklık artırılarak gerçekleştirir. 1700°C sıcaklığa ulaşıldığında numuneler bu sıcaklıkta 2 saat bekletilir. Sinterleme işlemi bittikten sonra soğutma işlemi oda sıcaklığında gerçekleştirir.

## 2.4. Parlatma

Parlatma işlemi su geçirmez silisyum karbür (SiC) superfleks spiral kâğıtlar ile yapılır. Numunelerin her yüzeyinin ayna pürüzsüzlüğünde olması sağlanır.

## 2.5. 3-Nokta Bükme Testi

Numunelerin sinterleme ve parlatma aşamalarından sonra numunelerin bileşimindeki spinel (MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) ve zirkonya (ZrO<sub>2</sub>) katkısına göre mekanik ve termomekanik özellikleri kapsamında sonuçlar elde edilmiştir. [4, 5]



Şekil 3. 3-Nokta Bükme Testi

3-nokta bükme testi uygulaması ile numunelerin dayanımı, elastik modülü, kırılma tokluğu ve kırılma enerjisi hesaplanabilir.

Bu kavramların eşitlikleri aşağıdaki gibidir:

### 2.5.1. Bükme Mukavemeti

$$\sigma_{3-point} = \frac{3 \cdot P \cdot L}{2 \cdot W \cdot d^2}$$

P: Uygulanan maksimum kuvvet

L: 2li destek noktası arasındaki mesafe

W: Numunenin genişliği

d: Numunenin kalınlığı

## 2.5.2. Kırılma Enerjisi

Bükme testinde uygulanan yük ile kırılma noktasına kadar malzemenin absorbe ettiği enerji miktarıdır. [4, 5]

$$Y_{WOF} = \frac{U}{2 \cdot W \cdot (d - c)}$$

W: Numunenin genişliği

d: Numunenin kalınlığı

c: Çentik derinliği

## 2.6. Termal Stres Dayanımı Parametreleri ve Termal Şok Hasarı Parametreleri

Termal stres dayanımı ve termal şok hasarı parametreleri yürüten deneysel çalışma ile hazırlanan numunelerin termomekanik özelliklerini değerlendirme ve tartışma aşamasında söz konusu olacak parametrelerdir.

### 2.6.1. Termal Stres Dayanımı Parametreleri

Bu parametreler refrakter malzemelerin yüksek sıcaklıktaki zorlu ısıl koşullar altında yapısında oluşan çatlakların gelişme veya büyüme eğilimini ifade eder. Bu parametrelerin yüksek değerlerde olması oluşan çatlakların ilerleme potansiyelinin daha az olduğunu, malzemenin kırılma yaşamadan söz konusu şartlara uyum gösterebileceğini tayin eder. [6]

$$R = \frac{\sigma_f(1 - \theta)}{E\alpha}, R' = \frac{\sigma_f(1 - \theta)k}{E\alpha}, R'' = \frac{\sigma_f(1 - \theta)\Phi}{E\alpha}$$

$\sigma_f$ : Bükme dayanımı

E: Elastik modülü

$\alpha$ : Ortalama ısıl genleşme katsayısı

$\nu$ : Poisson's oranı

k: Isıl iletkenlik

$\Phi$ : Termal stres düşürme sabiti

$R$ , yüksek sıcaklıkta sabit ısı akışı maruziyeti altında malzemenin yüzeylerinde müsaade ettiği maksimum sıcaklık farkıdır.

$R'$ , yine aynı koşullarda malzemeye uygulanabilecek birim alandaki maksimum ısı transferidir.

$R''$ , malzemenin yüzeyine uygulanabilecek maksimum birim zamanda ısı transferi oranıdır. [6]

### 2.6.2. Termal Şok Hasarı Parametreleri

Termal şok hasarı parametreleri, malzemedeki çatlakların ilerlemesi için gereken enerji ile termal gerilme kırığının başlangıç aşamasında yüzeyde absorbe edilen elastik enerjiyi dikkate alarak hesaplanır. [6] Eşitlikler aşağıdaki gibidir:

$$R''' = \frac{E}{\sigma_f^2} \times \frac{1}{1 - \theta} \text{ and } R'''' = \frac{E}{\sigma_f^2} \times \frac{Y_{WOF}}{1 - \theta}$$

$Y_{WOF}$ : Work of Fracture

$$R_{st} = \left( \frac{y_s}{\alpha^2 E} \right)^{1/2}$$

$y_s$ : Kırılma yüzeyi enerjisi

$R'''$ , çatlakların ilerlemesi için gereken minimum elastik enerjiyi,

$R''''$ , termal stres kırığının oluşması için oluşabilecek minimum çatlak boyu uzamasını,

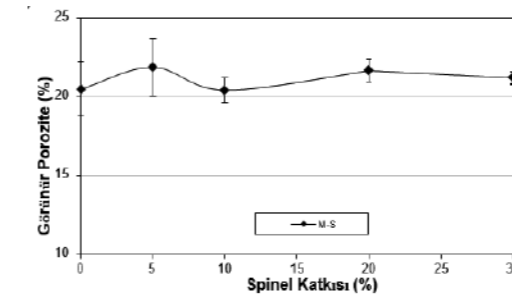
$R_{st}$  ise var olan zorlu termal şok koşullarında uzun çatlakların oluşması ve ilerlemesi için gereken yüzeylerdeki maksimum sıcaklık farkını ifade eder. [6]

## 3. Sonuçlar ve Tartışma

### 3.1. Görünür Porozite

Spinel katkısı test sonrası elde edilen sonuçlara göre kayda değer bir değişim yaratmamaktadır. Spinel katkısı ile görünür porozitedeki değişimi Grafik 1'de görebilirsiniz.

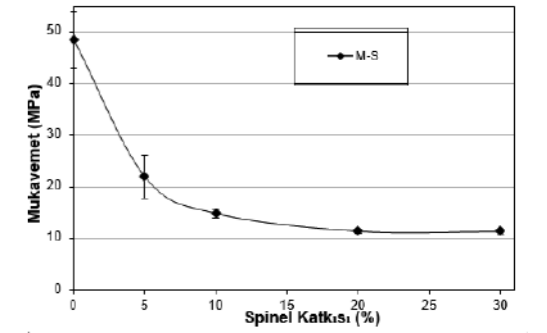
Spinel katkısı 5%, 10%, 20% ve 30% alüminat spinel bileşimleri ile desteklendiğinde en düşük görünür porozite oranı 10% spinel katkısı içeren numunede gözlenmiştir. Tüm numunelerde spinel ilaveleri sonucu gözlemlenen görünür porozite grafiği aşağıda belirtilmiştir (Grafik 1).



Grafik 1. Görünür Poroziteye Spinel Katkısının Etkisi

### 3.2. Mukavemet

Katkısız magnezyum oksidin (MgO) mekanik özellikleri dayanım olarak spinel katkısı ile büyük ölçüde zayıflamaktadır. Parabolik olarak seyreden bu düşüş söz konusu spinel ilavesi ile sinterlenip hazırlanan numunelerin mukavemeti 50 MPa'dan ~13 MPa'a kadar düşmektedir (Grafik 2).

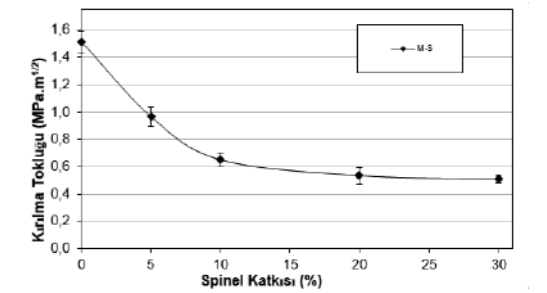


Grafik 2. Mukavemetin Spinel Katkısı ile Değişimi

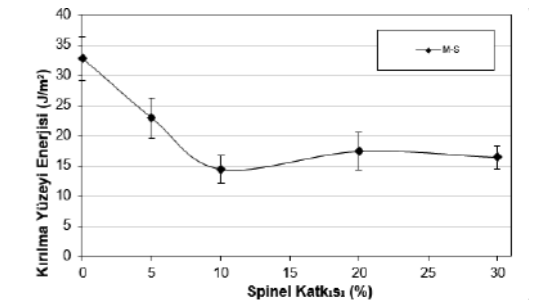
## 3.3. Kırılma Tokluğu, Kırılma Yüzey Enerjisi ve 3-Nokta Bükme Testinde Kırılma Noktasına Kadar Absorbe Edilen Enerji

Kırılma tokluğu ve kırılma yüzeyi enerjisi nicelikleri spinel katkısı ile düşmektedir. Bu iki mekanik özelliğin test sonuçlarındaki kritik noktası 10% spinel katkısıdır. Kırılma tokluğu 10% spinel katkısına kadar parabolik eğri ile sonrasında 20% ve 30% spinel katkısı olan numunelerde doğrusal düşüş göstermektedir (Grafik 3).

Kırılma yüzey enerjisi de spinel katkısı ile düşmekte en düşük değer 10% spinel katkısı olan numunede ölçülmüştür. Kırılma yüzey enerjisi spinel katkısı ile saf MgO numunesi (0% spinel), MgO-5% spinel ve MgO-10% spinel numunelerinde doğrusal bir düşüş göstermektedir (Grafik 4).

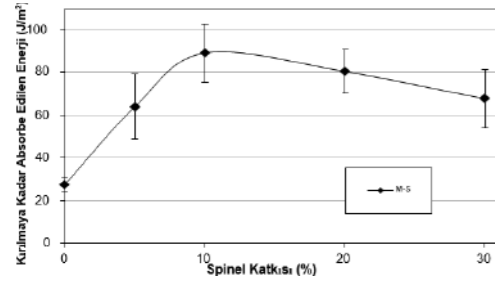


Grafik 3. Kırılma Tokluğunun Spinel Katkısı ile Değişimi



Grafik 4. Kırılma Yüzey Enerjisinin Spinel Katkısı ile Değişimi

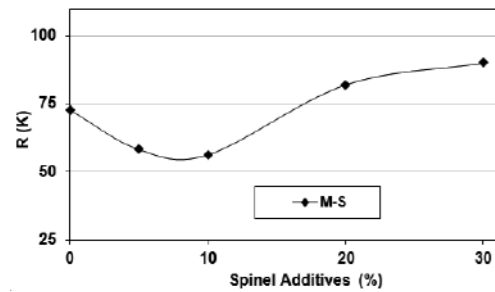
Bükme testinde deformasyonun tamamlandığı kırılma anına kadar absorbe edilen enerjiyi dikkate aldığımızda 10% oranda spinel katkılı numuneler göze çarpıyor. 10% spinel katkısından daha fazla spinel bileşimli numunelerde değer düşüyor. 10% spinel katkısı olan numunenin grafikteki noktasına kadar doğrusal bir artış ve 10% spinel katkısından daha fazla spinel bileşimi olan numunelerde absorbe edilen deformasyon enerjisi yine doğrusal bir düşüş göstermektedir. Dolayısıyla en yüksek değer zirkonya katkısı olmayan numunelerde **MgO-10% spinel** grafikte gözlemlendiği gibi tepe noktası olarak maksimum kırılma dayanımı enerjisi için eşik oluşturmakta ve optimizasyon noktası olarak sonuç vermektedir. (Grafik 5)



**Grafik 5.** Kırılma Noktasında Absorbe Edilen Plastik Deformasyon Enerjisine Spinel Katkısının Etkisi

### 3.4. Termal Stres Dayanımı ve Termal Şok Hasarı Parametreleri

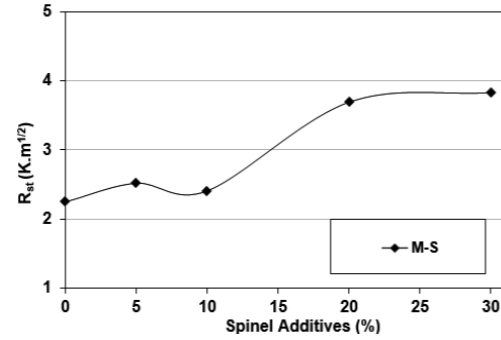
Termal gerilme dayanımı parametresi spinel katkılarının yüzdesine göre çarpıcı bir değişim göstermektedir. MgO ve MgO toz refraktere spinel katkılı numunelerine baktığımızda grafikte 10% spinel katkısından sonra termal stres dayanım parametresinde parabolik bir artış gözlenmektedir. Sadece spinel katkılı olan numunelerde en yüksek parametre değeri, katkının en yüksek olduğu numune **MgO-30% spinel** numunesi olmuştur. (Grafik 6)



**Grafik 6.** Termal Stres Dayanımı Parametresine Spinel Katkısının Etkisi

Termal şok hasarı parametrelerindeki değişimler termal stres dayanımı parametresindeki değişimlere benzer seyretmektedir. 10%-20%-30% spinel katkılı numunelerde termal gerilme dayanımı eğrisinde

görüldüğü gibi benzer bir eğri ile termal şok hasarı parametresi parabolik bir eğri şeklinde artış göstermektedir. **20% spinel** ve **30% spinel** katkılı numuneler termomekanik davranış yaklaşımında termal şok hasar parametresine yaklaşık olarak aynı matematiksel katkıyı yapmışlardır. (Grafik 7)



**Grafik 7.** Termal Sok Hasarı Parametresine Spinel Katkısının Etkisi

### 4. Sonuç

Sonuçların mekanik özelliklere dair olan kavramlar açısından tartışılması ve seçim yapılması söz konusu olduğunda en maksimum performans gerekli optimize katkı yüzdeleri ile birlikte esas mekanik özelliklerin dikkate alınması ile kırılma tokluğu, kırılma yüzey enerjisi ve 3-nokta bükme testinde kırılma noktasına kadar absorbe edilen enerji yaklaşımı ile termomekanik özellikleri belirleyen termal gerilme dayanımı ve termal şok hasarı parametreleri yaklaşım arasında bir optimizasyon çalışması yapılması gerekmektedir.

MgO-Alüminat spinel (MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) katkılı refrakter malzemelerin mekanik ve termomekanik test sonuçlarına baktığımızda en düşük mukavemet değeri spinel katkısı yapılmayan MgO numunedir. Spinel katkısı ile mekanik dayanımının düşüşü spinel katkısı arttıkça sürmektedir. En düşük mukavemet yaklaşık **~ 13 MPa** ile **20% ve 30% spinel** içeren numunelerdir. Yapılan mekanik testler ile kırılma tokluğu ve kırılma yüzey enerjisinde de benzer bir düşüş eğrisi gözlenmiştir. Buna karşın numunelerin bükme testindeki kırılma noktasına kadar absorbe edebildikleri enerji grafiğinde farklı durum söz konusudur. En yüksek sonuç yaklaşık **~ 90 J/m<sup>3</sup>** ile 10% spinel katkısı yapılan **MgO-10% spinel** numunesinde hesaplanmıştır.

10% spinel içeren numunelerin termal gerilme dayanımı ve termal şok hasarı parametrelerindeki parabolik artış eğrisi olması durumunu ve numunelerin mekanik sonuçlarının değerlendirilmesi hesaba katılarak gerekli mühendislik optimizasyonu tasarlanmıştır. Buna göre mukavemet, kırılma tokluğu ve kırılma yüzey enerjisi eğrilerinin 10% ve 10%'dan daha yüksek spinel içeren numunelerde düşüş trendi gösterdiği ve aksi bir yönelim ile termomekanik özellikleri belirleyen termal gerilme

dayanımı ve termal şok hasarı parametresinde aynı noktada artış trendi göstermiştir. Buna sonuç olarak MgO-spinel malzemelerin mekanik ve ısıl şok altında termomekanik davranışlarını dengelemek adına spinel katkısının 10%-20% aralığında tutulması maksimum performans noktasında uygun olduğu öngörülmüştür.

### 5. KAYNAKÇA

- [1] Lee, W. E. and Rainforth, W. M., 1994, Ceramic Microstructures: Property, Control by Processing, Chapman and Hall, London, UK.
- [2] Shackelford, J, Introduction to Material Science for Engineers, pp. 74-77.
- [3] Sahin, B., Aksel, C., Developments On The Mechanical Properties of MgO-MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> Composite Refractories by ZrSiO<sub>4</sub>-3mol % Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Addition Dept. of Material Science and Engineering Anadolu University, Eskisehir 26470 Turkey pp. 49-54
- [4] Aksel, C, Thermal Shock Behaviour and Mechanical Properties of Magnesia spinel Composites, PhD Thesis (1998).
- [5] Aksel, C. and Ceylantekin R. "Improvements on the Mechanical Properties and Thermal Shock Behaviours of MgO - spinel Composite Refractories by ZrO<sub>2</sub> Incorporation", pp. 2-6, 2011.
- [6] Aksel, C. and Warren, P.D. "Thermal Shock Parameters (R, R'' and R''') of Magnesia-spinel Composites", pp. 1-3, 2002.



## Petrol Boru Çeliklerinde Anizotropik Davranışın Mekanik Özellikler Üzerine Etkileri

The Effects of Anisotropic Behavior on Mechanical Behavior in Steels for Pipelines

Cemre Keçeci

İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. • Türkiye

### Özet

Son yıllarda petrol ve doğalgaz taşınması amacıyla API standardında üretimi gerçekleştirilen petrol boru çelikleri yüksek kaynaklanabilirlik ve yüksek mukavemet, tokluk özellikleri bakımından farklı projelerde kullanılmaktadır. Petrol boru çelikleri hem toprak altında hem üzerinde oldukça düşük sıcaklıklarda yüksek basınç altında kullanılmaktadırlar. Bu çeliklerin haddeleme sürecinden boru yapım aşaması sonrasında kadar tüm proseslerde kontrolünün sağlanması ve standardın gereksinimi olan mukavemet değerlerini sağlayabilmesi gerekmektedir. Bu çeliklerin haddeleme yönüne paralel, diyagonal ve boyuna mekanik özellikleri oldukça önem taşımaktadır. Metallerin anizotropik davranışta olması nedeniyle bu kalite çeliklerde farklı yönlerdeki mekanik davranışları bu çalışma altında incelenmiştir.

### Abstract

The concept of anisotropy is used to describe the direction-dependent change in the properties of any material at any point. Anisotropic properties are widely used in steel production process and control activities. Due to the use of steel grades in different directions depending on the standard of use, mechanical strength properties in different orientations are of great importance.

In recent years, petroleum pipe steels produced in API standard for the transportation of oil and natural gas have been used in different projects in terms of high weldability and high strength, toughness properties. Petroleum pipe steels are used under high pressure both under ground and at extremely low temperatures. These steels must be able to ensure control of all processes from the rolling process to the aftermath of the construction of the pipes and to provide the strength values required by the standard. The diagonal and longitudinal mechanical properties of these steels parallel to

the rolling direction are very important. Due to the anisotropic behavior of metals, mechanical behavior of these steels in different directions has been examined under this study.

Tensile test specimen, notch impact test specimen and high load deceleration (DWT) samples were examined with the data obtained after each test phase. The microstructure of the samples was examined in Nikon Optical Microscope with x1000 magnification. Micro structure grain size, grain distribution and inclusion studies are supported by electron microscopy.

**Key Words:** Continuous Casting, Anisotropy, Mechanical Strength, Grain Orientation, Anisotropic Behavior on Mechanical Behavior, Petroleum Pipe Steels.

### 1. Giriş

Petrol boru çeliklerinde özellikle Yüksek mukavemet değerlerine sahip (API 5L / EN ISO 3183) X65 kalite çeliklerde müşteri beklentisi olan mukavemet değerleri haddeleme yönüne dik veya haddeleme yönüne paralel olacak şekilde değişebilmektedir. Bu kapsamda mevcut X65 standardında ve üretim pratiklerine ait sıcak haddelemiş mamül üzerinde test yapılarak sonuçların haddeleme yönüne dik ve paralel olacak şekilde kıyaslaması yapılmıştır.



Şekil 1. Enine ve boyuna numune kesim bölgeleri

Farklı yönlerden alınan numunelerin kıyaslanması adına çekme, çentik darbe ve dwt numunesi aynı bobin numunesi üzerinden çıkartılmıştır. Çıkarılan numunelerde belirtilen testler yapılarak test sonuçları kıyaslanmıştır.

Çekme testlerinde oluşan farkın farklı bobinlerde benzer sonucunu görmek adına bu çalışma çekme testleri için 200 adet farklı bobin numunesinde daha denenmiştir. Bu çalışma için seçilen 1 adet bobin ve deney tekrarı için seçilen 200 adet bobinde de enine ve boyuna çekme testleri arasındaki fark benzer değerlerde gerçekleşmiştir.

Tablo 1. X65 Kimyasal Analiz Aralıkları

C (max)	Mn (max)	Si (max)	S (max)	P (max)	Ti +V + Nb (max)
0,12	1,60	0,45	0,15	0,25	0,15

Tablo 2. X65 Mekanik Özellikler

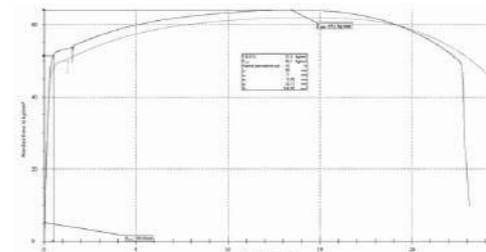
Akma Mukavemeti	Çekme Mukavemeti	% Uzama
45,9 kg/mm <sup>2</sup> (min)	54,6 kg/mm <sup>2</sup> (min)	24 (min)

### 2. Deneme Prosedürü

400 mm boyunda ve 38 mm genişliğinde alınan çekme test numuneleri 600kN kapasiteli çekme test cihazında çekilmiştir. Haddeleme yönüne enine kesilmiş numunede akma mukavemeti 52,5 kg/mm<sup>2</sup> iken haddeleme yönüne paralel kesilmiş numunede 49,1 kg/mm<sup>2</sup> olarak gerçekleşmiştir. Bu deneme haricinde 200 farklı bobinde yapılan benzer çalışmada da akma değeri enine 52 kg/mm<sup>2</sup> iken boyuna numunede 49,1 kg/mm<sup>2</sup> olarak gerçekleşmiştir.

NUMUNE YÖNÜ	KALINLIK (mm)	GENİŞLİK (mm)	AKMA MUK. (kg/mm <sup>2</sup> )	ÇEKME MUK. (kg/mm <sup>2</sup> )	UZ. (%)	AKMA/ÇEKME
E	14,39	38,13	52,5	64,1	42	0,819
B	14,37	38,04	49,1	62,1	44	0,791

Tablo 3. Boyuna ve enine numune çekme test sonuçları



Şekil 2. Çekme test grafiği

Deney için seçilen bobin numunesinde çekme mukavemeti ise enine numunede 64,1 kg/mm<sup>2</sup> iken haddeleme yönüne paralel kesilmiş numunede 62,1 kg/mm<sup>2</sup> olarak gerçekleşmiştir. Darbe çentik testleri RKP450 cihazında gerçekleştirilmiştir. Enine numunelerde 0°C de yapılan testlerde 197 joule iken boyuna numunelerde 252 joule gerçekleşmiştir. Ayrıca DWT ve sertlik ölçümleri tablo 5

de gösterilmektedir. Sertlik ve DWT sonuçları gözle görülür fark olmadığını göstermektedir.

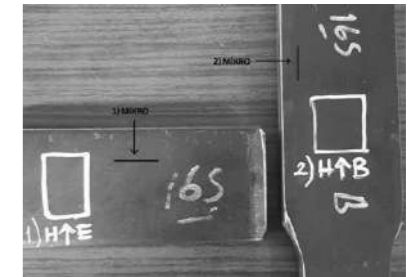
KALINLIK	YÖN	ÇENTİK DARBE TEST SONUÇLARI				
		NUMUNE ÖLÇÜLERİ	SICAKLIK (C°)	Numune-1 (J)	Numune-2 (J)	Numune-3 (J)
14,4	E	10X55X10	0	178	202	210
14,4	B	10X55X10	0	257	255	245

Tablo 4. Boyuna ve enine numune çentik darbe sonuçları (Numune yönü enine iken çentik yönü boyuna yapılmaktadır.)

KALINLIK	YÖN	DWT TEST SONUÇLARI		SERTLİK TEST		
		TEST SICAKLIĞI (°C)	Numune-1	Numune-2	SERTLİK BİRİMİ	DEĞER
14,4	E	0	100	100	HV	194
14,4	B	0	100	100	HV	202

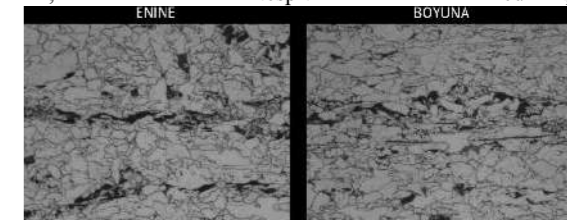
Tablo 5. Boyuna ve enine numune DWT sonuçları

Çekme testi gerçekleştirilen numunelerde şekil 2 deki şekilde mikro yapı incelemesi için numune kesilerek mikro yapı özelliklerinin enine ve boyuna şekilde incelenmesi sağlanmıştır.



Şekil 3. Çekme numunelerinden kesilen mikro inceleme numuneleri

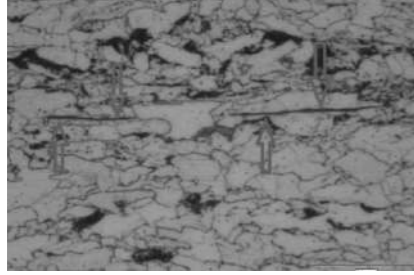
Mikroyapı haddeleme ve yeniden kristalizasyondan sonra düşük karbonlu çeliklerin karakteristiği olan bantlı mikroyapısını gösteren ferrit taneleri ve perlit kolonilerinden oluşmaktadır. Bantlaşma, sürekli döküm sırasında katılaşma aşamasından kalan ve haddeleme deformasyonu yoluyla katmanlara yayılan kimyasal ayrışma, özellikle mangan ile ilişkilidir. 1 numaralı haddeleme yönüne enine kesilmiş mikro yapı inceleme numunesinde x500 büyütmede tane boyutu ASTM E112-13 e göre 11,7 tespit edilmiş iken haddeleme yönüne paralel incelenen 2 numaralı numunede 11,4 tespit edilmiştir.



Şekil 4. Enine ve boyuna mikro yapı görüntüsü, X500, Merkez

Numunelerin her ikisinde de ferrit ve perlit yapı gözlemlenirken boyuna kesilmiş numunelerin bobin

kalınlığı merkezinde segregasyon ile birlikte MnS inklüzyonları görülebilmektedir. MnS inklüzyonlarının büyüklüğü 10 – 50 mikron arasında değişmektedir. Enine kesilmiş numunelerde benzer inklüzyonlar görülememiştir.

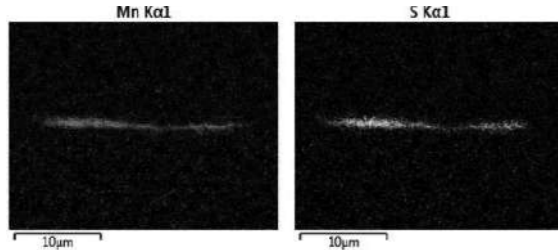


Şekil 5. Boyuna mikro yapı görüntüsü, X500, Merkez, MnS Inklüzyonları



Şekil 6. MnS Inklüzyonları SEM görüntüsü

Bazı mangan sülfür ve silikat tipi fazlar haddeleme ile birlikte deforme olarak haddeleme yönünde uzayabilmektedirler. Sonuç olarak, bu tip inklüzyonlar, özellikle gerilme uzaması, bükülme özellikleri, kırılma tokluğu gibi mekanik özelliklerdeki değişimlere yol açarak anizotropik özelliklerin belirlenmesinde rol oynarlar.

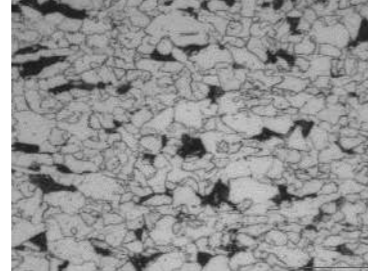


Şekil 7. MnS Inklüzyonları SEM-EDS görüntüsü

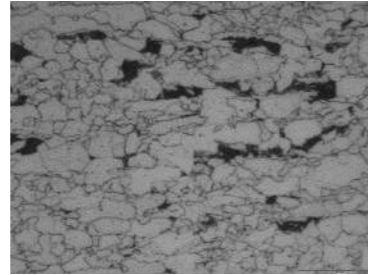
### 3. Sonuçlar ve Tartışma

Sıcak haddelenmiş 14 mm kalınlığında X65 boru hattı çelik bobin numunelerinde farklı yönelmelerin mukavemet özellikleri test edilmiştir ve enine doğrultu ve boyuna numunelerde farklı bölgelerin mikroyapı özellikleri optik mikroskop ve electron mikroskopunda incelenmiştir. En yüksek dayanım değerleri (akma ve çekme dayanımı) enine

numunelerde görülmüştür ve boyuna numunelerde ise yüksek uzama değerleri olduğu tespit edilmiştir. Test edilen numunenin tipik mikroyapısı (hem uzunlamasına hem de enine yön için), ortalama tane büyüklüğü 11,5 µm olan genel bir ferrit ve perlit yapısından oluşmaktadır.



Şekil 8. Optik mikroskop, X500 görüntüsü (Enine)



Şekil 9. Optik mikroskop, X500 görüntüsü (Boyuna)

### 4. Sonuç

Elde edilen sonuçlara göre, API-5L X65 boru hattı çeliğinden alınan numuneler anizotropik bir davranış sergileyerek enine numuneler daha yüksek bir akma ve çekme mukavemeti değeri göstermektedir.

Boyuna numunelerde görülen MnS inklüzyonları boyutları ve kapladığı alan itibarı ile enine numunelere kıyasla mekanik davranış özelliklerine önemli ölçüde etki ederler. Çekme kuvvetleri ile birlikte numunede klivaj sistemleri çentik etkisi yaratabilecek zayıf noktalardan başlayarak kırılma mekanizmasını tetiklerler. Bu kapsamda boyuna numunelerde belirgin bir alana sahip olan MnS inklüzyonları akma ve çekme mukavemet değerlerinin daha düşük gelmesine neden olabilecek etkenlerdendir.

Bunun yanı sıra anizotropi özelliğinin etkenlerinden olan mikro yapıda kristalografik oryantasyonun incelenmesi için elektron gerisaçılım difraksiyonu metodu (EBSD) kullanılabilir.

### Referanslar

- [1] Mechanical Anisotropy in Steels for Pipelines, (Min Sung, Dong Woo and Harshad Kumar Dharamshi Hansraj)
- [2] Critical Assessment 16: Anisotropy in metals (B. Hutchinson)

[3] On the role of microstructural properties on mechanical behavior of API X-46, (M.A. Beltran, J.L. Gonzales, D. Rivas, F. Hernandez, H. Dorantes)

[4] Anisotropy of Charpy Properties in API-X80 Steels, (MinSung Jooa, Dong-Woo Suha, Jin-Ho Baeb and H. K. D. H. Bhadeshiaa)

[5] API Specification 5L. Specification for Line Pipe, Forty third edition March 2004.

## Seviye 2 Akıllı Kontrol Uygulaması ile Kok Bataryalarında İtme Kuvvetinin Yorumlanması

Interpretation of Pushing Force in Coke Batteries by Level 2 Intelligent Control Application

Erman Kaya, Hüseyin Zümrüt, Ahmet Beşkardes

İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. • Türkiye

### Özet

Kok bataryalarında koklaşmasını tamamlamış koklaşabilir taş kömürü harmanı, fırın itici tampon mekanizması ile itilir. İtme işlemi esnasında kok kütlelerinin itilmesini sağlayan kuvvet, fırın itme kuvveti olarak adlandırılır. İtme kuvveti itici tamponu süren motorun çektiği akıma bakarak yorumlanmaktadır. Akım değişimine bakılarak fırın içindeki kuvvet değişimi gözlenir. Kuvvet değişiminin takip edilmesi ve yorumlanmasıyla fırın refrakteri hasarı olmadan ya da başka bir olumsuz duruma çıkmadan önce, kök nedeni bulup düzeltmek mümkündür. İtme kuvvetinin/akımının değişimi, kok kütlelerinin homojen olarak ısıtılıp ısıtılmadığını gösterir. Ayrıca fırın duvarlarının ve fırın tabanının yüzeyi hakkında fikir verir. Normal şartlarda itme akımı, tampon mekanizması kok yüzeyine temas ettiğinde yükselir ve daha sonra itmenin geri kalanı boyunca düşme eğilimi gösterir. Herhangi bir hasar durumunda itme akım trendi karakteristik olarak bozulur ve normalden farklı eğilimler gösterir. Bu çalışmada motor itme akımı trendleri İskenderun Demir ve Çelik A. Ş. (İsdemir) Kok Seviye 2 sistemi üzerinde çalışan akıllı kontrol modeli ile oluşturulmuştur. Yine bu model ile bu trendler yorumlanmış ve olası hasarlanmalara karşı operatörleri önceden uyaracak bir uzman sistem uygulaması haline getirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kok fabrikası, kok bataryaları, itme arabası, itme akım amperi, koklaşma, karbonlaşma, ısıtma rejimi, Seviye 2, akıllı kontrol uygulamaları, uzman sistem.

### Abstract

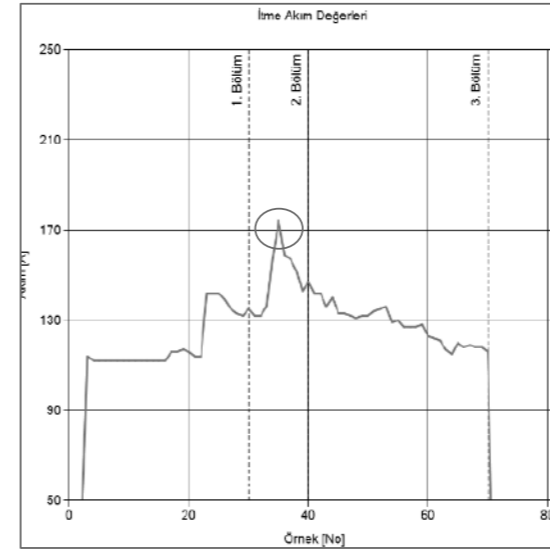
Coke blend which has completed its coking process in coke batteries, is pushed with the furnace pusher ram mechanism. The force that pushes the coke mass during the pushing operation is called the furnace pushing force. The pushing force is interpreted by looking at the current drawn by the engine that drives the pusher ram. The force change in the furnace is observed by looking at the current change. By monitoring and interpreting the force change, it is possible to find and correct the root before the furnace refractory is damaged or another negative situation occurs. The change of

pushing force/current indicates whether the mass of coke is heated homogeneously. It also gives an idea into the surface of the furnace walls and the furnace base. In normal conditions, pushing current is increased when contacting the pusher ram mechanism of coke surface and then tends to fall along the rest of the pushing. In case of any damage, the pushing current trend is characteristically deteriorated and shows a different trend than normal. In this study, motor pushing current trends were created by the intelligent control model which is running on in the İskenderun Iron and Steel Co. (İSDEMİR) Kok Level 2 system. Again with this model, these trends are interpreted and transformed into an expert system application that will warn the operators in advance of possible damage.

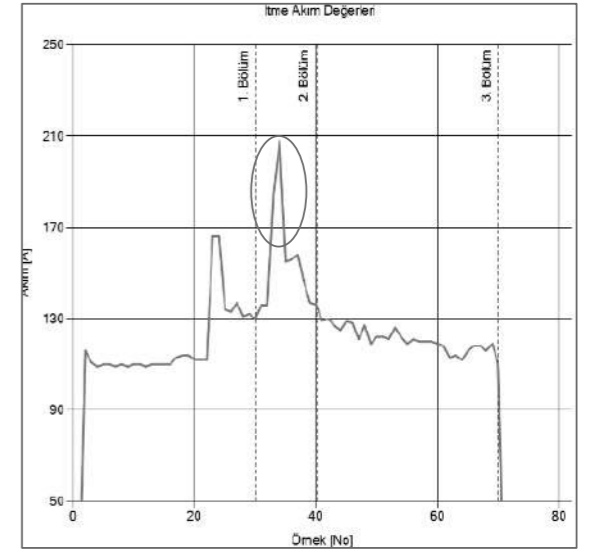
**Key Words:** Coke plant, coke oven batteries, pushing machine, oven pushing force, coking, carbonization, heating regime, Level 2, intelligent control applications, expert system.

### 1. Giriş

Fırın itme kuvveti, itme sırasında kok kütlelerinin sıkıştırılması üzerindeki kuvvetin ölçümüdür. İtme kuvveti kok kütlelerinin homojen olarak ısıtılıp ısıtılmadığını gösterir. İtme kuvveti aynı zamanda fırın duvarlarının ve fırın tabanının durumunun anlaşılmasını da sağlayacaktır [1]. İtme kuvveti itici tamponu süren motorun çektiği akıma bakarak yorumlanmaktadır. Akım değişimine bakılarak fırın içindeki kuvvet değişimi gözlenir. İtme kuvveti amperaj olarak ifade edilebilir veya birim alan başına kuvvete dönüştürülebilir. Hangi yöntem uygulanırsa uygulansın, belirli bir fırın veya tüm fırınlar için kuvvet değişikçe, fırın hasar görmeden veya bir etkiye neden olmadan kök nedeni tanımlanmalı ve düzeltilmelidir. Normal şartlarda itme akımı, tampon mekanizması kok yüzeyine temas ettiğinde yükselir ve daha sonra itmenin geri kalanı boyunca düşme eğilimi gösterir. Herhangi bir hasar durumunda itme akım trendi karakteristik olarak bozulur ve normalden farklı eğilimler gösterir.



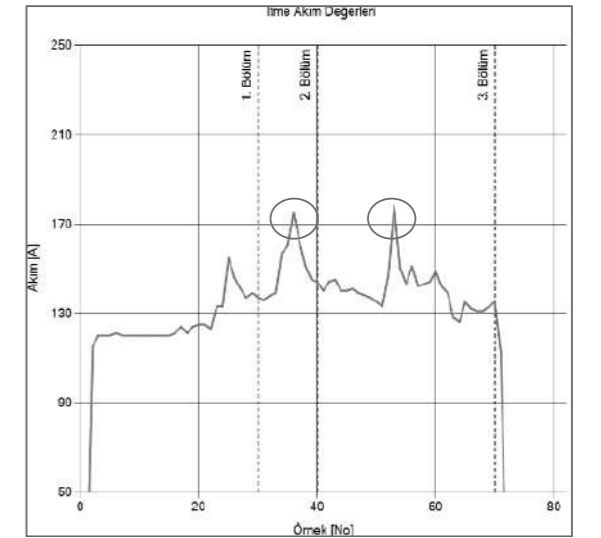
Şekil 1. Normal durumda kok fırını itme akım grafiği.



Şekil 2. Isıtma rejimi veya kömür harmanından kaynaklı itme akım trendindeki bozulma

Şekil 1'de İsdemir kok bataryalarındaki bir fırın için itici tamponu süren motorun çektiği akım değerleri gösterilmektedir. Akım birimi amperdir. Grafikteki zaman eksenini motorun çalışma süresi içinde motordan alınan akım sinyallerinin sayısını göstermektedir. İtme işlemi sırasında 120 adet akım değeri alınmaktadır. Fakat 80. örnekten sonrası hep 0 geldiği için akım grafikleri 0-80 aralığında gösterilmiştir. Grafikte 1. Bölüm olarak ifade edilen bölümde tampona hareket vermek için motorun çektiği akımlar görülmektedir. 2. Bölüm, tamponun kok yüzeyine temas ettiği bölümü gösterir. Kok tabanında bir sorun varsa ya da kömürün tam koklaşmaması durumlarında bu bölgede farklı akım trendleri görülür. 3. Bölümde kok sıkıştırılmaya başlanmıştır. Normal durumda akım değerleri azalan bir seyir izler. Fakat duvar ya da fırın tabanında hasar varsa buradaki grafik normalden farklı olacaktır.

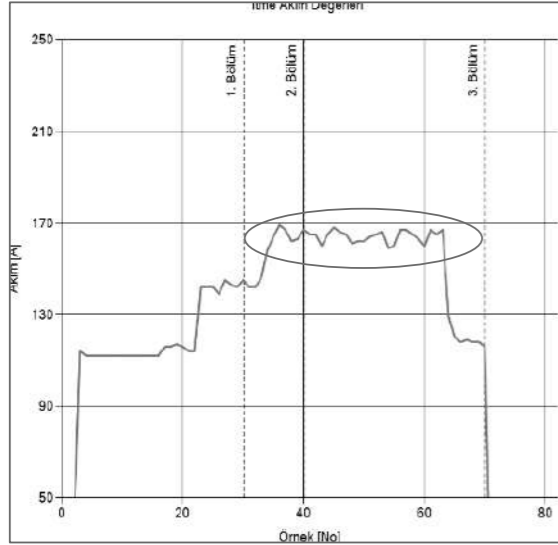
Normal bir durumda itme akım grafiği Şekil 1'deki gibi olur. İtme işlemi boyunca akım değerinde veya itme kuvvetinde önemli bir değişiklik söz konusu olduğunda, koklaşma döngüsü sırasında kok kütlelerinin yeteri kadar koklaşmaması durumundan kaynaklanan zorlanmalar akla gelir. Bu durumda akım grafiği Şekil 2'deki gibi bir karakteristikte olur. Koklaşmanın tamamlanmaması, yeterli ısıtma rejiminin sağlanamaması veya kömür harmanının karakteristiğine bağlanabilir [2]. Eğer kömür harmanı karakteristiği ile ilgili bir problem söz konusu ise tüm bataryadaki fırınların bu eğilimi göstermesi beklenir. Kömür harmanının içerisindeki yüksek, orta ve düşük uçuculu kömürlerin doğru oranlara sahip olup olmadığını belirlemek için kömür ve harman analizleri yapılır.



Şekil 3. Fırın tabanında hasar olması durumunda oluşan akım trendi

İtme akımının ölçümü ve izlenmesi, fırın duvarlarının durumuyla da ilgili bilgiler verir. İtme akımının ölçülmesi, itici araba operatörünün, fırın duvarı koşullarını, fırın

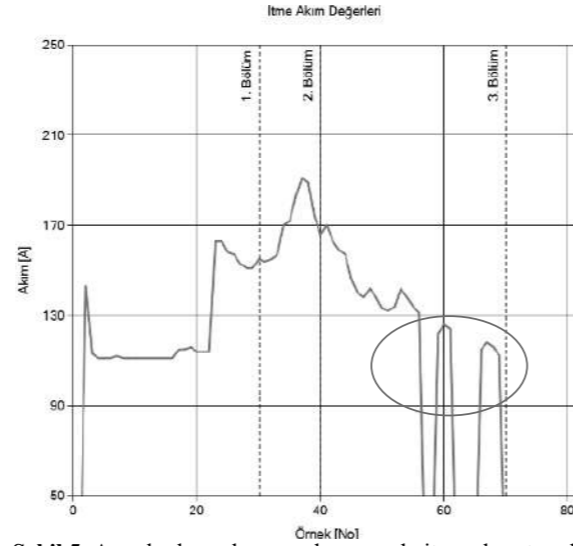
tabanının durumunu ve kok kütesinin fırın tabanına uyguladığı basıncı anlamasına olanak sağlar [1]. İtme akımı yükselmesinin kök nedeninin değerlendirilmesinde, koklaşma kamarasına bitişik yanma kamaraları duvarları üzerinde dikey ve yatay sıcaklık dağılım profillerini incelemek gerekir. Yanma kamaralarında bazı beklerde dikey ve yatay sıcaklık dağılımı sağlanamadığında Şekil 4' teki gibi bir itme trendi ile karşılaşılır. Böyle bir durumda, duvar kalıcı bir hasara uğramadan önce durum tespit edilmeli ve gerekli işlemler yapılmalıdır.



Şekil 4. Yanma kamaralarında bazı beklerde dikey ve yatay sıcaklık dağılımı sağlanamadığı durumda itme akım trendi

Fırın itme akım grafiğinden tespit edilebilecek bir husus da aşırı karbon birikimlerinin fırın çatısı veya fırın duvarları üzerindeki etkisidir. İtme işlemi boyunca itme trendinde yer alan sık ve küçük pikler fırındaki aşırı karbon birikiminin göstergesidir. Şekil 5'te aşırı karbon birikmiş bir fırında oluşan akım grafiği yer almaktadır.

Bu çalışmada İsdemir kok bataryalarındaki bir fırın boyunca itici tamponu süren motorun çektiği akım değerlerinden fırının tabanı ve duvarlarındaki deformasyon hakkında yorum yapma imkânı sağlayan Seviye 2 kontrol modeli uygulanmıştır.



Şekil 5. Aşırı karbon oluşumu durumunda itme akım trendi

## 2. Deneysel Çalışmalar

İtici tamponu süren motorun çektiği akım değerlerine göre fırının taban ve duvarlarındaki hasarlanmalar hakkında detaylı bilgiler üreten itme akım kontrol modeli İsdemir Kok Seviye 2 sistemi içinde geliştirilen uygulamalardan biridir. Seviye 2 sistemi, PLC/scada, laboratuvar ve bilgi işlem sistemlerine entegre yapıda geliştirilmiş üzerindeki modellerle tesisteki üretim verimine önemli katkılar sağlayan akıllı kontrol uygulamalarından oluşur [4]. Seviye 2 sistemi ile kok fabrikasında itme planları, tüketim hesaplamaları, birçok raporlama işlemleri otomatik olarak yapılmaktadır [5]. Ayrıca bu çalışmada anlatılan itme akım kontrol modeli gibi uygulamalarla operatör tecrübesi ve dikkati gerektiren işler, bilimsel yöntemlerle otomatik olarak gerçekleştirilmektedir.

### 2.1. Seviye 2 İtme Akım Kontrol Modeli

İtme akım kontrol modeli, itici tampona hareket veren motorun çektiği akım değerlerini yorumlayarak fırının tabanı ve duvarları hakkında sağlıklı bilgiler üreten bir uzman sistem uygulamasıdır. İtici tamponun hareketi 1-1,5 saniye kadar süren kısa bir zaman diliminde gerçekleşir. Bu zaman aralığında motorun çektiği 120 tane akım değeri ilgili PLC sisteminden alınır ve Seviye 2 veri tabanına kaydedilir. Bu akım serisine ait her bir akım değerinin örnekleme süresi yaklaşık 8 mili saniyedir. Kok bataryalarında yapılan her itme için itmenin yapıldığı zaman, batarya, fırın, duvar ve akım bilgileri depolanır ve Şekil 1'de gösterildiği gibi bir görsel ile işletme çalışanlarına sunulur. İtme akım kontrol modeli bu veriler üzerinden yorumlamalarda bulunur. Bu verilerin değerlendirilmesi ve yorumlanması üç aşamada yapılır:

### 1. Akım zaman grafiğinin bölümlere ayrılması:

Şekil 1'de gösterilen grafikte de görüldüğü gibi akım zaman grafiği genel olarak üç farklı görüntü oluşturmaktadır. Akım zaman grafiğinin ilk bölgesi itici tampona ilk hareket verildiği zamanı gösterir. Bu bölümde elde edilen akım değerleri dikkate alınmamaktadır. İkinci bölüm iticinin kömürü itmesi sırasında elde edilen akım verilerinden oluşmaktadır. Bu bölümde akımın bir yere kadar yükselmesi ve tepe değerine ulaştıktan sonra düşmesi beklenir. Son bölüm ise iticinin geri hareket ettiği bölümdür. Eğer fırının taban ve duvarlarında bir hasar yoksa bu bölümde de akım değerlerinin azalan bir seyir izlemesi gerekir.

### 2. Her bölge için parametrik değerlerin belirlenmesi:

Her bir bölge için normal ya da ideal durumda alınması beklenen akım değerleri istatistiksel veri analizi yapılarak ve işletme tecrübelerine göre belirlenmiştir. Buna göre akımın tepe yapacağı nokta, iticinin geri hareketinde olması gereken salınım, belirlenen üç bölgenin ayırım noktaları gibi parametreler yeniden yapılandırılabilir şekilde tespit edilmiş ve değerleri atanmıştır.

### 3. Akım zaman grafiğine göre tanı konulması:

Seviye 2 itme akım kontrol modeli ikinci ve üçüncü bölgelerdeki akım değerlerini değerlendirerek olabilecek her bir durum için ayrı ayrı tanı koyar. Bu teşhis ve tanı koyma işlemi her bir durum için şöyle ifade edilmektedir:

#### Normal Durum:

İtici tamponu hareket ettiren motorun çektiği akım değerleri sınır değeri olarak tanımlanan 200 amper değerinin altında bir seviyeye kadar yükselip düşme eğilimine geçiyor ve bu eğilimdeki akım değerlerinde yine sınır değeri olarak tanımlanan 20 amper değerinden büyük bir salınım olmuyorsa fırının taban ve duvarlarının normal durumda olduğu tanısı konur. Bu durumda itme kontrol modeli Şekil 1'deki gibi grafik ve Şekil 6'daki gibi bir teşhis ve tanı metnini oluşturur.

İtme Akım Değerleri Analizi	
Batarya no: 1	Fırın no: 1
İtme arabası no: 1	Fırın kayıt tarihi: 1.1.2019 00:00:00
Çayıt numarası: 1	Akım verisi sayısı: 120
Akım grafiğinin ilk bölümü tampona hareket verme sırasında çekilen akımlar olduğundan dikkate alınmıyor.	
Akım grafiğinin ikinci bölümü 30 ve 40 arasındaki kayıtlara göre değerlendiriliyor.	
Akım grafiğinin ikinci bölümündeki en büyük akım değerinin (174) sınır değerinin (200) altında olduğu tespit edildi. Bu kontrole göre durum normal.	
Akım grafiğinin üçüncü bölümü 40 ve 70 arasındaki kayıtlara göre değerlendiriliyor.	
Akım grafiğinin üçüncü bölümündeki salınım değerinin (1,9) sınır değerinin (20) altında olduğu tespit edildi. Bu kontrole göre durum normal.	
Akım grafiğinin üçüncü bölümündeki ortalama akım değerinin (127,8) sınır değerinin (150) altında olduğu tespit edildi. Bu kontrole göre durum normal.	
Akım grafiğinin üçüncü bölümde düşme eğiliminde olduğu tespit edildi. Bu kontrole göre durum normal.	
Bu kontrole göre bu fırın için konulan tanı: Fırın tabanı ve duvarları normal durumda.	
Tanı kodu: 1	

Şekil 6. Normal durum.

#### Yetersiz koklaşma sebebiyle zor itme:

Motorun çektiği akım değerlerinin sınır değeri olarak tanımlanan 200 amper değerinin üstünde olması durumunda kömürün yeterince koklaşmaması sebebiyle zor itildiği hükmünü veren model Şekil 2'deki gibi bir grafik oluşturur ve Şekil 7'deki gibi bir tanı ortaya koyar.

İtme Akım Değerleri Analizi	
Batarya no: 2	Fırın no: 2
İtme arabası no: 2	Fırın kayıt tarihi: 1.1.2019 00:00:00
Çayıt numarası: 2	Akım verisi sayısı: 120
Akım grafiğinin ilk bölümü tampona hareket verme sırasında çekilen akımlar olduğundan dikkate alınmıyor.	
Akım grafiğinin ikinci bölümü 30 ve 40 arasındaki kayıtlara göre değerlendiriliyor.	
Akım grafiğinin ikinci bölümündeki en büyük akım değerinin (208) sınır değerinin (200) üstünde olduğu tespit edildi. Buna göre bu fırın için konulan tanı: Yetersiz koklaşma sebebiyle zor itme.	
Akım grafiğinin üçüncü bölümü 40 ve 70 arasındaki kayıtlara göre değerlendiriliyor.	
Akım grafiğinin üçüncü bölümündeki salınım değerinin (2,7) sınır değerinin (20) altında olduğu tespit edildi. Bu kontrole göre durum normal.	
Akım grafiğinin üçüncü bölümündeki ortalama akım değerinin (120,7) sınır değerinin (150) altında olduğu tespit edildi. Bu kontrole göre durum normal.	
Akım grafiğinin üçüncü bölümde düşme eğiliminde olduğu tespit edildi. Bu kontrole göre durum normal.	
Tanı kodu: 2	

Şekil 7. Yetersiz koklaşma.

#### Fırın tabanında deformasyon:

Akım zaman grafiğinin üçüncü bölümünde akım değerlerinin yeniden yükselmesi durumunda model yine parametrik değerlere bakarak Şekil 3'teki grafiği çizer ve Şekil 8'deki gibi bir tanı oluşturur.

İtme Akım Değerleri Analizi
Batarya no: 3 Fırın no: 3 İtme arabası no: 3 Veri kayıt tarihi: 1.1.2019 00:00:00 Kayıt numarası: 3 Akım verisi sayısı: 120
İtme grafiğinin ilk bölümü tampona hareket verme sırasında çekilen akımlar olduğundan dikkate alınmıyor.
İtme grafiğinin ikinci bölümü 30 ve 40 arasındaki kayıtlara göre değerlendiriliyor. İtme grafiğinin ikinci bölümündeki en büyük akım değerinin (175) sınır değerinin (200) altında olduğu tespit edildi. Bu kontrole göre durum normal.
İtme grafiğinin üçüncü bölümü 40 ve 70 arasındaki kayıtlara göre değerlendiriliyor. İtme grafiğinin üçüncü bölümündeki salınım değerinin (5,3) sınır değerinin (20) altında olduğu tespit edildi. Bu kontrole göre durum normal.
İtme grafiğinin üçüncü bölümündeki ortalama akım değerinin (140,3) sınır değerinin (150) altında olduğu tespit edildi. Bu kontrole göre durum normal.
İtme grafiğinin üçüncü bölümde yeniden yükseldiği, maksimum akım değerinin (178) sınır değerinin (170) üstünde olduğu tespit edildi. Buna göre bu fırın için konulan tanı: Fırın tabanında deformasyon var.
Tanı kodu :3

Şekil 8. Fırın tabanında deformasyon.

İtme Akım Değerleri Analizi
Batarya no: 5 Fırın no: 5 İtme arabası no: 5 Veri kayıt tarihi: 1.1.2019 00:00:00 Kayıt numarası: 5 Akım verisi sayısı: 120
İtme grafiğinin ilk bölümü tampona hareket verme sırasında çekilen akımlar olduğundan dikkate alınmıyor.
İtme grafiğinin ikinci bölümü 30 ve 40 arasındaki kayıtlara göre değerlendiriliyor. İtme grafiğinin ikinci bölümündeki en büyük akım değerinin (191) sınır değerinin (200) altında olduğu tespit edildi. Bu kontrole göre durum normal.
İtme grafiğinin üçüncü bölümü 40 ve 70 arasındaki kayıtlara göre değerlendiriliyor. İtme grafiğinin üçüncü bölümündeki salınım değerinin (26) sınır değerinin (20) üstünde olduğu tespit edildi. Buna göre bu fırın için konulan tanı: Karbon birikiminden dolayı zor itme.
İtme grafiğinin üçüncü bölümündeki ortalama akım değerinin (104,3) sınır değerinin (150) altında olduğu tespit edildi. Bu kontrole göre durum normal.
İtme grafiğinin üçüncü bölümde düşme eğiliminde olduğu tespit edildi. Bu kontrole göre durum normal.
Tanı kodu :5

Şekil 10. Karbon birikiminden dolayı zor itme.

İtme kontrol modeli akım zaman grafiğindeki verileri teşhis ettikten sonra sadece bir duruma ait bir tanı koymak yerine fırınla ilgili tüm durumlarla ilgili özet bilgi vermektedir. Şekil 11'de 3, 4 ve 5 ile kodlanmış üç farklı durumu ortaya koyan teşhis ve tanı metni gösterilmiştir. Buna göre fırının tabanında ve duvarlarında deformasyon olduğu gibi karbon birikiminden kaynaklı olumsuzlukta işletme çalışanlarının dikkatine sunulmuştur.

#### Fırın duvarlarında veya tabanında deformasyon:

Akım zaman grafiğinin üçüncü bölümünde ortalama akım değerinin belirlenen sınırdan yüksek olduğunu tespit eden model Şekil 4'te olduğu gibi bir grafik oluşturur ve Şekil 9'daki gibi bir tanı ortaya koyarak işletme çalışanlarını bilgilendirir.

İtme Akım Değerleri Analizi
Batarya no: 4 Fırın no: 4 İtme arabası no: 4 Veri kayıt tarihi: 1.1.2019 00:00:00 Kayıt numarası: 4 Akım verisi sayısı: 120
İtme grafiğinin ilk bölümü tampona hareket verme sırasında çekilen akımlar olduğundan dikkate alınmıyor.
İtme grafiğinin ikinci bölümü 30 ve 40 arasındaki kayıtlara göre değerlendiriliyor. İtme grafiğinin ikinci bölümündeki en büyük akım değerinin (189) sınır değerinin (200) altında olduğu tespit edildi. Bu kontrole göre durum normal.
İtme grafiğinin üçüncü bölümü 40 ve 70 arasındaki kayıtlara göre değerlendiriliyor. İtme grafiğinin üçüncü bölümündeki salınım değerinin (5,1) sınır değerinin (20) altında olduğu tespit edildi. Bu kontrole göre durum normal.
İtme grafiğinin üçüncü bölümündeki ortalama akım değerinin (153,7) sınır değerinin (150) üstünde olduğu tespit edildi. Buna göre bu fırın için konulan tanı: Fırın duvarlarında veya tabanında deformasyon.
İtme grafiğinin üçüncü bölümde düşme eğiliminde olduğu tespit edildi. Bu kontrole göre durum normal.
Tanı kodu :4

Şekil 9. Fırın duvarlarında veya tabanında deformasyon.

#### Karbon birikiminden dolayı zor itme:

Akım zaman grafiğindeki salınım değerlerinin belirlenen parametre değerinden fazla olduğunu tespit eden itme kontrol modeli Şekil 5'deki gibi bir grafik çizer, Şekil 10'daki gibi bir tanı ortaya koyar ve fırındaki karbon birikimine dikkat çeker.

İtme Akım Değerleri Analizi
Batarya no: 6 Fırın no: 130 İtme arabası no: 3 Veri kayıt tarihi: 27.11.2018 17:52:50 Kayıt numarası: 86946 Akım verisi sayısı: 120
İtme grafiğinin ilk bölümü tampona hareket verme sırasında çekilen akımlar olduğundan dikkate alınmıyor.
İtme grafiğinin ikinci bölümü 30 ve 40 arasındaki kayıtlara göre değerlendiriliyor. İtme grafiğinin ikinci bölümündeki en büyük akım değerinin (183) sınır değerinin (200) altında olduğu tespit edildi. Bu kontrole göre durum normal.
İtme grafiğinin üçüncü bölümü 40 ve 70 arasındaki kayıtlara göre değerlendiriliyor. İtme grafiğinin üçüncü bölümündeki salınım değerinin (59,2) sınır değerinin (20) üstünde olduğu tespit edildi. Buna göre bu fırın için konulan tanı: Karbon birikiminden dolayı zor itme.
İtme grafiğinin üçüncü bölümündeki ortalama akım değerinin (192,2) sınır değerinin (150) üstünde olduğu tespit edildi. Buna göre bu fırın için konulan tanı: Fırın duvarlarında veya tabanında deformasyon.
İtme grafiğinin üçüncü bölümde yeniden yükseldiği, maksimum akım değerinin (318) sınır değerinin (170) üstünde olduğu tespit edildi. Buna göre bu fırın için konulan tanı: Fırın tabanında deformasyon var.
Tanı kodu :345

Şekil 11. Birden fazla olumsuzluk durumu.

#### **3. Sonuçlar ve Tartışma**

Bu çalışmada anlatılan itme akım modeli, çok kısa bir zaman dilimi içinde gerçekleşen itme işlemi ile ilgili akım bilgilerinin hem hızlı hem de güvenilir bir yoldan yorumlanmasını sağlamaktadır. Bu model ile SCADA sistemi üzerinden zorlukla takip edilen akım değerleri Seviye 2 son kullanıcı ekranları üzerinden kolaylıkla takip edilebilir hale gelmiştir. Seviye 2 uygulamalarının sağladığı katkılar şöyle özetlenebilir:

- Tüm akım değerleri veri tabanına kaydedilerek geriye dönük inceleme imkânı sağlanmaktadır.

- Tarih, batarya, fırın gibi bölümler üzerinden pratik filtreleme yaparak hızlı bir şekilde geçmiş veriyeye erişim saniyeler içinde mümkün olmaktadır.
- Oluşan akım grafikleri Seviye 2 itme akım modeli tarafından yorumlanarak işletme operatörlerine yol gösterilmektedir.
- İşletmede operatör, mühendis, yönetici gibi bu veriyeye ihtiyaç duyan tüm çalışanlara bu bilgiler servis edilebilmektedir.

#### **4. Sonuç**

Bu çalışmada, kok fırınlarında meydana gelebilecek bozuklukları itme akım değerlerini yorumlayarak tespit eden bir Seviye 2 itme akım kontrol modeli anlatılmıştır. Bu model hem kömürün yeterince koklaştırılması konusunda bilgi vermekte hem de fırına ait refrakter hasarı konusunda net bilgilendirmede bulunmaktadır. Özellikle kullanım ömrünün sonuna yaklaşan bataryalarda bu tür olumsuzlukları önceden tespit etmek çok önemlidir.

İsdemir Seviye 2 itme akım modeli, itme akım değerlerini daha hızlı, doğru ve kararlı olarak yorumlamakta, vardiya ve kişilere bağlı kalmaksızın tüm zamanlarda aynı yönetsel kararların alınmasını sağlamaktadır. Bu modelden kok bataryalarının işletme ve bakım maliyetlerinin düşürülmesinde önemli faydalar beklenmektedir.

#### **Referanslar**

- [1] R. J. Fruehan The Making, Shaping and Treating of Steel 10th Edition, 1998, United States Steel Iron Making Procedures.
- [2] M. A. Elliott Chemistry of Coal Utilization, Wiley-Interscience, 1981
- [3] R. V. Ramani Oven battery heating systems ISS Conference Short Course
- [4] A. Beşkardeş, İsdemir Sinter Fabrikasında Uzman Sistem Uygulamaları, 19. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi (IMMC 2018), 25-27 Ekim 2018, İstanbul, Türkiye
- [5] Ü. A. Tanrikulu, A. Beşkardeş, E. Kaya, B. Ünsal Coke Oven Battery Temperature Map Creation With Level 2 Intelligent System, 19. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi (IMMC 2018), 25-27 Ekim 2018, İstanbul, Türkiye

## Makine Öğrenmesi Yöntemiyle Sinter RDI Optimizasyonu

*Optimization of Sinter RDI with Machine Learning Method*

Ahmet Beşkardeş, Serkan Çevik

İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. • Türkiye

### Özet

Yüksek fırına şarj edilen demirli malzemelerin en büyük bölümünü sinter malzemesi oluşturmaktadır. Bundan dolayı sinterin yüksek fırın gaz geçirgenliğine önemli bir etkisi vardır. Yüksek fırında kararlı bir üretim için fırına şarj edilen sinterin hep aynı kalitede olması beklenir. Sinter kalite ölçütlerinden biri de RDI, (Reduction Degradation Index) yani azalma bozulma indeksidir. İskenderun Demir ve Çelik A. Ş. (İsdemir) yüksek fırınlarında üretim kararlılığını bozmadan en yüksek oranda sinter kullanılabilmesi için sinter RDI (-3,15 mm % ) oranının %30-%35 aralığında olması beklenir. Bu çalışmada sinter RDI değeri, makine öğrenmesi yöntemlerinden biri olan destek vektör makineleri ile harmandaki kok ve sinter tozu oranı, sinterlenmiş malzemeye ait fiziksel ve kimyasal analiz değerleri ve üretim bilgileri değerlendirilerek tahmin edilmiştir. 16 ayda toplanan 72 adet örneklemeden oluşan veri kümesi üzerinde yapılan bu çalışmada % 91 doğruluk oranına ulaşılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Sinter fabrikası, RDI, sinter üretimi, destek vektör makineleri

### Abstract

Sintered material (sinter) is the largest part of the ferrous materials charged to the blast furnace. Therefore, the sinter has a significant effect on the gas permeability of the blast furnace. For a stable production in the blast furnace, the charged sinter is expected to be of the same quality. One of the sinter quality criteria is RDI (Reduction Degradation Index). Sinter RDI (-3,15 mm%) ratio is expected to be between 30% and 35% for in the Iskenderun Iron and Steel Co. (ISDEMİR) blast furnaces in order to use the highest rate of sinter without disturbing the production stability. In this study, sinter RDI value was estimated by support vector machine which is one of machine learning methods method according to the coke and return fine ratio, physical and chemical analysis values of the sintered material and process information. In this study conducted on a data set consisting of 65 samples collected in 16 months, 91% accuracy rate was reached.

**Key Words:** Sinter plant, RDI, sintering process, support vector machine.

### 1. Giriş

Sıvı ham demir üretiminin yapıldığı yüksek fırınlar entegre demir çelik tesislerinde önemli bir yere sahiptir. Sıvı ham demir parça cevher, pelet ve sinter demirli malzemelerinden üretilir. Yüksek fırında kararlı bir üretim yapabilmek için girdi malzemelerindeki ürün kalitesinin değişkenlik göstermemesi diğer bir deyişle kalitedeki standart sapmanın minimum olması beklenir[1]. Yüksek fırına verilen demirli malzemenin önemli bir bölümünü sinter teşkil ettiğine göre sinter malzemesinin aynı kalite ölçütlerinde üretilmesi çok önem arz etmektedir.

Toz cevherin kok tozu ve ilave malzemelerle ergitilmesi ve belirli bir tane büyüklüğüne getirilmesi demek olan sinterleme işleminde [2] hammaddenin fiziksel ve kimyasal özellikleri, yakıt ve nem oranı ile makine hızı, emme basıncı, ateşleme sıcaklığı gibi tesis çalışma koşulları [1] sinter kalitesine etki eder.

Sinter tesisine beslenen hammaddelerin farklı kimyasal özellikler göstermesi ya da tesis çalışma koşullarında yaşanan değişimler sinter ürün kalitesini etkilediğinden araştırmacılar kapsamlı veri analizleri yaparak girdilerle çıktı arasında ilişkiler bulmaya odaklanmışlardır. Bu sayede sinter kalitesini önceden tahmin edip hedeflenen kaliteye ulaşmak için yapılması gereken değişiklikleri geç kalmadan uygulama imkânı olmuştur. Donskoi ve arkadaşları regresyon analizi ile yaptıkları çalışmada verimlilikte %82, Tümler indekste %88, RDI ölçütünde %86 ve yakıt oranında %90 R<sup>2</sup> değerlerine ulaşmışlardır [3]. Fan ve arkadaşları yapay sinir ağı ile geliştirdikleri tahmin uygulamalarında nem oranı, yakıt oranı, sinterleme hızı ve dayanıklılık faktörleri ile sinter ürün karakteristiği konusunda sırasıyla %96,67, %93,33, %86,67 ve % 93,33 doğruluk oranlarına ulaşmışlardır [4]. Daha yakın zamanda Kumar ve diğerleri korelasyon matrisi, regreyon analizi ve yapay sinir ağı ile geliştirdikleri çalışmada ortalama tanecik büyüklüğü (MPS), tümler indeksi (TI) ve azalma bozulma indeksi (RDI) konularında sinter karakteristiğini tahmin etmişler ve YSA ile %79,%91 ve %76 isabet oranını yakalamışlardır. [1].

Bu çalışmada İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. (İsdemir) sinter tesislerinin ürün kalitesinde kararlılığı sağlamak ve olası değişikliklerde önceden müdahalede bulunabilmek için destek vektör makineleri ile RDI optimizasyon modeli geliştirilmiştir. Harmandaki kok ve sinter tozu oranı, sinterlenmiş malzemeye ait fiziksel ve kimyasal analiz değerleri ve üretim bilgileri değerlendirilerek RDI değeri önceden tahmin edilmiştir. Geliştirilen model uygulaması ile analiz yapılmadan önce hangi şartlarda hangi RDI değerinin geleceği tahmin edilmekte ve prosese daha erken müdahale etme imkânı bulunmaktadır.

### 2. RDI Tahmini İçin Değerlendirilecek Veriler

Yüksek fırında kararlı bir üretim için büyük önem taşıyan sinter RDI değerinin istenen aralıkta tutulması bir çok parametreye bağlıdır. Bu parametreler arasında uygun bir seçim yapmak çok önemlidir. Çünkü çok fazla parametre ile çalışmak tahmin modelinin eğitilmesini ve kullanılmasını zorlaştırırken önemli bir parametrenin değerlendirme dışı tutulması da modelin doğruluğunu kötü etkiler [5]. Sinter RDI tahmini için temel sinter prensipleri, İsdemir Sinter işletme tecrübeleri ve önceki çalışmalar ışığında [1,4,6] Tablo 1'de gösterilen parametrelerle çalışılmıştır.

Tablo 1. Giriş parametreleri

Kaynak	Parametre	Tanım
Analiz	Fe [%]	Sinter analizindeki Fe oranı
	FeO [%]	Sinter analizindeki FeO oranı
	SiO <sub>2</sub> [%]	Sinter analizindeki SiO <sub>2</sub> oranı
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> [%]	Sinter analizindeki Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> oranı
	CaO [%]	Sinter analizindeki CaO oranı
	MgO [%]	Sinter analizindeki MgO oranı
	KB	Sinter küçük baziklik değeri
Proses	BB	Sinter büyük baziklik değeri
	Makine Hızı [m/dak]	Sinter makinesinin palet hızı
	Harman Nemi [%]	Harmandaki su oranı
	Ateşleme Fırını Sıcaklığı [°C]	Harmanın tutuşturulduğu fırındaki sıcaklık
Dozajlama	Ortalama Vakum [kPa]	Ana fan kolektörü ile oluşturulan vakum
	Sinter Tozu Oranı [%]	Geri dönen sinter oranı
	Kok Oranı [%]	Sinter harmanındaki yakıt oranı

RDI tahmini için değerlendirilen parametreler sinter ürün analizinden, proses verilerinden ve harman hazırlama tarafındaki dozajlama bilgilerinden elde edilmiştir. Sinter ürün analizi günde altı defa yapılmaktadır. Proses ve dozajlama bilgileri sürekli anlık olarak alınmakta ve veri tabanına kaydedilmektedir. Seçilen giriş parametreleri aşağıda kısaca açıklanmıştır:

Analizler: Sinter analizinde birçok element ve bileşik miktarlarına bakılmaktadır. Bu çalışma kapsamında özellikle demir içeriğine ve bazikliği etkileyen bileşiklere dikkat edilmiştir. Küçük baziklik ve büyük baziklik değerleri Eşitlik 1 ve Eşitlik 2'de gösterildiği gibi hesaplanmaktadır:

$$K_B = \frac{CaO}{SiO_2} \quad (1)$$

$$B_B = \frac{CaO+MgO}{SiO_2+Al_2O_3} \quad (2)$$

Makine Hızı: Sinter makinesi ısıya dayanıklı ızgaralardan oluşmuş sürekli hareket eden bir bant yapısındadır [7]. Bu ızgaraların üzerine serilen harman sinter makinesi üzerindeki hareketi sırasında sinterleşir ve makineyi terk eder. Sinter makinesinin hızı istenen kalitede sinterleşmeyi sağlamak için çok önemlidir.

Harman Nemi: Harman nemi, cevher harmanına katılan su oranını ifade eder. Harman neminin doğru ayarlanması sinter kalitesine doğrudan etki eder[8].

Ateşleme Fırını Sıcaklığı: Sinter makinesinde tam sinterleşmeyi sağlamak için makine üzerinde ısı kontrolü sağlamak çok önemlidir[9]. Sinterleşme işlemi makinenin başında ateşleme fırını ile kok tozlarının tutuşturulması işlemi ile başlar. Makine üzerindeki ısı değişiminde ateşleme fırınında elde edilen sıcaklığın önemli bir etkisi vardır.

Ortalama Vakum: Harmanın üst bölgesinde başlayan sinterleşme işleminin alt bölgelere ilerlemesi ana fan kolektörü ile oluşturulan vakum sayesinde olur.

Sinter Tozu Oranı: Sinter makinesini terk eden sinterlenmiş malzeme yüksek fırına gönderilmeden önce eleklerden geçer. İstenen büyüklükte olmayan malzeme sinter tozu ya da geri dönen malzeme adıyla yeniden cevher harmanına verilir. Sinter tozu oranı ne kadar düşük olursa üretilen sinter o kadar istenen kalitede üretilmiş demektir.

Kok Oranı: Toz cevherin tutuşması ve sinterleme işleminin yapılması kok tozu yakıtıyla olur. Bu sebeple sinterleme işleminin kalite, hız, verimlilik gibi her konusunda kok tozu oranı doğrudan etkilidir.

Azalma Bozulma İndeksi (RDI): Sinter azalma bozulma indeksi (RDI), yüksek fırının düşük sıcaklık bölgesinde yani 450-500 °C aralığında sinter malzemesinin dayanma performansını gösteren bir parametredir [6]. Sinterde bulunan hematit fazı 525 – 625 °C sıcaklık aralığında manyetit seviyesine düşer bu da %25 oranında bir hacim artışına sebep olur [1]. Bu da fırının tepesindeki toz miktarını artırır ve geçirgenliğin düşmesine, ısı kaybına, fazla yakıt tüketimine sebep olur[6]. Sinter RDI değerinin düşük olması yüksek fırın verimliliği için önemlidir. Bununla beraber diğer kalite ölçütlerinde olduğu gibi RDI değerinin değişkenlik göstermemesi yüksek fırın işletmesinin önemli bir beklentisidir. RDI analizi İsdemir Sinter tesislerinde birkaç günde bir yapılmaktadır.

#### 2.1. Verilerin Elde Edilmesi

Bu çalışmada kullanılan veriler İsdemir sinter tesisinde çalışan Seviye 2 otomasyon sisteminden alınmıştır.



Sinterlenmiş malzemeye ait RDI analizi malzemenin durumunda göre birkaç günde bir defa, kimyasal analizler günde yaklaşık olarak altı defa alınmakta ve Seviye 2 veri tabanına kaydedilmektedir. Harmandaki hammadde ve yakıt oranları ile diğer proses verileri ise beş dakikalık aralıklarla yine Seviye 2 veri tabanına kaydedilmektedir. Bu çalışmada 15.1.2018 ile 8.4.2019 tarihleri arasında toplanan analiz, şarj ve üretim verileri kullanılmıştır.

Veri kümesi oluşturulurken RDI analizinin zamanı referans olarak kullanılmıştır. RDI dışındaki tüm parametrelerin, RDI analizinden önceki iki günlük ortalama değerleri alınmıştır. Örneğin 20.3.2018'de alınmış bir RDI analizi ile ilişki kurulacak diğer parametrelerin 18.3.2018-20.3.2018 tarihleri arasındaki ortalama değerleri kullanılmıştır. Buradaki iki gün olarak seçilen bu parametre tamamen İsdemir Sinter işletme tecrübelerine dayalı olarak belirlenmiştir.

Giriş parametrelerinin ortalama değerleri bu şekilde ayarlandıktan sonra veriler üzerinde geçerlilik (validasyon) işlemleri yapılmış, hatalı alınan kayıtlar temizlenmiştir. Bu işlem sonrası 65 adet kayıt içeren 65\*15 lik bir veri kümesi oluşturulmuştur. Tablo 2 'de giriş ve çıkış parametrelerine ait istatistik bilgileri verilmiştir.

Tablo 1. Giriş ve çıkış parametrelerine ait istatistikler

Parametre	Minimum	Maksimum	Ortalama	S.Sapma
RDI	24,96	45,03	33,43	3,86
Fe [%]	51,41	58,35	54,96	1,61
FeO [%]	2,95	8,24	6,16	1,19
SiO <sub>2</sub> [%]	4,74	6,27	5,61	0,31
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> [%]	1,17	1,76	1,51	0,11
CaO [%]	8,93	11,55	10,18	0,58
MgO [%]	1,10	1,56	1,34	0,09
KB	1,69	2,00	1,82	0,08
BB	1,49	1,81	1,62	0,07
Makine Hızı [m/dak]	2,06	3,61	3,07	0,26
Harman Nemi [%]	1,48	4,83	3,06	0,65
Ateşleme Fırını Sıcaklığı [°C]	809,66	1187,30	1054,74	81,08
Ortalama Vakum [kPa]	-15,52	-12,26	-13,48	0,69
Sinter Tozu Oranı [%]	13,27	29,96	21,92	3,08
Kok Oranı [%]	1,41	4,17	3,47	0,42

### 3. Yöntemler

Bu çalışmada sinter ürününe ait RDI değeri makine öğrenmesi yöntemiyle tahmin edilmiştir. Makine öğrenmesi yöntemlerine örnek olarak çoklu doğrusal regresyon, yapay sinir ağı, destek vektör makineleri gibi yöntemler verilebilir. Veri sayısı kısıtlı olduğundan, çoklu doğrusal regresyon ve yapay sinir ağı tercih edilmemiştir. Bu yöntemlerin yerine, daha az bellek ihtiyacı duyan ve kısıtlı sayıda veri ile yüksek doğruluk oranları sunan destek vektör makineleri tercih edilmiştir.

#### 3.1. Destek Vektör Makineleri

Destek vektör makineleri, Vapnik tarafından geliştirilen ve istatistiksel öğrenme teorisine dayanan bir yöntemdir. El yazısı tanıma, nesne tanıma, ses sahibinin tanımlanması, zaman serilerinin tahmini ve regresyon konularında başarılı bir şekilde uygulanmaktadır.

Destek vektör makineleri, çok sayıda bağımsız değişkenle çalışabilme, çok az giriş ile öğrenebilme, doğrusal olarak ayrılabilen ya da ayrılamayan verilerde yüksek doğrulukta sonuçlar verme bakımından çok tercih edilen bir yöntemdir[2]. Regresyon problemleri için kullanıldığında girişler ve çıkış arasında en düşük genelleştirme hatasına sahip fonksiyonu bulmak hedeflenir[10]. Destek vektör makinelerinde regresyon analizine ait genel ifade Eşitlik 3'te gösterildiği gibidir[10]:

$$f(x) = \sum_{i=1}^N (\alpha_i - \alpha_i^*) k(x_i, x) + b \quad (3)$$

Burada  $\alpha_i, \alpha_i^*$  ve b Lagrange katsayıları,  $k(x_i, x)$  ise çekirdek fonksiyonudur. Destek vektör makinelerinde genelde, doğrusal, polinomsal, sigmoid ve radyal tabanlı çekirdek fonksiyonları kullanılmaktadır.

Sinter prosesi doğrusal olmadığı için bu çalışmada ikinci derece polinomsal bir çekirdek fonksiyonu kullanılmıştır.

#### 3.2. Elde Edilen Sonuçlar

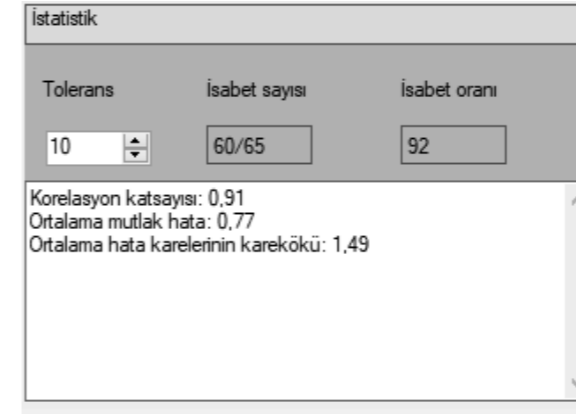
Destek vektör makineleri yöntemiyle RDI değerini tahmin eden modelin performansı, korelasyon ilişkisi (Kİ), ortalama mutlak hata (OMH) ve ortalama hata karelerinin karekökü (OHKK) ölçütlerine göre değerlendirilmiştir. 4, 5 ve 6 numaralı eşitliklere göre hesaplanan sonuçlar Şekil 1'den görüleceği gibi çalışan uygulama üzerinde kullanıcılara gösterilmektedir. Bu ekranda ayrıca işletme çalışanlarının belirlediği tolerans değerine göre isabet sayısı ve oranı da gösterilmektedir.

$$KI = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (4)$$

$$OMH = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - y_i| \quad (5)$$

$$OHKK = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2} \quad (6)$$

Bu formüllerde,  $x_i$  tahmin edilen değer,  $y_i$  gerçek değer  $\bar{x}$  ve  $\bar{y}$  bu değerlerin ortalamaları, n ise veri sayısıdır.



Şekil 1. RDI modelinin performans değerleri

#### 3.3. Saha Uygulaması

İsdemir Sinter tesisleri için geliştirilen RDI optimizasyon modeli, '.NET' platformu üzerinde c# yazılım dili ile geliştirilmiştir. Bu model uygulaması, Seviye 2 veri tabanından son analiz ve proses bilgilerini sürekli olarak almakta ve üzerindeki veri setini güncel tutmaktadır. Bu model uygulaması, sürekli genişleyen ve güncellenen bu veriler üzerinden düzenli aralıklarla modelini eğiten ve bu yeni eğitilmiş modele göre yeni sonuçlar üreten bir yapıda tasarlanmıştır. Bu yönüyle bir öğrenen sistem uygulamasıdır.

Şekil 2'de ekran görüntüsü verilen Sinter RDI optimizasyon modeli ile proses, laboratuvar, dozajlama gibi farklı sistemler üzerinden ayrı veri toplama ile uğraşmadan, RDI hesabını ilgili tüm işlemler kolaylıkla yapılabilmektedir. Bu model, 2014 yılından bu yana başarı ile kullanılan Sinter Seviye 2 Uzman Sistem [11] içine eklenerek RDI değerinin istenen aralıkta tutulması için gerekli müdahaleler tamamen otomatik olarak yapılacaktır.

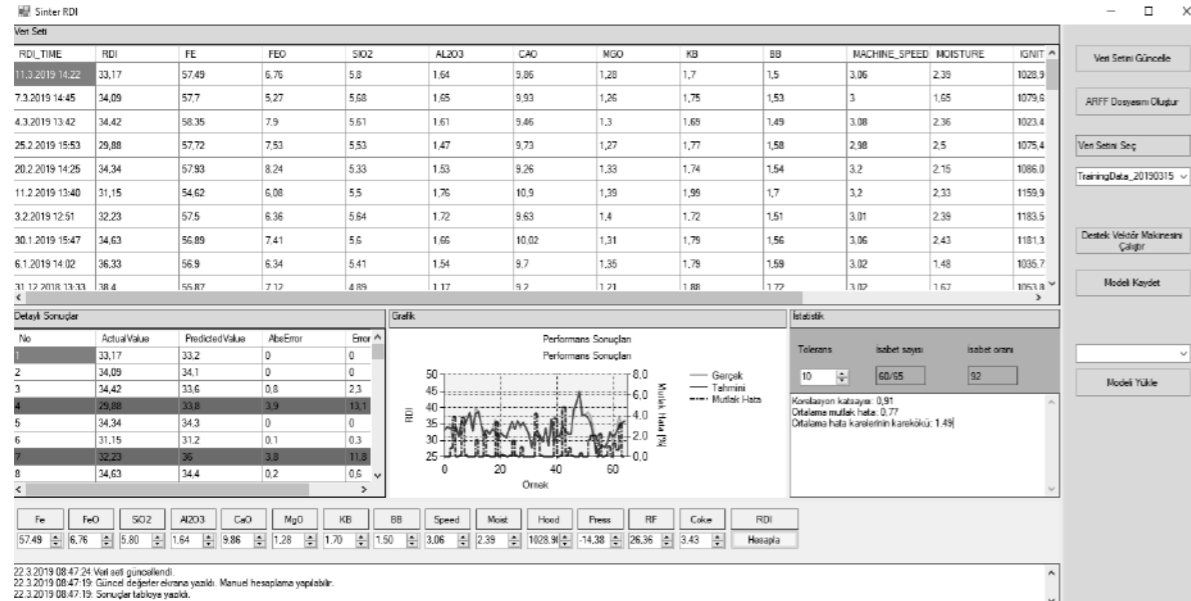
#### 4. Sonuç

Bu çalışmada, sinter kalite ölçütlerinden biri olan azalma bozulma indeksinin (RDI) harmandaki kok ve sinter tozu oranı, sinterlenmiş malzemeye analiz değerleri ve üretim bilgileri parametrelerine göre önceden tahmin edilmesi üzerine çalışılmıştır. Destek vektör makineleri kullanılarak yapılan bu çalışma ile sınırlı sayıda veri olmasına rağmen %91 oranında doğruluk oranına ulaşılmıştır.

Bundan sonraki çalışmamız, bu modelin Sinter Seviye 2 Uzman Sistemine eklenmesiyle, tahmin edilen RDI değerine bağlı olarak sinter prosesine yapılması gereken müdahalelerin otomatik olarak yapılması üzerine olacaktır. Planladığımız diğer bir çalışmada da farklı cevher türlerinin RDI değerine olan etkisi ele alınacaktır.

#### Referanslar

- [1] V. Kumar, S.D.S.S. Sairam, S. Kumar, A. Singh, D. Nayak, R. Sah ve P.C. Mahapatra, Prediction of Iron Ore Sinter Properties Using Statistical Technique, The Indian Institute of Metals, (2016).
- [2] A. Beşkardeş, S. Çevik, Makine Öğrenmesi Yöntemi ile Sinter Fabrikasında Kok Optimizasyonu, Eleco 2016 Elektrik – Elektronik – Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu, 2016, Bursa, Türkiye.
- [3] E. Donskoi, J.R. Manuel, J.M.F. Clout ve Y. Zhang, Mathematical Modelling And Optimisation of Iron Ore Sinter Properties.
- [4] X. Fan, Y. Li, ve X. Chen, Prediction of Iron Ore Sintering Characters on the Basis of Regression Analysis and Artificial Neural Network, Energy Procedia, (2012).
- [5] A. Beşkardeş, S. Türkoğlu ve Ç. Acı, Yüksek Fırında Sıcak Metaldeki Silisyum Oranı Tahmini, SIU 2016 Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı, 2016, Zonguldak, Türkiye.
- [6] X. Zhang, J. Zhang, Z. Hu, H. Zuo, ve H. Guo, Effect of CaCl<sub>2</sub> on RDI and RI of Sinter, Journal of Iron and Steel Research, (2010).
- [7] A. Beşkardeş, Örüntü Tanıma Uygulamaları Kullanılarak Sinter Makinesi Hız Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, İskenderun Teknik Üniversitesi, 2016, Hatay, Türkiye.
- [8] A. Beşkardeş, S. Çevik, Bulanık Mantık Yaklaşımıyla Sinter Fabrikasında Nem Kontrolü, IMMC 2018 Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, 2018, İstanbul, Türkiye.
- [9] A. Beşkardeş, M. Erkinay Özdemir ve S. Yıldırım, Sinter Makinesinde Isıl Kontrolle Bağlı Hız Kontrolü, SIU 2015 Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı, 2015, Malatya, Türkiye.
- [10] V. Vapnik, The Nature of Statistical Learning Theory, SpringerVerlag
- [11] A. Beşkardeş, İsdemir Sinter Fabrikasında Uzman Sistem Uygulamaları, IMMC 2018 Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, 2018, İstanbul, Türkiye.



Şekil 2. Sinter RDI optimizasyon modeli

## Yüksek Fırınlarda Kükürt Optimizasyonu

*Sulphur Optimisation at the Blast Furnace*

Sadi Balaban, Ayten Çekiç, Erman Kaya, Murat Can

### İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. • Türkiye

#### Özet

Proses gereği Yüksek Fırınlarda üretilen sıvı ham demirin içerisinde kükürt, fosfor gibi istenmeyen empüritelere mevcuttur. Sıvı ham demirdeki kükürt daha sonra kükürt giderme tesislerinde kireç ve magnezyum kullanılarak giderilmektedir. Sıvı ham demirde kükürdün yüksek olması kükürt giderme maliyetini arttırmaktadır. Kükürdün başlıca kaynağı Yüksek Fırınlara beslenen metalürjik koktur. Ancak kükürt bazen diğer hammaddeler ile de Yüksek Fırına girebilmektedir. Yüksek Fırın prosesi esnasında Kükürdün bir kısmı sıvı ham demire bir kısmı ise cürufa geçmektedir. Yapılan çalışmada kükürt sıvı ham demir-cüruf geçişleri için bir model oluşturularak kükürdün optimizasyonu hedeflenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kükürt, Sıvı Ham Demir, Cüruf, Yüksek Fırınlarda, Kükürt Giderme

#### Abstract

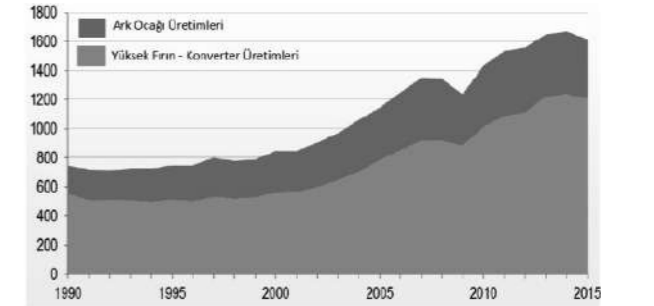
Hot metal produced through the Blast Furnace process route contains impurities such as Sulphur and Phosphorus. Later the hot metal undergoes a desulphurization process where the Sulphur content is lowered to the desired level. During the desulphurization process lime and magnesium are used. High Sulphur content in the hot metal increases the desulphurization costs. Metallurgical coke fed to the blast furnace is the main source of Sulphur. But sometimes other raw materials can also be a Sulphur source. During the Blast Furnace process some of the Sulphur enters the hot metal whereas some amount enters the slag. In this study it was targeted to create a model for the optimization of the Sulphur content in the hot metal and slag.

**Key Words:** Sulphur, Hot Metal, Slag, Blast Furnace, Desulphurization

#### 1. Giriş

Dünya'daki ham çeliğin %75'i Yüksek Fırın – Konverter prosesi ile üretilmektedir<sup>[1]</sup> (Şekil 1). Ark Ocakları ise

yaklaşık %25'ini üretmektedir. Yüksek Fırınlara hammadde olarak kok, sinter, parça cevher ve pelet beslenmektedir. Yüksek Fırının döküm deliğinden ise sıvı ham demir çıkmakta ve torpido/potalar ile çelikhaneye taşınmaktadır. Çelikhane bu sıvı ham demir çeliğe dönüştürülmektedir. Sıvı ham demirde girdi hammaddelerinden kaynaklı empüritelere mevcuttur. Bunlardan birisi ve belki en önemlisi kükürttür. Kükürt çelikte sıcak kırılabilirlik gibi problemlere neden olmaktadır. Bu nedenle Yüksek Fırın – Konverter prosesinde en ekonomik olacak şekilde yönetilmelidir. Çünkü kükürt Çelikhane istenen kalite seviyesine Kireç ve Granüle Magnezyum ile düşürülebilmekte, ancak kükürt seviyesi yüksek ise bunun da ekstra maliyeti olmaktadır. Gelecekte Ark Ocak üretimlerinin artması beklenmesine rağmen yine de gelecekteki 20 yıllık dönemde Yüksek Fırın – Konverter prosesi ham çelik üretiminde üstünlüğüne devam edecektir.



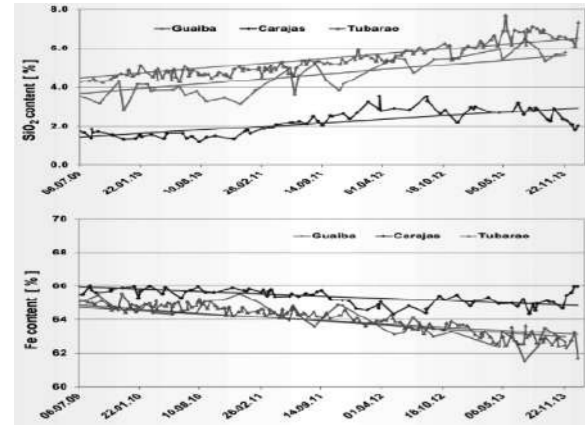
Şekil 1: Prosesine göre Dünya Ham Çelik Üretimlerinin Dağılımı<sup>[1]</sup>

Demir Madenlerinde üretilen demir cevheri demir tenörü ve içerdiği empüritelere göre çeşitli proseslerden geçmektedir. Oluşumu yönünden düşük empüriteli ve yüksek demir tenörlü cevherler sadece kırma eleme işleminden geçirilerek toz demir cevheri ve parça demir cevheri olarak sınıflandırılmakta ve entegre demir çelik tesislerinde değerlendirilmektedir. Tenör ve empürite problemleri düşük olan demir cevheri yataklarından yapılan cevher üretimleri neticesinde çıkan cevherler kırma eleme ve bazı zenginleştirme yöntemlerinden geçirilerek entegre demir

çelik tesislerine toz cevheri olarak sevk edilmektedir. Zenginleştirilmesi mikron seviyelerindeki cevher yataklarının üretimleri öğütme ve zenginleştirme proseslerine tabi tutularak ya "pellet feed" olarak piyasaya sunulmakta ya da pelet tesislerinde işlenerek pelet üretilmektedir. Peletler ya entegre demir çelik tesislerinde değerlendirilmekte ya da DRI tesislerinde kullanılmaktadır.

Kömür Madenlerinde üretilen koklaşabilir taşkömürleri yıkama prosesinden geçirilerek entegre demir çelik tesislerine sevk edilmektedir. Koklaşabilir taşkömürleri kok fabrikalarında koklaşma prosesine tabi tutularak metalürjik kok ve yan ürünleri olarak ceviz kok, kok tozu, ham katran, amonyum sülfat, ham benzol ve kok gazı elde edilmektedir. Kok fabrikasında kullanılan koklaşabilir taşkömürleri genel olarak 4 gruba ayrılmaktadır. Bunlar Düşük Uçuculu, Orta Uçuculu, Yüksek Uçuculu ve yarı koklaşabilir taşkömürleridir.

Zengin, zenginleştirilmesi ve madenciligi kolay ve maliyeti düşük maden ve kömür rezervlerinin azalması nedeniyle kalitesi düşük, zenginleştirme ve madencilik faaliyeti zor ve maliyetli rezervlerin işletmeye alınması zorunluluğunu doğurmuştur. Bunun neticesinde Yüksek Fırınlarda kullanılan hammadde maliyetleri artmış ve hammadde kalitesi düşmüştür (Şekil 2).



Şekil 2: Brezilya Toz Demir Cevherlerinin Fe ve SiO<sub>2</sub> değişimi<sup>[2]</sup>

Hammadde arzında yaşanan bu değişiklik ve demir çelik hammadde üretimini gerçekleştiren şirketlerinin demir çelik şirketlerine göre daha konsolide olması hammadde fiyatları üzerine ek baskı yaratmaktadır. Bununla birlikte Avustralya'da yaşanabilecek Tayfun gibi doğal afetlerin veya Brezilya'daki zenginleştirme tesisi barajının çökmesi gibi kazalar hammadde fiyatlarının dönemsel olarak yükselmesine neden olması sebebiyle entegre demir çelik fabrikaları maliyetlerini yönetebilmesi için hammadde ve proses optimizasyonları hayati önem kazanmaktadır.

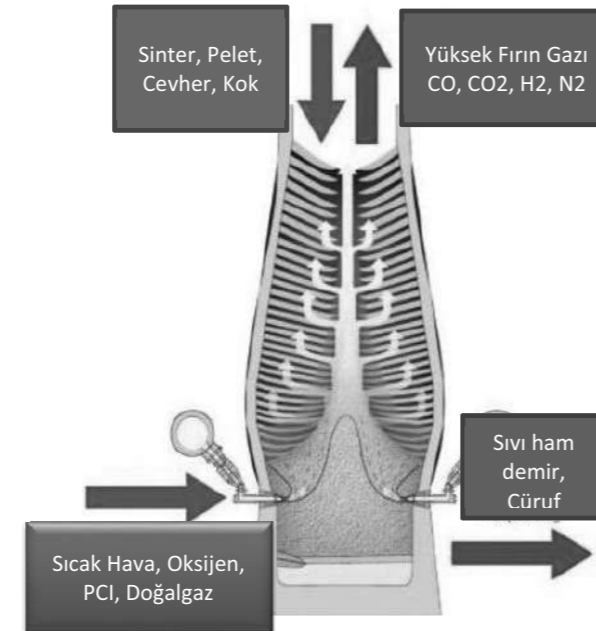
### 1.1 Yüksek Fırınlardaki Kükürdün Kaynakları

Koklaşabilir taşkömürlerin bünyesinde bulunan kükürdün %60-70'i metalürjik koka geçebilmektedir. Kalanı ise, koklaşma esnasında gaza geçmektedir. Metalürjik kok Yüksek Fırınlarda başlıca yakıt kaynağı olarak kullanılmaktadır.

Sinter tesislerinde yapılan sinterleme faaliyeti esnasında sülfürler değişik sıcaklıklarda okside olmakta ve gazlaşmaktadır. Sinterde desülfürizasyon %85-95 arasında gerçekleşmektedir.

Pulverize kömür enjeksiyonu (PCI) tesisine beslenen PCI kömürünün kükürdün tamamı Yüksek Fırına girmektedir.

Yüksek Fırınlarda kükürdün çoğunluğu cürufa geçerken bir kısmı ise sıvı ham demire ve bir kısmı da tepe gazına geçmektedir. Şekilde 3'de Yüksek Fırınlara ait malzeme akışı diyagramı verilmiştir.



Şekil 3: Yüksek Fırınlarda Malzeme ve Gaz Akışları

Dünya'daki bazı Yüksek Fırınlarda tüyerlerden LPG, Kok gazı, yağ ve plastik de enjekte edilmektedir. Bu yakıtlar da kükürt ihtiva etmeleri nedeniyle girdi kükürt değerlerini arttırmaktadır.

Yüksek Fırına giren kükürdün %80-90'ı kok ve PCI'dan gelmektedir. Kullanılan hammaddelere bağlı olarak kükürt girdisi 2-10 kg/ton Sıvı Ham Demir arasında değişiklik gösterebilmektedir.

### 1.2 Yüksek Fırınlarda Kükürt Çıktıları

Kükürdün bir bölümü Yüksek Fırını tepeden Yüksek Fırın gazı olarak terk etmektedir (SO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>S olarak). Gaz olarak Yüksek Fırını terk eden miktar girdi Kükürdün genellikle %2-5'i kadardır. Ancak yakıt oranı ve gaz sıcaklığına bağlı olarak artabilmektedir. Kükürdün neredeyse tamamı ise sıvı ham demir ve cüruf ile Yüksek Fırını terk etmektedir. Yüksek Fırın prosesinde sıvı ham demir içerisindeki kükürdün mümkün olduğu kadar az olması istenmektedir (maksimum %0,10).

### 2. Kükürdün Yüksek Fırında Optimizasyonu

Hammadde alımı, Yüksek Fırın üretimi ve Çelikhane kükürt giderme maliyetinin optimizasyonu için kükürdün Yüksek Fırındaki teorik davranışları ve operasyonel tecrübelerimiz gözden geçirilmesi ile birlikte İskenderun Demir ve Çelik A. Ş. (İsdemir)'in 2 Yüksek Fırına ait 2016 – 2017 yılı verileri çıkarılmıştır.

#### 2.1 Kükürdün Sıvı Ham Demir - Cüruf Geçiş Oranı

Sıvı Ham Demir'deki kükürdü düşürebilmek için kükürdün mümkün olduğu kadarıyla cürufa geçmesi sağlanmalıdır. Bunu yapabilmek için cürufun kompozisyonunu buna göre oluşturmak gerekmektedir. Kükürdün cürufa geçişi cürufun içerisinde bulunan Ca, Mn ve MgO'nun sülfürler oluşturarak sağlanabilmektedir. Sülfürlerin birleşik oluşturma eğilim artışı FeS, MnS, MgS, Na<sub>2</sub>S, CaS şeklindedir. Bu sıralamaya göre Kalsiyum Mangandan daha güçlü bir desülfürizasyon elemanıdır. Normal şartlarda kalsiyum ve magnezyum Yüksek Fırında desülfürizasyon tepkimelerinde yer alan ana maddelerdir. Desülfürizasyonun etkisi kükürt dağılım oranı tarafından belirlenmektedir.

$$L_s = (S) / [S] \quad (1)$$

L<sub>s</sub> 'in yüksek olması cürufa kükürt geçişinin daha yüksek olduğunu göstermektedir. Cüruf bazikliğinin yüksek olması, FeO'nun ve CaS'nin düşük olması L<sub>s</sub> 'nin artmasına sebep olmaktadır.

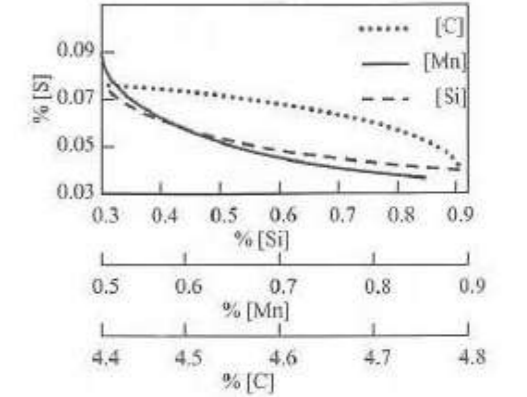
Sıvı ham demirdeki kükürt oranı ise kükürt girdisi, kükürt dağılım oranına ve cüruf hacmine bağlıdır.

Literatüre göre kükürdün sıvı ham demirde kontrol edilmesi için aşağıdaki faktörlere dikkat edilmesi gerekmektedir<sup>[3]</sup>:

- Kükürt girdisini yakıt oranını düşürerek ya da düşük kükürtlü kok ve PCI kullanarak düşürülmelidir.
- Cüruf bazikliğini artırarak CaS formasyonunu arttırmak, ancak bu sadece belirli bir noktaya

kadar yapılabilmektedir, çünkü baziklik artışı cürufun viskozitesini arttırmaktadır.

- Cüruftaki FeO oranını azaltmak
- Sabit CaO/SiO<sub>2</sub> oranında MgO oranını arttırmak
- Cüruf ve sıvı ham demir arasındaki temas süresini dökümleri sık açarak arttırmak
- Sıvı ham demir kompozisyonunu optimize etmek. Sıvı ham demir içerisindeki karbon, silikon ve manganın kükürt üzerinde etkisi vardır (Şekil 4).



Şekil 4: Karbon, silikon ve manganın kükürt üzerindeki etkisi<sup>[3]</sup>

- Cüruf hacminin artırılması

Daha önce bu konu ile ilgili birçok kuruluş ve şirket çalışmalar yapmışlardır. Ancak yüksek fırınların dizayn, kullandığı hammadde, yakıt çeşidi, çalışma parametreleri gibi etkenlerin fırından fırına değişiklik göstermesi nedeniyle genel bir model tüm fırınlara uygulanamamaktadır. ArcelorMittal Dufasco kendi yüksek fırını için bir çalışma yapmış ve bir model bulmuştur<sup>[4]</sup>.

$$[\%S] = C_1 - 0.1027 \times B$$

$$B = \frac{CaO\% + 0.7 \times MgO\%}{0.94 \times SiO_2\% + 0.18 \times Al_2O_3\%}$$

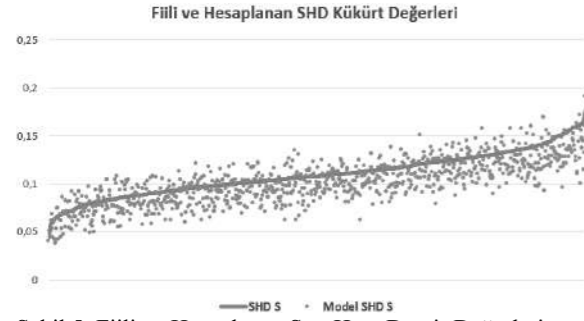
C<sub>1</sub> bir sabit sayı olup, kendi fırınları için 0,17 alınmıştır. B ise cüruftaki CaO, MgO, SiO<sub>2</sub> ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> değerlerine göre hesaplanmaktadır.

#### 2.2 Kükürt Optimizasyon Modeli için Veri Tabanının Oluşturulması

2 Yüksek Fırının 2016 – 2017 yılı çalışma verileri ile bir data-set oluşturulmuştur. Operasyonel problemlerin olduğu tarihler ve/veya standart çalışma parametrelerinin dışında faaliyetlerin olduğu günler veri tabanından çıkarılmıştır. Veriler girdi parametreleri ve çıktı parametreleri olarak 2 ana

gruba ayrılmıştır. Girdi parametrelerinde yer alan değişkenler için genel olarak hammadde tipleri ve hammadde özellikleri/analizleri, toplam girdi kökür, yakıt oranı, cüruf bazıklığı gibi parametreler bunlara örnektir. Çıktı parametreleri ise sıvı ham demir üretim miktarı, sıvı ham demir analizleri, cüruf analizleri, cüruf miktarı ve sıvı ham demir sıcaklığı gibi parametreler alınmıştır.

Sıvı ham demir içindeki kökürü tahmin etmek üzere oluşturulan modelin R<sup>2</sup> değeri %82'i çıkmıştır. Fiili değerleri ve modelin tahminlerini gösteren tablo aşağıda gösterilmektedir (Şekil 5).



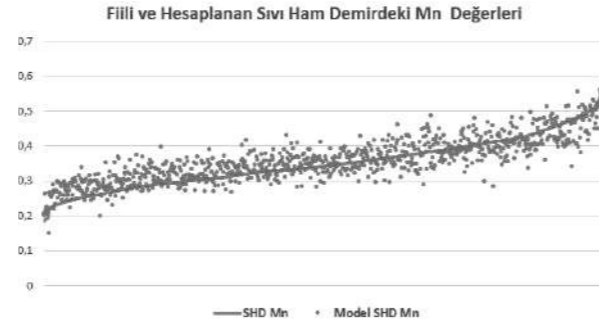
Şekil 5: Fiili ve Hesaplanan Sıvı Ham Demir Değerleri

Modelin başlıca etkin parametreleri; girdi kökür miktarı, sıvı ham demirdeki Mangan ve cüruftaki MnO çıkmıştır.

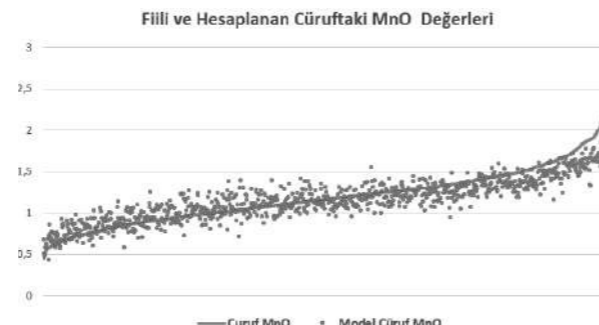
Sıvı ham demirdeki Mangan ve cüruftaki MnO Yüksek Fırının proses çıktılarının olması ve toplam Mangan girdisi ile bağlantılı olması nedeniyle bu 2 çıktı parametreleri için ayrı modeller oluşturulması için tekrar bir veri analizi çalışması yapılmıştır.

### 2.3 Sıvı Ham Demirdeki Manganın ve Cüruftaki MnO'nun Modellenmesi

Aynı dönem için tekrar veri tabanı incelenmiş ve veri tabanına ek parametreler eklenmiştir. Bunlardan bir tanesi de toplam Mangan girdisi olmuştur. Sıvı Ham Demirde Mangan için yapılan regresyonda R<sup>2</sup> %75 çıkmıştır. Modelde etkin parametreler olarak toplam Mangan girdisi, Sıvı ham demir sıcaklığı ve cürufun bazitesinin efektif olduğu görülmüştür. Cüruftaki MnO için yapılan veri analizinde R<sup>2</sup> %74 çıkmıştır. Bu modelde de etkin parametreler olarak toplam Mangan girdisi, Sıvı ham demir sıcaklığı ve cürufun bazitesinin efektif olduğu görülmüştür. Toplam girdi manganın ya sıvı ham demire ya da cürufa geçmesi gerektiğinden böyle bir sonucun çıkması beklenmekteydi. 2 modeldeki parametrelerin yön diğerine göre ters çıkmıştır. Örnek olarak sıvı ham demir sıcaklığının artması sıvı ham demirdeki manganı pozitif etkilemesi nedeniyle cüruftaki MnO modelinde negatif etkilemektedir.



Şekil 6: Fiili ve Hesaplanan Sıvı Ham Demirdeki Mn Değerleri



Şekil 7: Fiili ve Hesaplanan Cüruftaki MnO Değerleri

Sıvı ham demir içerisindeki kökürün çelikhaneindeki desülfürizasyon maliyetinin bulunması için İsdemir'de daha önce geliştirilen bir model kullanılmıştır. Bununla birlikte metkok için kömür kullanım oranı ve yakıt ile sıvı ham demir sıcaklığı ilişkisini gösteren modeller çalışmaya entegre edilmiştir.

Modellerin çıkarılmasından sonra Excel'de malzeme dengesi, hammadde harmanlarını, hammadde analizlerini ve maliyetlerini gösteren bir model oluşturulmuştur. Bu maliyet modelinde kökür giderme maliyetleri üzerinde etkili parametreler ile birlikte Yüksek Fırın prosesine ve verimliliğine etkili olacak etkenlere dikkat edilerek modelin kökür giderme maliyetini hesaplaması sağlanmıştır.

### 3. Sonuç ve Değerlendirmeler

Sıvı ham demir içerisindeki kökürü düşük tutmak ve kökür giderme maliyetini ve süresini düşük tutmak için dünyadaki birçok yüksek fırın 1,00-1,10 cüruf bazıklığı ile çalışmaktadır. Ancak 2018 yılında İskenderun Demir Çelik A.Ş. Yüksek Fırınlarında kullanılan demirli hammaddenin %40,6'sı yurtiçi madenlerden/tesislerden temin edilmektedir. Bu cevherlerin ithal cevherlere oranla alkali, SiO<sub>2</sub>'si, fosforu, çinkosu ve diğer empüriteleri daha yüksektir. Özellikle alkali ve çinko yüksek fırınlar için çok zararlı empüritelerdir. Yüksek fırında biriken alkali skafold

oluşumuna neden olmaktadır. Skafold alkali bileşiklerin yüksek fırın duvarları üzerinde birikmeleri ve bu birikmelerin zamanla büyümesi ile oluşmaktadır. Bu oluşum aşağı inen şarjın hareketini engellemekte ve fırındaki sıcaklık dağılımını etkilemektedir. Böylece yüksek fırın operasyonu olumsuz etkileyerek fırın verimliliğinin düşmesine neden olmaktadır. Ayrıca alkali fırın refrakterlerine nüfus ederek fırın refrakterleri ile reaksiyona girmektedir. Bu durum uzun vadede yüksek fırında ciddi astar problemlerine neden olabilmektedir. Fırına giren alkali birikmesini önlemek ve cürufa geçmesini sağlayarak fırından uzaklaştırmak için asidik cüruf ile çalışılması gerekmektedir. Bu nedenlerden dolayı İsdemir'deki cüruf bazıklığı 0,80-0,90 aralığında seyretmektedir. Daha yüksek bazıklığa çıkmak sıvı ham demirde kökür beklentisini düşürecektir, ancak alkali biriktirme riskini oluşturacaktır. Bu nedenle girdi ve çıktı alkali dikkate alınarak cüruf bazıklığı ayarlanmaktadır. Literatüre göre en etkili parametrenin cüruf bazıklığı olması beklenmektedir. Ancak yüksek fırının çalışma pratiğinde alkaliye bağlı olarak cüruf bazıklığı çok değişkenlik göstermediğinden oluşturulan modelde cüruf bazıklığının etkisi en belirgin parametre olarak ortaya çıkmamıştır.

Manganın kökür giderme prosesinde kökür ile bileşik oluşturma eğilimi yönünden Ca ve Mg'den daha pasif olmasına karşın, girdi hammaddelere bağlı olarak çok fazla değişkenlik göstermesi nedeniyle modelde en etkin parametre olarak ortaya çıkmıştır. Önceki bölümde de belirtildiği üzere sıvı ham demir kompozisyonunun (karbon, silis ve mangan içeriğinin) optimize edilmesi (bkz. Şekil 4) ile sıvı ham demirdeki kökür düşebilmektedir. Manganın dağılımında ise sıvı ham demir sıcaklığı ve cüruf bazıklığı etkili olduğu görülmüştür. Sıvı ham demir sıcaklığının artması manganın sıvı ham demire geçişini kolaylaştırmaktadır. Ayrıca sıcaklığının artması sıvı ham demirdeki karbonu ve silisi de arttırmaktadır. İkinci bir etkisi ise cüruftaki FeO değerini düşürmesidir. FeO'nun düşüşü cürufun kökürü bağlamasını kuvvetlendirmektedir. Bununla birlikte sıvı ham demir sıcaklığının artması cüruf sıcaklığının da artması demektir. Sıcaklık artışı cürufun viskozitesini düşürmesi nedeniyle daha akışkan olmaktadır. Bu da kökürün sıvı ham demirden cürufa geçişini olumlu etkilemektedir.

Cüruf bazıklığının etkisi modelde dolaylı olarak görülebilmektedir. Daha öncede belirtildiği üzere bu modeli oluştururken 2016-2017 yılı verileri kullanılmıştır. Bu uzun dönemde alkali değerleri genel olarak stabil seviyelerde seyretmiştir. Buna bağlı olarak da cüruf bazıklığı de genel olarak çok değişkenlik göstermemiştir. Ancak bazı kısa süreli zamanlarda yüksek fırında yüksek bazite ile çalışılması durumu oluşmuştur (CaO/SiO<sub>2</sub> ~1,0). Burada literatüre paralel olarak kökürün bazıklığa bağlı önemli ölçüde düştüğü görülmüştür, ancak sürenin ve elde edilen verilerin çok kısıtlı olması nedeniyle sağlıklı bir model oluşturulamamıştır.

Cüruftaki MnO modelinin R<sup>2</sup>'si iyi olmasına karşın grafikten de de (Şekil 7) görüleceği üzere MnO değerinin %1,5'i geçtiği verilerde modelin tahmini değerler fiili değerlerin altında kalmaktadır. Burada lineer model yerine non-lineer bir modelin oluşturulması değerlendirilebilir.

En sonunda oluşturulan modelin aslında birçok alt modelden oluştuğu görülmüştür. Yüksek Fırında kökürün optimizasyon modelinin alt modellerini aşağıdaki gibi özetleyebiliriz:

- Kökürün cüruf – sıvı ham demir geçişi modeli
- Mangan ve MnO geçiş modelleri
- Sıvı Ham Demir Sıcaklığı – Yakıt Modeli
- Metalürjik Kok – Kömür Girdisi ve kökür geçişi modeli
- Yüksek Fırın Girdi Hammadde Kompozisyonu ve Yüksek Fırın Çıktısı Sıvı Ham Demir Maliyet Modeli
- Sıvı Ham Demir Kökür Giderme Maliyet Modeli

### Referanslar

- [1] B. Ciftci, Global Steel Industry: outlook, challenges and opportunities, 5<sup>th</sup> International Steel Industry & Sector Relations Conference 20<sup>th</sup> April 2017, Istanbul, Turkey
- [2] J. H. Noldin, P. Schmöle, H. B. Lüngen, Trends in iron-making given the new reality of iron ore and coal resources, 44<sup>th</sup> Ironmaking & Raw Material Seminar of ABM, 15-18.09.2014, Belo Horizonte, Brazil
- [3] A.Babich, D. Senk, H.W. Gudenau, K. Th. Mavrommalis, Ironmaking Textbook, RWTHAACHEN, 2008, Aachen, Germany
- [4] Optimum Blast Furnace Slag Composition for Hot Metal Production, Slag Granulation and Cement Use, A.Cameron, AISTech 2017 Proceedings, USA

## 2.YF Döküm Deliği Çamur Sarfiyatının Azaltılması İyileştirme Çalışması

*Taphole Clay Consumption Reduction Development Improvement in the 2. BF*

Mehmet Gökoğlu, Kamil Eken

İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. • Türkiye

### Özet

Yüksek Fırın çalışma prensibinde yüksek fırın haznesine biriken sıvı ham demir döküm açma işlemi ile alınır, sıvı ham demir akışının tamamlanması ile çamur topu içine doldurulan döküm deliği çamuru ekstrüzyon yöntemiyle döküm deliğini kapatmakta olup kullanılan döküm deliği çamur miktarının başta fırın prosesi olmak üzere, üretim sürekliliği, Sıvı Ham Demir (SHD) maliyeti, vb. konularda olumsuz etkisinin olduğu görülmektedir.

Bu kapsamda İskenderun Demir ve Çelik Fabrikası A. Ş. (İsdemir) 2 nolu Yüksek Fırın'da (2. YF) fırın kapatma işleminde kullanılan; döküm deliği çamur tüketimi incelendiğinde, benzer özellikteki diğer fırınlara göre tüketimin değerinin fazla olduğu tespit edilmiştir.

Döküm deliği çamur tüketiminin fazla olması ile ilgili 3M 1İ (Makine, malzeme, metot ve insan) metodu uygulanarak analiz gerçekleştirilmiştir. Yapılan analiz çalışmasında her bir etkene neden-neden sorusu sorularak kök nedenler bulunmaya çalışılmış ve toplam 5 adet çözüm geliştirilmesine karar verilmiştir. İyileştirme çalışması öncesi döküm deliği çamur tüketimi 0,962 kg/tshd iken yapılan iyileştirme çalışmaları sonrası 0,714 kg/tshd değerine düşürülerek % 25,78 oranında döküm deliği çamuru kullanımı azaltılmıştır.

### Abstract

In the Blast Furnace operating principle, the liquid that is accumulated in the blast furnace heart is taken by the hot metal casting process. After the completion of the hot metal flow, the taphole clay n which is filled into the mudgun closes the casting hole by the extrusion method. Cost of hot metal , etc. It is seen that there is a negative impact on the subjects.

In this context, Iskenderun Iron and Steel Factory (İsdemir A.Ş.) used in furnace closing process in Blast Furnace 2 (BF2); When the consumption of taphole clay is examined, it is determined that the consumption value is higher than other furnaces of similar characteristics.

3M 1H (machine, material, method and human) method was used for the taphole clay consumption. In the analysis study, it was tried to find root cause for each cause by asking the cause-and-cause question and decided to develop a total of 5 solutions. While the taphole clay consumption was 0.962 kg / THM before the improvement work, it was reduced to 0.714 kg / THM after the improvement works and the use of 25.78% taphole clay was reduced.

**Keywords:** blast furnace, hot metal, taphole clay

### 1. Giriş

Bu çalışmada; İsdemir 2. YF . , döküm kapatmak için kullanılan döküm deliği çamur miktarının muadi olan yüksek fırınlara göre yüksek olmasının nedenlerini araştırmak için iyileştirme çalışmaları araştırılmıştır.

Yüksek fırın çalışma prensibinde yüksek fırın haznesine biriken SHD döküm açma işlemi ile yapılır, SHD akışının sonlanmasıyla ise çamur topu içinde doldurulan döküm deliği çamurunun ekstrüzyon yöntemiyle döküm deliğini kapatmasıyla döküm kapanır.

Fırın kapatma işleminde kullanılan döküm deliği çamurunun kalitesinin düşük olması sonucu; başta döküm sürelerinin kısa olmasına bağlı olarak fırın içinde yeterince cüruf alınmaması nedeniyle YF prosesinde sıkıntı yaşanması, ilerleyen dökümlerde YF içindeki cürufu boşlatmak için basınç düşmesine bağlı olarak üretim kayıpları gibi problemlere neden olabilecektir.

Döküm deliği çamuruna bağlı olarak YF prosesindeki olumsuzlukların ve döküm deliği çamur performansını iyileştirmek için yapılan araştırmalar sonucu 5 adet çözüm önerisi geliştirilmiştir.

Beş adet çözüm önerisinin geliştirilmesi ile döküm süreleri uzamış ve buna bağlı olarak YF prosesindeki problemlerin önüne geçilmiştir. Ayrıca döküm deliği çamur performansında ciddi bir artış elde edilmiştir.



Resim 1: YF'de kullanılan çamur topu



Resim 2: YF'de kullanılan döküm deliği çamuru

## 2. Problem Tespiti

### 2.1. Döküm Sırasında Döküm Deliği Çamur Kalitesine Bağlı Olarak Yeterli Miktarla Cüruf Alınmaması

Yüksek Fırın prosesinde haznede biriken SHD ve cürufun alınması için matkapla döküm açılmaktadır. Döküm sırasında hazneden biriken özellikle cürufun alınması YF prosesi ve üretim sürekliliği açısından önem arz etmektedir. Ancak döküm sırasında özellikle cüruf geldikten sonra döküm deliğinin çamurunun aşınmasına bağlı olarak döküm deliği çapı artarak sıvı pik ve cürufun üfleme şeklinde akması ile fırın kapatılmaktadır. Bu durumda fırın içinde döküm sırasında yeterince cüruf kalmadığı için YF prosesinden problemlere neden olabilmekte ve ilerleyen dökümlerde cürufu almak için basınç

kaybedilerek üretim kayıplarına neden olmaktadır.. Bunun yanında sıvı cüruf alma süresinin kısalmasına bağlı olarak 2.YF cüruf kanallarında sıvı cürufun donmasına bağlı olarak iş makinesi ile sürekli temizlik yapılması gerekmektedir.

### 2.2. Döküm Sayısının Fazla Olması

2.YF de döküm deliği çamur sarfiyatının fazla olması sonucu başta döküm sayısı artmış olup döküm sayısının artışı ise aşağıdaki sorunlara sebep olmaktadır;

- Döküm sırasında kullanılan sarf malzeme(matkap çubuğu, matkap ucu sıcaklık probu, numune kartuşu) miktarlarında ciddi şekilde artış olmuş olup bu durum dolaylı yoldan SHD maliyetini olumsuz yönde etkilemiştir.
- Bunun yanında her döküm sonrası; çamur topuna çamur doldurma, çamur hazırlama, matkap ucu/makap lans değişiminin yapılması gibi

işlemlerde personelin daha fazla sıcak ortama maruz kalması İSG açısından risk oluşturmaktaydı.

### 2.3. Döküm Deliği Çamur Tüketim Veri Kayıt Sistematığının Olmaması

2.YF'de farklı firmalara ait farklı model çamurlar kullanılmakta olup marka ve model bazlı performans takibinin yapılmamaktadır. Bu durum; düşük performanslı döküm deliği çamur kullanımına neden olduğu için, döküm deliği çamur sarfiyatının artmasına neden olmaktadır.

## 3. Problem Çözümü

### 3.1. Çözüm Araştırması

Döküm deliği çamur tüketiminin fazla olması ile ilgili 3M 1İ (Makine, malzeme, metot ve insan) metodu uygulanarak analiz gerçekleştirilmiştir. Yapılan analiz çalışmasında her bir etkene neden-neden sorusu sorularak kök nedenler bulunmaya çalışılmış ve toplam 5 adet çözüm geliştirilmesine karar verilmiştir.

### 3.2. Uygulama

Döküm deliği çamur sarfiyatının azaltılması için yapılan neden analizi sonrası 5 adet çözüm uygulanmış olup bunlar;

#### 3.2.1. Çamur Topu Matkap Hidrolik Sisteminin İyileştirilmesi

Hidrolik sisteminde yapılan kontrollerde yağ kaçağına bağlı basıncın düştüğü ve bu durumun döküm kapatma sırasında çamurun yetersiz şekilde preslemesinden dolayı çamurun beslemesinin zayıf olmasına neden olmaktadır. Hidrolik sistemde yapılan iyileştirme sonucu bu problem çözülerek döküm kapatma sırasında çamurun tam beslenmesi sağlanarak sorun giderilmiştir.

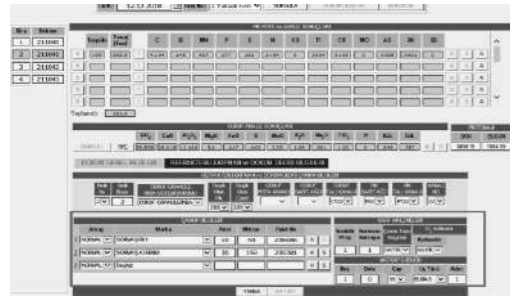
### 3.2.2. Döküm Deliği Çamur Takip Sistematiğinin Kurulması

Yüksek Fırında döküm bazlı olarak kullanılan döküm deliği çamur/çamurlarının; marka, model, ağırlık, palet no, çamuru kaçırma durumu, oksijenle açılma vb. bilgilerinin takip edileceği sistematik olmadığı için performans değerleri de sağlıklı şekilde takip edilemiyordu.

Bunun sonucunda tüketim değerinin neden fazla olduğu ile ilgili gerçekçi çözümlere ulaşılması zorlaşmakta idi.

Bu problemleri çözmek için Seviye-3 sisteminde Yüksek Fırın Döküm Sayfasında düzenleme yapılarak döküm bazlı döküm deliği çamur bilgilerinin kaydedildiği sistem kuruldu.

Ayrıca, bu problemleri çözmek için Seviye-3 sisteminde Yüksek Fırın Döküm Sayfasında düzenleme yapılarak döküm bazlı döküm deliği çamur bilgilerinin kaydedildiği sistem yapıldı. Bunun yanında bu verilerin sağlıklı şekilde raporlanması için raporlama sayfası hazırlandı.



Resim 3: Döküm Deliği Çamur tüketimini takip etmek için yapılan arayüz

2. YF DÖKÜM DELİĞİ ÖZET RAPORU									
01.01.2018 - 12.12.2018									
Dönem					Matkap Ucu				
Yıl	Ay	Toplam	Ortalama	Oran	Yıl	Ay	Toplam	Ortalama	Oran
2018	01	10000	2000	0,20	2018	01	10000	2000	0,20
2018	02	10000	2000	0,20	2018	02	10000	2000	0,20
2018	03	10000	2000	0,20	2018	03	10000	2000	0,20
2018	04	10000	2000	0,20	2018	04	10000	2000	0,20
2018	05	10000	2000	0,20	2018	05	10000	2000	0,20
2018	06	10000	2000	0,20	2018	06	10000	2000	0,20
2018	07	10000	2000	0,20	2018	07	10000	2000	0,20
2018	08	10000	2000	0,20	2018	08	10000	2000	0,20
2018	09	10000	2000	0,20	2018	09	10000	2000	0,20
2018	10	10000	2000	0,20	2018	10	10000	2000	0,20
2018	11	10000	2000	0,20	2018	11	10000	2000	0,20
2018	12	10000	2000	0,20	2018	12	10000	2000	0,20
2018	Yıl	120000	24000	0,20	2018	Yıl	120000	24000	0,20

Resim 4: Döküm Deliği Çamur tüketiminin özet raporu

### 3.2.3. Ana Kanal Manipülatör Kapağındaki Problemlerin Giderilmesi

2.YF'de tasarım sonucu çamur topu ana kanal yakın olduğu için döküm açık olduğu sırada manipülatör arızasına bağlı olarak çamur topu SHD ısısından etkilenmesi sonucu özellikle nozul kısmında aşırı çamur donması olmasına bağlı olarak çamur tüketimi artmaktadır. Bu uygulama ile; manipülatör kaynaklı bu sorun çözülmesine bağlı çamur donması problemi önlenmiştir.

**3.2.4. Matkap Ucu Çapının Azaltılması** 2.YF'de döküm açmak için 55 mm çapında matkap ucu kullanılmaktadır. Yapılan araştırmalar sonucu 2.YF muadili fırınlarda 50 mm ve altında matkap ucu kullanıldığı ve bununla çamur tüketiminin azaltılmasında etkili olacağı göz ününde tutularak 100 adet deneme amaçlı olmak üzere 50 mm denemesi yapılmıştır. 50 mm matkap ucu denemesi sırasında YF çalışma parametreleri (hava basıncı, basınç farkı, vb.) etkilenmemiş olup döküm deliği çamurunda ise yaklaşık %8 tasarruf sağlanmıştır.

### 3.2.5. Düşük Performanslı Çamurların Kullanımının Sonlandırılması

Döküm deliği çamur takip sistematiğinden marka ve model bazlı performanslara göre performansı düşük olan döküm deliği çamurlarının kullanımları sonlandırılmış ve gerçekçileriyle birlikte iade edilmiştir.

## 4. Sonuç

Döküm deliği çamur sarfiyatının azaltılması için yapılan iyileştirme çalışması sonucunda edilecek sonuçlar;

- İyileştirme çalışması öncesi döküm deliği çamur tüketimi 0,962 kg/tshd iken yapılan iyileştirme çalışmaları sonrası 0,714 kg/tshd değerine düşürülerek % 25,78 oranında döküm deliği çamuru daha az kullanılmıştır.
- İyileştirme çalışması öncesi ortalama döküm süresi 80 dk iken iyileştirme çalışması sonrası 89 dk'ya yükselttilerek %11,25 oranında artış sağlanmıştır.
- İyileştirme çalışması öncesi ortalama cüruf alma süresi 57 dk iken iyileştirme çalışması sonrası 67 dk'ya yükselttilerek %17,54 oranında cüruf alımında artış sağlanmıştır.
- İyileştirme çalışması öncesi ortalama döküm sayısı 12,98 adet/gün iken iyileştirme çalışması sonrası 11,92 adet/gün'e düşürülerek %8,9 oranında artış sağlanmıştır. Böylece döküm başına kullanılan sarf malzeme miktarında yaklaşık aynı oranda tasarruf sağlanmıştır.

## İSDEMİR Torpido Sert Board İzolasyon Malzemesi Denemeleri

Trial of Structural Board Type Isolation Material at Torpedo Car

Saime Günaydın Onfidan, Süleyman Taşçılar

İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. • Türkiye

### Özet

Yüksek Fırınlarda demir cevheri, sinter ve kok ham maddelerinin eritilmesi sağlanarak çelik üretiminin ilk safhası olan sıvı ham demir üretimi gerçekleştirilir. Yüksek Fırınlarda üretilen sıvı ham demir madenini Çelikhane'ye taşınmasında torpidolar kullanılmaktadır. Yüksek fırında sıvı ham demir madeninin üretilmesinden sonra Çelikhane'ye taşınması esnasında sıcak madeninin soğumaması ve ısı veriminin düşmemesi istenir, bunun için de torpido gövdesinde ısı izolasyonunun tam ve yeterli olması gerekmektedir. Torpidoların iç dizaynı yüksek ısıya dayanıklı Refrakterler ile astarlanmaktadır. Refrakter yapı zaman içerisinde deformasyona uğrayarak kısmi tamirler ile tamir edilmektedir. Bu çalışmada İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. (İsdemir) Torpidolarda İzolasyon Malzemeleri Denemeleri anlatılmaktadır.

### Abstract

Torpedo cars are used for transporting liquid iron from Blast Furnace to the BOF. The torpedo cars are lined as 3 layers; isolation material, safety lining and working lining. Firstly the isolation material is applied at the torpedo shell in order to minimize the heat loss. In order to minimize the heat loss torpedo cars by using dense board isolation material, which has a higher strength, instead of microporous isolation material in the torpedo cars.

In this study, the refractory performance of the used isolation material at torpedo cars in Iskennerun Iron and Steel Co. (ISDEMİR) was examined. Three sets of dense board isolation material was used in the years 2017 & 2018. As a result of trials, during the campaign period, while increasing of campaign casting numbers, the temperature of torpedo shells was expected to remain stable, but nevertheless it increased. In addition, comparing to the microporous isolation material, shell temperatures was expected to decrease, conversely it increased. All shell temperatures

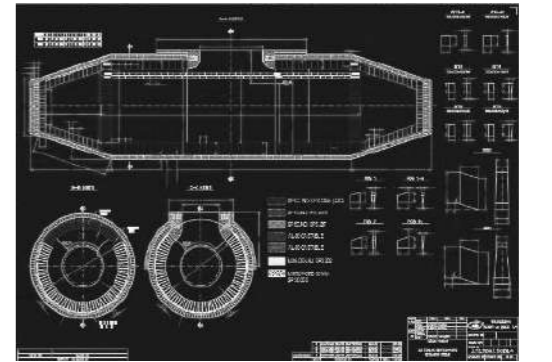
were performed by comparing the similar casting numbers of different torpedo cars.

**Keywords:** Dense board isolation material, torpedo, steel shell temperatures, heat loss.

### 1. Giriş

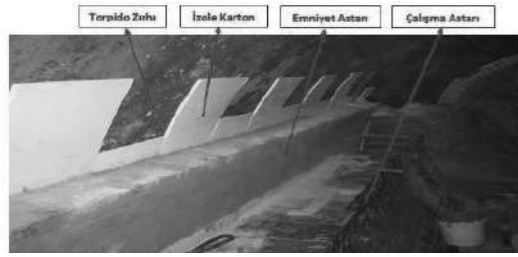
Yüksek fırınlarda üretilen sıvı ham demir taşımacılığında kullanılan torpidolara 3 farklı katman refrakter uygulanarak örüm yapılmaktadır;

1. Katman İzole Karton
2. Katman Emniyet Astarı
3. Katman Çalışma Astarı



Şekil 1. İsdemir Torpido Refrakter Projesi





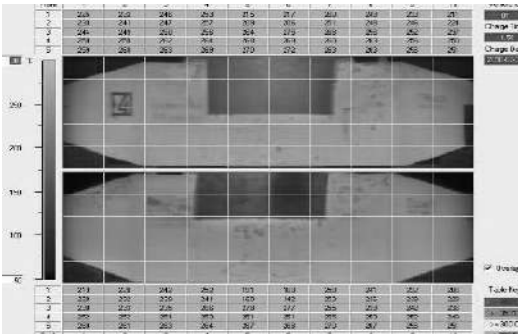
Şekil 2. İsdemir Torpido Refrakter Örüm Katmanları

Torpido zırhı üzerine yukarıda belirtildiği şekilde sırasıyla izole karton, şamot emniyet astarı ve ASC çalışma astarı örülerek devreye verilir. Devreye giren torpidolardan beklenen torpidoların içerisindeki sıvı ham demir madeninin minimum ısı kaybı ile Çelikhane'ye taşınmasıdır. Bunun için torpido izolasyonunun en iyi şekilde yapılması ve ısı kayıplarının oluşmaması hedeflenmektedir.

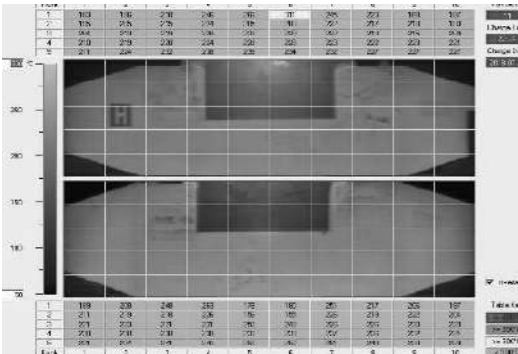
Bunu önlemek için de ısı veriminin düşmesini engellemek amacıyla en iyi izolasyon işlemi yapılmaktadır.

## 2. Torpido Zırhı Üzerindeki Isı Kayıplarının Tespit Edilmesi

Her döküm sonrasında devredeki torpidoların dolu iken termal kamera ile sıcaklık ölçümü yapılarak zırh üzerindeki sıcaklıklar tespit edilmektedir.



Şekil 3. Örnek Olarak; Torpidolar Termal Kamera Görüntüsü



Şekil 4. Örnek Olarak; Torpidolar Termal Kamera Görüntüsü

Malzemenin zırhın altında deforme olup olmadığı termal kamera görüntüsü ile izlenmektedir.

## 3. İzolasyon İşlemi

Torpido zırhı ile emniyet astarı arasına yerleştirilen izole karton ısı kaybını engellemektedir. 2010 yılı öncesinde seramik fiber özellikli izole karton kullanılmış olmasına rağmen, daha iyi özellikte olduğu bilinen ve tüm dünyada kullanımı yaygınlaşan mikropor özellikli izole karton kullanımına geçilmiştir.

Yeni teknolojik gelişmeler sonrasında üretilen sert board izolasyon malzemesi denemeleri yapılmasına karar verilmiştir. Seramik Fiber-Mikropor ve Sert Board özellikli izolasyon malzemelerinin özellikleri aşağıda belirtilmiştir.

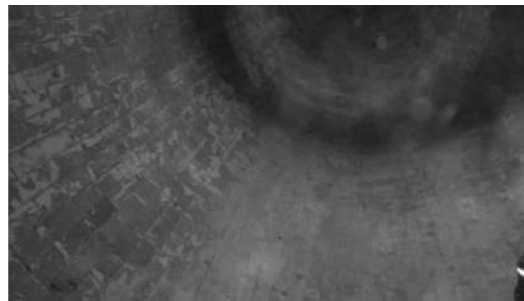
	Seramik Fiber İzole Karton Özellikleri	Mikropor İzole Karton Özellikleri	Sert Board Özellikleri
<b>Fiziksel Özellikler (%)</b>	<b>Tipik Değer</b>	<b>Tipik Değer</b>	<b>Tipik Değer</b>
<b>Hacim Ağırlığı (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	450	300	1,2
<b>Isı İletkenliği (W/mK)</b>			
200°C	0,022	-	-
400 °C		0,025	-
600°C	0,15 - 0,20	-	0,31
800 °C		0,04	-
1000°C		-	-
<b>Kullanım Sıcaklığı(°C)</b>	1250	1050	1050
<b>Renk</b>	-	Beyaz	-
<b>Basma Mukavemeti (N/mm<sup>2</sup>)</b>	-	1	15,1
<b>Çekme (%) (950 °C'de 24 saat sonra)</b>	-	< 1,5	1,64

Şekil 5. İzolasyon Malzemeleri Özellikleri

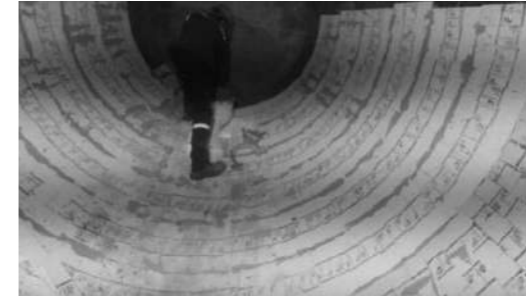
## 4. İzolasyon İşlemi Deneme Uygulama Örneği

İzolasyon deneme uygulama örneği için 1, 2 ve 3 Nolu Torpidolar seçilmiştir.

X firmasından temin edilen 2'şer set sert boardlar 1 ve 3 nolu torpidolara, Y firmasından temin edilen 1 set sert board 2 nolu torpidoya uygulanmıştır.



Şekil 6. X Firması Sert Board Deneme Uygulaması

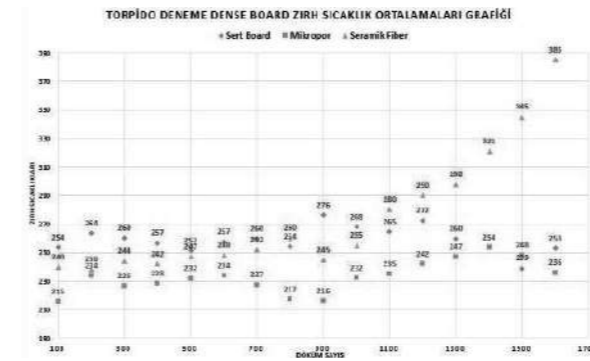


Şekil 7. Y Firması Sert Board Deneme Uygulaması

## 5. İzolasyon İşlemi Sonrası Sıcaklık Kontrolü

İzolasyon işlemi sonrasında, benzer döküm sayılarındaki mikropor özellikli 4 torpido ile deneme yapılan sert boardlu torpidoların zırh sıcaklıkları düzenli olarak takip edilmiştir.

Torpido zırh sıcaklıklarının düşmediği gözlemlenmiş ve uygulamanın başarısız şekilde gerçekleştirildiği sonucuna ulaşılmıştır.



Şekil 8. Periyodik Olarak Ölçülen Sıcaklık Ölçüm Değerleri Grafiği

## 6. Sonuç ve Değerlendirme

Torpido izolasyon malzemesi olarak ön denemesi yapılan firmalara ait torpidoların;

- Malzemelerin uygulama bölgesinde tüm - sağlam olarak kalmadığı ve kalan parçaların ise dağıldığı gözlemlenmiştir. Malzemelerin mukavemetini sağlayamaması sebebiyle emniyet astarı ile zırh arasında boşluklar oluştuğu gözlemlenmiştir.
- Torpido zırh sıcaklıklarının başladığı sıcaklıktan kampanya döküm sayısı arttıkça stabil kalması beklenirken, artış gözlemlenmiştir. Mikropor izole karton malzemesine kıyasla zırh sıcaklıklarında azalma beklenirken, tersi yönde artış olduğu gözlemlenmiştir. Tüm zırh sıcaklıkları aynı döküm sayıları kıyaslanarak yapılmıştır.

## Çelik Döküm Potası Çelik Seviyesinde ve Tabanda AMC Kalite Tuğla Denemesi

Trial of AMC Quality Bricks at Bottom and Steel Zone at Steel Ladle

Memduh Kircan, İsmail Malhatun

### İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. • Türkiye

#### Özet

Bu çalışmada İskenderun Demir Çelik Fabrikaları A.Ş (İsdemir) 2018 yılında başlatılan "Çelik Döküm Potası Çelik Seviyesinde ve Tabanda Amc Kalite Tuğla Denemesi ve Ereğli Demir Çelik Fabrikaları T.A.Ş (Erdemir) de AMC ve MgO-C tuğla kalitelerindeki cüruf etkileşimleri " incelenmiştir.

Çelik döküm potaları konverterde işlem gören sıvı çeliğin ikincil metalurji tesislerine taşınması ve işlem görmesi ile sonrasında sürekli döküm makinelerinde çeliğin dökülmesinin sağlanmasında kullanılmaktadır. Çelik döküm potalarında refrakterleri çalışma astarı olarak yan duvar ve taban çarpma bölgesi dışında MgO-C kalite ve taban çelik çarpma bölgesinde ise AMC (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-MgO-C) kalite tuğlalar kullanılmaktadır.

Çelik döküm pota yan duvar refrakterlerinde yaşanan termal gerilimlerden kaynaklanan dikine yarılmalar ve genleşme sorunlarının önüne geçebilmek amacıyla çelik seviyesi ve tabanda AMC kalite tuğlalar kullanılmıştır. Ayrıca AMC ve MgO-C tuğla kalitelerindeki cüruf etkileşimleri deneysel çalışma ile incelenmiş olup teorik ve pratik olarak karşılaştırılması yapılmıştır.

2018 yılında İsdemir tesislerinde 2 farklı çelik döküm pota çalışma astarı refrakter üretici firmadan 4 set deneme yapılmış olup deneme sonucunda pota yan duvar refrakterlerinde yaşanan dikine yarılmalar ve genleşme sorunları yaşanmamıştır. Buna bağlı olarak MgO-C kalite çelik döküm pota refrakter çalışma astarları ile benzer performans gösterdiği tespit edilmiştir.

#### Abstract

In this study " Trial of AMC Quality Brick of Bottom and Steel Line at Steel Ladle " that was performed at 2018 in Iskenderun Iron and Steel Co. (ISDEMİR) and " Slag Interaction between AMC and MgO-C bricks" that was analysed at Ereğli Demir Çelik Fabrikaları T.A.Ş (ERDEMİR) is examined.

Steel ladle is used transferring liquid steel from BOF to secondary metallurgy, provided liquid steel treatment and then transferring to Casting Machine for casting billets or

slabs. It is lined MgO-C bricks at side walls and except of bottom impact and AMC (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-MgO-C) brick at bottom impact pad.

Instead of MgO-C brick using AMC at side walls and except of bottom impact is started trials for the purpose of eliminating vertical opening and expansion problems.

In 2018 4 sets of steel ladle refractory working lining from 2 different company was used. As a result of trials it has been eliminated vertical opening and expansion problems. Also it has been analysed slag interaction between AMC and MgO-C bricks and compared test result and field result.

**Keywords:** Steel ladle, AMC quality bricks, refractory consumption, horizontal/vertical cracks.

#### 1. Giriş

Günümüzde yüksek kaliteli çelik üretimi için ikincil metalurji prosesi yoğun olarak kullanılmaktadır. Örneğin, temiz çelik üretimi için, düşük karbonlu, düşük azot ve hidrojen içerikli çelikler ikincil metalurji uygulamaları ile yapılabilmektedir. Konverterde üretilen sıvı çelik sürekli döküm tesisindeki döküm işlemine girmeden önce üretilmesi hedeflenen çelik kalitesi için gerekli olan tüm metalurjik işlemler İkincil metalurji prosesinde yapılır.

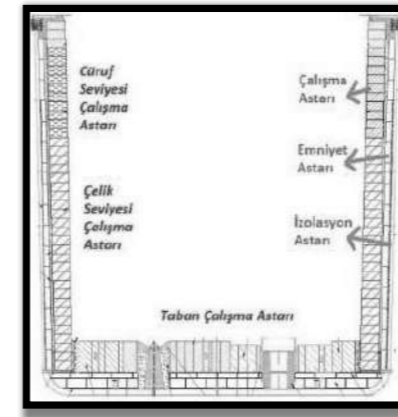
İkincil metalurji uygulamaları ile; pota içerisindeki çeliğin homojen bir yapıda olması amacıyla asal gazlar (azot, argon) ile karıştırılması, hedeflenen çelik kalitesi için alaşım elementlerinin hassas olarak ilave edilmesi, yüksek alaşım verimi ve kimyasal bileşimin istenilen düzeyde elde edilmesi sağlanmaktadır. Bununla birlikte; üretilen çeliğin hidrojen, oksijen, azot ve karbonun düşürülmesi, özellikle kükürt giderme amacıyla toz malzemelerin enjeksiyonu, mikro-alaşımlama ve kalıntı şeklinin kontrolü için taneli veya tel şeklindeki çeşitli malzemelerin beslenmesi, elektrodlar aracılığıyla verilen elektrik enerjisi veya alternatif olarak, alüminyum ile oksijenin verdiği

ekzotermik reaksiyonlardan faydalanarak çeliğin ısıtılması yapılabilmektedir. [1]

Şekil-1' de tipik bir çelik döküm potası kesiti verilmiştir. Çelik döküm potalarında refrakter örümleri çelik zırhtan başlayarak sırasıyla izolasyon astarı, emniyet astarı ve çalışma astarı olarak uygulanmaktadır. Çalışma astarının işletme sürecinde aşındırıcı etkiler ile kontrollü aşınması ve emniyetli bir şekilde potanın devre dışı bırakılmasıdır. Devre dışı bırakılan potanın çalışma astarı refrakterleri değiştirilir. Emniyet astarı ise çalışma astarında herhangi bir sıkıntı yaşanması ihtimaline karşı potanın emniyetli bir şekilde devre dışı yapılabilmesi sıvı çeliğe dayanabilmesi ve ısı iletimini azaltmak için kullanılır. İzolasyon astarı ise pota zırhına ulaşan sıcaklığın ve ısı iletimini azaltmak amacıyla kullanılmaktadır. Şekil-1' de ise çelik döküm potası refrakterlerinin kesidi verilmiş olup yukarıdan aşağıya doğru cüruf seviyesi, çelik seviyesi ve taban bölgesi olarak adlandırılmaktadır.

Refrakter çalışma astarı işletme esnasında korozyona ve erozyona maruz kalmaktadır. Pota çalışma astarı refrakter malzemelerindeki genel olarak aşınma nedenleri;

1. Isıtma ve soğuma esnasında oluşan refrakter çatlamaları
2. Potaların (serviste iken) çalışma ve soğuma sıcaklık etkileri
3. Cüruf ve çelik bölgesindeki korozyon ve üfleme sırasında oksitlerin refraktere teması sırasındaki davranış mekanizması,
4. Termo-Mekanik etkilerdir.



Şekil 1: Çelik döküm potası kesiti.

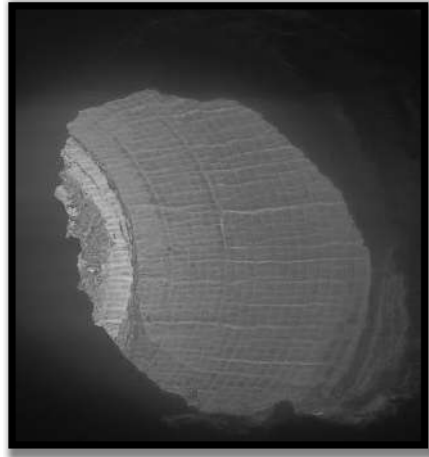
İkinci metalurji uygulamaları esnasında potaların en çok cüruf seviyesi bölgesinde aşınmalar meydana gelmekte olup çelik döküm potalarının devre dışı kalma en büyük nedenlerinde biridir. Cüruf, çelik üretiminde çeliği kirletecek erimiş metal oksitler ve çeliğin üstünde yüzer halde bulunan çözeltilerdir.

Çelik üretiminde cürufun işlevleri kısaca şu şekilde özetlenebilir:

1. Elektrik ark fırınındaki (EAF) ve Pota Fırınındaki (LF) arkları kaplayarak refrakterleri ark parlamasından korumak,
2. Deoksidasyon ürünlerini (SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ve inklüzyonları toplayarak çeliğin kalitesini yükseltmek,
3. Elektrik ark fırınında fosforun, pota fırınında ise kükürdün giderilmesini sağlamak,
4. Metallerin oksidasyonunu önlemek,
5. Metaldeki azot ve hidrojen emiliminden korumak,
6. Sıvı çeliği izole ederek ısı kaybını en aza indirmek,
7. Refrakter astarla uyumlu olmak.

Akışkanlık cürufun önemli özelliklerindedir. Metalurjik reaksiyonların gerçekleşmesi için iyi bir cürufun yüksek akışkanlığa sahip olması gereklidir. Ancak refrakter açısından iyi bir cüruftan minimum penetrasyon, düşük cüruf – refrakter etkileşimi ve refrakter yüzeyinin cüruf ile kaplanması için düşük akışkanlığa sahip olması beklenir. Bu nedenle cürufun, metalurjik reaksiyonların oluşmasına izin verecek ölçüde akışkan, refrakter aşınmasını hızlandırmayacak ölçüde kıvamlı olması için optimum cüruf akışkanlığının sağlanması gerekir. [2]

İsdemir' de çelik döküm potalarında refrakterleri çalışma astarı olarak yan duvar ve taban çarpma bölgesi dışında MgO-C kalite ve taban çarpma bölgesinde ise AMC kalite tuğlalar kullanılmaktadır. İsdemir' de hem yassı hem de uzun mamül üretilmesi nedeniyle kullanılan çelik döküm potalarında taşınan sıvı çelikler son mamüle göre alüminyum ile ya da silisyum ile öldürülmüş olarak işlem görmektedir. Bu durum ise çelik döküm potalarında farklı cüruf pratikleri ve farklı işlem süreleri nedeniyle çalışma astar refrakterlerinde farklı aşınmaları meydana getirmektedir. Özellikle kütük kalitelerinde döküm sonrası taban ve yan duvarda biriken cüruf çarpma bölgesinde çalışma astar refrakterlerinin hızlı aşınması neden olmaktadır. Ayrıca çelik döküm potalarında yaşanan dikine yarılmalar nedeniyle döküm aldığı süre boyunca sıcak tamir uygulanmakta ya da çalışma astar refrakter durumuna göre devre dışı bırakılabilmektedir.



Şekil 2: Çelik döküm potasındaki dikine ve yatay açılmalar.

AMC ( $Al_2O_3$ -MgO-C) kalite refrakter tuğlalar, değişik kalite ve boyutlardaki alumina ve magnezya hammaddelerinin reçine grafit ve antioksidan matris içinde dağılmış kompozit malzemelerdir. Bu malzemenin içeriğindeki grafit termal iletkenliği, termal şok dayanımını cüruf atak dayanımını artırmaktadır. [3] Ayrıca magnezya ve alumina arasında reaksiyon sonucu oluşan spinel formu ( $MgAl_2O_4$ ) çalışma sıcaklıklarındaki genişmesi ile tuğla derz aralarının daha iyi kapanmasını sağlayarak aşınmayı azaltmaktadır. Ayrıca bu reaksiyon sonucu spinel, magnezya ve alumina arasında termal genişleme farkından oluşan mikro çatlaklar refrakterin tokluğunu etkilemektedir. AMC kalite refrakter tuğlalar, çoğunlukla çelik döküm potalarında çelik seviyesinde ve tabanda kullanılmaktadır. Fakat yüksek sıcaklıklarda bazik cürufa karşı hassaslık nedeniyle çelik döküm potalarında cüruf seviyesinde kullanımı kısıtlıdır. [4]

Çelik döküm pota yan duvar refrakterlerinde yaşanan dikine yarılmalara ve genişleme sorunlarının önüne geçebilmek amacıyla çelik seviyesi ve tabanda AMC kalite tuğla denemesine karar verilmiştir.

## 2. Çelik Döküm Potalarında AMC Kalite Tuğla Denemesi

2018 yılında Erdemir ve alumina üreticisi olan Almatıs firması ile ortak proje grubu oluşturulmuş olup Erdemir ve İsdemir’de AMC kalite çelik pota setlerinin denenmesine karar verilmiştir.

Bu çalışmada çelikhane cürufunun çelik döküm potası refrakterleri üzerine etkilerinin deneysel çalışması Erdemir Refrakter ve Arge Müdürlükleri tarafından yapılmıştır. AMC kalite çelik pota setlerinin saha denemeleri ise Erdemir ve İsdemir’de yapılmış olup İsdemir verileri incelenmiştir. Çelik seviyesi ve tabanda AMC kalite tuğla denemesinde tuğla analizleri hali hazırda kullanılan taban çarpma AMC

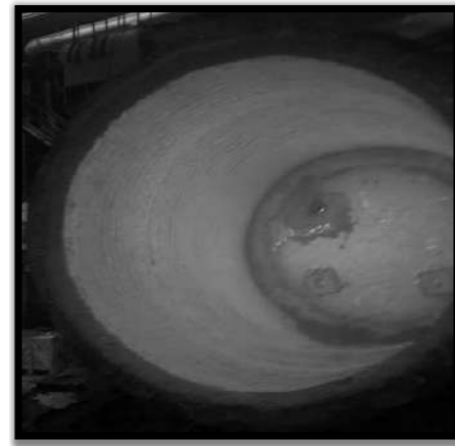
kalite tuğla analizi esas alınmış olup kullandığımız AMC ve MgO-C tuğla şartname analiz değerlerimiz aşağıda tabloda verilmektedir.

Tablo 1. AMC ve MgO-C refrakter tuğlaların şartnamedeki kimyasal analiz değerleri.

Kalite Türü	$Al_2O_3$	CaO	$Fe_2O_3$	MgO	$SiO_2$	C
MgO-C	0,5	2,5	0,5	Min. 94	Max. 1,3	Min. 8
AMC	Min. 88	0,2	0,2	Min. 7	2	Min. 5

Bu kapsamda 2 firmadan şartnamemize uyacak şekilde çelik seviyesi ve tabanda AMC kalite tuğla denemesi için 2 şer set çelik pota seti tedarik edilmiştir.

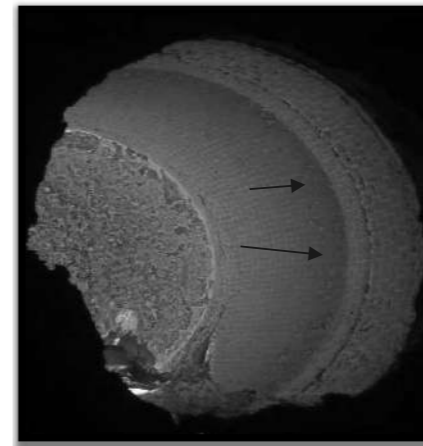
Denemeler kapsamında her seferinde 1 firmanın 1 seti çevrimde olacak şekilde süreç tamamlanmıştır.



Şekil 3: AMC kalite çelik döküm potası ilk döküm öncesi hazırlanma süreci.

A firmasının ilk setinin denemesi sürecinde 57 dökümde çelik seviyesi ve cüruf seviyesi birleşim yerinde oyulma nedeniyle kısmi tamire ayrılmıştır. Kısmi tamirde oyulan bölgede hali hazırda çelik seviyesi MgO-C tuğla kalitesi ile örümü yapılarak devreye verilmiştir. Sonrasında 84 dökümde çelik seviyesi ve cüruf seviyesi birleşim yerinde oyulma nedeniyle komple sökümüne ayrılmıştır. 2. Set denemesinde ise çelik seviyesi ve cüruf seviyesi birleşim yerinde oyulma olmaması için 3 sıra çelik seviyesi AMC kalite tuğla yerine çelik seviyesi MgO-C tuğla kalitesi ile örümü yapılarak devreye verilmiştir. Pota 96 dökümde döküm çanağının zayıf olması nedeniyle komple sökümüne ayrılmıştır. Pota çevrim sürecinde çelik seviyesi ve cüruf seviyesi birleşim yerinde oyulma gözlenmemiştir. Kullanılan her 2 sette de çelik seviyesinde dikine yarılmalara ve genişleme sorunları gözlenmemiştir.

B firmasının ilk setinin denemesi sürecinde 34 dökümde çelik seviyesi ve cüruf seviyesi birleşim yerinde oyulma nedeniyle kısmi tamire ayrılmıştır. Kısmi tamirde oyulan bölgede hali hazırda çelik seviyesi MgO-C tuğla kalitesi ile örümü yapılarak devreye verilmiştir. Sonrasında 93 dökümde cüruf seviyesi oyulma nedeniyle komple sökümüne ayrılmıştır. 2. Set denemesinde ise çelik seviyesi ve cüruf seviyesi birleşim yerinde oyulma olmaması için 3 sıra çelik seviyesi AMC kalite tuğla yerine çelik seviyesi MgO-C tuğla kalitesi ile örümü yapılarak devreye verilmiştir. Pota 88 dökümde çelik seviyesi ve cüruf seviyesi birleşim yerinde oyulma nedeniyle komple sökümüne ayrılmıştır. Kullanılan her 2 sette de çelik seviyesinde dikine yarılmalara ve genişleme sorunları gözlenmemiştir.



Şekil 4: AMC kalite çelik döküm potası çelik-cüruf birleşim yeri aşınması.

## 3. Deneysel Çalışma

Erdemir’de yapılan deneysel çalışmada AMC ve MgO-C kalite refrakter tuğlaların cüruf-refrakter etkileşimi incelenmiş ve meydana gelen etkileşimler karakterize edilmiştir.

Numunelerin kimyasal özellikleri Tablo-2’de verilmiştir. Tablo-3’de ise cüruf atağı testinde kullanılan çelikhane cürufunun kimyasal bileşimi verilmiştir.

Tablo 2. Kullanılan refrakter tuğlaların kimyasal analizi.

	$Al_2O_3$	MgO	$Fe_2O_3$	$SiO_2$	CaO	$TiO_2$	C
1	90,98	0,59	0,12	0,59	0,27	0,46	7,06
2	0,50	95,76	0,45	1,56	1,68	0,00	13,36

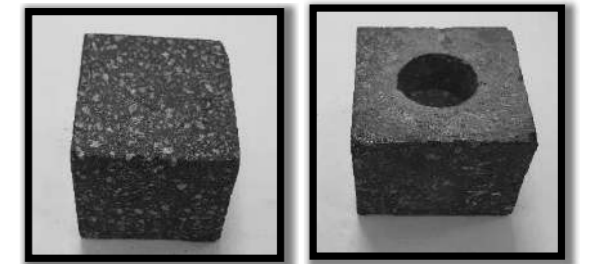
Tablo 3. Çelikhane cüruf analizi.

$Al_2O_3$	CaO	FeO	MgO	MnO	$P_2O_5$	S	$SiO_2$	$TiO_2$	$V_2O_5$
25,79	47,43	6,06	8,54	1,84	0,38	0,05	5,13	0,38	0,39

Deneysel çalışmada baziklik oranı ( $B_5$ ) 1,5 olarak hesaplanmıştır.

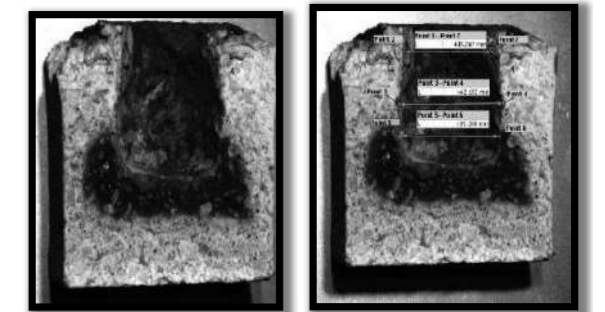
### 3.1. Cüruf atağı deneyi

Deneysel çalışma için kenar uzunluğu 80 mm ve derinliği 65 mm olan refrakter tuğla parçaları kesilmiştir. Bu parçaların ortası oyulmak suretiyle pota şekli elde edilmiştir. Oyuk 35 mm çapında, yaklaşık 32 mm derinliğinde ve taban ile yan yüzeyleri mümkün olduğu kadar düzgün hazırlanmıştır.

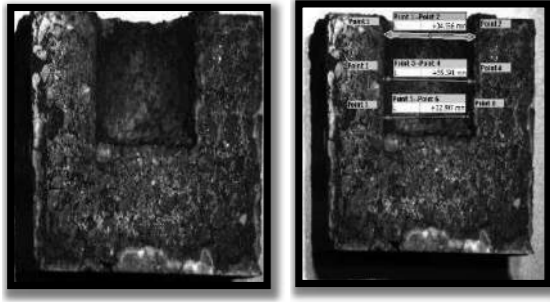


Şekil 5. Deneysel çalışmalar için hazırlanan numuneler.

Hazırlanan numunelere pudra halindeki (54 gr.) cüruf koyulup, 100 °C/saat’lik ısıtma hızı 1450 ve 1500 °C’ye 1 saat bekletilmiş ve 3 çevrim yapılarak fırında soğumaya bırakılmıştır. Soğuyan numuneler dikey kesit alınıp incelenmiştir.



Şekil 6: 1 nolu numune AMC tuğla.



Şekil 7: 2 nolu numune MgO – C tuğla.

Numunelerin kesilmesi sonrasında cüruf-refrakter etkileşim bölgelerinin genişlik ölçümleri alınmış olup Tablo-4 de verilmektedir.

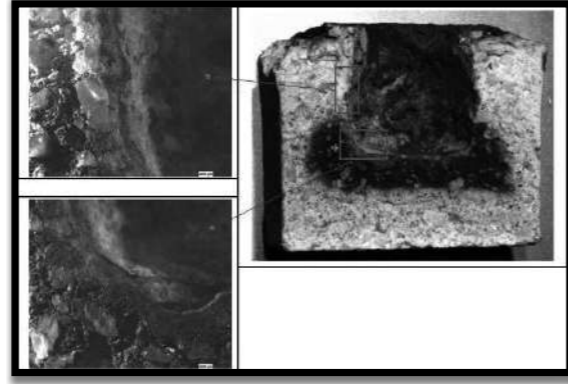
Tablo 4. Fiziksel ölçüm.

Numune	Alt Bölge Çapı (mm)	Orta Bölge Çapı (mm)	Üst Bölge Çapı (mm)	En fazla genişlik (mm)	Orijinal Numune Çapı (mm)	Fark (mm)
1	39,36	42,10	35,37	42,10	35,00	7,10
2	33,00	35,39	34,97	35,39	35,00	0,39

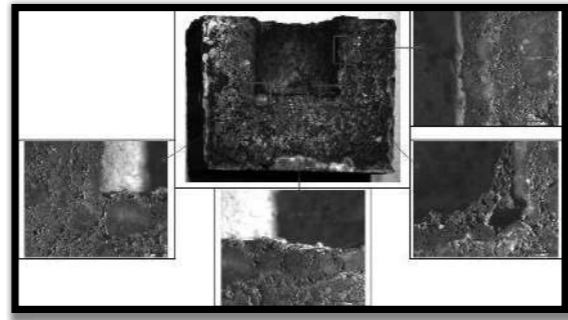
Elde edilen değerlere bakıldığında en iyi sonucu 2 nolu numune olan MgO– C tuğla vermiştir. 1 nolu numune AMC tuğla ise cürufa karşı daha fazla deformasyona uğradığı tespit edilmiştir.

### 3.1.1 Numunelerin iç yapı karakterizasyonu

Sabit hacme sahip farklı tip refrakter tuğla içerisine aynı miktarda aynı kimyasal kompozisyona sahip cüruf yerleştirilerek 1550°C' de kül fırında işleme tabi tutulmuş ve daha sonrasında inceleme yapılabilmesi amacıyla kesit alınarak cüruf, refrakter ve etkileşim bölgeleri ortaya çıkarılmıştır. Bu kapsamda kesit alınan numuneler stereo mikroskop (Nikon SMZ 745T) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM / Jeol JSM 5600) cihazlarında incelenmiştir.

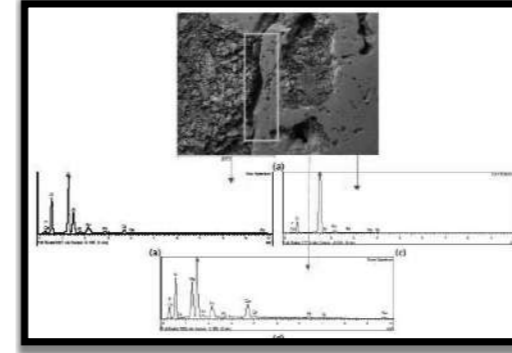


Şekil 8: 1 numaralı numunenin makro ve stereo mikroskop görüntüleri.

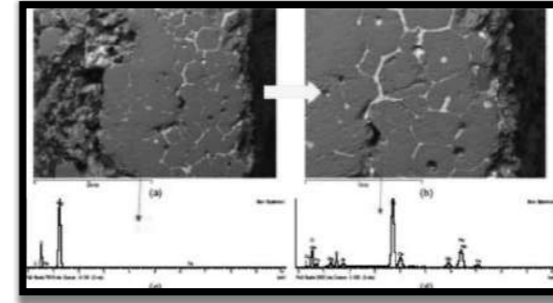


Şekil 9: 2 numaralı numunenin makro ve stereo mikroskop görüntüleri.

1 numaralı numunenin SEM incelemesi Şekil 8 ve 9'da yer almaktadır. Reaksiyon bölgesinde cürufa bağlı erozyonun olduğu yapılan EDS analizlerinde de belirlenmiştir (Şekil 10 a ve d). Yığın yoğunluğu düşük ve poroz bir yapıya sahip olan spinel refrakterde cüruf ile yoğun etkileşimden dolayı reaksiyon bölgesinde geniş çaplı cüruf refrakter karışımı tespit edilmiştir. Buna ilave olarak reaksiyon sonrası etkileşim ürününün tabaka olarak refrakter yüzeyine yapıştığı ve arayüzeyin zayıf olduğu Şekil 10' da sarı kutucuk içerisinde alınan bölgede belirtilmiştir.

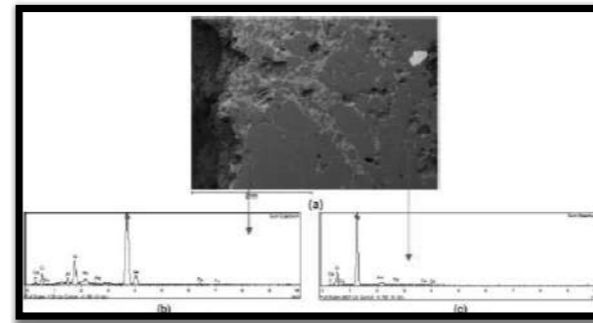


Şekil 10: 1 numaralı numunenin (a) cüruf reaksiyon yüzeyinin SEM görüntüsü; (b) – (c) – (d) EDS incelemesi.

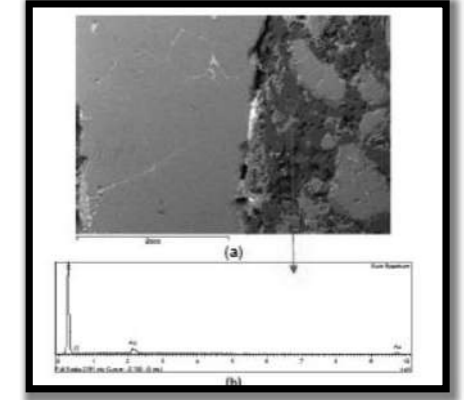


Şekil 11: 1 numaralı numunenin (a) reaksiyon yüzeyi ve (b) ilgili bölgenin yüksek büyütme SEM görüntüsü; (c) ve (d) EDS incelemesi.

2 numaralı numuneye ait SEM incelemesi Şekil 7' de verilmiştir. Şekil 7'de reaksiyon bölgesine ait inceleme yer almaktadır. Yapılan incelemede cürufun refrakter içerisine doğru ilerlemediği belirlenmiştir.



Şekil 12: 2 numaralı numunenin (a) cüruf reaksiyon yüzeyinin SEM görüntüsü; (b) – (c) EDS incelemesi.



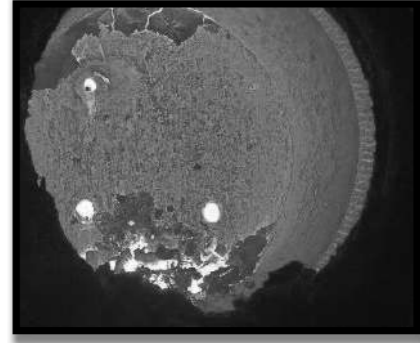
Şekil 13: 2 numaralı numunenin (a) cüruf reaksiyon yüzeyinin arka bölgesinin SEM görüntüsü; (b) EDS incelemesi.

Deneyel çalışmalar sonucunda; 1 nolu numune AMC kalite refrakter tuğlada refrakter cüruf etkileşiminin yoğun olduğu ve aşınma miktarının 2 nolu numune manyezit karbon tuğlaya göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir. 2 nolu numune manyezit karbon tuğlanın karbon içeriği (ıslatmazlık özelliği nedeni ile) cüruf atağına karşı direnci fazladır. Yapılan incelemede manyezit tuğlanın cüruf - refrakter etkileşim bölgesinde herhangi bir faz değişiminin olmadığı tespit edilmiştir.

### 4. Sonuç ve Değerlendirmeler

Denemesi tamamlanan her 2 firmanın 2 şer adet çelik döküm potası refrakter setinin söküm sonrası kontrollerinde;

- Tuğla derzlerinin çok iyi kapandığı ve çalışma astarı arkasına çelik almadığı görülmüştür. Söküm sırasında çelik seviyesi tuğlalarının derz birleşim yerlerinden ayrılmadan blok halinde düştüğü görülmüştür.
- MgO-C tuğlalarda sıklıkla görülen dikey yarılmalar AMC kalite tuğlalarda gözlenmemiştir.
- Çelik seviyesi tuğla kalınlıklarının yaygın olarak kullandığımız MgO-C tuğlalar ile benzer kalınlıklara sahip olduğu görülmüştür.
- Taban tuğla kalınlıklarının yaygın olarak kullandığımız tuğlalara göre daha az aşındığı görülmüştür.



Şekil 14: AMC kalite çelik döküm potası.

Denemelere ait sarfiyat ve sökülme sonrası tuğla kalınlıkları aşağıda tabloda verilmiştir.

Tablo 5. Pota refrakter sarfiyat ve kalınlık tablosu.

Firma	Döküm Sayısı	Sarfiyat (kg ref/TSC)	Minimum Cüruf Seviyesi Tuğla Kalınlığı (cm)	Ortalama Çelik Seviyesi Tuğla Kalınlığı (cm)	Minimum Taban Seviyesi Tuğla Kalınlığı (cm)
A	84	2,72	16	13	22
A	96	1,86	8	12	15
B	93	2,08	8	11	18
B	88	2,03	11	14	20

Saha çalışması ile deneysel çalışma sonuçlarının birbirini örtüştüğü ve döküm sonunda çelik seviyesinde biriken cürufun AMC kalite tuğla ile etkileşime girdiği görülmüştür.

Çelik ve cüruf seviyesi birleşim yerinde oyulma nedeninin çelik seviyesinde AMC ve cüruf seviyesinde MgO-C kalite tuğlaların sahip olduğu farklı genleşme ve AMC kalite tuğlanın cürufa karşı dayanımının düşük olmasıdır. Bu nedenle söz konusu geçiş bölgesinde her 2 farklı kalite tuğlaların % C oranı ortasında hali hazırda kullanılan çelik seviyesi MgO-C (% 8 C) tuğlası kullanılmıştır.

## 5. Sonuç

2018 yılında 2 farklı firmadan 2 şer adet çelik döküm potası refrakter seti ön denemesi tamamlanmış olup her 2 denemede de çelik seviyesi ve taban tuğlalarında derzlerin çok iyi kapandığı, MgO-C tuğlalarda yaşanan dikey yarılmaların gözlenmediği, taban çarpma ve çarpma dışında tuğlaların eşit derecede aşındığı taban çarpmada oyulma gözlenmediği tespit edilmiştir.

Ayrıca deneysel çalışma ile AMC ve MgO-C kalite tuğlaların cüruf etkileşimleri kıyaslandığında cüruf atağına karşı direnci yüksek olduğu görülmüş olup cüruf seviyelerinde MgO-C kalite tuğlaların kullanımının gerekliliği görülmüştür.

2019 yılında çelik seviyesi ve taban AMC kalite çelik döküm potası refrakter çalışma astarı denemeleri devam edecektir. Devam edecek yeni çelik döküm potası refrakter çalışma astarı denemelerinde firmalar çelik seviyesi ve cüruf

seviyesi birleşim yerinde oyulmalara önlem almak üzere farklı kalite geçiş seviyesi tuğlası tasarımı yapılacaktır.

## Kaynakça

- [1] H. Arnold, A. Vollmers, Secondary Metallurgy for BOF Steelmaking, HKM, Germany
- [2] E. Pretorius, Slags And The Relationship With Refractory Life And Steel Production, Lwb Refractories
- [3] V. Munoz, A.G. Tomba Martinez, Thermal Evolution Of AMC-MgO-C Refractories, Procedia Materials Science 1 2012 410-417.
- [4] L. Musante, V. Munoz, M. H. Labadie, A.G. Tomba Martinez, High Temperature Mechanical Behavior Of AMC-MgO-C Refractories for Steelmaking Use Ceramic International 37 2011, 1473-1483.

## "Türkiye Demir-Çelik ve Demir Dışı Metaller Sektörü Strateji Belgesi ve Eylem Planı" Üzerine İncelemeler

Examinations on Turkey Iron-Steel and Non-Iron Metals Sectoral Strategical Document and Action Plan

Seren Nazlı Özok

## İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. • Türkiye

### Özet

Dünya çapındaki teknolojik gelişmeler, ekolojik yatırımlar, çevre üzerine protokoller ve insan kaynağındaki ilerlemeler ile Türkiye'nin Demir Çelik haritasına baktığımızda gelinen noktanın sektörde alınması gereken önlemleri, değişim ve gelişim içerisinde ilerleyen bir Demir ve Çelik sektörü strateji planını gerektirmektedir. Sektörünün belli başlı sorunlarını ele alan, ihtiyaca yönelik bir eylem planı, 25 Aralık 2012 tarih ve 28508 sayılı resmi gazetede yayınlanarak "Türkiye Demir-Çelik ve Demir Dışı Metaller Sektörü Strateji Belgesi ve Eylem Planı (2012-2016)" olarak (Mülga) Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığının koordinatörlüğünde ilgili kamu kurumları ve özel sektörün katkıları ile hazırlanmıştır. Yapılan çalıştaylar sonrasında, Türkiye Demir Çelik ve Demir Dışı Metaller Sektörü Eylem Planı 2017-2020 çalışmaları tamamlanarak taslak eylem planı oluşturulmuştur. 2020'ye doğru alınan stratejik önlemler ileri yıllarda Demir ve Çelik sektörünün ilerlemesi ve gelişmesinde önemli bir zemin oluşturacaktır.

Bu çalışmada, yerel yönetimler, STK'lar, kamu ve özel kuruluşların katılımını da kapsayan bu eylem planının Demir ve Çelik sektörüne sağladığı katkılar nelerdir? Sektörel düzeydeki yapısal, sosyal, mekânsal sorunlara yönelik uygulamalar ve kazanımlara yönelik gelecek öneriler ne olabilir? Gibi sorular çerçevesinde bakış açısı oluşturulması hedeflenmiştir.

### Abstract

It has been required to have a strategical plan for Iron and Steel sector with the reason of technological developments, ecological investments, protocols on environment, improvements on human resources and Turkey's huge Iron and Steel sector mapping which are always in progress and dynamic. With the announcement of 28505 - numbered

official gazette on December of 25, 2012 Turkey The Ministry of Industry and Technology has prepared a strategic plan which is called "Turkey Iron – Steel and Non-Iron Metal Sectoral Strategical Document and Action Plan" that is coordinated by government, public and private sector. Than it has been started to making plan for 2017 – 2020 which will be a background for sectoral development and investment.

In this study, it has been aimed that what are the contributions of being a sort out for Iron and Steel sector with the helping of Local governments, Non-governmental organizations, public and private sectors? What are the suggestions for future Iron and Steel sector strategic plans in terms of functional, social and spatial problems' applications and acquisitions? These topics will be aimed for forming a conception on that target.

**Key words:** Iron and Steel sector, Action Plan, Strategical document, The Ministry of Industry and Technology, Acquirements, Suggestions, 2020

### 1. Giriş

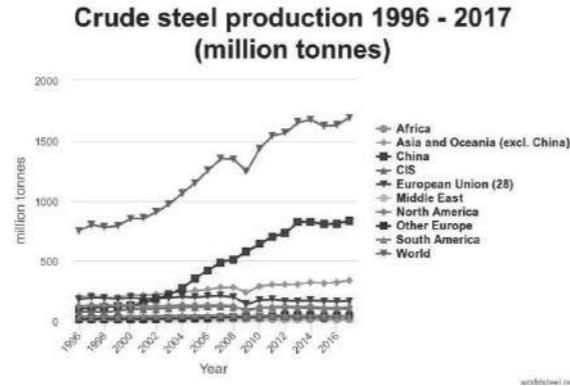
Bilindiği üzere, demir ve çelik sektörü konumu itibarıyla sanayinin lokomotif bileşeni ve kullanım alanımızın önemli yapı taşlarındadır. Demir cevherinin yüksek fırınlarda veya hurdaların ark ocaklarında eritilmesiyle elde edilen slab ve kütüğün çeşitli proseslerde işlenerek istenilen ve ihtiyaç duyulan kimyasal ve fiziksel özelliklere sahip mamuller üreten demir ve çelik sektörü; sayısız çeşit ve kullanım alanına sahiptir. Ağır sanayi sınıfındaki demir ve çelik üretimi; inşaat, altyapı, otomotiv, beyaz eşya ve makine sanayi gibi pek çok önemli endüstriye hammadde sağlamaktadır. Bu nedenle ülkemizin ekonomi ve sanayileşmedeki ilerlemesi güçlü bir demir çelik sanayisine sahip olmasıyla doğrudan ilişkilidir (Doğaka, 2014).

Türk Demir-Çelik ve Demir Dışı Metaller Sektörü, küreselleşme sürecinde üretim, pazarlama, ihracat, ticaret alanlarında dünya ile entegrasyon sağlamış; gelinen noktada bu alanlardaki gelişmeyi geliştirmiş ve geliştirmekte olan pazarlara yaptığı ihracat ile kanıtlamıştır. Sektörün gayri safi yurtiçi hâsiladaki payı, imalat sanayi üretimindeki payı, ihracat, net döviz girdisi, istihdam, rekabet edebilirlik, yatırımlar, dışa açıklık ve makro ekonomik büyüklükler açısından ülkemizdeki en önemli beş sektörden biridir (T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı,2012)

### 1.1. Dünyada Demir ve Çelik Sektörü

Demir ve çelik üretiminde kullanılan hammaddelerin üretim yöntemine göre farklılık göstermektedir. Günümüzde en yaygın üretim yöntemleri Bazik Oksijen fırını (BOF) ve Elektrikli Ark Ocağı (EOA) ile üretimdir. BOF ile üretime dayalı olan entegre demir ve çelik üretimi sürecinde kullanılan hammaddeler demir cevherinden elde edilen pik demir, hurda çelik, koklaşabilir kömür ve kireç taşıdır. EOA üretiminde ise pik demir yerine, çelik hurdası elektrotlar yardımıyla ark oluşturulup hurda malzemesinin eritilmesiyle gerçekleşir. Her iki üretim çeşidinde benzer girdiler olabilmeye birlikte hammadde arzındaki ve fiyatındaki değişim üreticileri doğrudan etkileyebilmektedir. Genel olarak elektrikli ark ocakları ile üretimi sağlanan çelik üretim maliyeti katma değerinin, Entegre tesislerde üretilen çeliğe oranla az oluşu ile; ürün yelpazesindeki kısıtlı çeşitlilik ve yüksek maliyet ile karlılık oranı düşük bir üretim yöntemidir. BOF ile üretim sağlayan tesisler toplam küresel çelik üreticilerinin yaklaşık dörtte üçünü oluşturmaktadır. Türkiye'de bu oran %65,9'unu Elektrikli Ark Ocakları; %34,1'ini ise Entegre üretim oluşturmaktadır.

2000 yılından sonra dünya ekonomisindeki büyümeye ve artan talebe bağlı olarak Dünya ham çelik üretimi, hızlı bir büyüme sürecine girmiştir. 2000 yılında 847 milyon tona yaklaşan dünya ham çelik üretimi, 2009 yılında 1 milyar 236 milyon ton seviyesine ulaşmıştır. Küresel ekonomik kriz sonucu düşen talep nedeniyle, 2008 ve 2009 yıllarında azalan dünya çelik üretimi, 2010 yılında yeniden yükseliş eğilimine girmiş ve %15,7 gibi yüksek bir oranda artarak, 1 milyar 430 milyon ton seviyesine ulaşmıştır (T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı,2012:13).



Grafik 01: Worldsteel.org, Statistical yearbook 2018

Grafik 01'de de görüldüğü üzere; dünya çelik üretimine baktığımızda, 2009 finansal krizinden sonra artış sağlayarak 2017 yılı itibariyle 1.690,5 milyar ton civarında seyretmiştir. Dünya demir-çelik üretiminde ilk sırayı Çin Halk Cumhuriyeti ve onu sırasıyla Japonya ve A.B.D. takip etmektedir. Çin 807,6 Milyon ton üretim ile en çok üretimi yapan bölge konumundadır (worldsteel.org).

Worldsteel verilerine ait resim 01'de görüleceği üzere, Dünya çelik üretimi 2020 yılı tahminlerine göre 1.751,6 milyar ton olacak ve Türkiye'nin içinde bulunduğu Avrupa sıralaması %6,5 artışla 39,3 milyar ton olacaktır. Türkiye, 2017 itibariyle 37 milyar ton çelik üretimine ulaşmıştır.



Resim 01: Worldsteel.org

million tonnes

Rank	Total exports	Mt	Rank	Total imports	Mt
1	China	74.8	1	European Union (28) (1)	41.2
2	Japan	37.5	2	United States (2)	35.4
3	South Korea	31.4	3	Germany (2)	27.1
4	Russia	31.1	4	Italy (2)	20.1
5	European Union (28) (1)	31.1	5	South Korea	19.3
6	Germany (2)	26.4	6	Vietnam	16.2
7	Italy (2)	18.2	7	Turkey	15.8
8	Belgium (2)	18.1	8	France (2)	15.1
9	Turkey	16.6	9	Thailand	14.5
10	India	16.3	10	Belgium (2)	14.1
11	Brazil	15.3	11	China	13.9
12	Ukraine (2)	15.2	12	Mexico	13.5
13	France (2)	14.8	13	Indonesia	11.0
14	Taiwan, China	12.1	14	Poland (2)	10.7
15	Netherlands (2)	10.9	15	Spain (2)	9.9
16	United States	10.2	16	India	8.9
17	Spain (2)	8.9	17	Netherlands (2)	8.8
18	Austria (2)	7.9	18	Canada	8.8
19	Canada	7.8	19	United Kingdom (2)	7.8
20	Iran	7.5	20	Malaysia	7.7

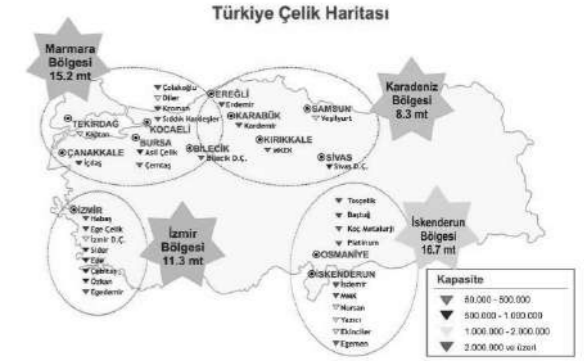
Tablo 01: Worldsteel.org, Statistical yearbook 2018

Tablo 01'den anlaşılacağı üzere, 2017 yılı verilerine göre Çin, 74.8 milyon ton ihracat ile en çok üretimi yapan ve aynı zamanda en çok ihracat yapan ülke konumundadır. Türkiye ise 16.6 milyon ton ihracat ile 9. Sırada yer almaktadır (Worldsteel, 2018)

### 1.2. Türkiye'de Demir ve Çelik Sektörü

Bugün Türkiye'de 24 elektrik ark ocaklı (EAO), 5 indüksiyon ocaklı ve 3 bazik oksijen fırınlı çelik fabrikası bulunmaktadır. Türkiye de faaliyet gösteren tüm çelik şirketleri özel sektöre ait olup; bugün çelik sektörü Türkiye ekonomisine katkı sağlayan dördüncü sektör konumuna gelmiştir (<http://www.cib.org.tr/tr/istatistikler.html>).

Detaylı gösterimi Resim 02'de olduğu üzere; 2016 yılı itibariyle Türkiye'de faaliyet gösteren 32 tesisin, 10'u Akdeniz bölgesinde, 9'u Marmara bölgesinde, 7'si Ege bölgesinde, 3'ü Karadeniz bölgesinde, 3'ü de İç Anadolu bölgesinde yerleşiktir. Söz konusu tesislerden 10 tanesinin ham çelik üretim kapasitesi 2 milyon ton ve üzerinde, 8 tanesinin kapasitesi 1 - 2 milyon ton arasında, 6 tanesinin kapasitesi 500 bin - 1 milyon ton arasında ve 8 tanesinin kapasitesi de 50 bin - 500 bin ton arasındadır (Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği, 2016).



Resim 02: Türkiye Çelik Üreticileri Derneği, Çelik Haritası

2017 yılında dünya çapında çelik üretimi %4,6 artışla 1,7 milyar tona yükselmiştir. Türkiye çelik üretimi ise 2018'de %0,6 oranında azalarak 37,3 milyon ton olarak gerçekleşmiştir (Çelik ihracatçıları birliği).

Worldsteel Association istatistiksel raporuna (2018) göre Ağustos 2018'den bu yana kur farkından etkilenen Türkiye ekonomisi; demir ve çelik sektörü taleplerinde küçülmeye sebep olmuş ve bu durumun 2019 yılı ve akabinde 2020 yılında sürmesi beklenmektedir.

## 2. Sektörel GZFT Analizi ve Sorun Odakları

### 2.1. Güçlü Yönler

- Değişim ve dönüşüm programları çerçevesinde kapasitedeki iyileştirmeler,
- Çevre bilincinin gelişmesi ve çevre koruma faaliyetlerinin artırılması,
- Yatırım ortamının iyileştirilmesine yönelik girişimlerde bulunulması,
- Ülkenin coğrafi konumunun getirdiği lojistik ve stratejik avantajlar,
- Türkiye'deki coğrafi dağılımın uygunluğu,
- Sektörün rekabet gücü yüksek ve sürdürülebilir bir yapıya sahip olması,
- Üretim ve ihracatta başarılı bir imalat sektörünün varlığı ve buna yönelik sürekli yatırım kültürü,
- Sektörün erişmiş olduğu kalite düzeyi ve buna dayalı ihracat potansiyeli ve bilgisi,
- Bilgi teknolojilerinin etkin kullanımı ve yeni teknolojilere dayalı üretim tesisleri.

### 2.3. Fırsatlar

- Sektör ürünlerine karşı yurtiçi ve yurtdışı talebin ve tüketimin güçlü olması,
- Büyüyen pazarlara coğrafi yakınlık; lojistik güç,
- Teknik bilginin ilerlemesi ve teknolojik gelişmelere olan ilginin artması,



- Altyapı ve inşaat sektörü başta olmak üzere, birçok sanayi sektöründe çelik boruların tüketilmesi,
- Coğrafi yönden, mevcut tesislerin yurt içi müşteri kitlesine yakın olması,
- Türkiye’de çelik yapıların ve mimari alüminyum kullanımının yaygınlaşacak olması,
- Türkiye’nin sanayi ürünü ihracatçısı durumuna gelmesi,
- Orta Doğu ve Yakın Doğu ülkelerinde planlanmış yatırımların olması,
- Yakın ve orta vadede Afrika, Güney Amerika ve Orta Doğu ülkelerinde beklenen talep artışı,

## 2.2. Zayıf Yönler

- Çok değişken yapıdaki hammadde fiyatları,
- AB çevre standartlarına uyum konusundaki eksikliklerin devam etmesi,
- Çevre yatırım maliyetlerinin ve çevre katkı paylarının yüksek olması,
- Sektöre yönelik hammaddelerin önemli bir kısmının ithalat yoluyla temin edilmesi,
- Kalitesiz ve ucuz ürün ithalatını engelleyici mekanizmaların yetersizliği,
- Piyasadaki üretici sayısının fazla ve kurumsallaşmada eksikliklerin olması,
- Yatırımlara AB mevzuatı dışında devlet yardımı sağlanmasının sona ermesi,
- Bazı sektörlerde Ar-Ge bilincinin yetersizliği,
- Deniz kıyısında bulunmayan tesisler için lojistik maliyetlerin yüksek oluşu,
- İşçilik maliyetlerinin rakip ülkelere kıyasla yüksek olması,
- Doğal gaz ve elektrikte, tekel konumundaki tedarikçilere bağımlılık,
- Demiryolu altyapısının yetersizliği,
- Katma değeri yüksek ürünlerin üretiminin yetersiz olması,
- Yurtdışı pazarlama, müşteri yaklaşımı ve tanıtım faaliyetlerinin yetersizliği,
- Firmalar arasında, üniversite-devlet ve sanayi üçgeninde ve uluslararası kuruluşlarla olan ticari, bilimsel ve teknolojik ilişkilerin yetersizliği,
- Yurt içi hammadde üretiminin yetersiz olması,
- Sermaye yetersizliği ve finansman maliyetlerinin yüksekliği,
- Orta ve büyük işletmelerin büyüme zorunluluğu, küçük işletmelerin kırılma yapısının olması,
- Yurt içi tesis, ekipman ve servis üretiminin yetersizliği ve yatırım mallarında dışa bağımlılık,
- Rekabetçi şartlarda yatırım ve işletme kredisinin temin zorluğu,
- Sektörde ve yurtiçi pazarda ölçek ekonomisi eksikliği ve finansal yapıdaki yetersizlikler,
- Yurtiçi ürün ve son ürün ticaretinde kayıt dışılığın yol açtığı haksız rekabet,
- Genel üretim sektörü üzerinde maliyet artışına neden olan ek vergilerin olması.

## 2.4. Tehditler

- Rakip ülkelerin üreticilerine çok yönlü devlet yardımı sağlaması,
- AB’nin 3. ülkelerle imzaladığı Serbest Ticaret Anlaşmalarının Türkiye’yi kapsamaması,
- Rusya ve Ukrayna gibi rakip ülkelere göre temel girdi ve işçilik maliyetlerinin yüksek olması,
- Bazı Orta Doğu ve Kuzey Afrika Ülkelerinde devam eden siyasi istikrarsızlıkların ihracatımızı daraltıcı etkisi,
- Kontrolsüz ithalatın giderek artması,
- Küresel metal sektöründeki konsolidasyon nedeniyle güçlü rakiplerin olması,
- Orta Doğu ve Doğu Avrupalı çelik üreticilerinin katma değeri yüksek mamul yatırımları,
- Çin, Hindistan ve Japonya gibi ülkelerin Türkiye’ye ihracatındaki hızlı artış eğilimi,
- Zaman zaman hammadde fiyatlarında rekor artışların ve fiyat belirsizliğinin yaşanması,
- Çelik ve diğer metallere ikame malzemelerdeki gelişmeler,
- Dünyada yaşanan ekonomik ve politik gelişmelerin iç ve dış piyasadaki olumsuz etkileri,
- Yurt içi pazara giriş kolaylığı, üretici sayısının fazla olması ve artma beklentisi
- Yükselen lojistik maliyetleri,
- Bazı sektörlerde yeni yatırımların düşük maliyetlerle kolaylıkla yapılabilmesi,
- Değeri hızlı değişen ve yükselen Türk Lirası,
- AB entegrasyonu ile birlikte işçilik maliyetlerinin yükselecek olması,
- Avrupa Birliği’ndeki krizin AB’ye ihracatımızı daraltıcı, bölgeden ithalatımızı artırıcı yönde sonuçlar doğurması,
- Dünyadaki tekelleşme nedeniyle sınırlı sayıda hammadde üreticisine bağımlı kalma eğiliminin olması,
- Dampingle fiyatlarla Türkiye’ye ürün ithalatının olması,
- Hammadde, yarı mamul ve mamul ürünlerde iç pazarlarını koruyan ve ihracata destek veren ülkelerin olması.

## 3. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Eylem Planına Bakış

Merkezi yönetim düzeyinde, Türkiye’nin önemli sektör konumunda olan toplam ihracatın %7.5’lik payına sahip olan çelik endüstrisi; zayıf yönleri ve tehditlerinden yola çıkılarak fırsatlarını güçlü yöne çevirebilmek ve ekonomimizi güçlendirmek gerektiği açık olarak anlaşılmaktadır.

Bu sayede eski adıyla Bilim sanayi ve teknoloji bakanlığı 2012 tarihindeki eylem planı girişimi, demir çelik sektöründe STK’lar, meslek odaları ve dernek çalışmaları

yanında duruma farkındalık kazandırmak ve devlet otoritesi desteğiyle demir ve çelik sanayisinin ayakta tutularak geliştirilmek istendiği niyetini göstermiştir. Belli başlı sorun odakları ortaya çıkarılarak, gerekli düzenlemeleri sağlayacak strateji kararları belirlenmiştir. Bunlar şu şekilde sıralanmaktadır;

### 3.1. Hukuki ve idari alandaki eksiklikler ve düzenlemeler

Maliyeti arttıran ek vergiler, enerji girdi maliyetlerinin yurtdışı rakiplere göre fazla olması, gerekli olan çevre katkı paylarının maliyeti artırıcı etkisi, sektörde hukuk alanındaki düzenlemeleri gerekli kılmıştır. Enerjinin en yoğun kullanıldığı alan olan Demir ve Çelik sektörü, girdi maliyetleri açısından, genel maliyetler içerisinde, enerji maliyetlerinin 2’nci sırada yer aldığı bilinmektedir. Yüksek elektrik enerjisi maliyetleri ve ilave fon kesintileri sektörün rekabetini olumsuz etkilediği söylenebilir. Ayrıca, serbest bölgedeki hammadde ithalatında bulunan gümrük vergisinden muaf ülkeler ile Türkiye demir ve çelik sektörü haksız rekabete girmektedir.

### 3.2. Üretim altyapısının geliştirilmesi

Hammadde tedarikinde ithalata dayalı olan ve yerli girdi kullanımının yetersiz kaldığı sektörel sorun yerli üretimi geliştirecek üretim altyapılarının güçlendirilmesini gerektirmektedir. Türkiye’nin yerli girdi kullanımındaki yetersizliği ile hammadde tedarikinde ithalata bağlı olması ve sektördeki hammadde maliyetlerinin yüksek olması rekabet üzerinde olumsuz etkiler yaratmaktadır. Dünya ticaretinde önde gelen ülkelerde de çalışmalarını devam eden 'Girdi Tedarik Politikası' oluşturulması hedeflenmiştir. Bu sebeple, Başbakanlık Genelgesi ile kurulan İhracata Dönük Üretim Stratejisi değerlendirme kurulunun sektöre dönük, girdi tedariki üzerine politika önerileri uygulama aşamasına gelinmiştir.

### 3.3. Dış ticaretteki zayıf yönlerin giderilmesi

AB ile olan bazı Serbest Ticaret Anlaşmalarının Türkiye’yi kapsamaması, kalitesiz ve ucuz ürün ithalatı ile lojistik altyapıdaki yetersizlik, dış ticarete sorun ve eksikliklere yol açmaktadır.

### 3.4. Ar-Ge kapasitesindeki yetersizlik

Ar-Ge bilincindeki yetersizlikler ve buna bağlı AB çevre standartlarına uyum konusundaki eksikliklerin devam etmesi, sektördeki bilimsel faaliyetler ile araştırma ve geliştirme faaliyetlerinin iyileştirilmesini gerekli kılmıştır.

Küresel rekabette; teknolojik ilerlemeler, ürün çeşitliliği ve imalat yöntemlerindeki gelişmeler önemli yer tutar. Bu sebeple yapılacak yeni teknolojik yatırımlar ile çevre konusundaki eksiklikler tamamlanacak ve üniversite-sanayi-devlet iş birliği güçlendirilerek, bilimsel ve teknolojik

yatırımlara destek sağlanmalıdır.

## 3.5. İnsan kaynaklarını geliştirmek

İş kanunu çerçevesinde orta kademe nitelikli eleman eksikliği ve küçük kuruluşlardaki kurumsal yapının yetersizliği insan kaynakları alanındaki eksikliği göstermektedir. Bu alanda, Meslek liseleri, Meslek yüksekokulları ve Lisans düzeyindeki mühendislik bölümlerine nitelikli ara eleman yetiştirilmesi ve eğitim ihtiyacının karşılanmasında büyük rol oynamaktadır.

## 4. Sonuç ve Değerlendirme

Merkezi yönetim nezdinde hazırlanmış; demir çelik ve demir dışı metaller sektörüne yönelik eylem planı hazırlık aşamasında; stratejik öncelikleri belirlemede sektörün güçlü zayıf yönleri ile fırsat ve tehditleri analiz edilmiştir. Sektörün rekabet gücünü arttırmak ve sürdürülebilirliğini sağlamak adına vizyon belirlenen eylem planında temel olarak mevzuata dayalı düzenlemeler, üretim altyapısındaki gelişmeler, dış ticarete sektörel düzeyde aksayan yönlerini iyileştirmek, ulusal düzeyde iyileştirme ve araştırma faaliyetlerine dayalı odak projeler ile Ar-Ge kapasitesini güçlendirmek ve nitelikli iş gücüne dayalı insan kaynakları alanında düzenli eğitim programları ile vizyon geliştirilmesi amaçlanmıştır. Belirlenen hedefler doğrultusunda Uygulama, izleme ve değerlendirme çalışmaları ile eylem planına yönelik sorumlu kuruluşlar konuyla ilgili kuruluşlar belirlenmiştir. Bu kuruluşlar arasında; Bakanlıklar, Özel ve Kamu sektöründen kurumlar ve STK’lar bulunmaktadır. Demir - Çelik ve Demir Dışı Metaller Sektörü strateji belgesi genel çerçevesi; ekonomik büyüme ve sosyal kalkınmanın istikrarlı bir yapıda sürmesi ve AB uyum sürecini tamamlamış bir Türkiye vizyonu ile hazırlanmış Dokuzuncu kalkınma planı ile ilişkilendirilmiştir. Demir-Çelik ve Demir Dışı Metaller Sektörü Strateji Belgesi görüldüğü üzere arkasında büyük bir çalışma programı, inceleme ve analiz barındırmakla beraber bir çok çalışma grubunu içermektedir.

## 6. Kaynakça

- [1] T.C. Doğu Akdeniz Kalkınma Ajansı, Demir Çelik Sektörü Raporu, 2014.
- [2] Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği, Türkiye Demir ve Demirdışı Metaller Meclisi Raporu, 2016.
- [3] Türkiye Sınai Kalkınma Bankası, Sektörel Görünüm: Demir Çelik, Mayıs 2018.
- [4] Çelik İhracatçıları Birliği, Dünya Türk Çeliği ile Şekilleniyor, 2019,
- [5] T.C. Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Türkiye Demir-Çelik ve Demir Dışı Metaller Sektörü Strateji Belgesi ve Eylem Planı, 2012-2016.
- [8] Batı Karadeniz Kalkınma Ajansı, Demir Çelik Sektörü Mevcut Durum Analizi, 2011.
- [9] Oyak Maden Metalurji Grubu, 2018 Faaliyet Raporu
- [10] Worldsteel Association, Steel Statistical Yearbook, 2018.
- [11]<[www.steel-data.com](http://www.steel-data.com)> Erişim tarihi: 27.04.2019
- [6] [www.trademap.org](http://www.trademap.org)> Erişim tarihi: 20.04.2019
- [7] [www.worldsteel.org](http://www.worldsteel.org)> Erişim tarihi: 20.04.2019

## Soğuk Haddehane Temizleme Havuzları Yağ Miktarı Tespiti "İş Güvenliği & Çevre Özelinde Test Yöntem Değişikliği"

Determination of Oil Content of Alkaline Cleaning Tanks

Özlem Men Özcam, Orhan Oruç, Onur Demirkıran

### Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları T.A.Ş. • Türkiye

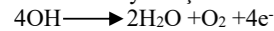
#### Özet

Soğuk Haddehane Tandem Hattında yüzeyi yağlı üretilen bobinlerin tavlama ve galvaniz hattı fırınlarında sorunsuz olarak proses edilmesi amacıyla alkali temizleme/yağ alma havuzları kullanılmaktadır. Havuzlarda bulunan alkali malzeme, yağı sac yüzeyinden almakta ve havuz içerisindeki yağ miktarı zamanla artmaktadır. Havuzların içerdiği yağ miktarı mevcut durumda laboratuvar ortamında organik çözücü yardımıyla ekstraksiyon yöntemiyle tespit edilmektedir. Bu yöntem dahilinde kullanılan tehlikeli kimyasallar ve zaman gerektiren analiz süreci alternatif bir metot arayışı ihtiyacını doğurmuştur. Bu çalışmada ekstraksiyon metoduna iş güvenliği ve çevre etki boyut anlamında alternatif bir yöntem ile ilgili yapılan çalışma anlatılmıştır. Çalışmada elde edilen veri, ekstraksiyon yöntemi ve önerilen "Nem Tayin Cihazı" kullanımı özelinde irdelenmiştir. Çalışma neticesinde metotlar arasındaki korelasyonun yaklaşık % 87 oranında olduğu görülmüştür. Elde edilen sonuç, temizleme solüsyonlarının içerdiği yağ miktarı tespitinin "Nem Tayin Cihazı" kullanılarak yapılabileceğini göstermiştir.

#### 1. Giriş

Soğuk Haddehane hatlarında bulunan temizleme üniteleri üretilen çelik sacın şerit yüzeylerindeki hadde yağının sıvı alkali solüsyon yardımıyla temizlendiği bölümdür. Çelik sac ilk olarak ön temizleme ünitesinde ön temizleme işlemine tabi tutulur. Ön temizleme işlemi çelik sacın şerit yüzeylerindeki hadde yağının sıvı alkali solüsyon yardımıyla ilk olarak temizlendiği bölümdür. Ön temizleme işleminden sonra elektrolitik temizleme ünitesinde temizleme işlemi yapılır. Elektrolitik temizleme, yüzeydeki nihai temizleme işleminin yine sıvı alkali solüsyon yardımıyla yapıldığı bölümdür. Elektrolitik temizleme ünitesinde anotlara akım verilerek, elektroliz yolu ile temizleme yapılır. Elektrolitik temizleme de metale ve diğer parametrelere göre anodik veya katodik olarak ve iki prosesi de içeren periyodik ters akım şeklinde gerçekleştirilebilir.

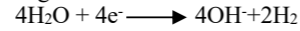
Anodik temizlemede akım uygulandığında metal yüzeyinde oksijen gazı açığa çıkmaktadır. Yukarıya doğru yükselen oksijen gazı mekanik bir fırçalama etkisiyle yüzeydeki kirliliklerin yumuşamasını sağlamaktadır.



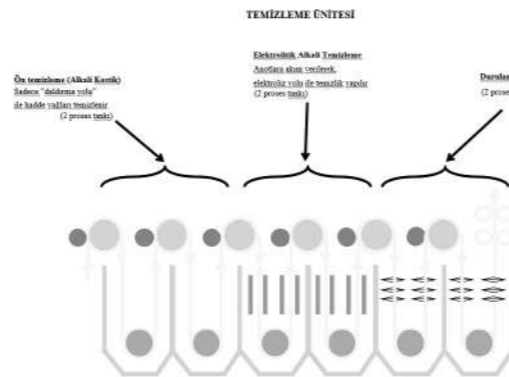
Katodik temizlemede metal redresörün negatif kutbuna bağlanır ve hidrojen açığa çıkar. Anodik reaksiyonda açığa

çıkan oksijenin iki katı hidrojen açığa çıkması nedeniyle daha fazla fırçalama işlemi gerekir. Katodik temizlemede

fazla miktarda oluşan hidrojen, hidrojen gevrekliği oluşturması nedeniyle sanayide kullanımı çok yaygın değildir.



Periyodik ters akım anodik ve katodik temizlemenin bir arada olduğu bir yöntemdir. Çoğunlukla bu yöntem demir-çelik sanayisinde kullanılmaktadır. Bu proses ile belirli periyotlarda metal dönüşümlü olarak anodik ve katodik olarak işlem görür.



Resim 1. Temizleme Ünitesi

Proses özelinde temizleme havuzlarının kalite kontrol takibi pH, iletkenlik, konsantrasyon, yağ ve demir miktarı analizleri yapılarak sağlanır. Bahsedilen analizlerden yağ miktarı tayini ekstraksiyon metodu ile yapılmaktadır. Kimyasal faz ayırma yöntemi olarak kullanılan ekstraksiyon; iki ya da daha fazla bileşenli karışımlardan bir maddeyi veya istenmeyen safsızlıkların çözücü yardımı ile ayrılması işlemidir. Ekstraksiyon işlemi yapılacak karışım sıvı bileşenlerden oluşuyorsa sıvı - sıvı ekstraksiyon; katı bir malzemeden bir madde ya da grup ayrılacaksa bu işleme katı - sıvı ekstraksiyon denir.

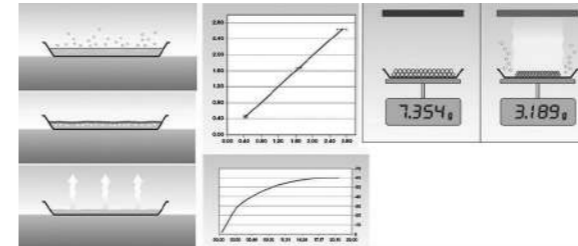
Ekstraksiyon metodunda; genel olarak tehlikeli organik kimyasallar kullanılması sonucu insan sağlığı ve çevre için risk teşkil etmesi, uzun analiz süresi ve zaman/iş gücü tasarrufunun sağlanamaması yaşanan dezavantajlı durumlardır.

Bu çalışma temel olarak; ekstraksiyon metoduna alternatif metot kullanarak ekstraksiyon metodunun doğurabileceği riskleri ortadan kaldırmayı veya en az duruma indirmeyi ve etki/şiddeti minimize etmeyi amaçlamaktadır. Bu kapsamda alkali solüsyondaki yağ miktarı tespitinin gravimetrik

yöntemle nem tayin cihazında yapılması sonrası iki metot arasındaki ilişki incelenmiştir.

Nem tayin cihazı, genellikle 'Kurutma Kaybı' (LOD) ilkesi olarak da adlandırılan termo-gravimetrik ilkesine göre çalışır. Nem tayin cihazı terazi ünitesi ve ısıtma ünitesinden oluşur. Nem miktarının ölçülmesi için numunenin başlangıç ağırlığı kaydedilir, halojen radyatörle numune ısıtılır ve kurutulur, birleşik terazi devamlı olarak numune ağırlığını kaydeder. Numune ağırlık kaybetmeyi durdurduğunda cihaz nem içeriğini hesaplar. Ağırlıktaki toplam kayıp, nem içeriğinin hesaplanmasında kullanılır.

LOD, kurutma kaybı anlamına gelir. LOD, ısıtıldıktan sonra bir numunenin ağırlık kaybının analiz edilmesiyle numunenin nem içeriğinin tayin edildiği bir metottur. Ağırlık kaybı, numunenin nem kaybı olarak yorumlanır. Nemin tamamı numuneden uzaklaştığında numunenin ağırlığı değişmeyi durdurur. Sonrasında numunenin nem içeriği ilk numune ağırlığının kurutulmuş veya son numune ağırlığı ile karşılaştırılmasıyla hesaplanır.



Resim 2. Kurutma Kaybı (LOD) İlkesi

#### 2. Deneysel Prosedür

Temizleme ünitelerinde kullanılan havuzlarda bulunan alkali solüsyon içerisinde; temizleme deterjanı, saf su ve temizlenen sacdan arta kalan kirlilik kaynakları yağ ve demir vardır. Alkali solüsyonda yağ analizinin amacı solüsyon içerisindeki yağ miktarını tespit edilerek temizleme tankının kirliliğini güncel olarak takip edilmesidir. Bu çalışmada alkali solüsyon içerisindeki yağ miktarının nem tayin cihazında bulunması hedeflenmektedir. Öncelikle alkali solüsyon içerisindeki yağ harici bileşenlerin (demir ve alkali deterjan) miktarları tespit edilmiştir. Bu bağlamda ilk olarak solüsyon içerisindeki alkali deterjan miktarı saptanmıştır.

Temizleme ünitelerinde alkali solüsyon konsantrasyonunun %2.0 - %2.5 aralığında olması istenir. Yapılan deneysel çalışmaların özeti ve seçilen bir numune üzerinden yapılan hesaplama aşağıda verilmiştir.

- Ham alkali deterjan kullanılarak %1.0'den %3.2'ye kadar 22 adet standart hazırlanmıştır.
- Her bir standart 8 gr tartılarak nem tayin cihazında analiz edilmiş ve yapısındaki deterjan miktarı tespit edilmiştir. Örnek olarak hazırlanan % 2.5'lük standart içerisinde alkali miktarı cihazda 19504 ppm olarak ölçülmüştür.
- İkinci olarak mevcut durumdaki tankların birinden alınan solüsyon içerisindeki demir miktarı ICP (Optik Emisyon Spektrometresi) cihazıyla tespit edilmiştir. Ölçüm sonrası tespit edilen Fe miktarını 100 ppm olduğu görülmüştür.

- Son olarak alkali solüsyondan 8 gr alınarak nem tayin cihazında yapılan analiz sonrası toplam katı madde miktarı tespit edilmiştir. Tespit sonrası bulunan değer 20000 ppm'dir.

Hesaplama toplam katı madde miktarından demir ve alkali deterjan miktarını çıkararak yağ miktarı tespit edilmiştir.

$$YAĞ = TKM - DM - ALK$$

- YAĞ : Alkali solüsyondaki yağ miktarı
- TKM : Toplam katı madde miktarı
- DM : Demir miktarı
- ALK : Alkali deterjan miktarı

$$YAĞ = 20,000 \text{ ppm} - 100 \text{ ppm} - 19,504 \text{ ppm}$$

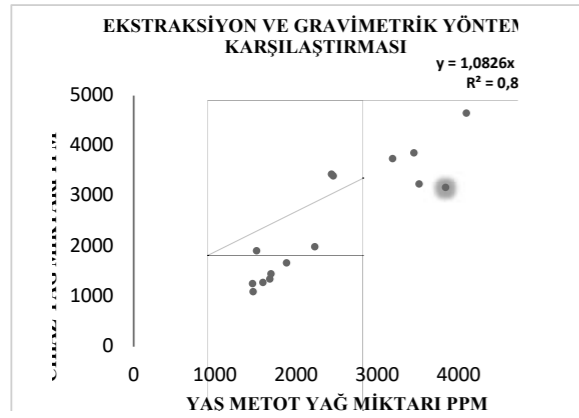
$$YAĞ = 396 \text{ ppm}$$

#### 3. Sonuçlar ve Tartışma

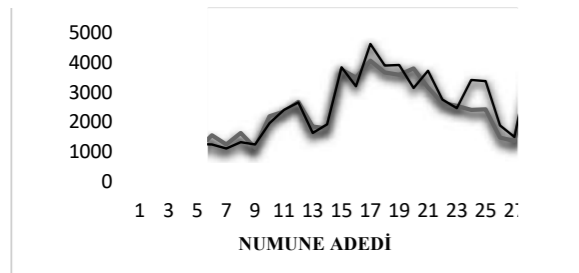
Bu çalışma kapsamında 28 adet alkali solüsyonda ekstraksiyon yöntemi ve nem tayin cihazı ile yağ miktarları tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 1. İki Yönteme Ait Analiz Sonuçları

No	Ekstraksiyon Metodu (mg/L=ppm)	Nem Tayin Cihazı (mg/L=ppm)	No	Ekstraksiyon Metodu (mg/L=ppm)	Nem Tayin Cihazı (mg/L=ppm)
1	1687	1460	15	3798	3862
2	1715	1740	16	3518	3242
3	1470	1102	17	4093	4654
4	1458	1264	18	3702	3928
5	1109	1300	19	3618	3940
6	1591	1282	20	3836	3181
7	1272	1142	21	3186	3749
8	1672	1353	22	2664	2783
9	1170	1286	23	2571	2504
10	2226	2001	24	2435	3447
11	2389	2433	25	2453	3403
12	2712	2688	26	1511	1918
13	1880	1672	27	1389	1538
14	1824	1958	28	3448	3862



Resim 3. Ekstraksiyon ve Gravimetrik Yöntem Korelasyon



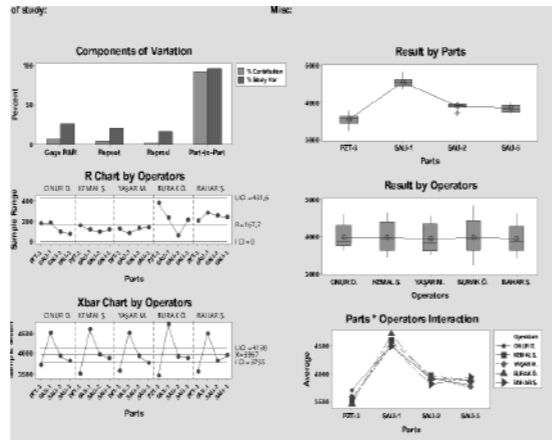
Resim 4. Ekstraksiyon ve Gravimetrik Yöntem Karşılaştırma

#### 4. Sonuç

Önerilen metot kullanılarak işletme numuneleri kullanılarak yapılan analizler sonrası elde edilen sonuçlar özelinde istatistiksel olarak değerlendirilmede ölçüm işlemi operatör ve yöntem içerdiğinden Gage R&R Crossed tekniğinin kullanılmasına karar verilmiştir. Çalışmada 5 operatöre 3 tekrarlı olarak 4 numunede ölçüm yaptırılmıştır. Ölçüm sonuçları MINITAB programı yardımıyla Gage R&R Crossed tekniği ile analiz edildiğinde;

- ❖ Varyans cinsinden toplam değişkenliğin % 7,45'i ölçüm değişkenliğinden kaynaklanmaktadır. Bu değer %9'dan küçük olduğu için  kabul edilebilir aralıktadır.
- ❖ Toplam değişkenliğin standart sapmasının % 27,29'u ölçüm hatasından kaynaklanmaktadır. Bu değer %30'dan küçük olduğu için  kabul edilebilir aralıktadır.
- ❖ Çalışma sonucu ndc değeri ise 4 olarak elde edilmiştir. Ölçüm değişkenliği ölçülen 4 numuneyi 4 grup olarak ayrıştırabilmektedir. İyi bir ölçüm sisteminde olması beklenen ndc değerinin 5 olduğu ifade edilir.
- ❖ Sonuç olarak yapılan istatistiksel analiz bağlamında ölçüm sistemi yeterli görünmektedir.

Tablo 2. Gage R&amp;R Crossed tekniğine göre sonuçlar



Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	14604	7,45
Repeatability	9461	4,83
Reproducibility	5143	2,62
Operators	0	0
Operators*Parts	5143	2,62
Part-To-Part	181475	92,55
Total Variation	196079	100

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study
Total Gage R&R	120,847	725,08	2
Repeatability	97,244	583,61	2
Reproducibility	71,714	430,29	1
Operators	0	0	0
Operators*Parts	71,714	430,29	1
Part-To-Part	425,999	2555,99	1
Total Variation	442,808	2656,85	1

Number of Distinct Categories = 4  
Gage R&R for Result

#### Referans

- [1] A. Kılıç, Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 10 (2008) 39-43.
- [3] Erdemir Bilim ve Teknoloji Serisi, Çelik Yüzeylerin Kaplanması, 2006, Zonguldak, Türkiye.
- [4] V. Berk, Yüzey İşlemler Teknolojileri, 2004, Türkiye.
- [5] D. Yaluk, Çelik Sistemlerin Yüzey Özelliklerinin Sıcak Daldırma Galvaniz Kaplamalara Etkisi, Yüksek Lisans Tez, Çukurova Üniversitesi, 2009, Adana, Türkiye.
- [6] <https://inovatifkimyadergisi.com/ayırma-prosesleri-ekstraksiyon> Tarih: 26.03.2015.

## Tavlama Fırınlarında Ön Isıtma Bölümü Gergi Değerlerinin Birim Gergi, Kalınlık, Genişlik ve Kalite Bazında Modellenmesi

Quality-Based Modeling of the Tension Values According to the Unit Tension, Thickness, Width of Strip at Preheating Sections of Continuous Annealing Lines

Ömer Faruk Sezer, Bengü Taşdelen

Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları A.Ş. • Türkiye

#### Özet

Esnek üretim, günden güne artan toplum ve insan ihtiyaçlarını giderecek şekilde çabucak adapte edilebilen üretim sistemine sahip üretim şeklidir. Aynı zamanda üretim kapasitesini arttıran ve çok çeşitte kaliteli ürün üreten bir sistemdir. Günümüzde günden güne gelişen ve esnek üretim yapabilen şirketlerin gerisinde iş yapış biçimlerinde bilgisayar kullanımının önemli olması ve bilgisayarlı iş yapış kültürünün varlığı görülmektedir. Yeni üretim sistemi kurmak isteyen kişilerin amacı insan gücünü daha hızlı, güvenilir ve verimli otomasyon sistemleri ile değiştirmek olmuştur. Çağımızda otomasyon ve bilgisayar teknoloji ürünlerinin gelişmesi, demir-çelik üretim sektörüne de yeni ufuklar açmıştır. Hammaddenin üretime verilmesinden başlamak üzere işlenip son kullanıcıya ulaştırılmasına kadar olan bütün süreçler takip edilebilir hale gelmiş ve üretim ile ilgili veriler toplanarak daha sonra istatistiksel veri analizinde kullanılması bilgisayar destekli üretim sayesinde olmuştur. 1990 yıllarında kurulan bilgisayar destekli üretim sistemlerinde genellikle tablolarla teknikleri kullanılmıştır. İş bilen uzman kişiler, bu tablolara verileri girerek üretim esnasında kullanılacak değerlerin, bu tablo verilerinden oluşturulmasını sağlamıştır. Üretim çeşitliliğinin artması ve kalitenin daha önemli hale gelmesi bu verilerin çeşitliliğinin artmasına da neden olmuş; ürün çeşitliliği arttıkça bu verilerin gözden geçirilmesi gerekliliği, deneysel yöntemlerle yeni ürünlere ait verilerin elde edilmesi ve bu verilerin üretim sırasında kullanılması için tablolara girilmesi büyük önem arz etmiştir. Uzman kişilerin varlığı ise bu işletmeler için çok önemli hale gelmiştir. Bilgisayar sistemlerinde yeni tekniklerin gelişmesi ile kendi kendine öğrenen sistemlerin öne çıkması üretimde kullanılacak verilerin matematiksel formlere dönüşmesini ve uzman kişilerin bağımlılığından kurtarılmasını sağlamıştır. Bu çalışmada tavlama hattı ön ısıtma bölümünde daha önceden kalite, birim gergi, genişlik ve kalınlık temelinde tablolar halinde saklanan ve kullanılan gergi değerlerinin, üretimden elde edilen gerçek veriler ile istatistiksel veri analizi yöntemi kullanılarak matematiksel olarak formüle edilmesine çalışılmıştır.

#### 1. Tanıtım

##### 1.1 İstatistik

İstatistik veri bilimidir. Belirsizlik altında bir konuda karar verebilmek amacıyla, ilgilenilen konuya ilişkin verilerin toplanması, düzenlenmesi, özetlenmesi, çözümlenmesi ve sonuçlarının yorumlanmasına yönelik olarak kullanılan yöntemler topluluğu olarak ifade edilebilir [1]. Amerikan İstatistik Kurumu ise "İstatistik, verilerden öğrenme, belirsizliği ölçme, kontrol etme ve iletim bilimidir." diye tanımlamıştır [2]. Matematik biliminden ayrı bir bilim dalıdır. Prof Dr. Mehmet Şahinoğlu "Mühendislik olaylara/konulara deterministik (belirleyici) bakar ama istatistik, probabilistik (olasılıklı) bakar. İkisi arasındaki fark budur." demiştir [3]. İstatistik belirsizlik üzerinde çalıştığı için birçok alanda kullanılmaktadır. İstatistik bilimi, endüstriyel üretimdeki kalite kontrol programları gibi bir işletim sistemine uygulanabilir. İstatistiksel yöntemler, bireysel ve kurumsal çabaların etkinliğini maksimuma ulaştırmada ve belirsizliği azaltarak kabul edilebilir düzeye getirmede kullanılır [4].

İstatistiğin tarihi Roma dönemine kadar uzanmasına rağmen 1834 yılında İngiltere'de istatistik ile ilgili bir derneğin kurulmasından sonra bilim dalı olarak kabul görmeye başlamıştır. Roma döneminde her 5 yılda bir yapılan sayımlar ile nüfus, mal ve arazi miktarları belirlenebilmekteydi. Bilim olarak kabul gördükten sonra veri anlamında kullanılan istatistik sözcüğü, veriyi toplama, yorumlama ve veriyi analiz ederek sonuç çıkarma yeteneklerini kazanmaya başlamıştır. İstatistiğin gelişimi, bir dilin gelişimine benzemektedir. Dil gibi, istatistikte gerekli görüldükçe zamanla geliştirilmiştir. [4].

19. yüzyılın sonlarına doğru birden fazla değişken ölçüldüğünde regresyon ve korelasyon kavramı ortaya konulmuştur. Bu kavramlar Francis Galton tarafından geliştirilmiştir. Karl Pearson ve C. Sperman tarafından psikoloji ve sosyal bilimlere uygulanmıştır [5]. Daha sonraları ünlü matematikçilerden Pascal, Fermat, James ve Daniel Bernoulli, de Moivre, Laplace, Gauss, Simpson,

Lagrange, Hermite ve Legendre birçok önemli olasılık kurallarını ve teoremlerini geliştirerek istatistiğin gelişmesine önemli katkılarda bulunmuşlardır [5].

Günümüzde de İstatistik alanında pek çok çalışma yapılmıştır ve bu çalışmalar bundan sonra da devam edecektir. S. Tak ve J. C. Ye tıp alanında yaptıkları çalışma ile fNIRS (Fonksiyonel yakın kızılötesi spektroskopisi) sinyalinin istatistiksel analizinin tarihsel gelişmelerine dair kapsamlı bir derleme sunmuşlardır [6]. Santis ve arkadaşları, yaptıkları istatistiksel çalışma ile deniz manyetik anomalisi verilerinin Laplace istatistiksel dağılımını takip ettiğini göstermekte olduğunu tespit etmişlerdir [7]. N. Foti ve E.B. Fox, nörogörüntüleme verilerinden yararlanarak fonksiyonel bağlantıyı tahmin etmede model tabanlı yaklaşımlar üzerine istatistiksel yöntem geliştirmişlerdir [8]. Silva ve arkadaşları kimyasal alanda yaptıkları çalışma ile ConsiGmaTM-25 sürekli tablet üretim hattının izlenmesi için çok değişkenli bir istatistiksel süreç kontrol (MSPC) stratejisi geliştirmişlerdir [9]. Cassino ve arkadaşları beyaz şaraplar, şişeleme işleminden 3 ay sonra ve aynı iklim kontrollü şarap mahzeninde 24 aydan fazla şişe yaşlanmasından sonra analiz ederek bu süre zarfında metabolit değişiklikleri, istatistiksel analiz ile birleştirilmiş 1H NMR spektroskopisi kullanılarak değerlendirmişlerdir [10]. Liao ve arkadaşları ise sürdürülebilir enerji üzerinde yoğunlaşmışlardır. Makina parametrelerinin hem enerji tüketimi hem de ürün kalitesi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu bulmuşlardır. Enerji tüketimini optimize etmenin bir yolu olarak enerji makine parametreleri arasındaki ilişkiyi kurmak olduğunu düşünmüşler, belirsizlikleri tasarlanmış bir deney seti geliştirmişler ve bu seti kullanarak istatistiksel model geliştirmişlerdir [11]. H. Okuyama ve arkadaşları, negatif olmayan en küçük kareler yöntemine ve güvenilirlik değerlendirme yöntemine dayanan çok bölgeli binalar için istatistiksel hava akış kestirimi yöntemleri geliştirdi ve geleneksel deterministik yöntemlerle karşılaştırdılar [12]. Nayak ve arkadaşları ise değişik bir konuda çalışma yapmışlardır. Pirinç bitki patolojisinde veri analizi ve yorumlama için istatistiksel araçların uygulanması konusunda çalışma yapmışlardır [13]. Luaidi ve Fasano yaptıkları çalışma ile proteomik veri analizi için mevcut yöntemlere, biyomedikal uygulama araştırmalarına, odaklanan genel bir bakış sunmak istemişlerdir [14]. İstatistiksel veri analizi yazılım dünyasında da yerini bulmuş ve Kachiashvili ve Melikdzhanian çevresel modelleme ve istatistiksel veri analizi için modern bir yazılım yapmışlardır [15]. 3 adet yazılımın birincisi, deneysel bilgilerin istatistiksel işlemesi içindir; ikincisi nehirlerde taşınan kirletici öğelerin matematiksel modellerinin gerçekleştirilmesine yönelik bir yazılım paketidir ve üçüncüsü nehrin kontrollü iki kesiti arasında yer alan nehir suyunun aşırı kirlilik kaynaklarını tanımlamak içindir. Oguntunde ve arkadaşları Nijerya'da yaptıkları çalışma ile Nijerya'da önde gelen bir bankanın hesap türlerinin her

birinde mevduat faaliyetlerinin istatistiksel analizini sunmuşlardır [16].

Görüldüğü üzere istatistiksel veri analizi üzerinde birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaların tek bir alanda olmadığı bankacılık, sağlık ve endüstri dâhil olmak üzere birçok alanda çalışma yapıldığı anlaşılmıştır.

İstatistik günlük hayatımızda; biyoloji, demografi, ekonomi, sosyal ve doğal bilimlerde, işletmecilikte, kalite kontrol, mühendislikte, sağlıkta, pazarlama ve tüketim araştırmalarında psikoloji, sigortacılık, tarım, balıkçılık gibi alanlarda kullanılmaktadır.

## 1.2 İstatistiksel Veri Analizi (Regresyon)

Regresyon, bir ölçüt değişkeni ile bir veya daha fazla sayıda tahmin değişkenleri arasındaki bağlantıyı sayısal hale dönüştürmede kullanılan istatistiksel analizdir. Bu bağlantı iki değişkenli yapıda olabileceği gibi ikiden fazla değişkenli yapıda da olabilir. Doğrusal bir ilişki veya eğrisel bir ilişki de olabilir [18]. Regresyon analizinde çoğunlukla temel amaç, ele alınan değişkenlerle matematiksel model oluşturmak ve bağımlı değişkende meydana gelen değişimin ne kadarının bağımsız değişkenler tarafından oluşturulduğunun belirlenmesidir [17].

Tablo.1 Regresyon İlişki Tablosu [18]

Basit doğrusal İlişki	$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + \dots + \varepsilon_i$
Eğrisel İlişki	$Y = a_0 + a_1X^2 + \varepsilon_i$ $Y = a_0 + a_1X + a_2X^2 + a_3X^3 + \varepsilon_i$
Logaritmik İlişki	$Y = \log(X) + \varepsilon_i$
Katlı ortak doğrusal İlişki	$Y = a_0 + a_1X + a_2Z + \varepsilon_i$
Gecikmiş İlişki	$Y = a_0 + a_1X_{t-1} + \varepsilon_i$

$$Y = a_0 + a_1X + \varepsilon_i \text{ (Basit Regresyon model)}$$

$Y \rightarrow$  Bağımlı değişken. Sonucu  $X$ 'e göre değişir.

$X \rightarrow$  Bağımsız değişken.

$\varepsilon_i \rightarrow$  Formülde değişkenleri yerine koyduğumuzda gerçek bağımlı değişken ile hesaplanan arasındaki hata payıdır. Artık değer de denir.

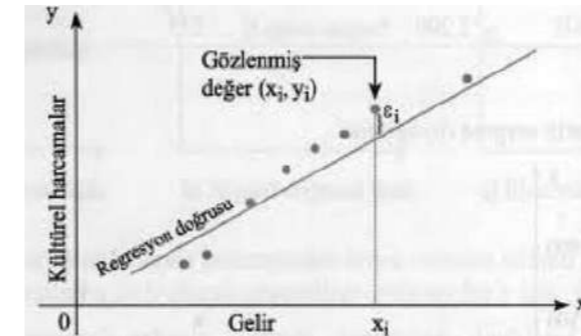
$a_i \rightarrow$  Regresyon katsayısı

Çalışmada Minitab uygulaması kullanılmış olup regresyon uygulama içinde "Fit Regression Model" seçilmiştir. Bu model, sıradan en küçük kareler yöntemini kullanarak bir dizi belirleyici (bağımsız değişken) ile sürekli bir yanıt (bağımsız değişken) arasındaki ilişkiyi açıklamak için kullanılır.

Alman matematikçi Carl Friedrich Gauss'a ait olan **en küçük kareler yöntemi** (EKK) (Ordinary Least Squares(OLS)) cazip istatistiksel özelliklerinden dolayı regresyon analizi için kullanılan en popüler yöntemlerden biridir [19].

Tahmin edilen katsayıların ve değişkenlerin hesaplanması için geliştirilen ve gerçek katsayılarla en yakın sonuçları elde edebilmek için sıradan en küçük kareler yöntemiyle gerçek  $Y$  değerleri ile tahmin edilen  $Y$  değerleri arasındaki farkın kareleri toplamını minimum yapılır. Yukarıdaki formüle göre söylemek gerekirse  $\varepsilon_i$  değeri 0'a yaklaştırılmaya çalışılmaktadır.

En küçük kareler yöntemi, birbirine bağlı olarak değişen iki fiziksel büyüklük arasındaki ilişkiyi mümkün olduğunca gerçeğe uygun bir denklem olarak yazmak için kullanılan, standart bir regresyon yöntemidir [20]. Bu yöntem kullanılarak ölçüm veya deney sonucu elde edilmiş veri noktalarına "mümkün olduğu kadar yakın" geçecek bir fonksiyon eğrisi bulmaya çalışılır. Bu regresyon yöntemi için en çok Gauss-Markov Teoremi kullanılır.



Şekil 1: EKK yöntemine örnek bir uygulama

Veri kümesindeki her veri noktası ile gerçek veri noktası arasındaki kare dikey mesafelerin (Şekil-1) karelerinin toplamı olarak hesaplanır. Aralarındaki fark ne kadar küçükse, modelin iyi olduğu söylenebilir.

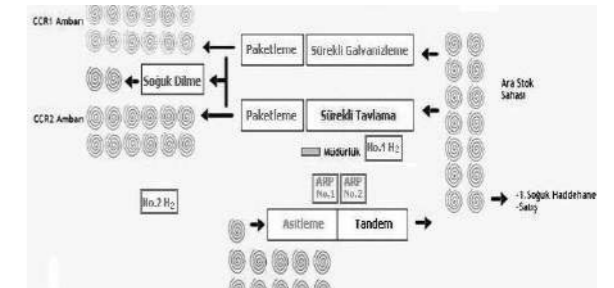
Regresyon çalışması birçok sektörde yapılmaktadır. Bianco ve arkadaşları yaptığı çalışmada tarihsel elektrik tüketimi, Gayri Safi Yurtiçi Hâsıla (GSYİH), kişi başlı GSYİH ve nüfus kullanılarak farklı regresyon modelleri geliştirilmiştir [21]. Adamu ve arkadaşları, Nijerya'da kanser üzerine çalışmışlar. Hasta veri setleri oluşturmuşlar ve aralarındaki ilişkiyi göstermek için veri setine doğrusal, logaritmik, ters, ikinci dereceden, kübik, güç, büyüme, üstel ve lojistik regresyon modelleri yerleştirilmişlerdir [22]. Vincent ve arkadaşları ise endüstriyel süreç optimizasyon üzerinde çalışmışlardır. Çeşitli üretim parametrelerinin ürün kalitesi üzerindeki etkisini araştırmak üzere "Support Vector Machines Regression" metodu geliştirmişlerdir [23]. Orman ve Gürcan doğrusal olmayan regresyon analizinin biyoistatistikte kullanılması üzerinde çalışma yapmışlardır

[17]. Bianco ve arkadaşları İtalya'da doğrusal regresyon modeli ile elektrik tüketiminin tahmini üzerinde çalışma yapmışlardır [21]. Deflasyonun etkileri ve İran'da bir Ağaç ve Kâğıt Şirketi'nin farklı üretim hatlarındaki net gelirler ve toplam maliyetler üzerindeki etkileri incelenmiştir. Maliyetlerin ve net gelir modellerinin tahmininde regresyon analizi kullanılmıştır [24]. Kayacan ve arkadaşları Türkiye'deki endüstriyel tomruk talebindeki değişiklikleri açıklayan faktörleri araştırmak için temel bir ekonometri analizleri için regresyon kullanmışlardır [25]. Weng ve arkadaşları ise Çin'deki 2010 yılı çelik talebinin tahmin değeri ile mevcut değeri arasındaki tahmin yöntemlerinin analizine çalışmışlardır. Analizlerde kullandıkları yöntemlerdeki hataların analizini yapmışlardır. Bu çalışmada tahmin analizinde kullandıkları metodlardan ikisi "Tek faktörlü Regresyon Analiz Metodu" ve "Çok faktörlü Regresyon Analiz Metodu" dur. Tahmin doğruluğunda Regresyon metodu ilk 3 sırayı almıştır [26].

Çok geniş yelpazede regresyon analizinin kullanıldığı literatürde görülmüştür.

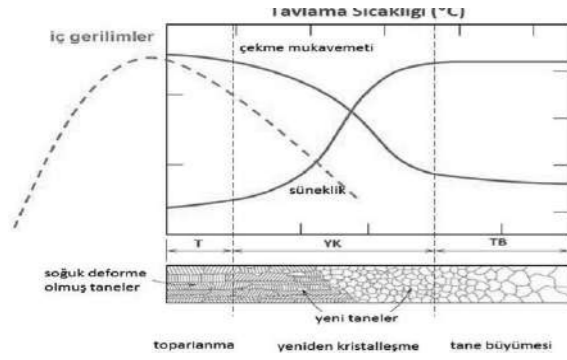
## 2. Hat Tanıtımı

Tavlama süreci, demir-çelik üretiminin en son sürecidir. Tavlama süreci soğuk haddelenmiş ürünlerin bozulan malzeme iç yapısını düzelterek kalitesini arttırmak için kullanılır. Sürekli tavlama hatları, yüksek üretim kapasitesi, düşük maliyet, yüksek kalite ve çeşitlilik avantajları nedeniyle geleneksel yığın tavlama hatlarına göre dünyada kullanımı yaygınlaşmıştır [27]. Soğuk haddeleme süreç akışı Şekil-2'de gösterilmiştir.



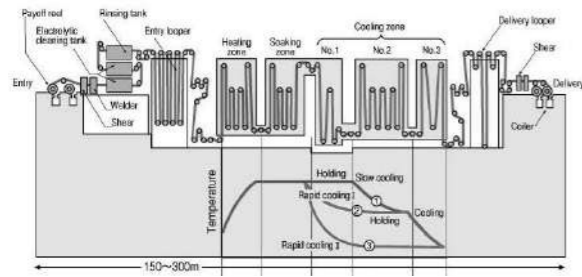
Şekil 2. Soğuk Haddeleme Süreci

Süreli Tavlama Hattı Fırın bölümünde; şerit bünyesinde soğuk haddeleme sırasında oluşan iç yapı bozukluğu ve iç gerilme birikiminin yeniden kristalleşme sıcaklığına kadar tavlama giderilmesi amaçlanmaktadır [27]. Tavlama fırınlarında yassı çelik ürüne (şerit) istenilen fiziksel özellikleri kazandırmak için çeşitli soğutma ve ısıtma işlemleri uygulanır. Tavlama süreci sırasında malzeme iç yapısının ısıya bağlı değişimi Şekil-3'de gösterilmiştir.



Şekil 3. Malzeme İç Yapısının Isıya Bağlı Değişimi

Şerit, tavlama hattı içinde yaklaşık olarak 330 metre yol alır. Maksimum 320 metre/dakika hızla hattın geçebilir. Bu hız çeliğin tavlama özelliklerine ve boyutlarına göre değişmektedir. Hattın özellikleri, sıcaklık sınır aralıkları ve maksimum hız sınırlamaları belirlenmiştir. Fırın ısıtma kapasitesi kuruluş esnasında belli olduğundan dolayı kalın ve geniş malzemelerin maksimum hızda çekilmesi mümkün olamamaktadır. Geleneksel sürekli tavlama hattı süreç Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 4. Sürekli Tavlama Hattı Prosesi

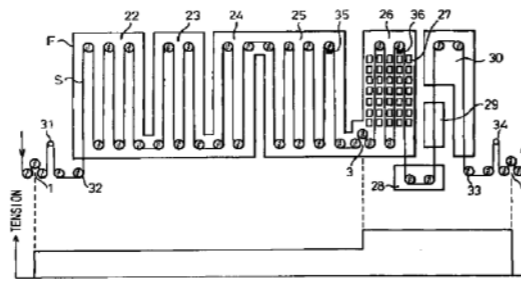
Tavlama fırınlarında ısıtma ve soğutma işlemlerinde kullanılan dinamik şerit sıcaklığı kontrol modelinin ana amacı en yüksek hat hızında çalışmayı sağlamak ve şerit sıcaklığını kalitesine uygun sıcaklık değerlerinde tutmaktır.

Tablo 2. Kaliteye göre şerit tavlama sıcaklıkları [27]

Ürün Kalitesi	Şerit Sıcaklıkları[°C]	Zaman[saniye]
CQ	720 ± 30	≥ 40
DQ-1	770 ± 30	≥ 40
DQ-2	780 ± 30	≥ 40
DDQ	800 ± 30	≥ 40
EDDQ	850 ± 30	≥ 40

Bunu yaparken fırın sıcaklığı ve hat hızı gibi parametreleri kullanır. Şerit sıcaklığını istenilen değerlere getirmek amacıyla termodinamik ısı denkleminde göre fırın ısıtma kapasitesine ve hat hızına göre fırın sıcaklık değerleri hesaplar. Dinamik şerit sıcaklık kontrol sistemi set noktası değerlerinin hesaplanması veya çıkış şerit sıcaklık tahmini için ısı transferi teorisine dayanan matematiksel modeller kullanır. Tavlama işlemi kontrolü zor ve karmaşık bir endüstriyel işlem olup, çok iyi bir performans ile iyi bir ısı kontrol yöntemi büyük önem taşımaktadır [28].

Tavlama hatlarında bir önemli kısım ise şerit üzerindeki bükümleri, çizilmeleri ve şerit kaymasını önleyecek olan Gergi (Tension) kontrol sistemidir. Sürekli tavlama hatlarında yumuşak çeliğin hatta hareketini sağlamak açısından çok önemlidir. Şekil.5'te gergi kontrollerinin bulunduğu kısımlar gösterilmiştir.



Şekil 5. Fırın Bölgesinde Gergi Kontrollerinin Bulunduğu Yerler

Çelik şeridin işlem hatlarında, genel olarak, çelik şeride uygun gerginlik sağlamak ve şeridin dengeli bir geçişine izin vermek için hattın giriş ve çıkış taraflarına gergi merdaneleri (bridle rolls) yerleştirilir. Bu durumda gerilme yetersiz olduğunda, şerit kıvrımlı şekilde ilerler ve fırın duvarı gibi bir düzeneğe temas eder, böylece çizilme çelik şeritte gerçekleşir. Gerilim aşırı olduğunda, çelik şeridin boyuna yönünde "ısı bükülme" olarak adlandırılan çizim kırışıklıkları meydana gelir.

Şerit sürekli tavlama fırını boyunca uzandığı için, fırının tüm uzunluğu boyunca çelik firma sadece fırının yukarı ve aşağı taraflarına yerleştirilmiş gergi merdanesini ile uygun bir gerilim vermek zordur. Bu nedenle, Japon Kontrol Edilmemiş Faydalı Model Yayını (Kokai), fırının içinde bulunan gergi merdanesi yerine bir gerilim kontrol yöntemi önermektedir.

Çelik şeridin gerginliğini düzenleyecek şekilde, Şekil 5'te de gösterildiği gibi,

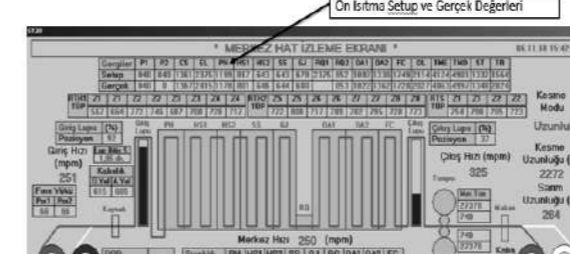
- 3 numaralı gergi merdaneleri, ısıtma bölgesi (4) ile bir ısı yedirme bölgesi (5) arasına ve ısı yedirme bölgesi (5) ile bir soğutma bölgesi (6) arasına,
- 1 numaralı gergi merdanesi giriş tarafına

- 2 numaralı gergi merdanesi ise çıkış tarafına yerleştirilmiştir.

Bu çalışma bir numaralı bölgeye konulan gergi merdanesi için yapılmıştır.

### 3. Uygulama

Bu bölümde Ereğli Demir Çelik Fabrikasına ait sürekli tavlama hattına ait veriler kullanılarak ön ısıtma bölgesinde bulunan ve tablolar vasıtasıyla hesaplanan gergi değerlerinin regresyon analizi ile modellenmesine çalışılmıştır. Bu konudaki amacımız tabloların güncellenmesi gerekliliğini gidermek ve insan faktörlerine bağlı hesaplama yöntemleri yerine kurulacak bir sistem ile bu işlemi bilgisayarlara yaptırmaktır (Şekil 6).

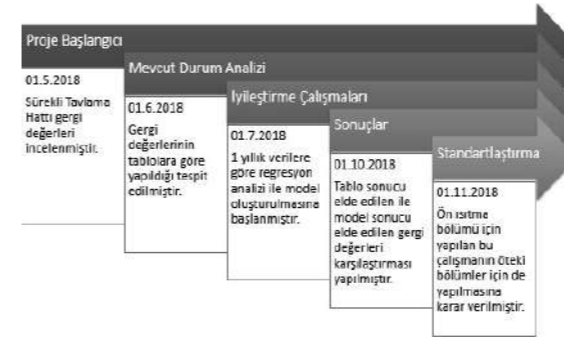


Şekil 6. Sürekli Tavlama Hattı Seviye-2 Ekranı

#### 3.1 Sistem alt yapısının kurulması

Kalite ve boyut geçiş miktarının fazla olması sebebiyle çok fazla gergi değişikliği gerektirmesi, bu değerlerin tablolardan okunarak hesaplanması ve hesap katsayılarının güncellenme gerekliliği gibi sebeplerden dolayı tablolardan okumak yerine regresyon analizi için veri toplamaya başlanmıştır. Daha sonra en az altı ayda bir toplanan yeni veriler ile tekrar analiz yapılarak yeniden oluşturulmuş regresyon katsayılarının sisteme girilmesi hedeflenmiştir.

Şekil 7'deki faaliyet planı tüm proje boyunca uygulanmıştır.



Şekil 7. Proje Çalışma Planı

Gergi değerlerini hesaplayan üzerinde çalıştığımız bilgisayar sonucu donanımı Alpha 1000 Hewlett Packard sonucu bilgisayardır. Fakat bu sistem PC üzerinde emülasyon programı ile çalışmaktadır. 1995 yılında

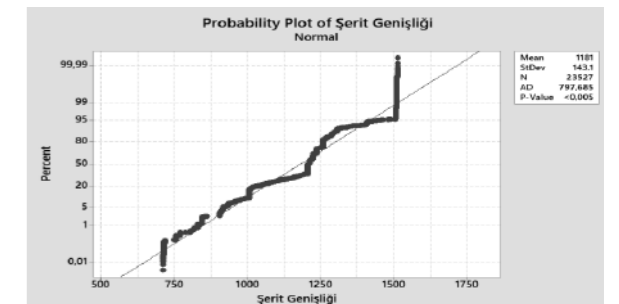
kurulmuş dönemin işletim sistemi (OPENVMS) ve yazılımına (FORTRAN) sahip sunucudan verilerin alınması ve yazılım yapılacak PC'ye gönderilmesi sağlanmıştır. Yapılan çalışmalar sırasıyla şöyledir.

- Sunucu tarafından gönderilen üretim mesajların alınması için Windows tabanlı program yazılmış,
- MYSQL veri tabanı ve veri tabanında üretim verileri ve tavlama kalitesi bazında birim gergi değerlerinin saklanması için tablo oluşturulmuş,
- Sunucudan alınan mesajların işlenerek veri tabanında saklanması sağlanmış,
- Alınan verilerden bazıları (Gerçek Ön Isıtma gergi, kalınlık, genişlik, birim gergi, tavlama sınıfı) MS Excel ortamına aktarılmıştır. Bu MS Excel dosyasında saklanan veriler daha sonra MINITAB uygulama programında kullanılacaktır.

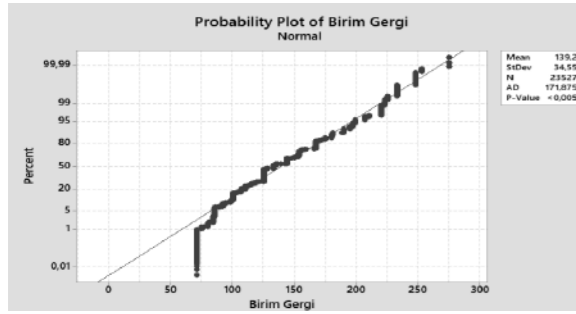
MINITAB uygulamasında değerlerin normal dağılımları araştırılmıştır.  $H_0$  Hipotezi olarak verinin normal dağılım gösterdiği,  $H_1$  alternatif hipotez olarak verinin normal dağılım göstermediği kabul edilmiştir.  $\alpha$  derecesi olarak 0.05 değeri kabul edilmiştir. Eğer p-value değeri  $\alpha$  değerinden yüksek ise  $H_0$  hipotezini  $\alpha$  değerinden az ise alternatif  $H_1$  hipotezi seçmemiz gerekmektedir [34]. Elde edilen sonuçlar Şekil 8, Şekil 9, Şekil 10 ve Şekil 11'de gösterilmiştir. Bütün veri setlerinin normal dağılım göstermediği tespit edilmiştir.



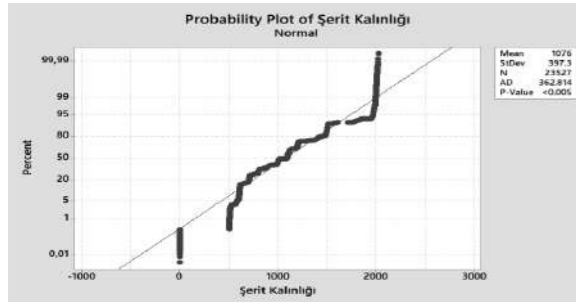
Şekil 8. Minitab Normalizasyon Test Sonucu (Gergi Ortalama Değeri)



Şekil 9. Minitab Normalizasyon Test Sonucu (Genişlik Gerçek Değeri)



Şekil 10. Minitab Normalizasyon Test Sonucu (Birim Gergi Değeri)



Şekil 11. Minitab Normalizasyon Test Sonucu (Kalınlık Gerçek Değeri)

Normalizasyon testlerinden sonra veriler arasındaki ilişkiyi ölçmek amacıyla korelasyon analizi yapılmıştır. Korelasyon, iki sayısal değişken arasındaki bağımlılık ilişkisini ifade eden istatistiksel bir terimdir [Tablo 3]. Pearson Korelasyon Katsayısı ( $r$ ); 2 sayısal değişken arasındaki doğrusal ilişkinin yönünü ve şiddetini gösterir. Korelasyon katsayısı;

$-1 \leq r \leq +1$  arasında değerler alır.

Tablo 3. Korelasyon Katsayısı Değerlendirme	
$0,8 \leq r_{x,y} \leq 1$	ise güçlü pozitif ilişki
$-1 \leq r_{x,y} \leq -0,8$	ise güçlü negatif ilişki
$-0,2 \leq r_{x,y} \leq 0,2$	ise ilişki yok
$-0,8 \leq r_{x,y} \leq -0,2$	ise orta güçte negatif ilişki
$0,2 \leq r_{x,y} \leq 0,8$	ise orta güçte pozitif ilişki

Korelasyon katsayısı negatif ise iki değişken arasında ters ilişki vardır, yani "değişkenlerden biri artarken diğeri azalmaktadır" denir. Korelasyon katsayısı pozitif ise "değişkenlerden biri artarken diğeri de artmaktadır" yorumu yapılır [29].

Korelasyon testleri için;

- Verilerin normal dağılıma sahip olması durumunda Pearson korelasyon katsayısı tercih edilir.

- Verilerin normal dağılmadığı durumda ise Spearman Rank korelasyon katsayısı tercih edilir.
- Bir korelasyon katsayısının yorumlanabilmesi için p değerinin 0.05 den daha küçük olması gerekir.

Spearman Rho: Şerit Kalınlığı; Şerit Genişliği; Birim Gergi

Correlations		
	Şerit Kalınlığı	Şerit Genişliği
Şerit Genişliği	0,109	0,000
Birim Gergi	-0,919	-0,405
	0,000	0,000

Cell Contents  
Spearman rho  
P-Value

Şekil 12. Minitab Spearman Rho Korelasyon Test Sonucu

Yapılan korelasyon testleri sonucunda;

- Birim gergi değeri ile şerit genişliği değeri arasında orta güçte negatif ilişki,
- Birim gergi değeri ile şerit kalınlığı değeri arasında güçlü negatif ilişki,
- Şerit kalınlığı değeri ile şerit genişliği değeri arasında ilişki olmadığı tespit edilmiştir.

Sonuçlar Şekil 12.'de verilmiştir.

$H_0$  hipotezi olarak korelasyonun istatistiksel olarak önemli olduğu,  $H_1$  alternatif hipotez olarak korelasyonun istatistiksel olarak önemli olmadığı kabul edilmiştir.  $\alpha$  derecesi olarak 0.05 değeri kabul edilmiştir. Eğer p-value değeri  $\alpha$  değerinden küçük ise  $H_0$  hipotezini,  $\alpha$  değerinden büyük ise alternatif  $H_1$  hipotezi seçmemiz gerekmektedir [35].

Analiz sonucunun gerçeğe yakın çıkması ve modeli açıklayacak en iyi sonucu bulmak için hangi girdileri kullanacağımızı belirlemek gerekir. Bu nedenle de Minitab'ın "Best Subsets Regression" analizi yapılmıştır.

1. Aşamada bütün aday değişkenlerin kombinasyonlarından oluşan regresyon modelleri tanımlanır. Çıkan sonuçlar Şekil 13'de verilmiştir. 7 varyasyon belirlenmiştir.

Vars	R-Sq	R-Sq (adj)	R-Sq (pred)	Mallows Cp	S
1	67,5	67,5	67,5	2362,5	175,10
1	63,5	63,5	63,5	5534,4	185,52
2	70,2	70,2	70,2	260,7	167,84
2	70,0	70,0	69,9	430,2	168,44
3	70,5	70,5	70,5	4,0	166,93

Şekil 13. Minitab Best Subset Test Sonucu

İkinci aşamada ilk aşamada belirlenen olası modellerden en iyi  $R^2(adj)$ ' değerine sahip model seçilir.

Şekil 13'deki her satır, olası regresyon modellerinden biri hakkındaki bilgileri gösterir. "Vars" etiketli ilk sütun bize modelde kaç tane tahmin edicinin olduğunu gösterir. Aşağı doğru etiketlenen "x" etiketli son dört sütun bize hangi tahmin edicilerin modelde olduğunu söyler. Sütunda "x" varsa, o tahmin edici modeldedir. Aksi takdirde, modele dahi edilmeyecek anlamına gelmektedir.

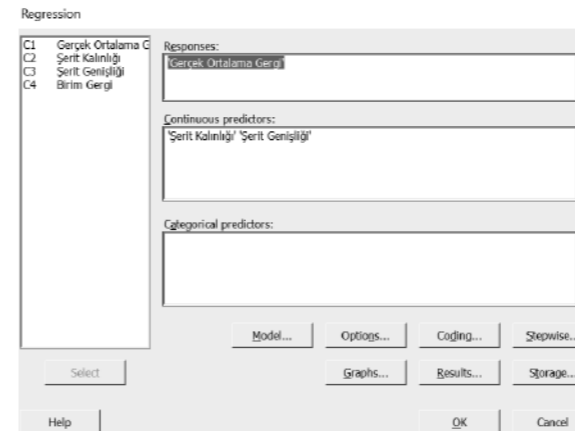
R-sq, R-sq (adj), R-sq (pred), Mallows Cp ve S olarak adlandırılan diğer beş sütun, hangi modellerin "en iyi" olduğuna karar vermede kullandığımız ölçütlere aittir.

Yapılan çalışmalarda  $R^2(adj)$ ' değerinin en iyi sonucu verdiği tespit edilmiştir [30]. Bu nedenle 3 değişkenli olan değer 70,5 vermiştir. Aynı zamanda en düşük Ortalama Kare Hata (MSE-Mean Squared Error) değerine (166,93) sahiptir. Korelasyon analizi ve "Best Subsets Regression" analizi sonuçları beraber değerlendirilmiştir. Birim gergi değeri ile hem kalınlık hem de genişlik değerlerinin güçlü ilişki içinde olmasından dolayı birim gerginin regresyon analizine katılmamasına karar verilmiştir.

Bu çalışmada çoklu doğrusal regresyon modeli kullanılmıştır.

$$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + a_4X_4 + \epsilon_i$$

Regresyon analizi içinde Minitab'ın "Fitted Regression Model" analiz fonksiyonu kullanılmıştır. Opsiyon Şekil 14'de gösterilmiştir.



Şekil 14. Minitab "Fitted Regression Model" Ekran

Burada tavlama sınıfları kategori belirleyici olarak kullanılmıştır. Veri setleri alt kalite gruplarına ayrılarak ayrı ayrı regresyon analizi yapılmıştır.

Fonksiyonu çalıştırdığımızda ise Şekil 15, Şekil 16, Şekil 17, Şekil 18, Şekil 19 gösterilen sonuçlar elde edilmiştir.  $\alpha$  risk seviyesi bu çalışma için 0,05 (yüzde 5) olarak alınmıştır.

CQ Kalite Regresyon Analizi

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	2	770351974	385175987	23522,80	0,000
Şerit Kalınlığı	1	632958470	632958470	38654,94	0,000
Şerit Genişliği	1	18523407	18523407	1131,23	0,000
Error	14814	242573046	16375		
Lack-of-Fit	3674	177460481	48302	8,26	0,000
Pure Error	11140	65112565	5845		
Total	14816	1012925020			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
127,963	76,05%	76,05%	76,04%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	714,11	9,40	75,98	0,000	
Şerit Kalınlığı	0,57325	0,00292	196,61	0,000	1,08
Şerit Genişliği	0,27197	0,00609	33,63	0,000	1,08

Regression Equation

Gerçek Ortalama Gergi = 714,11 + 0,57325 Şerit Kalınlığı + 0,27197 Şerit Genişliği

Şekil 15. Minitab "Fitted Regression Model" CQ Analiz Sonucu

$R^2(adj)$ ' değeri CQ Analizi için %76,05 olarak bulunmuştur. Buradan da anlaşılmaktadır ki model çıktındaki değişkenliğin %76,05'ini açıklayabilmektedir.

DDQ Kalite Regresyon Analizi

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	2	21118875	10559438	282,52	0,000
Şerit Kalınlığı	1	18446483	18446483	493,54	0,000
Şerit Genişliği	1	79980	79980	2,14	0,144
Error	326	12184598	37376		
Lack-of-Fit	221	11575949	52380	9,04	0,000
Pure Error	105	608649	5797		
Total	328	33303473			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
193,329	63,41%	63,19%	62,70%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	1038,3	81,2	12,79	0,000	
Şerit Kalınlığı	0,5641	0,0254	22,22	0,000	1,21
Şerit Genişliği	-0,1140	0,0779	-1,46	0,144	1,21

Regression Equation

Gerçek Ortalama Gergi = 1038,3 + 0,5641 Şerit Kalınlığı - 0,1140 Şerit Genişliği

Şekil 16. Minitab "Fitted Regression Model" DDQ Analiz Sonucu

$R^2(adj)$ ' değeri DDQ Analizi için %63,19 olarak bulunmuştur. Buradan da anlaşılmaktadır ki model çıktındaki değişkenliğin %63,19'unu açıklayabilmektedir.



## DQ1 Kalite Regresyon Analizi

## Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	2	342201108	171100554	13868,22	0,000
Şerit Kalınlığı	1	296777876	296777876	24054,75	0,000
Şerit Genişliği	1	153276	153276	12,42	0,000
Error	4344	53594540	12338		
Lack-of-Fit	1193	45355073	38018	14,54	0,000
Pure Error	3151	8239467	2615		
Total	4346	395795648			

## Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
111,075	86,46%	86,45%	86,43%

## Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	832,6	22,8	36,57	0,000	
Şerit Kalınlığı	0,65682	0,00423	155,10	0,000	1,17
Şerit Genişliği	0,0627	0,0178	3,52	0,000	1,17

## Regression Equation

$$\text{Gerçek Ortalama Gergi} = 832,6 + 0,65682 \text{ Şerit Kalınlığı} + 0,0627 \text{ Şerit Genişliği}$$

## Şekil 17. Minitab "Fitted Regression Model" DQ1 Analiz Sonucu

$R^2(adj)$ ' değeri DQ1 Analizi için %86,45 olarak bulunmuştur. Buradan da anlaşılmaktadır ki model çıktındaki değişkenliğin %86,45'inin açıklayabilmektedir.

## DQ2 Kalite Regresyon Analizi

## Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	2	155615615	77807807	3747,16	0,000
Şerit Kalınlığı	1	122159929	122159929	5883,12	0,000
Şerit Genişliği	1	3989177	3989177	192,12	0,000
Error	2766	57434549	20764		
Lack-of-Fit	1674	51484613	30755	5,64	0,000
Pure Error	1092	5949936	5449		
Total	2768	213050164			

## Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
144,099	73,04%	73,02%	72,98%

## Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	503,8	17,2	29,22	0,000	
Şerit Kalınlığı	0,52597	0,00686	76,70	0,000	1,11
Şerit Genişliği	0,2162	0,0156	13,86	0,000	1,11

## Regression Equation

$$\text{Gerçek Ortalama Gergi} = 503,8 + 0,52597 \text{ Şerit Kalınlığı} + 0,2162 \text{ Şerit Genişliği}$$

## Şekil 18. Minitab "Fitted Regression Model" DQ2 Analiz Sonucu

$R^2(adj)$ ' değeri DQ2 Analizi için %73,02 olarak bulunmuştur. Buradan da anlaşılmaktadır ki model çıktındaki değişkenliğin %73,02'ini açıklayabilmektedir.

## EDDQ Kalite Regresyon Analizi

## Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	2	86212519	43106260	1665,71	0,000
Şerit Kalınlığı	1	74265506	74265506	2869,77	0,000
Şerit Genişliği	1	826738	826738	31,95	0,000
Error	1262	32658730	25879		
Lack-of-Fit	698	30944309	44333	14,58	0,000
Pure Error	564	1714421	3040		
Total	1264	118871249			

## Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
160,868	72,53%	72,48%	72,35%

## Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	447,9	27,5	16,31	0,000	
Şerit Kalınlığı	0,6617	0,0124	53,57	0,000	1,08
Şerit Genişliği	0,1428	0,0253	5,65	0,000	1,08

## Regression Equation

$$\text{Gerçek Ortalama Gergi} = 447,9 + 0,6617 \text{ Şerit Kalınlığı} + 0,1428 \text{ Şerit Genişliği}$$

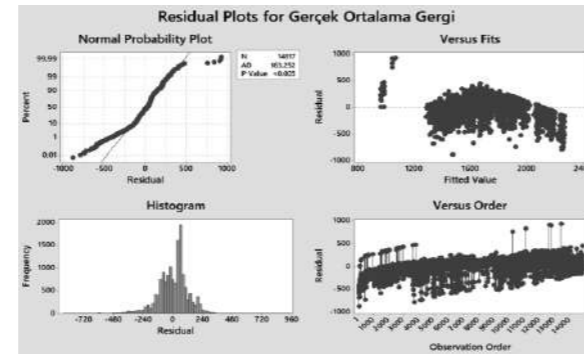
## Şekil 19. Minitab "Fitted Regression Model" EDDQ Analiz Sonucu

$R^2(adj)$ ' değeri EDDQ Analizi için %72,48 olarak bulunmuştur. Buradan da anlaşılmaktadır ki model çıktındaki değişkenliğin %72,48'ini açıklayabilmektedir.

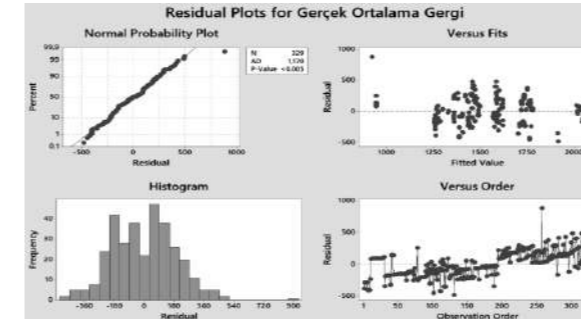
Şekil 15, Şekil 16, Şekil 17, Şekil 18, Şekil 19'ten de görüldüğü üzere tavlama sınıflarına göre model bize fonksiyonlar oluşturmuştur.

## 4. Sonuçlar

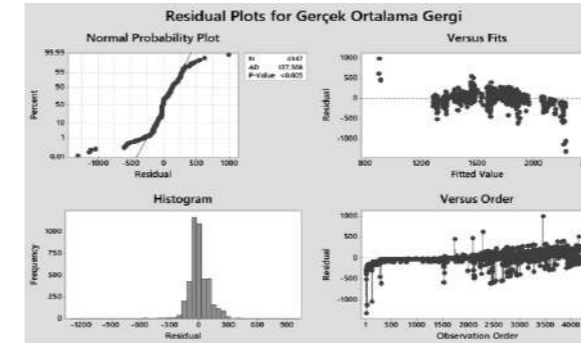
Sonuç bölümündeki histogram grafikleri bize artık değerlerin dağılımını göstermektedir. Verilerin aykırı artıklara sahip olup olmadığını göstermektedir. Tek yönde uzun bir kuyruk veya ayrı olarak oluşan barlar bize uygun bir aykırı değerlerin olmadığını göstermektedir. Fakat bu grafikte görülmektedir ki artık değerlerin dağılımı uygun bir dağılım göstermemekte olup uzun kuyruklar oluşmuştur.



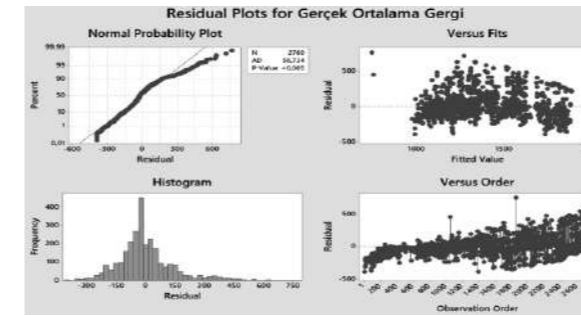
Şekil 20. Artık Değer Grafikleri - CQ



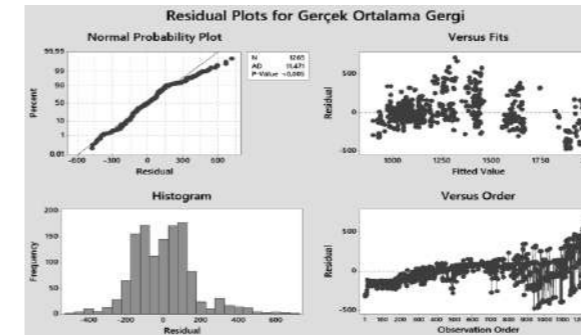
Şekil 21. Artık Değer Grafikleri - DDQ



Şekil 22. Artık Değer Grafikleri - DQ1



Şekil 23. Artık Değer Grafikleri - DQ2



Şekil 24. Artık Değer Grafikleri - EDDQ

Artıkların normal dağıldığı varsayımını doğrulamak için artıkların normal olasılık grafiğini kullanılmalıdır. Artıkların normal olasılık grafiği, yaklaşık olarak düz bir çizgi izlemelidir. Bizim grafiğimizde başlarda kopmalar oluşmuş fakat belirli bir noktadan belirli bir noktaya kadar düz çizgi çizmiştir (Şekil 20, Şekil 21, Şekil 22, Şekil 23, Şekil 24). "Residuals versus fits" grafiği, artıkların rastgele dağıtıldığı ve sabit bir varyansa sahip olup olmadığı varsayımını doğrulamak için kullanılır. Aşağıdaki tablodaki desenler, modelin model varsayımlarını karşılamadığını gösterir.

Tablo 4. Örnek Dağılımlar

Desen	Desen ne gösteriyor
Artıkların sabit değerlere gömülü olarak dağıtılması veya düzensiz yayılması	Sabit olmayan varyans
Eğri ve eğrilerden oluşması	Yüksek mertebeden terimi eksik
Sıfırdan uzak bir nokta	Aykırı değer
X yönündeki diğer noktalarından uzakta olan bir nokta	Etkili bir nokta

Not: Varyans, verilerin aritmetik ortalamadan sapmalarının karelerinin toplamıdır.

"Residuals versus order" grafiği artıkların birbirinden bağımsız olduklarını kanıtlamak için kullanılır. İdeal olarak, grafik üzerindeki artık değerler merkez çizginin etrafına rasgele dağılmalıdır.

## 4. Yorumlar

Bu çalışma ile günden güne gelişen ve değişen endüstri üretim şartlarına insan müdahalesini en aza indirecek bilgisayar temelli bir sistem kurulmaya, ön ısıtma bölümü gergi değerlerinin tablolar yerine gerçek değerlerden elde edilebilen istatistiksel tabanlı bir sistem ile elde edilmesine çalışılmıştır. Günümüz Endüstri 4.0 çağıdır. Bu ortamda oluşturulacak yeni yöntemler ile insan yerine makinaların konulmasına ve insan hatasından doğabilecek hataların önlenmesine çalışılmaktadır. Ayrıca bu insan emeğinin başka işlerde kullanılmasını ve daha etkin çalışmasını da getirecektir. Bu aynı zamanda kaliteyi de arttıracaktır. Yıllık veya belirlenen zamanlarda yapılacak regresyon sonuçlarına göre ön çalışma değerleri daha doğru hesaplanabilecek hale getirilecektir. Endüstri 4.0 sayesinde insanlardan bağımsız, kendi aralarında iletişim içerisinde olan makineler tarafından donatılan akıllı fabrikalar bu stratejinin ana noktasını oluşturacaktır [33]. Bu çalışmada bu noktaya ulaşmak için atılan adımlardan birisidir. Bu çalışmaların yaygınlaşması ve birçok sektörde insansız üretiminin yolunu açacak çalışmaların yapılması gerekmektedir.

## Referanslar

[1] A.O. BALCE ve S DEMİR, İstatistik Ders Notları, [http://www.yarbis.yildiz.edu.tr/web/userCourseMaterials/goncal\\_a691e751bf8695d7567012f25a0e67e0.pdf](http://www.yarbis.yildiz.edu.tr/web/userCourseMaterials/goncal_a691e751bf8695d7567012f25a0e67e0.pdf)

[2] <<https://www.amstat.org/ASA/We-are-Statistics.aspx>>  
Tarih: 20.04.2019

[3] <<http://www.alginerozan.com/2010/03/18/matematik-olasilik-ve-istatistik/>> Tarih: 20.04.2019

[4] <<http://kisi.deu.edu.tr/asli.suner/istatistik/hakkinda.html>>,  
Tarih: 20.04.2019

[5] <<http://mustafaotrar.net/istatistik/istatistik-biliminin-kisa-tarihi/>> Tarih: 20.04.2019

[6] S. Tak ve J. C. Ye, NeuroImage, 85 (2014) 72-91

[7] A.D. Santis, F.J.P. Carrasco, F. Ferraccioli ve M. Catalan, Physics of the Earth and Planetary Interiors, 284 (2018) 28-35

[8] N. J. Foti ve E. B. Fox, Neurobiology, 55 (2019) 48-54

[9] A.F.Silva ve diğerleri, International Journal of Pharmaceutics, 528 (2017) 242-252

[10] C. Cassino ve diğerleri, Food Research International, 116 (2019) 566-577

[11] W. Liao, A. Garg ve L. Gao, Journal of Cleaner Production 172 (2018) 119-132

[12] H. Okuyama, Y. Onishi, S. Tanabe ve S. Kashihara, Building and Environment 44 (2009) 546- 557

[13] P. Nayak, A K. Mukherjee, E. Pandit ve S. K. Pradhan, Rice Science, 25 (2018) 1-18

[14] Marta Lualdi, Mauro Fasano, Journal of Proteomics 198 (2019) 18-26

[15] K.J. Kachiashvili ve D. I. Melikdzhanian, Procedia Computer Science 3 (2011) 439-443

[16] P.E. Oguntunde, H.I. Okagbue, P.I. Adamu, O.A. Oguntunde, S.J. Oluwentunde ve A.A.Opanuga, Data in Brief 18 (2018) 864-872

[17] M. N. Orman ve İ. S. Gürcan, Ankara Üniversitesi Veteriner Fak. Dergisi, 48 (2001) 195-199

[18] <<http://kisi.deu.edu.tr/levent.senyay/>> Gün: 21.04.2019

[19] <[http://www.ekonomianaliz.com/basit\\_regresyon\\_analizi/](http://www.ekonomianaliz.com/basit_regresyon_analizi/)>  
Gün:21.04.2019

[20] <<https://veribilimcisi.com/2017/07/13/siradan-en-kucuk-kareler-yontemi/>> Gün:21.04.2019

[21] V. Bianco, O. Manca ve S. Nardini, Energy, 34 (2009) 1413-1421

[22] P.I. Adamu, P.E. Oguntunde, H.I. Okagbue ve O.O. Agboola, Data in Brief 18 (2018) 2029-2046

[23] B. Vincebt, C. Duhamel, L. Ren ve N. Tchernev,

IFAC-PapersOnLine 48-3 (2015) 930-935

[24] M. Zadmirzaei ve S. M. Limaei, Interdisciplinary Journal Of Contemporary Research In Business, 4 (2013) 1136-1149

[25] B. Kayacan, M. Ucal, A. Öztürk ve R. Balı, Journal of Food Agriculture and Environment 2(1010) 1127-1132

[26] Y. Weng, L. Zhou, S. Zhou ve T. Qi, [13] C. Guo, Y. Zhang, X. You, X. Chen ve Y. Zhang, Proceedings of the IEEE International Conference on Automation and Logistics, August 2009, Shenyang, China, 8 (2015) 189-200

[27] Ö.F.Sezer ve E.Coşkun, Alphanumeric journal, 4-1 (2016) 73-83

[28] C. Guo, Y. Zhang, X. You, X. Chen ve Y. Zhang, Proceedings of the IEEE International Conference on Automation and Logistics, August 2009, Shenyang, China

[29] <<http://www.p005.net/analiz/korelasyon-analizi>> Gün: 22.04.2019

[30] <<https://newonlinecourses.science.psu.edu/stat501/node/333/>> Gün: 22.04.2019

[31] <<https://support.minitab.com/en-us/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/regression/how-to/fit-regression-model/interpret-the-results/key-results/>>,  
Gün:22.04.2019

[32] <<https://support.minitab.com/en-us/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/regression/how-to/fit-regression-model/interpret-the-results/all-statistics-and-graphs/residual-plots/>> Gün: 22.04.2019

[33] <<http://www.prowmes.com/blog/endustri-4-0in-avantajlari-nelerdir/>> Gün: 22.04.2019

[34] <<https://support.minitab.com/en-us/minitab-express/1/help-and-how-to/basic-statistics/summary-statistics/normality-test/interpret-the-results/key-results/>>  
Gün:25.04.2019

[35] < <https://support.minitab.com/en-us/minitab-express/1/help-and-how-to/modeling-statistics/regression/how-to/correlation/interpret-the-results/>> Gün: 25.04.2019

## Soğuk Haddehane Sürekli Tavlama Hatlarında Kalite ve Ebat Geçişlerinde En Uygun Operatör Davranışının Modellenmesi

*Modeling of the Most Suitable Operator Behavior During the Quality and Size Transitions at Continuous Annealing Lines of Cold Strip Mill*

Ömer Faruk Sezer, Serdar Çankaya, Serdar Köroğlu, Egemen Şaşmaz, Hatice Tanrıöver, Hasan Makas

### Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları A.Ş. • Türkiye

#### Özet

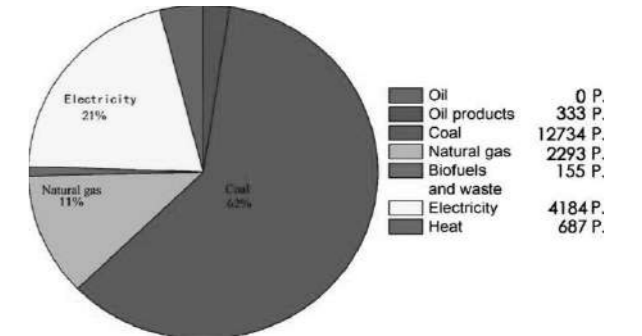
İşletmeler arası rekabet, müşterilerin üreticinin ürettiği mal ve hizmetleri öteki üreticiler karşısında tercih etmesini sağlayabilme yeteneğidir. Rekabeti sürdürmenin bir yolu kalite ise öteki yolu da ucuza üretmektir. Ucuza üretmenin yolları ise birim zamanda fazla üretim ve/veya enerji tasarrufudur. Enerjiyi etkin kullanmak firmalar için çok önemlidir. Rekabet ortamında rakiplerinizden bir adım öne geçmenin yollarından biri de üretim miktarını arttırmanın yanı sıra enerji tasarrufu yapacak önlemler almaktır. Firmalar bu nedenle enerji tasarrufu yönünde çalışmalar yapmakta, hükümetler ise bu konuda AR-GE çalışmaları yapacak firmalara teşvikler vermekte ve finansman desteği sağlamaktadır. Gelişen rekabet ortamında ekonomik olarak rakip firmalar ile rekabet edebilmek amacıyla firmalar iş yapış biçimlerini gözden geçirmek ve davranış değişikliği sergilemek zorundadır. Tavlama fırınlarında ebat ve kalite geçişleri esnasında hattın hızında azalma ve üretim kalitesinde her hangi bir bozulma olmaması için üretim sıralamasını uygun bir biçimde ayarlamak gerekir. Fakat alınan siparişler ve öncelik sıraları bu uygun üretim sıralamasını engellemektedir. Çalışma yaptığımız üretim hattında kuruluşundan yıllar geçtikçe gelişen ürün yelpazesi matematiksel modelin kullanımını kalite, enerji ve üretim kapasitesi yönünden imkânsız hale getirmiştir. Bu nedenle üretim hattında operatörler geliştirilen matematiksel model yerine kendi geliştirdiği pratikleri kullanmak zorunda kalmıştır. Ancak operatörler arasındaki farklılıklar da üretimin düzgünlüğünü engellemektedir. Bu nedenle bu çalışmada en uygun operatör davranışını ele alarak modellemek ve otomatik üretim yapacak tedbirleri almak amaçlanmıştır. Bu sayede operatörlerin görevini yerine getirebilecek ve enerji tasarrufunu arttırabilecek bir sistem geliştirilmesine çalışılmıştır.

#### 1. Tanıtım

##### 1.1 Enerji Verimliliği

Enerji, demir ve çelik sektöründe önemli bir maliyet kaynağıdır. Demir ve çelik sektörü enerjiyi yoğun kullanan bir sektördür. 2013 yılı verilerine göre dünya endüstrisinde toplam tüketilen enerjinin yüzde 18'i bu sektör tarafından

harcanmıştır [1]. Enerji verimliliği ise üretim maliyetlerinin önemli bir bölümünü oluşturduğu için önemli hale gelmiştir. Kun ve Li,"Enerji tüketim fiyatlarının yüksek olduğu dönemlerde demir ve çelik sektörü için enerji verimliliği çok önemli bir konudur." demiştir [2]. Şekil.1'de de görüldüğü gibi birinci enerji kaynağı kömür, ikincisi elektrik ve üçüncüsü de doğal gazdır. Uluslararası Enerji Ajansı'nın (IEA) 2012 yılında yayımlanan istatistik raporunda, demir çelik endüstrisinin mevcut en iyi teknolojiyi uygulayarak, enerji tüketimini sektörün mevcut toplam enerji tüketiminin yaklaşık yüzde 20'si kadar azaltması yönünde teknik potansiyele sahip olduğunu belirtmiştir [3].



Şekil 1. Demir ve Çelik Sektörü Enerji Kullanımı 2013 [1]

Bildiri konumuz olan tavlama hatlarında yapılan teknolojik yatırımlar ile bu maliyetleri aşağı çekmek mümkündür. Tavlama hatlarında yapılan ısı geri kazanımı yatırımları ile yakıt tasarrufu olarak 0.30 GJ/ ton, elektrik tasarrufu olarak 0.02 GJ/ton tasarruf sağlanmıştır. Bu konuda yapılan yatırımların maliyeti ton başına 4.2 US\$, bu maliyeti

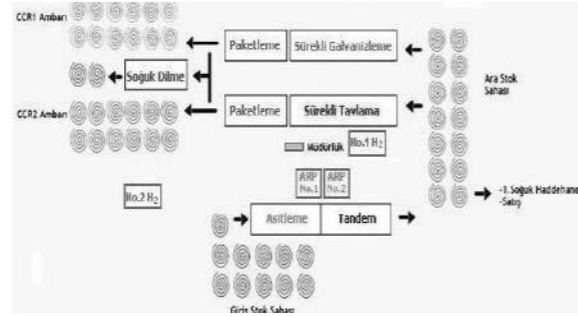
karşılamaya süresi ise 4 senedir [4]. Japonya'da Kurulu bulunan sürekli tavlama hatlarında yakıt kazanımı yüzde 33 ve kayıp önlenmesi sayesinde yakıt kazanımı yüzde 25 olmuştur [5].

Enerji verimliliği konusunda birçok çalışma yapılmış ve yapılmaktadır. Bunlardan bazıları şöyledir. Hajialiakbari ve Hassanpour, şerit genişliği ve kalınlığı, şerit hızı, radyan tüpler tarafından sağlanan ısıtma gücünün etkilerini analiz ederek enerji verimliliğinin iyileştirilmesi yönünde çalışma yapmışlardır [6]. S. Caillat tavlama hatlarında kullanılan brülörler ile ilgili çalışma yapmış ve enerji ve brülör verimliliği açısından ısı verimliliğini incelemiştir [7]. Drever International firması tavlama hatlarında enerji verimliliği sağlayacak yeni bir teknoloji geliştirmiştir [8]. Yine diğer bir çalışmada Carabali ve diğerleri metal sektörü üzerinde enerji verimliliği konusunda çalışmalar yapmış ve "Enerji verimliliğinin artırılması, sera gazı emisyonlarını (GHG) azaltma seçeneğidir. Bu, ürün üretmek için kullanılan enerji tüketimini azaltarak, üretim seviyelerini artırarak ve endüstrinin ulusal ve uluslararası düzeyde rekabet edebilirliğini artırarak sanayi sektörüne fayda sağlar." demişlerdir [9]. Zhang ve diğerleri yaptıkları çalışmada "Atık enerji geri kazanımı ve kullanımı, küresel demir çelik endüstrisi için birincil enerji tüketimini azaltmada ve enerji verimliliğini iyileştirmede önemli bir fırsat sunmaktadır." sonucuna varmışlardır [10]. Bhowmik ve diğerlerinin yaptığı araştırmalar göstermiştir ki geleneksel yöntemler yerine enerji yönetimi stratejisi izlemek daha iyi bir yöntemdir [11]. Araştırmalarında enerji yönetimi için Zig-Bee teknolojisi, Analitik Hiyerarşi süreci, Monte Carlo Metodu, Bulanık Mantık yaklaşımları, üst denetçi kontrolü ve veri toplama sistemi, analitik sinir prosesi, yapay sinir ağı, genetik algoritma gibi yöntemleri kullanarak daha verimli ve çevresel bir enerji yönetimi üzerinde çalışmalarını sürdürdükleri görülmüştür [11].

## 1.2 Hat Tanıtımı

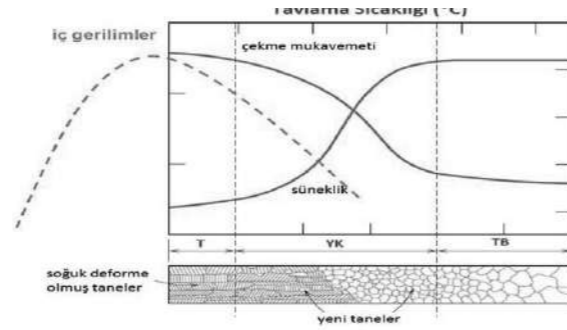
Tavlama süreci, soğuk haddelenmiş ürünler için en son süreçtir. Tavlama süreci soğuk haddelenmiş ürünlerin bozulan malzeme iç yapısını düzelterek kalitesini arttırmak için kullanılır. Sürekli tavlama hatları, yüksek üretim kapasitesi, düşük maliyet, yüksek kalite ve çeşitlilik avantajları nedeniyle geleneksel yığın tavlama hatlarına göre dünyada kullanımı yaygınlaşmıştır [12]. Soğuk haddelenme süreç akışı Şekil-2'de gösterilmiştir.

Sürekli Tavlama Hattı Fırın bölümünde; şerit bünyesinde soğuk haddelenme sırasında oluşan iç yapı bozukluğu ve iç gerilme birikiminin yeniden kristalleşme sıcaklığına kadar tavlama giderilmesi amaçlanmaktadır [12]. Tavlama fırınlarında yassı çelik ürüne (şerit) istenilen fiziksel



Şekil 2. Soğuk Haddelenme Süreci

özellikleri kazandırmak için çeşitli soğutma ve ısıtma işlemleri uygulanır. Tavlama süreci sırasında malzeme iç yapısının ısıya bağlı değişimi Şekil-3'de gösterilmiştir.



Şekil 3. Malzeme İç Yapısının Isıya Bağlı Değişimi

Şerit, tavlama hattı içinde yaklaşık olarak 330 metre yol kat eder. Maksimum 320 metre/dakika hızla hattın geçebilir. Bu hız çeliğin tavlama özelliklerine ve boyutlarına göre değişmektedir. Hattın özellikleri, sıcaklık sınır aralıkları ve maksimum hız sınırlamaları belirlenmiştir. Fırın ısıtma kapasitesi kuruluş esnasında belli olduğundan dolayı kalın ve geniş malzemelerin maksimum hızda çekilmesi mümkün olamamaktadır. Geleneksel sürekli tavlama hattı prosesi Şekil-4'de verilmiştir.



Şekil 4. Sürekli Tavlama Hattı Prosesi

Tavlama fırınlarında ısıtma ve soğutma işlemlerinde kullanılan dinamik şerit sıcaklığı kontrol modelinin ana amacı en yüksek hat hızında çalışmayı sağlamak ve şerit sıcaklığını kalitesine uygun sıcaklık değerlerinde tutmaktır.

Tablo 1. Kaliteye göre şerit tavlama sıcaklıkları [12]

Ürün Kalitesi	Şerit Sıcaklıkları[°C]	Zaman[saniye]
CQ	720 ± 30	≥ 40
DQ1	770 ± 30	≥ 40
DQ2	810 ± 10	≥ 40
DQ3	800 ± 30	≥ 40
DDQ	800 ± 30	≥ 40
EDDQ(*)	850 ± 30	≥ 40

(\*) Kalınlığa göre değişmektedir.

Bunu yaparken fırın sıcaklığı ve hat hızı gibi parametreleri kullanır. Şerit sıcaklığını istenilen değerlere getirmek amacıyla termodinamik ısı denkleminde göre fırın ısıtma kapasitesine ve hat hızına göre fırın sıcaklık değerleri hesaplar. Dinamik şerit sıcaklık kontrol sistemi set noktası değerlerinin hesaplanması veya çıkış şerit sıcaklık tahmini için ısı transferi teorisine dayanan matematiksel modeller kullanır. Tavlama işlemi kontrolü zor ve karmaşık bir endüstriyel işlem olup, çok iyi bir performans ile iyi bir ısı kontrol yöntemi büyük önem taşımaktadır [13].

Ayrıca malzeme boyutları ve/veya tavlama kalitesi değişimlerinde fırın kapasitesinin yetmediği durumlarda gereken sıcaklık artırımını sağlayacak süre kadar ya bir dummy ürün ya da ara ürün işlenmesi gerekmektedir. Dummy ürün hurda ürün olduğu için bu malzemenin işlenmesi için gereken süre boşa gitmektedir. Aynı dummy bobinin birçok defa kullanılması nedeniyle şerit kopmaları da oluşmaktadır. Bu nedenle de uzun süreli arıza duruşları meydana gelebilmektedir. Boyut ve kalite geçişleri sırasında arıza ve dummy bobin süre kaybını önleyecek önlemler alınmaktadır. Bu önlemler sırasında da enerji kayıpları yaşanabilmektedir. Soğutma ve ısıtma işlemleri sırasında düşük sıcaklıkta tavlama, gereken ürünler yüksek sıcaklıkta tavlama ve bu durum enerji kaybına neden olmaktadır. Isıtma sırasında kalite sıcaklığı daha az olan malzemenin fırın içindeki kuyruk bölümünden başlayarak fırın sıcaklığı artırılmaya başlanmakta, bu malzemenin son kuyruk kısmı için fazla enerji harcanmaktadır. Soğutma sırasında ise yüksek sıcaklık gereken bobin için o bobinin sonu beklenmekte, ondan sonra soğutma işlemi başlatılmaktadır. Bu, işletmenin geliştirdiği pratik bir yöntemdir. Ancak, bu pratiği uygulayacak geleneksel bir otomasyon kontrol sistemi yoktur.

Bir üretim hattı için istenilen en önemli özelliklerden biri siparişleri topladıktan sonra bunları üretim hatındaki üretim seviyesini arttıracak ve maliyetleri azaltacak en uygun sırada üretmektir. Kalite ve ebat geçişlerinin çok fazla olması

nedeniyle, uygun sırada üretim ve geçişler arasında uygunluk sağlanamamaktadır. Bu özellikler sağlanamadığı takdirde üretim maliyetlerinde artış meydana gelmekte; bu da firma için rekabet edebilirlik düzeyini olumsuz etkilemektedir. Firma için rekabet edebilirliği arttırmak ve optimizasyonu sağlamak üzere üretim hatları optimizasyonu için alınan birçok teknolojik donanım ve yazılım, üretim planlama tarafından gönderilen siparişlere göre istenen sıralama özelliklerini sağlayamadığından kullanılamamakta, bunun yerine bir veya daha fazla personel, uygun olmayan optimizasyon sistemine çare olarak alternatif otomasyon kontrolü yapmaktadır. Bu durumda yazılıma yapılan yatırım boşa gitmiş olmakta, aynı zamanda da bütün üretim süreci sorumluluğu operatörün eline bırakılmaktadır. Operatörlerin farklı uygulama tarzları üretim hatlarında farklı sonuçların alınmasına neden olmakta ve üretim hatlarının optimum şekilde çalışması sağlanamamaktadır.

## 2. Uygulama

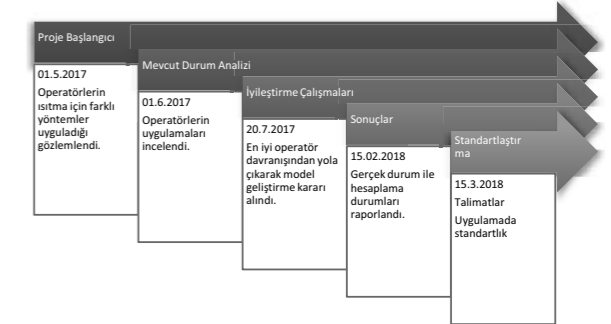
### 2.1. Sistem alt yapısının kurulması

Bu bölümde Ereğli Demir Çelik Fabrikasına ait sürekli tavlama hattına ait veriler kullanılarak en iyi operatör davranışının modellenmesine çalışılmıştır. Bu konudaki amacımız enerji tasarrufu sağlayacak önlemleri almaktır.

Bu amaçla bir ekip oluşturulmuş operatörlerin kalite ve ebat geçişlerindeki davranışları incelenmeye başlanmıştır. Farklı operatörlerin farklı yöntemler uyguladıkları gözlemlenmiştir. Gözlemler sonucunda yakalanmak istenen hedefler aşağıdaki gibi belirlenmiştir:

- Farklı operatör geçişleri arasında yaşanan kalitesizlik maliyetlerinin önüne geçilmesi,
- İnsan faktörünün en aza indirilmesi,
- Doğalgaz tüketiminin azaltılması.

Aşağıdaki faaliyet planı tüm proje boyunca uygulanmıştır.

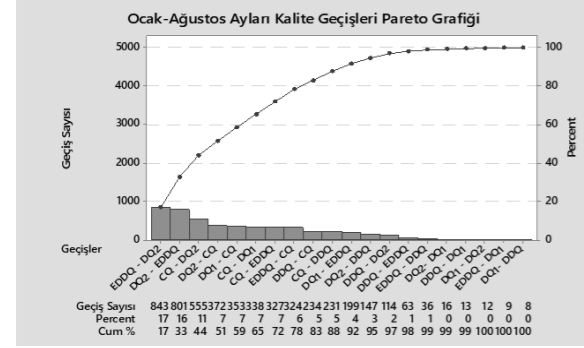


Şekil 5. Proje çalışma planı

İyileştirme çalışmaları aşamasında üç model üzerinde durulmuştur:

- Eski modelin düzeltilmesi,
- İstatistiksel veri analizi yöntemi kullanılması,
- Operatör davranışlarının incelenerek yeni model programının yazılması.

Bu modeller üzerinde çalışmalar yapılmıştır.

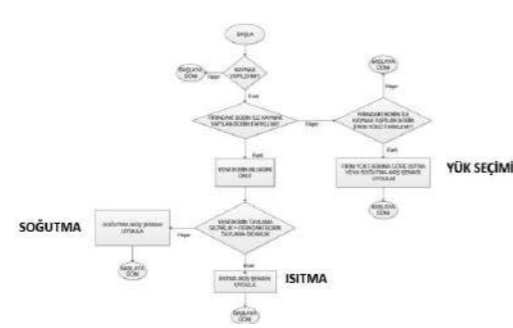


Şekil 6. Pareto Analizi

2017 yılı üretim verileri değerlendirilerek pareto analizi yapılmış ve hangi konu üzerinde yoğunlaşmamız gerektiğine dair hedefler belirlenmiştir. Yüzde 50 ısıtma geçişi yüzde 50 soğutma geçişi olduğunu görünce öncelikle ısıtma üzerinde durmaya karar verilmiş ve soğutma kısmının 2. faz olarak ele alınması kararlaştırılmıştır.

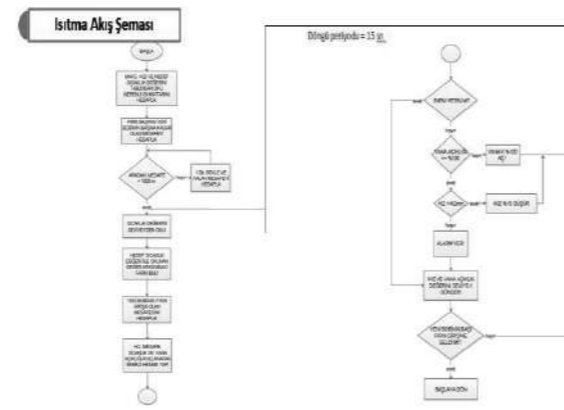
Operatör davranışlarının modellenmesi kararı alındıktan sonra operatör davranışları incelenmeye başlanmıştır. Bu izlemeler sonucunda şu sonuçlara ulaşılmıştır.

- Kalite bazlı sabit hız değerleri kullanılmakta,
- Tavlama sıcaklık değerleri, üst limit değerlerine yakın olarak çalışılmakta,
- Belli bir hesaplama yöntemi kullanılmakta,
- Hat hız değeri ile oynayarak, şerit sıcaklığı ayarlanmakta,
- Operatörler arasında davranış farklılıkları oluşmakta,
- Yaklaşık 1000-metre kalınca fırın ısıtılmaya başlanmaktadır.



Şekil 7. Operatör Davranış Algoritması (Yük Seçimi - Isıtma - Soğutma)

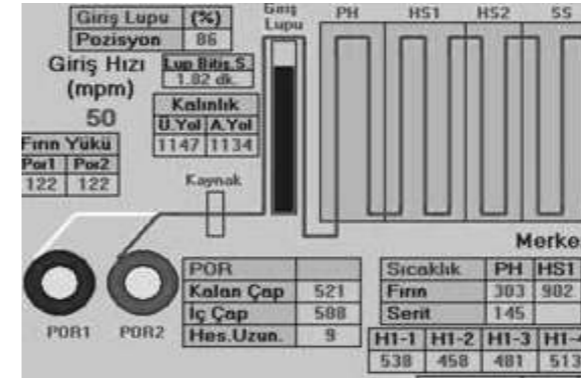
En iyi operatör davranışı belirlendikten sonra ısıtma-soğutma, yük seçimi algoritmaları oluşturuldu. (Şekil.7 ve Şekil.8). Öncelikle ısıtma kısmının yapılmasına karar verildiği için ısıtma algoritması bildiriye konulmuştur.



Şekil 8. Operatör Davranış Algoritması (Isıtma)

Isıtma modeli incelenip gerekli maksimum enerji miktarı hesaplanmıştır. Bu enerji miktarına göre operatörlerin kullandıkları 1000-metre mesafenin ısıtma için yeterli olduğu bulunmuştur.

Şekil 9.'da da görüldüğü gibi fırın 4 bölümden oluşmaktadır. Bunlar sırasıyla Ön Isıtma (PH), Isıtma Bölümü 1, Isıtma Bölümü 2 ve Yedirme Bölümü (SS) 'dir.



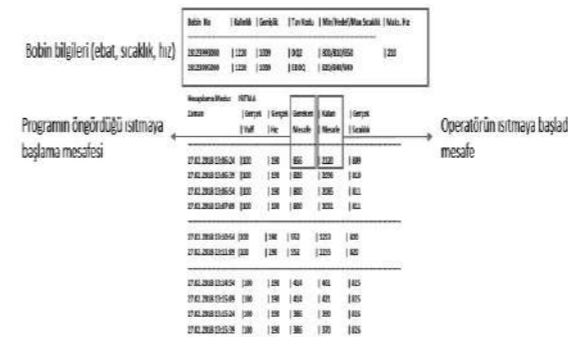
Şekil 9. Fırın girişine kadar olan mesafe

1995 yılında kurulmuş dönemin işletim sistemi (Open VMS) ve yazılımına (Fortran) sahip sunucudan verilerin alınması ve yazılım yapılacak PC'ye gönderilmesi sağlanmıştır. Olay bazlı veriler 15 saniyelik döngüler halinde algoritmanın ve MySQL veritabanının olduğu sisteme gönderilmiştir. Bu veriler MySQL veritabanında tutulmaya başlanmıştır. C# yazılım programı kullanılarak algoritmalar yazılıma döküldükten sonra testlere başlandı. Oluşturulan yazılımın çalıştırılması sonucu elde edilen ekran aşağıdaki gibidir.

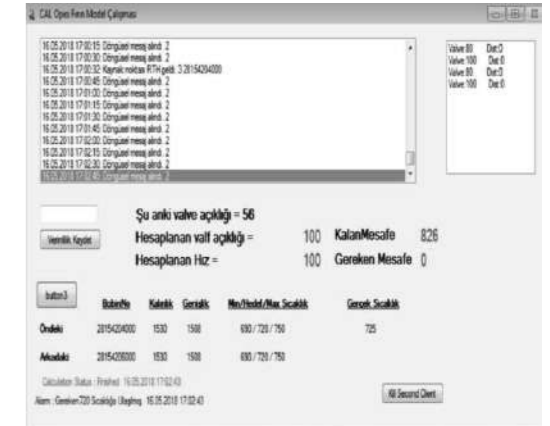
## 2.2. Testler ve Düzeltmeler

Testler sonucunda görülen aşağıdaki hataların düzeltilmesi yoluna gidilmiştir.

- DQ2-CQ-DQ2 kalite geçişlerinde fırın rejiminin bozulmaması amacıyla soğutma rejimi uygulanmamıştır.
- İşletmenin fiziksel koşullarında meydana gelen özel durumlarda geçişler operatör desteğine bırakılmıştır.
- Ebat geçişlerinde hacimlerdeki yüzde onluk değişimde çalışan ısıtma algoritması yüzde beşe çekilmiştir.
- Programda anlık şerit sıcaklığı gösterilmeye başlanmıştır.



Şekil 10. Geliştirilen Seviye-2 Program Logu



Şekil 11. Geliştirilen Seviye-2 Program Ekranı

- Çalışan brülör sayısının ısıtma verimi açısından önemli olduğu görülmüş ve bu nedenle de çalışmayan brülör sayısının gösterilmesine başlanmıştır (Şekil 11).
- Hat veriminin hesaba göre otomatik hesaplanması sağlanmıştır.

Testler sonucunda görülen hataların düzeltilmesi yönünde de çalışmalar yapılmıştır.

- CQ-DQ1 kalite geçişi esnasında operatör uygulamasında son 1.200 metrede hat hızı 260 m/dk'dan 200 m/dk'ya düşürülmüş, vana açıklığı %60'ta sabit tutulmuştur. 580-metre kala hat hızı 180 m/dk'ya düşürülüp vana açıklığı sabit tutulmuştur. Programda vana açıklığının maksimum yüzde 90 olabilecek şekilde yazıldığı tespit edilmiştir. Bu değer yüzde 100 yapılması kararlaştırılmıştır.
- DQ3-DQ2 kalite geçişinde program, 780 °C (DQ3 sıcaklığı)'den sıcaklığı 820°C (DQ2 sıcaklığı)'ye çıkarmayı hedeflemiştir. Alınan bilgiye göre operatörler SS kısmının sıcaklığını dikkate almaktadır. Program ise HS sıcaklığına dikkate almaktadır. Bu düzeltme yapılmıştır.
- Program son 96 metrede vananın yüzde 100 açılmasını hesaplamıştır. Yüzde 44 vana açıklığı, 90 mpm hat hızında sıcaklık 776 °C görülmüştür. Programın söylediği şekilde son 100 metre içerisinde vananın yüzde 100 açılması ile istenilen sıcaklığın yakalanabileceği fakat malzemede daralma problemine neden olabileceği belirtilmiştir. Programa kademeli artış için güncelleme yapılmıştır.
- DQ1 kalitelerde genişlik geçişi sırasında operatör şerit daralmasına rağmen valf çalışma oranında düşme yapmamış ve şerit sıcaklıkları 781 °C 'den 790 °C'ye kadar çıkmıştır. Minimum çalışma sıcaklığı 750 °C'dir. Operatör davranışıyla fazla enerji tüketilmiştir.

- Yine CQ1-DQ1 kalite geçişi esnasında program hesabına göre 114-metre kala ısıtmaya başlaması gerekmektedir. Fakat operatör 1328 metre kala ısıtmaya başlamış ve 750 °C yeterli olmasına rağmen 790 °C kadar fırını ısıtmıştır. Operatör davranışıyla fazla enerji tüketilmiştir.
- DQ2 – EDDQ kalite geçişi esnasında operatör ısıtmaya 2.120 metre kala başlamış. Program öngörüsü ise 856 metre olmuştur. Operatör 820 °C sıcaklığı 1.213 metre kala yakalamıştır. 1.213 metre fazla ısıtma yapılmıştır. Gereksiz bir enerji kaybına neden olmuştur (Şekil 10). Bu gereksiz ısıtmanın sonucu olarak aşağıdaki maliyet ortaya çıkmıştır.

Isı transfer hesabı;

$$Q_s = C_p * (T_2 - T_1) * \rho * w * t * V * L$$

$$Q_s = 0,1170 \frac{kcal}{kg * ^\circ C} * 15 ^\circ C * 7850 \frac{kg}{m^3} * 1,009 m * 1,22 \cdot 10^{-3} m * 190 \frac{m}{dk} * 330 m$$

$$Q_s = 1.063.323 kcal$$

w : malzeme şerit genişliği  
t : malzeme şerit kalınlığı  
 $\rho$  : özgül ağırlık  
V : süreç Hızı  
 $C_p$  : özgül ısı

5. denemede 6,3 dakika süre ile 15 derecelik fazla ısıtma uygulanmıştır. Bu ısıtma için değerler yerine konulduğunda dakika başına 1.063.323 kKal- fazla ısıtma gerçekleştiği yukarıdaki hesaplamalarda görülmüştür.

$$1 m^3 \text{doğalgazın verdiği ısı değeri} = 8.250 \text{ kCal.} / m^3$$

$$\text{Bu değer için harcanan doğalgaz miktarı} = 1.063.323 / 8250$$

$$\text{Toplam Harcanan Doğal Gaz Miktarı} = 128 m^3$$

### 3. Sonuçlar

Bu çalışmada yıllık 5.369 adet kalite geçişi oluştuğu hesaplanmıştır. Pareto analizinde bunun yarısının ısıtma geçişi şeklinde olduğu bulunmuştur. Soğutma ve ebat geçişleri bu çalışmada ele alınmamıştır. Soğutma geçişleri bölümü için çalışmalar devam etmektedir. Geçiş başına 128

$m^3$  fazla enerji tüketimi olduğu farz edildiğinde yıllık olarak toplam 687.232  $m^3$  doğalgaz tüketiminin boşa harcandığı hesaplanabilmektedir.

Bu çalışmada elde edilen faydalar şu şekilde açıklanabilir;

- Kalite ve ebat geçişleri operatör tecrübesine bağlı olmaktan çıkarılmıştır. Bilimsel hesaba dayalı bir yazılım ile ısıtma ve soğutma sürecinin yönetilmesi sağlanmıştır.
- Doğalgaz tüketimi hedef sıcaklığın üzerinde max sıcaklıkta gidebiliyordu. Hedef sıcaklıkta tavlama gerçekleştirildiği için doğalgaz tüketimi kontrol altına alındı.
- Hat hızı ve tav sıcaklığına bağlı olarak daralma problemi görülmekteydi. Daralma kaynaklı kalite kusurlarının azalması beklenmektedir.

Standartlaşma çalışmaları başlatılmıştır. Program kaynak ve verileri ortak depolama birimine her gün kopyalanarak sistem takip edilebilir hale getirilmiştir. Kullanıcı el kitapları hazırlanmış operatörlere eğitimler verilmiştir.

### 4. Yorumlar

Sürekli Tavlama Hatlarında operatör davranışlarını modelleyen ilk uygulamalardan biri olarak varsayılabilir. Literatürde bu konuda bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışma operatörün yapacağı işlemleri bilgisayarlara yaptırma amacı taşımaktadır. Bu nedenle yapay zekâ uygulamalarından biri olarak değerlendirilmelidir. Yapay zekâ, bir bilgisayarın veya bilgisayar kontrolündeki bir robotun çeşitli faaliyetleri zeki canlılara benzer şekilde yerine getirme kabiliyetidir. Dünyada ve Türkiye’de oldukça kabul görmüş bir kavramdır. Aralık 2018’de düzenlenen GARP/SAS anketinde yapay zekânın en çok kullanıldığı alanlar arasında ilk sırada elle yönetilen süreçlerin otomasyonu (yüzde 52) geldiği sonucu çıkmıştır [14]. Elle yönetilen süreçlerin otomasyonu ve operatörden bağımsız hale getirilmesi sonucunda kalitede iyileştirme ve iş gücünde azalma beklenmektedir. İnsan hatalarından kaynaklanabilecek hatalar giderilmektedir. Daha küçük ayrıntıları bilgisayarların yakalama ve takip etme yetenekleri insanınkiyle kıyaslanacak düzeyde bile değildir. Yapay zekâ uygulamalarından enerji tasarrufu da beklenmektedir.

Isıtma geçişleri için yaptığımız uygulama soğutma ve ebat geçişleri içinde uygulanmak üzere çalışmalarımız devam etmektedir. Yazılım ve süreç iyileştirmeleri de hızlı bir biçimde devam edecektir. Operatör hatalarının en aza

indirilmesi, kalite iyileştirilmesi, üretim artışı ve enerji tasarrufu için yapılabilecek bütün ortamlarda yapay zekâyı geçiş sağlanmalıdır. Bilgisayar destekli üretim bütün ortamlarda bulunmalıdır. İnsan sadece takibini yapmalıdır.

### References

- [1] <http://www.iea.org/Sankey/index.html> Gün: 02.03.2019
- [2] K. He ve L. Wang, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 70 (2017) 1022-1039.
- [3] [https://www.iea.org/media/etp/tracking/Tracking\\_Clean\\_Energy\\_Progress.pdf](https://www.iea.org/media/etp/tracking/Tracking_Clean_Energy_Progress.pdf) Gün: 14.03.2019
- [4] <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-12/documents/ironsteel.pdf> Dated: 17.03.2019
- [5] [http://www.energystar.gov/ia/business/industry/downloads/ENERGY\\_STAR\\_Iron\\_and\\_Steel\\_Guide.pdf](http://www.energystar.gov/ia/business/industry/downloads/ENERGY_STAR_Iron_and_Steel_Guide.pdf); Gün: 17.03.2019
- [6] N. Hajialiakbari ve S. Hassanpour, Analysis of thermal energy performance in continuous annealing furnace, 206 (2017) 829-842.
- [7] S. Caillat, Burners in the steel industry: utilization of by-product combustion gases in reheating furnaces and annealing lines, 120(2017) 20-27.
- [8] M. Renard ve J. Buchlin, Energy efficient Strip Annealing through Roll Regenerative Furnace, 120 (2017) 380 – 387.
- [9] D.M. Carabali, C.R. Forero ve Y. Cadavid, Energy diagnosis and structuring an energy saving proposal for the metal casting industry: An experience in Colombia, 137 (2018), 767 – 773.
- [10] Q. Zhang, X. Zhao, H. Lu, T. Ni ve Y. Li, Waste energy recovery and energy efficiency improvement in China’s iron and steel industry, 191 (2017) 502-520.
- [11] C. Bhowmik, S. Bhowmik, A. Ray ve K.M. Pandey, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 71 (2017) 796-813
- [12] Ö.F.Sezer ve E.Coşkun, Alphanumeric journal, 4-1 (2016) 73-83
- [13] C. Guo, Y. Zhang, X. You, X. Chen ve Y. Zhang, Proceedings of the IEEE International Conference on Automation and Logistics, August 2009, Shenyang, China
- [14] <http://www.hurriyet.com.tr/teknoloji/yapay-zekanin-faydalarini-is-sureclerinde-gormeye-basladi-41172018>; Gün:17.04.2019

## AKM (Askıda Katı Madde) Değerinin Takibi ile Servis Suyu Üretimi için Kimyasal Dozaj Optimizasyonu

Chemical Dosage Optimization by Controlling Suspended Solid (SS) Rate for Process Water Production

Recep Sarı, Güven Zerengil, Tayfun Kocabaş, Hatice Tanrıöver, Bengü Taşdelen

### Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları A.Ş. • Türkiye

#### Özet

Erdemir'in endüstriyel su ihtiyacı Kızılcapınar ve Güülüç Barajlarından sağlanmaktadır. Bu barajlardan temin edilen ham suyun içerisindeki organik ve inorganik safsızlıklara Askıda Katı Madde (AKM) denir. Su tesislerine alınan ham suyun içerisindeki AKM miktarı değişkenlik göstermektedir. Sistemde uygulanan iyileştirme çalışması öncesi, çökeltme havuzlarına alınan ham suya, safsızlıklarının giderilmesi için miktarı operatöre bağlı koagülant (çöktürücü) adlı kimyasal dozlanmakta, sistemde standart bir denklem kullanılmamaktaydı. İyileştirme çalışmasıyla ilk olarak, tesisdeki AKM ölçüm cihazının bakım ve kalibrasyonu yapılmış, sonra AKM cihazının nehir su alma ağzına montajı tamamlanarak devreye alınmıştır. Daha sonra laboratuvarında uygun koşullar oluşturularak AKM'ye karşı optimum kimyasal dozajının belirlenebilmesi için jar testleri gerçekleştirilmiştir. Laboratuvar jar testleri ve sahadaki doğrulama çalışmaları sonucunda ham sudaki AKM'ye karşı kimyasal dozaj denklemi elde edilmiş, operatöre bağlı kimyasal dozaj yerine üretilen standart denklem kullanılarak yapılacak kimyasal dozaj optimizasyonu ile yıllık koagülant kimyasal tüketiminde % 10 – 20 arası tasarruf sağlanması hedeflenmiştir.

#### 1. Giriş

Erdemir'in demir – çelik endüstrisinde, gelişen teknolojileri takip etmek ve üretim süreçlerini bu teknolojilerle uyumlu sürdürmek, çevreye duyarlı

projeleri hayata geçirmek temel hedeflerinden biri olmuştur. Erdemir'de demir- çelik üretim proseslerinde sürekli iyileştirme ve geliştirme süreçleri ve projeleri yıl boyunca sürdürülmektedir. Bu doğrultuda 2018 yılı Mart ayında Erdemir Su Tesisleri bünyesinde OPEX (operasyonel mükemmellik) proje takımı oluşturularak iyileştirme çalışmalarına başlanmıştır. Projeye başlamadan önceki durumda, tesise alınan ham suyun çökeltme havuzlarında arıtılması için kullanılan koagülant kimyasalı, çökeltme havuzu girişindeki Askıda Katı Madde (AKM) değeri bilinmediğinden her bir operatörün işletme tecrübesine göre farklı miktarlarda dozlanmakta ve standart bir uygulama bulunmamaktaydı. Bu nedenle tesiste mevcutta var olan AKM cihazının bakım ve kontrollerinin yapılarak çalışabilir duruma getirilmesi kritik öneme sahiptir. Yapılacak iyileştirme çalışması ile mevcut durumdaki AKM cihazının nehir su alma ağzı girişine konularak devreye alınması sağlanacaktır. Böylelikle, operatör ekranına anlık ve sürekli AKM değeri aktararak buna göre çökeltme havuzlarına yapılacak optimum koagülant kimyasalı dozaj miktarı, laboratuvarında düzenli olarak jar testi yapılarak tespit edilecektir. Nehir AKM değerlerinin takibi ve laboratuvarında uygulanacak jar testlerinin proje boyunca sürdürülmesi planlanmaktadır. Böylece yıllık kimyasal tüketiminde ciddi tasarruf sağlanarak çevreye katkı sağlanması ve standart bir uygulama sistematığının geliştirilmesi hedeflenmektedir.

#### 2. Deneysel Prosedür

##### 2.1 AKM (Askıda Katı Madde) cihazının devreye alınması

Öncelikle, proje takımı oluşturularak hayata geçirilecek iyileştirme çalışmasının sağlıklı yürüyebilmesi için tesiste mevcutta bulunan fakat devreye alınamamış AKM cihazının gerekli bakım ve kalibrasyonu yapılarak cihaz çalışır hale getirilmiştir. Buna ek olarak cihazın operatör ekranına ölçüm değerlerini sürekli ve anlık olarak gönderebilmesi için sinyal kabloları çekilerek verilerin SCADA ekranına taşınması tamamlanmıştır. Nehir su alma kanalına montajı yapılarak devreye alınan AKM cihazı Şekil 1 de verilmiştir.



Şekil 1: Nehir su alma kanalı girişindeki AKM ölçüm cihazı

##### 2.2 Jar testi

Yürütülen projede nehir ham suyunda ölçüm yapan cihazdaki AKM değerlerine göre optimum koagülant

kimyasalı dozajının belirlenebilmesi, laboratuvar ve saha koşullarının simüle edilebilmesi için iyileştirme uygulaması olarak laboratuvar ortamında Jar testi yapılması gerekmektedir.

Laboratuvar ortamında incelenecek suyun (ham su) içerisindeki organik ve inorganik, kendi ağırlığıyla çökemeyen gözle görülemeyecek boyuttaki katı partiküllerin yumak haline gelmesi ve büyümesine flokülasyon, bu partiküllerin çöktürücü (koagülant) kimyasalı ile dibe çökmesinin sağlanmasına koagülasyon denir. Jar testi ise ham suyun içerisindeki AKM'nin çöktürülmesi için gerekli yaklaşık koagülant kimyasalı dozunun ve uygun kimyasalın belirlenmesi için laboratuvar ortamında yapılan testtir. En hızlı ve berrak çökteltiyi sağlayan en düşük dozlu koagülant gözle yapılan muayene sonunda belirlenir. Şekil 2 de laboratuvarında gerçekleştirilen örnek bir jar testi verilmiştir.



Şekil 2: Jar testi



Proje ekibiyle işletme sahasında, laboratuvarda yapılan incelemeler ve düzenli gerçekleştirilen iyileştirme toplantıları neticesinde, işletme koşulları göz önünde bulundurularak laboratuvarda jar testinde kullanılan karıştırıcının hızı 10 rpm (devir / dakika), karıştırma süresi ise 15 dakika ve laboratuvar jar testi çıkış AKM değeri 0 – 5 mg / l (ppm) olarak belirlenmiştir.

### 3. Sonuçlar ve Tartışma

Laboratuvarda yaklaşık 7 ay boyunca gerçekleştirilen jar testlerinin sonuçları Tablo 1 de verilmiştir. Her bir denemede nehirde ölçülen AKM değerine karşılık kimyasal dozaj miktarları düzenli olarak takip edilmiştir. Yapılan jar testi deneyleri sonucunda elde edilen kimyasal dozaj miktarı ve nehir ham su AKM verileri MINITAB yazılımı kullanılarak regresyon analizi gerçekleştirilmiştir. Bu regresyon analizi neticesinde elde edilen matematiksel modelde R<sup>2</sup> (R – square) değeri 79,57 % olarak hesaplanmıştır. Regresyon analizi sonucu elde edilen standart denklem aşağıda gösterilmiştir:

$$\text{Dozaj miktarı (gr / m}^3\text{)} = 3,95 + 0,7577 * (\text{Askıda Katı Madde}) \quad (1)$$

**Tablo 1:** Jar testi deneme sonuçları

Tarih	Yağış Durumu	Nehir Ham Su Sıcaklığı (°C)	Nehir AKM (mg / L)	Dozaj Miktarı (gr / m <sup>3</sup> )	Lab Çıkış AKM (mg / L)
8.06.2018	Yok	25,0	5,7	7,6	4,0
18.06.2018	Yok	26,0	6,0	7,6	4,0
2.07.2018	Yok	27,0	5,0	7,8	3,0
18.07.2018	Yok	24,0	8,9	10,5	5,0
17.08.2018	Yok	23,0	9,8	10,7	4,0
29.08.2018	Yok	24,0	7,8	10,1	4,0
6.09.2018	Yağmurlu	24,0	11,0	12,6	4,0
10.09.2018	Yağmurlu	20,0	20,5	19,5	4,0
9.10.2018	Yok	16,0	11,8	13,0	4,0
22.10.2018	Yok	19,0	14,5	13,9	5,0
8.11.2018	Yok	13,0	21,5	15,2	5,0
20.11.2018	Yağmurlu	11,0	34,3	30,2	4,0
28.12.2018	Yağmurlu	6,0	37,0	32,8	4,0

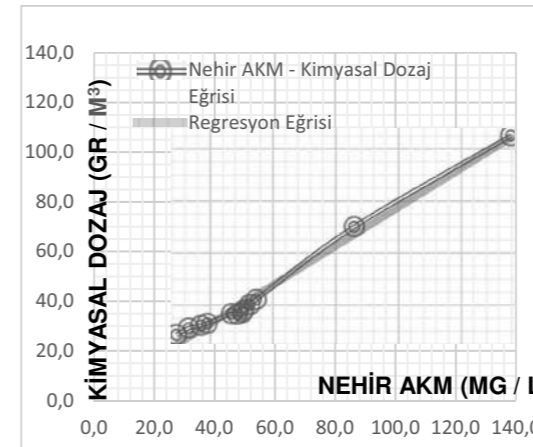
Laboratuvarda yürütülen jar testleri akabinde laboratuvar sonuçları ile işletme şartlarının simüle edilebilmesi için sahada doğrulama testleri gerçekleştirilmiştir. Doğrulama testleri çöktürme havuzunda gerçekleştirilmiştir. Doğrulama testi neticesinde elde edilen veriler Tablo 2 de gösterilmektedir:

**Tablo 2:** Çöktürme havuzunda gerçekleştirilen doğrulama testi

AKM (mg / L)	Havuz dozlanan (Öncesi, gr / m <sup>3</sup> )	Havuz dozlanan (Sonrası, gr / m <sup>3</sup> )	Havuz Çıkış AKM	% Dozaj farkı
29,3	30,0	28,4	5,0	5,3
33,2	33,0	31,0	5,0	6,1
37,1	34,0	32,0	5,0	5,9
39,1	34,0	32,8	4,0	3,5
46,9	39,0	36,6	4,0	6,2
48,8	40,0	36,3	4,0	9,3
50,4	45,0	37,0	3,0	17,8
50,8	44,0	38,0	3,0	13,6
52,7	53,0	40,0	4,0	24,5
54,7	46,0	42,0	4,0	8,7
86,0	73,0	70,0	5,0	4,1
135,9	111,0	105,0	4,0	5,4

Doğrulama testi sonucunda test öncesinde ve sonrasında dozlanan ortalama kimyasal dozaj farkı % 9,2 olarak gerçekleşmiştir. Bu yüzde dozaj farkı, operatörün dozladığı kimyasal ile sahada yapılan doğrulama testi sonrasında oluşan anlık farkı göstermektedir. Grafik 1 de doğrulama testinde nehir AKM değerine karşı çöktürme havuzuna yapılan kimyasal dozaj grafiği verilmektedir.

**Grafik 1:** Nehir AKM değerine göre kimyasal dozaj grafiği



### 4. Sonuç

Yaklaşık 1 sene süren iyileştirme projesi sonucunda:

- ✓ Nehir AKM değeri ölçüm cihazı ile anlık olarak operatör ekranından takip edilebilmekte,
- ✓ AKM ye karşı standart kimyasal dozaj denklemi elde edilerek uygulamada standartlaşma sağlanmış,
- ✓ OPEX proje çalışmasıyla işletmenin bilgi birikimi kabiliyeti artmış,
- ✓ Yapılan optimizasyon projesiyle işletmede kullanılacak koagülant kimyasalı azalacağından sürdürülebilir çelik üretimine katkı sağlaması öngörülmekte,
- ✓ Yapılan çalışmayla yıllık ortalama %18,0 civarında kimyasal tasarrufu sağlanabileceği ve bunun da şirketimize yıllık bazda kimyasal tasarruf oranına bağlı olarak önemli ekonomik kazanç sağlayacağı öngörülmektedir.

## Investigation of Silicon Increment at Steelmaking Process

Çelik Üretim Proseslerinde Silisyum Limitli Çeliklerde Silisyum Artışının İncelenmesi

M. Kağan Keler, Zafer Çetin, İsa Keskin

Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları A.Ş. • Turkey

### Abstract

The iron and steel industry is one of the largest industrial sectors in terms of heavy production. Steel products are crucial for industrial and economic growth of countries and the aspects for this challenging sector are getting bigger day by day. The modern integrated steel industry operates different processes such as sinter and cokemaking, ironmaking in the blast furnace (BF), and steelmaking in the BOF process[1]. Different steel grades can be produced for different purpose. Some steel classes have a limit of Silicon in Aluminum-killed liquid steel. During the steelmaking process, there are often some dramatic increments at Silicon level after secondary steelmaking process. This problem may affect the final composition and cause diversion of steel-grade. After secondary metallurgy, the molten steel has a solid interaction between tundish slag and tundish refractory. It is crucial to increase the cleanliness of liquid steel in tundish for manufacturing high-quality steel products. Therefore, the reoxidation behavior of Aluminum is determined with tundish flux, which contains high ratio of SiO<sub>2</sub>.

### 1. Introduction

In this study, %0.03 Silicon-limited, low carbon steel grades have been investigated with the aspect of Silicon increment by using thermodynamic tools and some experimental studies. Basic oxygen furnace (BOF), ladle furnace (LF) and continuous casting processes (CCP) follows this route to generate steel products such as slabs and billets. Substitution reactions between Silicon and Aluminum have been clarified at tundish metallurgy section. Hence, it is determined that, some tundish operations accelerated the reactions with kinetic effect on Silicon level in liquid metal. To prevent this situation, some improvements have been developed for getting remarkable results for steel quality.

It is crucial to make liquid steel cleaner in tundish at continuous casting process. At this point, tundish metallurgy is related some reactions between the elements in steel. Aluminum and silicon behave apparently different with tundish slag. On the other hand, some kinetic factors during steelmaking operations have also powerful effect to change the chemical analyze and steel quality.

### 1.1 Technical Assessment

Biggest part of non-metallic oxide inclusions are shaped during deoxidation and reoxidation processes. Steel refining process embraces that removing inclusions to the slag, such as argon stirring of the ladle and flow pattern manage in tundish. Therefore, the chemical composition of the ladle, the tundish and the mould slags should be optimized to handle and decompose inclusions, although a compromise with the other functions of the slag is necessary.

In secondary metallurgy process, (FeO<sub>l</sub> + MnO) content must be lower than 1 wt % for the useful desulphurization and the suppression of the steel reoxidation.

Reduction and synthesis processes of oxides can be estimated by using Ellingham Diagram (Figure 1).

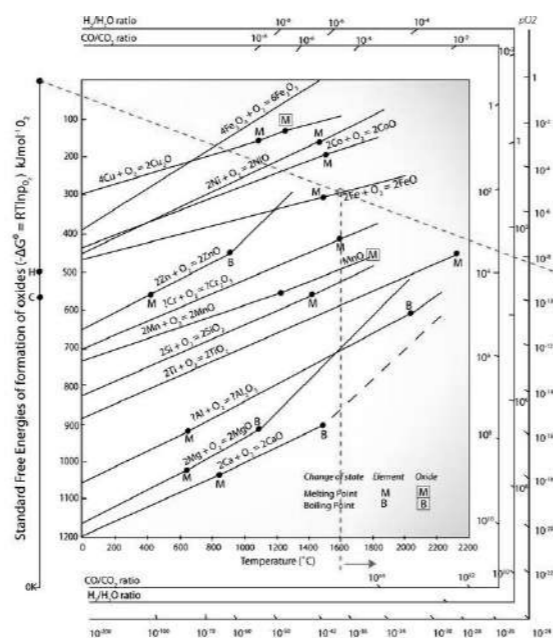


Figure 1. Ellingham diagrams of Silicon, Iron and Aluminum [2]

When it comes to deoxidation behavior Silicon and Aluminum are strong deoxidizer elements for molten steel. Typically, there are two different types of steel at industrial

term. One of them is silicon-killed and the other one is Aluminum-killed steel.



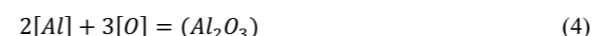
The equilibrium constant of the reaction (1) is

$$K_{Si-O} = \frac{a_{SiO_2}}{[Si][O]^2 f_{Si}^{Si} f_{O}^{O^2}} \quad (2)$$

At 1873 K the equilibrium constant  $K_{Si-O} = 25099$ . The minimum concentration of oxygen in the melt is:

$$[\%Si]_{min} = \frac{1}{\sqrt{K_{Si-O} [Si] f_{Si}^{Si} (f_{O}^{O^2})^2}} \quad (3)$$

The deoxidation of steel via Aluminum proceeds according to reactions below:



$$\log K_{Al-O} = \frac{a_{Al_2O_3}}{[Al]^2 [O]^3 f_{Al}^{Al} f_{O}^{O^2}} \quad (5)$$

$$[\%O] = \frac{1}{\sqrt[3]{[Al]^2 (f_{Al}^{Al})^3 K_{Al}}} \quad (6)$$

Deoxidation practice of steelmaking depends on Silicon concentration and the temperature of the metal, but also on the activity  $a_{SiO_2}$ . At high temperature, value of  $[Si]$ ,  $[\%Mn]$  and  $[\%C]$  are crucial to specify reaction direction. Particularly while the increase in the percentage of silicon in the liquid steel, minimum concentration of oxygen  $[\%O]_{min}$  is acquired; any further increase in  $[Si]$  results in an increase of  $[\%O]$ . Initially, this situation mentions that the product of the activity coefficients  $(f_{Si}^{Si})^2 f_{Si}^{Si}$  reduce faster than the increase of  $[\%Si]$ .

An investigation of the reaction (6) clarifies that at some growth of the concentration of Al, the activity component  $f_{O}^{Al}$  decreases quicker than  $[\%Al]^{2/3}$  increases.

The main point is that, certain values of  $[\%Al]$  and  $[\%O]_{min}$  play an important role to understand equations' trends in steelmaking process. An advanced increase in  $[\%Al]$  emerges in an increase of  $[\%O]$ . To get  $[\%Al]_{extra}$ , the first derivative of the logarithm of the concentration of oxygen divided by the concentration of aluminum must be set equal to zero [3].

### 2. Experimental Procedure

To understand the main problem between Aluminum and Silicon, steel and slag samples have been collected after each trial heat. In addition, temperature after secondary metallurgy and tundish have been stored and checked. Slag composition in secondary metallurgy and silicon level after each process are also noted in the charts.

The chemical analysis range of low carbon steel grade, which investigated in recent study, is given at Table 1.

Table 1. Low carbon steel grade chemical analysis (percentage)

C	Si (max)	Mn	S (max)	P (max)	Al (max)
0.02-0.05	0.03	0.15-0.25	0.012	0.016	0.025-0.045

### 2.1. Industrial Tests

During the experimental tests, over 1000 heats have been imposed between ladle furnace and continuous casting process. Values of Silicon and Aluminum were measured at when ladle entered to station. After operational works ended in secondary metallurgy process, the outlet values of both element have been mapped. Therefore, this research provided to clarify  $\Delta Si$  and  $\Delta Al$  values in industrial heats. The average increase between start and finish time at secondary metallurgy is stated as 30 ppm for silicon. On the other hand, after the continuous casting process silicon value increased about 200 ppm when it is compared to secondary metallurgy process.

On behalf of this, some parameters that can relate the silicon increase are listed below. In tests, these parameters were investigated to determine whether there is a correlation with the increase in silicon.

- Previous heat grade (Figure 2)
- Previous steel type
- Continuous casting machine type
- Average heat number in tundish
- Calculated slag capacity (Figure 3)
- Applied CaF<sub>2</sub> rate in ladle furnace
- Desulphurization rate in ladle furnace
- Heat losses in tundish

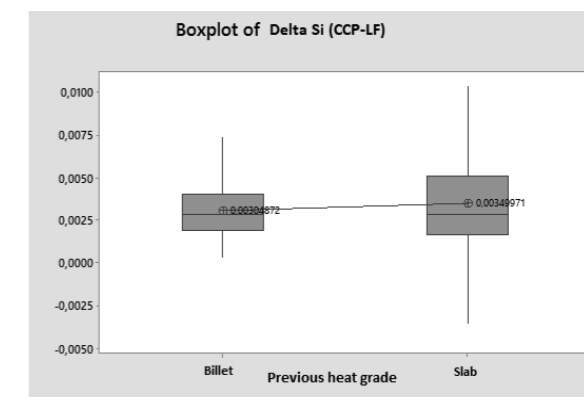
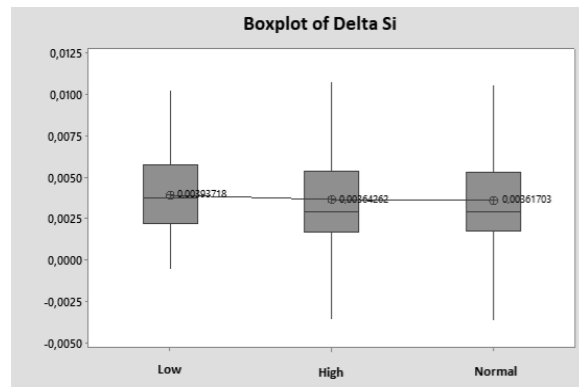
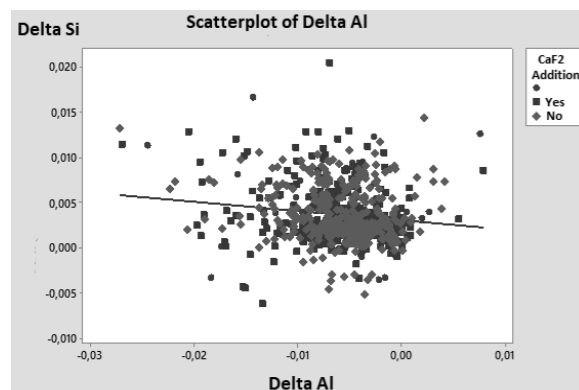


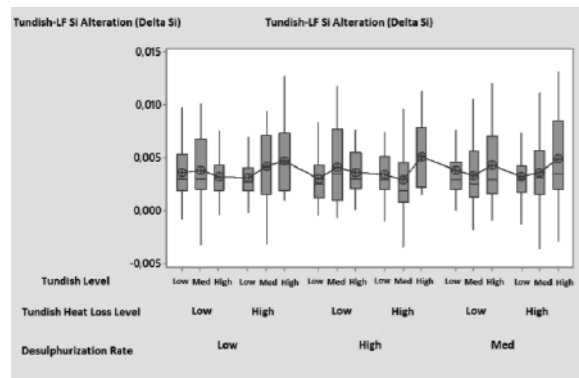
Figure 2. The change of Silicon between LF and CCP with compare of previous heat grade



**Figure 3.** The change of Silicon in steel- related with calculated slag capacity



**Figure 4.** Si increase and decrease of Al in the ladle furnace according to addition of Fluorite (CaF<sub>2</sub>)



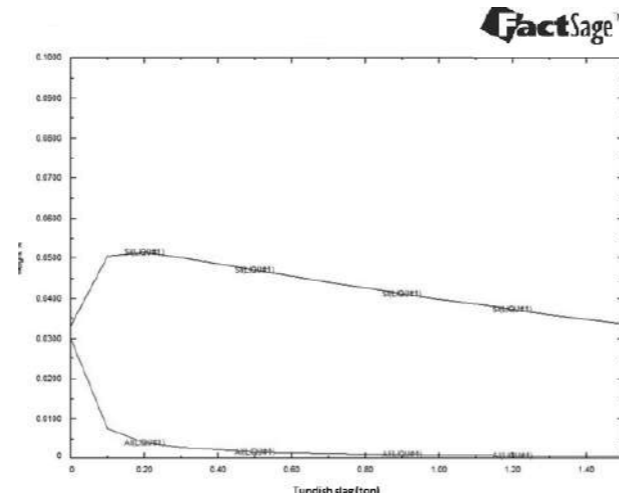
**Figure 5.** Increase of Si and Al reduction according to the amount of tundish casting, tundish heat loss and the amount of desulfurization applied in the ladlefurnace

#### FactSage Thermodynamic Tundish Model

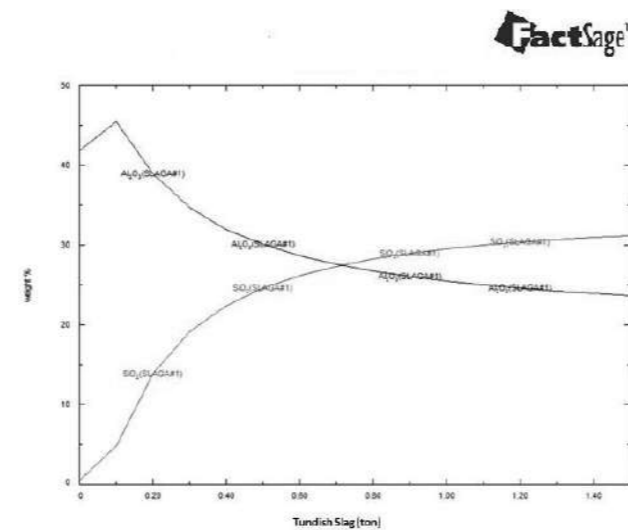
Due to the mathematical and kinetic model, the data were analyzed thermodynamically via using FactSage 7.2 thermodynamic software. It was determined that Silicon increased in steel and consequently Aluminum decreased

because of volumetric increase of tundish slag and reaction with steel (Figure 6). In addition, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and SiO<sub>2</sub> show upward trend inversely proportional at slag tundish equilibrium.

FactSage equilibrium graphics include low carbon steel (currently used for industrial tests), tundish flux, tundish slag and ladle furnace slag. In tundish model, 70 tons of steel have been correlated with tundish slag and other components related with flux makers.



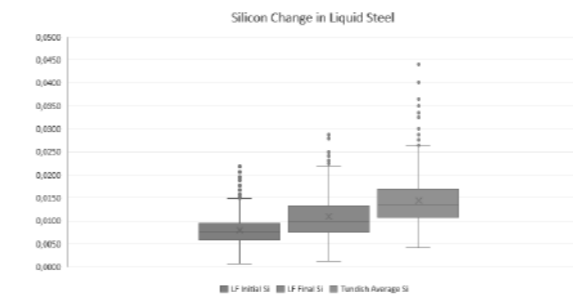
**Figure 6.** A tundish thermodynamical model- Increase of Si and Al reduction according to the tundish slag



**Figure 7.** Rate of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and SiO<sub>2</sub> content in tundish slag

### 3. Results and Discussion

At trial heats, the differences ( $\Delta$  Si,  $\Delta$  Al) between chemical analyses between each process step have been checked. The trends of Silicon change at LF input, LF output and tundish are indicated in Figure 8. This shows an extreme increment for Si, at continuous casting process.



**Figure 8.** Silicon change in liquid steel at LF and CCP

Molten slags have ionic charged anions and cations. Positive ions (cations) connect negative ions at complex slag system in steelmaking processes. Complex silicate, aluminate and phosphate ions have a wide effect on slag composition and steel quality. The addition of FeO, CaO and MgO to liquid SiO<sub>2</sub> slag occurs a breakdown of the silica network.

The reoxidation behavior of liquid steel can be drafted for high period of casting process because of continuous decomposition of SiO<sub>2</sub> from the rice husk ash (RHA) layer to the molten slag pool. The silica activity in slag increases because of kinetic and thermodynamical conditions. Huge amount of SiO<sub>2</sub> at RHA provides to effect substitution reaction between the elements of Aluminum and Silicon. High value of SiO<sub>2</sub> in tundish flux may affect degradation into Si and O at slag-metal interface.

### 4. Conclusion

In the theoretical and experimental studies, the casting data was analyzed and the following results were obtained:

- It was determined that molten steel and tundish flux were the main factors affecting the reoxidation phenomenon.
- The double layer practice prevents both thermal losses and prevents the formation of reoxidation. However, since rice husk ash contents SiO<sub>2</sub> structure close to 90%, SiO<sub>2</sub> begins to dissolve in the molten slag pool after a specific certain time.
- The SiO<sub>2</sub> in the slag reacts with the aluminum. This occurs the displacement reaction between the elements.

- The high silica content in the tundish can cause Si and O to decompose in the slag-metal interface. The super-saturated oxygen at tundish SiO<sub>2</sub> present in the molten metal at the metal-slag interface.

### Acknowledgment

Erdemir R&D Center and Isdemir Iron and Steel Works Co. supported this research.

### References

- [1] K. Keler, İ. KESKİN and J. Cappel, Controlling the Threats of Steelmaking by Material Balance Analysis, Iron & Steel Technology, April 2019.
- [2] <<https://www.doitpoms.ac.uk/tlplib/recycling-metals/ellingham.php>> Dated: 17.04.2019.
- [3] Reoxidation of Steels: Part One, Total Materia Database, Dated: 17.04.2019

## Santrifüj Pompalarda Seramik Kaplama Uygulaması

Double Suction Centrifugal Pump Ceramic Coating Project

Cesur Savaşçı, Osman Köseoğlu, Mustafa Enes Mazlum

### Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları T.A.Ş. • Türkiye

#### 1. Giriş

ERDEMİR' de üretim sürecinde elde edilen bir ton sıvı çelik için 2018 yılı verilerine göre yaklaşık 120 ton su kullanılmaktadır. Bu suyun yaklaşık 9 tonu servis suyu olup, geriye kalan 111 ton su, artıldıktan sonra sistemde yeniden kullanılabilen Resirkülasyon suyu. Resirkülasyon Sistemi suyu, 1 ve 2 No.lu Sıcak Haddehaneler Kombine ve Şerit Hadde hatlarında, Sıcak haddehane slab fırınları ve motor odalarında, Çelikhane Pota ısıtma fırınlarında, Sürekli Döküm Tesislerinde, Kuvvet Santrali ve Hava Ayırıştırma Tesisi Turbo Kompresörlerinde soğutma amaçlı kullanılır.

Yaptığımız uygulama Resirkülasyon sisteminin kritik ekipmanlarından olan transfer pompalarından HSMF1 Soğutma Kulesi'nde bulunan 1,1 MW elektrik enerjisi gücü ile çalışan DN 700 boyutunda ÇEP Santrifüj tipi (Çift Emişli) Transfer Pompasına uygulanmıştır.

#### 1. Çelik Sektöründe Resirkülasyon Pompalarının Kullanımı

Demir Çelik Tesislerinde su, genellikle ısı taşıma aracı olarak kullanıldığından dolayı sürekli olarak işletmeler içerisindeki ünitelerde döngüye sokulur. Resirkülasyon Sistemleri kapalı çevrim olarak çalışır ve sistemde çalışan suyun buharlaşma kayıpları make-up hatlarından servis suyu verilerek tamamlanır.

Kaynak (nehir, dere, çay, vs.) yakınında bulunan düşey millî türbin pompaları vasıtası ile yuvarlak havuzlara transfer edilen ham su koagulant kimyasalları ile muamele edilerek artırılır ve servis suyu haline dönüştürülür. Servis suyu; içme suyu üretiminde, buharlaşma kayıplarından dolayı Resirkülasyon hatlarının make-up'larında ve bazı ünitelerde direkt soğutma suyu olarak kullanılır.

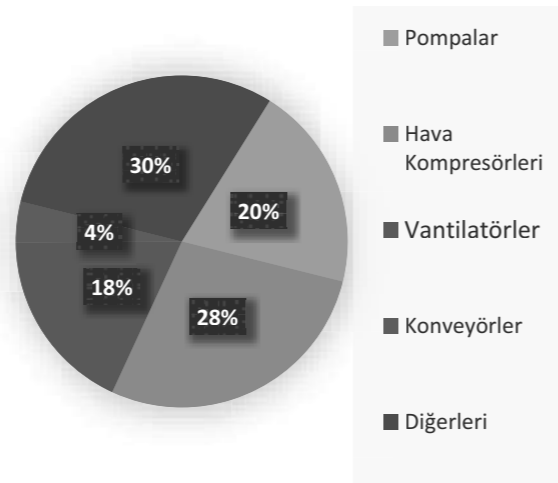
Tesislerde Resirkülasyon sisteminde dolaşan su ilk olarak Tufal Çukurlarına gelir. Kaba çöktürme ve yağ toplama işleminin ardından su, pompalar vasıtası ile içinde çeşitli yüksekliklerde antrasit, kum ve çakıl bulunan filtre tanklarına gönderilir. Yağlı ve tufallı suyun temizlenmesi esnasında kirlenen filtreler otomatik ve zaman ayarlı olarak geri yıkama yapmaktadır. Geri yıkama zamanı gelen filtre ilk önce hava, sonra su ile yıkanarak temizlenir. Yıkama

sonucu çıkan yağlı ve tufallı su geri yıkama havuzuna alınarak, tufali çöktürülmekte, yağı yağ sıyrıcılar ile temizlenerek tekrar filtrelerin girişine verilmek sureti ile geri kazanılmakta böylece çevre kirliliği de önlenmektedir.

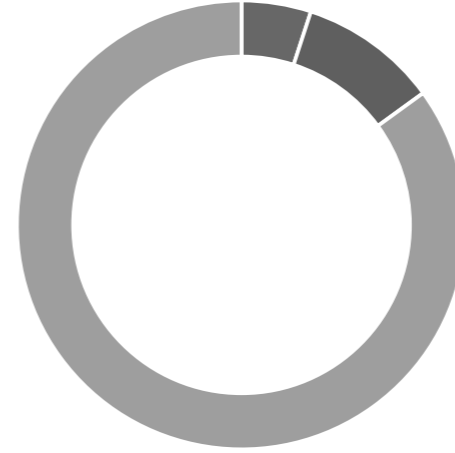
Filtreleme işleminden çıkan temiz su soğutma kulesine çıkar, soğutulduktan sonra yatay millî santrifüj pompalar vasıtası ile yeniden sistemlere gönderilir ve Resirkülasyon kapalı çevrimi tamamlanmış olur.

#### 2. Sanayi Sektöründe Pompa Veriminin Önemi

Dünyada elektrik enerjisi tüketiminin yaklaşık %20'si pompa sistemleri üzerinde harcanmaktadır. 21. Yüzyıl başlarına kadar Dünyada pompaların alımı sürecinde öncelikli olarak güvenilirlik, bakım kolaylığı, ilk yatırım maliyeti ve tanınmış firma isimleri ön plana koyulmaktaydı, enerji tüketimi konusu ise pompa seçimlerinde en az önemsenen konuların başında geliyordu. Son yüzyılda ise insanlığın, enerji verimliliği konularına yönelmesi ile birlikte bunun nasıl gerçekleştirileceğine dair çalışmalar hız kazanmıştır.(1)



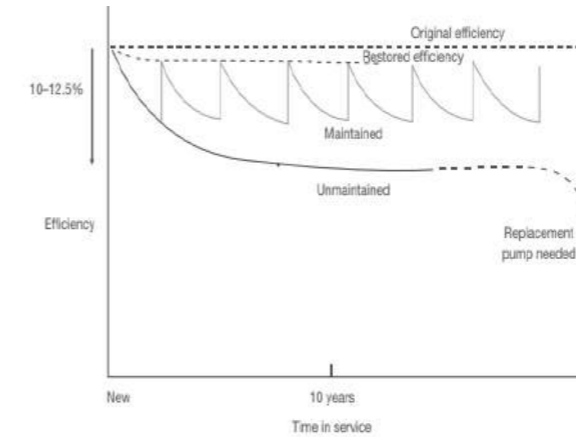
Resim 1. Dünya Motor Enerjisi Tüketim Oranları



Resim 2. Pompaların Ortalama Ömür Boyu Maliyet Dağılımı

Resim 2. Pompaların Ortalama Ömür Boyu Maliyet Dağılımı

Pompaların Ömür Boyu maliyet oranını gösteren tablo Resim 2. 'de gösterilmiştir. Bu tabloda pompa seçiminde dikkat edilmesi gereken asıl konunun enerji verimliliği olması gerektiği açık şekilde görülmektedir.



Resim 3. Pompa Periyodik Bakımlarının Verime Etkisi (2)

Pompaların mekanik aksamaları her makinede olduğu gibi zamanla aşınır, etiket değerlerini karşılayamaz ve bunun sonucunda enerji verimliliğinde azalmalar meydana gelir.

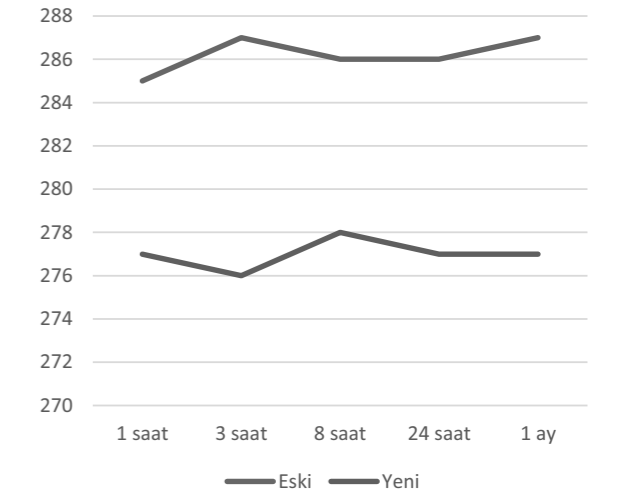
Son yıllarda pompaların enerji verimliliğini arttırıcı farklı çözümler geliştirilmiştir. Bunlardan bazıları, Sızdırmazlık sağlayan ve çok düşük sürtünme kuvvetine sahip mekanik salmastralar, Kontrol vanalarının yerine frekans konvertörleri

pompa sistemleri kurulması, yüksek enerji verimliliğine sahip motor seçimleri ve pompa iç gövde yüzeylerine epoksi kaplama yapılarak sürtünme kayıplarının ve gövde içerisinde oluşan aşınmaların önüne geçilmesi olarak sıralanabilir.

#### 3. Seramik Kaplama Uygulaması

Sistemde 40 yıldır aralıksız olarak çalışan ve ortalama 1,1 MW Elektrik Motoru ile çalışan ÇEP (Çift Emişli) Tipi transfer pompasına su ile gövde üst yüzeyinde sürtünme katsayısını azaltıp, enerji verimliliğini artırma ve pompa rotor, fan ve gövde elemanlarının ekipman ömürlerini artırma amacı ile seramik kaplama uygulaması 2018 yılı içerisinde yapılmıştır.

Çift kat dolgu seramik kaplama boyası HSMF1 sisteminde Re-sirküle edilen suyun kimyasal analizlerine uygun olacak şekilde seçilmiştir. Öncelikle sistemden de-montajı yapılan pompanın alt ve üst gövdesine kaplama yapılmış olup, hemen sonrasında korozyonun tekrar oluşmaması için ilk kat ve ardından 2. Kat epoksi kaplama uygulaması yapılmıştır.



Resim 4. Pompanın Zamana Bağlı Olarak Çektiği Akım Değerleri

Uygulamaya başlamadan önce, pompanın çalışırken ürettiği debi ve çektiği akım değerleri trendi izlenmiştir. Montajı tamamlanan pompanın çalıştırılması ile beraber pompanın ürettiği debi ve pompanın çektiği akım eski değerler ile karşılaştırılmıştır. 7350 m<sup>3</sup>/h debi üretimi için seramik kaplama uygulaması yapılmamış pompa ortalama 286A akım çekerken, Seramik kaplama uygulaması yapılan pompa aynı debi üretimi için ortalama 277A akım çektiği gözlemlenmiştir.

Uygulama sonrasında verim artışı ortalama %2,9 – 3,1 arasında olup, pompanın yıllık net enerji maliyeti tasarrufu yaklaşık olarak 16.000 \$/yıl olarak hesaplanmıştır.



Resim 4. Pompanın Seramik Kaplama Öncesindeki Durumu



Resim 5. Pompa fanının 1. ve 2. Kat Seramik Kaplama Uygulanmış Durumu

Sonuç olarak Sistemlerde uzun süredir çalışan, ilk yatırım maliyeti fazla ve yüksek akım çeken pompaların Seramik Kaplama Uygulaması ile enerji verimliliği artırma yöntemi diğer pompalarda da kademeli bir şekilde ERDEMİR içerisinde yapılmaya devam edilecektir. Akım değerlerinin düşürülmesi ile birlikte pompanın ekipman ömürlerinde sağlanacak artış her bir pompa için incelenecektir.

#### Kaynakça

- [1] Study On Improving The Energy Efficiency Of Pumps, ETSU, AEAT PLC, (United Kingdom)  
CETIM (France), David T. Reeves (United Kingdom), NESA (Denmark), Technical University Darmstadt (Germany), (European Commission), February 2001  
[2] <http://www.jakob-albertsen.dk> Dated:10.12.2018

## Predictive Maintenance with Vibration Analysis in Erdemir Scale Pit Pump Motors

*Erdemir Tufal Çukuru Pompa Motorlarında Vibrasyon Analizi ile Kestirimci Bakım Gerçekleştirilmesi*

Yasin Güven, Yusuf Onur Karakaya, Uğur İleri, Ömer Faruk İlhan

Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları A.Ş. • Turkey

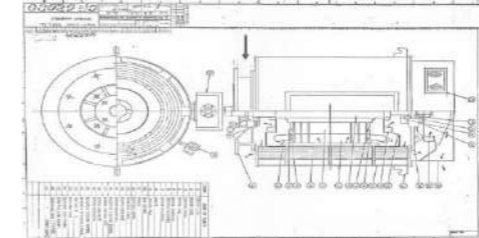
#### Abstract

In huge industrial companies such as Erdemir, it is important to ensure the sustainability of equipment and facilities with the concept of predictive maintenance. The focus of the study is the scale pit pump motors, 860 KW Squirrel Cage AC Asynchronous motors. In our study, vibration sensors were installed at the interconnection point of each pump to the motor. These vibration values were monitored from Scada system also by. By recording these analog signals in the scada system witch engineering work. The predictive maintenance system has been established with instant monitoring, alarm information and historical data analysis for the costly huge scale pit pumps and motors. The trend graphs taken from the scada page were interpreted.

#### 1. Introduction

The most critical equipment of the recirculation plants are the transfer pumps Erdemir Utilities Management. Also their cost value and maintenance cost is too much. If circulation cannot be achieved, the main production facilities can be put into full standstill and production losses may be caused. In our paper, we will examine the vibration analysis in the scale pit pumps which are among the critical pumps. Scale pit pump motors are AC type asynchronous motors. With the vibration analysis to be done at the motor and pump interconnection point, there will be a chance to take precautions before the damages that may occur in both equipment. Firstly; for the vibration analysis, the mounting place and sensor type were determined. The measuring point is shown in figure 1 below.

Figure 1. Motor and pump interconnecting point.



Source: [1] Pump and Motor Drawings, 1989, Tokyo, Japan.



Figure 2. Mounting place (between pump and motor).

The vibration sensor is uniaxial with 1 kHz capacity, with operating standards suitable for the environment (-5C + 50C operating temperature and IP 67 protection class) [2],[3]. Furthermore, it is possible to adapt the sensor to the control system via the 4-20 mA output feature. The guide that was written by the Erdemir people was used to add these vibration signals PLC and Scada systems[4],[5]. In PLC control system and scada system, 4-20 milliamper signal is defined on the screen as 0-25 mm / s.

Figure 3: The pump popup on the scada system



Source: [6] Erdemir Water Plant Recirculation System Scada Project, 2019, Zonguldak, Turkey..

## 2. Observations and Analyzes

Scada system allows both historical and online analysis. These pumps are working side by side and in this article these vibration signals were analyzed with different working combinations like running only one pump, two pump etc.

In figure 4 and 5 below, while the vibration of pump A proceeds around 0.90 mm/sec, the vibration of Pump C is around 1.96 mm / sec.

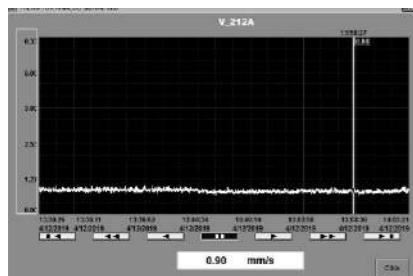


Figure 4. Trend for PUMP A (B is not running, A and C are running).

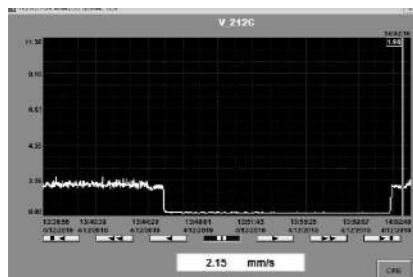


Figure 5. Trend for PUMP C (B is not running, A and C are running).

In Figure 6.1 below, when the A pump is started, the vibration value reaches to 12 mm/s with the effect of the start and then reaches to 0.70 band. Fortunately this peak ends within a short time. After a while, when pump B is started, it is observed that vibration of pump A increases to 1.05 band (Figure 6.2 below). In figures 6.1 and 6.2, the pump C stops.

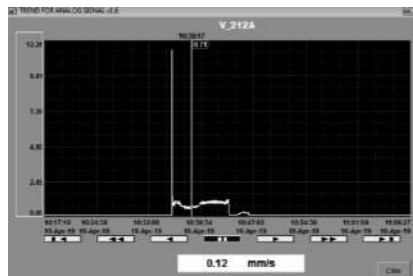


Figure 6.1. Trend for PUMP A (B and C is not running, A is running; at that time of hairline).

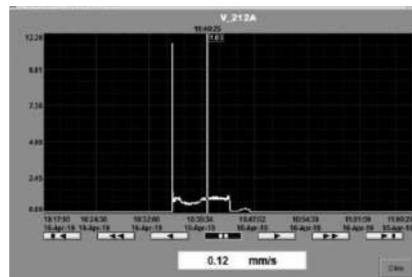


Figure 6.2. Trend for PUMP A (C is not running, A and B are running; at that time of hairline).

In Figure 7 below, when the trend of the B pump is examined, it is observed that the vibration signal peaked similarly to the pump A but fortunately value is smaller than A. The peak value is approximately 2.5 mm/s.

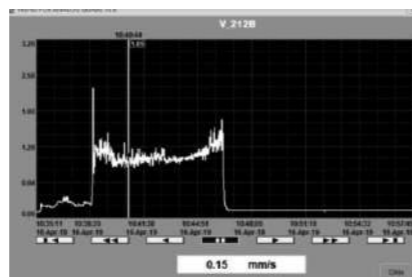


Figure 7. Trend for PUMP B (C is not running, A is running and B is running).

## 3. Results and Discussion

In the vibration analysis predictive maintenance application, the vibrations of the three pumps of the scale pit were examined while working alone and together. As a result, it has been observed that the most healthy one is pump A because of the lowest vibration (only comment with vibrations) in all conditions. It is observed that the pump C is working with the highest vibration value and affects the other pumps in a bad way. The vibration value of the pump B is between the pump A and C while it is operating alone. However, there is a different situation for the B pump. While any of the A or C pumps are operating, it is observed that Pump B is highly affected by these two pumps. Normally, considering that 24 hours, any of the pumps is working non stop in this plant, so the service life of the pump B will decrease more fast according to others it will be more likely to breakdown than others.

## 4. Conclusion

In this predictive maintenance application, it is possible to examine the vibrations of all pumps online and historically. Also provides comparing them against each other. As a result, in these critical pumps whose vibrations are monitored via the scada system, the advantage of being able to track potential damage in advance and the system of analysis has been established. The analysis provided forward-looking tips for the performance of these pumps.

## References

- [1] Pump and Motor Drawings, 1989, Tokyo, Japan.
- [2] IFM VKV021-02 Datasheet, 2016
- [3] < <https://www.ifm.com> > Dated: 01.02.2019.
- [4] Allen Bradley ControlLogix 5000 Analog Input Sinyali Tanımlama Tamilatı, in BBYS, Erdemir, 2015, Zonguldak, Turkey.
- [5] < <http://bbys.erdemir.com.tr> > Dated: 22.09.2015
- [6] Erdemir Water Plant Recirculation System Scada Project, 2019, Zonguldak, Turkey.

**Note: It will be appropriate to present this article as a poster.**



## Reductive Alloying of Manganese Oxides to Steel in Induction Furnace

Manganez Oksitlerin Redükleyici Alaşımına ile İndüksiyon Ocağında Çeliğe Alaşımlanması

Selçuk Yeşiltepe<sup>1</sup>, Çetin Bağlan<sup>2</sup>, Hüseyin Ş. Soykan<sup>2,3</sup>, Mustafa Kelami Şeşen<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Istanbul Technical University, <sup>2</sup>MATİL, <sup>3</sup>Kardemir • Turkey

### Abstract

Manganese is known for improving steel properties such as higher strength, impact resistance, and hardness. Manganese alloying process is done with ferromanganese. Ferromanganese is both used for alloying and de-oxidizing operations. In this study manganese is alloyed to steel via reduced manganese oxides. Manganese concentrate is used as manganese source. Induction furnace with capacity of 50 kg's is used for smelting and alloying operation. Manganese ore concentrate is reduced in molten steel via carbothermic and silicothermic reduction mechanisms. Five different castings are done for observe different conditions. High casting temperatures selected to favor manganese oxide reduction. Carbon is used as reductive agent in molten steel. Reduction and alloying efficiency of process is evaluated with chemical composition analysis of cast steels. Chemical analysis's of samples are done with optic emission spectroscopy. Results showed that silicothermic reduction of manganese oxide is dominant reaction in reductive alloying process more than carbothermic reduction. Carbon alloying efficiency, reduction of manganese concentrate and silicon effect on manganese reduction is evaluated in this study.

### 1. Introduction

Manganese is one of the main sources for steel production. Used for both de-oxidizing and alloying operation.[1] Manganese is used in form ferromanganese. Ferromanganese is produced in blast furnace and electric arc furnace processes. Ferromanganese can be produced with silico thermal process to have ferrosilicomanganese alloy.[2] Different techniques are used for decreasing carbon amount in ferromanganese due to low carbon demand.[2] Two different basis of ferromanganese production can be found in literature according to slag operation. Discard slag and processed slag techniques are used due to manganese amount in slag.[2] High manganese containing slags are evaluated in an extra process for manganese recovery while low manganese slags are discarded directly.

Manganese amount that is exported to Turkey on March 2018 was 1.2 million tons.[3] Mean price of this exportation was 170 \$ per ton. This large amount of material and economic value is making alternative route

seeking a mandatory task for Turkish metallurgical industry. Manganese has a crucial effect on steel production thus cannot be alternated.[4-5] This study is aimed to alloy manganese into steel without ferromanganese use. Manganese concentrate from Denizli region is used for alloying. Purpose in here is to decrease ferromanganese need and use manganese oxide concentrate instead.

### 2. Experimental Procedure

This study used Denizli region manganese concentrate as raw material for manganese. Rebar steel is used for smelting of molten steel. 50 kg capacity of induction smelting furnace is used for smelting and alloying operations. Chemical composition of manganese concentrate is obtained by atomic absorption spectroscopy. XRD pattern of manganese concentrate is obtained by Bruker D8 XRD analyzer and results are evaluated with XPert Highscore program. Steel casting chemical compositions are obtained by optical emission spectroscopy. Alloying samples are casted in resin molds.

Thermodynamic calculations are done with HSC 6.1 thermodynamic database and calculation program. Gibbs free energy of carbothermic and silicothermic reduction reactions are calculated for temperatures of 0 to 1600 with 100 C intervals.

Experimental procedure of casting is given in Table 1. Alloying steps and amounts are given in Table 1. Carbon amount is increased in first casting then both carbon and manganese concentrate are added into molten steel. Casting temperatures are measured with dip in thermocouple of Heraeus Lite Company.

**Table 1.** Alloying procedure with casting temperature.

Procedure	Concentrate, g	Carbon, g	Casting Temperature
Carbon	-	120	1670
Concentrate	375	-	1630
Carbon + Conc.	250	30	1620
Carbon + Conc.	110	18	1670
Carbon + Conc.	110	36	1650

In first step increase in carbon amount is aimed and excess carbon of 150% for second step is alloyed into steel. Total 1% of manganese increase in alloying is aimed. Further steps are considered for observing manganese/carbon ratio effect.

### 3. Results and Discussion

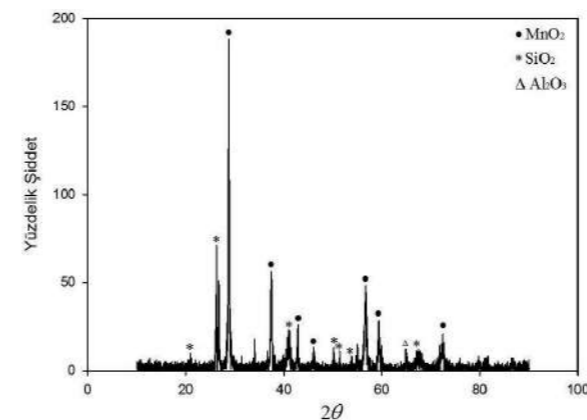
#### 3.1. Characterization of Manganese Concentrate

Chemical composition of manganese concentrate is given in Table 2. Results showed that manganese metal content of concentrate is higher than 50% of weight among with most abundant gangue mineral of SiO<sub>2</sub>.

**Table 2.** Chemical Composition of Manganese Concentrate

Component	Mn	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe	CaO
%	50.2	16.5	1.07	0.32	0.41

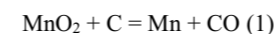
XRD result of concentrate is given in Figure 1. XRD result showed that main gangue minerals in concentrate are Al and Si in form of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and SiO<sub>2</sub>. Manganese is in form of MnO<sub>2</sub> without any other manganese compounds. This result explains high manganese content in concentrate. MnO<sub>2</sub> has 63% of weight of manganese.



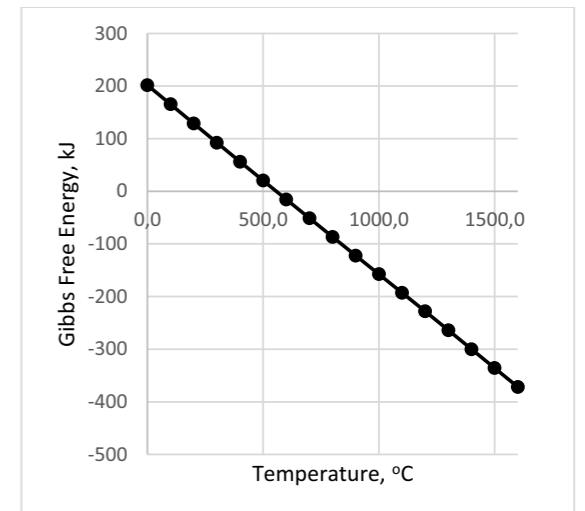
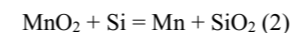
**Figure 1.** XRD result of manganese concentrate.

#### 3.2. Thermodynamic Results

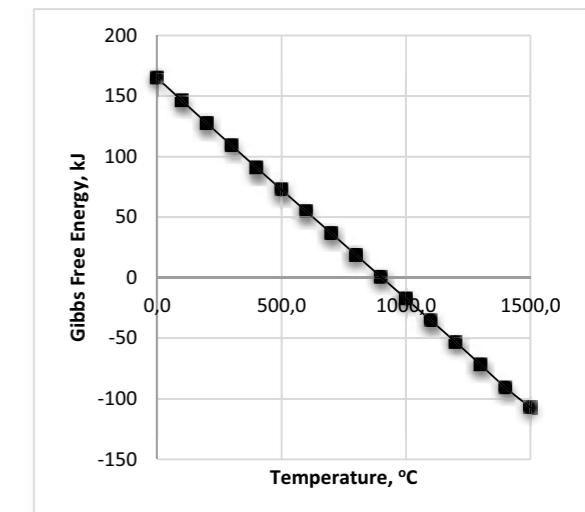
Thermodynamic calculations for both carbon and silicon based reduction is given in Figure 2 and 3 respectively. Reaction used for carbothermic reduction calculations is;



And for silicothermic reaction;



**Figure 2.** Temperature - Gibbs Free Energy diagram of reaction 1.



**Figure 3.** Temperature - Gibbs Free Energy diagram of reaction 2.

Results showed that both reduction reactions are possible but carbothermic reaction is more favorable than silicothermic reaction. Carbothermic reaction starts at lower temperatures and final Gibbs Free Energy value is negatively higher than silicothermic reaction. This result shows that carbothermic reduction scenario is more possible.

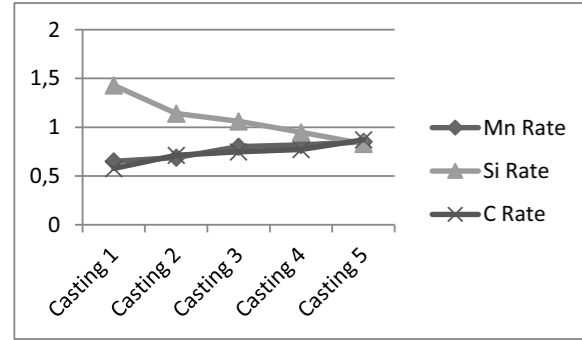
Castings are done at temperatures higher than 1600 C to ensure reactions. Casted samples are analyzed with optic emission spectroscopy and results are given in Table 3.

**Table 3.** Chemical compositions of castings.

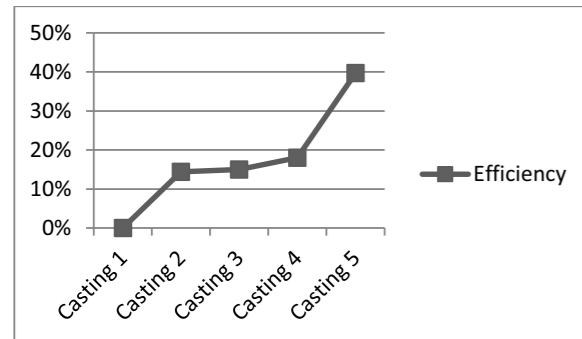
Döküm	C%	Mn%	Si%
1	0,577	0,65	1,43
2	0,713	0,69	1,14
3	0,749	0,80	1,06
4	0,773	0,82	0,95
5	0,871	0,85	0,83

Table 3 shows castings of experimental procedure. Steps that are given in Table 1 for experimental steps. Table 3 shows increase in both carbon and manganese amount while silicon content decreases.

Carbon rate increases due to carbon alloying in process. Silicon rate decreases continuously. Manganese on the other hand increases. Results are given as a figure in Figure 4. Figure 4 shows carbon and manganese rate increases at the same rate while silicon rate in steel decreases continuously.

**Figure 4.** Elemental composition of castings.

Efficiency of manganese alloying is given in Figure 5. Manganese alloying efficiency is increasing with carbon addition yet alloying efficiency is not at a satisfying level. Maximum reached efficiency is 40% and could be reached in 5<sup>th</sup> casting.

**Figure 5.** Manganese alloying efficiency.

#### 4. Conclusion

Results showed that reductive alloying of manganese to steel via manganese concentrate is possible yet not effective. Carbothermic reduction is found to be more favored in thermodynamic point of view yet results showed that alloyed carbon is not used for manganese reduction and carbon is mainly alloyed to steel. Chemical analysis of samples showed that main reaction of manganese alloying is silicothermic.

Thermodynamics favor carbothermic reaction to silicothermic reaction. Highest efficiency of manganese alloying is seen in last casting with 40%. That means reaction needs time to be completed and that could mean reduction with carbon is thermodynamically more favored yet silicon reduction reaction is kinetically advantageous. As conclusion induction smelted steel can be alloyed manganese from manganese oxide with silicon and carbon reduction. Silicon is found to be more efficient reducing agent for manganese oxide and reaction efficiency is 40% at the maximum point. Reductive alloying is possible by means of scientific research yet not an economic way for producing mass production products.

#### Acknowledgment

This study is done in MATİL A.Ş. by means of economic and technologic resources. Authors kindly thank to MATİL A.Ş. for supportive attitude.

#### References

- [1] Habashi F., Handbook of Extractive Metallurgy, Wiley-VCH 1990.
- [2] Gasik M., Handbook of Ferroalloys, Elsevier, 2013.
- [3] <http://www.imib.org.tr/wp-content/uploads/2018/05/2018-YILI-MART-AYI-İHRACAT-DEĞERLENDİRME-RAPORU-last.pdf> Dated: 29.04.2019
- [4] S. Yeşiltepe, Atık Alkali Pillerden Pirometalurjik Yöntem ile Ferromangan Ve Çinko Üretimi, M.Sc. Thesis, 2015, İstanbul, Turkey.
- [5] İ.S. Çardaklı, Production Of High Carbon Ferromanganese From A Manganese Ore Located In Erzincan, 2010, Ankara, Turkey

## Sürdürülebilir Kaynakların Değerlendirilmesi "Çelik Üretiminde Tufal Kullanımı"

Evaluation of Sustainable Resources "The Using Scale in Steel Production"

Uğur Cengiz, Oğuzhan Sakarya, Burak Ekin, Muammer Bilgiç

Bilecik Demir Çelik San. ve Tic. A.Ş. • Türkiye

#### Özet

Hammadde ve enerji kullanımı ile atık üretimi yoğun bir sektör olan demir - çelik sektöründe, sürdürülebilir çelik üretimi için, gerekli tüm önlemlerin alınarak, enerji ve malzeme tasarrufu çalışmalarının yapılması ve çevresel etkilerin minimum değere indirilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu süreçte; döngüsel bir ekonominin kritik öneme sahip bileşenlerinden biri, proses çıktısı malzemelerin işletme içerisinde ve işletmeler arasında yeniden kullanılmasıdır. Bunun temelinde de geleneksel geri dönüşüm çözümlerinin ötesinde, farklı malzeme türlerinin değerlendirilerek yeniden kullanıldığı alanların belirlenmesi yatmaktadır.

Çelik üretiminde sürekli döküm makinesinde kalıp çıkışından başlayarak yarı ürünün hava ile temas ettiği tüm süreçlerde, ardından haddeleme öncesi tav fırınlarında ve haddeleme sürecinde, çeliğin tüm yüzeyinde oksitlenme sonucunda oluşan ve %70-76 oranında demir içeren ve Tufal olarak adlandırılan küçük pulcuklu demir oksit tabakası uzun yıllardır demir - çelik tesislerinde atık olarak düşünülüp satılmıştır.

Bilecik Demir Çelik A.Ş'nin çelikhane ve haddehanesinden çıkarılan Tufal direkt olarak indüksiyon ocaklarında, herhangi bir pirometalurjik işlemden geçmeden hurda ile birlikte şarj kompozisyonunda % 7-10 oranında kullanılmıştır. İndüksiyon

ocaklarında, ergitme işlemi sonunda, 20 farklı dökümden alınan cüruf numunelerinin kütlece Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeriği % 9-39 olarak belirlenmiştir. Çalışmamızda bu tespit ve gözlemler tufalin çelik yapımında kullanılabilirliği açısından irdelenmektedir.

#### Giriş

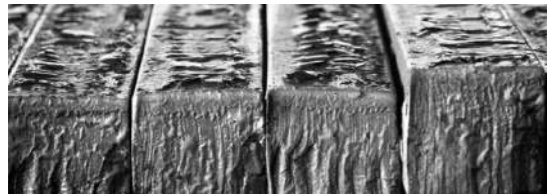
Sürdürülebilirlik, Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonunun Brundtland Raporunda (1987), "Gelecek nesillerin ihtiyaçlarının karşılanmasından ödün vermeden bugünkü neslin ihtiyaçlarının karşılanmasıdır." şeklinde tanımlanmaktadır [1].

Sürdürülebilir üretim ise, temelde sınırsız insan ihtiyaçlarının sınırlı kaynaklarla nasıl karşılanacağı sorusuna dayanmakta, tüketim ve üretim ilişkisinin sürdürülebilirlik bakış açısıyla ele alınmasını sağlamaktadır. Bu bakış açısı, 20.yüzyılın sonlarından itibaren daha sıklıkla konuşulmaya başlanan; sürdürülebilirlik, sürdürülebilir kalkınma ile birlikte sürdürülebilir üretim yöntemleri gibi kavramların ihtiyaçların karşılanabilirliğinin devamı için yaşamsal önem taşıdığı gerçeğiyle giderek daha fazla önem kazanmaktadır [2].

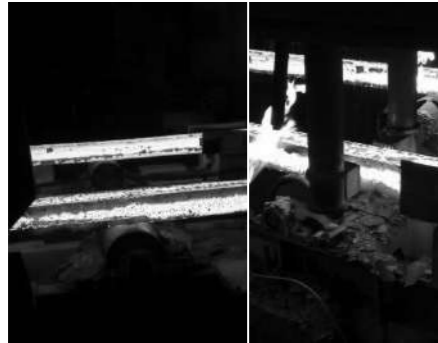
Sürdürülebilir kaynak kullanımı ve temiz üretim yöntemleri, atık oluşumunu azaltmayı, geri dönüşüm ve yeniden kullanım yoluyla üretim süreçlerinde çevre performansını artırmayı ve maliyetleri düşürmeyi hedefleyen bir yaklaşımdır. Ülkemizde 1990'lı yılların sonlarında başlamış olan temiz üretim ve sürdürülebilir kaynak kullanımı çalışmaları işletmeler bazında sürmekte olup, bu kapsamda demir - çelik endüstrisinin çeşitli alt sektörlerinde temiz üretim

teknolojilerinin geliştirilmesi ve uygulamaların yaygınlaştırılması amaçlanmaktadır [3].

Çelik üretiminde sürekli döküm makinesinde kalıp çıkışından başlayarak yarı ürünün hava ile temas ettiği tüm sürelerde, ardından haddeleme öncesi tav fırınlarında, çeliğin tüm yüksek sıcaklık (1100-1300°C) altında yapılan işlemlerinde, çelik yüzeyinde oksitlenme sonucunda oluşan küçük pulcuklu demir oksit tabakasına Tufal denmektedir. Sürekli döküm yarı ürünü olan kütük üzerinde soğuma süresince oluşan Tufal Şekil 1'de ve Şekil 2'de, haddehane Tufal'ı ise Şekil 3'de gösterilmiştir. Yaklaşık olarak %97,16 oranında metalik ve oksijen ile bağlı demir içeren bu malzeme uzun yıllardır demir – çelik tesislerinde atık olarak düşünülüp belli bir sahada biriktirilerek hurda olarak satılmış veya işlem maliyeti sebebiyle üretim sahasından uzaklaştırılmıştır. Türkiye'deki haddehanelerde miktarı tam olarak bilinmemekle birlikte üretilen çeliğin %4-5'i oranında Tufal oluştuğu varsayılmaktadır.



Şekil 1. Kütük üzerinde oluşan tufal tabakası



Şekil 2. Soğuma boyunca kütük üzerinde oluşan tufal tabakası



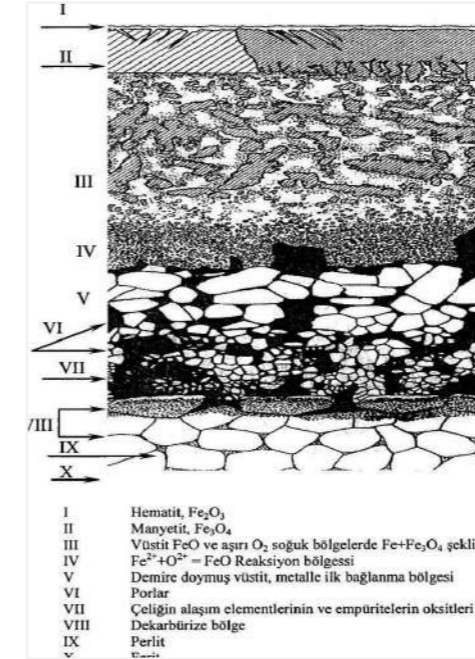
Şekil 3. Haddehane tufalı

Tufal tabakası, çelik üzerinde temel olarak üç farklı faz şeklinde bulunur. Bu fazlar hematit ( $Fe_2O_3$ ), manyetit ( $Fe_3O_4$ ) ve wüstit ( $FeO$ ) olarak isimlendirilen katmanlı yapılar sergilerler.

Wüstit ( $FeO$ ), diğer demir oksitlere göre en düşük oksijen miktarına sahiptir ve metale yakın içteki tabakayı oluşturmaktadır. Wüstit, artan sıcaklıkla beraber Tufal'deki miktarı artmaktadır ve çelik sıcaklığı 700°C altına düştüğünde Wüstit Tufal tabakasının % 95'ini oluşturmaktadır.

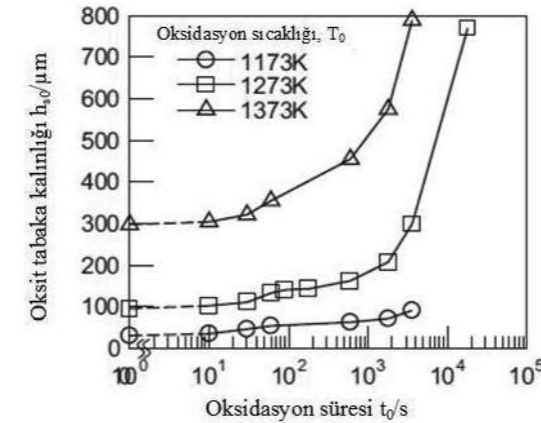
Manyetit ( $Fe_3O_4$ ), Tufal'ın orta tabakasını oluşturmaktadır. Çelik sıcaklığının 500°C altında olduğu ortamda Tufal sadece manyetitten oluşmaktadır. Sıcaklığın 700°C'ye yükselmesiyle manyetitin yerini wüstit almaya başlamaktadır ve daha yüksek sıcaklıklarda manyetit Tufal tabakasının ancak % 4'ünü içermektedir.

Hematit ( $Fe_2O_3$ ), Tufal'ın en dıştaki atmosfere açık tabakasını oluşturmaktadır. Çelik sıcaklığının 800°C altında olduğu ortamda oluşmaktadır. Ancak daha yüksek sıcaklıklarda Tufal tabakasının ancak % 1'ini oluşturmaktadır. Çelik yüzeyinde yüksek sıcaklıklarda oluşan Tufal'ın şematik yapısı Şekil 4'de gösterilmiştir [4].



Şekil 4. Çelik yüzeyinde yüksek sıcaklıklarda oluşan oksitli tabakaların (tufalin) şematik yapısı

Tufal tabakasının kalınlığı sıcaklık ve süreye bağlı olarak artmaktadır. Farklı sıcaklık ve sürelerde Tufal kalınlığındaki artışlar grafik olarak Şekil 5'de verilmiştir [5].



Şekil 5. Çelik yüzeyinde oluşan Tufal'ın kalınlığının sıcaklık ve oksidasyon süresine bağlı olarak değişimi

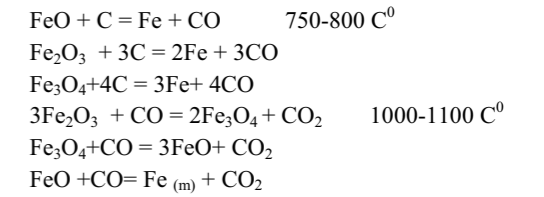
Türkiye'de uzun yıllar dikkate alınmayan ve sadece bir atık olarak değerlendirilen Tufal, geri kazanımı için entegre tesislerde bir takım uygulamalar dışında herhangi bir projenin yürütülmediği bir yan üründür. Söz konusu malzemeler hep bir ikincil ürün değil atık olarak değerlendirildiği için elleçleme maliyeti nedeniyle neredeyse bedelsiz olarak sistem dışına

çıkarılmıştır. Son yıllarda değişen bakış açıları nedeni ile yurt dışında talepler oluşmaya başlamıştır.

BDC: çelik yapım prosesinin en önemli hedeflerinden biri olarak metalik verimliliği öne çıkarması nedeniyle, genelde atık olarak değerlendirilen tüm malzemeleri bir fırsat olarak görmektedir. Tufal, bu nedenle direkt olarak ergitme ünitelerinde herhangi bir ön ısı veya pirometalurjik işlemden geçmeden yüksek metalizasyon değeri ile kullanılmaya çalışılmış ve bu uygulama İndüksiyon ocağı prosesinin temel adımlarından biri olmuştur.

### 1. İndirgeme Reaksiyonları;

İndüksiyon ocaklarında tufalin ergimesinde ve indirgenmesinde basitçe aşağıdaki reaksiyon adımları söz konusudur. 20-650 C<sup>0</sup> kurutma, nem giderme >650-700 C<sup>0</sup> reaksiyon başlar,



Belirtilen reaksiyonlar sürecinde tüketilen enerji

$$\Delta H = \Delta H_{298} + \int_{298}^{1953} \Delta c_p$$

Formülü ile hesaplanabilir,  $\Delta H_{298}$  bağ enerjisi,  $\Delta c_p$  ise spesifik ısı kapasitesidir.

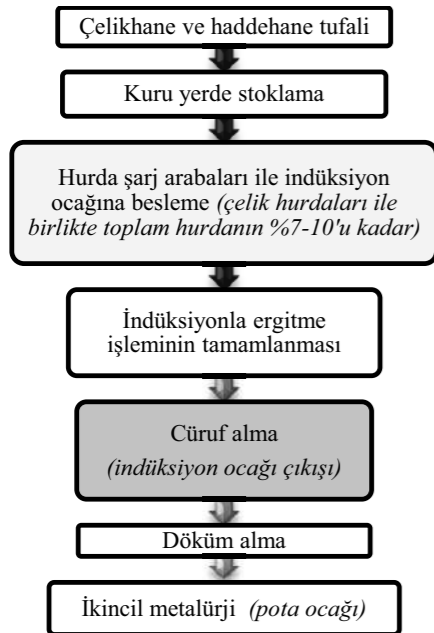
Her ne kadar yukarıda sadece Karbonun indirgeme etkisi vurgulanmış olsa da diğer indirgeyicilerin etkisini de unutmamak gerekir, ancak konuyu karmaşık hale getirmemek için diğer elementlerden söz edilmemektedir. Fe oksit indirgeme reaksiyonları endotermiktir.

Yaklaşık olarak; 747,93 kg Tufal'ın, 141 Kg karbon ile indirgenip, 560 kg demir üretmesi ve bu reaksiyonlar için 560 Kwh enerji tüketmesi gerektiğini öngörebiliriz. [6]. BDC örneğinde söz konusu miktarda tufal kullanımı ve takip eden indirgeme reaksiyonları aynı zamanda % 0,5 C giderme anlamına da gelir. BDC özelinde, belirtilen teorik öngörü ile pratikteki görünüm birbirene paralel olarak kabul edilebilir. Kuşkusuz, endüstriyel koşullardaki ölçüm belirsizlikleri, nem, tozuma, hurda C değerinin değişkenliği, cürufu kalan Fe oksitler, kinetik koşullar, diğer indirgeyiciler vb. değişkenler nedeniyle Tufal nedenli karbon gidermenin ve indirgeme reaksiyonlarının

endüstriyel uygulamadaki verimliliğini hassas bir şekilde tespit etmek çok güçtür. Ancak etkin bir C giderme ve Fe oksit indirgemesinin yapılabildiğini söylemek çok mümkündür. Endüstriyel uygulama sonuçlarına ilişkin güvenilir veri toplama faaliyeti ile belirsizliklerin azaltılması ve tufalin ekonomik bir hammadde kaynağı ve etkin bir karbon giderici olma fonksiyonunu İndüksiyon ocakları için tekrar edilebilir, güvenilir bir metalürjik proses uygulaması hale getirme çabaları BDÇ çelik yapım sürecinin ana hedeflerindedir.

## 2. Deneysel Çalışmalar;

Bu çalışmada BDÇ'nin haddehane ve çelikhaneinden çıkan Tufal, indüksiyon ile ergitme yapan ocaklara herhangi bir ön ısıl işleminden geçmeden hurda ile birlikte yaklaşık % 7-10 oranında Tablo 1'de belirtildiği gibi ilave edilmiştir. Ergitme işlemi tamamlandıktan sonra cüruf sistemden uzaklaştırılmış olup çelik potaya alınmıştır. Süzülen cüruftan numune alınarak %Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> değeri tespit edilmiştir. Pota ocağında Ferro alyaj ilavesi bitmemiş indirgeme reaksiyonlarını dikkate alarak en son aşamada yapılmaktadır.

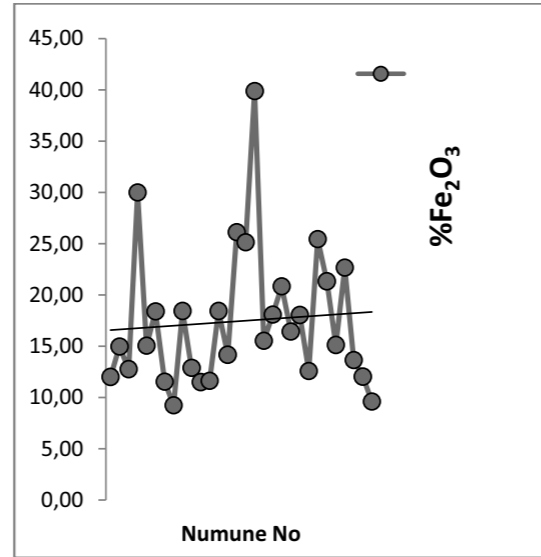


Tablo 1. Tufalin indüksiyon ocağına şarj işlemi

## 3. Sonuçlar ve Tartışma

BDÇ 'de indüksiyon ocağı ile hurda ergitmesi yapılırken farklı cüruf kimyasal kompozisyonları oluşur. Bu nedenle toplam hurda şarjının kütlece %7-

10'u kadar tufal ( 1.96-2.0 ton/ döküm) ilavesi yapılsa da, hurda kompozisyonu farkı, düşük tartım hassasiyeti ve değişen kinetik ve termodinamik koşullar gereği ergitme sonunda ocaktan cüruf kimyasal kompozisyonundaki %Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> değerleri Şekil 6'da belirtildiği gibi dökümden döküme ciddi farklılıklar görülmektedir. Bu değerlendirmede ergitme sürecinde meydana gelen indirgeme dikkate alınmış ve ergime işleminin sonundaki cüruf %Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> değerleri aşağıda verilmektedir. Döküm başına yaklaşık yaş bazda 1960 Kg Tufal yüklemesi ile, hurda ergitme süreci sonunda ortalama % 96 metalik hurda verimliliği ile oluşan 1120 Kg cürufta % 17 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ~ 168 kg kadar hala indirgenememiş Fe oksit olarak kalmaktadır. Hurda kompozisyonuna ilave edilen Tufal'in % 85 inin ergime sürecinde indirgenmediği söylenebilir. Bu sonucun bir çok değişkene bağlı olduğu açıktır.



Şekil 6. İndüksiyon ocağı ve pota ocağı cüruf numunesi %Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> değerleri

BDÇ 'nin haddehane ve çelikhaneinden çıkan tufal toplam üretimin %2.3'ü kadardır ve bu tufal'in kimyasal bileşimi Tablo 2'de belirtilmiştir.

Tufal Bileşen Miktarı (kütlece %)	
Fe (metalik + oksit)	96,91 - 97,18
Fe metalik	70 - 76
SiO <sub>2</sub>	0,92 - 1,16
CaO	0,71 - 0,83
MgO	0,46 - 0,98
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,16 - 0,32

Tablo 2. Tufalin %kimyasal bileşimi

## 5. Sonuç

Günümüzde önemi gittikçe artan sürdürülebilir kaynakların değerlendirilmesine bir örnek olarak yüksek hammadde ve enerji maliyeti ile atık yoğun bir sektör olan demir çelik sektöründe Tufal'in ekonomik kullanımına ait bir yaklaşım niteliği taşıyan bu çalışma yukarıda kısaca özetlenmiştir.

İndüksiyon ocaklarına şarj edilen toplam hurdanın kütlece %7-10'u kadar ilave edilen haddehane ve çelikhane Tufal' inin ergitme süreci içerisinde meydana gelen indirgeme reaksiyonları ve yaklaşık verimlilikleri irdelenmiştir. Çelik üretim sektöründe sürdürülebilir gelişmenin temel koşulu tüm proses çıktılarını ekonomik bir değere dönüştürmektir, Tufal bunlar arasında en önemlisidir. Kuşkusuz, metalürjik gerekçeler, ekonomik değerlendirmeler konunun diğer önemli noktalarıdır ve her işletme kendi optimizasyon anlayışı ile konuyu kendi açılarından irdeleyecektir.

## Referanslar

- [1] Schaefer A. ve Crane A. (2005), Addressing Sustainability and Consumption, Journal of Macromarketing, Vol:25, Pages: 76-92.
- [2] Topoyan M., (2005), Yeniden Üretim Sistemleri İçin Sürdürülebilir Ürün Tasarımlarının Oluşturulması, V. Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu, İstanbul Ticaret Üniversitesi, İstanbul 259-264.
- [3] Sanayide temiz üretim olanaklarının ve uygulanabilirliğinin belirlenmesi projesi – TUBİTAK 2017
- [4] Önkibar, G. (2006). Entegre Demir Çelik Tesisi Tufalinden Doğrudan Redükleme Yöntemi ile Ham Demir Üretimi (yüksek lisans tezi). SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [5] R. Matsumoto, Y. Osumi, H. Utsunomiya. (2014). Reduction of friction of steel covered with oxide scale in hot forging, Toyonaka, Japan.
- [6] S.Saberifar, F. Jafari, H. Kardi, M.A.Jafarzadeh, S.A. Mousavi ( 2014 ) Recycling Evaluation of Mill Scale in EAF. Journal of Advanced Material and Processing Vol. 2 No: 3 2014 73-78

## Increasing of Hot Metal Desulphurization Efficiency via Secondary Steelmaking Slag Recycling

İkincil Metalurji Cürufklarının Geri Dönüşümü ile Kükürt Giderme Proses Veriminin Artırılması

İsa Keskin, Kağan Keler, Zafer Çetin, Selda Daldal Akın

Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları A.Ş. • Turkey

### Abstract

In today's technology the ultimate challenge of steel making industry is production of quality steel with competitive cost and environment friendly. The characteristics of the slag that can be used in concrete, as aggregate or as a binder, largely depend on the different processes in which they have been generated and the treatments they have received. In Europe the crude steel output was 138.2 million tons in 2016 according to the Euroslag Statistics report (2016), and steel slag production exceeded 18 million tons. Today blast furnace slag has found a wide application in cement production and marketed as Port land blast furnace slag cement (PBFS). Due to free CaO content the utilization of BOF slag is restricted in construction industry. Some steel companies have several studies about recycling of BOF slag internally. In this study the utilization of Ladle Furnace slags (the second biggest portion of steelmaking slags) in Hot Metal Desulphurization (HMD) plant was studied theoretically and industrial trials were carried out. The LF slag was characterised with XRD technique and via Factsage thermodynamic modelling the effect of LF slag in HMD plant were studied theoretically and practical trials were applied at different stage of steelmaking process. One of the main outputs of study was although thermodynamic calculations showed regardable increase in HMD efficiency, reaction kinetic of LF slag restricted the efficiency of DeS process.

### 1. Introduction

The current environmental and economic scenario is expressing the need to include recycling and reuse of residues in all the industries. During the steelmaking process, various slags are produced as byproducts. The first stage of steel production is blast furnace steelmaking, in which raw iron ore is converted into pig iron, which contains various amounts of carbon, silicon, manganese, sulfur and phosphorus. During the rolling and final processing of steel due to harmful effects, sulphur should be minimized below a certain level. After hot metal desulphurization process the pig iron is refined with blown oxygen in basic oxygen furnace and final composition is arranged in ladle furnaces.

Production processes in iron and steel industry involve the formation of large amounts of by-products. Slag is the biggest by-product portion of steelmaking processes. According to world steel association more than 400M tons of slag is produced annually. The steelmaking slags are occurred from Basic Oxygen Furnace slags (BOF), Ladle Furnace slags (LF), and Hot Metal Desulphurization slags (HMD). Keler and friends has calculated the distribution ratios of Erdemir steelmaking slags. According to their material balance regardable amounts of by-products and residual materials are generated during the steel making process chain. The total is roughly 0,90 mtpy (wet) from which the main portion is BOF-slag (0,37 mtpy/50,0%). The rest is dust & sludge (0,29 mtpy/32,4%) and skull& scale (0,16 mtpy/17,6%). The slags can be split into BOF slag (0,37 mtpy/81,7%), ladle furnace slag (0,06 mtpy/13,8%) and hot metal desulfurization (HMD) slag (0,02 mtpy/4,5%). These slags are presently not processed and must be stocked on Erdemir property. The company is evaluating solutions for slag disposal, and internal recycling is one. [1]

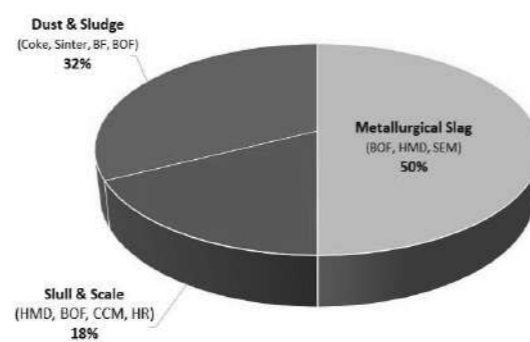


Figure 1: By-products, skulls, dust & sludge generated at ERDEMIR

All over the world the blast-furnace slag is typically granulated with water and used in the cement industry while the converter slag is mostly cooled down in slag pits and used as building material for road construction and hydraulic engineering or as fertilizers. Due to free CaO, the BOF slag utilization for road construction and buildings is restricted. In Erdemir small portion of BOF slag is recycled in Sinter

plant instead of calcined lime due to cost saving. On the other hand LF slag cannot be recycled in special process due to less iron oxide amount. According to final steel grades (full killed steels, semi killed steels etc.) slag treatments can be changed in the ladle furnace. In Erdemir side main production range is flat steels and main deoxidation agent is Aluminum and deoxidation product is Alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). In Isdemir side two types of product occurred flat steel and rod steel. The deoxidation practice is changing the final slag composition which is being produced during the steelmaking processes. The compositions of HMD, BOF and LF slags in both company are given in the table below respectively. (Table 1).

Table 1: Compositions of Residual Table

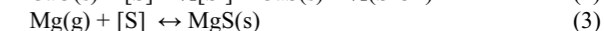
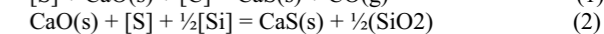
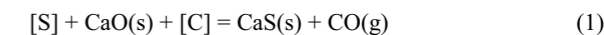
Solid waste/by-product	Fe <sub>ges</sub>	CaO	MgO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	S	Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
BF Slag	0,6	36,1	6,0	40,5	13,7	0,0	0,7	1,3
HM desulphurization slag	7,7	57,7	9,7	19,1	1,5	0,6	3,1	
BOF slag	20,0	55,4	3,1	13,6	1,4	1,8	0,1	0,1
Slag from secondary metallurgy - Al Killed	2,1	57,3	6,7	4,9	24,6	0,5	0,1	0,1
Slag from secondary metallurgy - Si Killed	5,9	56,9	4,7	15,6	14,4	0,8	1,3	0,8

These by-products cause large volumes of waste streams. The recovery of metals from these by-products, for example dusts and sludge, becomes more and more important as legal requirements demand a thorough utilization, existing landfill capacities as well as the scarcity of primary resources and in the long term the rising prices of metals make such utilization economically attractive. [2]

## 2. Experimental Procedure

### Hot Metal Desulphurization

Before the steelmaking processes hot metal has to be treated after tapping from blast furnace. Especially Japanese companies apply several hot metal pretreatment operations such as desiliconization, dephosphorisation and desulphurization. Commonly the most widespread hot metal pretreatments is hot metal desulphurization all over the world. Sulphur has detrimental effects on liquid steel during the finishing lines and end product. The complete dissolution of sulphur leads to the formation of iron sulphide. At fast cooling rates, the iron sulphide separates at the grain boundaries. This compounds builds together with iron a eutectic with low melting temperature, which is responsible for the red shortness during hot forming. The iron sulphide itself leads to the hot shortness at about 1200 °C. The desulphurization equations with several DeS agents and schematics of torpedo desulphurization are given below.



Since increasing the prices of DeS agents and inputs, it triggers steelmakers to research alternate process or try low cost alloys such as recycled by-products. Mitsuo and friends made industrial trial for increasing the DeS yield while increasing the Aluminum level of hot metal. They states that when the hot metal aluminum concentration is increased 50 ppm in hot metal, the desulphurization yield can be increased dramatically. [3] Zhao researched the utilization of Kr Slags for the Hot Metal Desulphurization in his Master Thesis. [4]

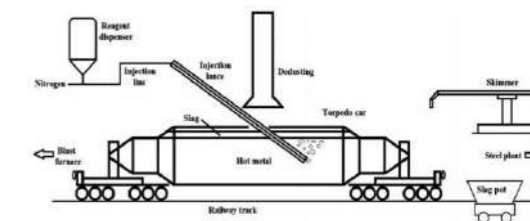


Figure 2: Schematic overview of torpedo desulphurization

### Secondary Steelmaking (Ladle Furnace)

Before casting process, all metallurgical requirements have to be finished in secondary metallurgy station. The secondary steelmaking processes are given in figure 3 with the number of 3-6.

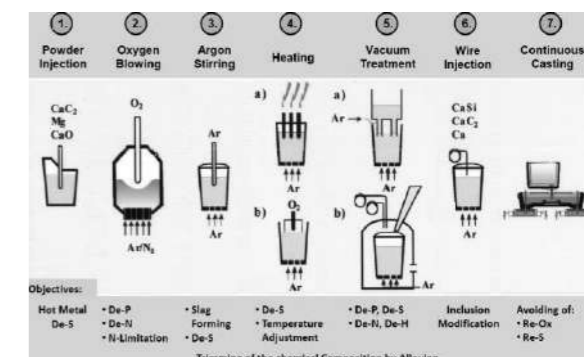


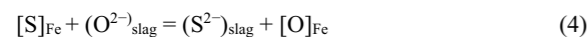
Figure 3: Schematic overview of steelmaking operations

The secondary metallurgy works as a multi-tasking unit which includes a wide range of treatments: deoxidation, deep decarburization, deep desulphurization, dehydrogenation, denitrogenation, alloying, heating, homogenization, inclusion modification, control of steel cleanliness, and temperature setting for casting. The final quality of steel products are effected from ladle treatment during the secondary metallurgy process. [5] Keler and friends studied the metallurgical balances of Erdemir iron

and steelmaking processes. According to that study the production rate of LF slag was calculated 15 kg per ton liquid steel. This slag is mixed with basic oxygen furnace slag and sent to slag treatment yard. On the other hand in Isdemir side ladle furnace slag is transferred to slag treatment yard separately. Due to this reason industrial trials were carried out in Isdemir steel plant.

### 2.1. Thermodynamic Evaluations

The removal of sulphur is based on one principle: to move the dissolved sulphur from the iron to the slag, after which the slag layer is separated from the metal. This leads to the following reaction, for the sulphur transfer between the metal and slag:[6]



This equation shows that for maximum removal of sulphur the oxygen activity in the metal phase and the Sulphur activity in the slag phase should be as low as possible. Furthermore, it is known that an increased basicity leads to a higher sulphur capacity of the slag, which is good for desulphurisation of the metal. Commonly the most widespread DeS agents are calcined lime, magnesium, calcium carbide. Desulphurisation by CaO is in reality controlled by kinetics rather than thermodynamics. When CaO reacts with sulphur, CaS is formed (reaction (1)). This CaS forms a layer around the CaO particle, through which other dissolved S atoms need to permeate before they can react with CaO. Since also oxygen is formed in this reaction, the oxygen activity increases around the CaO particle. This oxygen reacts with either carbon (forming CO) or silicon, which leads to the formation of 2CaO-SiO<sub>2</sub>. This 2CaO-SiO<sub>2</sub> contributes to the nonreactive shell around the CaO, decreasing its desulphurisation efficiency.[7] In order to solve this C2S layer several flux agents are being utilized. CaF<sub>2</sub> (Calcium Fluoride) is one of the most common fluidizers used in hot metal desulphurization process. During the DeS process defined amount CaF<sub>2</sub> are mixed with quick lime for increasing the DeS yield and decreasing the iron loss while making liquid slag. Nevertheless some environmental issues and cost of fluoride restricted the utilization of it in different companies. As stated in table 1 ladle furnace slag has almost 30 % Alumina and has high desulphurization activity due to being deoxidized with aluminum. In this study via Factsage thermodynamic simulation program the effect of LF slag on hot metal desulphurization yield investigated. The simulation parameters are given below with table 2 and the effect of added LF slag to final Sulphur in hot metal calculated.

Table 2. Thermodynamic simulation parameters with LF slag addition in DeS process. A is factor for calculation the flux weight in simulation.

Case	CaO (kg)	Mg (kg)	Na3AlF6 (kg)	LF Slag (kg)	S Start (PPM)
1	0,95*A	0,1*A	0,01*A	0	1027
2	0,95*A	0,1*A	0,01*A	200	1027
3	0,95*A	0,1*A	0,01*A	400	1027
4	0,95*A	0,1*A	0,01*A	600	1027

According to calculation, addition of LF slag during the desulphurization process increasing the DeS yield and final Sulphur ratio is decreasing. (Figure 4).

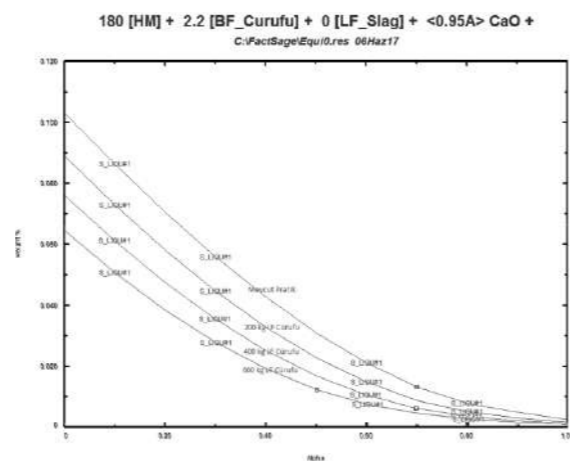


Figure 4. Difference of hot metal Sulphur level with addition of LF slag in Factsage thermodynamic model.

The simulation results reveals that when 400 kg LF slag is utilized instead of fluidizer material, the total slag and liquid slag amounts are increased. The ladle furnace slag provides almost 60 % CaO when used in hot metal desulphurization process. This amount of CaO is decreasing the lime consumption during the process.

### 2.2. Material Characterization

The composition of phases was determined using Panalytical Empyrean XRD using a Co K $\alpha$  source ( $\lambda=1,78901 \text{ \AA}$ ) operated at 40 kV and 40 mA using a step size of 0,01 with a collection time of 43 minutes. An estimation of the volume fraction of each phase was determined by integrating the relative intensities of the peaks. Rietveld refinement was applied using HighScore Plus software and PDF-4 (ICDD) mineralogical database. Although Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> amount was measured %25,48 with XRF analysis, the mineralogical

structure was observed as Calcium Aluminum Silicate. That parameters affected the Factsage calculations. The X-ray fluorescence (XRF) technique and Panalytical Zetium XRF was used in this work to determine the elemental composition using Rd radiation and operated at 50 kV and 40 mA. XRF and XRD results are illustrated in figure 6.

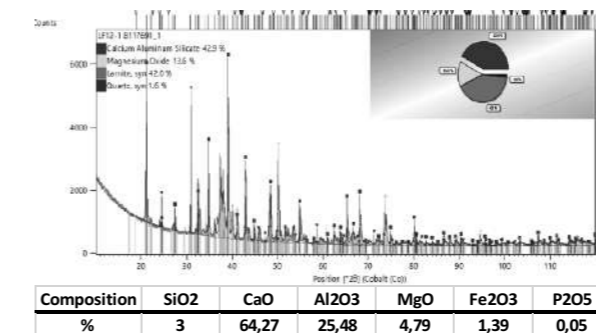


Figure 5. XRD and XRF results of ladle furnace slag. Top: XRD, below: XRF

### 2.2. Industrial Trials

Via these simulation results in Isdemir plant there were several plant trials were conducted in order to realizing the thermodynamic calculations. According to literature survey and discussing with several steelmakers around the world there is common type of utilization of ladle furnace slag in hot metal pretreatment process, hot charging. Unfortunately Isdemir steelmaking plant design was not possible in order to charging the ladle furnace slag from slag pot to hot metal treatment ladle. The ladle furnace slags were transported to slag treatment yard and cooled with spray water. After cooling with water defined amount of slag were dumped to area and dried in open atmosphere. The humidity plays an important role for utilization of these slags due to safety issues. Being dried on ground the slag sample is filled to bags in order to adding to hot metal at different places. (Figure 6)



Figure 6. Packaging the ladle furnace slag with paper bags.

The ladle furnace slag was added to hot metal at different places. The first trials were made in blast furnace runner. While filling the hot metal to torpedo calculated amount of

slag was added with excavator to runner. Normal practice for taking hot metal sample is first blast furnace runner than hot metal pit. In trials due to observing the effect of slag to hot metal one more liquid metal sample taken before hot metal pit at special station.



Figure 7. Addition of ladle furnace slag during the pouring of hot metal in blast furnace.

The second trials were conducted at hot metal pit where hot metal poured from torpedo to desulphurization ladle. According to previous experiment adding the ladle furnace slag during the flow of hot metal would increase the mixing effect and provide better reaction. Calculated and stocked slag bags were throw into the runner during the tapping of torpedo. (Figure 8)



Figure 8. Addition of LF slag at hot metal pit into the runner.

### 3. Results and Discussion

According to thermodynamic simulation results several plant trials were conducted. The effect of ladle slag addition into hot metal was studied detailly. Due to Factsage thermodynamic program is modelling the process in steady



state, the plant trials were aimed to find out kinetic alterations before and during the desulphurization process. The potential targets of study are, gaining of CaO from ladle furnace as desulphurization agent instead of quick lime and utilizing Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> as a fluidizer.



Figure 9. The conditions of slag after LF slag addition in hot metal pit.

As stated before common method is addition of slag during hot stage and decreasing the heat loss during the desulphurization. Addition of LF slag after cool down in stock yard is quite challenging compared with former method. First of all, due to high basicity around 11-12, the slag is almost dust form and while packaging and transporting it harms environment. Moreover, according to previous research ladle furnace slag temperature is higher than hot metal desulphurization process temperature. In order to getting homogeneous and liquid slag during DeS process, it needs good mixing and reaction energy. During the trials both blast furnace runner and hot metal pit final slag condition seemed liquid and solved. (Figure 9)

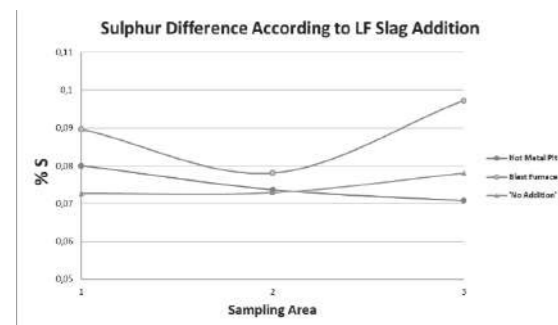


Figure 10. Difference of Sulphur composition according to LF slag addition at different stage of steelmaking process.

Before the Desulphurization process the effects of ladle furnace slag to hot metal Sulphur level measured at three stage. Sampling areas were defined respectively, 1- Blast Furnace, 2- Torpedo, 3- Hot metal ladle. As it can be seen in

figure 9 there was resulphurization during the tapping of hot metal to ladle at hot metal pit. The potential reason for this resulphurization was the huge mixing effect of slag and hot metal. Sulphur analyses were conducted both OES and LECO measurement equipment.

#### 4. Conclusion

Preliminary results for these trials were noted below;

- According to Factsage simulation results addition of Ladle furnace slag into hot metal increasing the desulphurization yield and decreasing the lime, fluoride and magnesium consumption.
- The common addition type of LF slag is hot charging to DeS ladle. However, this process requires special steelmaking plant design.
- Packaging and storing of Ladle Furnace slag needs high relevance due to environmental and safety issues.
- The preliminary studies reveals that although Factsage simulations calculate 200 ppm Sulphur can be decreased while adding 400 kg LF slag during the plant trials it cannot measured such difference. The reason for this is assessed that kinetic considerations.
- Due to higher melting point of LF slag, it can't be totally solved and reacted with hot metal at both of the stage before the DeS process.
- For further studies increasing the Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> content of LF slag and mixing it several fluxing agents will be tried due to increase the yield in DeS process.

#### References

- [1] K. Keler, İ. KESKİN and J. Cappel, Controlling the Threats of Steelmaking by Material Balance Analysis, Iron & Steel Technology, April 2019.
- [2] El-Hussiny, M.E.H. Shalabi, Effect of recycling blast furnace flue dust as pellets on the sintering performance, Science of Sintering, 42 (2010) 269-281.]
- [3] T. Mitsuo, T. Shoji, Y. Hatta and H. Ono, Improvement of Desulphurization by Addition of Aluminum to Hot Metal in the Lime Injection Process, Transaction of the Japan Institute Metals, Vol 23, No.12, 1982.
- [4] [Z. Zhao, Utilization of Kr Slags for the Hot Metal Desulphurization, Master thesis, Pohang university of science and engineering (2006).
- [5] Cramb, A.W.: Secondary steelmaking and casting: the basis for control of steel properties and quality. SJM. 1997. 26. pp.2/7
- [6] S. Kitamura: 'Hot metal pretreatment'. In: S. Seetharaman, editor. Treatise on process metallurgy: industrial processes. Oxford, Elsevier, 2014, 177– 221.]
- [7] Frank Nicolaas Hermanus Schrama, Elisabeth Maria Beunder, Bart Van den Berg, Yongxiang Yang & Rob Boom (2017) Sulphur removal in ironmaking and oxygen steelmaking, Ironmaking & Steelmaking, 44:5, 333-343

## Türkiye'nin Dünya Çelik Sektöründeki Yeri ve Katma Değerli Ürün İhtiyacı

Turkey's Place in the World Steel Sector and Value-Added Product Needs

Sinan Aras<sup>1,2</sup>, Bora Derin<sup>2</sup>, İbrahim Tozlu<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Matil Malzeme Test ve İnovasyon Laboratuvarları A.Ş.,

<sup>2</sup>İstanbul Teknik Üniversitesi • Türkiye

#### Özet

Bu çalışmada, Türk çelik sektörünün üretim ve ithalat-ihracat verileri analiz edilerek sektörün halihazırda dünyadaki konumu belirlenmeye çalışılmıştır. Bu analiz çalışmasında ülkemizin hangi ürünlerde ve hangi miktarlarda dış ticaret açığı verdiği üzerine tespitler yapılmıştır.

#### Abstract

This study was aimed to examine the production and import/export data of Turkish steel market and to determine its position in the world. A survey was recently carried out to gather information on the imported steel products resulting in a negative trade balance in Turkey.

#### 1. Giriş

Dünya ham çelik üretimi son 10 yılda yaklaşık 1,2 milyar tondan (metrik) 1,8 milyar tona yükselmiştir. Tablo 1'de görüldüğü gibi, 2018 yılında dünya ham çelik üretiminin en büyük aktörleri Çin, Hindistan, Japonya, ABD, Güney Kore ve Rusya olmuştur.

Tablo 1. Dünya Ham Çelik Üretimi Sıralaması (Milyon Ton) [1]

	2016	2017	2018
1	Çin 787	Çin 832	Çin 962
2	Japonya 105	Japonya 105	Hindistan 106
3	Hindistan 95,5	Hindistan 101	Japonya 104
4	ABD 78,5	ABD 81,6	ABD 86,7
5	Rusya 70,5	Rusya 71,3	G. Kore 72,5
6	G. Kore 68,6	G. Kore 71,1	Rusya 71,7
7	Almanya 42,1	Almanya 43,6	Almanya 42,4
8	<b>Türkiye 33,2</b>	<b>Türkiye 37,5</b>	<b>Türkiye 37,3</b>
9	Brezilya 31,3	Brezilya 34,4	Brezilya 34,7
10	Ukrayna 24,2	İtalya 24	İran 25
11	İtalya 23,4	Tayvan 23,2	İtalya 24,5
12	Tayvan 21,8	Ukrayna 22,7	Tayvan 23,2
13	Meksika 18,8	İran 21,7	Ukrayna 21,1
14	İran 17,9	Meksika 20	Meksika 20,1
15	Fransa 14,4	Fransa 15,5	Fransa 15,4
	Diğerleri 175	Diğerleri 187	Diğerleri 143,4
	<b>Dünya 1.606</b>	<b>Dünya 1.691</b>	<b>Dünya 1.790</b>

Bu ülkeler arasında Çin, ölçek bakımından dünyanın geri kalanından ayrılmaktadır. Tablo 2'de görüldüğü gibi geçtiğimiz 10 yılda ham çelik üretiminde en dikkat çekici artış Çin'de yaşanmış ve 962 milyon ton ile dünyanın geri kalanından daha fazla çelik üretir hale gelmiştir.

Bu süreçte, Türkiye'nin ham çelik üretiminde de artış yaşanmış ve ülkemiz dünyanın en büyük 10 çelik üreticisi arasına girmiştir. 2012 yılından itibaren dünya çelik üretiminde 8. sıradadır. Türkiye ham çelik üretiminde en yüksek seviye 35,9 milyon ton ile 2012 yılında görülmüştür. 2012 yılında Türkiye, dünyanın 8., Avrupa'nın ise 2. büyük üreticisi konumuna gelmiştir. Tablo 1'de görüldüğü üzere, Türkiye 2017 yılında 37,5 milyon ton ile kendi üretim tarihinin rekorunu kırarak dünyadaki ve Avrupa'daki konumunu korumuştur.

Tablo 2. Çin-Dünya Ham Çelik Üretimi Karşılaştırması [1]

Yıl	Çin Ham Çelik Üretimi (Milyon Ton)	Dünya Ham Çelik Üretimi (Milyon Ton)	Çin'in Payı (%)
2008	512	1343	38,1
2009	577	1238	46,6
2010	639	1433	44,6
2011	702	1538	45,6
2012	731	1560	46,9
2013	822	1650	49,8
2014	823	1670	49,3
2015	799	1620	49,3
2016	787	1606	49
2017	832	1691	49,2
2018	962	1790	53,7

Türkiye'nin nihai çelik tüketimi de üretimde olduğu gibi yıllar itibarıyla düzenli gelişim göstermiştir. 2008 yılında 21,5 milyon ton tüketim ile 10. sırada yer alan Türkiye, 2011 yılında tüketimini 26,9 milyon tona çıkararak 8. sıraya yükselmiştir. 2017 yılında Türkiye'nin çelik tüketimi 36,1 milyon tona yükselmiş ve dünya nihai çelik tüketimi sıralamasında 8. sıradaki yerini korumuştur. [1]

### 1.1 Dünya Çelik İhracatı

Türkiye, dünya çelik ihracatında son 10 yılda ilk 10 ülke arasında yer alarak, 2008 yılında 19,3 milyon ton çelik ihracatıyla dünyanın 9. büyük çelik ihracatçısı olmuştur. Türk çelik sektörü ihracatta en parlak yılını ise 2012'de yaşamıştır. 19,5 milyon ton ile 2012 yılında dünyanın 8. büyük çelik ihracatçısı konumuna gelmiştir.

Küresel çelik sektöründeki gelişmeler doğrultusunda takip eden yıllarda, 2016 yılına kadar ihracatta gerileme yaşanmıştır. 2016 yılında yeniden yükselişe geçen Türkiye, çelik ihracatını 2017 yılında 17,7 milyon tona çıkarmıştır. Tablo 3'te görüleceği üzere, 2017 yılında Türkiye dünyanın 10. büyük çelik ihracatçısı olmuştur.

**Tablo 3.** 2017 Dünya Çelik İhracat Sıralaması (Milyon Ton) [2] [3]

2017		
1	Çin	89,9
2	Rusya	39,2
3	Japonya	38,1
4	G. Kore	33,2
5	Almanya	30,8
6	İtalya	20
7	Belçika	19,7
8	Hindistan	18,7
9	Brezilya	17,8
<b>10</b>	<b>Türkiye</b>	<b>17,7</b>
11	Ukrayna	17,7
12	Fransa	15,4
13	Tayvan	13,9
14	Hollanda	13,6
15	ABD	13,4
	Diğerleri	127
	<b>Dünya</b>	<b>526,1</b>

### 1.2 Dünya Çelik İhracatı Ortalama Birim Fiyatı

Tablo 4' te dünya çelik ihracatı ortalama birim fiyat sıralaması verilmiştir. Listede üst sıralarda yer alan gelişmiş ülkeler, ağırlıklı olarak katma değerli ürün ihracatı gerçekleştirmektedirler. 2017 yılında gelişmiş ülkelerin ihracat ortalama birim fiyatları ton başına 1.000 USD üzerinde gerçekleşmiştir. İhracatı ağırlıklı olarak katma değeri düşük ürünlerden oluşan Türkiye, ortalama birim fiyat sıralamasında son 10 yılda 16.-17. basamaklarda yer almıştır. 2017 yılında Türkiye'nin ihracat ortalama birim fiyatı ton başına 645 USD olmuştur.

Tablo 5 'de, dünya ham çelik üretiminde ve ihracatında önde gelen 20 ülkenin son 2017 yılı ham çelik üretimi ve çelik ihracatı miktarı, değer ve birim fiyat olarak sıralanmıştır. İhracat birim fiyat karşılaştırmaları, ülkelerin katma değerli ürün ihracatına ilişkin genel anlamda fikir vermektedir. Ham çelik üretiminde ve çelik ihracatında dünya çelik sektörünün

lider ülkesi Çin, ton başı ortalama ihracat birim fiyatında 2017 yılında 13. sırada yer almaktadır.

**Tablo 4.** Dünya Çelik İhracatı Ortalama Birim Fiyat Sıralaması (FOB USD/Ton) [2] [3]

		2016	2017	
1	ABD	1.672	ABD	1.735
2	G Kore	1.380	Almanya	1.369
3	İtalya	1.153	Avusturya	1.244
4	Almanya	1.133	İtalya	1.236
5	Kanada	1.023	Kanada	1.212
6	Polonya	976	İspanya	1.139
7	Meksika	912	Tayvan	1.097
8	İspanya	901	Fransa	1.092
9	Tayvan	894	Polonya	1.052
10	Fransa	891	G. Kore	975
11	Belçika	746	Meksika	903
12	Hindistan	726	Japonya	861
13	Japonya	723	Çin	861
14	Çin	619	Hindistan	723
15	Vietnam	586	Vietnam	669
<b>16</b>	<b>Türkiye</b>	<b>550</b>	<b>Türkiye</b>	<b>645</b>
17	Brezilya	460	Brezilya	518
18	İran	440	Rusya	489
19	Rusya	352	Ukrayna	462
20	Ukrayna	339	İran	367

**Tablo 5:** Dünya Ham Çelik Üretimi, İhracat-Değer-Birim Fiyat Sıralamaları [1] [2] [3]

SIRALAMA 2017					
	ÜLKELER	ÜRT. MİK.	İHR. MİK.	İHR. DEĞ.	BİR. FYT
1	ABD	4	13	6	1
2	Almanya	7	5	2	2
3	Avusturya	20	15	13	3
4	İtalya	10	6	5	4
5	Kanada	17	18	15	5
6	İspanya	16	14	11	6
7	Tayvan	11	12	9	7
8	Fransa	15	11	8	8
9	Polonya	19	17	16	9
10	Güney Kore	6	4	4	10
11	Meksika	14	19	18	11
12	Japonya	2	3	3	12
13	Çin	1	1	1	13
14	Hindistan	3	7	10	14
15	Vietnam	18	20	19	15
<b>16</b>	<b>Türkiye</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>12</b>	<b>16</b>
17	Brezilya	9	8	14	17
18	Rusya	5	2	7	18
19	Ukrayna	12	10	17	19
20	İran	13	16	20	20

Dünya ham çelik üretiminde ilk 20 ülke sıralamasında alt sıralarda bulunan Avusturya, Kanada, İspanya, Fransa, Polonya gibi ülkelerin çelik ihracatı birim fiyatında üst sıralarda olduğu görülmektedir. Ham çelik üretiminde

Avrupa Birliği'nin lider ülkesi olan Almanya ise Dünya ham çelik üretim sıralamasında 7. sırada, çelik ihracatında 5. iken ihracat ortalama birim fiyatında ABD'nin ardından 2. sırada yer almaktadır. Bu sıralamalar söz konusu ülkelerin katma değeri yüksek ürün ihracat ettiklerinin bir göstergesidir.

Ham çelik üretiminde ve ihracatında 8. sırada yer alan Türkiye, ihracat birim fiyatında 16. sırada ile oldukça gerilerdedir. Bu durum Türkiye'nin ihraç ettiği ürünlerin katma değer zincirinde daha geride yer aldığını göstermektedir.

Tablo 6 'de görüldüğü gibi ürün grupları bazında Türkiye, çelik ihracatında uzun grubu ürünlerin ağırlığı söz konusudur. Son 10 yıldır Türkiye'nin toplam çelik ihracatının ortalama % 60'ını bu ürün grubu oluşturmuştur.

**Tablo 6.** Ürünler Bazında Türkiye Çelik İhracatı (Bin Ton) [2] [4]

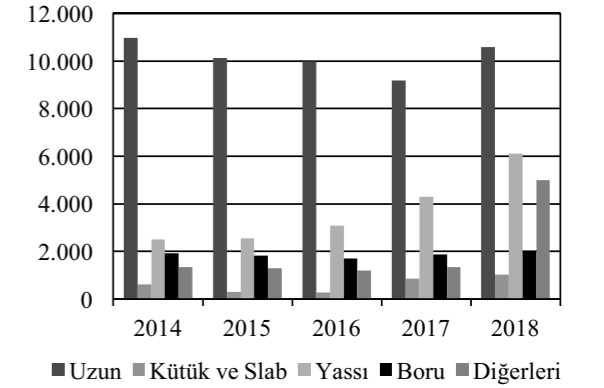
	2016	2017	2018	
1	İnşaat Çeliği	6.741	5.439	5.947
2	Yassı Sıcak	2.074	2.614	3.907
3	Dikişli Boru	1.642	1.829	1.935
4	Filmaşın	939	1359	1799
5	Profil	1452	1448	1753
6	Yassı Kaplama	484	982	1337
7	Kütük	232	678	917
8	İnşaat Aksanı	511	572	657
9	Yassı Soğuk	318	417	485
10	Tel	171	230	355
11	Diğer Çubuk	306	303	349
12	Alaşımli Çubuk ve Profil	235	225	264
13	Vida, Cıvata, Somun	85	103	125
14	Alaşımli Filmaşın	29	81	76
15	Slab	0,25	123	26

Grafik 6'da görüldüğü üzere, Türkiye çelik ihracatında son 5 yılda en fazla yassı ürünlerin ihracatında artış yaşanmıştır. 2008 yılında 1,4 milyon ton olan yassı ihracatı 2018 yılında 6,1 milyon tona ulaşarak, 2018 yılı Türkiye toplam çelik ihracatının %29'unu oluşturmuştur. Türkiye'de artan yassı çelik üretimi yassı ihracatının artışı desteklemiştir.

Tablo 7'de görüldüğü üzere, tonaj bazında değerlendirildiğinde diğer ürünlerin ihracatına göre, alt sıralarda yer alan vida, cıvata, somun ihracatı, aynı ürünler ortalama ihracat birim fiyatlarına göre sıralandığında ilk sırada yer almaktadır. Bu durum vida, cıvata, somun gibi ileri işlem görmüş ürünlerin katma değer zincirinde daha üst basamaklarda yer aldığının bir göstergesidir.

Benzer şekilde, yassı ürünler arasında sıcak yassı, tonaj bakımından ihracatta yassı kaplama ve soğuk yassı ürünlerinin önünde yer almaktayken, birim fiyat sıralamasında yassı kaplama bu ürünler arasında önde gelmektedir. Örneğin, 2018 yılında yassı kaplama ortalama ihracat birim fiyatı ton başına 803 USD iken sıcak yassı

ortalama ihracat birim fiyatı ton başına 613 USD'dir. Vida, cıvata, somun örneğinde olduğu gibi yassı kaplama ürünlerinin sıcak yassı ürünlerine göre katma değer zincirinde daha ileride olduğu anlaşılmaktadır.



**Şekil 6.** 2014-2018 Türkiye Çelik İhracatı Ürün Grupları (Bin Ton) [4]

**Tablo 7.** Ürünler Bazında Türkiye Çelik İhracatı Ortalama Birim Fiyatı (FOB USD/Ton) [2] [4]

	2016	2017	2018	
1	Vida, Cıvata, Somun	3.031	3.058	3.275
2	İnşaat Aksanı	1.740	1.641	1.679
3	Alaşımli Çubuk ve Profil	548	733	885
4	Tel	663	760	859
5	Dikişli Boru	615	699	821
6	Yassı Kaplama	696	765	803
7	Yassı Soğuk	517	653	683
8	Diğer Çubuk	477	570	683
9	Profil	466	543	636
10	Yassı Sıcak	401	542	613
11	Filmaşın	396	482	572
12	İnşaat Çeliği	378	453	537
13	Alaşımli Filmaşın	420	496	536
14	Slab	887	441	519
15	Kütük	382	435	496

Tablo 8'de görüldüğü gibi, Türkiye çelik ithalatının yaklaşık 2/3'ünü yassı ürünler ve yarı mamuller oluşturmaktadır. Başta otomotiv ve beyaz eşya olmak üzere yassı çelik kullanan sektörlerin gelişimi geçtiğimiz yıllarda Türkiye'de yassı çelik talebinde önemli bir artışa neden olmuştur.

Son yıllarda Türkiye'de yassı çelik üretimi artış göstermiş olmasına rağmen, henüz ithalatı karşılayacak düzeyde olmadığı anlaşılmaktadır. Ülkemiz, uzun ürünlerde daha ihracatçı konumda iken, yassı ürünlerde ve yaygın üretimi bulunmayan paslanmaz grubu ve dikişsiz boru gibi ürünlerde ithalatçı konumundadır.

**Tablo 8.** Ürünler Bazında Türkiye Çelik İthalatı Ortalama Birim Fiyatı (CIF USD/Ton) [2] [4]

		2016	2017	2018
1	Paslanmaz Yassı	1.638	1.638	2.252
2	Dikişli Boru	1.431	1.448	1.604
3	Dikişsiz Boru	975	1.025	1.315
4	Alaşımli Çubuk ve Profil	832	1.038	1.198
5	Diğer Çubuk	769	770	1.074
6	Alaşımli Yassı	638	751	931
7	Yassı Kaplama	632	751	868
8	Slab	1.191	792	862
9	Alaşımli Filmaşın	450	618	848
10	Filmaşın	482	577	733
11	Profil	498	562	693
12	Soğuk Yassı	455	583	669
13	Sıcak Yassı	378	512	613
14	Kütük	326	450	578
15	Pik	248	356	390

### 3. Sonuçlar

Çelik sektörü başta imalat sanayinin olmak üzere, sanayileşmenin lokomotifini olan stratejik bir sektördür. Bu kapsamda çelik ürünleri savunma, enerji, otomotiv gibi büyük oranda ithalata dayalı olan önemli sektörlerin temel girdisini oluşturmaktadır. Çelik ihracatı, toplam ihracat içerisindeki % 9,3 payı ile otomotiv, tekstil ve kimya sektörlerinin ardından 4. sıradadır. [5]

Son yıllarda ABD kaynaklı başlatılan korumacı politikalar ve çelik sektörünün önemli pazarlarından olan Avrupa Birliği'nin çelik ürünlerine kota uygulaması gibi çelik ihracatını olumsuz yönde etkileyen gelişmeler yaşanmıştır. Bu gelişmelerin sonucunda ihracatçı firmalar yeni pazarlar bulma arayışlarını sürdürmektedir.

Türk Çelik Sektöründe sürdürülebilir bir büyümenin sağlanması ve sektörün ihracat kapasitesinin daha rekabetçi bir konuma gelebilmesi için üreticilerin ürün gamlarını çeşitlendirmeleri ve farklı ebatlarda ve katma değeri yüksek ürün üretimine yönelmelidir.

Çelik sektöründe stratejik yatırımların gerçekçi olarak belirlenebilmesi için, Türk sanayisinin ithal ettiği katma değeri yüksek vasıflı çelik mamullerinin kalite, ebat ve miktar açısından verilerinin tespit edilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Ülkemizde üretilen ve üretilmeyen kalitelerin tespit edilmesi ile çelik sektöründe gerçekleşen yatırımlarda dublikasyonun önüne geçilmiş olacaktır.

### Kaynakça

- [1] Worldsteel Association, «STEEL STATISTICAL YEARBOOK 2018,» worldsteel association, Brüksel, 2019.  
 [2] ITC Trade Map, «https://www.trademap.org/» International trade Center, 1964. [Çevrimiçi].  
 [3] Eurostat, «https://ec.europa.eu,» European Commission,  
 [4] Türkiye İstatistik Kurumu, «http://tuik.gov.tr,» Türkiye İstatistik kurumu, [Çevrimiçi].  
 [5] Ç. İ. Birliği, «www.cib.org.tr,» Çelik İhracatçıları Birliği, [Çevrimiçi].

## Maximization of Energy Production in Blast Furnace TRT (Top Gas Pressure Recovery Turbine) System

Yüksek Fırın TRT (Tepe Basıncı Genleşme Turbinü) Sisteminin Enerji Üretim Maksimizasyonu

Kerem Doğan, Ersan Ersarı, Selçuk Aksu, Koray Oktay, Özgür Akgün

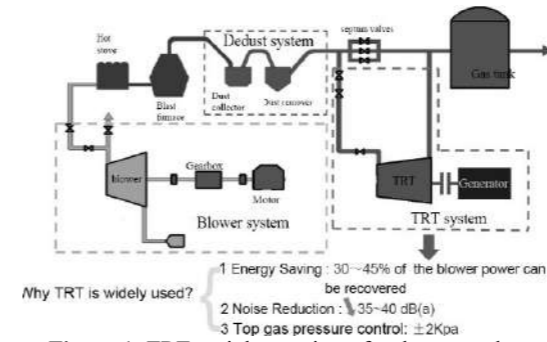
Ereğli Iron and Steel Works Co. • Turkey

### Abstract

In this study, maximization of energy production in blast furnace TRT system that was performed at Ereğli Iron and Steel Co. (ERDEMİR) is examined.

### 1. Introduction

Top gas pressure and heat energy Recovery Turbine; TRT is an important energy recovery equipment in metallurgical industry, by which the BF top gas pressure energy and thermal energy are converted to mechanical energy through a gas expander, then to electric energy by a generator. In this way not only the top gas residual pressure and thermal energy is recovered, but also the noise from pipelines is reduced and top gas pressure is accurately controlled.



**Figure 1.** TRT mainly consists of turbo-expander and generator.

The blast furnace is core process equipment and TRT is just one energy saving and environmental protection equipment. One major principle throughout the operation of TRT is to ensure the safety of the blast furnace and obey the commands of it. The safety of the blast furnace must be prioritized during startup, speedup, incorporation into grid, power rise, top pressure control, generated operation, electric operation, shutdown, major fault, top pressure switch, etc.

Two types are set according to different gas dedust system:  
 Wet type MPS — Bishoff, Venturi scrubber  
 Dry type MPG — Fiber bag filter

**Table 1.** Power output series.

Type	MP5	MP7	MP14	MP18	MP25	MP35
Power output (max.) MW	5	7	14	18	25	35

Gas required:

Flow rate: 80,000~1,000,000Nm<sup>3</sup>/h,

Pressure: 80~300kPa(G)

Applied to BF of capacity: 300~5500m<sup>3</sup>

Work Speed: 3000rpm, 3600rpm

Control mode:

Axial flow with 2-stage stator blades adjustable

Axial flow with 2-stage stator blades and first stage adjustable

**Table 2.** TRT design parameter for Erdemir Project[1].

Item	Unit	1850m <sup>3</sup> BF TRT		1707.7m <sup>3</sup> BF TRT	
		normal	maximal	normal	maximal
Gas inlet flow rate	10 <sup>4</sup> Nm <sup>3</sup> /h	34	36	32	35
Gas inlet pressure	KPa(G)	90	120	90	120
Gas temperature	°C	50	70	50	70
Gas dust content	Mg/m <sup>3</sup>	<10	<10	<10	<10
Gas output pressure	KPa(G)	8	10	8	10
Power output at coupling	KW	5100	8000	4700	7900
Local barometric speed	KPa(A)	101		3000	

### 2. Experimental Procedure

In our study, maximization of energy production in blast furnace TRT system that was performed at high top pressure is examined. Minitab program used in calculations and correlation and regression studies were performed. These methods were used to measure the relationship between two or more variables also determined the direction and strength of the relationship. The data obtained from a system per second were not very accurate. Therefore, it was decided to receive data from the system every 5 minutes.

**Figure 2.** Relationship between air and electricity production

**Table 3.** Data analysis in operating condition

Date	air flow	oxygen	top gas set	top gas temperature	td gas flow	hot blast press.	trt electric	blade range	
11.07.2017 05:40	3405	9194	1,34	1,35	62	5814	3,04	5,08	50,65
11.07.2017 05:45	3399	9187	1,35	1,35	63	5878	3,01	4,95	49,23
11.07.2017 05:50	3400	9205	1,34	1,34	62	5878	3,03	5,12	52,35
11.07.2017 05:55	3400	9159	1,34	1,35	64	5878	3,05	5,19	52,02
11.07.2017 06:00	3369	9186	1,34	1,34	64	5931	2,92	4,97	48,92
11.07.2017 06:05	3400	9371	1,34	1,35	63	5931	2,93	4,84	47,89
11.07.2017 06:10	3401	9393	1,35	1,34	62	5931	2,96	5,03	50,04
11.07.2017 06:15	3423	9427	1,35	1,34	61	6007	2,97	5,01	50,73
11.07.2017 06:20	3459	9524	1,35	1,34	62	6007	3,00	5,17	53,52
11.07.2017 06:25	3455	9525	1,34	1,35	64	6007	2,98	5,13	52,25
11.07.2017 06:30	3465	9559	1,35	1,36	63	6077	3,00	5,16	50,67
11.07.2017 06:35	3487	9637	1,39	1,38	63	6077	3,01	5,26	51,57
11.07.2017 06:40	3492	9637	1,36	1,38	62	6077	3,02	5,32	51,73
11.07.2017 06:45	3494	9636	1,37	1,38	62	6133	3,04	5,25	51,04
11.07.2017 06:50	3512	9689	1,37	1,38	62	6133	2,95	5,05	48,82
11.07.2017 06:55	3489	9627	1,39	1,38	62	6133	3,04	5,30	51,02
11.07.2017 07:00	3500	9653	1,36	1,37	62	6119	3,06	5,29	50,75
11.07.2017 07:05	3495	9633	1,35	1,38	62	6119	3,05	5,27	51,08
11.07.2017 07:10	3495	9650	1,37	1,38	61	6119	3,09	5,24	51,17
11.07.2017 07:15	3462	9454	1,35	1,35	61	6012	3,04	5,17	52,61
11.07.2017 07:30	2482	9325	1,32	1,32	59	4919	3,04	5,16	51,13

4349 data were analyzed. We used the Minitab histogram program to classify values in a data set. As a result of the analysis, the electrical energy obtained from the system was found to be 4,03 kwh.

**Table 4.** Regression analysis and modeling

Factorial Regression: TRT Elektrik Üretimi versus TRT Kapat Açıklığı, Hava Miktarı, Tepe Basıncı

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	4	4,78724	1,19681	762,23	0,000
Constant	1	0,33253	0,33253	150,63	0,000
TRT Kapat Açıklığı	2	4,45880	2,22940	1390,42	0,000
Hava Miktarı	1	0,00373	0,00373	0,89	0,378
Tepe Basıncı	1	0,24523	0,24523	124,53	0,000
2-Way Interactions	1	0,18422	0,18422	84,62	0,000
Hava Miktarı*Tepe Basıncı	1	0,18422	0,18422	84,62	0,000
Error	34	0,07979	0,00235		
Corrected Total	38	0,07979	0,00209		

Model Summary

R	R-sq	R-sq(Adj)	R-sq(Pred)
0,987059	98,71%	98,71%	98,51%

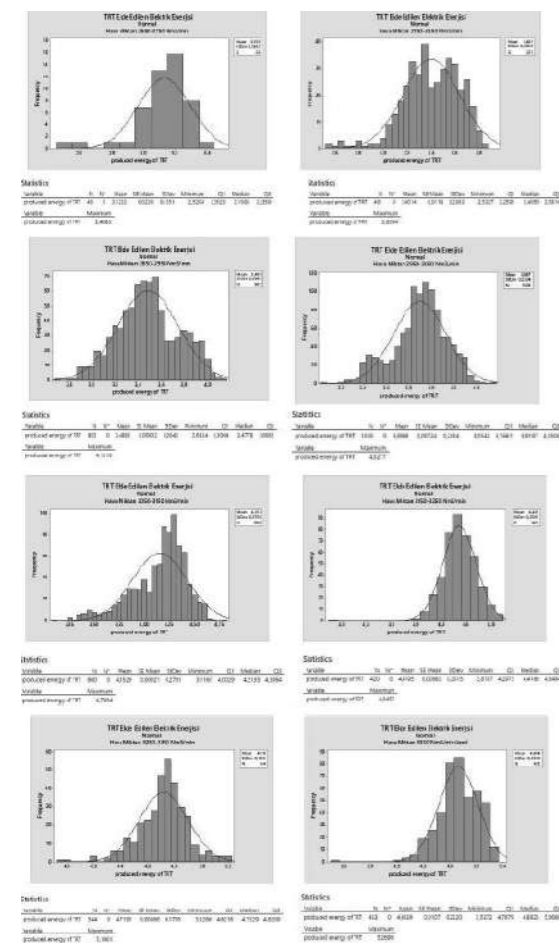
Coded Coefficients

Term	Effect	Coeff	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF	
Constant		1,4223	0,2446	5,80	0,000		
TRT Kapat Açıklığı		0,06038	0,00493	12,13	0,000	23,76	
Hava Miktarı		0,0488	0,0264	0,0233	0,99	0,378	13,49
Tepe Basıncı		0,2110	0,0055	0,0221	20,61	0,000	0,82
Hava Miktarı*Tepe Basıncı		0,18422	0,00214	0,0098	9,17	0,000	1,45

Regression Equation in Uncoded Units

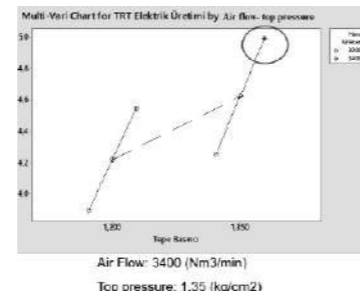
$$\text{TRT Elektrik Üretimi} = 11,43 + 0,06038 \text{ TRT Kapat Açıklığı} - 0,00488 \text{ Hava Miktarı} - 11,45 \text{ Tepe Basıncı} + 0,005476 \text{ Hava Miktarı} * \text{Tepe Basıncı}$$

As a result of The Experimental Design analysis, the model which has an effect on the electricity production has been obtained. The R-sq value of the model is 98.71% and the model is strong.



**Figure 3.** Factors affecting the production of TRT electricity

It was seen that parameters other than blade range were not effective. Air flow and top pressure have a direct effect on electric production.



**Figure 4.** The ideal combination was formed after the formulation.

Best combinations were transferred to bf operators' screens. In this way, electric production could be predicted.

**Table 5.** Top gas pressure after formulas

air range	Before top	after top
2750-2850	1,175	<b>1,20</b>
2850-2950	1,149	<b>1,25</b>
2950-3050	1,200	<b>1,25</b>
3050-3150	1,227	<b>1,35</b>
3150-3250	1,267	<b>1,35</b>
3250-3350	1,305	<b>1,35</b>
3350 ve üzeri	1,310	<b>1,40</b>

**Table 6.** The electric production prediction screen

Excel screenshot showing the formula:  $=15,63+0,06038 * C4 - 0,00688 * C5 - 11,45 * D4 + 0,005476 * C5 * D4$

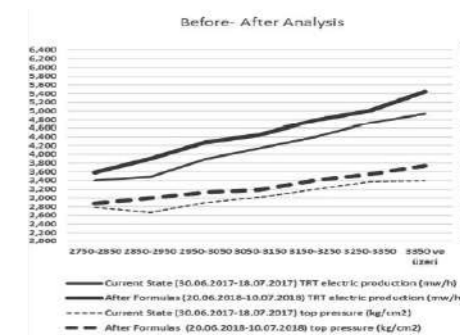
Trt electric production	5,38	mw
Blade	55	%
Air	3400	m3/min
Top Pressure	1,36	kg

**3. Results and Discussion**

**Table 7.** Electricity production comparison before-after analysis

Air range (Nm3/ min)	Current state (30.06.2017-18.07.2017) TRT production	After formulas (20.06.2018-10.07.2018) TRT production
2750-2850	3,40	3,58
2850-2950	3,49	3,90
2950-3050	3,89	4,28
3050-3150	4,14	4,45
3150-3250	4,40	4,78
3250-3350	4,73	5,01
Over 3350	4,94	5,45

The comparison of electricity production in the previous case and the electricity production after the formula is given in the table 7.



**Figure 5.** Increase in electricity production

The increase in the top gas pressure in the same air flows is shown in the figure 5. It is seen that electricity production increases as the top gas pressure increases.

**4. Conclusion**

**Table 8.** Productivity analysis

Air range	Current State (30.06.2017-18.07.2017) TRT electric production (mw/h)	After Formulas (20.06.2018-10.07.2018) TRT electric production (mw/h)	Current State (30.06.2017-18.07.2017) top pressure (kg/cm2)	After Formulas (20.06.2018-10.07.2018) top pressure (kg/cm2)
2750-2850	3,40	3,58	1,175	1,195
2850-2950	3,49	3,90	1,149	1,222
2950-3050	3,89	4,28	1,200	1,250
3050-3150	4,14	4,45	1,227	1,324
3150-3250	4,40	4,78	1,267	1,315
3250-3350	4,73	5,01	1,305	1,341
3350 ve üzeri	4,94	5,45	1,310	1,385
Average	4,14	4,64	1,288	1,382
electricity production difference (mw/h)		0,552		0,048
TRT-1 Annual working time	8000		hours	
Annual electricity gain	2812		mw/year	
power price (march 2019)	0,05		\$/ kwh	
Benefit (\$)	140.623		\$/year	

As a result, when working with higher top gas pressure, an annual benefit of \$ 140.623 was obtained. Besides, high top pressure also reduces the coke rate in the blast furnace. With every increase of top pressure of the blast furnace by 0.1 kg/sq cm there is a reduction of coke rate around 0.1 % [2].

**References**

[1] Trt in Brief xi'an Shaangu power co.,ltd ,April 24, 2009  
 [2]<<http://ispatguru.com/factors-affecting-coke-rate-in-a-blast-furnace/>> Dated: 10.09.2018

#### 4.Hava Ayrıştırma Tesisine Soğutucu İlavesi ile Üretim Artışı

Production Improvement of No.4 Air Separation Plant with Chiller Adaptation

Burçin Yılmaz, Muharrem Etcibaşı

### Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları A.Ş. • Türkiye

#### Özet

Hava ayrıştırma tesislerinde atmosferden emilen hava ön soğutma ve ön saflaştırma işlemlerinden sonra expansion valfler ve expansion türbinler vasıtasıyla soğutulmuş olarak likitleştirilir.

Sıcak dış hava koşullarının hakim olduğu yaz aylarında Hava Ayrıştırma Tesislerinin üretim performansında bir azalma söz konusu olmaktadır.

Atmosferden emilen havayı ayrıştırma prosesine göndermeden önce tekrar soğutarak yaşanan bu performans düşüşünün engellenmesine çalışılmıştır.

#### 1. Giriş

4 nolu Hava Ayrıştırma Tesisi (HAT) 1993 yılında ticari işletmeye alınmıştır. Tesiste Oksijen, Azot ve Argon gazları kriyojenik yöntemle üretilmektedir.

Ana hava kompresörü atarından atmosferden emilen hava önce spray cooler ünitesinde 15 °C ta kadar soğutulmakta, sonrasında Moleküler Sieve (MS) ünitesinde ön saflaştırma işlemine tabi tutulmaktadır.

Spray Cooler ünitesinin görevi, atmosferden emilen ve ana hava kompresörü tarafından 5,5 bara kadar basınçlandırılan 90°C sıcaklıktaki havanın soğutulmasını sağlamaktır. Bunun için Spray coller ünitesinin içinden geçen hava üzerine su kulesinde ve ilave olarak Evaporatör Cooler ünitesinde atık azot ile soğutulmuş su dökülmektedir. Hava ve suyun direk kontak yöntemiyle ısı transferi sağlanmaktadır. Burada 15°C ta soğuyan hava MS ünitesine gitmekte, ısınan su ise soğutulmuş üzere su kulesine geri dönmektedir.

MS ünitesinde havanın içindeki nem, CO<sub>2</sub>, Metan, Etan, Propan ve Asetilen gibi tehlikeli hidrokarbonlar tutulmaktadır. Nem ve CO<sub>2</sub> ayrıştırma prosesinde ileride tıkanmalara sebep olduğundan; hidrokarbonlar ise vaporezördeki sıvı oksijen içinde patlamalara sebep olabileceğinden kesinlikle kontrol edilmesi gereken parametrelerdir. Proses havası içindeki nem değeri -75 DP; CO<sub>2</sub> değeri < 1 ppm; Asetilen < 0,5 ppm ve diğer HC toplamı < 10 ppm mertebelerindedir.

Nem	CO <sub>2</sub>	Asetilen	THC
-75 DP	<1 ppm	< 0,5 ppm	< 10 ppm

Spray coller ünitesinden çıkan hava sıcaklığı 15 °C tan yüksek olursa hava sıcaklığı ve taşıdığı bağıl neme bağlı olarak MS bünyesinde bulunan malzemeler çabuk doyuma ulaşmakta ve işlevlerini yeterince yerine getirememektedir.

MS ünitesinde yaşanan bu olumsuzluğu bertaraf etmek için Spray Cooler çıkışındaki hava sıcaklığını 15°C mertebelerinde tutacak seviyede ana hava kompresör debisi ve buna bağlı gaz üretim miktarları kısımlıdır. Çoğunlukla yaz aylarında Mayıs-Eylül arası yaşanan bu durum yüzünden kademeli olarak tesis kapasitesinde %7-10 lara varan bir düşüş meydana gelmektedir.

#### Aylara Bağlı SC Çıkış Sıcaklığı

	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül
Eski Yıllar	15-18	16-19	16-18,5	15-17

#### 2. Uygulama

Yaşanan kapasite azalmasına çare olarak Spray Cooler çıkış hava sıcaklığının düşürülmesine yönelik uyguladığımız projemiz ise Evaporatör Cooler ünitesinde kirli azot ile 14°C ta kadar soğutulmuş suyu tekrar soğutacak bir amonyaklı chiller kurulması ve Spray Coolerdan çıkan havanın 15°C altında kalmasını sağlamaktır.

Öncelikle konulacak chiller için dizayn parametlerini belirledik. Soğutması gereken su miktarı 30 m<sup>3</sup>/h, sıcaklık farkı 8°C (14-6) ve su basıncı için gereken değer olan 12 bar olacak şekilde amonyaklı chiller imalatı yaptırıldı.

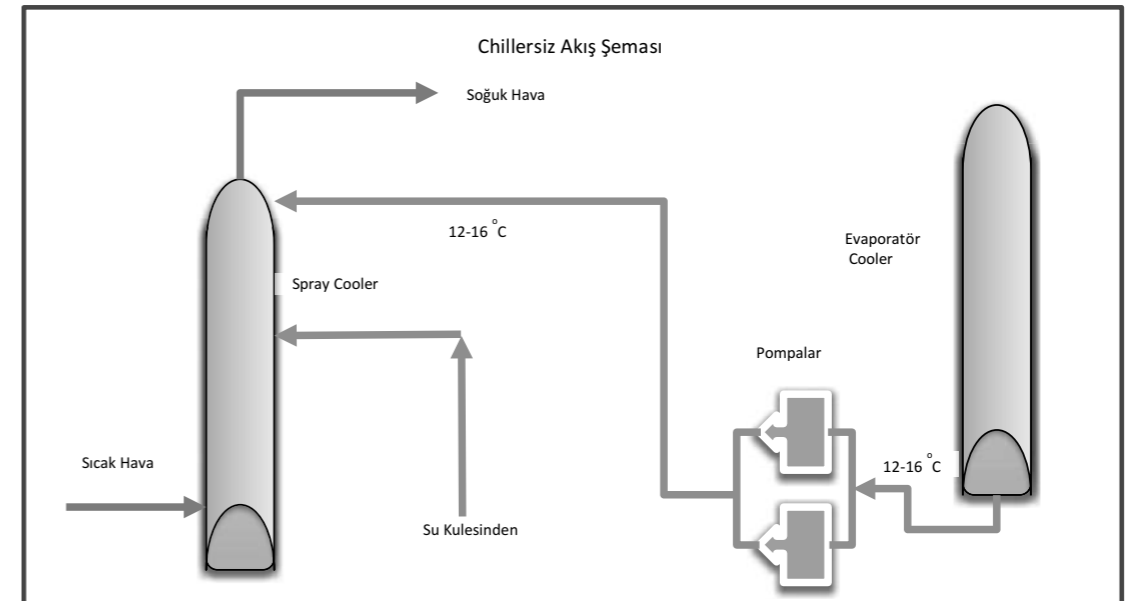
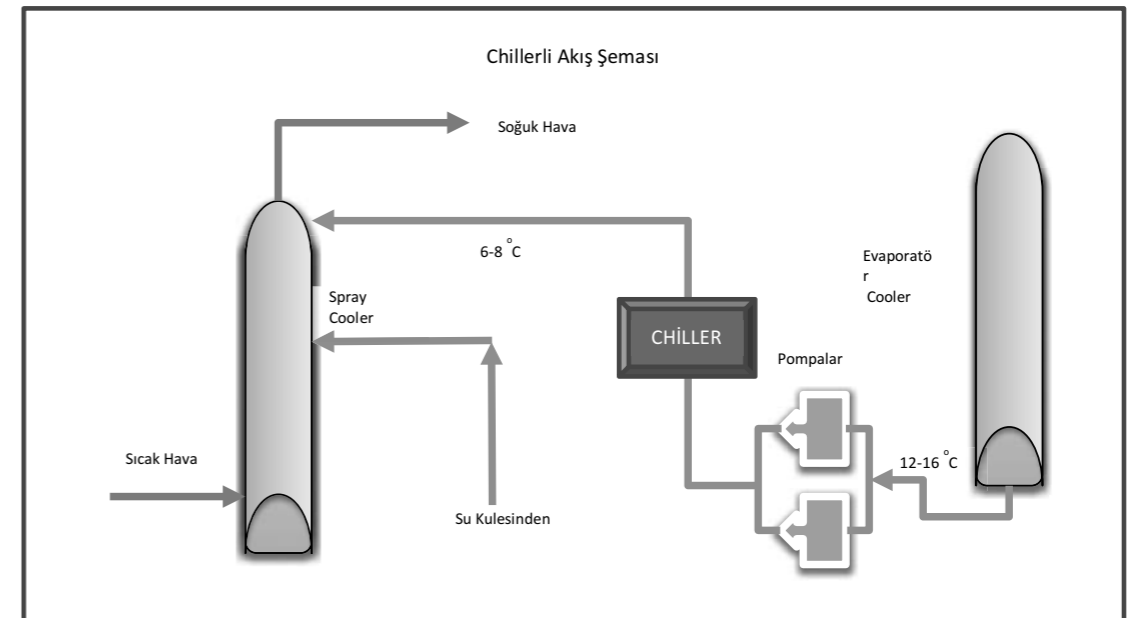
Chillerin devreye alınması ile birlikte Spray Cooler ünitesinden çıkan hava sıcaklığına bağlı olarak tesis kapasitesi kademeli olarak arttırıldı. Ana hava kompresörü debisi optimum bir seviyeye çıktığında Spray Cooler dan çıkan hava sıcaklığı da kademeli bir şekilde arttı ve maksimum 13,5 °C civarında seytermeye başladı

#### 3. Sonuçlar

Chillerin devreye alınması ile birlikte Spray Cooler ünitesinden çıkan hava sıcaklığına bağlı olarak tesis kapasitesi kademeli olarak arttırıldı. Ana hava kompresörü debisi optimum bir seviyeye çıktığında Spray Cooler dan çıkan hava sıcaklığı da kademeli bir şekilde arttı ve maksimum 13,5 °C civarında seytermeye başladı

Nihayetinde gaz dengeleri oturduğunda gaz oksijen üretiminde önceki yıllara nazaran %5; gaz azot üretiminde ise yaklaşık %7 lik bir artış sağlandı.

Yapılan tasarruf-kazanç ile yatırım tutarları karşılaştırıldığına yeni kurulan amonyaklı chiller grubunun kendisini 1,5 yıl gibi kısa bir zaman içinde amorti edeceği görüldü.



## Arc-Flash Analysis in High Voltage Systems

Yüksek Gerilim Sistemlerinde Ark-Flaş Analiz Çalışması

Sinan Yazıcı, İlhan Karaderili

Ereğli Iron and Steel Works, Inc. • Turkey

### Abstract

Erdemir is an integrated iron and steel making factory. It is a heavy industry company located in Ereğli, Zonguldak.

Erdemir consists of a lot of different factory and facility. Therefore, it takes "integrated" factory name. Electrical energy of whole factory is provided by Erdemir Energy Production and Distribution System.

Erdemir Energy Production and Distribution Directorate is responsible from operation and maintenance of the high voltage systems of whole factory. First priority when making maintenance and switching operations in these high voltage systems is to take necessary precautions about Occupational Health and Safety. In these kinds of works coordinately done by different disciplines, NFPA 70E standards are satisfied.

In Erdemir Electrical Distribution System, there are both arc-resistant and non arc-resistant switchgears. Non arc-resistant switchgears which are too old are still in use by the help of regular maintenance works. But, the number of these switchgears is decreasing year by year with modernizations. When working on especially non arc-resistant switchgears, it is important to use Arc-Flash Personal Protective Equipment (Arc-Flash PPE). Energy Production and Distribution Directorate's electrical workers carefully use this PPE according to NFPA 70E standards.

Besides that, workers know working distance, arc-flash boundary, limited and restricted distances. They do their jobs according to these technical parameters. They know that they have to stay in safety zone when working on an energized part.

Moreover, Erdemir uses EDSA Paladin DesignBase electrical simulation and modeling software. We can say that Erdemir Energy Distribution System takes shape from EDSA software. Because, before an investment for distribution system, short-circuit, power flow and arc-flash analyses are done by using this tool. Some technical decisions about the investment are decided according to these simulation results. In addition to that, arc-flash simulation results are used for commenting about NFPA 70E standards. By this way, it is aimed to take necessary precautions for occupational health and safety.

### 1. Introduction

In high voltage systems, making a maintenance plan, organizing periodic control tours for substations and giving necessary educations about high voltage systems are essential to ensure the electrical safety [1]. If one of them is disregarded, the result can be catastrophic. Therefore, we must care this issue.

Erdemir iron and steel making processes are dependent on electrical energy. Because of that, there are many substation in different locations. Facilities are fed from these substations. Substations consist of power transformers, switchgears, power cables and other electrical equipment. These substation can have different voltage levels. In Erdemir, there are three basic voltage level. They are 13.8, 2.4 and 0.4 kV. While 13.8 and 2.4 kV voltage levels are in high voltage range, 0.4 kV voltage level is in low voltage range.

Erdemir Energy Production and Distribution Directorate is responsible from high voltage systems. One of the most important responsibilities is taking necessary precautions against the electrical hazards. 100 msec is enough for electrical energy to destroy the equipment, environment, human etc. Therefore, we have decided to make an arc-flash analysis to show the risks and dangers of free electrical energy.

Our aims are to show risks of arc-flash and importance of appropriate arc-flash PPE, increase the consciousness about arc-flash danger, take necessary precautions according to simulation results and create safer working methods and working areas in this arc-flash analysis study.

We have used EDSA Paladin DesignBase electrical simulation tool for this study. This tool has been used for short-circuit and power flow analyses for a long time by Energy Production and Distribution Directorate's engineers. However, it has not been used for arc-flash analysis before.

A team was created for this study. The team contains electrical, electrical-electronics and electronics-communication engineers from different departments in directorate.

### 2. Theoretical Frame

NFPA 70E is a reference standard which determines the necessities that can decrease the electrical hazards when an electrical fault occurs.

According to this standard, there are two methods about using proper PPE. The first one is to use table method. If this method is used, the parameters like voltage level, fault clearance time etc. has to be taken into consideration. There are three steps in this method. At the first step, the job description and appropriate PPE usage are determined. At the second step, arc-flash category is determined according to the electrical parameters of the working place. At the last step, appropriate PPE and its properties are determined according to the arc-flash category [2].

Another method, second method, is to calculate incident energy ( $\text{cal/cm}^2$ ). For calculating incident energy, there are four different formulas which are Ralph Lee, Doughty-Neal, IEEE 1584 and Doan. By using these equations, incident energy can be calculated [3].

### 3. Procedure

In Erdemir Energy Distribution System, the voltage level is 13.8 kV. At this voltage level, table method can not be used for arc-flash analysis because of high level of short-circuit currents. Almost all simulation results say 'Never work when energized.'

Therefore, IEEE 1584 formula has been chosen as the most suitable method for calculation of incident energy.

#### 3.1. Data Collection

Before simulations, we had to collect real data from the field.

Firstly, our electrical workers had collected data we wanted. Then, we have updated the inventory that indicates the electrical properties of the 13.8 kV switchgears in Erdemir Energy Distribution System. Also, we have classified switchgears as arc-resistant or non arc-resistant.

Then, we have passed another stage, software stage. The single line diagram of Erdemir Distribution System has already been in EDSA Paladin DesignBase program. We have updated single line diagram since it was not actual single line diagram. Then, protection settings of the protection relays have been entered to the program. Time overcurrent and instantaneous overcurrent settings have been used. Protection settings affect short-circuit duration. Short-circuit duration affects incident energy directly. This can be seen from formula (2).

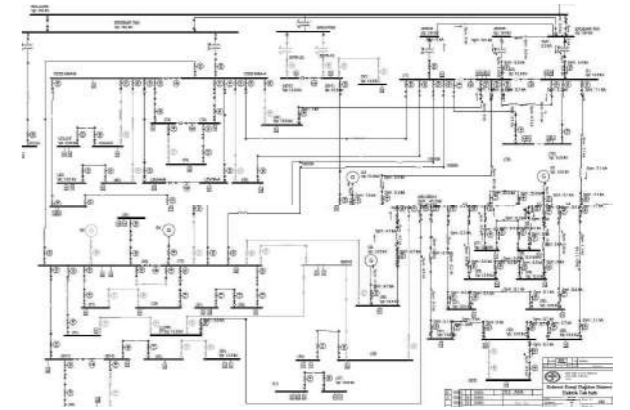


Figure 1. Erdemir Single Line Diagram in Paladin DesignBase program

In Figure 1, there is single line diagram of Erdemir Distribution System. In this diagram, there are high voltage equipments such as transformers, generators, busbars, circuit breakers, relays, power cables, relays etc. Catalogue parameters of these equipments have been entered to the program. Real time load values have been used for loads. They have been taken from Energy Distribution Management System, namely Citect SCADA.

After that, we have had capability to make arc-flash analysis.

#### 3.2. Analysis

There are 74 busbars at a voltage level of 13.8kV in Erdemir Distribution System. SWG 1-2 is one of the main distribution centers in our distribution system. SWG 1-2 has been chosen as pilot area and first analysis have been done in this distribution center.

IEEE 1584, Guide for Performing Arc Flash Calculations, [2], calculates incident energy for up to 15kV systems by using below equations:

$$\text{Log } E_n = K_1 + K_2 + 1.081 * \text{Log } I_a + 0.0011 * G \quad (1)$$

$$E = 4.184C_f * E_n * (t / 0.2) * (610^G / D^2) \quad (2)$$

Here;

- E : Incident Energy, J/cm<sup>2</sup>
- C<sub>f</sub> : Calculation Factor  
take 1 if smaller than 1 kV  
take 1.5 if equal or greater than 1 kV
- E<sub>n</sub> : Normalized E
- K<sub>1</sub> ve K<sub>2</sub> : Constant values according to earthed and closed system
- G : Distance between conductors, mm
- I<sub>a</sub> : 3-phase short-circuit current, kA



- $t$  : Arc duration, sec
- $x$  : Distance from table D.4.2
- $D$  : Distance between arc and human body, mm (working distance)

These constants are in below for Erdemir Distribution System:

- $C_f = 1$  (13,8 kV)
- $K_1 = -0.555$  (closed type switchgear)
- $K_2 = -0.113$  (grounding OK)
- $G = 153$  mm
- $x = 0.973$
- $D = 910$  mm

While Paladin DesignBase program is creating constants according to the electrical and physical properties of high voltage switchgears, it expects working distance and method of short-circuit calculation from the user [4].

" $t$ " means clearance time of an electrical fault of a protection relay. These clearance times of protection relays have been created according to the selectivity. Actually, this issue is the subject of protection systems. Effects of arc-flash on both human and environment can be reduced by decreasing clearance times.

Arc-flash calculation parameter setting page is as in Figure 2. We can choose buses on which arc-flash analysis will be made. Also, it can be chosen that equipment is either grounded or ungrounded. Moreover, the working distance can be changed. Besides, the short-circuit calculation method can be changed.

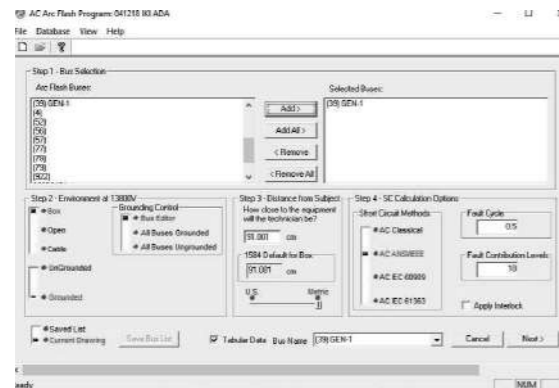


Figure 2. Arc-flash analysis setting page in Paladin DesignBase

According to the analysis results, 3-phase short-circuit current, incident energy, arc duration, appropriate PPE and approach distances such as arc-flash boundary and limited approach are determined. These results can be shown in a label as Figure 3.

<b>WARNING</b> Arc Flash and Shock Hazard Appropriate PPE Required			
Project: ARK EDJEN 13800V 19092018		Bus Name: (50)	
Shock Protection		Arc Flash Protection	
Nominal System Voltage	13.8 kV	Incident Energy	2.82 Cal/cm <sup>2</sup>
Arc Flash Boundary	220.1 cm	Working Distance	91 cm
Restricted Approach	66.0 cm		
Limited Approach	152.4 cm	Arc Current	24.9 kA

Figure 3. A label given by Paladin DesignBase program

#### 4. Results

Incident energy, approach distances, appropriate PPE compatible with the work that the workers do and rules that the workers have to obey have been tabulated for warning and awareness.

From analysis results, we can understand that everyone has to be away from energized equipment at a distance of 66 cm diameter. Besides that, we can also understand that unqualified workers has to be away from energized equipment at a distance of 152.4 cm diameter. The distance where the incident energy is 1.2 cal/cm<sup>2</sup> is named as arc-flash boundary. This boundary is defined as the limit of the second degree burn [5].

After arc-flash analysis, it was determined that which kind of works have to be done with appropriate PPE. In Figure 4, it can be found which kind of works require appropriate PPE. This table has been created by using NFPA 70E standards [2].

TABLO 1 - AŞAĞIDAKİ İŞLERDE ARK FLAŞ KORUMALI KKD KULLANMALI MIYIM?		
EVET	OG PANELİ ÜZERİNDEKİ İŞLER	HAYIR
İşyerinde bir iş yapılıyorysa Ark Flaş KKD kullanılmalıdır. (Aşağıdaki Tablo 2'ye bakınız)	Kapalı kapak enerjisi penoden bir değer olmamak	Ark Flaş KKD kullanma gerekmez
İşyerinde bir iş yapılıyorysa Ark Flaş KKD kullanılmalıdır. (Aşağıdaki Tablo 2'ye bakınız)	İşyerinde durumdaki paneller veya kesicilerin kontrolü ya da normal kontrollerini yapmak	İşyerinde bir iş yapılıyorysa Ark Flaş KKD kullanma gerekmez
Ark Flaş KKD kullanılmalıdır. (Aşağıdaki Tablo 2'ye bakınız)	Gerilim ölçümü dahil elektrik enerjisi ile ilgili ve devreler üzerinde çalışmak	Ark Flaş KKD kullanma gerekmez
Ark Flaş KKD kullanılmalıdır. (Aşağıdaki Tablo 2'ye bakınız)	Basitçe yerine koyma ve yerinden ayırma manevralarını yapmak	Ark Flaş KKD kullanma gerekmez
Ark Flaş KKD kullanılmalıdır. (Aşağıdaki Tablo 2'ye bakınız)	Gerilim trafosuun kompartmanlarını açmak	Ark Flaş KKD kullanma gerekmez
Ark Flaş KKD kullanılmalıdır. (Aşağıdaki Tablo 2'ye bakınız)	Gerilim trafosuun kompartmanlarını açmak	Ark Flaş KKD kullanma gerekmez
Ark Flaş KKD kullanılmalıdır. (Aşağıdaki Tablo 2'ye bakınız)	Gerilim testinden sonra ekipmana geçici kuruma (kennet) topraklaması yapmak	Ark Flaş KKD kullanma gerekmez
Ark Flaş KKD kullanılmalıdır. (Aşağıdaki Tablo 2'ye bakınız)	Çelik iletken elemanların mümkün olduğunca baskı, tarama, tarama veya bağlama hareketleriyle hareket ettirilmesi/manevraları	Ark Flaş KKD kullanma gerekmez
Ark Flaş KKD kullanılmalıdır. (Aşağıdaki Tablo 2'ye bakınız)	Çelik iletken elemanların mümkün olduğunca montajlı kapılar ya da malzemeler açmak	Ark Flaş KKD kullanma gerekmez
Ark Flaş KKD kullanılmalıdır. (Aşağıdaki Tablo 2'ye bakınız)	120 Volt ve daha düşük gerilim seviyelerindeki kontrol devreleri ve devre elemanları üzerinde çalışmak	Ark Flaş KKD kullanma gerekmez
Ark Flaş KKD kullanılmalıdır. (Aşağıdaki Tablo 2'ye bakınız)	120 Volt ve daha düşük gerilim seviyelerindeki kontrol devreleri ve devre elemanları üzerinde çalışmak	Ark Flaş KKD kullanma gerekmez
Ark Flaş KKD kullanılmalıdır. (Aşağıdaki Tablo 2'ye bakınız)	İzoleli hatların müdahale olmadan kontrol etmek	Ark Flaş KKD kullanma gerekmez
Ark Flaş KKD kullanılmalıdır. (Aşağıdaki Tablo 2'ye bakınız)	İzoleli hatların müdahale ederek kontrol etmek	Ark Flaş KKD kullanma gerekmez
Ark Flaş KKD kullanılmalıdır. (Aşağıdaki Tablo 2'ye bakınız)	Ayırıcıların manuel olarak manevrasını yapmak	Ark Flaş KKD kullanma gerekmez
Ark Flaş KKD kullanılmalıdır. (Aşağıdaki Tablo 2'ye bakınız)	Ayırıcıların bir kontrol paneli üzerinden manevrasını yapmak	Ark Flaş KKD kullanma gerekmez
Ark Flaş KKD kullanılmalıdır. (Aşağıdaki Tablo 2'ye bakınız)	Eğrisi açık veya kapalıyken starterları yerine koyma ve yerinden ayırma manevralarını yapmak	Ark Flaş KKD kullanma gerekmez

Figure 4. Table-1: Which works need Arc-Flash PPE?

TABLO 2 - ARK FLAŞ KKD ÖZELLİKLERİ NASIL OLACAK ?

KKD KATEGORİSİ	KULLANILACAK KKD	GÖRÜNÜM
4	Ark Korumalı Giyim, Minimum Değeri 40 cal/cm <sup>2</sup> Ark Flaş Korumalı Çeket Ark Flaş Korumalı Pantolon Ark Flaş Korumalı Başlık Yüksek Gerilim Eldiveni (13,8 kV için Seviye 2) Koruyucu Ekipman Baret Koruyucu gözlük Kulak içi kulaklık Deri ayakkabı	

Figure 5. Table-2: Properties of arc-flash PPE

#### 5. Conclusion

In this study, arc-flash analysis in high voltage systems is described.

NFPA 70E standard determines the arc-flash category as 4 in 1 to 15 kV systems because of high short-circuit currents and clearance times of Erdemir Distribution System. So, the arc-flash analysis is based on calculation of incident energy methods. Arc-flash category can change according to incident energy (cal/m<sup>2</sup>).

Personnel has been informed about arc-flash risks. They have got the issue about the arc-flash. By the help of warning tables, they have been informed about using appropriate PPE suitable with the kind of work. Also, they have been informed about approach distances.

Erdemir Energy Production and Distribution Directorate procures arc-resistant switchgears because of the danger of arc-flash.

#### REFERANSLAR

- [1] NFPA 70E., *Standard for Electrical Safety in the Workplace*. 2015, 120.(A)
- [2] NFPA 70E., *Standard for Electrical Safety in the Workplace*. 2015, 130.7(C)(15)(A)(a) , 130.7(C)(15)(A)(b), 130.7(C)(16)
- [3] NFPA 70E., *Standard for Electrical Safety in the Workplace*. 2015, Annex D
- [4] Paladin Designbase, *EDSA User's Guide*, 2004
- [5] NFPA 70E., *Standard for Electrical Safety in the Workplace*. 2015, 130.5(G)

## The Improvement of Mechanical Properties of Alumina Based Castables by the Optimisation of Particle Granulation

Alümina Esashi Dökülebilir Refrakterlerin Tane Boyut Dağılımı Optimizasyonu ile Mekanik Özelliklerinin Geliştirilmesi

Melis Oktay<sup>1</sup>, Serdar Özgen<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Erdemir Steel Service Center, <sup>2</sup>Istanbul Technical University • Turkey

### Abstract

The particle size distribution of the aggregates in castable refractories is of prime importance for the determination of the mechanical properties of these materials. The study involves the development of particle granulation of a reference castable composition with the aim of improving the mechanical properties and particularly the thermal shock resistance. Various castable formulations were prepared using a range of tabular and reactive alumina powders with nine different particle size fractions. Four different castable compositions were designed according to the modified Andreassen's distribution coefficient (q). The progress of experimental series were systematically developed towards the optimisation of obtained results. Rheological behaviour of these castable mixtures were examined. Shaped green specimens were produced with vibration casting which were subsequently dried and sintered at different temperatures. The main physical and mechanical properties of the castables were determined together with their microstructural analyses. Ranges of thermal shock tests were applied to the sintered specimens. Fracture behaviour of different formulations based on q values were determined. Optical examinations on fractured surfaces of the specimens were performed. The results were evaluated in a manner towards reaching the ideal formulation. The study showed that a sensitive and systematic approach to granulation and particle size distribution development is essential for attaining the desired mechanical properties of alumina based castable refractories.

### 1. Introduction

Castables have a continuous matrix phase containing fine aggregates, bonding material, and additives. The choice of aggregate, bond phase, particle size distributions and the chemistry and mineralogy affect the flow properties and properties of the final refractory castable. Besides, the particle size distribution decides whether a castable becomes a vibratable or a self-flowing castable and the porosity [1,2]. Physical, mechanical and thermo mechanical behaviours of castables are all remarkably affected by the particle size distribution design. Coarse particles in composite structure

have a lower sintering activity whereas improved particle packing enhances the sintering which in turn reduces porosity and increases strength of the castable. Thermal shock and slag corrosion resistance of castables also depend on porosity. The study involves the development of particle granulation of a reference castable composition with the aim of improving the mechanical properties. The results were evaluated in a manner towards reaching the ideal formulation and it was determined as q=0.35, considering properties of the reference castable having q=0.31 value.

### 2. Experimental Procedure

#### 2.1. Characterization of raw materials

Tabular alumina fractions up to 5 mm and reactive alumina were used. The additives were calcium aluminate cement as a binder and dispersants. Chemical compositions of the alumina raw materials and binders determined by Rigaku Nex CG EDX-Ray Fluorescence Spectrometer are given in Table 1. Particle size measurements up to 300 micron of tabular alumina were carried out by using Ro-Tap Automatic Sieve Shaker device. Particle size data of the raw materials with 200 microns and below were obtained with regard to particle size distribution by using Cilas 1090 Particle Size Analyzer is presented in Table 2.

**Table 1.** Chemical compositions of raw materials.

	Components (wt%)						
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	TiO <sub>2</sub>
Tabular alumina	99.5	0.40	0.06	0.03	-	-	-
Reactive alumina	99.7	0.10	0.05	0.03	-	-	-
Cement	71.06	0.27	0.15	0.06	28.21	0.21	0.03

**Table 2.** Particle size data of raw materials for fine sizes.

Raw material (µm)	d <sub>10</sub>	d <sub>50</sub>	d <sub>90</sub>
Tabular alumina (0-200 µm)	5.43	50.1	178.55
Reactive alumina	0.22	1.80	5.07
Calcium aluminate cement	1.85	14.48	51.12

### 2.2. Castable formulations

Four different castable compositions were designed according to Modified Andreassen's distribution coefficient (q). The modified Andreassen equation is expressed in Equation (1) [3].

$$CPFT = \frac{D^q - D_s^q}{D_L^q - D_s^q} \times 100 \quad (1)$$

where,

D: particle size

D<sub>s</sub>: minimum particle size in distribution

D<sub>L</sub>: maximum particle size in distribution.

Firstly, the results of particle sizes from screen and laser diffraction analyses and density values of each particle components which were registered to the computational design software EMMA version 3.5.1.33 (Elkem Materials Mixture Analyzer). Using the software, mixtures composed of several size fractions can be easily formed as a function of a desired particle size distribution coefficient, q.

Then, q-values are studied in the range of 0.40 and 0.22 to figure out rheological, casting, physical, mechanical and thermal properties of the castables. The reference recipe had a q value of 0.31 which was the gas purging plug castable refractory composition for comparison. The progress of experimental series was systematically carried out towards the optimisation of the properties. In light of the findings, new recipe having q-value of 0.35 giving the desired properties was designed. The formulations of mixtures of components which were adjusted to desired modified Andreassen q values that varied as 0.22, 0.31, 0.35 and 0.40, are given in Table 3.

**Table 3.** Compositions of castables in terms of raw materials used.

q-values	0.31 Ref.	0.22	0.35	0.40
Raw materials	Composition, wt%			
Tabular Alumina (2-5 mm)	30	15	30	30
Tabular Alumina (1-2 mm)	15	16	15	15
Tabular Alumina (0-1 mm)	23	20	23	25
Tabular Alumina (0.5-1 mm)	-	5	-	-
Tabular Alumina (0-0.5 mm)	12	10	13	13
Tabular Alumina (0-0.3 mm)	-	-	3	2
Tabular Alumina (0-0.2 mm)	-	11	3	2
Tabular Alumina (0-0.02 mm)	-	2	-	-
Tabular Alumina (0-0.044 mm)	6	3	-	-
Reactive Alumina	7	11	6	3
Cement	7	7	7	7
Water	4.8	4.8	4.6	4.8

The water content in the recipes (q=0.22, 0.31 and 0.40) were held at a constant value of 4.8 % considering the moulding, bulk density, porosity, mechanical properties and thermal shock resistance. For the new recipe (q=0.35), required water amount was determined as 4.6 %.

### 2.3. Fabrication of castable specimens

Raw materials having different size fractions of aggregates and powders were weighed depending on the determined recipes. 1 % dispersant system was also added to recipes. The batches were dry-mixed, water was added and then the batches were wet-mixed. After mixing, castable batches poured into metal moulds under vibration. When vibrational casting was completed, mixtures were kept for a setting time to solidify then shaped refractory specimens were demolded. Shaped green specimens were subsequently dried at 110°C for 18 h and fired at 1000°C and 1500°C for 2 h.

### 2.4. Characterization of refractory specimens

Apparent porosity and bulk density measurements were carried out by Archimedes' method which depends on ASTM C20-00 standard. Cold crushing strength measurements were conducted in accordance with ASTM C133-97 standard using cubes of dimensions 50x50x50. The dynamic modulus of elasticity measurements were performed by an impulse excitation vibration by GrindoSonic MK6 model instrument using 40x40x160 mm dimension specimens in accordance with ASTM E1876 standard. Flexural strengths were assessed by using three-point bending tests. Dried reference and optimum cement-free specimens were characterized by using a high temperature Anter dilatometer at 3°C/min heating and cooling rates under air atmosphere. To determine and compare thermal shock resistances, thermal shock tests were carried out by water quenching method. In this regard, the specimens having 50x50x50 mm dimensions were subjected to 5, 10, 15, 20, 25 and 30 thermal shock cycles. The microstructures of samples were analyzed using a Zeiss Stereomicroscope. Microstructural analyses were conducted by Nikon Eclipse Optical microscopy and JEOL-6000 scanning electron microscopy.

### 3. Results and Discussion

#### 3.1. Apparent porosity and bulk density results

Apparent porosity and bulk density results for specimens (q=0.22, 0.31, 0.35 and 0.40) were heat treated at 110, 1000 and 1500°C are given in Figure 4 and Figure 5, respectively.

At 110°C, the apparent porosities were ranged from 8.4 % to 13.5 % for the specimens having different q values. Apparent porosities slightly increase with the rise of heat treatment temperature up to 1000°C due to evaporation of crystalline water. The evaporation creates free space in the

material and therefore cause an increase in apparent porosity. Heating the specimens above 1000°C leads to sintering and densification of material caused by formation of ceramic bond and therefore decreased porosities were obtained.

**Table 4.** Results of apparent porosity tests.

q-values	Content of water (%)	Apparent porosity (%)		
		110°C	1000°C	1500°C
0.40	4.8	13.3	19.1	17.8
0.35	4.6	13.5	19.7	17.7
0.31	4.8	11.5	17.6	16.4
0.22	4.8	8.4	15.6	15.8

Apparent porosities ranged from 15 % to 17.7 % for the specimens (sintered at 1500°C) having different q values. Since loose packed structure is obtained as q values of the specimens increased from 0.22 to 0.40 (i.e. decreased fine fractions of aggregates in the composite structure) porosity of specimens increased for each temperature. Apparent porosity values of the specimens having q values of 0.35 and 0.40 are close to each other but the both are slightly higher than the specimens with q=0.31.

**Table 5.** Bulk density results.

q-values	Content of water (%)	Bulk density (g/cm <sup>3</sup> )		
		110°C	1000°C	1500°C
0.40	4.8	3.12	3.06	3.03
0.35	4.6	3.14	3.06	3.02
0.31	4.8	3.15	3.09	3.05
0.22	4.8	3.16	3.09	3.05

Bulk densities ranged from 3.16 to 3.12 g/cm<sup>3</sup> for dried specimens having q values of 0.22 and 0.40. As the temperature increased bulk densities decreased as a result of decreasing porosity level of the specimens. The porosity decreased from 17.8 % to 15 % while bulk density increased from 3.02 to 3.05 g/cm<sup>3</sup> for the specimens sintered at 1500°C.

### 3.2. Cold crushing strength results

The cold crushing strength values are tabulated in Table 6.

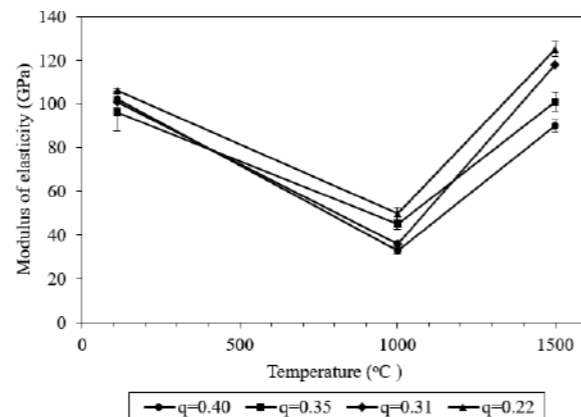
**Table 6.** Results of cold crushing strengths of castables with q-values.

q-values	Content of water (%)	Cold crushing strength (MPa)		
		110°C	1000°C	1500°C
0.40	4.8	78.4	48.4	67.8
0.35	4.6	91.9	59.8	98.8
0.31	4.8	102.9	46	125.8
0.22	4.8	90.7	69	193

Dried specimens' cold crushing strength values ranged from 78.4 to 102.9 MPa. The cold crushing strength values of all specimens at 1000°C decreased somewhat ranging from 46 to 69 MPa depending on the q-values. At 1500°C, CCS values increased for all q-values. It reached to a value of 193 MPa for the specimen having q-value of 0.22 while the specimen with q=0.40 had 67.8 MPa. At 110°C, hydraulic bond forms in cement and matrix. On heating, chemically bound water is released by breaking bonds and resulted in slight decrease of the cold strengths because of insufficient sintering to form the ceramic bond at 1000°C. Heating the specimens to 1500°C, leads to the sintering and densification of material caused by the formation of ceramic bond which in turn raises the CCSs. The mixture which is prepared with q=0.22 has more fine particles. Due to the particle packing, specimen having q=0.22 has higher cold crushing strength at 1500°C in comparison to the others. The specimen with 0.35 q-value has 98.8 MPa which is slightly lower than the reference specimen's (q=0.31) at 1500°C. It can be concluded that by increasing the coarser particle size fraction in mixtures, the values of cold crushing strength decreases.

### 3.3. Dynamic modulus of elasticity

The results of dynamic modulus of elasticity for specimens depending on q values and temperature obtained by the impulse excitation test are given in Figure 1.

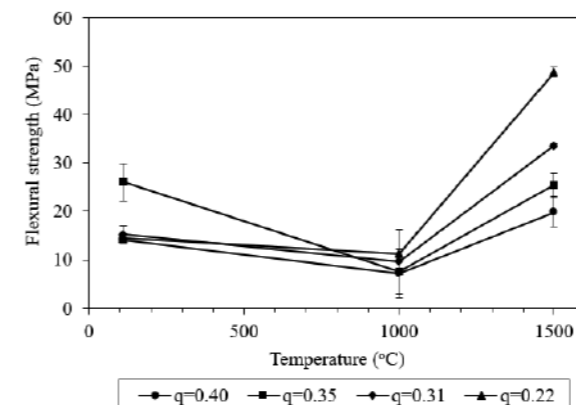


**Figure 1.** Changes of modulus of elasticity with temperature and q-values.

The cold crushing strength and modulus of elasticity of the castables with high q-values were lower, which might be caused by a lower sintering activity of the coarser particles. Elastic modulus of the castables fired at 1500°C were in the range of 90 and 125 GPa as q-values decreased from 0.40 to 0.22.

### 3.4. Three-point bending test results

Flexural strengths are presented as a function of firing temperature in Figure 2.

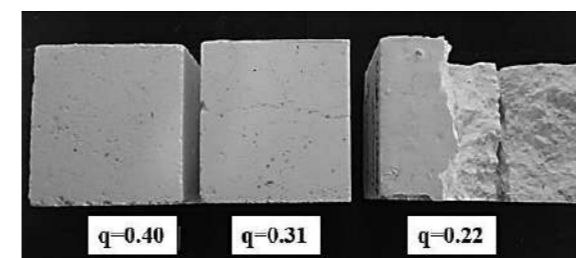


**Figure 2.** Changes of flexural strength with temperature and q-values.

Results of flexural strength show similar trend as the results obtained for cold crushing strength. Dried specimens' flexural strength values ranged from 14.1 to 26 MPa. Slight drops of cold crushing strengths observed for all the specimens treated at 1000°C for 2 h because of breakage of hydraulic bonds and insufficient sintering. Firing at 1500°C for 2 h, due to the formation of the ceramic bond and more sintering, the values of flexural strength increased. The result shows that specimen with q=0.22 recorded the highest flexural strength of 48.7 MPa followed by specimen with q=0.31 (33.5 MPa), specimen with q=0.35 (25.4 MPa) and specimen with q=0.40 (19.8 MPa). They ranged from 19.84 MPa to 48.78 MPa as q-value decreased from 0.40 to 0.22 for castable specimens.

### 3.5. Thermal shock resistance

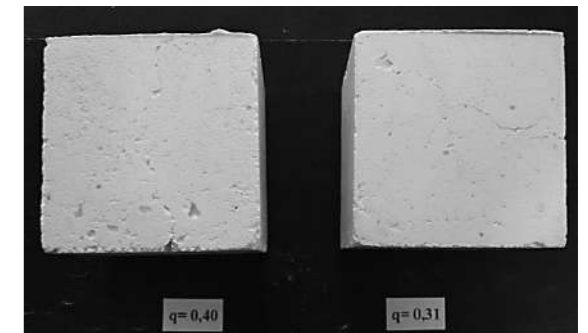
Thermal shock resistance of sintered specimens was investigated and thermal shock damage of the castables were compared. Photos taken from the surfaces of the thermally shocked specimens are given in Figure 3 and Figure 4.



**Figure 3.** Surfaces of refractory specimens after 20<sup>th</sup> cycle thermal shock tests.

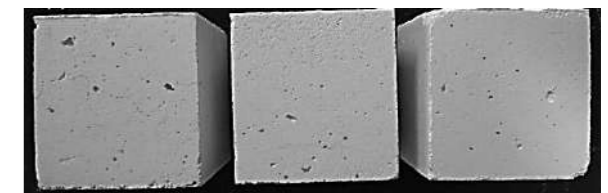
Visual examinations of the surfaces show that cracks were observed on specimens with q=0.22 after 5th cycle. The cracks become clearer and some chippings from edges of the specimens were occurred at the end of 10th cycle. Both

vertical and horizontal cracks observed all over the surfaces of the specimens at 15th shock cycle. They split to two pieces at 19th cycle. Although surface cracks were started to form on the specimens with q=0.31 at 5th cycle and on the specimens with q=0.40 at 15th cycle, they were all survived for 30th shock cycle.



**Figure 4.** Surfaces of with q=0.40 and q=0.31 specimens after 30<sup>th</sup> cycle thermal shock tests.

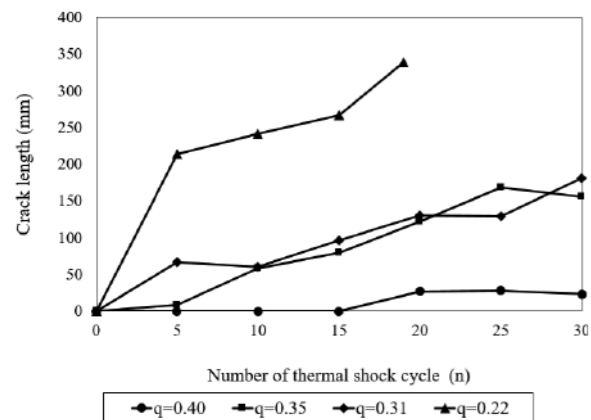
Thermal shock test was also applied to specimens with q=0.35. Short surface cracks were observed at 5th shock cycle for specimens with q=0.35. Number of surface cracks were gradually increased up to 25th cycle and tend to decrease at 30th shock cycle. As seen in Figure 5, formed cracks on the surface of specimens were photographed after thermal shock cycles.



**Figure 5.** Pictures of specimens with q=0.35 after 30<sup>th</sup> thermal shock cycle.

Visible crack lengths measured from surface of the specimens as a function of number of shock cycles are given in Figure 6. Comparing with the reference recipe (q=0.31) total crack length was shorter for the specimens with 0.40 q-value and as q-values increase, total crack lengths tend to decrease. For specimens with q=0.22, the number of cracks markedly increased in each thermal shock cycle and it had the longest crack lengths up to 19th cycle.

The total lengths of visible cracks on surfaces of specimens with q=0.35 were also presented in Figure 6. It can be quantified that total length of thermal shock cracks were shorter than total crack length of reference recipe (q=0.31) but longer than crack length of the specimen with q=0.40. Thermal shock behavior of specimens with q=0.35 exhibits similar trend with q=0.40.



**Figure 6.** Crack lengths versus number of thermal shock cycle.

Cold crushing strength changes of the castables were given in Table 7.

**Table 7.** Changes of cold crushing strength after thermal shock tests for specimens.

Number of thermal shock cycle	Change in cold crushing strength (%)			
	q=0.40	q=0.35	q=0.31	q=0.22
5	7.5	1.8	7.3	16.1
10	5	2.1	8.2	23.3
15	2.4	2.8	8.2	29
20	3.5	4.2	13.8	32.4
25	3.7	9	10.6	-
30	6.4	7.4	13.4	-

The most marked decrease in CCS noted for the specimens with q=0.22 after all thermal shock cycles.

Thermal shock damage resistance parameter  $R'''$  characterizes the ability of a material to resist crack propagation [4]. The  $R'''$  parameter is affected by modulus of elasticity (E), flexural strength ( $\sigma_f$ ) and Poisson ratio ( $\mu$ ).

$$R''' = \frac{E}{\sigma_f^2 (1-\mu)} \quad (2)$$

Thermal shock parameter,  $R'''$  calculated from Equation (2) and given in Table 8.

**Table 8.** Calculated thermal shock damage parameter ( $R'''$ ) of the castables.

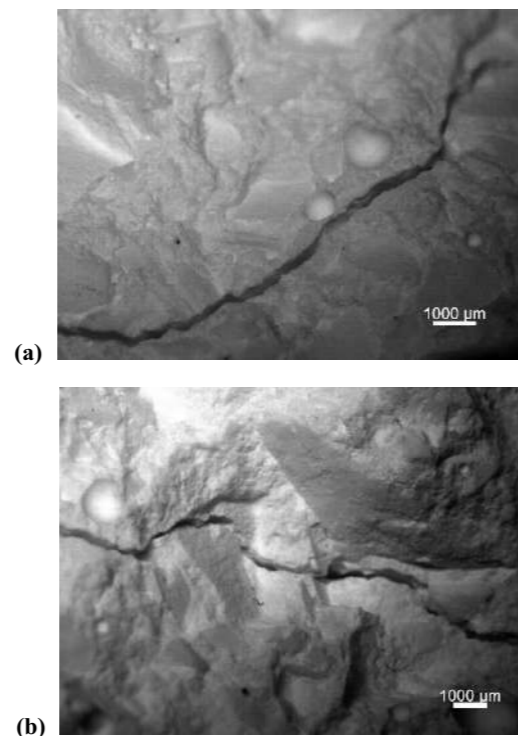
q-value	$R'''$ (MPa <sup>-1</sup> )
0.22	75.04
0.31	149.20
0.35	223.24
0.40	327.56

As q-value of the castable increased calculated  $R'''$  value also increased, which is in accord with the thermal shock test results. The current results suggest that coarser particle sizes

should result in greater thermal shock resistance. However, it is also important to note that larger particle sizes and increased porosity give rise to lower residual strength level.

### 3.6. Microstructural Characterization

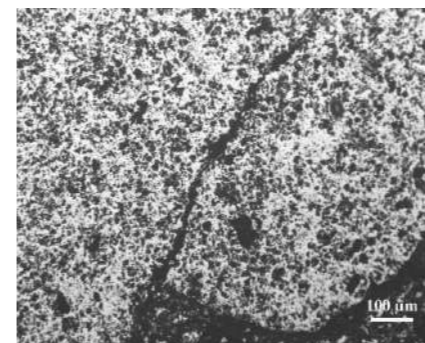
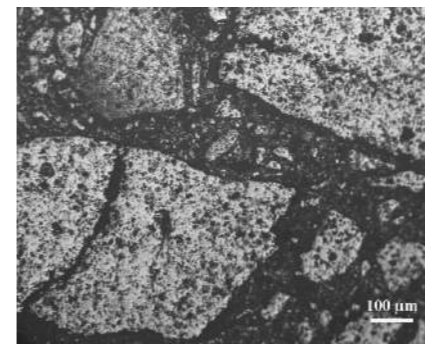
Fracture surfaces of specimen after 19th cycle of thermal shock test was examined using by stereomicroscope and presented in Figure 7.



**Figure 7.** Fracture surface of cement containing specimen with q=0.22 after thermal shock test (a) 10x and (b) 12x magnifications.

Cracks in the castables occurred as a result of thermal stresses caused by thermal shock. Microstructural examinations showed that intergranular cracks propagated along fine alumina aggregates. But, crack also propagated transgranularly through the coarse grains. It depends on geometry and orientation of grains and coinciding angle of cracks with the grain. Generally, intergranular fracture is the main fracture mode in case of weak grain boundary.

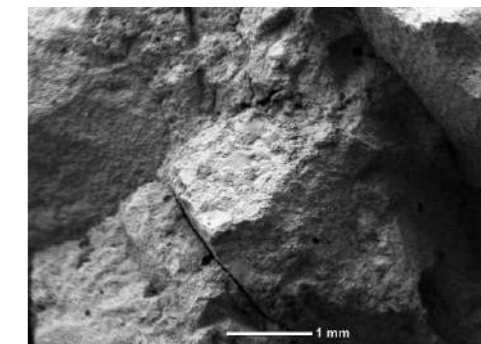
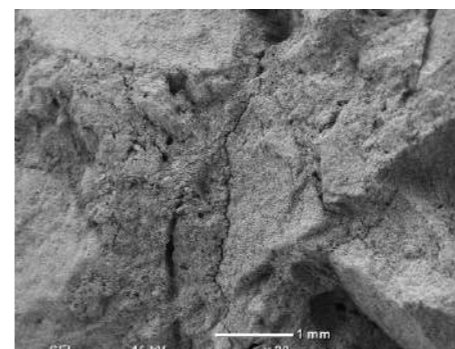
Fracture surface is also examined by using optical microscopy. Figure 8 represents the microstructure of cement containing specimen after the 19th cycle of thermal shock test by 50x magnification.



**Figure 8.** Optical microscopy images of the specimens with q=0.22 after 19th shock cycle.

The optical images show that transgranular fracture takes place where the cracks are encountered in large aggregates in the structure. It is expressed in the literature that larger the grain size is the more likely transgranular cracking happens and the transgranular proportion increases with the increase of grain size. Intergranular fracture occurred in fine grained materials because it has more grain boundaries and a shorter grain boundary length of each grain compared to coarse-grained castables [5].

Fractured surface topography of specimen with q=0.35 after 20th thermal shock cycle was examined by using scanning electron microscope and the images are given in Figure 9.



**Figure 9.** Fracture surface topography of cement containing castable with q=0.35.

Thermal shocked cracks are intergranular in sections with small grains and transgranular in sections with large grains.

### 4. Conclusion

As a result, castable refractory with q=0.35 showed better mechanical and thermal shock properties than the reference castable. The study showed that a sensitive and systematic approach to granulation and particle size distribution development is essential for attaining the desired mechanical and thermomechanical properties of alumina based castable refractories.

### Acknowledgment

The authors would like to thank to Metamin Refractory Company-Turkey for their support.

### References

- [1] R. Sarkar, Particle size distribution for refractory castables: A review, *Interceram* 66 (5), Ceramic Monographs – Handbook of Ceramics, 2017.
- [2] S. Banarjee, *Monolithic Refractories: A Comprehensive Handbook*, World Scientific, 1998, Illinois, USA.
- [3] B. Myhre, Particle size distribution and its relevance in refractory castables, 2<sup>nd</sup> India International Refractory Congress, 1996.
- [4] C. Dünzen, O. Splittgerber and A. Wolter, *Refractories Worldforum*, 9, Issue 1, 2017, 55-60.
- [5] W.D. Kingery, H.K. Bowen, D.R. Uhlmann, *Introduction to Ceramics*, Second Edition, John Wiley&Sons Inc., 1975, Canada.

## Overview of Vesuvius Laser Scanner Systems and Advanced Refractories Robotics

Duncan Tomlinson, Christopher Bryce, Kris Hudson

Vesuvius • United Kingdom

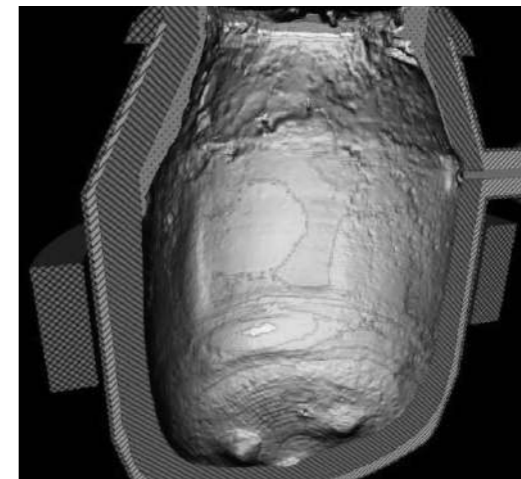
Vesuvius has the capability to supply Laser scanner devices for the refractory industry through its wholly owned fully integrated company PMC. PMC has a world-wide customer base with to date 150 lasers in service. PMC not only supply lasers more importantly we supply customer a bespoke solution to suit the customers exact requirement.



### Mobile and Fixed systems for ladle and BOV

The latest technology is designed for insertion into hot vessels. This allows a 100% imagery capture to take place through a single scan. The advantage being time savings safety and automation of the systems, the new innovation being launched in 2019 is the 300i, which is designed for insertion into torpedo ladles and EAF furnaces. The intention is that this could be inserted through the slag door of a con steel furnace for example, inside a ladle and into the mouth of a BOF. The 300i uses PMC very own Hyperion software system which is a windows-based development that enables the user to access the very latest software, with a drag and drop capably along with infinite methods to manipulate and analyse refractory from 3D manipulation to output wear graphs volume representations. PMC are always happy to tailor solutions to fit customers requirements if a solution does not currently exist.

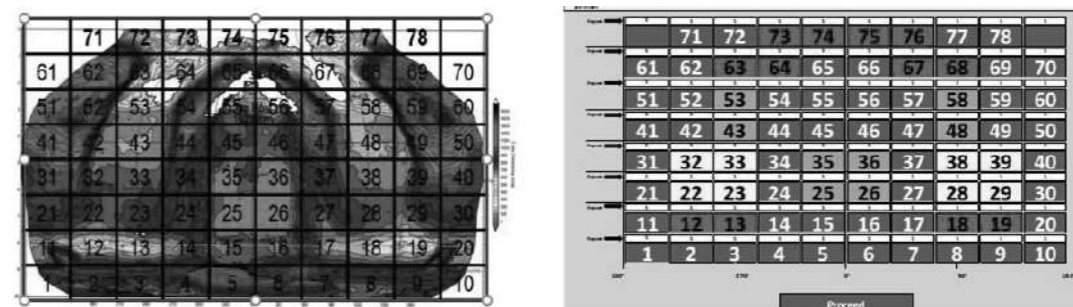
3D image of a BOF scan with the detail to view the BRICK Joints in the vessel bottom.



Vesuvius is a Technology driven Solutions company, and as such we are rapidly developing Robotic solutions for the refractory maintenance of vessels for the steel industry. These solutions will come under the umbrella of VARG : Vesuvius Advanced Robotic Gunning. A VARG being an old Nordic word for a wolf.

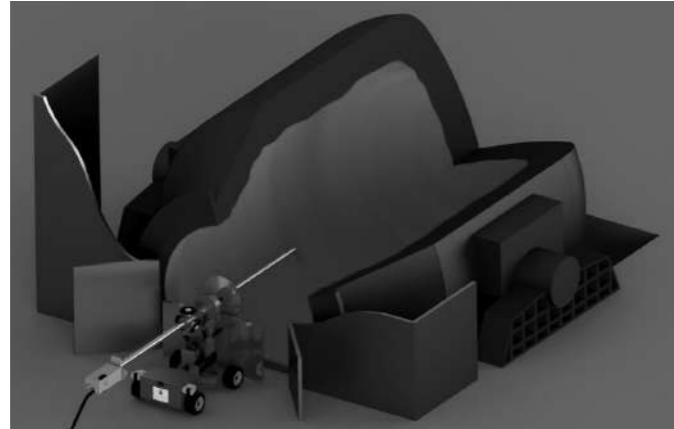
### VARG BOF

The latest development taking place is the BOF VARG solution, this is the most challenging of the applications due to the complexity the BOF Furnace operation, rotating a furnace through 360 degrees in operation presents some unique challenges to robotic repair of the furnace lining. Vesuvius have developed a unique solution to the challenge which is based on the same principles as the EAF and Ladle solution to refractory maintenance. Using a semi-automatic manipulator, the control of the repair decision remains with the plant operators as in all the Vesuvius systems. The customer confirms the grid selection to repair and once the manipulator is positioned in front of the furnace the semi-automatic gunning sequence is then initiated.



The PMC system provides the map and the coordinates for the manipulator to repair the worn area of the furnace, the position in the vessel is calculated by a combination of triangulation, furnace tilt and wear profile compared to the vessel in x-y-z and x-y-z of the shooter at the time of the gunning,

a unique set of coordinates are downloaded to repair each time a repair takes place from the pmc Gunning manager which is a system that calculates coordinates and manages the gunning sequence.

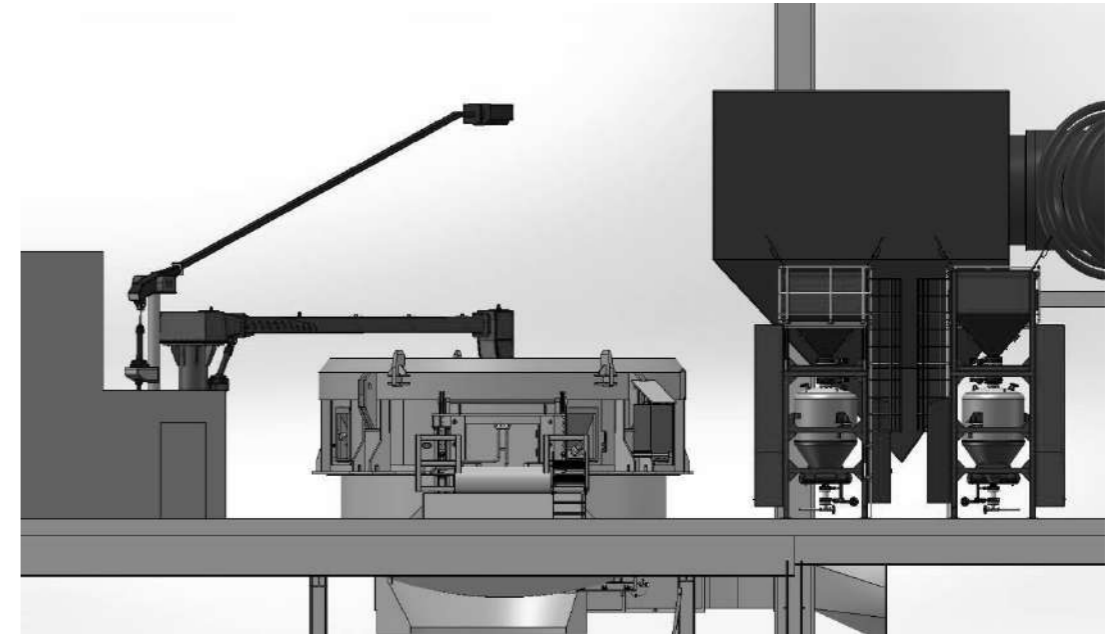


The VARG BOF solution

- Will improve refractory repair yield.
- Improve safety in the steel plant taking maintenance personnel away from the hot furnace
- Increase repair accuracy
- Improve consistency of repair
- Lower costs and improve life
- Improve visibility of repair mass usage recording what material was deployed where and when.

### VARG EAF

The system installed will first scan the EAF to pinpoint the wear profile with the use of a PMC laser. The refractory profile map is then used to guide the gunning system to pinpoint repair in the desired area.

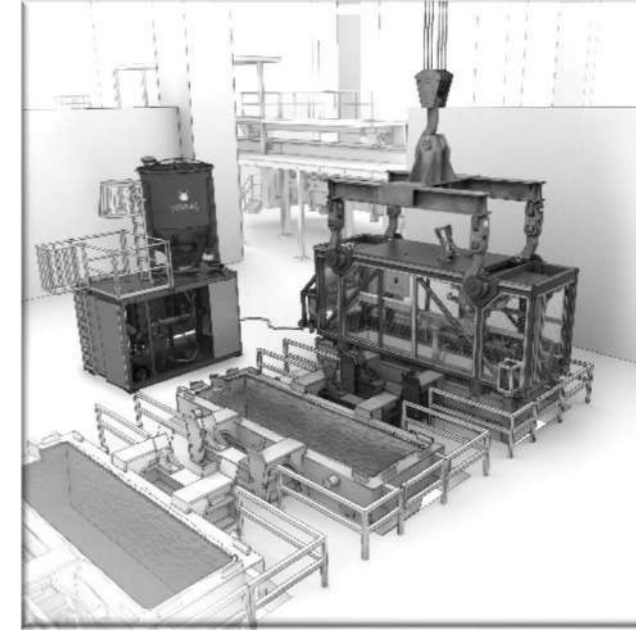
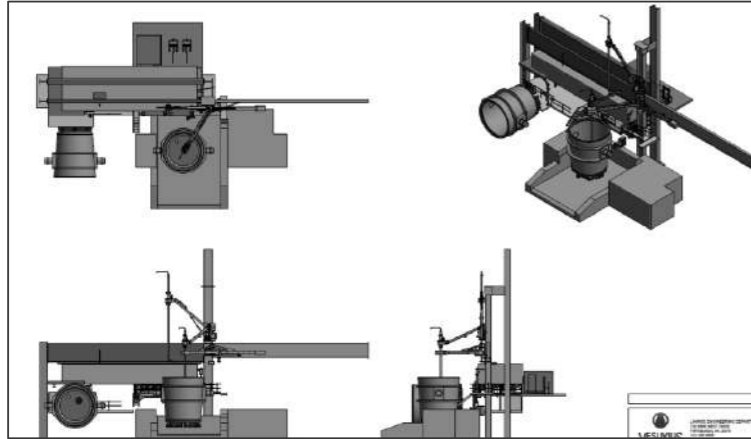


The EAF system consist of a set of gunning hoppers, a laser head and a manipulator arm which is driven by the mechatronics programmed from the wear profile of the furnace, the material application is semi-automatic allowing the plant to keep control of the decision to carry out repair or continue production.

### VARG Ladle

The system is based on the same technology and principles of the VARG solution for the EAF. The system consists of a laser head, robotic manipulator driven by the mechatronics and the wear map from the ladle lining laser scan, again the solution is a semi-automatic system allowing the customer to keep control of the maintenance practice, with the suggested area of repair requires confirmation from the customer operations team before maintenance material is deployed through the manipulator arm. The image below shows the limited space available in the bay this required a bespoke solution to the space issue outlined in the schematic below.





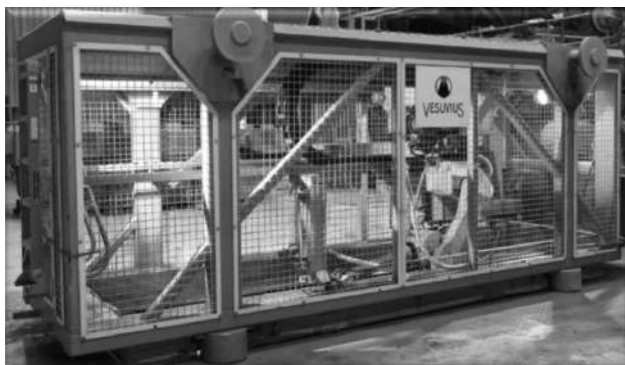
Entire system is Solid modeled during design to ensure fit and design integrity.

### **VARG Tundish.**

The Portable Smart Tundish Robot is a fully integrated robotic spray application system with a coupled mixing and laser setting system for the accurate location of the tundish furniture and mix preparation.

The automatic robotic mixing and application system is fully contained and shielded with automatic shutdown if someone enters the working zone inside the tundish stand.

This moveable system allows for safe work in an environmentally protected and shielded zone for one tundish while the steel plant operators can simultaneously prepare adjacent tundishes for future maintenance in the same bay.



## Demir Çelik Tesislerinde Kurşun Maruziyetinin İSG Açısından İncelenmesi ve İyileştirilmesi

*Investigation and Improvement in Iron and Steel Plant Lead Exposure of the Occupational Health and Safety (OHS)*

Orbay Ersen, Uğur Cengiz, Muammer Bilgiç

Bilecik Demir Çelik San. ve Tic. A.Ş. • Türkiye

### Abstract

Lead, a heavy metal and neurotoxin which is not involved in biochemical reactions, has recently been affecting the entire living ecosystem as a result of sustainable life and lack of environmental awareness.

Lead poisoning is a preventable phenomenon, but it is a common public health and environmental problem. Lead contamination and poisoning are the basis of a range of health problems, from development and behavioral disorders to neurological pathologies. In this respect, it should be aimed to isolate the factors that makes the elimination and contamination of leaded products that threaten the environment and life.

Due to the use in industry, the lead is extensively present in the biosphere. On the earth, lead metal is around 12%. Lead, which is extracted from ore and used with recovery, has been used in many fields of industry, especially in oil-dependent business lines and scrap / ore melting plants.

The lead taken into the skin through respiration, digestion and absorption mixed to blood by the time and then makes it transition to organs, bones and skeletal system

In the blood test performed for the personnel working in Bilecik Demir Çelik, 36 employees with lead level of 40 µg Pb / 100 ml were detected. The personnel were paid leave and taken to the Occupational Diseases Hospital in Istanbul and Ankara. It was decided that they would be able to work with hospital reports with reduced lead value in the blood in these two separate hospitals. The plants where lead source is high were determined and efforts were made to reduce 230% improvement and load losses in the dust collection facility. The staff were trained on lead exposure. At the end of the improvements made at the facility, the results of the lead test in blood were found to be close to 99.3% and the values were taken under the occupational exposure limit. At the same time, heavy metal analyzes were carried out in a measurement and analysis laboratory authorized by the Ministry of Environment and Urbanization. In this study, details of a problem

related to worker health in the steel meltshop of BDC are shared in 2018.

### Özet

Biyokimyasal reaksiyonlarda yer almayan bir ağır metal ve nörotoksin olan kurşun, sürdürülebilir yaşam ve çevre bilincinden yoksun sanayileşme anlayışının bir sonucu olarak son zamanlarda tüm canlı ekosistemini etkilemektedir.

Kurşun zehirlenmesi, önlenebilir bir olgu olmasına karşın yaygın bir halk sağlığı ve çevre sorunu olarak karşımızdadır. Kurşun kontaminasyon ve zehirlenmesi, gelişim ve davranış bozukluklarından nörolojik patolojilere kadar bir dizi sağlık sorununda temel etmenddir. Bu doğrultuda, çevreyi ve yaşamı tehdit eden kurşunlu ürünlerin ortadan kaldırılması ve kontaminasyonuna yol açan faktörlerin yaşam alanlarından izole edilmesi hedeflenmelidir.

Endüstrideki kullanım nedeniyle kurşun biyosferde yoğun olarak bulunmaktadır. Yeryüzünde ise kurşun madeni % 12 civarındadır. Cevherden çıkartılan ve geri kazanımla kullanılan kurşun uzun zamandır petrol bağımlı iş kolları ve hurda/cevher ergitme tesisleri başta olmak üzere sanayide birçok alanda kullanılmaktadır.

Solunum, sindirim ve deriden emilim yolu ile vücuda alınan kurşun zamanla kana karışmakta oradan organlara, kemiklere ve iskelet sistemine geçiş yapmaktadır.

Bilecik Demir Çelik’de çalışan personellere yapılan kan testinde kurşun seviyesi 40 µg Pb/100 ml üzerinde olan 36 çalışan tespit edilmiştir. Personeller ücretli izne çıkartılıp İstanbul ve Ankara’da bulunan Meslek Hastalıkları Hastanesi’ne gönderilmiştir. Bu iki ayrı hastanede farklı uygulama ile kandaki kurşun değeri düşürülmüş hastane raporları ile çalışabilecekleri kararlaştırılmıştır. Tesiste kurşun kaynağının yüksek olduğu bölgeler belirlenmiş, toz toplama tesisinde %230 iyileştirme ve yük kayıplarının azaltılması çalışmaları yapılmıştır. Personele kurşun maruziyeti konusunda eğitimler düzenlenmiştir. Tesiste yapılan iyileştirmeler

sonunda tüm personele yapılan kandaki kurşun testi sonuçlarında %99.3’e yakın iyileşme tespit edilmiş, değerler mesleki maruziyet sınırı altına çekilmiştir. Aynı zamanda Çevre ve Şehircilik Bakanlığı’na yetkilendirilmiş bir ölçüm ve analiz laboratuvarına iç ortamda ağır metal analizleri yaptırılmıştır.

Bu çalışmada, 2018 yılı içinde BDC çelikhanesinde yaşanan işçi sağlığı konulu bir sorunun detayları paylaşılmaktadır.

### 1. Giriş

Bilecik Demir Çelik A.Ş. Bozüyük Organize Sanayi bölgesinde yerleşik 3 set 30 tonluk indüksiyon ocağı, 1 adet Pota ocağı, 3 yollu Sürekli döküm makinesinden oluşan çelikhane ve 1 adet 8- 32 mm nervürlü hadde ürünü üreten haddehanesi ile tümüyle yerli hurda ile çalışan ve yıllık 300 000 Ton üretime sahip bir çelik fabrikasıdır. BDC, Buerau Veritas tarafından entegre kalite yönetimi kapsamında, ISO 9001, ISO 14001 ve ISO 18001 standartları ile belgelendirilmiş bir kalite yönetim sistemine sahiptir. Bu nedenle; İş güvenliği ve sağlığı temelinde tüm proseslerinde minimum çevre etkisi ile yüksek metalik ve enerji verimliliği ve minimum atık üretmek hedeftir.

#### 1.1. Çelikhane ortamında kurşun maruziyeti

Kurşun, mavi-gri renkli ve dünya kabuğunda doğal yollarla bulunan bir metaldir. Düşük ergime noktasına sahiptir (327C<sup>0</sup>), kolaylıkla deforme edilebilir, yumuşak, korozyona karşı yüksek dirençlidir, doğada genellikle çinko, gümüş ve bakırla birlikte bulunur, en sık rastlanan kurşun cevheri Kurşun sülfat (Galena) dır. Kolaylıkla ergitilmesi ve rafine edilebilmesi nedeniyle çok yüksek bir geri dönüşüm hızına sahiptir, birçok üretim prosesinde ve üründe yaygın bir şekilde kullanılır. Bu alanlardan bazıları; akü ve kablo imalatı, kimya endüstrisinde, boya ve plastik endüstrisinde, benzin katkısı olarak, makine üretiminde, kısa dalga ışınlarını geçirmeme özelliği nedeniyle radyasyon içeren birçok uygulamada kaplama malzemesi olarak kullanımındır. Bu kadar yaygın kullanım ile beraber yaygın ve maalesef çok önemsenmeyen kurşun salınımı ve maruziyeti de söz konusudur. Yüz yıllar boyu insanlık sağlık ve çevresel etkilerini bilmeden taktı, silah, su borusu vb. gibi amaçlar için kurşun metalini kullanmıştır. Sanayileşme ile birlikte artan kullanımlar ve kurşunun dahil olduğu kimyasal prosesler sonucu etkiler yavaş yavaş gündeme gelmiştir. Genel olarak ağır metal, özelinde kurşun zehirlenmeleri tanımlamaları ilk önce Japonya’da yapılmıştır.

Kurşun zehirlenmesi, önlenebilir bir olgu olmasına karşın yaygın bir halk sağlığı ve çevre sorunu olarak

karşımızdadır. Kurşun zehirlenmesi, gelişim ve davranış bozukluklarından nörolojik patolojilere kadar bir dizi sağlık sorununda temel etmenddir. Bu doğrultuda, çevreyi ve yaşamı tehdit eden kurşunlu ürünlerin ortadan kaldırılması ve kontaminasyona yol açan faktörlerin yaşam alanlarından izole edilmesi hedeflenmelidir.

#### 1.2. Kurşunun Vücuda Giriş Yolları

Kurşun, insan vücuduna farklı yollarla girmekte ve maruziyetin devam etmesi ile ciddi sağlık problemlerine neden olabilmektedir.

**Solunum Yolu ile:** Kurşun buharı ve tozları; endüstriyel faaliyetler sonucu, kurşun içeren malzemeler ile temas sonucu ya da araç yakıtlarından kaynaklanarak havaya karışır. Havaya karışan kurşun, insanlar tarafından çoğu zaman tarafından hissedilmez ve solunum ile vücuda alınır.

**Sindirim Sistemi ile:** Kurşun içeren ya da kurşun ile kontamine malzemelerin, oyuncak, giysi, yemek, ellerin iyi yıkanmaması sonucu ağız ile teması sonrasında kurşun kolaylıkla vücuda alınabilir. Hava, toprak, evsel toz, gıdalar, içme suyu, ciddi risk yaratacak düzeyde kurşun içerebilir. Sigara içme yoğunluğuna bağlı olarak vücut için kurşun kaynağı olabilir.

**Deriden Emilim ile:** Ortamda bulunan organik ve inorganik kurşun bileşiklerleri deri yolu ile vücuda alınır.

#### 1.3. Kurşunun Vücutta İzlediği Yol

Kurşunun vücuda etkisi, alınma şekline bağlıdır, vücuda alındıktan sonra kana geçer. Zaman geçtikçe kan ile organlar, kemik ve iskelet sistemine geçiş yapar. Vücuda giren kurşunun bir kısmı idrar yolu ile atılırken, maruziyetin devam etmesi ile vücutta tutunur. Düşük maruziyetlerde kurşun insanlar tarafından hissedilmez. Maruziyetin süresi ve derecesi arttıkça ağızda metalik bir tat, mide ağrısı, ten renginde kararma, vücutta ödem birikmesi, ileri maruziyetlerde koma ve ölüme giden bir tablo izlenmesi mümkündür. Sinir sistemi bozuklukları, zeka ve hafıza kaybı, konsantrasyon güçlüğü gibi etkiler kurşun maruziyeti sonrasında gözlemlenmiştir. Etki; şiddet ve süreye bağlı olarak değişir, vücuttan atım prosesi de kişiden kişiye değişmektedir.

#### 1.4. BDC’de kanda kurşun sorununun tespiti ve geliştirilen önlemler

Yasal gereklilik sonucu yapılan iç ortam / imisyon ölçümlerinde, Çelikhane ünitesinin bazı yerlerinde diğer yerlere göre limitler civarında kurşun tespiti üzerine bu bölümlerde çalışan arkadaşlarımız için (vinç operatörleri, vinç bakım çalışanları, ocak

çalışanları) kanda kurşun analizleri yaptırılmıştır. Bu analizlerde sınır değerlerin aşılmadığı görülmüştür. Kan testlerinin yapılması işletme yönetiminde ve çalışanlarda bu konuda bir farkındalık yaratmıştır. Bu süreçte vinç bakımcısı bir personelin 2017 yılı aralık ayında sindirim sistemi rahatsızlığı, deri renginde solukluk, nefes problemleri ve istifa şikayetleri ile sağlık kuruluşlarına gitmiş ve sonuç alamamıştır. Kurşun konusundaki farkındalığın oluşturduğu şüpheler nedeniyle kanda kurşun ölçümü yaptırılmış olup kandaki değeri 40µg/100ml kan değerinin üzerinde çıkmasının ardından, bu yüksek oranın geneli ne kadar temsil ettiğini belirlemek için çelikhane çalışan tüm personele kanda kurşun analizi yaptırılmıştır.

Çıkan sonuçlar Kimyasal Maddelerle Çalışmalarda Sağlık ve Güvenlik Önlemleri Hakkındaki yönetmelik; EK-2 1.2'nin yaptığı tanımlamalara göre değerlendirilmiştir.

Bu yönetmelikte;

1.2.1. İç ortam ölçümlerinde havadaki kurşunun, haftada 40 saat çalışma süresine göre hesaplanmış, zaman ağırlıklı ortalama konsantrasyonu 0.075 mg/m<sup>3</sup> ten fazla ise ve/ veya

1.2.2. Çalışanlardan herhangi birinin kanındaki kurşun seviyesi 40 µg Pb/100 ml kandan fazla ise çalışan tıbbi gözetim altına alınır" denmektedir.

Sonuçlara göre kandaki kurşun değeri 40µg/100ml kan değerinin üzerinde olan toplam çalışan sayısının % 10' na denk gelen 36 çalışan tespit edilmiştir. Yaklaşık % 70 oranında çalışanın ise 20 ile 40µg/100ml arasında kanda kurşun değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Tıbbi gözlem altında tutulması gereken 36 çalışan hemen ücretli izne çıkarılmış ve İstanbul ve Ankara'da bulunan Meslek Hastalıkları Hastanesi'ne bildirimde bulunulmuştur. Bu çalışanlar hastanelerin yoğunluğu nedeniyle grup grup tedavi altına alınmıştır. Bu iki ayrı hastanede uygulanan tedavi yöntemleri farklılık göstermiştir, bir hastanede uygulanan tedavi yaklaşımı maruziyetin azalması ile bu değer azalacağı yönünde iken, diğeri yeni bir ölçüme gerek duymadan hemen serum tedavisi (Şelazyon) ile azaltmaya çalışmak yönünde olmuştur. Yaklaşık 3 ay süren tedavi, işten uzaklaştırma süreci sonunda 36 çalışan da hastane raporu ile iş başı yapmışlardır. Bu süreçte söz konusu çalışanlar çok kapsamlı kontrollerden geçmişlerdir, birçoğunda kurşun nedenli olmayan bir dizi sağlık sorunu saptanmıştır. 30 ile 40 µg/100ml arasında değerlere sahip çalışanlar minimum 1 hafta olmak üzere değişik süreler için iş ortamından uzaklaştırılmıştır.

NO	ÇELİKHANE BÖLÜMLERİ	KİŞİ SAYISI
1	BEYAZ YAKA	1
2	OCAKLAR	17
3	POTA HAZIRLAMA	1
4	SDM	1
5	VİNÇ OPERATÖRÜ	4
6	REFRAKTER	3
7	ÇELİKHANE MEK. BAKIM	3
8	ÇELİK KONSTRÜKSİYON	1
9	VİNÇ BAKIM	1
10	İŞ MAKİNALARI	2

Tablo 1. BDÇ'de kanda kurşun seviyesi 40µg/100ML kan ve üzeri olan çalışanların bölümlere göre dağılımı.

## 2. Deneysel Çalışmalar

i. Kan testi sonuçları öngörülme, bilinmeyen bir sorun yaşandığının kanıtı olarak değerlendirilmiştir. Bu nedenle konu tüm detayları ile ele alınmaya çalışılmış, nedenler, çalışan üzerine etkileri, maruziyet mekanizmaları, yasal irdelemeler, kök nedenler ve önlemler analiz edilmiş ve düzeltici faaliyetler dizisi hayata geçirilmiştir.

ii. İlk ölçümler ile ikinci ölçümlerin sonuçları arasındaki önemli farkın; bu süreçte çelikhane kirli hava toplama verimliliğini artırmak için çatı, yan duvar ve kapılarda yapılan sızdırmazlığı artırma çalışmasının yarattığı iç ortam da taze hava azalması sonucu olduğu kanısına varılmıştır.

iii. Hurda kompozisyonu açısından tümüyle yerli hurda kullanılmasının doğal sonucu olarak tipik ilk ergiyik Pb değerleri ağırlıklı olarak % 0.001 dir. Çok nadiren otomat çeliği talaşına rastlanılmaktadır, ancak bu tür hurda toplamın % 2 sini geçmemektedir. Baca tozundaki ve prosesin diğer aşamalarındaki Pb değerleri genel pratiklerden farklı değildir.

iv. Kullanılan hurda tipinin diğer çelik fabrikalarına göre Pb açısından daha seyrek olduğu iddia edilebilir. Mevcut çelik yapım prosesinin söz konusu sonuçların temel nedeni olacak düzeyde kurşun gazı üretmesi olasılığının düşük olduğu sonucuna varılmıştır. Çelik yapım ünitelerindeki kurşun gazının miktarından bağımsız olarak, gazın ortamdan çekilebilme oranının, çalışanın ortamda kalma süresinin, ortama taze hava girişinin ve maruziyete karşı korunma önlemlerinin, kişisel özelliklerinin ve hijyenin sorunun şiddetinde belirleyici olduğu sonucuna varılmıştır.

v. Sorun; ergitme, sekonder metalürji ve sürekli döküm işlemlerindeki maruziyet kaynaklı olarak görülmekle beraber, doğrudan bu bölümlerde çalışmayanlarda da limit değerlerin üzerinde kurşuna rastlanmıştır. Ayrıca, iç ortam ölçümlerinde kurşun

açısından yoğunlaşan bölgelerin dışında da bazı çalışanlarda yüksek kurşun değerlerine rastlanılmıştır. Aynı bölgede çalışanlar arasında da çok ciddi farklar görülmüştür. Kişiyi bağlı fark sadece maruziyetin etkisi anlamında değil, tedaviye cevap verme oranında da görülmüştür.

sorunun temel nedenleri ve geliştirilen önlemler;

i. Toz ve kirli hava toplama sistemleri kapasitesinin yetersiz olduğu sonucuna varılmıştır, genelde anlaşıldığının tersine Çelikhane ortamında sadece tozlaştırma değil, hava kalitesi düzenleme sistemlerine ihtiyaç vardır. Baca tozu değerlerinde ve/ veya iç ortam ölçümlerinde yasal limitler içinde kalmak sağlıklı çalışma koşulları ve çevre için yeterli değildir. Bilinen toz filtre tesis kapasitesi değerleri sürekli ve sağlıklı koşulları sağlamaktan uzaktır.

BDÇ, sorun öncesinde 450.000 m<sup>3</sup>/ saat olan tozlu ve kirli hava çekme kapasitesini 1.100.000 m<sup>3</sup>/saat değerine çıkarmıştır. Ergitme ocaklarına ait primer hat, çatıya ait sekonder hat, pota ocağına ait hatların her biri birbirinden bağımsız toz filtreleme tesislerine bağlanmıştır. Buna ilaveten iç ortamda emisyon kaçaklarını kaynağında toplamak üzere 3 adet toplamı 100.000 m<sup>3</sup>/ saat olan modüler filtre tesisleri yerleştirilmiştir. Ergitme ocakları hareketli ve ocağı tümüyle içine alan davlumbaz sistemleri ile çalışmaktadır.

ii. Tozsuzlaştırma ve emisyonu iç ve dış ortamda yasal limitlerin altına indirmek ağır metal gazlarına maruziyeti önlemeye yetmemektedir. Toz görünebilir, toplanabilir, ancak toz içindeki ağır metallerin davranışları farklı olduğu için asıl ağır metallerin iç ortamdaki konsantrasyonun düşürülmesi zorunludur. Çelik yapım tesislerinin toz toplama verimliliğini artırmak için bina sızdırmazlığını artırmaya çalışmak, ilave önlemler alınmazsa ağır metal gazı sorununu artırır. İç ortamın taze hava ile desteklenmesi zorunludur, bunu sağlamak için çatıyı, kapıyı, yan duvarları açık tutmak belki faydalı ama yasal olarak yanlış, ancak sorunu çözmek açısından da yetersizdir. Taze hava desteği cebri olarak verilmelidir.

BDÇ, sorun öncesinde hiç olmayan cebri taze hava desteği için çelikhane uzun ve kısa kenar duvarlarına, özellikle ocaklar bölgesine toplamda 300.000 m<sup>3</sup>/ saat dış ortam taze havasını iç ortama basacak 16 adet fan yerleştirmiştir. Ayrıca ocak kabinleri ve tüm ofis, lab. Atölyeler için toplamda 300.000 m<sup>3</sup>/ saat kapasiteli sıcak/ soğuk seçenekleri ile dış ortamdan alınıp filtre edilen taze hava verilmektedir. İç ortam zemini tozumu önlemek için sürekli ıslak tutulmaya çalışılmaktadır.

iii. Hafta tatili kullanmama ve fazla mesai yapma oranları, maruz kalınan kurşunun doğal yollar ile vücuttan atılamamasına neden olmaktadır.

Sorunda maruziyet süresinin belirleyici olduğu tespiti ile, özellikle çelik prosesi bölümlerinde fazla mesailere kısıtlama getirilmiştir.

iv. Kişisel hijyen, koruyucu malzeme kullanımı, gıda ve suyun bulundurulduğu yerlerin temizliği, çelikhane içinde yemek yenmesi, iş ortamında iş kıyafeti dışındaki günlük özel giysiler ile bulunması, sakal, bıyık ve saç uzunluğu, ister kapalı, ister açık ortam olsun çelikhane içinde sigara içilmesi maruziyetin etkisinde, kaynağın gücünden ve maruziyet süresinden daha önemlidir.

BDÇ, bu konularda başarısız olmuştur, Kurşun ve etkileri konusunda eğitimler, hangi etkileşim mekanizmaları ile karşı karşıya kaldığı konusunda farkındalık yaratma çalışmalarına rağmen, tümüyle kişisel eğilimler, temizlik algısı, iş disiplini, sağlık bilinci, kendine önem verme, alışkanlıklar, toplumsal eğilimler gibi faktörlere bağlı olan bu noktada muhtemelen hiçbir zaman tam başarı sağlanamayacaktır. Çelikhane içinde yemek yenmesi yasaktır ancak sigara yasağı yeterince uygulanamamaktadır. Vinç bakım ekibi ve kullanıcıları için özel gaz maskeleri kullanılmaya başlanmıştır.

## 3. Sonuçlar ve Tartışma

- Alınan önlemlerden sonra yapılan iç ortam ölçümlerinde, tozlu ve ağır metal oranlarında % 75 dolayında bir düşüş gerçekleştirilmiştir.
- Değişik ünitelerde Spot olarak yapılan kan testlerinde sorun görülmemiştir.
- Yılda bir kez tüm çelikhane çalışanlarına kan testi yapılacaktır.
- Hijyen, sigara kullanımı ve koruyucu malzeme kullanımında istenilen düzeyde olunmaması nedeniyle tıbbi kontrolü gerektirmeyecek düzeyde olsa bile sağlık açısından sorunlu değerlerin görülmesi hala çok mümkündür.
- Toz toplama sistemlerinin emisyon kaynağındaki verimliliği bir takım teknolojik uygulama ve dijitalleşme çalışmaları ile daha iyi bir noktaya getirilecektir.
- Hijyen, koruyucu malzeme, farkındalık, konularında eğitim ve denetim devam edecektir.

## 4. Sonuç

- Sorun, ölçüm ile açığa çıkmış ve farkına varılmıştır, doğru ve kapsamlı ölçüm konusunda sektörel muhafazakârlık sakıncalıdır. Ölçmezseniz sorun gizlenmiştir,

lütfe unutmayalım; yasal sorumluluğun ötesinde ahlaki sorumluluk söz konusudur.

- b) Yetersiz bilgi, yetersiz ölçüm, yetersiz yöntem sadece çelikhaneler için değil, ilginç bir şekilde sağlık ve çevre örgütleri için de geçerlidir. Farkındalık, ciddiyet, yasaya uyum, veri toplama ve değerlendirme, şeffaflık, limitlerin ve önlemlerin ne olduğu ve bilgi eksikliğinin giderilmesi zorunludur.
- c) Kan testlerinde kurşun dışındaki diğer ağır metallerde görülme olasılığı yüksektir, BDÇ örneğinde mangan sorun olarak tespit edilmiştir. Geniş kapsamlı ölçümler önerilir.
- d) Maalesef çelik üretim sektörünün bilinen teknolojik düzeyi ağır metal gazları sorununu tümüyle çözmekten uzaktır. Değişik işletmelerin değişik koşullarında farklı değerler görülebilir, ancak farkındalık yoksa ve ölçüm yapılmazsa sorun hep gizli kalacaktır.
- e) Sorun, tek başına bir gaz, kirlilik, yasal limitler sorunu değil, bir çağdaşlaşma

sorunudur. Mevcut normallerimiz, algılamalarımız ve yöntemlerimiz sorunu tespit edip çözmekten uzaktır.

## Kompresörlerde Enerji Verimliliği

*Energy Efficiency in Compressors*

Toshimichi Taketomi, Şaban Yılmaz

### IHI Dalgakıran Makina San. ve Tic. A.Ş. • Türkiye

**IHI DALGAKIRAN** endüstrilerde kullanılan santrifüj teknoloji hava kompresörlerinin üreticisidir. Son zamanlardaki çevresel ve ekonomik tehditler, enerji verimliliğine uygun kompresör seçimini, kompresör tipi ve özelliklerine göre işletmeye en uygun kompresörün konumlandırılmasını ihtiyaçtan öteye zorunlu kılmaktadır.

Kompresörlerde enerji verimliliği ile ilgili olarak, optimum çalışma basıncı, uygun kompresör seçimi ve atık sıcak sudan efektif ısı geri dönüşümü tarif edilebilir.

#### 1.Giriş

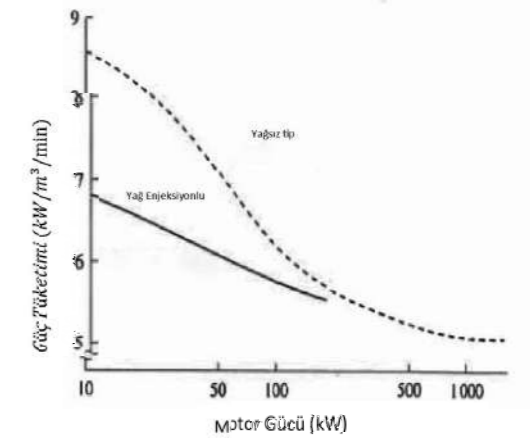
Basıncılı hava genel olarak kullanım kolaylığından dolayı çoğu üretim tesisinde istifade edilmektedir. Geniş üretim alanlarında, hava silindirlerinde, boyama proseslerinde, yıkama sonrası kurutma ve üfleme proseslerinde aktarılan bir güçtür. Kompresörlerin güç tüketimine göre fabrikadaki toplam enerji tüketiminin %10 ile %30 arasında değişmektedir. Bu oranın verimsiz kompresör kullanımında %60'a kadar çıktığı analizler vardır.

#### 2.Enerji Verimliliğinde ilk adım

Enerji verimliliğinde ilk adım yüksek verimli kompresör seçimi ile gerçekleşmektedir (Spesifik güç tüketimi). Kompresör verimliliğindeki zamana bağlı düşüşün engellenmesi, işletmenin çalışma grafiği, tesis koşulları, tesisatlardaki kayıp ve kaçaklar, makine tipi, ölçüleri, basınçlı hava içerisindeki yağ niceliği, bakım masrafları enerji verimliliği için incelenmesi gereken noktalardır.

#### 2.1 Kurgulanan enerji tasarrufuna göre makinanın kapasitesine ve adedine karar verilmesi

Genel olarak, kompresörler daha geniş kapasitelere ve daha yüksek verimliliklere sahiptirler (Spesifik güç tüketimleri). **Şekil 1**, de gösterildiği üzere, aynı tip kompresörlerde kapasiteyi 2 kat artırarak %5 ile %12 arasında gelişim gösterebilmektedir. Ek olarak bu gelişme motor ve sürücüsü tarafındaki verimliliklere de etki etmektedir.



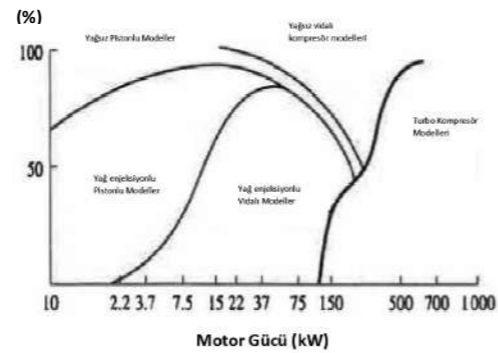
Şekil 1. Güç tüketimi ve kompresör gücü

Bir diğer kapasiteyi etkileyen faktör ise kurulum yeridir. Bunu merkezi konumlandırma ve dağılık konumlandırma olarak kullanım alanına yakın olarak değerlendirilebilir. Merkezlenerek konumlandırılma, ölçüsel olarak büyük makine modelleri ve daha az makine kullanımı gerçekleşmesini sağlayabilir. Bu olay verimliliği %100 yükte iken en iyi seviyeye getirmektedir. Ancak, kullanıcının borulamayı daha uzun yapması tahliye edilen hava basıncının kaybedilmesine, borulardan sızıntı gerçekleşmesine sebebiyet verebilir. Eğer bu kapasite her bir kompresör için 0,49 Bar(g) Spesifik artan güç tüketim değerleri içerisinde ise genellikle merkezi yerleşim dağılık yerleşime göre daha tercih edilebilir. Kullanım düşük seviyede ise, tatil durumu vb, kompresörler ara ara yüke girmektedir. Bu durum altında spesifik güç tüketimi değerlendirilmelidir. Genel amaç kullanımı için gerekli kompresör kapasitesi maksimum 2000 kW'dır. Talep üzerine daha yüksek kapasitelerde kompresör tasarımı ve üretimi gerçekleştirilebilir. Sonuç olarak bu tipte olan makinaların diğer düşük kapasiteli makinalara kıyasla parçaların sevkıyatı da dahil olmak üzere yüksek maliyetlere ve servis hususunda yetersizliklere sebebiyet verebilir. Bu sebepten ötürü kullanımı daha az genel yetkiler gerekmektedir. Dağılık kurulum için genellikle daha küçük makinalar tercih edilmektedir. Kompresörler 100% yükte iken bile yetersiz spesifik güç tüketimi sergileyebilir fakat düşük miktarda borularda gerçekleşen basınç kayıpları avantajlı olabilir. Bir diğer avantajı her bir makine diğerinden bağımsız olarak kullanılmasıdır. Ancak makinaların toplam kurulum adedi arttıkça, karmaşık kurulum alanları, yatırım maliyetleri ve bakım maliyetleri kaçınılmaz bir şekilde artış göstermektedir.

Bir sefer makinanın konumlandırılmasını belirlemek için makine tipi ve büyüklüğü, ünite sayısı, maksimum ve minimum yük çeşitlilik büyüklüklerine göre belirlenmelidir.

## 2.2 Enerji tasarrufu (verimliliği) ve hava içerisindeki yağ miktarı

Eğer sıkıştırılmış hava yağ içeriyor ise bu demektir ki yağ enjeksiyonlu modeller tercih edilmiştir. Maliyet olarak daha düşüktürler (250 kW civarında) spesifik güç tüketimi de iyidir (Spesifik güç tüketimi %5 civarında yağsız kompresörlere nazaran daha iyidir. Aynı tip ve aynı kademe sayısına sahip makinalar için). Eğer sıkıştırılmış temiz hava yağsız olarak ihtiyaç duyulmuş ise ya da atık suyun yağsız olarak temin edilmesi gerekiyorsa yağsız tipte vidalı kompresör seçimi gerçekleştirilmelidir. 150 kW üstü çoğu makina modelleri yağsız olarak üretilmektedir. (Şekil 2).



Şekil 2. Hava kompresörlerinin pazar payı

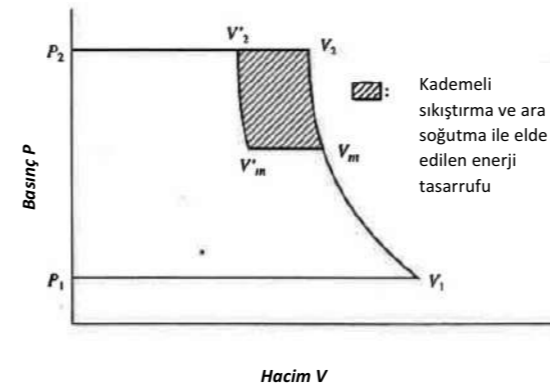
## 2.3 Enerji tasarrufu (verimliliği) ve servis maliyetleri

Güç tüketimi kadar, bakım maliyetleri de oldukça önem arz etmektedir. Çok az makina hala yüksek servis maliyetleri ile üretilmektedir. Genel kullanım amaçlı makineler arasında, 2 kademeli pistonlu makineler üzerinde en çok verimli ve iyi enerji tasarrufu sağlayan makinelerdir. Ancak yüksek basınçlı makineler hariç, 100 kW üstü makinalar bakım maliyetlerinin yüksek olmasından dolayı, işletmeler tarafından tercih edilen bir kompresör tipi değildir. 250 kW üstü makinalar için, yağ enjeksiyonlu vidalı kompresör modelleri basınçlı hava verimliliğine sahiptirler. Yine yüksek servis maliyetleri nedeni ile işletmelerde kullanımı yaygın değildir.

Yağsız vidalı kompresörler de yüksek servis maliyetlerine sahiptirler. 250 kW üstü makinalar için, bakım gerektirmeyen yağsız turbo kompresörler tesisler de daha sık kullanılmaktadır. 125 kW' a kadar olan modellerde ebat olarak küçülmeler meydana gelmiştir. Böylelikle daha az yer kaplayan ve yağsız basınçlı hava üreten turbo kompresörlerin pazar payında yükselen bir grafik oluşmuştur.

## 3.Sıkıştırma kademe sayısı

Şekil 3. Sıkıştırma proseslerini göstermektedir. Bir kademede ki sıkıştırma yamuğun alanı olan  $P_1V_1V_2P_2$  çalışmanın tamamını betimlemektedir. Eğer ki sıkıştırılan kademe sayısı 2 ye artırıldıkça, 1. kademe den sonra çıkan hava soğutucu tarafından soğutulduğunda, kompresör sirkülasyonu  $P_1V_1V_mV'_mV'_2P_2P_1$  ve yaptığı iş miktarı düşer dörtgen içerisindeki  $V_mV'_mV'_2$  bölgesi kadar kayıp oluşur. 7 Bar(g) çıkış basıncında bu iş bu iş miktarında %14,8 oranında azalmaya yol açar. Eğer sıkıştırma kademeleri iki kademeden üç kademeye çıkarılırsa ve ek olarak ara soğutucularda eklenir ise yapılan iş oranında %4,7 daha düşüş sağlar.



Şekil 3. Sıkıştırma Süreçleri

Eğer sıkıştırılan hava kademeleri arttırılırsa, basınç kaybı ara soğutucular ve borulardaki, shaft keçelerinden sızıntı geçişi, mekanik kayıplar gövde ve rulmanlardaki kayıplar artış gösterir. Bu sebep ile güç azaltılmasının kademe sayısının artışına göre bir limiti vardır. Genel-kullanım amaçlı kompresörler ile 7 Bar(g) çıkış basıncı, deplasmanlı tiplerde genellikle kademe sayısı bir veya iki kademe, turbo makinelerde 2 veya 3 kademedir.

## 4.Çıkış basıncı

### 4.1 İşletme basıncının düşmesinden kaynaklanan etkiler

İşletme basıncının düşmesinde, aşağıdaki enerji tasarrufu etkileri beklenebilir.

#### 4.1.1 Shaft gücü tüketimini azaltma

Teorik olarak, shaft gücü:

$$Lth = P_s \times Q_s / 6120 \times \left( \left( \frac{P_d}{P_s} \right)^m - 1 \right) / m \dots (1)$$

Yerine

$$m = (k - 1) / (n \times k)$$

- $P_s$  : Emiş sıcaklığı (mutlak)  
 $Q_s$  : Emiş hava debisi  
 $P_d$  : Çıkış basıncı (mutlak)  
 $K$  : Özgül ısı kapasitesi  
 $n$  : Sıkıştırma kademe katsayısı

Eğer çıkış basıncı olan 7 Bar(g), 1 Bar(g)'ye kadar düşürülürse teorik olarak shaft gücü %7 azalır.

#### 4.1.2 Hava sızıntısını düşürme

Borulardan, vidalardan ve flanşlardan oluşan kayıp:

$$Le = a \times S \times P \dots\dots\dots(2)$$

S	:	Alan
P	:	Besleme basıncı (Mutlak)
a	:	Değişken

Eğer 7 Bar (g) besleme basıncı 1 Bar (g) düşürüldüğünde, toplam sıkıştırma 7/8 oranındadır. (Toplam sıkıştırma oranı %12,5 kadar düşmüştür.)

#### 4.1.3 Hava tüketimini düşürme

Hava silindirleri içerisindeki toplam hava tüketimi:

$$Q=b \times P/T \dots\dots\dots(3)$$

P	:	Servis basıncı (Mutlak)
T	:	Servis sıcaklığı (Mutlak)
b	:	Değişken faktör

Eğer 6 Bar (g) servis basıncının 1 Bar (g) kadar düşmesi, hava tüketimini %16'ya kadar düşürmektedir.

#### 4.2 İşletme basıncını düşürme metotları

##### 4.2.1 Dar alanda fark basınç kontrolü

Yükte ve yüksüz durumdaki değişim sayısı fark basınçlarında değişime sebebiyet vermektedir. Debide ki hacimsel düşüş ayrıca ek olarak eklenen alıcılar aracılığı ile artırılabilir. Bu sebeple yükte ve yüksüz durumu arasında değişim sayısı artmaksızın enerji tasarrufuna etki edebilir şekilde işletme basıncı düşümü gerçekleştirilebilir.

#### 4.2.2 Basınç kaybının azaltılması geçiş dirençleri nedeni ile

##### (1) Boru hattı direncinin azaltılması

$$h=\gamma \times L/D \times V^2/2g \dots\dots\dots(4)$$

L	:	Boru uzunluğu
D	:	Boru çapı
V	:	Akış hızı
g	:	Yerçekimi ivmesi
$\gamma$	:	$0,3164/R_e^{0,25}$
$R_e$	:	Reynolds Sayısı

Bu sebeple daha geniş çaplı boru ve daha düşük akış hızı istenebilir (10 ve 20 m/s aralığında). Kesit alanında dik açılmalardan veya kasımlardan kaçınılmalıdır.

##### (2) Ekipman seçimi düşük basınç kaybı ile

Son soğutucular : Su akışını tüplere sağlar.

0,10 Bar(g) veya daha az, referans olarak

Kurutucu boşaltma vanaları: Küresel veya kelebek vanalar  
0, 20 Bar(g) veya daha az, referans olarak

Çek valfler ve	:	Kelebek tipi
Flow metreler	:	Pitot tüpü ultrasonik tipi veya Karman vorteks tipi

#### 5.Servis sıcaklığı sıkıştırılmış havanın

##### 5.1 Hava tüketimini azaltma

Hava tüketimi bir hava silindirinin içerisinde :

$$Q=b \times P / T \dots\dots\dots(5)$$

P :Çalışma basıncı(Mutlak)

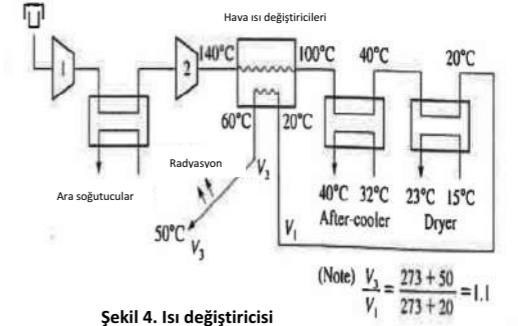
T :Servis sıcaklığı (Mutlak)

b :Değişken faktör

Servis sıcaklığı c den 10°C kadar arttırılması hava hacmini %3 oranında arttırır ve hava tüketim aralığını düşürebilir.

##### 5.2 Havayı ısıtma

Standart bir kompresör tarafından sıkıştırılan hava son soğutucular tarafından 40°C kadar soğutulur. Bu hava soğutucuların alt tarafında bulunan Kurutuculardan geçerek drenaj suyunu hava silindirlerinden ve diğer noktalardan akmasını engellemektedir. Kurutucu sistemlerde kullanılan soğutucular, sıkıştırılmış havayı 10°C ile 20 °C arasında soğutur ayrıca ısı değiştiricilerini 30°C kadar tahliyeden önce ısınıp tasarruf yapılmasına sebebiyet verir. Ayrıca bu ısınan 30 °C kadarlık sıcak hava buharını kullanabilmek de mümkündür. Şekil 4. Isı kazanım geçişini örnek olarak göstermektedir. 20 °C kurutucu çıkışından geçen geçen hava ısınarak ısıtıcılar tarafından 60 °C sıcaklığına kadar ısıtılmaktadır. Hava sıcaklığı borulardaki ısıdan yayılan radyasyondan dolayı düşüş göstermektedir. Bu sıcaklık düşümü en fazla 10 °C dolaylarında gözlemlenmektedir, sonrasında boru hattındaki sıcaklık 50°C olarak gözlemlenmektedir. Sıcaklığın 20°C den 50°C ye yükselmesi hacimsel olarak %10'a kadar artışa sebebiyet verir, ayrıca enerji tasarrufunda etkisi olmaktadır. Tekrar ısıtılan kurutucu maddesi, kurutucu maddenin ısıtılmaya başladığında nemi soğurmaya başladığında hava tarafından 15°C kadar ısınır. Bu sebeple hava soğutucunun bulunduğu yerde ek olarak ayrı bir ısıtıcıya ihtiyaç duyulmamaktadır.



Şekil 4. Isı değiştiricisi

#### 5.3 Kullanma notları

- Yukarıda bahsedilen durum, kompresördeki atık ısı kullanılmaz ise herhangi bir enerji tasarrufuna etkisi sağlamamaktadır.
- Yağ enjeksiyonlu kompresör modellerinde, hava yağ içerebilir. Bu yağ ısı değiştiricilerinde yangına sebebiyet verme riskini taşıyabilir.
- Kullanım noktalarındaki ekipmanların sıcaklığa karşı dayanımları kontrol edilmelidir.

#### 6.Kompresör kapasite kontrol metotları

##### 6.1 Yüksüz güç

Kompresör yüksüz (boşta) konumda çalıştığı zaman kullanılan gücü enerji tasarrufu boşa harcanarak imha edilen gücü değerlendirmek önemlidir. Bölüm 6.2 de yükte ve yüksüz olarak tarif edilen kapasite kontrolleri anlatılmaktadır. Kompresör yüksüz de iken, motor yükü de hafiftir. Bu sebep ile motor verimliliği %5 oranında kötüleşmektedir, bu sebeple durumun değerlendirilmesi gereklidir.

##### 6.1.1 Pistonlu kompresörler

Kompresör yüksüz durumda çalışırken emme vanaları açık tutulur ve hava içeri alınır sonra hava alındığı yerden dışarı atılır. Genel olarak hava kompresör içerisinde sirküle olmaz. Boşaltmada kullanılan güç, emiş vanası tarafındaki sürtünme kayıpları ve



pistonlardaki ve rulmanlardaki mekanik kayıplar tam yükte %10 kadar kabul edilir.

### 6.1.2 Yağ enjeksiyonlu vidalı kompresör

Boşta çalışma esnasında, emiş vanası yavaşça açık konumunu korur yağ seperatörlerinde bulunan basınç açık vana aracılığıyla atmosfere tahliyesi gerçekleşir. Bu sebeple emiş ve çıkış basıncı arasındaki oran azdır. Boştaki shaft gücü yükteki toplam gücün %25'i kadardır. (Yağ seperatöründen ayrılmadan ve atmosfere salınımından önceki bu güç oranı bazı kompresörlerde %70 oranındadır)

### 6.1.3 Yağsız vidalı kompresör

Boşta çalışma esnasından emiş valfi yavaşça açılır. Blow-off tahliye vanası çıkış tarafında tamamen açılır ve böylelikle hava atmosfere doğru ya da tekrardan emiş tarafına doğru tekrar salınır. Sıkıştırma oranı yükteki konumu ile hemen hemen aynıdır. 7 Bar(g) değerindeki çıkış basıncı için, bu oran ortalama 8'dir. Bu demek oluyor ki havanın 1/8 kadar miktarı boşaltma durumunda kullanılmaktadır. Toplam mekanik kayıplar ve yüküz durumdaki shaft gücünün toplam kaybı %20 civarındadır. Çıkış basıncı 6 Bar (g) için , boşaltma oranı da 8'dir ve mutlak shaft gücü sabit kalır. Bu durum tam yükte göre %21.5 oranındadır.

### 6.1.4 Turbo Kompresör

Boşta çalışma esnasında emiş valfi, vidalı kompresörde de olduğu gibi yavaşça açılır, eş zamanlı olarak çıkış tarafındaki tahliye vanası tamamen açılmaktadır, bu yüzden hava atmosfere veya tekrar emiş tarafına yönlendirilmektedir. Sıkıştırma oranı hemen hemen yükteki çıkış sıkıştırma oranı ortalama 8'dir. 7 Bar (g). Bunun anlamı 1/8 oranındaki havayı çıkış için boşaltma durumunda kullanılmaktadır. Boşaltma durumunda shaft gücündeki kayıplar (%17) civarındadır. Ancak dizayn çıkış basıncı 6 Bar(g), sıkıştırma oranı tam yükte göre 7'dir. Bu

yüzden shaft gücü tam yükte göre %19 oranında artmaktadır.

### 6.2 Yükte ve yüksüz kontrolü

Bu metot çoğu standart uygulamada kullanılmaktadır. Ne zaman hava tüketimi azalır, çıkış tarafında basınç artışı gerçekleşir. Kompresör boşaltma fonksiyonu bu basınç artışını ve çıkıştaki basınç değişiminin tespit eder. Boştaki shaft gücü, bir önceki bölümde tarif edildiği şekilde güç sarfiyatı konuşulunca dikkate alınmalıdır. Kompresörler için kapasite kontrolü sıklığı, boşaltma shaft gücündeki genişlik kadardır. Sonuç olarak, enerji kayıpları büyüktür ve boşaltma ve yük arasındaki değişim, kullanım noktalarında önemli basınç dalgalanmalarına neden olur. Bu sebeple bu metot daha geniş makinalarda uygulanmaz. Enerji tasarrufu konusundaki hususlar 4.1 Bölümünde açıklandığı gibi basınç kontrolü ve uygun alıcı kapasite aralığını içermektedir.

### 6.3 Otomatik on/off kontrolü

Bu metot ile enerji verimliliği, çıkış tarafındaki basınç kontrol edilerek hava tüketimi düştüğünde kompresör durdurularak yapılır. Bu metot geniş makinalar için uygulanmaz çünkü motor yol vermelerinde belirli bir frekans limiti vardır.

### 6.4 Sabit çıkış basıncının kontrolü

Bu tarz bir kontrol gerçekleştiğinde hava akışı basınçlı hava talebi seviyesine kısılır. Kısılma limitinin altındaki basınçlı hava talebi durumunda, gereğinden fazla olan basınçlı hava tahliye edilir ve enerjinin boşa harcanması söz konusu olur. Bu metotlar kompresörden kompresöre farklılık göstermektedir. Bu farklılıklar şöyle sıralanabilir;

#### 6.4.1 Yağ enjeksiyonlu vidalı kompresör

Çıkış basıncı emiş tarafındaki emiş vanasının kısılması ile artar. Kelebek vanayı kısmak pahalı olmayan ve sık sık kullanılan bir metottur. Hatta hava akışı düştüğünde basınç değerleri artar, emiş tarafındaki basınç kaybı kadar düşer ve bu sebeple güç de azalır. Hava akışı %50 oranında düşse bile, shaft gücünün %15 kadar düşmesine sebebiyet vermektedir. Eğer sürgülü vana kısılma bölgesi (devrik bölgesi) içerisinde, güç efektif olarak azalmışsa, yani Hava kısılma bölgesinin içerisindeki alanda %50'lik kısmında bulunuyorsa, shaft gücünün 37% kadar düşmesine sebebiyet vermektedir. Bu durum enerji tasarrufu için çok efektifdir. Fakat bu durum yüksek maliyetler sebebi ile yalnızca 150 kW üstü makinalarda uygulanabilir. Dönüş hızı kontrolü ideale yakın bir yöntemdir. Kontrolörler ucuz olmasının yanı sıra oldukça yaygın olan invertörler de aynı iş için kullanılmaktadır.

### 6.4.2 Yağsız vidalı kompresörler

Aynı sebepten ötürü yukarıda tarif edildiği şekilde, emiş tarafının kısılması ile çıkış hava basınç artışının kontrolü gücün sert bir şekilde düşmesine sebep olur. Ek olarak çıkış sıcaklığı artması ve basıncın artış göstermesi yağ enjeksiyonlu modellere benzemeksizin en fazla %15 oranında artış sağlar. Bu sebeple bu metotlar nadir olarak kullanılır. Sürgülü vana kullanmak efektif olarak gücü düşürebilir. Bununla birlikte, valf hareketi için hafif miktarda yağ ve havada bulunan belli miktarda yağ gereklidir. Bu metot da karşılaşılan sorunlardan ötürü çok fazla tercih edilmez. Yağ enjeksiyon modelleri gibi, dönüş hızı kontrolü ideale yakın bir kontrol sağlar.

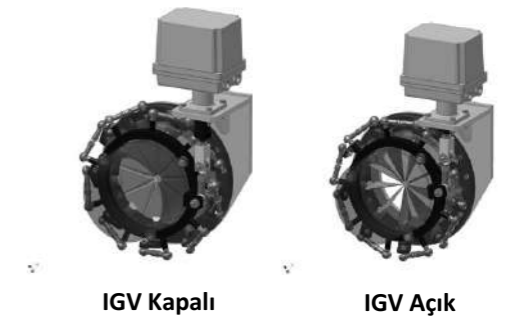
Bununla birlikte, bu kontrol yönteminin kullanımı da bu tür makinelerde yaygın değildir.

### 6.4.3 Turbo kompresör

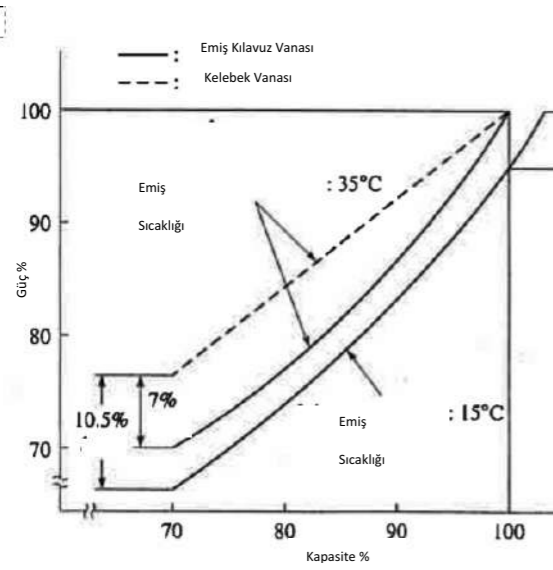
Çıkış hava basıncı emiş vanasının kısılması aracılığıyla artar. Kelebek vananın kısılması pahalı bir uygulamadır. Bu sebeple, çalışma noktasının performans eğrisi üzerinde düşük akış tarafı (yüksek basınç oran), basınç değeri deplasmanlı makinelere göre (örnek olarak vidalı tipler olabilir) çok fazla artış göstermez.

Deplasmanlı kompresörlere göre, güç düşüşü daha fazla etki eder, aynı zamanda basınç artış oranı daha azdır. Kısılma (Devrik bölgesi) aralığı impeller (çarklar) karakteristiğine göre değişiklik göstermektedir ve genellikle 20% ve %40 aralığı kadardır. (impellerin yön açısı daha fazla veya çevresel hızı daha düşük olduğunda kısma aralığı daha da geniş olabilir). Hava akımı kısılma limitinden daha az olursa, hava tahliye havası ile atmosfere atılır veya kompresör çalışma konumu yüksüze alır.

Hava emiş kılavuz vanası (IGV) emiş havasında girdap etkisi yaratmaktadır (**Şekil 5**). Bu metot 1. kademe tarafından yapılan işi düşürür. Bu ise **Şekil 6'da** kelebek vana karşılaştırılması ile gösterilmektedir. Gösterilen şekilde, IGV metodu büyük bir enerji verimliliği etkisi yaratmaktadır. Bunun haricinde emiş sıcaklığı düştüğü zamanlarda etki daha fazla olabilir. Diğer bir metot ise emiş tarafındaki valfi kısmak yerine difüzör kısmak olarak gerçekleştirilebilir. Tasarım koşullarında düşük hava debisi surge (akış dalgalanması) oluşmasına sebebiyet verebilir. Düşük hava akımının difüzörlerden hava geçişi, geniş ve geçiş hızı çok fazladır. Difüzörlerdeki genişlik fazla olduğu için sıradan tasarımlarda, düşük hava akımları meydana gelirse hızda yavaşlama çok fazla olur. Difüzör tarafındaki hava akışındaki diklik yavaşlamayı önlemek için daraltılır. Bu özellik IGV' den hava akışını %10 %15 kadar daha fazla tutar.



Şekil 5. Emiş kılavuz vanası



Şekil 6. Hava Emiş kılavuz vanasının etkisi

Bununla birlikte shaft gücündeki düşüş daha azdır. Çok kademeli genel kullanım amaçlı kompresörlerde, bütün kademelere bu şekilde difüzörler konulmadıkça hiçbir etki olmayacaktır. Öte yandan konulursa, kanallardan geçiş esnasında, verimlilik %1'den daha az olsa da bir kayıp yaşanır bu da ek maliyet oluşturur. Bu sebep ile tek kademeli düşük basınçlı kompresörler için bu senaryo çok sık kullanılan bir durum değildir.

Turbo kompresörlerde, eğer dönüş hızı düşer ise çıkış hızı da düşmektedir ayrıca talep edilen basınç değerlerine ulaşamamaktadır. Bu sebeple vidalı kompresördeki gibi dönüş hızını ayarlama metodu kullanılamaz. Turbo kompresörler de bu sebeple surge basıncı kış koşullarında sıcaklık daha düşük olduğu için basınç değeri artar.

### 7. Kompresördeki atık ısı

Teorik olarak shaft gücü:

$$L_{th} = \frac{n}{n-1} \times R(T_2 - T_1) \dots\dots\dots(6)$$

$n$  : Politropik index

$R$  : Gaz sabiti

$T_1$  : Emiş sıcaklığı

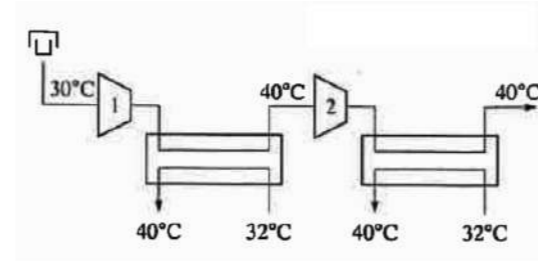
$T_2$  : Çıkış sıcaklığı

(6) numaralı denklem havadaki sıcaklık artışıyla kompresör tarafından tüketilen güç için gerekli denklemi gösterir. Sıkıştırma işi haricinde ısıtma prosesi esnasında tüm kayıp basınçlı hava ve yağlama prosesinde kaybedilir. Kalan güç sızıntı olarak hava buharının içerisinde kaybolur. Yaklaşık %95 kadarlık bir ısı miktarı soğutma suyunun yardımı ile atılır. Şekil 7'de soğutuculardaki soğuk su dönüşümü gözlemlenmektedir. Borulama ve tesislerdeki diğer ekipmanlarda ki maliyetler artış gösterdiği için 500 kW üstü makinaların kullanılması için yatırım maliyetleri yüksek tutulur. Bu yüzden ihtiyaç duyulan ısı miktarı ile eşleşme bile bu sıcak suyu yardımcı bir ısı kaynağı olarak kullanabilmek verimlilikte başarılı olma ihtimalini arttırmaktadır.

### 8. Sonuç

Enerji tasarrufu için hava kompresörlerine ait olan metotlar tarif edilmiştir. Bir kompresör üreticisi olarak IHI DALGAKIRAN'ın hedefi, global çevreyi korumak adına enerji verimliliği metotları geliştirmektir. IHI DALGAKIRAN olarak teknik kapasitemizi ve yeteneklerimizi kullanıcılarla beraber geliştirebiliriz. Bu sebeple IHI DALGAKIRAN endüstrinin ve işletmelerin ihtiyaçlarına en uygun, çevre dostu ve verimliliği yüksek turbo kompresörleri üretmekte ve teknolojisini her geçen gün daha iyiye taşımaktadır.

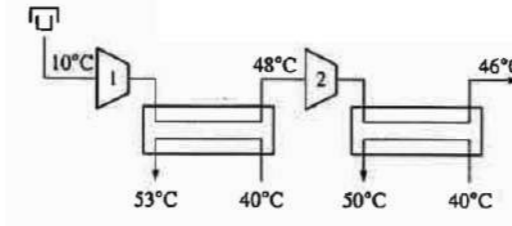
(a) Olağan durum



Talep edilen durumlar

- 500 kW üstü güçler
- Sıcak su ihtiyacı
- İyi ısı balansı

(b) Kışın sıcak su çevrim

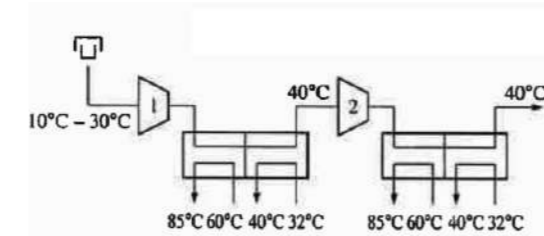


İçin kullanılabilir

- Oda ısıtması için sıcak su
- Kazan için su beslemesi
- Isı dengesi yararı

Geri dönüşüm %95

(b) Tüm sezonlardaki sıcak su çevrimi



İçin kullanılabilir

- Kazan su beslemesi için
- Oda soğutucularından ısı kaynağı

(Soğutucu tipi absorbe etmesi için)

Geri dönüşüm %30-50

Şekil 7 Soğutucu sistemlerde kullanılan akış diyagramı sıcak su çevrimi için

## Improvement of Work Safety and Reduction of Environmental Issues with Fire Resistant Lubricants in Steel Plants

Tim Matttern, Ronald Knecht

Quaker Houghton • The Netherlands

### Abstract

Fire hazard in the steel industry is not a new topic and the steel industry is taking any possible efforts to lower the fire hazard in its production plants. Fire hazard is present in several different forms, but fires induced and intensified by mineral oil based lubricants are notorious and feared. For hydraulic fluids, gear oils and greases several alternatives are available. This paper explains typical examples in steel plants of successful conversions and the impact on safety and environment. In addition, the paper describes what change can be made to the choice of lubricants to get to a situation with significant reduced risk, enhanced work safety and a secured productivity in Casters, Rolling Mills and auxiliary equipment.

### 1. Introduction

The Steel producing industry is an industry where situations occur every day that can be classified as dangerous. Dangerous not only due to the plant's heavy machinery, or the operations involving liquid or red hot steel, but also because of the escalated fire risk based on the Lubricants & Greases being used.

In this paper we will focus on the potential risks associated with the use of mineral oil based hydraulic fluids and greases in steel plants, and what alternatives can be used without jeopardizing the performance or productivity of the production line.

### 2. The Fire Risks of mineral oil based lubricants

A fire is one of the events that, once experienced, leaves a huge impression on the people involved. In addition to the risk of personnel injuries, there is a likelihood of loss in both capital and production.

These losses not only include damage to the building and equipment, but also encompass interruptions in production that can idle lines for days or even months.

One cause of fire in a steel production plant is the ignition of mineral oil based hydraulic fluids or greases.

In Figure 1, all the areas in red represent an operation where the processed materials reach temperatures  $\pm 900^{\circ}\text{C}$  up to  $> 1500^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 1652^{\circ}\text{F}$  up to  $> 2732^{\circ}\text{F}$ ). In most of these processes hydraulic units are used to operate the equipment, and in many cases a mineral oil based hydraulic fluid is chosen to fuel the hydraulic unit. While mineral oil has the definite advantage of a good cost-performance ratio, it is a distillate from crude oil, and not always the safest choice, due to its tendency to catch fire easily.

Fire resulting from the ignition of a mineral oil based lubricant can happen in many different ways. Two that occur most often are when mineral oil based lubricants leak onto a very hot surface; or when sparks or hot (liquid) metal land in a pool of mineral oil based lubricants.

The first instance becomes a larger issue when it happens with a liquid mineral oil based lubricants like a hydraulic fluid because the risk of larger spills or oil spray has a much wider reach. The second example is likely to happen with both liquid as well as greases like mineral oil based lubricants.

Fortunately, there are alternatives available to manage these risks and reduce the chance of an ignition.

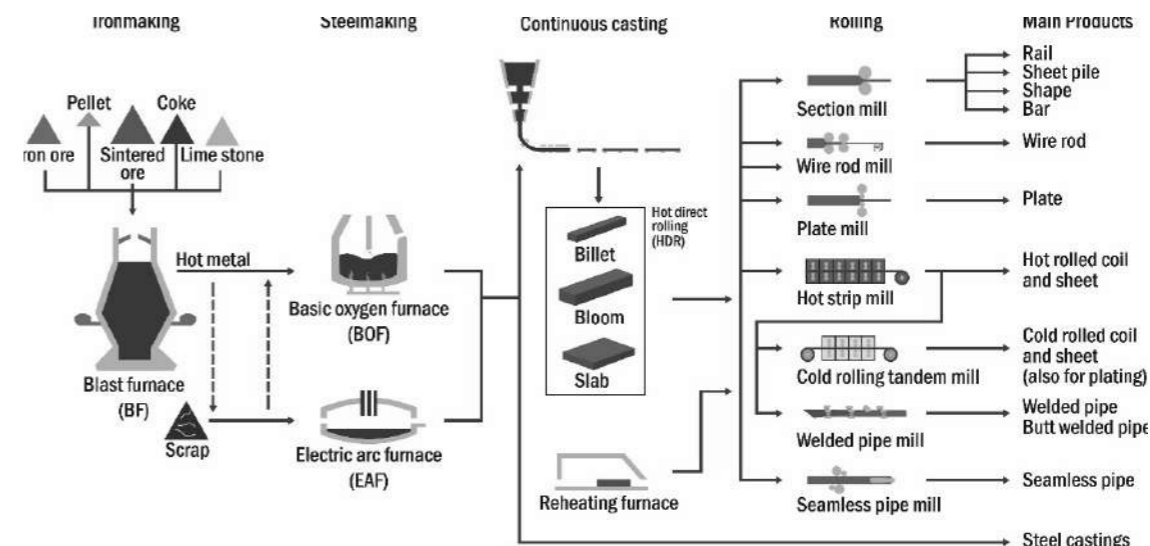


Figure 1. Rough schematic of the steel making process

### 3. Fire Resistant Hydraulic Fluid.

#### 3.1 Types of Fire Resistant Hydraulic Fluids

The standard hydraulic fluids used in steel production are mineral oil based. But an alternative to mineral oil hydraulic fluids are fire resistant hydraulic fluids, as described below using the ISO 6743/4 classification.

Water-based Fluids	Water-free Fluids
<b>HFA-E:</b> Oil in water emulsions water content > 80% common use 1 to 5%	<b>HFD-R:</b> Phosphate ester based. These products are less used because of CMR reputation
<b>HFA-S:</b> Synthetic aqueous solutions water content > 90% common use 1 to 5%	<b>HFD-U:</b> Based on other compounds, but mainly synthetic polyol ester and natural esters (renewable resources)
<b>HFC:</b> Water glycol solutions water content >35%	

Figure 2. ISO 6743/4 classification

For each fluid type there are both pros and cons. Figure 3 shows a comparison of the performance properties for several hydraulic fluid types. The properties shown are considered important by both Maintenance Managers as well as Purchasers.

Property	Mineral Oil	Phosphate Ester (HFDR)	Water Glycol (HFC)	Synthetic Polyol Ester (HFDU)
Fire resistance	--	++	+++	+
Environmental performance	-	+ and -	+ and -	++
Thermal stability	++	++	-	+
Fluid maintenance	+	--	--	+
Component life/ System reliability	+	+ and -	--	+
Price	++	--	++	+-
Total Cost of Operation	-	-	--	+

Figure 3. Hydraulic fluid comparison when used in fire hazardous situation.

The comparison table shows that mineral oil has good hydraulic fluid performance attributes, at a reasonable price. However, because mineral oil is not biodegradable, it is not environmentally friendly, and the rating for Total Cost of Operation (TCO) is due to the aftermath experienced once a fire takes place.

Phosphate ester (HFDR) fluids are an older fluid technology, and are fire resistant by chemistry, but have a negative reputation. They are reported to be formulated with CMR (Carcinogenic, Mutagenic, Reprotoxic) materials, and the combustion fumes they produce are reported to be neurotoxic. HFDR fluids can be 10 to 15 times more expensive than mineral oil and need to be carefully maintained as these products become aggressive acids as they age. These fluids are mainly used nowadays in Power generation, although they are sometimes found in a steel plants as well.

HFC fluids, better known as water glycols, are widely used in steel plants as well as other industries, and represent about 50% of the total fire resistant hydraulic fluids market. Their high water content makes them very good for fire resistance, and while they have a comparable price to mineral oil, they do not measure up in performance attributes. Additionally, compared to water free hydraulic fluids, the hydraulic units for HFC are more expensive to purchase, the service components have a shorter lifetime, more fluid management is needed, and energy consumption is 10 to 20% higher compared to mineral oil or polyol ester based fire resistant hydraulic fluids.

Polyol ester based fluids (HFDu) are the best solution and alternative to mineral oil. Typically, no changes need to be made to the hydraulic unit when converting from a mineral oil or water glycol hydraulic fluid to a polyol ester fluid. They are more expensive than mineral oil (around 2 to 3 times more), but with the reduction in the risk of fire from the hydraulic fluid, the result is a lower Total Cost of Operation and a much safer work environment. Additionally, nothing is sacrificed in terms of the fluid's performance, and the polyol ester based (HFDu) fluids have reduced environmental impact.

When the user knows the types of Fire Resistant Hydraulic Fluid available, a comparison between possible solutions can be made, figure 4.

### 3.2 How is Fire Resistance perceived?

The term *fire resistant* is often mistakenly understood to be the same as *fire retardant*. It is not necessarily the same. Almost all fire resistant hydraulic fluids will burn under certain conditions.

- » HFC fluids will ignite if a certain amount of water evaporates
- » Most HFDu fluids will burn, but will not give the vaporized kind of explosion mineral oil generates

The ignition-like explosion caused by the mineral oil is what leads to an uncontrollable situation. The only hydraulic fluids that can truly be considered fire retardant are the high water content (HFA) fluids.

Fluids can be tested to determine their fire resistance. The most common and generally accepted tests are those used by Factory Mutual (FM Global), the testing and approval arm of a major industrial insurance underwriter ([www.fmglobal.com](http://www.fmglobal.com)). Using an FM global approved hydraulic fluid can reduce the premium a company needs to pay.

Additionally, beyond FM Global, many other organizations and companies have developed fire resistance tests, usually to simulate a certain type of real-world accident.

In Figure 5. video frame shots show the comparison between ignition of mineral oils and HFDu fluids.

### 3.3 Comparison of Mineral Oil and HFDu Polyol Ester when poured on a 900°C Surface.

#### 20 ML OF MINERAL OIL (HLP-46) POURED ON A 900°C PANEL

Mineral oil forms vapours which results in explosive ignition



#### 20 ML OF QUINTOLUBRIC® 888-46 POURED ON A 900°C PANEL

QUINTOLUBRIC® 888-46 produces controlled ignition, no explosion, and ultimate control of the situation



Figure 5. Comparison of Mineral Oil and HFDu Polyol Ester

The complete movie can be found on Youtube under <http://www.youtube.com/watch?v=bEtlikCMRWM>

The still frames demonstrate the problem that typically occurs when a mineral oil based lubricant comes into contact with a hot surface. The mineral oil evaporates easily, and therefore, tends to build a vapour of oil droplets. Once ignition takes place, the oil droplets can catch fire and result in an explosion and/or fire ball. These two effects make the fire with a mineral oil dangerous and hard to control as the fire ball can go to the roof or to cables and can ignite that area. With the polyol ester based HFDu fluids this evaporation does not take place and thus no explosion or fire ball will be generated. The HFDu fluid might burn as well, but there is no vapour or explosion and it is limited to the place it comes in contact with, so the situation remains under control.

### 3.4 Comparison of a pool of Mineral Oil and HFDu Polyol Ester a hot subject drops into it.

To explain this phenomenon some physical parameters should be understood.

Property	Mineral oil	QUINTOLUBRIC® 888 HFDU
Auto Ignition Temperature	300°C	460°C
Specific Heat	1.7-1.8 J/g.K	2.06 J/g.K
Heat of Combustion	43 KJ/g	38 KJ/g

Figure 6. Physical Parameters

A driving force in this process is the relative low auto ignition temperature of mineral oil in combination with a relative low specific heat and high heat of combustion.

1. The auto ignition point of MO is much lower than that of QUINTOLUBRIC® 888
2. The Specific heat expresses the energy needed to heat 1 g MO 1°K => 10-15 % less energy to heat Mineral oil based lubricants .
3. The heat of combustion of a mineral oil based hydraulic fluid is typically about 43-44 kJ/g, whereas an HFDu, polyol ester fire-resistant hydraulic fluid has a heat of combustion of about 38 kJ/g. So chemically an HFDu fluid generates 10-15% less heat during combustion.

So purely on physical facts it can be stated that less energy is needed to heat Mineral oil based lubricants to reach the temperature needed to auto ignite ( which is already relatively low ). The relative high heat of combustion of Mineral oil based lubricants acts as a catalysis in the process and creates the situation of the explosive ignition and propagation of the flames.

FINANCIAL AND TECHNICAL EVALUATIONS OF POSSIBLE SOLUTIONS TO ENHANCE SAFETY		
Solution	Positive	Negative
Change design of the Unit to avoid mineral oil leakages close to the hot surface	» Company can keep the same oil technology	» Does not avoid using a straight hydraulic oil (HLP) coming close to the hot surface. Does not avoid formation of pools.
Installation of a fire extinguisher system	» Company can keep the same oil technology	» Very expensive and it does not catch the explosive ignition and fire balls
Change hydraulic fluid to a Water Glycol HFC type	» Offers a safe solution	» Reduction in lubrication performance » Expensive
Change hydraulic fluid with HFD-U type	» Hydraulic performance closest to Mineral oil based lubricants and general no investments needed on hydraulic systems	» Low risk of spreading fire (under control) but still possible on a 900°C (1,650°F) surface

Figure 4. Possible solutions to enhance safety

#### 4. Examples how Fire Resistant Grease improved work safety and reduced fire hazards in high risk areas

Because of the nature of steel production, steel plants have hazards in every operation. This requires a "safety first" approach from everyone, including visitors, to minimize the risks of negative outcomes. Within the large context of safety, fire hazards are substantial areas of risks within steel plants.

Fire hazards exist in many places within steel plants. This includes, but is not limited to areas such as the coke oven, blast furnace, melt shop, hot rolling mills, etc.

To extinguish the fire, the National Fire Protection Agency [1] describes the four main approaches. These are cooling the burning material, eliminating the oxygen, removing the fuel and breaking the chemical reaction. Typically, steel plants cool the burning material. This is usually done with water either from a system or from a steel worker manually extinguishing the fire.

##### Example #1 – Hot Rolling Mill Walking Beam Furnace Exit – Roller Table

In the hot rolling mill of a major North American steel producer, hot scale was falling off the 1,260°C temperature steel bars as they exited the walking beam furnaces, causing excess grease on the bearings to catch on fire. The steel producer thereupon instructed Quaker Chemical to develop a fire-resistant grease that could be used on the roller bearings to reduce the amount of fire hazards. Quaker Chemical proposed QUINTOPLEX™ LXS 1002-EP grease for use on the hot rolling mill. Before introducing QUINTOPLEX™ into operation, the steel producer challenged the fire-resistant properties of the grease with tests that exposed it to open flames and extremely hot metals. QUINTOPLEX™ passed all the tests performed, resulting in its introduction into the hot rolling mill lubrication system. Running their system with the fire resistant grease, the mill realized 90 percent less fire hazards. Furthermore, the continuous water supply the mill was using to control the fire hazards could be removed, which led to a reduction in corrosion on the roller bearings. Keeping operations running smoothly Mill operators should work with a grease supplier who has the expertise to offer technical advice to help evaluate situations, and who can offer realistic solutions to solve problems ranging from production efficiency to worker safety. At a minimum, grease manufacturers need to provide sustainable product solutions that require

less volume and reduce energy during use, in order to bring real value to the customer

##### Benefits of Fire-Resistant Greases in Hot Mills

In steel plants, the common approach to putting out the fire is done with variations of cooling the burning material. With a fire resistant grease, the approach is removal of the fuel. This is because a typical mineral oil based lubricating grease is a fuel source. A fire resistant grease is not a fuel source because the base oil and additive chemistry are selected based on their ability to resist combustion. Ultimately, the combustible hydrocarbons are removed from the formulation. This results in materials with lower volatility, which minimizes the generation of combustible vapors that are able to ignite and propagate the flame after ignition. Furthermore, some base oils, such as esters require substantially more energy to ignite and sustain fires.

##### Example #2 – Continuous Casting – Ladle Turret Bearing

Challenges: A major steel producer in China with an integrated steel plant for flat steel production faced 3-4 fire hazards annually at the ladle turret area. The ladle turret main bearing is been centralized lubricated and used a common Mineral Oil based EP2 Multi Purpose Grease. Although the area of the ladle turret is usually not seen as a high risk area as usually there are not a lot of media installations like Oxygen, Nitrogen, Natural Gas or Argon Pipes and the amount of electrical cables and other installations is usually low. Due to the high amount of grease applied to the main bearing of this ladle turret the grease piles up at the floor. Both inside and outside the ladle turret. Combined with all kinds of dirt and dust from the casting process it creates a significant fire hazard. While starting casting liquid steel rinse from the Ladle through a shroud into the tundish. In this case it usually happens that hot steel particles and sparks flying on the casting platform and can reach the hazardous waste grease on the casting floor. In this case the grease will catch fire and set the whole grease that is in that area under fire and creates a lot of smoke. It will burn as long as mineral oil is present. Fires are a potential risk and needs to be distinguished asap. This required trained people and necessary equipment. To be on the safe side the production should be stopped controlled to allow operators and staff working in that area to get out of the risk area to a safe assembly point outside and away from any building.

#### 5. Conclusions

Safety hazards are inherent within the steel industry. In particular, fire hazards present a sizeable risk for steel workers as the nature of steel production requires significant heat to produce the desired finished products. Minimizing and controlling the hazards is very challenging and this paper explains how fire resistant fluids and greases can reduce some of those risks.

According to Schrama [2], about 50% of all steel tonnage is processed at the hot strip mill. Within the hot strip mill, the furnace exceeds 1,260°C. As the furnace moves hot bars of steel to the rolling table, the process creates excess slag that falls on to the ground. Simultaneously, the bearings on the rolling table expel excess quantities of grease on to the floor.

Because fluids and greases are typically mineral oil based, this becomes the fuel for a fire event. The authors propose that using a synthetic ester oil based fluid and grease would reduce the likelihood of lubricants catching on fire. This ester technology is used in fire resistant hydraulic fluids for many years. This is further supported in that the ester technology requires a higher energy level to cause and sustain combustion. Additionally, the physical characteristics of this type of synthetic ester oil has a tendency to char and reduce the oxygen needed for fire.

#### References

- [1]. National Fire Protection Agency, 20<sup>th</sup> Edition (2008). Fire Protection Handbook. Quincy, Massachusetts.
- [2]. Schrama, R. (2006). Chapter 18. Steel Industry. Handbook of Lubrication and Tribology: Volume 1 Application and Maintenance, Edited by Totten, G. pp. 18-3 – 18-59.

## Smart Laser Based Sensors in Long Products Rolling Mills For Process and Productivity Optimization

Volker Gödecke

LAP Laser Applikationen GmbH • Germany

*The steel manufacturing industry faces increasing cost pressure as well as competitive pressure to continuously improve and innovate its processes towards higher efficiency and productivity. The objective is to simultaneously increase quality and productivity while at the same time saving costs, resources, and energy. Due to its complex production processes and its long and technologically integrated value chains, the steel industry is an excellent target for automation approaches and for Industry 4.0 concepts in particular.*

*In this regard, many prerequisites and basic applications already exist in the steel industry. Yet, there still is a high potential for improvements. Respective efforts require support by dedicated contributions on all levels of the process pyramid – even sensors which are on the basic automation level demand enhanced capabilities, extended connectivity, and improved intelligence of the embedded data processing.*

*Leading edge laser based measuring gauges for long products rolling mills are closely integrated into the production process. While performing the measurement task with highest accuracy, it is the intelligent evaluation of the measurement data which results in more sophisticated information beyond dimensional data. Specifically, Industry 4.0 enabled laser based measuring gauges directly recognize rolling defects and indicate roll wear, provide it in real time and feed it into the process automation system. Such information bears the potential to foster overall process optimization efforts for a higher productivity.*

## INTRODUCTION

The steel industry operates in a very dynamic and demanding environment. In addition to the economic and political issues, global steel companies face many other challenges in the conduct of their business, such as climate and environmental policy, energy consumption, resource efficiency, and others more. The entire steel industry has to deal with a variety of challenges and is directly and indirectly affected by many trends and developments. Also in its core business of producing steel and steel products, the steel industry faces increasing quality and productivity demands from its customers and end users.

Many companies are responding to this and are already advanced with the implementation of respective measures. Significant potential for improvements in the steel industry can be tapped by modernizing the processes and the plant and by using the best available techniques, which can improve the productivity of modern production facilities close to their optimum. Tackling the exploding complexity of these demands requires strongly increasing automation of the production processes, which is one of the strongest drivers of Industry 4.0 concepts.

One of the core ideas of Industry 4.0 is the networking of the entire factory, combined with the introduction of increasing intelligence (see Fig. 1). This concerns the general operations of the factory and includes each component in the production process. While traditionally the individual automation levels are only connected to each neighboring level, all levels in the "Internet of Things" now communicate directly with each other in a common cloud. Furthermore, this connectivity is supported by the introduction of algorithmic intelligence and computational power, thus creating the prerequisites for bringing process optimization to its next level.

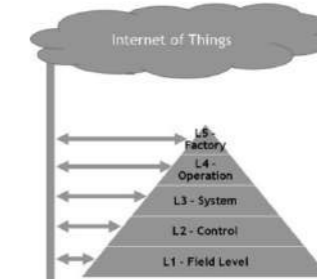


Fig. 1 – Internet of Things – Networking of the Entire Factory

The highest potentials in the steel industry regarding the areas of Industry 4.0 are often considered to be located in the following areas:

- **Production:** e.g., integrated plant-wide control of all processes and the integration of all connected sensors,
- **Maintenance:** in particular the predictive and condition-based maintenance of production units,
- **Logistics and supply chain:** involving, e.g., integrated planning of production orders with the customer, or agile production, or even flexible, customer-specific production of small and very small batch sizes.

Perfectly mastering the local production process requires full integration of the entire production system, from the factory level as the highest level to the field level as the lowest level. This paper focusses on the field level and in particular on (intelligent) sensors which provide detailed and instant information about the status of a process. Such sensors thus can be considered enablers of a high automation level and are a prerequisite for the efficient application of high-level optimized process models.

In this article, a new generation of sensors for contour measurement and dimensional inspection of long products during hot rolling will be introduced. The CONTOUR CHECK SHAPE (CC SHAPE) system by LAP scans the entire contour of long products and detects rolling defects at high resolution. Thereby, it detects



defects that are not recognized by other systems which are routinely used. Based on the scanning data, the CONTOUR CHECK SHAPE system provides specific recommendations for action for optimally adjusting rolling stands. Moreover, it detects and classifies on-line dimensional surface defects. Before, such defects were mostly only discovered at the end customer. Through the complete and precise measurement of contours by the system, numerous sampling operations become unnecessary. Thus, the system can significantly reduce quality assurance costs.

#### RELEVANCE

Steel rolling is a process that changes the dimension of the rolling stock. This means that the measurement and a tight control of the product dimensions during the production is a key requirement of such processes. In this regard, optical measurement systems and especially laser measurement systems have been successfully used for many years. They are based on the shadowing method which can be applied for in-line measurement and which measure contactless. Such measuring systems have become established in rolling of long products and have become an indispensable part of this process.

In the typical rolling process of bars and wire, the product forming is done with two or three rolls which can be individually controlled and adjusted by the operator to achieve the optimum product quality. There are several potential error sources in the rolling operation which affect the product quality and which need to be avoided during the rolling process by the operator (see Tab. 1).

Tab. 1 – Rolling Defects in the Rolling Process of Long Products

Rolling Defects and Surface Defects		
Technological rolling defects	Isolated surface defects	Recurring surface defects
Roll misalignment	Rolling inclusions	Roll spalling
Incorrect roll-gap setting	Scale	Roll eccentricity
Overfill and underfill on one or both sides	Scabs	
Ovality	Scoring	
Roll wear		

With the shadowing method, outer dimensions (diameter) can be measured. Yet, numerous other parameters of interest to the mill operator cannot be measured or addressed with those systems. Specifically, it is not possible to differentiate geometrical deviations. This includes differentiating overfills and underfills, roll misalignment, and roll wear with certainty. Moreover, defects which appear only on a small part of the contour (e.g., seam caused by overfill) cannot be reliably detected by the shadowing method. The same holds for isolated surface defects, which include rolling inclusions, scale, scabs, and scoring. Such isolated surface defects can in principle not be detected from few diameter measurements resulting from the shadowing method. Also cyclical recurring surface defects (e.g., roll spalling) are usually only discovered at the end customer. The detection of these rolling defects is particularly critical, as already rolling seam of tenths of a millimeter in height (which can, e.g., be caused by an incorrect roll gap setting) can significantly impair the quality of a wire product and lead to claims.

High-resolution scanning of contours and the entire periphery with zero-exception is required by producers of long products. The requirements are even more amplified for lines producing high-quality products. As shadowing measuring systems provide only limited information, dealing with the above-mentioned defects requires interpretation through an experienced operator. This, however, induces the risk of quality deviations due to differing experience and subjective interpretation of the human operators. Moreover, operators may even induce rolling errors by themselves. Therefore, systems are needed that (a) classify geometrical deviations such as rolling defects and surface defects automatically, that (b) use objective criteria for these

classifications, and that (c) provide operators with unequivocal recommendations for action and countermeasures.

#### SOLUTION APPROACH OF CONTOUR CHECK SHAPE

##### Complete Contour Data

In order to adjust the roll settings, the operator needs instant information of the rolling result which goes far beyond mere diameter information (usually, sample cutting was a method during the startup after a product change to provide this information). For increasing process optimization, it is a requirement to receive detailed quality information inline, as this provides the operator with the necessary information about all relevant parameters which are needed to properly control the rolling process.

These issues are addressed by the CONTOUR CHECK SHAPE measuring gauges. These gauges are based on the laser light-sectioning method and provide complete contour information of the measured product. With such systems, the problem of insufficient information for complete evaluation of error sources and the inability of automatically detecting errors is solved. The CC SHAPE system family is capable of providing complete contour information of all kinds of convex contours. It can be applied for steel billets, bar and sections with a round, rectangular or hexagonal cross-section, and tubes and wire.

CC SHAPE measures the contour across the entire periphery and depicts the true cross-sectional surface of the section without omissions. To achieve this, the system scans entire sections (up to 2,000 per second) and evaluates thousands of measuring points simultaneously. Geometrical deviations are detected at a resolution of up to 5 µm.

Taken together, by applying the laser light-sectioning method that provides complete contour information it is now possible to automatically recognize rolling defects. The system reliably provides data-based results that avoid the reliance on subjective interpretation and skills of employees at commissioning and during operation. Due to the high amount of data available through the new system, higher accuracy in contour measurement and the detection of rolling defects is achieved and the inspection of isolated and cyclical surface defects becomes possible. Snapshots of a moving stock are taken with a short exposure time of the camera, thereby making mistracking and rotation no longer a concern for measurement. Monitoring the rolling process with sensors based on this method makes monitoring comprehensive and objective.

#### Technology

The measuring principle of the sensors of the measuring gauge is based on the light sectioning method (see Fig. 2). The sensors contain a line laser and a matrix camera and electronics for processing the camera signals. The light sectioning method makes use of the triangulation approach which is well known from laser based distance measurement systems. Rather than projecting a laser point, in the light sectioning approach the laser projects a straight line perpendicular to the surface to be measured. The camera is fixed at a certain angle and distance to the laser line. It captures the laser line with up to 2.000 Hz. A blue laser light is used as it contrasts ideally with the red surface of hot rolled steel.

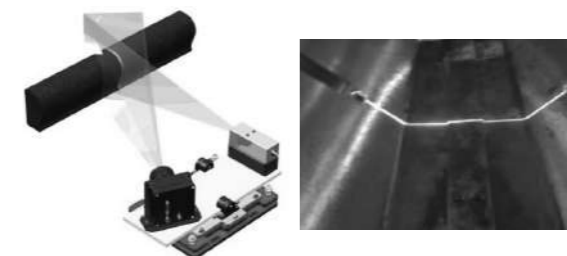


Fig.2 – Laser Light Sectioning Method: Laser/Camera Arrangement (left) and Captured Laser Line (right)

Any deformation of the surface causes a deformation of the laser line as captured from the camera's angle of view. Using the basic calibration as reference, the sensor converts the deviations into absolute measured values and calculates the dimensional contour values of the measured product from the deformation of the line. There are typically four of these sensors installed in the measurement gauge (see Fig. 3). Each of the sensors works as described; it projects a laser line on the surface and captures and records the data. The lines overlap so that the entire perimeter of the profile is scanned. In the next step, the overall contour data of the measured product are calculated based on the combination of the measured segments of the sensors. In this way the deformation of the laser lines are converted mathematically into the overall contour information.

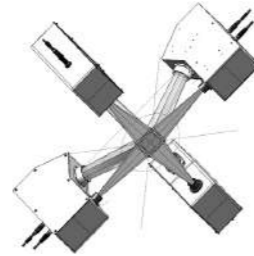


Fig.3 – Light Sectioning Sensor Arrangement for Full Contour Measurement

By combining the inspection views of the four sensors, together they create a scan field in which the measured object can move freely. The integrated real-time controller of the measuring system assembles the results from the four sensors and generates a true complete cross-section profile. The data processing chain is built in three steps (see Fig. 4).

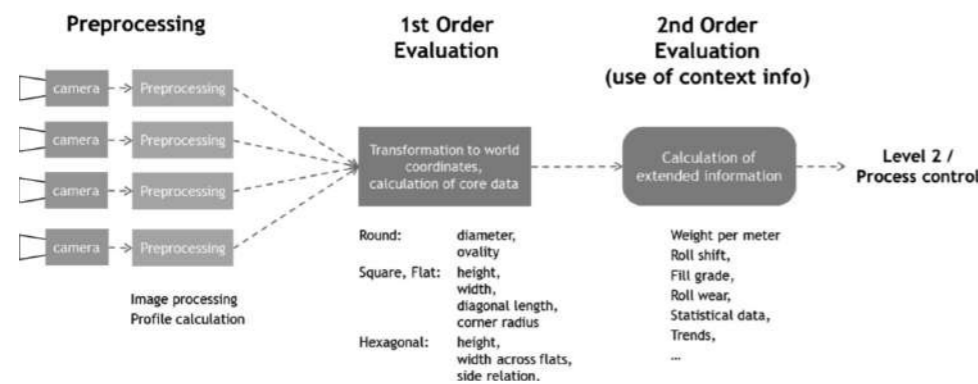


Fig.4 – Data Processing Chain of the Light Sectioning Sensor CONTOUR CHECK SHAPE

**Preprocessing**

The first step after capturing the image of the laser line is the preprocessing of the raw measurement data. On the basis of the internal linearization and calibration, in each sensor the profile data of the captured segment are calculated and transformed into correct dimensional coordinates. The profile segment is then forwarded to the subsequent processing step.

**1<sup>st</sup> Order Evaluation**

Once the complete cross-section profile is available in a high resolution, significant and meaningful parameters can be calculated. They form the basis for the first order evaluation of the measurement results.

Examples are shown in Figure 5.

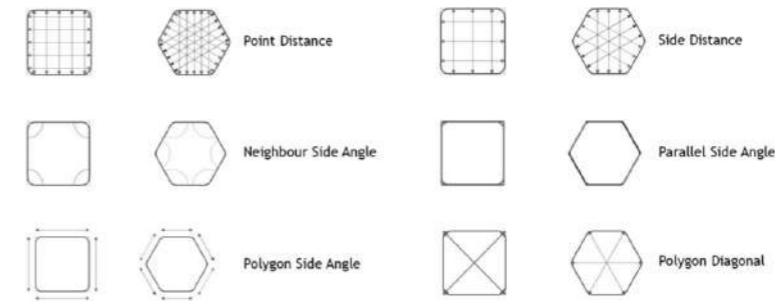


Fig.5 – Key Parameter Processing of the Light Sectioning Sensor

The calculated basic parameters include various kinds of distances, such as distances between parallel sides, characteristic points, or corners. In addition, angles are determined, such as between neighboring sides, polygon sides, or even parallel sides, including the corner radii of rectangular and hexagonal profiles. These data allow the calculation of the key parameters that describe the geometry of the profiles. Such parameters are shown in Table 2.

Tab. 2 – First Order Geometrical Parameters of Long Products

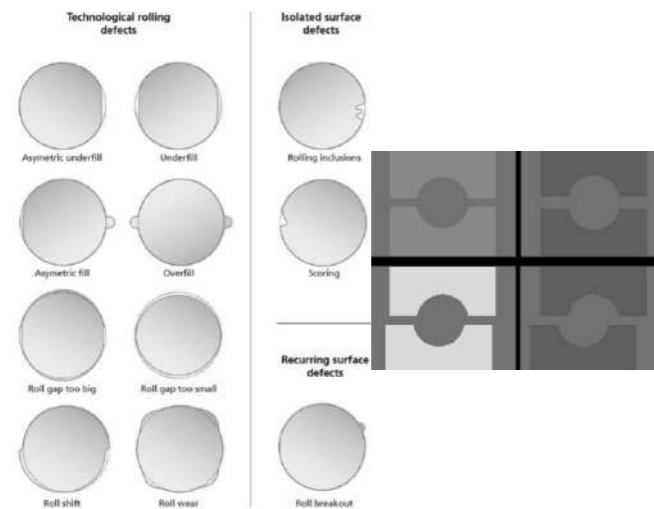
Relevant Geometrical Parameters of Long Products		
Round	Square and Flat	Hexagonal
diameter, ovality	height, width, diagonal length, corner radius	height, width across flats, side relations

**2<sup>nd</sup> Order Evaluation**

In a subsequent processing, a more complex evaluation is performed and the use of context information can be included as well. In 2<sup>nd</sup> order evaluation stage, complex and intelligent algorithms allow detecting and recognizing rolling defects, such as roll gap misalignment or filling grade, and they allow signaling them to the operator. In addition, the calculation of statistical data and trends as well as the processing of demanding tasks like rebar measurement, weight per meter, or the identification of roll wear is performed. Furthermore, the processing of tasks that use external information, such as temperature correction for cold dimensions or the combination with length information, is executed in this processing stage.

For rebar, both the contour and the weight are measured. Due to the high amount of cross-sections scanned per second, both the core of the rebar and the ribs can be measured at a high local resolution in rolling direction. Moreover, the exact weight per meter is computed by the system, as it takes the ribs into account. Further parameters that are measured concern the off-size lengths which are required for crop determination at the head and tail end of the stock.

Warnings are generated when dimensions or parameters are out of their specified tolerance ranges (see Fig. 6). This may, e.g., concern deviations of the characteristic values of rebar, such as rib height or the contour of the rebar body. Based on the processed data, the system generates specific recommendations for action. For instance in the case of roll misalignment, the system not only signals the defect type, but also indicates the degree of the misalignment in terms of the direction and size. As a result, the operator can immediately change the setting of the rolling stand according to the recommendation to correct the error.



**Fig.6** – Visualization of Rolling Defects (left), Alarm presentation of Rolling Defects (right):  
 Top left: gap warning level not exceeded; top right: gap tolerance exceeded.  
 Bottom left: misalignment level exceeded; bottom right: misalignment tolerance exceeded.

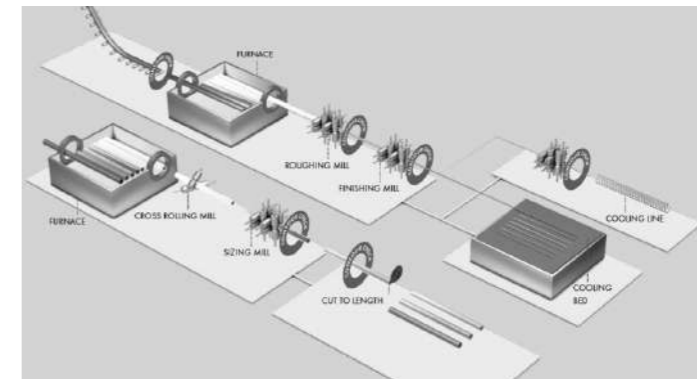
An integrated pyrometer measures the temperature of the rolling stock and this data can be used for converting the dimensional data to cold dimensions. The input of any length or speed signal allows assigning measured data accurately to the length of the stock.

The system is also suitable for three-roll stands for bar and wire. Since the entire contour is known the correction data for the rolling block (regardless if of 2-roll type or 3-roll type) is calculated with high accuracy. Hence, it can be used for automatic process control of the rolling stands.

#### Measurement Systems at Multiple Production Stages

The operator needs a tight control of the production process. For this purpose, multiple measurement systems can be applied in the production line, e.g., at the roughing mill, the medium section mill, and the finishing mill (see Fig. 7). In this context, the upstream measurement may as well use the shadowing method. In any case the tracking of the produced quality by the laser light-sectioning systems is supported by the CONTOUR CHECK software, which has the ability to present the measurement results on a common display. Interlinking the geometrical measurement data of the different gauges allows directly comparing the effects of upstream rolling stands to the finished product in real time. Thereby, trends can be detected on a meta-level, corresponding action can be taken, and its effectiveness immediately verified.

As the section might rotate between the rolling stand and the location of the measuring system, the CC software analyzes the orientation of the roll gap and continuously displays the contour in the correct position.



**Fig.7**–Locations for Dimensional Measurement of Long Products

#### TECHNICAL SYSTEM IMPLEMENTATION

The design of the CC SHAPE systems allows them to be implemented at any stage in the rolling process, from the billet to the finished section. The systems can be operated even at high material temperatures (up to 1,200°C), as the gauges are protected by a heat shield that protects against radiated heat.

The measuring system consists of several components (see Fig. 8). The measuring gauge itself is integrated in the production line and mainly contains the laser light sectioning sensors, which are protected in a robust casing suitable to withstand the challenging environmental conditions of the hot rolling mill.



**Fig. 8**–Measurement Gauge of the CONTOUR CHECK SHAPE for Dimensional Measurement of Long Products

A local control box connects the measuring gauge with the electrical power supply and the computing system. The blower unit provides a strong air stream to keep the openings of the laser and camera devices free of dirt and dust. A water-conditioning unit is required to control the temperature of the measuring gauge and particularly of the frame on which the laser light sectioning sensors are mounted. The PC cabinet contains the computers for the system operation and the data processing of the measurement data and provides the further required connectivity of the gauge. External signals like temperature signals from a pyrometer or speed or length signals can also be processed by the system. On the PCs, the CC software is installed which controls the system operation and performs all data processing of the measured data. The HMI runs on a monitor which can be located in the operator pulpit or on a monitor at a different location, according to the requirements of the operator and the quality assurance. The HMI runs on the main computer as well.

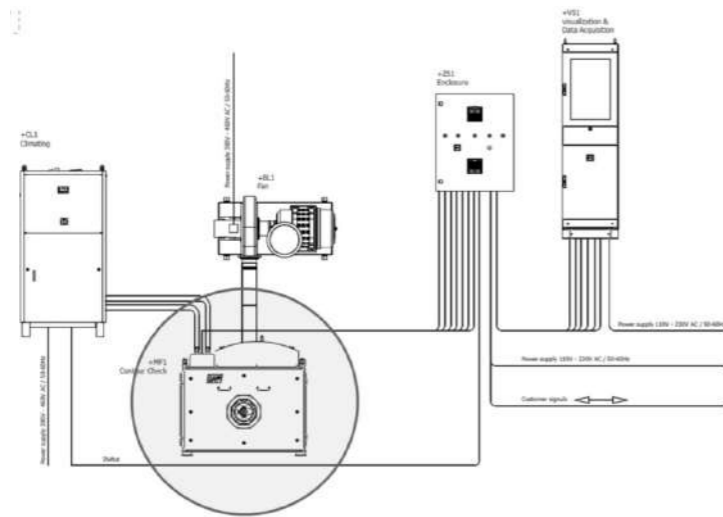


Fig. 9 – System Layout of the CONTOUR CHECK SHAPE Measurement System for Long Products

The measurement results are presented both graphically and numerically (see Fig. 10), displaying the trend in contour or in relevant measurement values over the length of the stock. The displayed information also involves and is set in relation to the corresponding tolerance bands.

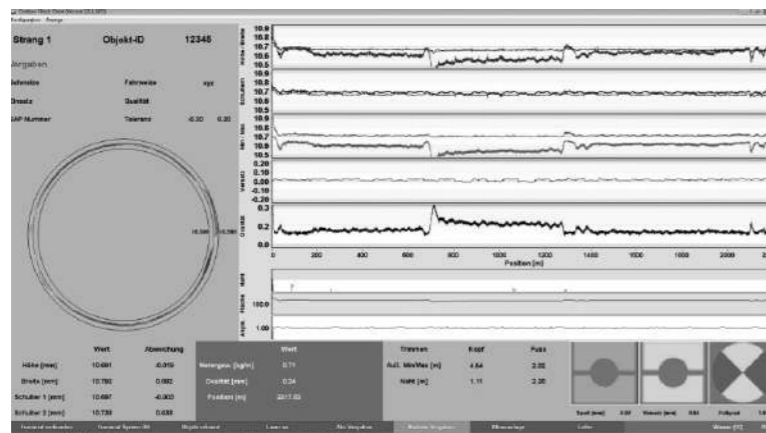


Fig. 10 – Example of an Operator Screen (Round Products)

The screen can easily be individually configured so that the operator can view exactly the data that is relevant for him. A multi-client software with an extended HMI allows to display the results of more than one measuring system on a common display.

#### INTEGRATING SMART SENSORS IN INDUSTRY 4.0

In order to prepare for and meet the requirements of future production systems, advanced sensors (smart sensors) require full connectivity to the network and therefore, increasing intelligence is even required on the sensor level. Where older measuring systems only provided basic data and thus were not suitable for supporting artificial intelligence, modern measuring gauges now provide detailed information. Modern measuring gauges are enriched in their capabilities as they already embed advanced intelligence into their data processing chain. Hence, interpretations which were required by the operators now can be objectively and automatically performed by the system, which leads to increased stability and conformity of the

processes. Error sources due to missing data and room for individual and subjective interpretation of different operators can be eliminated. Also, information can be enriched by additional external information in order to gain more valuable insights about the process, to realize a higher degree of automation, and to achieve faster reaction times. Generally speaking, advanced process management requires full control of the production. The more data are provided and the more information the data contain, the more advanced the process can be controlled and managed. Hence, the data created by these sensors are of critical relevance for implementing Industry 4.0 concepts.

#### IMPACT OF THE SOLUTION

The new measuring systems based on the laser light-sectioning method create many benefits. As the measurement systems provide accurate geometrical data in real time, the tolerance range is more accurately met. Thereby, material and/or production time and energy can be saved, which directly accounts to the benefits induced by the system. A better overall yield and less waste of the production can be achieved by reducing and even avoiding faulty material. This is also valid for product change times, which can be shorter and produce less scrap due to a faster adaptation to measured values. A 24/7 surveillance with an integrated alarm in case of faults leads to increased reliability of the process. Taken together, the measuring systems contribute these benefits as they allow operating the production line closer to its optimum.

The impact of inline control on the production output can be illustrated by two examples. Example A illustrates implications for selling by weight, and Example B illustrates implications for selling by length. For both cases, the highly accurate and real-time inline measurement provided by the CC SHAPE systems allows achieving a new level of production optimization that scales into a significant impact on production efficiency.

*Example A – Selling by weight:* In this case, the production process is operated in a way that the dimensions are produced near the upper tolerance threshold. Production close to the upper tolerance level requires an accurate and fast inline measurement to avoid scrap production. As a result, e.g., a 1% increase in diameter results in 2% more mass flow, which means that 2% of the production time can be saved. This implies saving energy and resources as well.

*Example B – Selling by Length:* In this case, the production process is operated in a way that the dimensions are produced near the lower tolerance threshold. Production close to the lower tolerance level again requires an accurate and fast inline measurement to avoid scrap production. As a result, e.g., a diameter reduction of 1% results in 2% less mass flow, which means that a saving of 2% of the material can be achieved while fulfilling the order. This again implies saving energy and resources as well.

#### CONCLUSION

CONTOUR CHECK SHAPE is a new LAP system for contour scanning and dimensional inspection of long products directly during hot rolling. It uses the laser light-sectioning method, which provides much more concise measurement information than the shadowing method, and thereby allows operating the production line with higher efficiency, which leads to cost and resource savings of the production process.

By processing several thousand measuring points which are distributed across the entire perimeter of the profile, a high-resolution scanning of the entire profile is performed. With its automatic analysis and recommendations for action, e.g., in case of rolling defects, there is no need to rely on subjective interpretation by the operator anymore. The calculated results can even be combined with external data such as, e.g., temperature or specific product information such as rebar. Thus they create more useful and relevant results for the operator, such as cold dimensions of the sections or the weight per meter of rebar.

To conclude, smart sensors like the CONTOUR CHECK SHAPE allow for the implementation of Industry 4.0 concepts, as they implement advanced technical capabilities in their system. Thus, such smart sensors are opening new avenues for further process optimization in the steel rolling industry.

## Investigating the Mechanical Behavior of the Modified P91 Steel at Elevated Temperatures

M. Junaid Aslam, C. Hakan Gür

Middle East Technical University • Turkey

### Abstract

Environment-friendly generation of power in the fossil-fuel power plants requires improvement of efficiency by minimizing fuel consumption per unit of electricity which can be achieved by increasing the operating temperature of the power plant. Thus, there is an increasing interest in developing structural steels which have better high temperature stability of mechanical properties and creep behavior compared to the conventional steels. Grade P91 steel was developed as a replacement for 1/2CrMoV components suffering from ligament cracking, and is mainly used in steam pipes which are joined by welding. In order to accurately predict the service lifetime of the components, determining the mechanical properties of parent metal and heat affected zones of weldments at operating temperatures are critical. In parallel to continual international efforts on improvement of P91 steels, this paper presents the initial results of the research study on investigating the microstructure evolution and mechanical behavior of P91 steel at elevated temperatures.

### 1. Introduction

P91 steel has a typical tempered martensitic microstructure with ferrite matrix and embedded secondary carbides and nitrides in the form of precipitates.  $M_{23}C_6$  type (M: Cr, Fe, Mo, Mn, B) and MX type (M: Nb, V, Ti, X: C or N) are the common precipitates in heat treated P91 steels [1]. Hindrance to dislocation motion caused by these precipitates play a critical role in achieving the high temperature strength [2].

A lot of research have already done in selecting the optimized alloy additions to develop 9%Cr-1% Mo martensitic/ferritic steels [3]. The contributing alloying elements for obtaining the required microstructure and high temperature tensile properties for P91 steel are C, Cr, Mo, W, V, Mn, Nb, Cu and B. It is reported that optimum addition of B and N will lead to improved microstructure characteristics [9] and high temperature tensile properties of 9-12 Cr Steels [4].

P91 components usually operate at high temperatures, so initially their high temperature tensile properties are required to qualify. There are various reports published in literature [5, 6]. This study aims to contribute to the existing literature about high temperature tensile properties of P91 steels.

### 2. Experimental Procedure

Spectrometer analysis using Cr-steel mode has used for determining chemical composition of the as-received material. It contains 0.1%C, 8.1%Cr, 0.9 % Mo, 0.5% Mn, 0.3% Si, 0.2% Ni, 0.2% V, 0.13% Cu, 0.0003% B, 0.08%Nb, 0.009%As, 0.02%Sb, 0.008%Sn, 0.007% Al, 0.003% S, 0.001%Zr. The chemical composition is similar to P91 (9Cr-1Mo) Type 2 per ASTM A335. Its equilibrium phase and CCT diagrams are given in Fig 1. After austenitizing at 1050°C for one hour, the specimens were cooled in air to obtain martensite, and then, tempered at 760°C for two hours.

Tensile tests were performed at 25°C, 600°C, 650°C, and 700°C according to ISO 6892-1 and -2, ASTM-E8/8M and ASTM-E21 using a universal tensile testing machine. Hardness tests were done using the Vickers HV 0.1 scale. Following grinding and polishing, the specimens were etched in 10 % Nital solution to reveal the microstructures via optical microscopy and SEM, and for average grain size analysis according to ASTM-E 112.

### 3. Results and Discussion

The microstructure of the as-received consists of a typical tempered martensite microstructure, i.e., ferrite with carbide precipitates.

The average hardness values of the specimens are close to each other, i.e., 263±4 HV (as-received material), 246±6 HV (after tensile test at 600 °C), 235±6 HV (after tensile test at 650 °C), 222±6 HV (after tensile test at 700 °C). Similarly, average grain diameters show slight differences, i.e., between 10 µm and 15 µm.

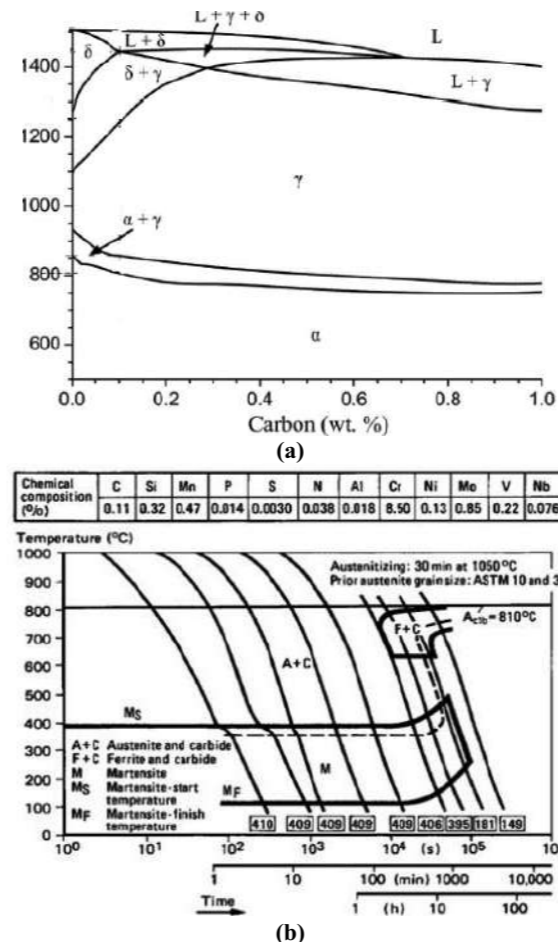


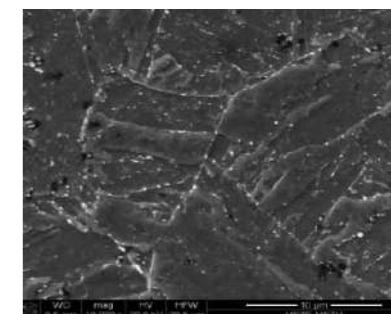
Figure 1. P91 steel: (a) equilibrium phase diagram, (b) CCT diagram [7, 8]

The results of the tensile tests are given in Table 1. There is an incremental decrease in the yield strength and ultimate tensile strength values with the increasing temperature.

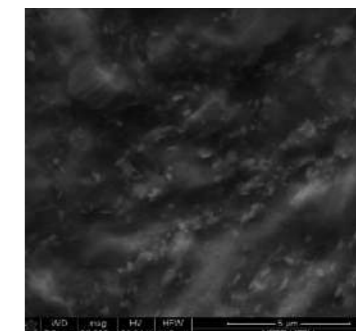
Table 1. The results of tensile tests

	25°C	600°C	650°C	700°C
Yield Strength (MPa)	659	347	295	99
UTS (MPa)	715	358	302	127

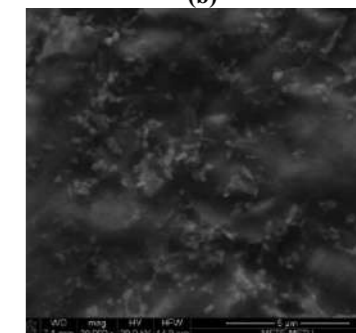
The SEM micrographs given in Figure 2 (a) show existence of fine precipitates inside the grains and some precipitates in the grain boundary regions. Though Figure 3 (b), (c) and (d) show coarsening of precipitates, there are some indications of local accumulation of precipitates within the grains and near grain boundaries. EDS analyses showed that the precipitates correspond to  $M_{23}C_6$ . Figures 3(a), (b) and (c) show the fracture surfaces of the specimens at 600°C, 650°C, and 700°C respectively. In addition to dimples and voids, secondary cracks at the boundaries exist. The quantity of voids increases with increasing tensile test temperature.



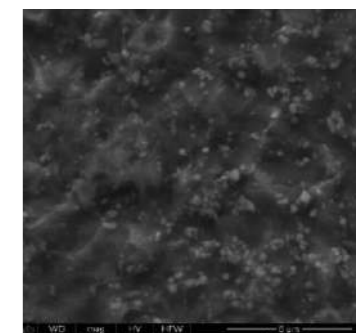
(a)



(b)



(c)



(d)

Figure 2. SEM micrographs: (a) as-received material, after high-temperature tensile tests at (b) 600°C, (c) 650°C, and (d) 700°C

## Sustainability in the Steel Industry Through Better Performance

Burak İldam

Klüber Lubrication Yağlama Ürünleri San. ve Tic. A.Ş. • Turkey

### Abstract

Klüber Lubrication is one of the world's leading manufacturers of speciality lubricants, offering high-end tribological solutions to virtually all industries and markets worldwide. The company has the goal to develop solutions that contribute to Sustainability in the steel industry.

Sustainability, the concept of using business practices and manufacturing methods that do not destroy natural resources, is relevant for all industries. Also the steel industry is reconsidering how it uses natural resources and what impact it has on environmental, economic and social developments. Sustainable business activities are based to a large extent on innovation and efforts for continuous improvement.

Casters in the steel industries are subjected to high temperatures and high loads. The major challenge is the continuous availability of the lubricant, in such conditions. Non-availability of the lubricant can result in components failure, resulting in loss of production. The new semi synthetic grease developed by Klüber Lubrication has a high load carrying capability and excellent high temperature pumpability ensuring no hardening of the grease in continuous lubrication applications even under extreme temperatures. Moreover, the new development brings many additional advantages like reduced consumption and reduced waste. It is a true testimonial of Klüber Lubrication's approach towards a sustainable future.

Rising energy costs represent a significant cost driver in steel industry. High energy consumption also has a negative impact on the environment. Klüber Lubrication offers with KlüberEnergy a service which helps to lower energy consumption. Steel operators benefit twice: by reducing their energy costs whilst protecting the environment

A KlüberEnergy project delivers, among other elements, a professional determination of the savings potentials of the tribological systems, measurement of specific energy consumption before and after implementing the solution, professional analysis of measured data, and translation of electrical readings into concrete financial savings.

So, steel plant operators can expect support in accomplishing their environmental aims, e.g.

- Use less energy and protect the environment
- Conserve natural resources and reduce harmful greenhouse gas emissions like CO<sub>2</sub>.

Besides the reduced consumption of natural resources, product and service solutions by Klüber Lubrication increase cost-effectiveness for the operating end customers. This example shows how sustainability and performance go hand in hand

### 1. Introduction

#### 1.1. Lubrication solutions for casters

For decades, continuous caster (billet, bloom, and slab) bearing lubrication has been a formidable challenge for maintenance teams in steel plants. There were many research and studies done to find an effective and permanent solution to line clogging issues and resulting bearing failures. These issues have eaten up productivity and profits due to heavy mechanical downtime, huge production shortfall and considerable man-hour loss. To tackle these hurdles, modern continuous casting process (CCP) segments were equipped with multiple split rollers, with an increased number of lubrication points. However, with greater slab widths, the performance of lubricants could never be optimal.

#### 1.2. Energy efficiency in cooling towers in steel industry

In general cooling towers are used whenever (production) processes need to be cooled. The process heat is led to the cooling towers using a heat transfer fluid which is usually water.

Cooling towers use the effect of evaporation or convection or a combination of both to transfer the heat from the fluid to the environment.

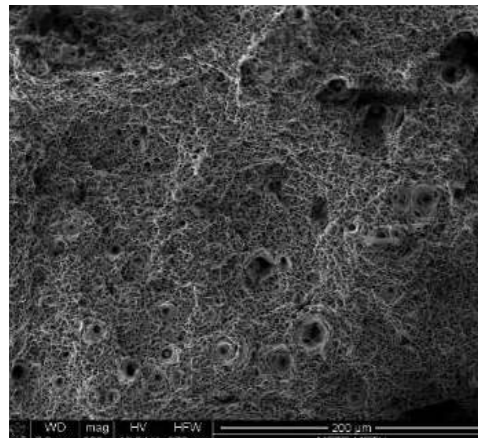
Generally there are three types of cooling towers, the ones using an open water system, the other ones using a closed water circulation and a hybrid type. Cooling towers with an open system are more efficient and therefore used whenever water is available in large quantities.

### 4. Summary

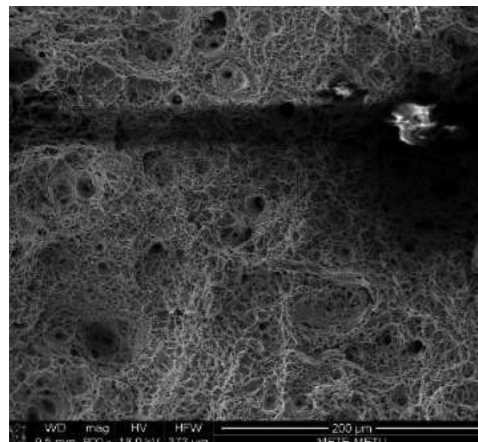
In order to contribute to the existing knowledge, mechanical behavior of P91 steels at high temperatures were investigated by performing tensile tests at 25°C, 600°C, 650°C, and 700°C. Before tests, all specimens were austenitized at 1050°C for one hour, then cooled in air, and finally tempered at 760°C for two hours. Microstructures of the specimens were characterized by metallographic analyses and hardness measurements. Fracture surfaces of the specimens were also investigated. In the next step of this study, creep tests will be performed.

### References

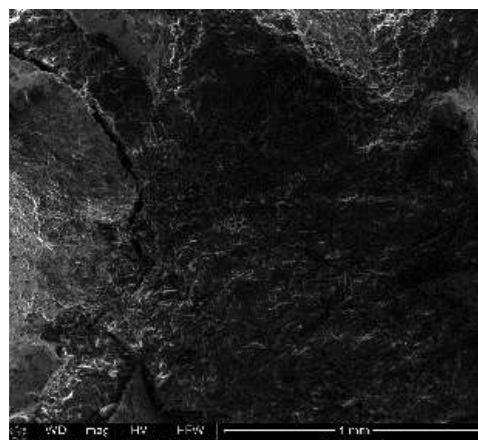
- [1] Jemian, P.R., Weertman, J.R., Long, G.G. and Spal, R. D., Characterization of 9Cr-1MoVNb steel by anomalous small-angle x-ray scattering, *Acta Metallurgica Materialia*, 39 (1991), 2477-2487.
- [2] Kalyanasundaram, V., Creep, Fatigue and creep-fatigue interactions in modified 9% Cr-1% Mo (P91) steels, Ph.D Thesis, University of Arkansas, May 2013.
- [3] Hattestrand, M. and Andren, H. O., Boron distribution in 9-12% chromium steels, *Metallurgical and Materials Transactions, A* 270 (1999), 33-37.
- [4] Peter, M., Evolution of microstructure and mechanical properties of the heat affected zone in B-containing 9% chromium steels, Ph.D Thesis, July 2007, Graz University of Technology, Austria Graz.
- [5] Poláčková, D., Svobodová, M., Hájková, P., and Uzel, J., Comparison of mechanical properties of P91 steel depending on temperature and annealing time, 2<sup>nd</sup> International Conference on Recent Trends in Structural Materials, 21-22 Nov. 2012, Plzen, Czech Republic.
- [6] Alsagabi, S, Shrestha, T., Charit, I., High temperature deformation behavior of grade 92 steel, *Journal of Nuclear Materials*, 453 (2014), 151-157.
- [7] Ennis, P.J. and Czyrska-Filemonowicz, A., Recent advances in creep-resistant steels for power plant applications, *Sadhana*, 28 (2003), 709-730.
- [8] Ennis, P.J. and Quadackers, W.J., High chromium martensitic steels-microstructure, properties and potential for further development, *VGB PowerTech*, 8 (2001), 87-90.
- [9] Das, C.R., Divya, M., Albert, S.K., Bhaduri, A.K., and Murty, B.S., Microstructural evolution in the intercritical heat affected zone of a boron containing modified 9Cr-1Mo steel, *Welding in the Worls*, 53 (2009), 511-515.
- [10] Davies, Michael I., High temperature nano-indentation characterization of P91 and P92 steel, PhD thesis, 2013, University of Nottingham.
- [11] ASTM A335/A335M-18, Standard specification for seamless ferritic alloy-steel pipe for high-temperature service.



(a)



(b)



(c)

**Figure 3.** Fractographs of the specimens after tensile test at a) 600°C, b) 650°C, c) at 700°C



All three types of cooling towers can be equipped with fans in order to support the natural air flow that is necessary for the cooling process.

Cell cooling towers are a very compact and hybrid type of cooling towers. They are used when available space is very limited and the towers mustn't be high, e.g. in cities.

## 2. Experimental Procedure

### 2.1. Lubrication method, grease and caster bearing performance: A study

Modern slab casting machines have multiple separate centralised grease lubrication systems to lubricate different machine elements - mostly bearings. The type of lubrication system is dual line centralised lubrication system. Distributor metering valve for line change over (cracking pressure) varies from 80 bar to 350 bar as 8 mm - from distributor to bearing.

Doze feeder delivery volume varies from 1.5 cc to 6 cc with line diameter as small as 8 mm - from distributor to bearing.

Problems faced by the caster maintenance team

Generally in a steel plant the bearings and lubrication lines (distributor to bearing head) are exposed to higher radiation heat because of higher slab width and greater slab thickness. This leads to line clogging - solidification of grease inside the pipe and does not allow grease to reach the lubrication points. When the bearing is starved of lubrication for a prolonged period, the result is premature bearing failure or shortened bearing life. With a normal high temperature grease being pumped with shorter lubrication cycles the problem can be arrested, but the lubricant consumption will increase drastically. Nonetheless, frequent roll jamming and segment replacements are common with normal non-effective high temperature lubricants.

Operational criticality and grease selection

Parameter	Application criticality	Grease property needed
Speed	Ultra low speed	High base oil with higher shear stability
Ambiance	High water/ steam along with micro scale ingress	Good sealing with high base oil with good water resistivity and water washout
Load	Moderate to high at bow area due to high frame static pressures.	High load carrying with anti-wear (AW)
Temperature	High, specially at end rollers and higher slab width with higher slab holding time	High temperature stability, non-hardening, good oil release at high temperature
Oil S. (lubrication method)	Distributor line clogging	Good pumpability, non clogging in distributor / feeder

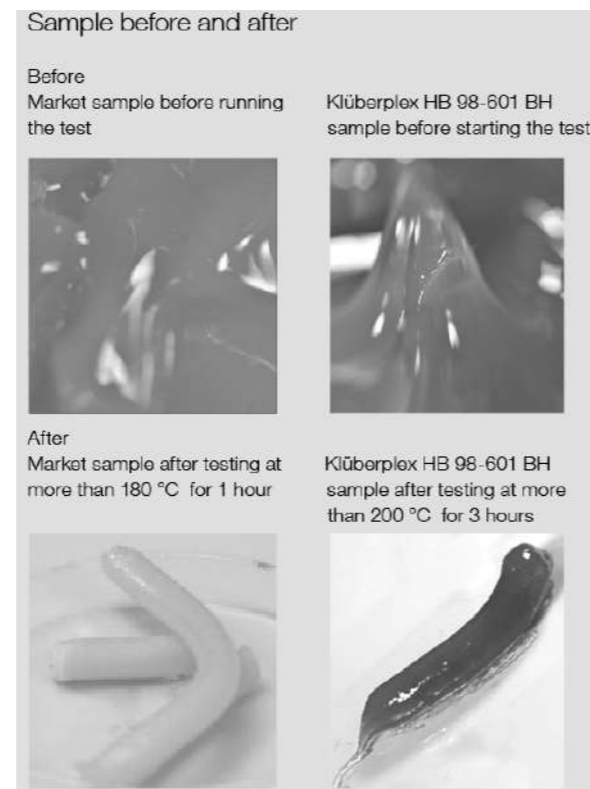
Our solution

One of the leading integrated steel plant in India found the solution with Klüber Lubrication's newly developed product, Klüberplex HB 98-601 BH.

In this steel plant the CCP slab caster bearing and lubrication line were exposed to temperatures higher than 230°C when the slab thickness was around 2000 mm. The temperatures were recorded by fixing two resistance temperature detectors (RTD) at the bender and bow area of the caster.

Cyclic temperature metal tube test at Klüber Lubrication R&D facility. Klüber Lubrication tested multiple greases, for high temperature pumpability; equivalent market samples and the newly developed Klüberplex HB 98-601 BH grease.

All other commonly used caster greases were getting solidified inside the pipe, after being exposed to temperatures more than 180°C for one hour. Klüberplex HB 98-601 BH did not show any hardening tendency, even after being exposed to temperature higher than 230°C for many hours.

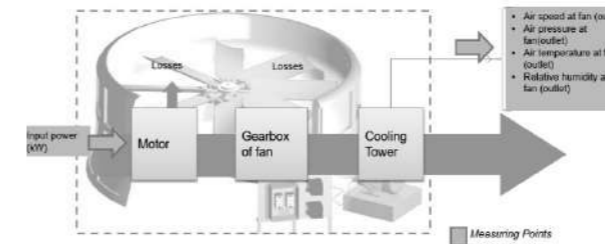


### 2.2. Energy efficiency case study in cooling towers steel industry

Energy efficiency case study has been performed in spur gearbox of the cooling tower fans at customer plant under real operational conditions. Klüber Lubrication measured the performance results of existing conventional market

lubricant and high-performance Klüber Lubrication special synthetic lubricant.

Measurement boundary:



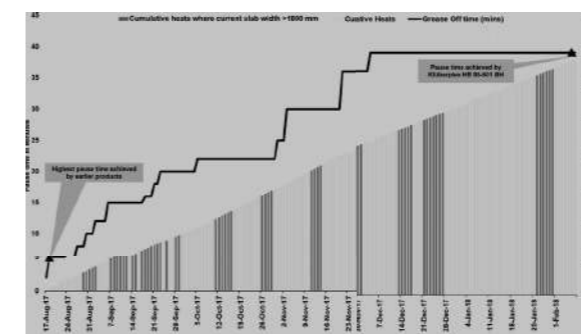
Variable	Measurement type
Energy	continuous
Pressure	continuous
Exhaust air speed	continuous
Air temperature	continuous
Relative humidity	continuous

## 3. Results and Discussion

### 3.1. Lubrication solutions for casters

#### Field trial results

For about 6 months Klüberplex HB 98-601 BH was under trials in a pilot designation. Lubrication cycle was increased to 42 minutes (39 min OFF, 3 min ON) from the earlier 8 minutes (5 min OFF, 3 min ON), without any line clogging or bearing starvation issues. More than 3500 heats have been casted with Klüberplex HB 98-601 BH with a highest slab width of 2100 mm and thickness of 300 mm. The cumulative number of heats with greasing cycles is plotted above (the gray lines plotted above show the cumulative heats where the slab width is higher than 1800 mm).

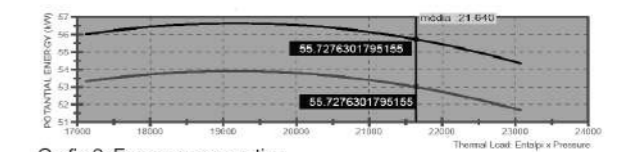


### 3.2. Results of the Energy Efficiency case study:

Klüber Lubrication's special synthetic oil has shown remarkable reduction in energy and lubricant consumption and carbon emissions.

As shown below on graphics and tables synthetic lubricants from Klüber Lubrication has stand out with its efficient and salient results regarding environmental and sustainability goals. The synthetic lubricant has ensured to reach 4,87 % reduction in energy consumption in contrast with market lubricants besides other valuable advantages. In addition to saving 75% in lubricant consumption, the special synthetic oil also significantly reduced the amount of oil disposal by means of using less lubricant quantity.

When the effect of lubricant on carbon emission has been analysed, the oil has proved its difference with reduction 9,93 ton CO<sub>2</sub> in total and 23,6 MWh annual energy saving.



Grafic 3: Energy consumption

Energy	
Average difference:	2.73 KW
Average saving:	4.87 %

Table 2: Energy consumption difference

Lubricant consumption	
Reduction in volume	75%
Reduction of 180 liters in 4 years (per gearbox)	less oil disposal

Table 3: Lubricant consumption

Reduction in CO <sub>2</sub> emission	
Annual energy savings:	23.639 KWh
Annual energy savings:	23,6 MWh
Carbon generation per MWh	0,42 ton CO <sub>2</sub> / MWh
Reduction in carbon emission	9,93 ton CO <sub>2</sub>

Table 4: CO<sub>2</sub> reduction

## 4. Conclusion

### 4.1. Lubrication solutions for casters

Klüberplex HB 98-601 BH has been performing successfully at the CCP caster for more than a year. With this success, the steel plant has now introduced Klüberplex HB 98-601 BH in three slab casters and one 8-strand billet caster in the plant. No line clogging or abnormal bearing

failure has been observed. Moreover, the lubricant consumption has been reduced substantially. Reduced consumption helps in reducing waste, which results in a safer environment.

This newly developed grease not only aids in reducing consumption but also assist in creating a safer workplace for maintenance personnel by reducing the frequency of their visits to the hazardous areas.

The other tangible benefits are higher productivity, enhanced bearing life, reduced mechanical downtime, lesser energy consumption, less grease accumulation at scale pit and reduced spend on lubricants.

#### 4.2. Energy Efficiency in steel industry

With special synthetic lubricant which is a combination of selected base oils and additives from Klüber Lubrication, the energy consumption of the cooling tower has been significantly reduced which also resulted significant reduction of CO<sub>2</sub> emissions.

## Tundish Wearlining, Wet Gunning Mixes Versus Dry Mixes. New Lining Technologie for the Clean Steel Production

R. Bross<sup>1</sup>, R. Fechner<sup>1</sup>, E. Sarı<sup>1</sup>, M. Goedecke<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Weerulin GmbH, <sup>2</sup>Sievering GmbH & CoKG • Germany

### ABSTRACT

In general two different lining concepts exist for the wear lining of modern continuous casting tundishes: wet gunning and dry – mixes. Both concepts have specific advantages and disadvantages.

Currently, many industrial trials focus on using cold setting dry – mixes due to higher energy consumptions for conventional systems. The reduction in energy can be very high for cold setting dry – mixes as gas or electricity consumption for heating is not required like with hot setting systems. With respect to chemical diversity, spontaneous setting can be achieved employing different binder systems, ranging from purely inorganic to organic, including metalorganic hybrids. A variety of raw materials can be used together with these binders. New developments with reference to the chemical and physical aspects of such systems will be presented in this paper. New binder systems for clean steel production have been developed even for wet gunning mixes. Metallurgical implications (e.g. oxygen potential, carburization, hydrogen pick up) will also be discussed for both systems.

### WET GUNNING MIXES

The use of wet gunning mixes for the tundish wear lining has a long history in industry. A major breakthrough was the development of spray linings in the 1980's. This type of material has similar characteristics to the earlier developed low density tundish boards, but had the advantage of fast installation using less manpower. However, the quality of a lining depends on the individual skill of the employees and the drying equipment employed in order to heat out approximately 25% of the water.

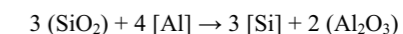
Favourable insulating properties, low material consumption as well as the non – necessity of predryout, are usually attributed to this type of refractory material. The fact that no drying is required usually depends on the thickness of the sprayed wear lining. Wet gunning mixes usually are heated up to above 1000°C before starting casting. Nevertheless, some plants are using a cold tundish practice after a single dry out procedure to increase availability on the caster.

Disadvantages have been ascribed to the presence of water and SiO<sub>2</sub>, originating from the binders. Water can readily affect the hydrogen pick up during casting.



Fig. 1. Wet gunning of a tundish wear lining.

The presence of SiO<sub>2</sub> can lead to an oxygen pick up of the steel or a decrease in the oxide cleanliness of the steel according to equation



However, it has been shown that an assessment of the lining material by the silica content given in the datasheet is not correct. Wet gunning mixes are currently available which contain solely SiO<sub>2</sub>-free binders and which are inherently different from conventional wet gunning mixes with regard to the reduction potential. Successful implementations into high quality clean steel production (e.g. bearing steels) have shown significant metallurgical advantages.

The raw material base can differ according to the individual quality demands of the respective steel plant.

**DRY – VIBRATING MIXES**

Dry – vibrating mixes were developed at the same time as wet gunning mixes. Less hydrogen pick up, SiO<sub>2</sub> free binders, lower lining costs and higher availability have all been ascribed to dry – mixes. The disadvantages consist of possible carbon pick up, lower insulation properties, due to higher densities resulting in higher consumption, and the necessity of baking prior to casting.

In the last decade new resins have been developed which can be tailored for sophisticated metallurgical applications, e.g. resins which are free of odour. The thermal degradation of any phenolic resin follows basically the same relevant steps: cross-linking, auto-oxidation of any remaining methylene bridges and partial cyclization and aromatization of the macromolecular network<sup>2,3</sup>. As shown in Fig. 2. Dry-mixes can be handled very easily.



Fig. 2. Installation of a dry – mix.

Alternative binder systems have been developed, which are more environmentally friendly, however still maintaining important technical properties (Fig. 3.).

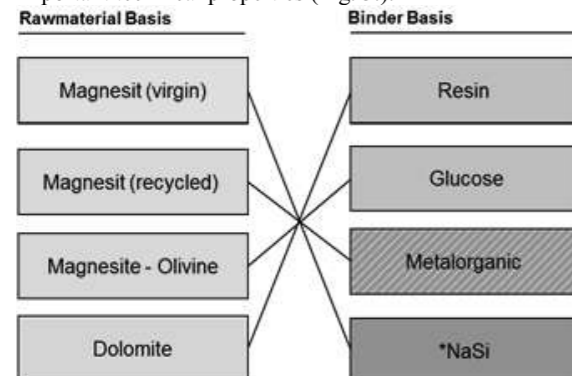


Fig. 3. Raw material and binder combinations for dry –mixes (all industrially tested) including alternative liquid systems.

A recent development in technology has led to the widespread use of sodium silicate based systems. An

aqueous solution of a sodium silicate is combined here with a minor amount of an ester hardener in order for various raw materials to bind. Besides, binders based on glucose<sup>4</sup>, borate, sulfate and even metalorganic hybrids were developed and successfully used in industrial trials. Glucose can be combined with an acid additive and hardens upon heating, by forming aromatic compounds.

**COMPARISON BETWEEN WET GUNNING MIXES AND DRY – MIXES**

In general, both techniques are able to withstand standard quality production and can be used for cold as well as hot start up casting practices (surface temperature > 1000°C). In Fig. 4 some characteristic features of dry – and wet gunning mixes are shown: on average, dry – mixes exhibit a lower hydrogen peak, even when dry organic or metalorganic binders are employed. Due to the presence of water, wet gunning mixes may exhibit a higher hydrogen pick up, which is, after good heating practice, in the acceptable range of 1 – 2 ppm in the tundish in the first ladle of the sequence. Depending on the fibre system, the insulative characteristics of a wet gunning mix can be slightly advantageous ( $\lambda = 0,5 - 0,9$  W/mK). In direct comparison, dry – mixes exhibit similar thermal properties ( $\lambda = 0,7 - 0,9$  W/mK). Although at a first glance the carbon pick up may be higher when a phenolic resin is used, today, low and free carbon (resin) binders are available. Normally, wet gunning mixes contain sodium silicate binders and hence the reduction potential is higher when compared to silica free binders of dry – mixes.

	Wet-gunning	Dry-vib
A. Hydrogen Pick-up	1 - 2 ppm depending on dry-out (for 1st ladle)	<1ppm resulting from C-H molecules in Binder
B. Rawmaterial / Chemistry	< 90% MgO (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -2,5-4 % MgO Higher sinterization - shorter oeq)	90% MgO (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -1,5% MgO)
C. Insulative Characteristics	$\lambda$ 0,5-0,9 W/mK Depending on Ironcontent	$\lambda$ 0,7-0,9 W/mK no negative impact (Plant A – 50C°)
D. Carbon Pick-up	1-2 ppm from organic fibre	<1 ppm low carbon resin binder due to improved binder composition
E. Non-metallic inclusions	due to Na-Si Binder (reduction potential)	Silica free binder (low reduction potential)

Fig.4. Metallurgical parameters of wet gunning mixes and dry –mixes (comparison is made for pure magnesia, DBM, as raw material base).

Concerning energy balances, certain aspects have to be discussed and considerable differences exist between dry – and wet gunning mixes. When a tundish capacity of approx. 70 tons is taken into account, the standard baking of a dry – mix requires approx. 3,9 GJ per tundish and the baking duration is normally around 90 minutes at a temperature of 400°C. The subsequent cooling takes approx. 60 minutes (Fig. 5). However, the pre dry-out of a wet sprayed tundish

with approx. 60 mm spray thickness consumes approx. 8 GJ per tundish. The subsequent cooling here takes approx. 60 minutes. When the tundishes are heated up in the case of a dry – mix it has to be remembered that merely special areas (tundish nozzles) require a heating process (Fig. 6).

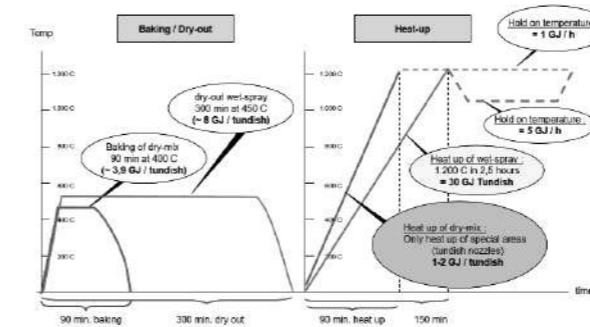


Fig. 5. Energy balance, differences between dry – and wet gunning mixes.

The energy consumption is in the range of 1 – 2 GJ per tundish. The holding at a maximum temperature of 1200°C consumes 1 GJ per hour. The rest of the tundish starts off relatively cold.

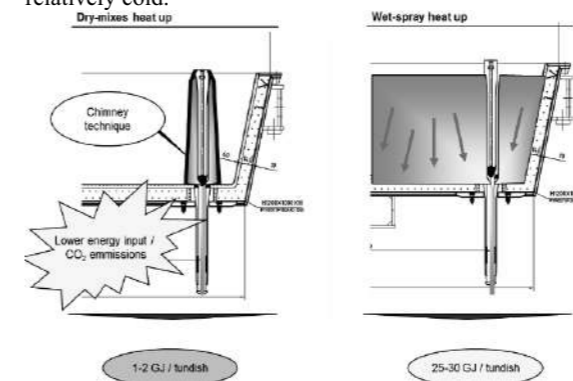


Fig. 6. For dry – mixes merely special areas (tundish nozzles) require a heating process.

Wet gunning mixes lead to different results: 30 GJ per tundish are required to heat up to 1200°C within 2,5 hours. This value results from the fact that approx. 750 litres of water have to be removed from a 75 to. Tundish which is sprayed with approx. 2,5 to of material. The holding at 1200°C also leads to an additional consumption of 5 GJ per hour.

As can be seen from Fig. 6 the energy balance is clearly favourable for the dry mix in case of cold tundish practice and only heating of special zones, additionally increasing the availability of the tundish. Moreover, the cold start up practice is favourable with respect to reduced CO<sub>2</sub> emissions. Though this aspect seems to be of secondary

importance, there is increasing pressure of reducing CO<sub>2</sub> emissions for the steel industry.

Regarding the compatibility with cast or brick tundish permanent linings it has to be stated that dry – as well as wet gunning mixes do not exhibit differences in shelf life when operated under comparable conditions in a steel plant. The previously recognised problem of alkali bursting in the case of wet gunning mixes could be solved by the use of an appropriate binder system. If a cold-setting dry-mix is employed then the installation as well as the maintenance costs for gas burners can be eliminated.

Plant	Steel Qualities	Tundish Cap. [tons]	max. Casting Time [h]	Start of Casting (>1000°C)	Wet spray system	Wet (DV) or pre-dry out	Lining Thickn. [mm]	MgO - Content [%]	Binder System
A	flat, ULC, IF	50 - 70	12	C	DV	Yes	30	88	low C - resin
A2	flat, ULC, IF	50	12	C	DV	Yes	30	88	metalorganic
B	flat, ULC, IF	50	8	H	DV	Yes	50	60	low C-resin
C	special steels, long	35	20	H	DV	Yes	50	80	low C-resin
D	special steels, long	20	4	H	DV	No	60	87	cold So.St.
E	construction	15	> 80	H	DV	No	120	86	cold So.St.
F	special steels, long	10	20	H	DV	No	80	75	metalorganic
G	flat, ULC, IF	60	18	H	DV	No	20	75	So.St.
H	thin slabs	75	12	H	WS	No	60	75	superinsulating
I	thin slabs	65	12	H	WS	Yes	40	75	superinsulating
J	construction, long	15	> 100	H	WS	Yes	140	75	superinsulating
K	flat, ULC, IF	45	10	H	WS	No	40	62	So.St.
L	INOX	15	8	H	WS	No	30	88	So.St.
M	special steels, long	10	4	H	WS	Yes	30	91	SiO2 - free
N	special steels, long	20	6	H	WS	No	30	89	SiO2 - free

Fig. 7. Comparison of lining concepts for various steel plants. Note that for Plant A2 the use of metalorganic binder was a trial (here, normally low carbon resin is used).

In Fig. 7 different lining concepts from various steel plants are presented. Linings for tundish capacities ranging from 10 to 70 tons were successfully realized. The casting times varied between 4 hours up to more than 100 hours. However, in the latter case a superinsulating wet gunning mix with a lining thickness of 140 mm is employed. The steel plants favour hot start of casting with the exception of steel plants A and A2, where cold start of casting is realized with dry – vibrating mixes as tundish wear lining.

In the full energy balance the overheating of the melt for the cold tundish practice has to be considered. The exact amount of overheating depends on the ladle size, the tundish capacity, the steel quality etc. overheating of 5 – 10° C haven been seen in the practice.

**SUMMARY**

The aim of this paper is to demonstrate the current status of dry – mixes as well as wet gunning mixes and their characteristic features regarding clean steel production, ecological aspects and energy consumption during the lining procedure. It turns out that neither wet gunning mixes are generally superior to dry – mixes. Conditions in a steel plant and the production of certain steel grades are parameters of utmost importance which can favour the use of one of both systems. For both systems a variety of binders exist, e.g. silica free and superinsulating systems for wet gunning

mixes or low C – resin as well as cold setting binders for dry – mixes are industrially available. Hence, the system of choice can be tailored for the application in the steel plant.

#### REFERENCES

- [1] Bannenberg N, Lachmund H. Reactions between tundish – lining and steel and their influence on steel cleanliness. In: Metec Congress 94, VDEh Proceedings, Volume 1, 1994. p. 25-31.
- [2] Trick KA, Saliba TE. Mechanisms of the pyrolysis of phenolic resin in a carbon/phenolic composite. Carbon. 1995; Vol. 33(11): 1509- 1515.
- [3] Trick KA, Saliba TE, Sandhu SS. A kinetic model of the pyrolysis of phenolic resin in a carbon/phenolic composite. Carbon. 1997; Vol. 35(3): 393-401.
- [4] Bradley MJ.. Overview of tundish dry vibe technology. MPT International 2, 2008. p. 70-72.
- [5] Tassot P, Marjerrison, JW, Soudier J, Turrel Ch. Another way for approaching the tundish working lining. In: Proceedings UNITECR 2007, p. 362– 365.
- [6] Valentin P, Bruch C, Harste K, Lachmund H, Hecht M, Pötschke J. Carbon pickup in continuous casting processes, Steel Research International, 2003; Vol. 74(3): 139-146.

## Investigation of the Effect of Strain Aging on Hot Rolled Low Alloyed High Strength Steels

*Sıcak Haddelenmiş Düşük Alaşımli Yüksek Mukavemetli Çeliklerde Deformasyon Yaşlandırmasının Etkisinin Araştırılması*

Burak Önder<sup>1</sup>, Mehmet Akkaş<sup>1</sup>, Aytaç Başsüllü<sup>1</sup>, Osman Çulha<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Kocaeli Rolling Mill R&D Center, <sup>2</sup>Manisa Celal Bayar University • Turkey

#### Abstract

In this study, strain aging applied to hot rolled steel profiles used for ship construction so the effect on the mechanical properties of materials was investigated. Strain aging applied to the steel alloys with different chemical composition that used in shipbuilding, then the effect of the alloying elements on the mechanical test results after strain aging was determined by examining the changes in the mechanical properties of the materials. Besides, strain aging was applied to hot-rolled steels within the requirements determined by international standards and the effects of the test temperature on the material mechanical properties were investigated before and after the application. The results of the tests were examined and the test specimens which were below the average values with high deviation rate were determined by the metallurgical studies with optical and electron microscopes, and the parameters that negatively affect the strain aging tests were determined in the raw material billet production, hot rolling and shaping and sample preparation stages. As a result of the tests, the required alloy ratios, raw material billet microstructure properties, test sample preparation accuracy were determined to make the profiles produced with hot rolling process according to the mechanical tests determined by international standards.

#### 1. Introduction

Although there are many studies on the production methods and chemical compositions that are determinative for the mechanical properties of steel, there are limited studies on the mechanical properties of the steels in case of aging of steels.

Aging studies were initiated by Bauschinger for testing the strength values of the steel in plastic deformation zone and then retested after waiting for a while [1].

Aging is usually associated with the yield-point phenomenon, in which the tensile strength of a metal is increased but the ductility is decreased with embrittlement [2-4]. Aging mechanism firstly explained as carbon and nitrogen atoms diffuse through the network of the pre-

strained steel toward the position of the free dislocations and pinning them as before yielding occurred (Figure 1.). For an atom situated in the centre of an edge dislocation the binding energy is greater than if the atom was bound to a carbide or nitride of iron[5,6]. At a certain distance of the dislocation the binding energy is small and it is overridden by the thermal agitation of atoms[7].

The material appeared to have "aged". Structural steels that were cold formed during fabrication by bending or rolling are reported to show increased strength and decreased ductility and toughness[8].

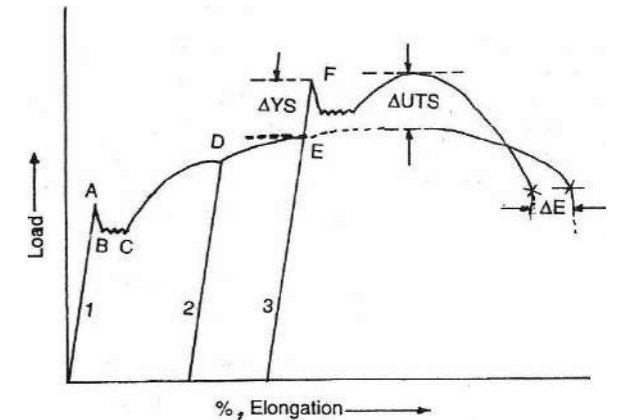


Figure 1. Stress- Curves for low carbon steels showing strain aging

#### 2. Experimental Procedure

In this study, strain aging was applied to the samples taken from the profiles produced by hot rolling of steel raw materials with different composition used in shipbuilding. The samples were taken from the aged samples for the impact test and the results were examined by applying the impact test at different temperatures.

The chemical composition (Table 1.) of the selected steel grades is given in order to determine the effect of the microalloy elements on strain aging.

Table 1. Chemical Compositions of Raw Material Steel

Heat Code	A	B	C
C (%)	0,16	0,16	0,18
Mn (%)	1,07	1,12	1,11
P (%)	0,014	0,014	0,015
S (%)	0,002	0,002	0,001
Si (%)	0,22	0,21	0,23
Al (%)	0,045	0,023	0,026
Cu (%)	0,07	0,04	0,05
Cr (%)	0,03	0,03	0,03
Ni (%)	0,05	0,04	0,04
Mo (%)	0,005	0,003	0,004
V (%)	0,039	0,040	0,040
Nb (%)	0,002	0,002	0,001
Ti (%)	0,003	0,002	0,002
N (%)	0,0066	0,0062	0,0080

Tensile test samples were taken from the samples taken from hot rolling products as shown in Figure 2.



Figure 2. Tensile Test Specimen

The prepared samples were heated at 250°C for one hour as shown in Figure 3. and allowed to cool to room temperature. Afterwards, strain aging process was carried out by using extensometer by 5% elongation.



Figure 3. Heating Process

### 2.1. Tensile Test

From the prepared samples, tensile test was applied to observe the change in the strength values of the one sample which was kept at 250 ° C for 1 hour and one sample without heating process as shown in Figure 4.



Figure 4. Tensile Testing

As a result of the tests performed, it was observed that the yield strength of the specimen taken on the same profile was 401 MPa. However, the yield strength of the sample with strain aging was increased to 421 MPa. This change with strain aging observed in the material yield strength and was not observed in the tensile strength value and it was determined that the tensile strength of the samples were the same as shown in Figure 5.

Results:

St	St	Rp0.2	Rm	A
1	2	1	2	1
301,2	448,3	401	537	33
302,1	452,9	421	539	33

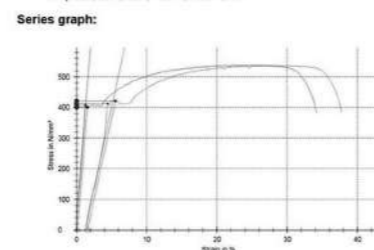


Figure 5. Stress- curves of samples

Stress- graphs generated during the application of 5% deformation to the samples kept at 250 C for 1 hour showed that the yield strength of the samples with strain aging was around 420 MPa and the average increase of 20 MPa compared to the samples without strain aging was found as shown in Figure 6.

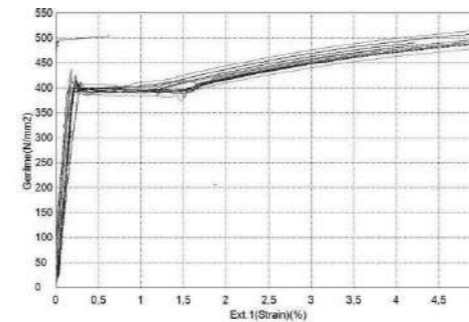


Figure 6. Stress- Graphics of Aged Samples

### 2.2. Impact Test

Samples were taken from the aged and as rolled samples for the impact test and the samples were tested at -40C and -60C as shown in Figure 7. As a result of the tests performed, the values in the Table 2. were obtained



Figure 7. Impact Test Specimen at Cooler

Table 2. Impact Test Results

Test Temp.	-40		-60	
	As Rolled	Aged	As Rolled	Aged
A1	169	45	89	19,3
A2	180	42	89	22,2
A3	174	34,5	125	6,8
A4	180	45	120	22,6
B1	196	45	128	16,1
B2	185	54	99	19,6
B3	165	39	101	8,5
B4	177	33	88	3,4
C1	185	42	88	11,2
C2	170	40,5	98	19,1
C3	152	12	71	1,4
C4	170	41	131	17,2

### 3. Results and Discussion

When the impact test results were examined, it was observed that the samples obtained from the profiles obtained with the same raw material billet could give different results.

Samples with a high deviation rate were analyzed by metallographic examination and the parameters affecting the impact test results after strain aging were examined.

Inclusion studies of samples named A3, B3, B4 and C3 were performed. When inclusion dimensions and densities were examined, it was observed that C3 and B4 samples, which have a higher inclusion density, were found to be lower impact test results in both the -40 degrees and -60 degrees. Samples microscope views shown in Figure 8-11.

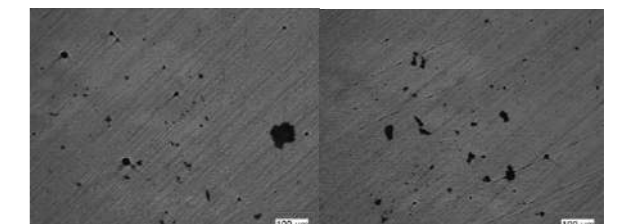


Figure 8. A3 Microscope View

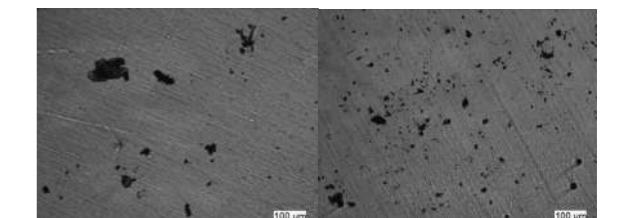


Figure 9. B3 Microscope View

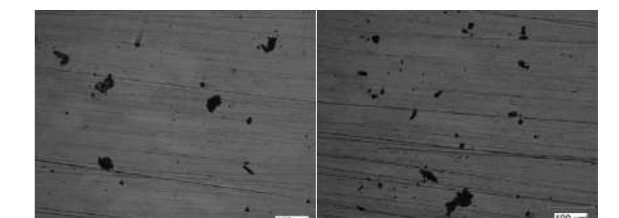


Figure 10. B4 Microscope View

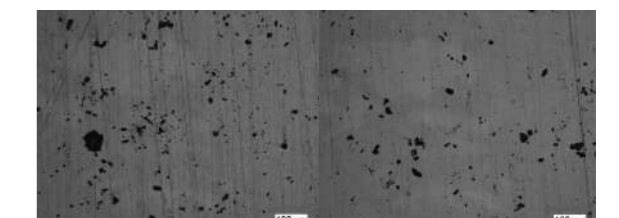


Figure 11. C3 Microscope View



The fracture surfaces of the samples with low impact test value were evaluated by SEM device and the factors that could cause low impact energy measurement on the fracture surface were investigated.

At the end of the observations carried out in this context, the fractures on the fracture surface of the number 1 impact specimen were detected and it was determined that the large-grained inclusions determined in the material inclusion investigations affected the test results (Figure 12).



Figure 12. SEM View of A3

In the SEM analysis of sample 2, inclusions were detected at the bottom of the notch. It has been determined that there is a shift in the notch axis due to faulty operation during the sample preparation and this situation affects the test result values (Figure 13).

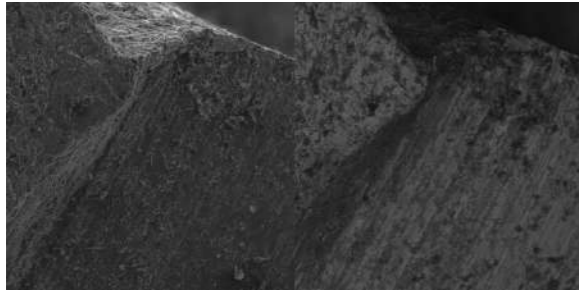


Figure 13. SEM View of B3

In the SEM analysis of the sample number 3, inclusions were observed at the bottom of the notch. these inclusions caused the rupture at the notch bottom to influence the test results (Figure 14).

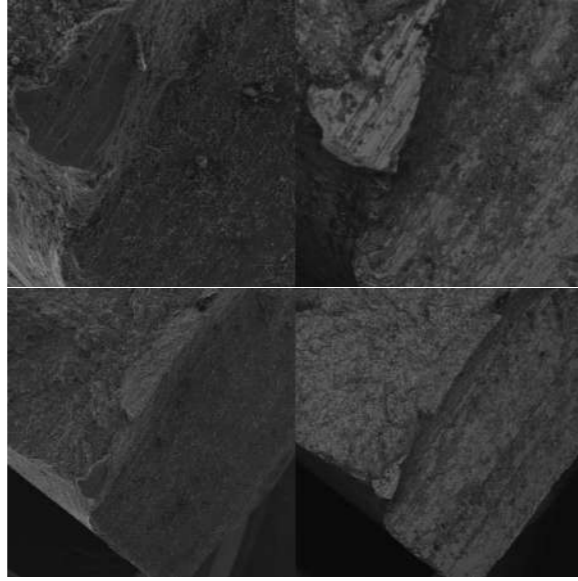


Figure 14. SEM View of B4

In the SEM analysis of the sample number 4, there was a deep slit caused by the inclusions. It was determined that this situation affected the test results (Figure 15).

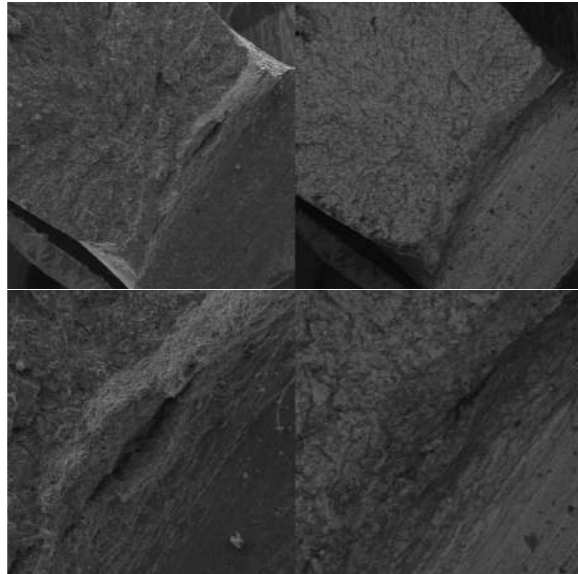


Figure 15. SEM View of C3

#### 4. Conclusion

In this study, the effect of strain aging on the mechanical properties of low alloy high strength steels was investigated.

As a result of the tests performed, it was determined that the strain aging applied by keeping the samples 250C for 1 hour causes an average increase of 5% in the yield strength of the materials. In addition, strain aging had no effect on the tensile strength of the material.

As a result of impact tests, it was observed that strain aging caused a decrease in the toughness values of the material. It was observed that the decrease in the toughness values was not the same in the impact tests performed at different temperatures, and the negative effect of the strain aging on the toughness increased exponentially with the decrease in the test temperature of the material with the effect of ductile to brittle transition.

As a result of the metallographic investigations, it was observed that inclusions in the material microstructure increased the negative effect of low temperature impact tests.

#### References

- [1] Bauschinger, J.. "Variations in the elastic limit of iron and steel." 1887 J. Iron and Steel Inst., 1, 442-444.
- [2] Cottrell, A.H., and Bilby, B.A. "Dislocation theory of yielding and ageing of iron." Proc., Physical Soc. 1949, Section A, 62(1-349 A), 49-61
- [3] A.H. Cottrell: Report on Strength of Solids, p.30. The Physical Society, London, 1948. Loc. Cit. ref. 4.
- [4] D.V. Vilson: Acta Metallurgica, 1959, 5, 293.
- [5] A.H. Cottrell: J. Iron and Steel Institute, 1952,172,301
- [6] A.H. Cottrell: Dislocations and Plastic Flow in Crystals, p.134, Oxford Un. Press, 1953, Loc. Cit. ref. 7
- [7] D. V. Vilson, B. Russell, J.D. Eshelby: Acta Metallurgica, 1959, 7, 628
- [8] Pussegoda, N. (1978). " age embrittlement in reinforcing steels." PhD thesis, Dept. of Mech. Engrg., University of Canterbury, Christchurch, New Zealand.



## The Evolution of Blast Furnace Gas Cleaning Technologies

Robert Mawer, Robert Horwood

Primetals Technologies • United Kingdom

### INTRODUCTION

This paper charts the history of gas cleaning systems for blast furnaces leading to the latest annular gap scrubbers and then moving onto the newer more novel developed solutions for gas cleaning. The primary focus will be around the development of the "Davy Cone" which was developed in the 1980s and its staged progression to today's modern day solution. The paper will then discuss the problems experienced and how issues caused by acid gases were resolved. Newer technologies to the market place will then be explored focusing primarily on the newly installed Tri-Ax cyclone and MERIM dry cleaning solution along with some of the advantages that these technologies offer.

### DISCUSSION

#### BF Gas Cleaning a brief history

Pre 1970 and early 70's the blast furnace gas cleaning system typically consisted of a gravity dustcatcher combined with a secondary gas cleaning / gas cooling device. A historical review of such secondary gas cleaning systems typically showed three stages of cleaning and control: The first stage consisted of either of a spray tower and centrifugal separator, or alternatively venturi washers with a water separator, basically conditioning the gas. The second stage of the process was typically a wet electrostatic precipitator. Finally furnace pressure control was generally achieved by using a septum valves or low pressure venturi.

Attempts to bring all these stages together resulted in new types of "gas scrubbers", utilising pressure reduction to clean the gas. An early concept was based on a low-pressure venturi and as furnace top pressures increased the high pressure venturi was developed.

During the 1970s Davy was developing the single-venturi gas scrubber, which was deemed as a simpler yet very reliable version suitable for small and mid-sized furnaces. The triple-venturi scrubber would be retained for larger furnaces. The design remit was to provide final cleaning of the blast furnace gas prior to its use as a fuel gas in the hot blast stoves, and to provide accurate pressure control of the furnace top pressure. Because of the venturi size along with the potential problems with casting quality and reaction to thermal shock, the fixed and moving cones were fabricated constructions, initially manufactured using carbon steel. From the first unit, commissioned in 1981, three variations of single-cone gas scrubber were developed over the next 2 decades.

The venturi "cone" assembly was seen as a significant improvement that offered an accurate top pressure pressure control with the advantage of low noise levels compared to the conventional pressure control methods at the time i.e. Septum Valves.

These main scrubber arrangements are illustrated below and demonstrate the improvements of the vessel over time:

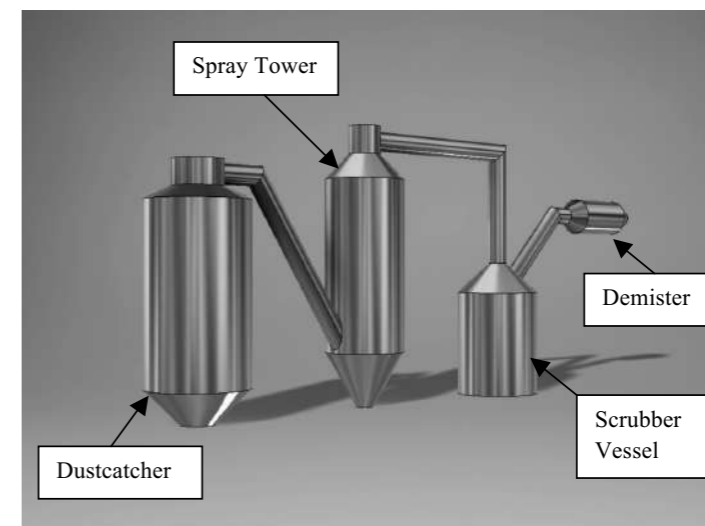


Figure 1:- Dustcatcher followed by a single-cone scrubber with a separate pre-wash tower, and an external demister installed horizontally into the clean gas main.

The technology shown in figure 1 was a common solution for much of the 80's, as at this time many existing spray towers were available for conversion into a wash tower. A new vessel was required for only the venturi scrubber. This helped keep capital expenditure down while achieving the technical benefits offered by an annular gap scrubber.

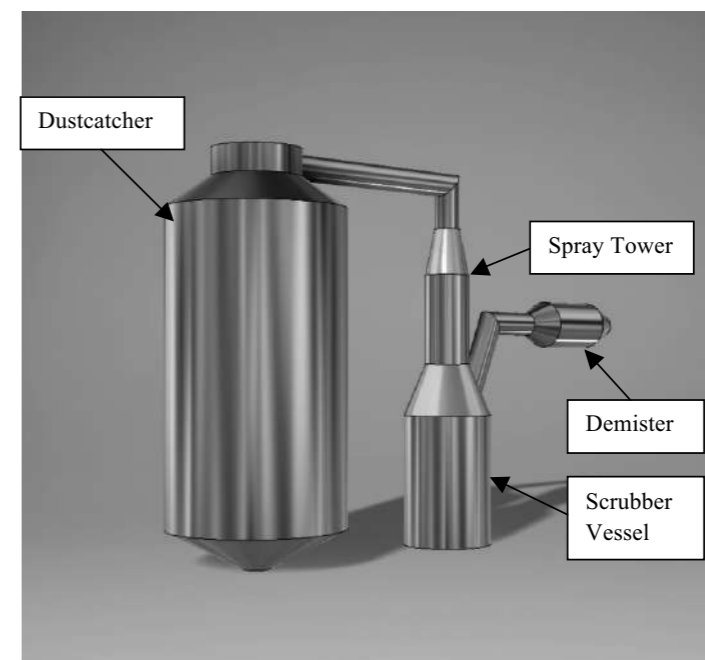


Figure 2:- Dustcatcher followed by a single-cone venturi scrubber (wash tower and venturi in same vessel). The demister continued to be installed in the clean gas main

In 1988 the primary focus of discussions between the designers and operation teams was on design optimisation and how to reduce the footprint of the gas cleaning plant. By this time conditioning tower operating constraints and challenges were well understood and there was a drive from operators for a more economical solution for new furnaces that were operating at higher top pressures.

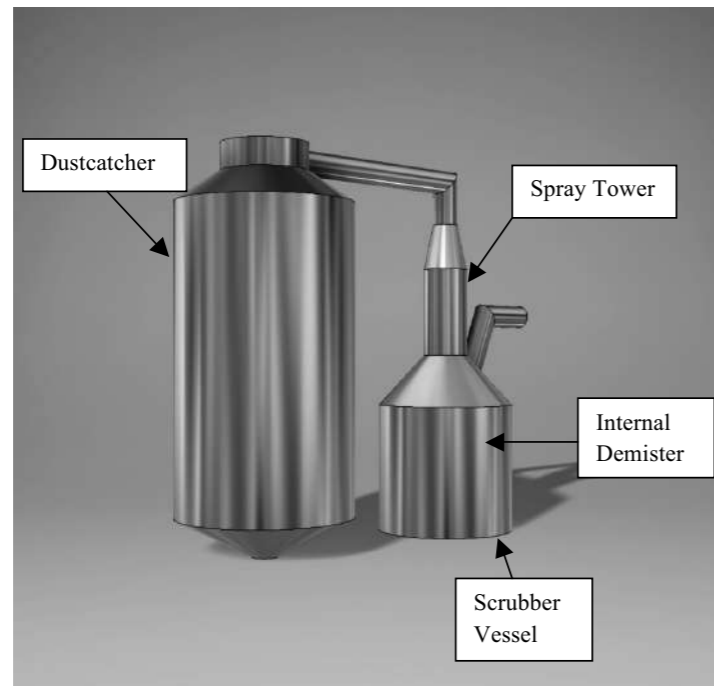


Figure 3:- Dustcatcher followed by a single-cone venturi scrubber (wash tower, venturi and demister in same vessel)

These new arrangements, as shown in figure 3, were first installed in the early 90's. They closely resemble the current design of wet scrubbing unit. The above configuration was driven by the demand from plant operators to further reduce capital cost of gas cleaning plants while also achieving a minimised plant footprint. This basically removed the centrifugal type external demisting unit and moved it into a packed bed demister located inside the scrubber vessel.

As mentioned the physical appearance of the figure 3 gas cleaning plant resembles the modern day gas cleaning plant, however, it should be noted that it was not a straight forward development and a number of operational challenges were resolved over the last 40 years to make the 'Davy Cone' the successful solution that can be seen operating worldwide in numerous plant locations.

#### Operational challenges faced and solutions implemented.

Three main issues associated around operating with an annular gap scrubber are detailed below along with the experiences and solutions:

##### Challenge 1: Cone Wear

In the earlier days of operation the cone was made of carbon steel and would experience high levels of wear which were manageable for the campaign lives at that time – cone wear could be typically 0.6mm per year and a cone thickness of 20mm would last the life of the furnace.

As time progressed and furnace operational trends became more focused on coke reduction methodologies, high levels of Pulverised Coal Injection (PCI) were introduced to the blast furnace. The injected coal increased the sulphur and chlorides content in the furnace top gas. These components created weak acids in the scrubber vessel and at this time cone wear (via corrosion) was observed to increase to about 4mm per year. Solutions such as hard-faced cones, steel wear liners and ceramic

tiles were all trialled but found to be inadequate long term solutions, although some improvement was seen. This led to the question could another more suitable material be used?

The final solution for cone erosion / acid attack that was developed on the 80's and which is still used to this day was to replace the fabricated carbon steel design with a duplex stainless steel fabrication that is used for both the male and female cones. Duplex stainless steel is known for its very high resistance to both erosion and corrosion and especially for its ability to withstand chloride attack and stress-corrosion cracking. Once this solution was implemented cone wear reduced to under 0.1 mm/year, and the solution has been repeated on a very large number of furnaces.

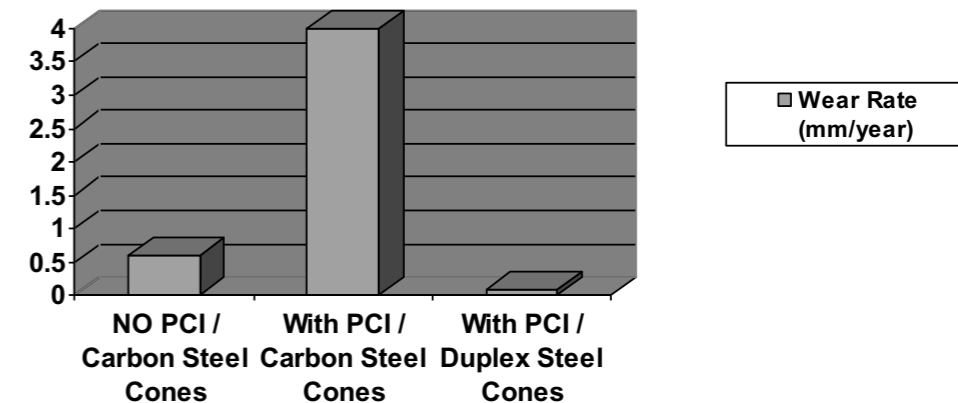


Figure 4:- Wear Rate of Davy cone under different operational scenarios.

A secondary problem that could cause wear in the cone region was erosion from dust particulate. It was observed that this was witnessed in the event that uneven water flow occurred across the face of the cone, or if significant particulate was found in the spray water. As time went on better control systems became available and allowed the flow to the sprays to be controlled to tighter tolerances hence maintaining a full even coverage of the cones. In addition water quality was managed better and this helped produce the "two-campaign" lives seen on the 'Davy Cone' today.

##### Challenge 2: Acid attack of the scrubber vessel

The acid attack issues also affected other areas of the vessel in particular around the lower sections of the spray tower and water sump, and also the internal platforming.

Similar protection methodologies which had been utilised around the cone were adopted and wear plates were installed on the spray arms and stainless steel was used for the sprays and internal platforming. In addition to these methods, how to protect the scrubber shell from acid was explored. The most viable option was found to be acid resistant paint, which was found to work very well in almost all situations except high temperatures i.e. greater than 200°C. This scenario arises primarily when a water system fails combined with a high temperature excursion on the furnace.

Since all operators have slightly different experiences and preferences this aspect of scrubber technology has been in a permanent level of flux. Some operators prefer to install paint and have back up water systems to cool the gas whilst others are prepared not to install acid resistant paints but manage the analysis of the water systems and the coal quality put into the furnace. Other operators have had success with a refractory lining in front of the paint, but with a risk of pieces of refractory breaking and entering/lodging in the cone assembly. For this latter reason designers will tend to offer a painted system with a backup water system.

##### Challenge 3: Cone Vibration

On the early scrubber units, the angles of fixed and moving cones were parallel. This meant that the area for gas flow was constantly diverging. In conjunction with a high pressure drop across the cone this led to vibration of the cone support shaft. This constant vibration then led to fatigue of the shaft and cracking to occur at the join of the shaft to the cone.

Investigations took place around the design of the cone and it revealed that sonic velocities were being generated at the inlet of the cone and these were then transferring as shock waves between the male and female cones. This was transferring through to the shaft and causing failure at the weakest point.

The problem was resolved by using a continuously diverging annular area between the two cones which created a stable region of gas flow and dissipated any shock waves generated in the void below. A robust shaft design was also specially developed using machined castings.

### The Modern Day Scrubber

#### Smaller footprints still demanded

The main development from the figure 2 gas cleaning plant to the figure 3 gas cleaning plant was primarily driven by the requirement to reduce the footprint and reduce CAPEX. As described an internal demister configuration that could fit inside the annular gap scrubber was found. This removed the need to have an external demister at all and kept all units within the compact design. Again this was initially implemented in the single cone design then also brought forward into the triple-cone design.

The plastic random packing displayed below (figure 5) became the "packing of choice", although only after solutions to retain the packing within the scrubber (rather than to be carried out in the gas stream) were developed! Today the main discussion point that is had with operators is whether to use metallic or plastic elements. Plastic elements are generally easier to remove and install due to their light weight, additionally they are more self-cleaning and offer superior acid resistance, however there can be difficulties if they are exposed to high temperatures for long periods of time. For some operators this fear is enough that they will change to a metallic type packing.

In addition to the above advantages another benefit of the internal demister was that it was not susceptible to low gas velocities like the external swirl type demisters, and allowed effective moisture removal at all operating conditions. This advantage was particularly observed as furnace top pressures increased and wider operating windows of blast furnace became possible.

As Primetals Technologies look to develop their gas cleaning solutions further, the latest developments in 3d printing are allowing novel design techniques of packing configurations and this is currently a focus of R&D efforts.

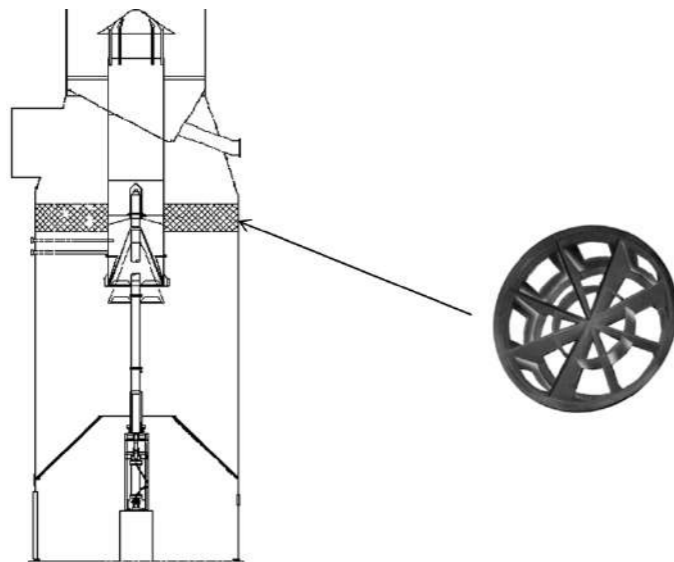


Figure 5 :- Example of the arrangement of an internal demister.

Of course, for those operators who remain comfortable with a centrifugal demister, these solutions are also available.

#### Single Cone or Triple Cone?

Especially for larger blast furnaces, it is popular to utilise triple-cone configurations, to provide redundancy in terms of equipment failure. This does increase the capital cost of the unit but it does offer a level of automation protection as one venturi can be held in a semi-open position whilst the other two venturis control the furnace pressure. In the event there is any issue with one cone then the scrubber can still perform at the designed duty, without blowing the bleeder valves. It must be remembered though that a dirty hydraulic system will stop the entire system whether you have a single venturi or three!

#### Cone design reaching its limits

Throughout this paper it can be seen that over the last 40 years the annular gap scrubbers have been refined almost to the limit of their development. This has meant designers are now turning to newer ways of improving the gas cleaning of the furnace off gas. Some of these methodologies look at optimising existing technologies and developing them for the top gas where as other technologies are considered completely innovative. This section of the paper will now consider two areas that are being focused upon:

##### 1. Tri-Axial Cyclone – Why not a single "conventional" Cyclone?

Despite its simplicity, the relatively low dust-removal efficiency of a dustcatcher results in the production of a large amount of wet slurry which must be treated, prior to recycling the valuable ferrous/carbonaceous materials or separating out the heavy metals.

A cyclone can in no way be deemed as a new technology and is commonly used now in many domestic as well as industrial applications. Traditionally cyclones are single entry vessels, however, when applying this to furnace top gas system there are some inherent challenges that need to be solved.

A single entry tangential cyclone requires a large sweeping inlet downcomer duct and therefore has a relatively large layout footprint, and therefore cost. The single entry arrangement is generally only possible for greenfield sites and is an expensive solution for a brownfield retrofit because of layout restrictions.

The double-entry cyclone requires additional height and also includes wear-parts (vanes) to generate the gas swirl.

The triple axial entry cyclone is unique, as the downcomer is not swept to give a horizontal tangential entry into the cyclone, but is positioned vertically onto the cyclone centre allowing the three inlet ducts free space for isolation. The downcomer load is taken directly onto the cyclone.

With this load-bearing design the outer inlet ducts are able to incorporate goggle valves to allow positive isolation from the blast furnace. In the development of the triple inlet axial cyclone the inlet ductwork was CFD modelled and compared with the single inlet tangential cyclone. Examination of the results showed that the triple inlet gas flows were more symmetrical with less flow impingement on the walls, so reducing refractory wear.

A particular operational benefit of the triple inlet is that no internal vanes are required to generate the cyclonic flow. This eliminates the possibility of dust build up and wear on an item which is critical to the double-entry cyclone.

The triple inlet cyclone can also be fitted with a bypass de-rating mechanism to optimise the zinc loading in the collected dry dust.

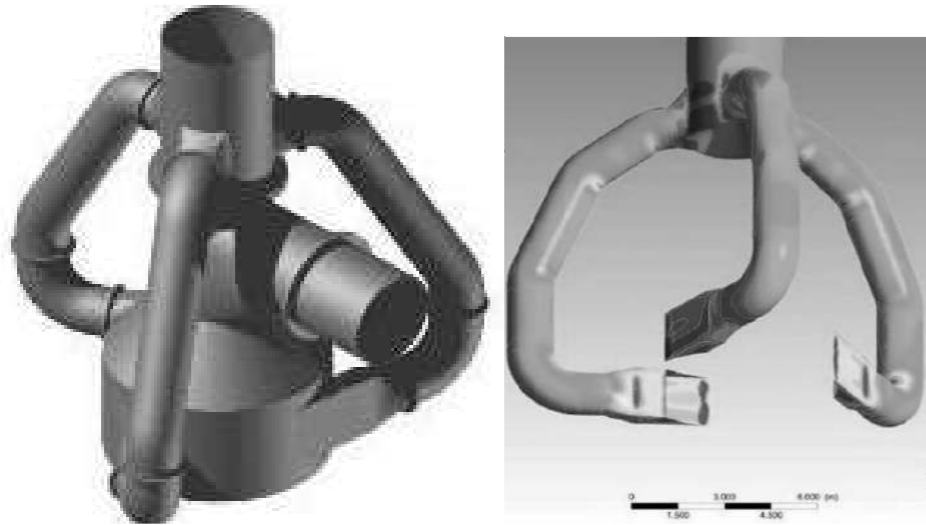


Figure 6:- CFD modelling of the triple inlet based on actual operational data captured. High velocity 'wear points' can be identified and counter measures taken.

## 2. MERIM – Maximised Emission Reduction and Energy recovery in Ironmaking

Stricter environmental regulations, especially in developed countries, are meaning that the iron making process and operators are facing increased challenges to reduce environmental emissions.

This means plant designers are looking for innovative solutions that meet the above regulations while achieving the economical market requirements. One way in which Primetals Technologies is meeting this challenge is with the MERIM.



Figure 7:- 3D Model of the MERIM on the Blast Furnace.

The MERIM gas cleaning process is a dry gas cleaning process that comprises two important steps, the coarse cleaning in a cyclone and the fine cleaning in a bag filter system.

The highly efficient coarse cleaning takes place in the cyclone where typically a minimum of 85% of the dust is removed. This generated dust can be easily recycled.

Fine cleaning is carried out in the high pressure bag filter system. The fine-dust laden gas enters a number of pressure resistant filter vessels. Inside this system the dust is collected on high performing filter media which allow a dust concentration in the clean gas of less than 5 mg/Nm<sup>3</sup>. The removed dust is collected on the bottom of the filter and transported via pneumatic conveying into a storage silo system. This high pressure filter operation is based on the successful development of the use of bag filters in other parts of the iron and steel flowsheet and is a logical step forward.

The clean top gas from the filter vessels is collected and directed into a top gas recovery turbine (TRT), where the high energy content of the gas (both pressure and temperature) is converted into electricity. As a lower pressure drop is required for cleaning purposes (the pressure drop across the bags is less than the pressure drop required by a wet annular gap scrubber), then there is more pressure energy available to the TRT. Furthermore, the gas at the TRT is hotter since there is less temperature loss in the filter compared to the wet scrubber and as a result more electrical energy can be realized.

Beside the benefits, restrictions also need to be considered. Handling of the varying top gas temperatures is a major challenge, because filter bags only work properly in a temperature window of 80°C up to 250°C. Primetals Technologies has developed a top gas conditioning concept which moderates the temperature of top gas being fed to the gas cleaning system to maintain this required window.

This temperature moderation concept comprises a top gas heater and an advanced burden spray system.

### Top gas heater:-

- Prevents condensation at the filter cloth and avoids clogging
- Provides corrosion protection of gas ducts and gas cleaning equipment
- Achieves an optimized temperature distribution in the top gas

The Top gas heater can be operated either with natural gas or with coke oven gas, although natural gas is the preferred heating medium and has the following advantages:

- Volumetric consumption figures for coke oven gas are higher due to the lower calorific value
- Lower investment costs for burner (no compressor needed)
- Lower maintenance effort and easier for operation
- No trace heating and steam for cleaning required

### Advanced burden spray:-

- Fast temperature control due to fine water droplet distribution
- Protects gas ducts and gas cleaning equipment against high temperature impact during slips
- Less water required compared to common burden sprays
- No wetting of the burden due to fast and effective evaporation of the water droplets

## CONCLUSIONS

The paper describes how gas cleaning systems have developed around the world over the last 40 years. Many improvements to the system have resulted in simple robust gas cleaning systems which are particular suitable for the modern furnace operating at high top pressures and with high rates of PCI.

Acid attack is still the main challenge associated with scrubbing the furnace top gas but with the methods adopted above it is considered to be a managed challenge. Technologies in the coating industry continue to develop and Primetals Technologies are closely working with experts in the field to offer further protection of the paint at higher temperatures.

The Tri-Ax cyclone reduces the dust loading on the 'Davy Cone' further and reduces the dust loading on the system and offers significant advantages to the sludge handling stage in the effluent treatment plant. It also allows more product to be recycled at lower cost.

A key element in assessing the correct solution for each plant is to be able to understand the history of blast furnace gas cleaning!

## REFERENCES

1. David Buckley, David Osborne., *Blast Furnace Gas Cleaning – the VAI-Davy Approach*, 2002.
2. S.J. Hollins, D Mason., *Blast Furnace Cyclone Development at Primetals Technologies*, 2015 AIST
3. M Smith., *Blast Furnace Ironmaking - A View on Future Developments*, 2016 GCM

## Comprehensive Condition Monitoring for the Metals Industry

Bernhard Voglmayr<sup>1</sup>, Arno Haschke<sup>2</sup>, Klaus Stohl<sup>1</sup>, Richard Stadlmayr<sup>1</sup>, Andreas Maierhofer<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Primetals Tehnologies Austria GmbH, <sup>2</sup>Primetals Technologies Germany GmbH •  
Austria, Germany

### INTRODUCTION

Excellence in maintenance has recently gained more attention since steel producers are facing challenges like lowering production costs and increasing output. In this context, condition monitoring helps avoid unplanned downtimes and saves associated costs, assisting in raising the overall plant availability or maintaining it at a high level. In this paper, monitoring functions for the upstream and downstream production processes in metallurgical plants are presented. It is illustrated that, in combination with customized services, a focused and holistic view of equipment and process condition can be realized.

### STATE OF THE ART

Different aspects of production require different maintenance strategies. If an equipment breakdown does not affect production (e.g. due to a redundant configuration), then reactive maintenance, meaning a "fix it when it breaks" strategy, might be the preferred approach. Of course, preventive maintenance (maintenance at fixed time intervals or production units) is a popular and rather easy-to-implement method since it guarantees good availability. However, this approach does not consider the actual equipment condition and thus does not utilize the equipment lifetime optimally. As a consequence, predictive maintenance implying condition-based activities is a key strategy for minimizing maintenance costs and for continuously high equipment availability. Different levels of maturity for predictive maintenance exist ranging from visual inspections, to periodic instrument inspections, to real-time condition monitoring (CM), to Big Data based continuous evaluation. [1] Proactive maintenance means maintenance done in response to root cause failure analysis (causality based maintenance) and is considered to be useful in case of continuously high wear and frequently failing equipment. High-end maintenance concepts and technologies have recently gained more attention since steel producers need to meet future challenges including lowering costs and increasing output. In this context, steel producers tend to focus on preventive and predictive activities whereas a combination of all mentioned maintenance strategies might be reasonable.

### SYSTEM CONFIGURATION

As an essential aspect of a digital steel plant, a comprehensive condition monitoring system (CMS) helps to avoid unplanned downtimes and save associated costs. [2] By raising the overall plant availability or maintaining it at an optimally high level, the CMS also has a positive impact on productivity. In contrast to isolated applications, an overall CM solution collects inputs from relevant sources and subsystems throughout the whole plant, which requires dealing with a very huge amount of data from various systems.

Optimally, the CMS applies the principles of edge computing, facilitating efficient interfacing with existing automation and higher-level systems such as Computerized Maintenance Management Systems (CMMS), Enterprise Resource Planning (ERP) systems and systems for optimization throughout the entire production chain (Through-Process Optimization, TPO), while guaranteeing physical closeness to the machinery (refer to Fig.1). Besides data acquisition, the CMS architecture also comprises modules for evaluation and visualization including data storage for different purposes (e.g. storage of evaluation rules, user settings, equipment data etc.).

Various interfaces are available for data acquisition allowing for connection to e.g. other databases and third-party monitoring systems on a read-only basis. An evaluation system allows the engineering of complex analysis and diagnostic tasks supporting easy parameterization of assets. The results are sent to a visualization module. The visualization system is the web-based front-end of the CMS, which gathers distributed data for the user, displays it, and optionally uploads results to

a back-end application, for example as a basis for various data based services or up-to-date and safe cloud solutions. In addition to the established colored alarm messages reflecting the current status of the monitored equipment and processes, the configurable visualization system provides more technical details like long-term trends, latest key performance indicators (KPIs) etc., and reports any detected abnormalities to the production and maintenance teams allowing for fault isolation. Through individualized views and report classifications, the visualization output can be adjusted to the needs of different user groups, for instance e-mail notifications for the status of certain critical equipment.

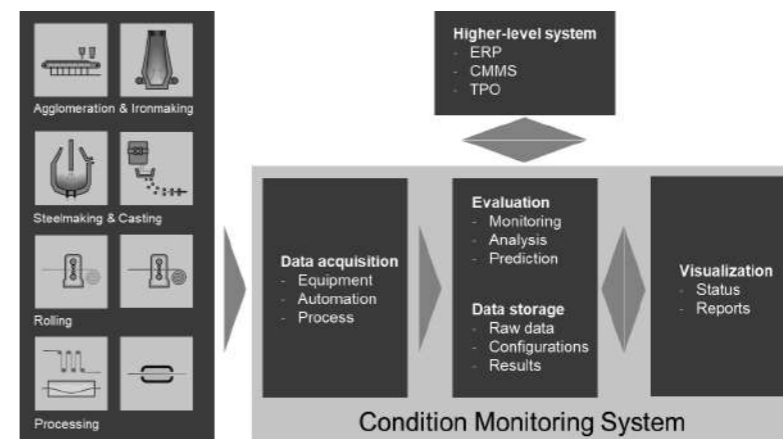


Figure 1. Typical CMS architecture.

### MODULAR MONITORING VIA EVALUATION PACKAGES

The CMS is based on a modular principle which allows the user to choose the configuration that fits the needs best. Numerous monitoring functions are available ranging from common solutions for pumps, valves, drives and weighing equipment, vibration monitoring, leakage detection, oil analysis etc., to plant and application specific analyses, e.g. hearth wear model of blast furnaces, monitoring of slow-rotating bearings as used for steelmaking converters and ladle turrets, roll eccentricity, bridle roll slippage and spindle monitoring in rolling mills. In the following, those monitoring functions are referred to as evaluation packages (EPs), which combine dedicated information like sensor data and design specifications and analysis in the form of algorithms or other mathematical techniques for the purpose of equipment monitoring and fault isolation. As a result of every EP automated reports, actual KPIs, status information, trends with alarm limits, defect evaluations, etc. are generated. Fig.2 shows a representative summary of meaningful solutions for LD/BOF steel melt shops in order to illustrate the modular principle. In the following, some examples of EPs for LD/BOF steel melt shops and also for a rolling mill stand are described.

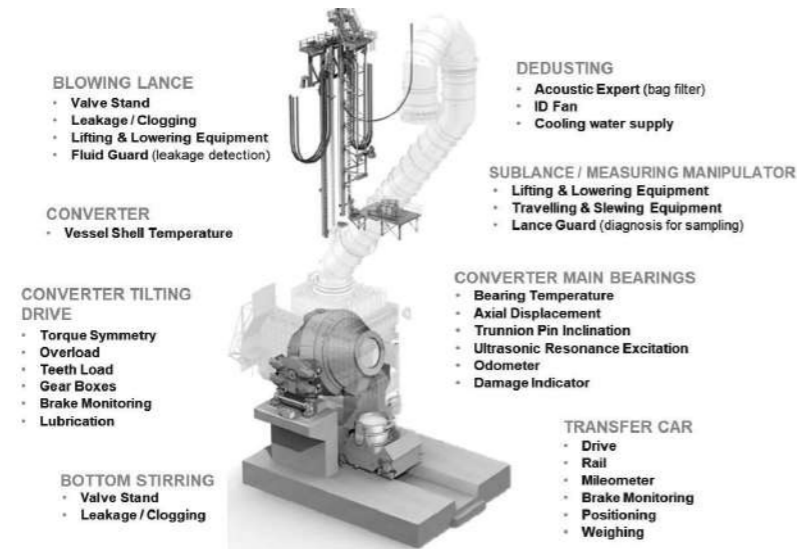


Figure 2. Overview of EPs for LD/BOF steel melt shops.

### Converter main bearings and tilting drive

In general, the mechanical equipment for steel melt shops is designed for very long operation and very high availability (e.g. > 99%). For instance, the nominal equipment lifetime is up to approximately 20 years and even beyond. As a consequence, this equipment does not represent classical service parts. In case of continuous maintenance and operation according to the design specification, there may be no need for replacement during the predicted converter lifetime. Nevertheless, some equipment have a core function which is crucial for daily operation. Any repair or unscheduled exchange of mechanical parts is often very time-consuming. In an optimal case, long lead time spare parts are in stock within the steel melt shop in order to come back to regular operation within some days. However, provided that non-redundant core equipment is not available within the steel melt shop, the entire production is influenced. Besides the robust mechanical design, the installation of an online CMS is an attractive provision to care for equipment availability and risk management at rather low investment costs. The goal of the installation of a CMS is to maintain the high availability of the addressed equipment like converter main bearings, tilting drive including dedicated gearboxes and others for a very long period.

The CM solution for the converter main bearings addresses the main sources of bearing failure which include the following:

- loss of lubrication due to high grease temperature
- steady point loads on the outer bearing raceways and dynamic shifting resulting from vessel tilting
- reaching of mechanical limits or locked position of the expansion bearing
- violation of the admissible inclination of the trunnion pin, which can no longer be compensated by the bearing
- omitted maintenance activities defined by the bearing supplier

For each failure source, dedicated EPs are designed to inform the maintenance team in case of observed abnormalities.

Continuous temperature monitoring at the bearings or of the grease respectively is realized via screw-in temperature probes at loose and fixed bearing housings. Thus, admissible temperature limits are observed. Increasing temperatures can have a negative influence on the bearing. Depending on the location of the temperature probes, a damaged doghouse sealing might cause such a temperature increase. A high bearing temperature or high grease temperature, respectively, can lead to an increased grease consumption or loss of lubrication between the rolling bodies and the bearing raceways, which is one known major source of bearing failure. A long-term view on the maximum bearing temperatures reveals a certain trend of the equipment condition, which allows for corrective measures in time.

The load on the main converter bearings is concentrated on a small area at the outer ring, where the damage accumulates (refer to Fig.3). To enable a prolonged bearing lifetime, regular major revisions including rotations of the outer ring are required to ensure a proper damage distribution over the bearing circumference. With the help of a dedicated EP, a quantification of shiftings of the bearing raceways by the rolling bodies based on the rotation of the vessel is achieved. By calculation of a so-called damage indicator for different ring sections, a software-based load profile recorder for the main bearings is realized. The knowledge of the effective load allows for an optimal utilization of bearing lifetime by rotating the bearing outer ring in time.

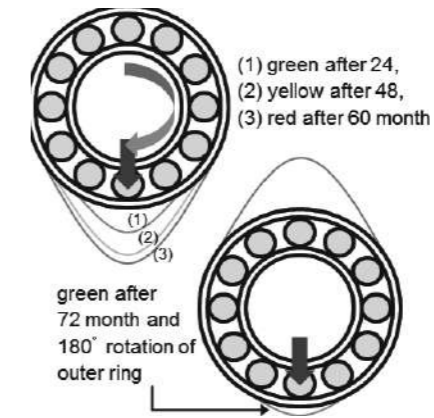


Figure 3. Quantification of effective shiftings of the bearing raceway via so-called damage indicator.

Keeping the axial displacement of the loose bearing within admissible mechanical limits is an essential requirement to avoid improper additional axial forces on the bearing and in the following bearing damage. The admissible interval of axial displacement is typically defined by the manufacturer of the bearing housing. By introducing a dedicated measuring system for detecting axial displacement of the expansion bearing reaching a mechanical limit can be prevented.

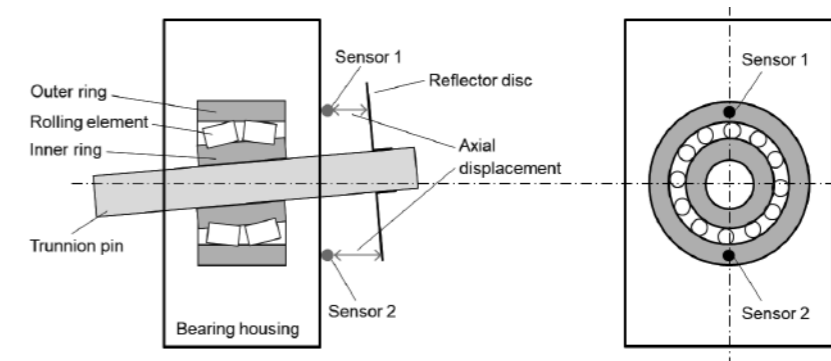


Figure 4. Monitoring of axial displacement at converter main bearing expansion side.

The measurement of the axial displacement is realized via a set of distance sensors and a reflector disc mounted on the converter trunnion pin (refer to Fig.4). Special attention has to be paid to the ambient conditions including interferences due to grease, dust, etc., which might influence the measuring result in an unintentional way. Besides, the additional consideration of process information (e.g. current load condition) allows for a more differentiated view on the condition of the bearing.

Analog to the axial displacement the trunnion pin inclination has to be kept within defined and admissible limits, considering the ability of the bearings to compensate. Based on the redundant distance sensors and the reflector disc for measuring axial displacement, the trunnion pin inclination can be calculated. The admissible inclination is defined by the bearing manufacturer. Due to the rather small admissible inclination interval, special sensors are required, offering adequate resolution and robustness. Again, by integration of process information, a more detailed health status is made available. Capturing the effective converter movement can provide additional information with regard to the fatigue strength of the bearing raceways based on daily operation. By recording the accumulated tilting angle of the converter via an absolute position encoder, an indication for bearing revision and lifetime respectively is available. Based on this, different KPIs, e.g. date of / days since last revision, cumulated distance / covered rotations since last revision etc. are indicated. Hence, some kind of extended odometer functionality is realized.

Serious mechanical overload can result in sudden cracks in the mechanical structure. These events are not primary in the focus of the CMS since the CM solution for the converter main bearings particularly deals with the long-term damage and wear reasons. The main paradigm of the CMS is to implement an automated long-term monitoring system for selected equipment and core components without initiating any shutdown procedure or safety measures.



Besides the converter main bearings, the converter tilting drive including electric drives, gear boxes and the lubrication system also should be in the focus of condition monitoring.

The total torque applied by multiple variable-frequency drives (VFDs) is monitored regarding torque symmetry and overload according to mechanical design specifications (refer to Fig.5). By ensuring a proper load distribution to all drives, the tilting torques transmitted to the trunnion pin via the large wheel of the tilting drive become also smooth and symmetric, which is a fundamental precondition for regular, long-term operation. This measure reduces the probability of uneven fatigue for all involved components of the drive train like gearings, shafts, bearings and brakes.

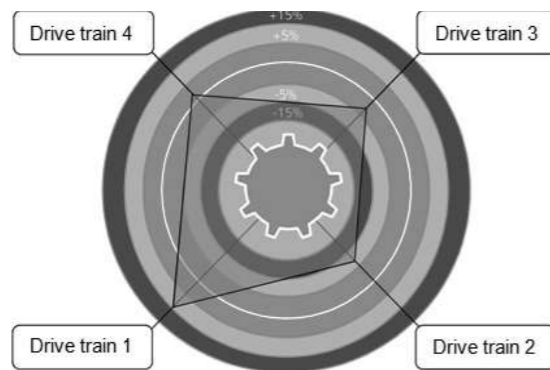


Figure 5. Example of torque symmetry monitoring for a 4 pinion tilting drive.

Additionally, (multi-domain) accelerometers placed on the drives and gear boxes for vibration monitoring can provide a more detailed picture of the condition of the converter tilting drive.

By providing a set of dedicated EPs, a modular and scalable CMS for converter steelmaking is introduced, aiming for a high availability of key equipment, which is described exemplarily for the converter main bearings and the converter tilting drive in this paper. However, it is not limited to that and can be easily extended to other equipment and also to an entire plant.

#### Condition monitoring of slow-rotating parts

Vibration monitoring is probably the best known method used in condition monitoring. For fast-rotating equipment this is definitely the method of choice and very good results are achieved. Often, defects can be caught before the equipment actually fails, and therefore unplanned downtimes can be avoided in many cases.

For slow- and very slow-rotating equipment, the situation is quite different. Vibration monitoring and analysis cannot be applied successfully, because there is just not enough energy in the vibrations to be measured properly. Therefore, for such equipment, mostly preventive maintenance and not predictive maintenance is used.

In iron- and steelmaking, many examples of slow-rotating equipment are known. Some examples are:

- swivel bearing of a ladle turret (typical speed 1 rpm)
- converter main bearings (typical speed 1 rpm)
- blast furnace rotating chute (typical speed less than 10 rpm)

Of course grease samples can be analyzed or bearing clearances can be measured, but better, more detailed information is required to prepare a good maintenance plan. The applied method uses the high resonance frequency (> 30kHz) of the sensors, which is typically filtered out in traditional vibration monitoring. This allows us to measure the tiny waves (impulse energy waves), which are generated due to metal-to-metal contacts (roller body to raceway). Such metal-to-metal contacts are typical for slow-rotating bearings and the measured waves (coming from the impacts) change significantly depending on the condition of the raceway and roller elements (refer to Fig.6). Analyzing the time waveform as well as the corresponding FFT (Fast Fourier Transformation) allows analysts, to identify the condition of the bearing parts, similar to traditional vibration analysis.

A detailed description is given in [3]. In that paper, there are also two real-life examples described, where this technology was applied successfully.

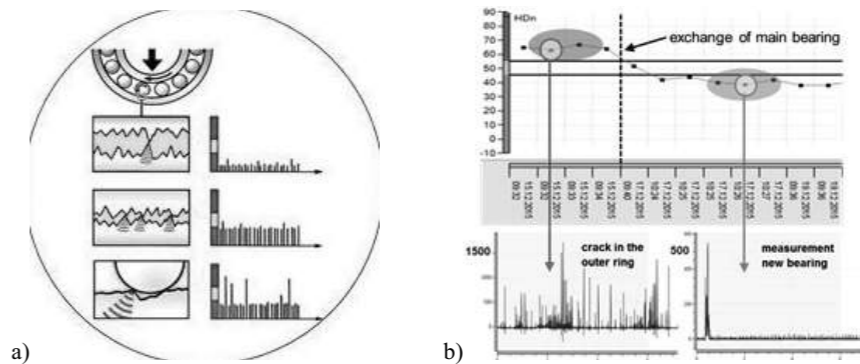


Figure 6. a) Principle of measurement method b) Comparison worn / new bearing of a 330to BOF.

#### Vibration monitoring

Different types of vibration monitoring exist, which can be implemented in the metals industry. Basically, the more extensive and intelligent the analysis is, the earlier the detection of a potential failure is possible, provided that the same sensors and techniques are used.

*Vibration level monitoring* is mainly about using alarm limits for the root mean square (RMS) and peak-to-peak (P2P), derived from the time-wave-form of the vibration. This type of vibration monitoring can detect severe damages and predict failures at a rather late stage.

The *frequency response monitoring* uses the FFT to monitor the fault frequencies. With the help of fault frequencies, the analyst is able to exactly localize defective components. Since fault frequencies depend on the speed of the monitored equipment, state-of-the-art vibration analysis tools and software use normalized fault frequencies.

The *integration of process information* pushes vibration monitoring to the next level since this type of monitoring does not only use vibration analysis expertise but also combines it with metallurgical and automation know-how. This combination provides even more accurate results by considering multiple sources. Thus, proactive maintenance and root-cause analysis are facilitated. For example, concerning the vibration at a mill stand, not only the motor speed but also the motor torque, roll force, steel grade indicator and other information are used to integrate as much information of the process-based condition into the decision making and recommendation for action.

#### Monitoring of complete assets

The combination of different monitoring functions reveals the overall status of a complete asset. The condition statement covers all parts that are monitored. With more monitoring functions and more knowledge about the functionality of the asset and its integration into the overall process, the informational gap will be dramatically reduced.

For example, if a vibration analysis concludes that the observed frequency spectrum is likely because of an eccentricity in the motor load, an additional evaluation package can even reveal the exact localization. Another example is the use of an EP, which monitors oil purity to complement the results of the vibration analysis.

The additional *use of statistical and machine learning methods* helps to distinguish between different transient process and status conditions and to derive condition indicators and recommendations for action. For example, a good condition could (temporarily) change to a potential problem for a certain asset, depending on the current load conditions.

Highly critical equipment and components have to be monitored continuously (online monitoring) whereas medium and non-critical equipment can be monitored occasionally or on demand (offline monitoring). A comprehensive CMS combines both online and offline monitoring by enabling direct communication between the offline measurement device and the online system. For this purpose, the offline data from the measurement device (e.g. portable unit) needs a timestamp for archiving. Thus, it can be integrated with online data coming from permanently installed sensors and instrumentation.

#### Rolling mill stand

Rolling mill stands are very complex systems and the heart of the complete production in the downstream area. Hence, monitoring their condition and at least stabilizing their performance becomes inevitable. The mechanical components of a rolling mill stand, for instance, are exposed to very high force, up to 50 MN, drive power up to 10 MW and temperatures ranging from 40°C to 1200°C representing operating conditions where common maintenance strategies often fail to achieve the expected results. Due to the occurring stress in the components, a cumulating fatigue results. This may cause an unexpected breakage or failure after some time. The challenge is to predict the failure using available information and take corresponding measures before the failure occurs, thus not influencing the production.

In Fig.7 an overview of a rolling mill stand with motor, gearbox and pinion gearbox is shown. Combining the results and KPIs of "classical" EPs like vibration analyses or individual equipment monitoring (e.g. servo valve, hydraulic step

response), with process or product information, a higher precision and better quality of the prediction can be reached. Additional rules that use statistical and AI methods will give more detailed information and recommendations during operation of the plant for production related systems like hydraulic gap control, mill stack or roll process.

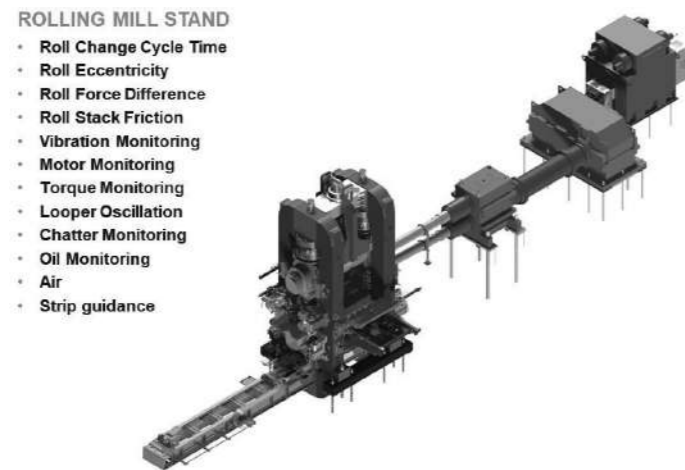


Figure 7. Overview of EPs for a rolling mill stand.

#### Example EP Strip Guidance

Camera-based measurement delivers data of the strip head position. The measurement results are checked for plausibility e.g. with material tracking information or roll bite information. Combined with modeled strip speed and other data, the control of the strip movement allows precise guidance of the strip head into the next rolling mill stand.

The CMS will track the strip head position and the control behavior together with the results of other EPs to detect an abnormal behavior, e.g. concerning positioning, and inform the operator to allow counteractions using an intelligent assistant function of the CMS.

#### PREDICTIVE SERVICES

Monitoring in terms of automated limit supervision may not answer all questions on equipment condition but even immediately leads to new questions like

- What to do now?
- Can I continue to run my equipment?
- Do I have to reduce the load on my equipment to be able to make it to the next planned shutdown?
- How long can I continue to run my equipment safely?

Condition monitoring is more than a data collection system; it is about actionable information, which is the output of the condition monitoring service. CMS suppliers that have also been providing such predictive / prescriptive services for many years, prove the importance of such services. There is much value in such service, allowing operators and maintenance staff to gain knowledge based on the expertise of the CMS supplier obtained in several references.

Advanced analysis techniques and tools e.g. for slow-rotating bearings demand deep expert knowledge, which is accessible via on-demand supplementary support and customized service agreements. A valid service contract guarantees a short response time to the customer, avoiding repeating purchase processes and providing continuous and reliable information on equipment status.

Of course, service is available at different levels. As a starting point, often a detailed report service is offered which provides information on the monitored equipment via generic reports in defined intervals, e.g. quarterly reports (refer to Fig.8).

Besides the report, an expert service includes an individual expert evaluation and recommendations on measures, which are required to overcome revealed challenges.

A site service means an expert service on site, which represents the most detailed investigation and thus is considered to provide the most focused view on equipment and process condition.

Other services may include system updates and upgrades which helps to keep up to the state of the art.

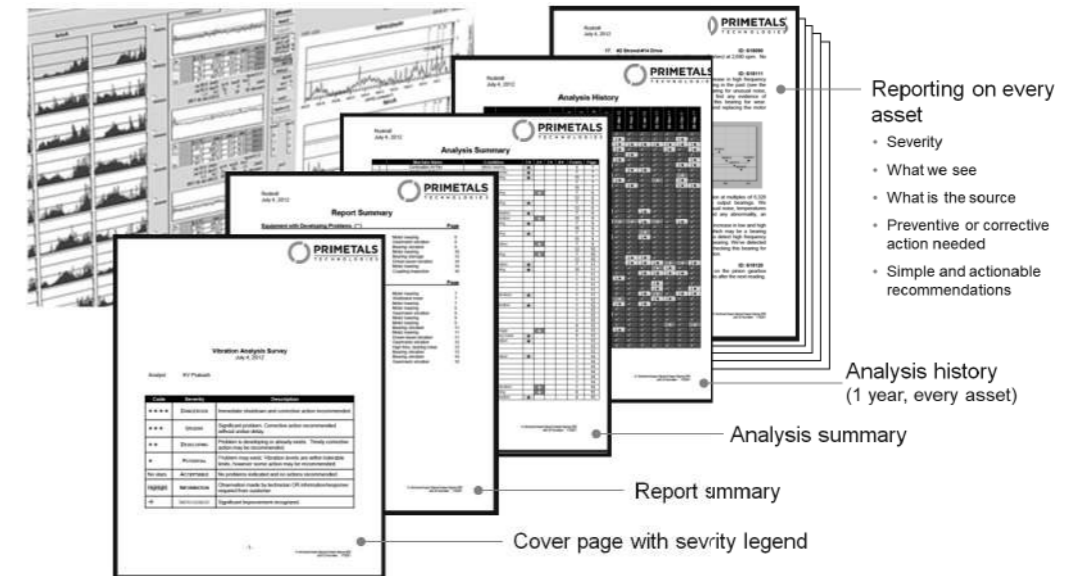


Figure 8. Reporting as part of the predictive services.

#### CONCLUSIONS

Comprehensive condition monitoring ranging from stand-alone packages, to modular and scalable systems, to plant-wide solutions in combination with customized services, are key aspects for the digital transformation of the metals industry.

Information from several plant levels is tracked, carrying not only process and equipment but also metallurgical and automation know-how. By detailed analysis, a solid basis for high-end predictive and proactive plant maintenance is provided.

The CMS is completely separated from the production process. The plant maintenance organization is able to work with the system, and adapt and scale it at any time without affecting the production process. It is an ideal access point for secure remote services – which are only granted to authorized personnel – without connection to or interaction with automation, control and production systems of the plant.

Depending on the steel producers' requirements a set of evaluation packages designed to monitor dedicated equipment and processes helps to avoid unplanned downtimes and save associated costs, assisting in raising the overall plant availability or maintaining it at a high level.

In detail the main benefits can be summarized as follows:

- Detailed and holistic view on equipment and process condition
- Maintaining constant product quality
- Optimized maintenance activities and strategy
- Higher plant availability due to fewer downtimes
- Optimal utilization of equipment lifetime
- Early fault detection and in the following reduced maintenance costs
- Online health status of plant
- Increased energy and plant efficiency

#### REFERENCES

1. Mark Haarman (Mainnovation), Michel Mulders (PwC), Costas Vassiliadis (PwC), *Predictive Maintenance 4.0 – Predict the unpredictable*, source: <https://www.pwc.nl/nl/assets/documents/pwc-predictive-maintenance-4-0.pdf> (accessed on 8th of January 2019), 2017.
2. Ahmed Shalaby, Arno Haschke, Klaus Stohl, Bernhard Voglmayr, Richard Stadlmayr, *BOX Concept – Condition Monitoring System & Predictive Services for the Metals Industry*, submitted to CISA (10th China International Steel Congress), Beijing, China, 2018.
3. Klaus Stohl, *A New Method for Predictive Maintenance for Slow Rotating Equipment*, Proceedings of AISTech 2016, Pittsburgh, PA, USA.

## Raw Material Flexibility in Electric Steel Making

J. Apfel<sup>1</sup>, J. Buttler<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Primetals Technologies Germany GmbH,

<sup>2</sup>Primetals Tehnologies USA LLC • Germany, USA

### INTRODUCTION

Due to high fluctuation in price and availability of scrap and its substitute materials DRI, HBI, pig iron and hot metal, modern electric arc furnaces have to be highly flexible on their charge mix. For steel plants with a wide range of steel grades it is necessary to use significant amounts of virgin material in the charge mix. These materials are very different in chemical composition and physical properties, which has to be taken into account when designing an EAF. For the same reason the melting and refining process needs to be adapted significantly for each of the materials and their combinations.

### RAW MATERIAL INPUT TO EAF

Nowadays there is a wide range of input material to an EAF. Almost all iron bearing material is used for melting and steel making. The most important materials are shown in the following table:

Table 1: Raw material used in Electric Arc Furnaces

Material	Iron met. (%)	Carbon (%)	Gangue (%)	Bulk Density (t/m <sup>3</sup> )	Temperature (°C)
Scrap		< 0.2	< 3	0.4 – 1.0	Ambient temp.
Coal based DRI	80 – 85 %	0.1 – 0.3	3 – 9	1.5 – 1,8	Ambient temp.
Gas based DRI	80 – 85 %	1.8 – 2.4	3 – 9	1.5 – 1,8	Ambient temp.
Hot gas based DRI	80 – 85 %	1.8 – 2.4	3 – 9	1.5 – 1,8	500 – 600
HBI	80 – 85 %	1.2 – 1.8	3 – 9		Ambient temp.
Pig iron	92 – 95 %	3.5 – 4.2	-	3.5 – 4	Ambient temp.
Hot metal	92 – 95 %	3.5 – 4.2	-		1200 - 1300

Source: Primetals data base

#### Coal based DRI

Coal based DRI is produced in rotary kilns with carbon as reduction agent. Quality is defined by grade of metallization, carbon and gangue content. It comes in the shape of pellets with a certain fine percentage. It is widely used in countries with iron ore resources but with lack of natural gas (e.g. India). The material is low in carbon and has sometimes a low metallization ratio. When using this material another carbon source is needed, mainly lump coke or hot metal. Up to 30 % can be charged together with the scrap via scrap bucket. Otherwise DRI needs to be fed continuously into the EAF via the roof.

#### Gas based DRI

Gas based DRI is produced with natural gas as reducing agent either by the MIDREX or the HYL process. Carbon content is significantly higher than in coal-based DRI. This material is mainly used in countries with natural gas resources like the Middle-East.

#### Hot gas-based DRI

This material is produced in the same way as cold gas-based DRI but it is transported to the EAF directly via conveyors. There is an intermediate bunker for storage prior to charging into the EAF. Installation can be found mainly in the MENA region.

#### HBI (Hot Briquetted Iron)

This material is produced by pressing hot DRI into small briquettes which are then inert for reaction with air and can therefore be transported over long distances without any risk of self-ignition or excessive oxidation. The material is low in impurities for steel and has a high density, which decreases the volume of the charge mix. Up to 30 % HBI in the charge mix can be charged via scrap bucket into the EAF. Higher ratios need to be fed continuously into the EAF via the roof.

#### Pig iron

Product of blast furnace, cooled and solidified in small ingots. Pig iron carries a high amount of carbon (3.5 – 4.5 %) which needs to be blown down during the EAF process. Very dense material, which takes time to melt down in EAF. For these reasons ideally not more than 20 to 25 % of pig iron should be in the charge mix.

#### Hot metal

Product of blast furnaces directly used as charge material. Hot metal brings energy into the EAF and reduces electrical energy consumption significantly. Theoretically high amounts of hot metal can be used in the charge mix. Practically the optimum is about 35 to 40 % hot metal in the charge mix. Higher ratios lead to long blowing times since the oxygen efficiency is not as good as in converters. With increasing hot metal content the productivity goes down.

The following charge mixes are common for EAFs around the world.

Scrap + CDRI (HDRI)	Middle East and several other areas
Scrap + hot metal	China, Russia and others
Scrap + hot metal + DRI	India
Scrap + HBI	several areas in the world

### EAF DESIGN FOR DIFFERENT RAW MATERIAL MIXES

For each of the above mentioned raw materials a certain EAF design is required. The task is to find the optimum design for a wide range of different charge mixes.

#### EAF dimensions

EAF volume is defined by the scrap portion in the charge mix. For 100 % scrap charge the height upper shell is designed to allow two basket operation. The required volume is calculated according to the scrap density. This volume is not needed for DRI or HBI using furnaces, when the material is fed through the roof. Therefore the upper shell of these furnaces are lower than for scrap furnaces.

The main task at furnaces using hot metal is to blow down carbon coming with the hot metal. The decarburization rate in an EAF is much lower than in a BOF due to the geometry of the vessel. The reaction is depending on the bath surface. The decarburization is measured as the CO generation in the steel bath. The following design rule applies:

$$\text{Max decarburization in EAF: } \frac{13 \text{ Nm}^3 \text{ CO}}{\text{min m}^2}$$

As a consequence EAFs with hot metal input are designed with a bigger diameter than scrap furnaces to allow faster decarburization. The same applies for DRI charge with high carbon content.

When high ratios of DRI (< 30 % of charge mix) are charged to the EAF, continuous feeding through a 5<sup>th</sup> hole is required. This feeding has to be done into a liquid steel bath for good and fast melting of the DRI pellets. Depending on the hot heel size the shape of the lower shell has to be designed accordingly.

All these design criteria are defined by the charge mix. The bigger the charge mix variation the more compromises on the design have to be taken.

#### Hot and cold DRI feeding through the EAF roof

DRI is fed through a 5<sup>th</sup> hole in the furnace roof. The feeding point is placed on the roof in a way that the pellets falls between two electrodes where the highest temperature in the EAF is expected. The installation is shown in the following figure. Hot and cold DRI can be charged with this installation.

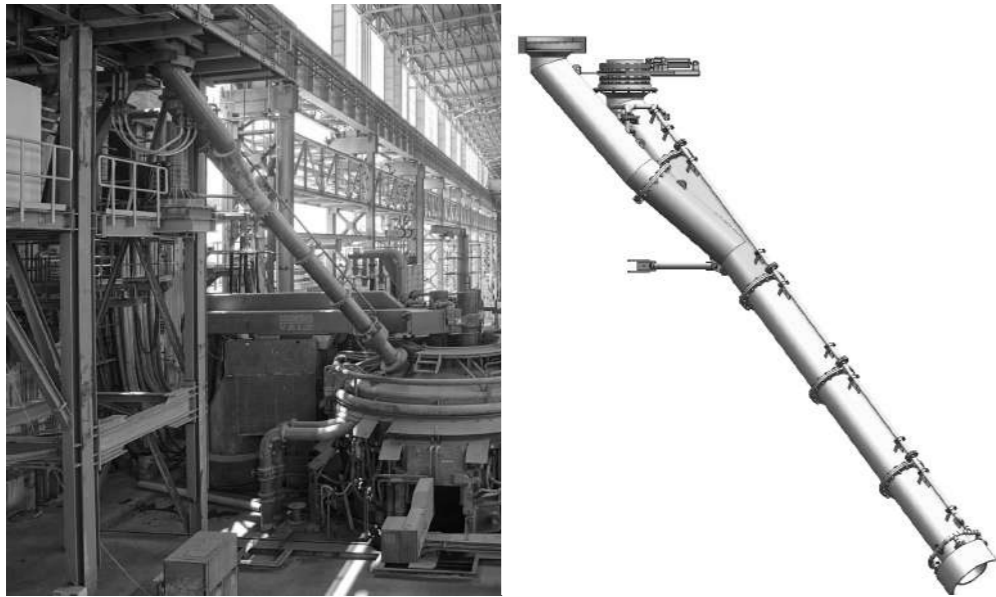


Figure 1: Installation of swivel chute for hot and cold DRI feeding in Egypt, 2013

The hot DRI is transported from the nearby DRI plant in a sealed conveyor. The shorter the hot link the hotter the DRI reaches the EAF. Up to 600 °C feeding temperature is possible.

The main benefits of hot DRI charging are:

- Increased productivity by 15-20%
- Power savings of 100-150 kWh/t<sub>liquid steel</sub>
- Electrode savings of 0.5-0.6 kg/t<sub>liquid steel</sub>

The following table shows some operational results of this kind of installation:

Table 2: Operating results with hot and cold DRI as charging material

Tap Weight	110t	80t	160t
Charge Mix	Up to 100% Scrap Up to 100% Cold DRI	Up to 100% Scrap Up to 100% Cold DRI Up to 100% Hot DRI	Up to 100% Scrap Up to 100% Cold DRI Up to 100% Hot DRI
Transformer	125MVA	105 MVA	140MVA
Injection Tools	• 3 RCB • 3 Carbon Injectors	• 3 RCB • 2 Burners • 2 Post-Combust. • 2 Carbon Injectors	4 RCB 3 Carbon Injectors
Tap-to-Tap Time	46 min (CDRI)	46 min (HDRI)	52 min (HDRI)
Electrical energy	485 kWh/t (CDRI)	390 kWh/t (HDRI)	400 kWh/t (HDRI)
Remark		Start with scrap	Start with scrap

#### FAST tapping system for low power off time

A new design especially for DRI furnaces shows additional advantages in terms of power off times and furnace operation.

The EAF shell is sitting on four tilting cylinders with minimum movements for tapping and deslagging. The roof is not tilting with the shell but can be swiveled out for charging a scrap basket. Furthermore the furnace is equipped with a FAST tapping system, a siphon type tapping system which allows tap hole refilling under power off, as well as slag free tapping. The time for tap hole refilling can therefore be deducted from the power off times. The principle is shown in the following figure.

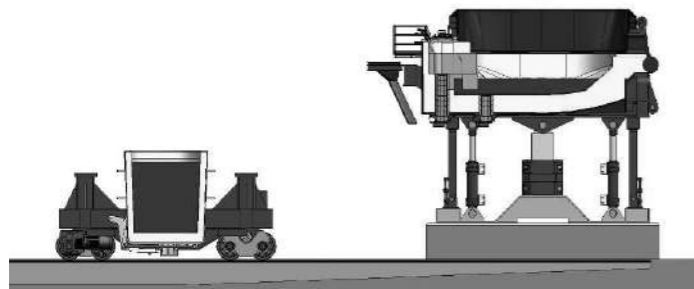


Figure 2: FAST DRI EAF with tilting cylinders and syphon type tapping system

**Hot metal charging into EAF**

Hot metal can be charged into the EAF by basically two methods. Either over the open roof just by pouring the hot metal ladle onto the scrap or by slow addition via a launder through the slag door or the side wall. The pouring can be done either by crane or by a tilting device. The principle of this tilting device and the launder is shown in the pictures below.



Figure 3: Hot metal ladle with hot metalcar and launder



Figure 4: Tilting of hot metal ladle

**FURNACE OPERATION WITH DIFFERENT CHARGE MIXES**

**DRI and scrap**

In case DRI ratio in the charge mix is less than 30 % the DRI can be charged together with the scrap via basket. With higher DRI amounts it has to be fed continuously through the fifth hole. In a first step the scrap portion is charged with basket and melting starts. Shortly after start melting DRI feeding begins. The feeding rate is defined by the active power input. For cold DRI a possible range is from 38 to 42 kg/min MW.

The following figure shows an operating diagram for the FAST DRI EAF charging 100 % of DRI. The diagram shows an almost continuous process, just interrupted for about 2 to 3 minutes for tapping.

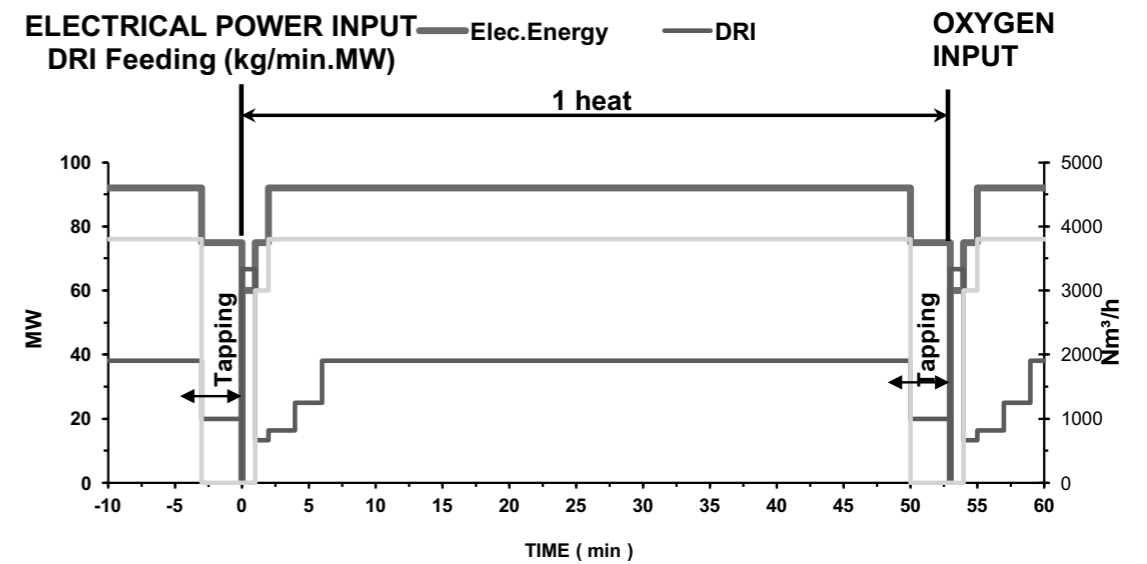


Figure 5: Operating diagram with 100 % DRI charge and FAST tapping system

The quality of DRI has a big influence on the performance and electrical energy consumption. The following factors are influencing the DRI quality.

**Carbon content:** low carbon content (< 0,5 % C) leads to higher electrical energy consumption than with gas based DRI with about 2,5 %.

**Gangue content:** Good DRI has a gangue content of about 3 to 4 %. Higher gangue ratio with acid components leads to high slag amounts and also higher electrical energy consumption.

**Metallization:** Good DRI has a metallization rate of 94 %. Less metallization means more slag generation and lower yield and therefore also higher electrical energy consumption.

#### HBI and scrap

HBI is another form of DRI which is more resistant against oxidation on air. But due to the fact that the pieces are much bigger than DRI pellets, they melt significantly slower than pellets. Up to 30 % HBI in the charge mix can be loaded into a scrap basket. Higher rates need to be fed via the roof as for DRI. Due to the lower melting speed the feeding rate for HBI is lower than for DRI. 28 – 30 kg/min MW can be achieved.

HBI is easier to transport over long distances than DRI pellets, but the productivity in an EAF is significantly lower.

#### Scrap and hot metal

Using hot metal in an EAF has several advantages. The material has only minor impurities and brings a lot of energy into the EAF which results in very low electrical energy consumption. The difficulty in this process is the control of blowing down the carbon. This reaction takes time since oxygen cannot be injected into the EAF as efficient and as fast as in the BOF. In principle high ratios of hot metal in the charge mix are possible, but the productivity goes down the more hot metal is charged. The following graph shows that the optimum hot metal content in the charge is about 35 % in respect to productivity.

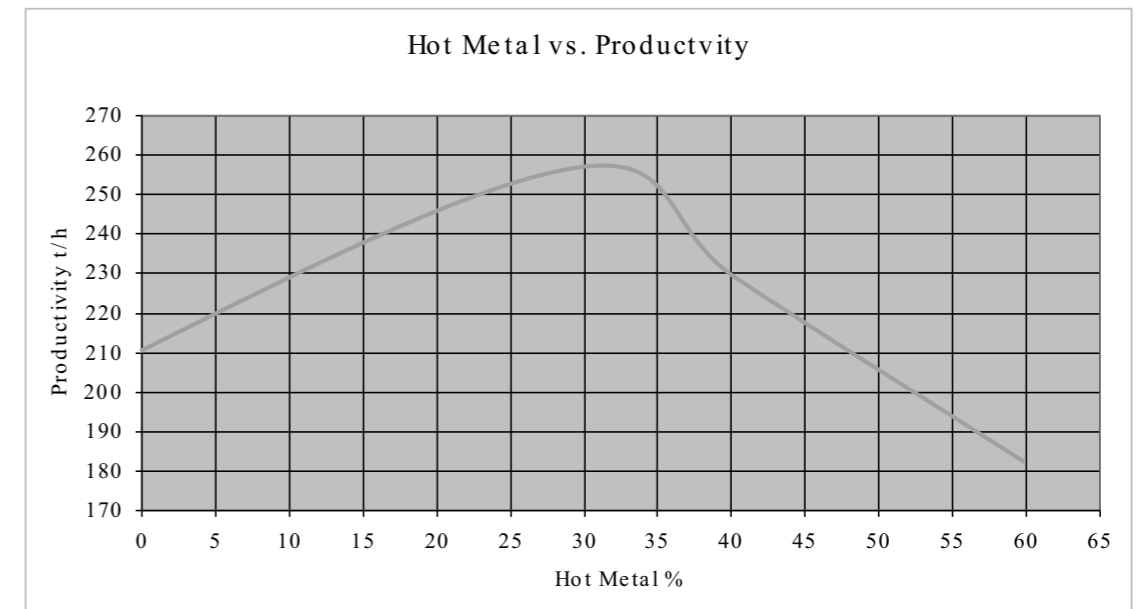


Figure 5: Optimum hot metal charge in EAF in correlation to productivity

#### Scrap, DRI and hot metal

A typical procedure for this charge mix is charging a small amount of scrap into the EAF by basket, then pouring hot metal and finally feeding DRI through the roof of the EAF. The procedure might vary with varying amounts of DRI and hot metal. For this charge mix also coal-based DRI can be used since the lack of carbon is compensated by the hot metal. This process has been implemented in steel plants in India and Indonesia. The following figure shows the principle of charging hot metal and DRI into an EAF.



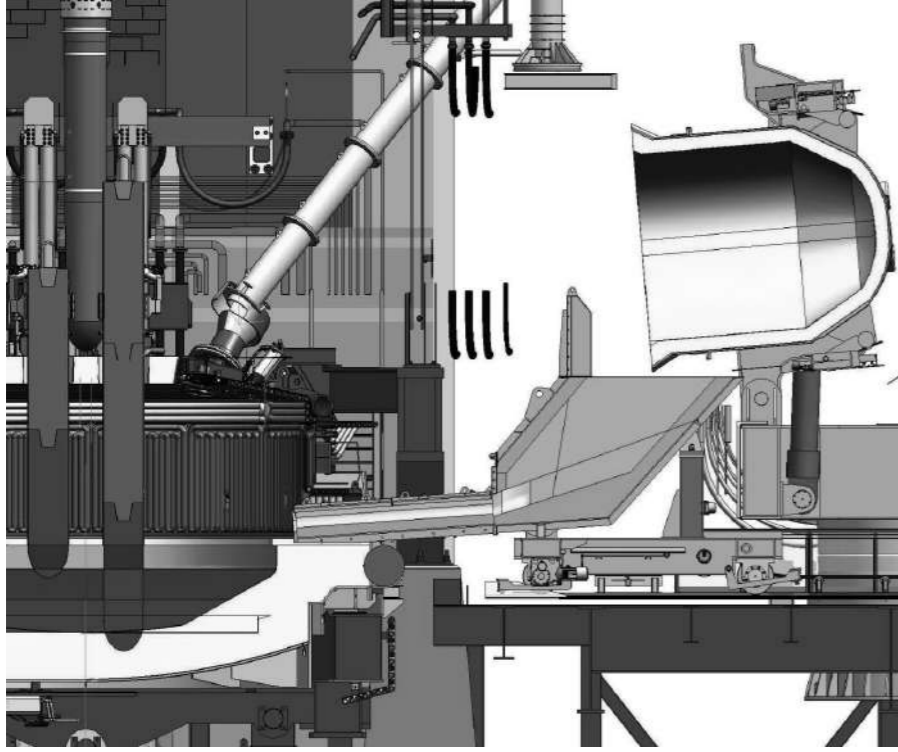


Figure 6: Hot metal charging via launder and DRI feeding through the roof.

### Overview of charge mixtures

The graph below shows the different charge mixes and the proposed ranges of mixtures.

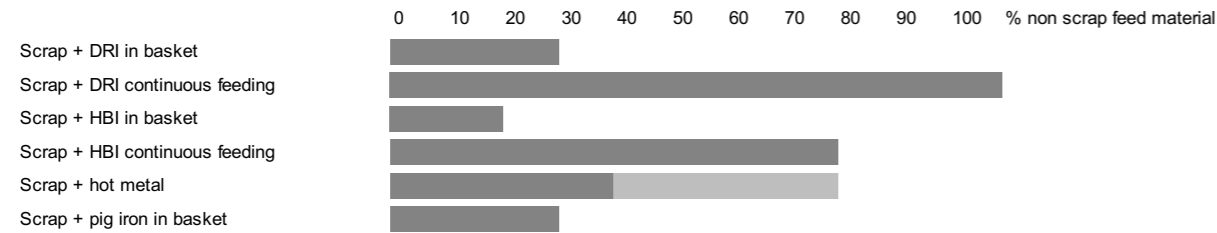


Figure 7: Recommended ranges of raw material charge mixes to the EAF

### CONCLUSIONS

Modern electric arc furnaces allow a big variety of charge material and their different mixes. The EAF design can be adapted to these mixes up to a certain range. Each material needs a specific way of charging into EAF and specific operating patterns. Each charge mix shows its advantage under different local conditions. Using virgin material also allows the production of high quality steel grades which would not be possible to produce in an EAF using 100 % scrap as charge material.

EAF technology is therefore still the most flexible steel making equipment.

### Kütük Döküm Kalitesinin Haddelemeye Etkileri

The Effect of Billet Casting Quality on Rolling

Didem Kılıç, Orhan Akyol, Metehan Bacaksız, Halil İbrahim Gülönü

Kardemir Haddecilik San. ve Tic. A.Ş. • Türkiye

#### Özet

Demir çelik sektöründe haddeme prosesi kütük girişi ile başlamaktadır. Bu aşamada ürünün kaliteli bir şekilde elde edilmesi ve üretim sistemlerinin hasar görmemesi için kütük giriş kalitesi büyük önem arz etmektedir. Kütük kimyasal yapısı ve kütükteki döküm hataları, haddeme prosesini ve üretim sonucu elde edilen nihai ürünün kaynaklanabilme, mukavemet, işlenebilme (eğme, bükme) ve fiziksel (ölçü-ebat, doğrusalık, çapaklanma) özelliklerini etkilemektedir. Bu çalışmada Kardemir Haddecilik'in IPE üretimleri incelenmekte, kütük kimyasal ve döküm hatalarının hadde prosesi ve nihai ürün üzerindeki etkileri anlatılmaktadır.

#### 1. Giriş

Çelik, büyük farkla en geniş kullanım alanlı, en dayanıklı ve en iyi uyarlanabilen mühendislik malzemesidir. Aynı zamanda alternatifleri ile kıyaslandığında daha düşük imalat masrafları gösterir.[1]

Çelik ham madde üretimi, entegre tesislerde demir cevheri veya elektrikli ark ocaklarında hurda ergitimi ile gerçekleştirilmektedir. Yapı çelikleri bu sektörde en büyük paya sahiptir. Dolayısı ile ham çeliğin haddelenmesi sonucu elde edilen genel yapı çelikleri, döküm ve haddeme yöntemlerinin demir çelik sektörü için önemini bir kere daha göstermektedir ve bu yöntemlerin teknolojik açıdan her geçen gün gelişmesi gerekmektedir.

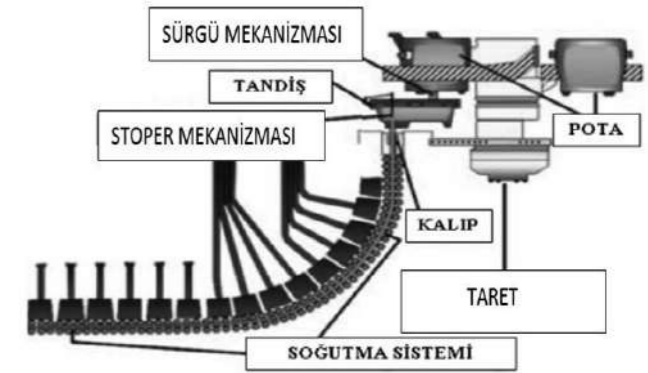
Kütük kalitesi haddeme prosesinin en önemli parametrelerindedir. Çelik profil üretiminde nihai üründe kaliteye ulaşmak için döküm ve haddeme süreçlerinin birbirini destekler nitelikte olması gerekmektedir. Kaliteli çelik üretim hedefi olan Kardemir Haddecilik firması hadde yapısına uygun kütük üretimine yönelik yatırım çalışmalarına başlamış olup, şu an kütük ihtiyacını yurtiçi ve yurt dışı çelikhanelerden karşılamaktadır. Çalışmada kütük kalitesini etkileyen önemli faktörler döküm hataları ve kimyasal analiz hataları olmak üzere iki başlıkta ele alınmakta, haddeme prosesine ve son ürüne etkileri incelenmektedir.

#### 1.1 Döküm Hataları

Sürekli döküm en genel tanımı ile ergimiş metalin üstü açık bir kalıba devamlı olarak dökülüp, katılaştığı ürünlerin şerit

veya çubuklar halinde, sürekli olarak dışarıya atılmasını sağlayan döküm usulüdür.[2]

Kütük üretimi sürekli döküm yöntemi ile gerçekleştirilmektedir. Ergimiş malzeme potadan tandişe aktarılmakta, proses tandişe aktarılan malzemenin belirli bir döküm hızı ile kalıba ve daha sonra soğutma sistemine ilerleyişi ile devam etmektedir.



Şekil 1. Döküm Sistemi

Haddemede kütük kalitesi çok önemli bir parametredir, bu sebeple kütük döküm kalitesi ne kadar iyi olursa haddeme sistemine zarar vermeden kaliteli ürün üretimi gerçekleştirme olasılığı o kadar artmaktadır.

Kütük döküm kalitesi döküm sıcaklığı, döküm hızı, soğutma sistemi, oksijen verme, kalıp yağlama, açık veya kapalı döküm vb. faktörlerden etkilenmektedir. Bu faktörlere bağlı olarak kütükte gaz boşluğu veya çatlak oluşumu gözlenmektedir. Oluşan gaz boşlukları ve çatlaklar haddeme esnasında malzemenin kopmasına, malzemenin uçlarında yırtık veya oyukların oluşmasına neden olmakta, son üründe ise yük taşıma kapasitesini düşürmekte eğme, bükme, uzatma gibi işlemlerde sorunlara yol açmaktadır.

#### 1.2. Kimyasal Hatalar

Ülkemizde daha çok hurdadan çelik üretimi gerçekleştirilmektedir. Bu sebep ile hurdadaki bakır oranı veya diğer elementlerin oranları kütükte yüzey veya iç yapı

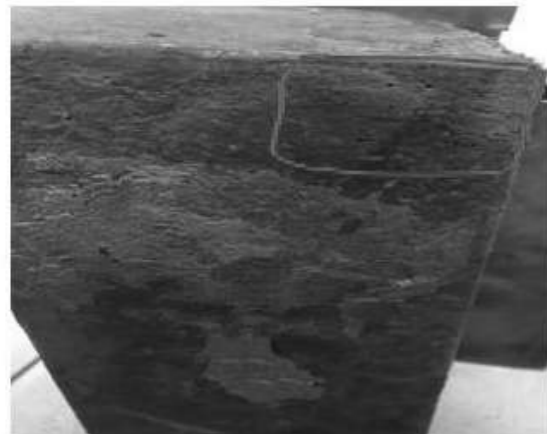
hatalarına sebebiyet verebilmektedir. Ayrıca bu elementlerin oranları karbon eşdeğerini hesabı sonucunda malzemenin kaynaklanabilme özelliğini etkilemektedir. Çeliğin üretim metodu (dökümün pota veya indüksiyon döküm ile gerçekleşmesi) kütüğün kimyasal analizini etkilemektedir. Kimyasal hatalar kaynaklanabilme, yüzey ve iç yapı hatalarının yanı sıra malzemede çapaklanma durumlarının yaşanmasına sebep olmaktadır. Çapaklanmalar malzemeye zarar verirken zaman içerisinde merdane ve hadde sisteminin de zarar görmesine neden olmaktadır.

## 2. Deneysel Çalışmalar

### 2.1 Kütük Döküm Hatasının Neden Olduğu Durumlar

Çalışma IPE ürünü üzerinde kütük kalitesi etkilerinin incelenmesi ile gerçekleştirilmiştir.

Sipariş edilen kütükler öncelikle kütük sahasında istiflenerek üretim planına göre kütük makasında kesilip tav fırınlarına verilmektedir. Şekil 2.'de istiflenmiş kütüklerde gözlemlenmiş gaz boşlukları yer almaktadır.



Şekil 2. Döküm Kütük Gaz Boşlukları

Bu boşlukların bir kısmı haddelemeye bağlı olarak yok edilirken yüzeye yakın olanlar genellikle Şekil 3. ve Şekil 4'de belirtildiği gibi IPE profillerde ürünün ayak uçlarında kesik kesik oyuklar ( testere dişini andırır) halinde kendini göstermektedir



Şekil 3. 100X55 IPE



Şekil 4. 200X100 IPE

### 2.2 Kütük Kimyasal Bileşim Hatasının Neden Olduğu Durumlar

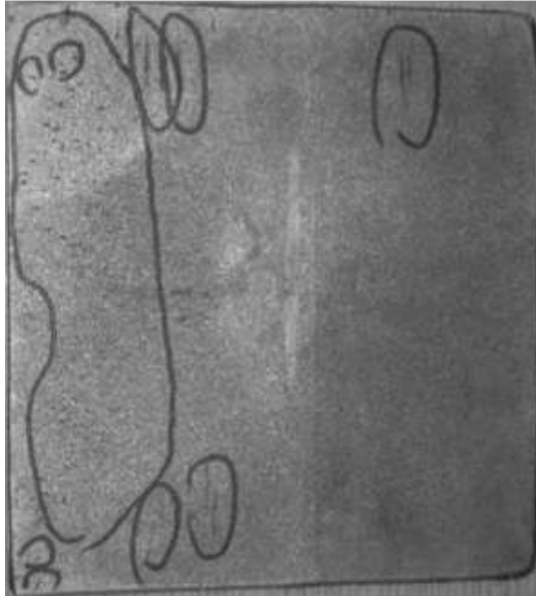
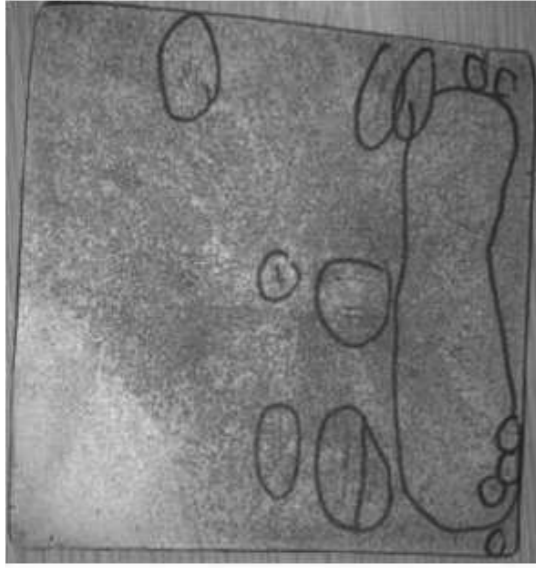
130x130x6,00 metre kütükler tav fırınına haddelenmek üzere tezgahlara iletilmekte, haddelenmeye başlandığı an kütükte sıcak yırtılma sorunu gözlenmektedir. Şekil 5.'de gösterildiği üzere

Silisyum oranı düşük olan döküm çapak yapmakta, Silisyum oranı yüksek olan dökümde bu sorun ile karşılaşılmamaktadır

ANALİZ SONUÇLARI					
Date/Time: 28.08.2018 / 02:54:09		Task/Typ/No: 1 / 3 / 0		Program: FE1	
Matrix: FE		Malzeme: ÇAPAKL1		Alasın:	
Numune No:		Alasın:		Numune No:	
Element/Value:	Element/Value:	Element/Value:	Element/Value:	Element/Value:	Element/Value:
I-IFE 20188	C 0.179	SI 0.009			
MN 0.535	P 0.025	S 0.042			
CR 0.247	NI 0.016	MO 0.029			
CU 0.151	AL 0.003	TI < 0.001			
V 0.000	NB < 0.001	B 0.0006			
W < 0.003	CO 0.013	SN 0.000			

ANALİZ SONUÇLARI					
Date/Time: 28.08.2018 / 02:55:37		Task/Typ/No: 1 / 3 / 0		Program: FE1	
Matrix: FE		Malzeme: ÇAPAKS12		Alasın:	
Numune No:		Alasın:		Numune No:	
Element/Value:	Element/Value:	Element/Value:	Element/Value:	Element/Value:	Element/Value:
I-IFE 20490	C 0.111	SI 0.177			
MN 0.638	P 0.025	S 0.027			
CR 0.205	NI 0.051	MO 0.022			
CU 0.095	AL 0.004	TI < 0.001			
V 0.007	NB < 0.001	B 0.0002			
W 0.004	CO 0.014	SN 0.005			

Şekil 5. S 275 JR



Şekil 6. Silisyumu Düşük Döküm İçindeki Gaz Boşlukları

Kimyasal analizde gözlenen element oranlarının kütük içerisinde sebep olduğu gaz boşlukları bunun yanı sıra yarıyol çatlakları ve çekinti boşluğu şekil 6.'da gösterilmektedir. Bu boşluklar malzemede sıcak yırtılma sonucu çapaklanmaya (Şekil 7.) sebep olmaktadır. Hem malzeme çapaklardan dolayı uygunsuz bulunmakta hem de üretim sistemi bu çapaklardan dolayı zarar görüp üretimin durdurulmasına sebep olmaktadır.



Şekil 7. Sıcak Yırtılma Sonrası Malzemenin Görüntüsü

Kardemir Haddecilik'in ilk kez hammadde olarak kullanılan 3 PS kalite kütük (Tablo 1.' de kütük kimyasal analizi bulunmaktadır) haddelenirken kopup, kopan parça son hadde tezgahı yolluğuna sıkışarak mamulün bozulmasına sebep olmaktadır. Üretim bir çok kez durdurulup yolluklara sıkışan malzeme çıkartılmakta (Şekil 9.), bu durum üretimin uzun süre aksamasına sebep olmaktadır. Üretim esnasında malzemede uzun yarıklar (Şekil 8.) meydana gelmekte, bu yarıklardan kurtulmak için ara makas kesimi yapılmaktadır. Bu işlem şekil 10.' de gösterilmektedir. Haddeleme sonunda çıkan bozuk ürünler fireye ayrılmaktadır (şekil 11.).

Tablo 1. 3 PS Kalite Çelik Kütük Kimyasal Analizi

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Al	V	Sn
0,200	0,493	0,052	0,014	0,028	0,044	0,028	0,007	0,016	0,002	0,001



Şekil 8. Yarılan malzeme



Şekil 9. Yolluktan Çıkarılan Malzeme



Şekil 10. Uzun Kesilen Parça



Şekil 11. Fire Ürün

### 3. Sonuçlar

Yaşanan kütük döküm hataları ve kimyasal analiz hatalarına bağlı olarak;

- Kütükte gaz boşlukları meydana gelmekte bu durum ise ürün kalitesini düşürerek müşteri talebinin karşılanmasına engel olmaktadır. Ayrıca üretim esnasında yaşanan malzeme kopmaları nedeniyle hem fire oranları artmakta hem de üretimde yaşana bu aksaklık zaman ve işçilik maliyeti oluşturmaktadır.
- Döküm kalitesine bağlı olarak kütük içerisinde oluşan çatlaklar ürünün kullanılacağı yere göre maruz kalacağı yüklerle karşı uygun mukavemeti gösteremeyip kırılabilir bir davranış sergilemesine sebep olmaktadır.
- Yine döküm kalitesine bağlı olarak ürünün özellikle kenarlarında yırtılma, oyuk ve doğrusallık sorunları ile karşılaşmaktadır.
- Cu oranının %50'yi geçtiği durumlarda çapaklanmalar gözlenmekte ve üretim devam ettikçe biriken çapak malzemenin merdaneye sarmasına neden olup hem fireye neden olmakta hem de haddeleme sistemine zarar verdiği gözlenmektedir.
- Silisyum oranı %15'den az olan kütüklerde oluşan gaz boşlukları haddelemede kütükte kopmalar meydana gelmiş ve çapaklanma gözlenmiştir. Çapaklar yolluklara dolarak üretimin aksamasına neden olduğu gözlenmektedir.
- Sürekli üretim sisteminde üretim sırasında kütükler belirli bir haddeleme hızında peş peşe sisteme alındığı için bir kütükteki kusurdan meydana gelen bozukluktan dolayı hadde sistemi arıza yaptığı zaman arkadan gelen ikinci ya da üçüncü kütük ara makasla kesilerek hurdaya ayrılmaktadır.

### Referanslar

- [1] Çelik Rehberi, VDeh Çelik Enstitüsü, (2012).  
 [2] Kadioğlu S., Taşyürek K., (2011), Sürekli Döküm Sistemi, Alaşımli Özel Çeliklerin Metalurjisi, İTÜ, İstanbul.

## Haddehane Uçar Makas Uygulamaları için 1.2344 Sıcak İş Takım Çeliğine Alternatif 1.2367 ve 1.2367ESR Çelik Kalitelerinin Performans Karşılaştırması

*Comparison of the Performances of 1.2367 and 1.2367ESR Quality Steels as an Alternative to 1.2344 Quality Hot Work Tool Steel for Rolling Mill Flying Shear Blade Applications*

Onur Özer<sup>1</sup>, Tuba Özener<sup>1</sup>, Yunus Türen<sup>2</sup>, Hayrettin Ahlatçı<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Sağlam Metal Sanayi ve Tic. A.Ş., <sup>2</sup>Karabük Üniversitesi • Türkiye

### Abstract

This study aimed to compare the characteristics of tempering and wear of conventionally produced 1.2367 quality hot work tool steel with electro slag remelted (ESR) 1.2367 quality hot work tool steel both of which are offered as an alternative to 1.2344 quality hot work tool steel, which is used in the production of flying shear blades used for cutting hot rolled semi-finished products such as billets, sheets and bars in rolling mill facilities, also to evaluate rolling mill service test results. For this purpose, tempering diagrams of the related steels were drawn first. After that, room temperature wear tests were performed under a load of 10, 30, 50 or 80 N using 60 or 220 mesh- abrasive cloth and also high temperature (400 °C) wear test were carried out under a load of 50 N using 60 - abrasive cloth over a total distance of 54 meters. Weight losses that were caused by these tests were measured and microstructure of wear tracks was investigated via a scanning electron microscope (SEM). Finally, real service performances of the samples were measured in a rolling mill facility. Exhibiting the best resistance to tempering, the rolling service performance of 1.2367esr steel was higher than the other two materials.

**Key Words:** Hot work tool steel, 1.2344, 1.2367, 1.2367esr, Tempering, Tool steel, Wear test, Flying shear blade.

### Özet

Bu çalışmada, haddehanelerde sıcak hadde yarı ürünlerini (kütük, lama, yuvarlak v.b.) kesmek için

kullanılan uçar makas bıçağı malzemesinin üretiminde kullanılan 1.2344 kalite sıcak iş takım çeliğine alternatif olarak önerilen konvansiyonel yöntemle üretilmiş olan 1.2367 ve ESR (Elektro Curufaltı Ergitme) üretim yöntemi ile üretilmiş olan 1.2367esr kalite çeliklerin menevişlenme ve aşınma özellikleri karşılaştırılmış ve haddehane saha test sonuçları değerlendirilmiştir. Çelik kalitelerinin önce menevişleme diyagramı çıkartılmıştır. Ardından oda sıcaklığında 10, 30, 50 ve 80 N yük altında, 60 ve 220 mesh zımpara üzerinde ve 400 °C ortamda yalnızca 50N yük altında-60 mesh zımpara üzerinde toplam 54 metre yol alınması sağlanarak aşınma testi uygulanmıştır. Malzemelerde oluşan ağırlık kayıpları ölçülmüş ve aşınma izlerinin SEM analizleri yapılmıştır. En son olarak numunelerin haddehanede gerçek çalışma şartlarında performansları ölçülmüştür. 1.2367esr malzemesi menevişlemeye karşı en iyi direnci gösterdiği gibi haddehane şartlarında aşınma direnci diğer iki malzemeye göre % 15 oranında daha iyi performans göstermiştir.

**Anahtar Sözcükler :** Sıcak İş Takım Çeliği, 1.2344, 1.2367, 1.2367esr, Menevişleme , Takım Çeliği, Aşınma Deneyi, Uçar Makas

## I. GİRİŞ

Endüstride kullanılan takım çelikleri hem işlenmesi hem de şekillendirilmesi amacı ile kullanılan yüksek alaşımli çelik grubudur. Dünyada toplam çelik üretiminin % 8'ine sahip olan takım çeliklerinin kullanım alanı her geçen yıl sürekli olarak artış göstermektedir [1].

Demir çelik sektöründe, haddehanelerde sıcak haddelenmiş kütük mamullerini kesmek için kullanılan uçar makas bıçakları çeşitli kalite sıcak iş takım çeliklerinden üretilmektedir. Ancak maruz kaldıkları ağır yüklerden ve zorlu çevresel şartlardan dolayı aşınma, kırılma hasarlarına ve ezilme gibi kalıcı deformasyona uğramaktadırlar. Bu olumsuzluklarla birlikte bakım-onarım için geçen süre ve bıçağın kırılması veya ezilmesi durumunda gerçekleşen ani duruşlar da göz önüne alındığında, hadde bıçağının düşük kalitede olması üretim açısından ciddi aksamalara sebebiyet verip üretimi azalttığı gözlenmektedir.

Uçar makas üretiminde kullanılan kalitelerden birisi 1.2344 sıcak iş takım çeliğidir. Ancak bu çeliğin pek çok uygulama için yetersiz kaldığı gözlenmiştir. Firmamız bu çeliğe alternatif olarak 1.2367 ve 1.2367esr çeliklerinin de iyi birer seçenek olabileceğini öngörmüş ve karşılaştırma çalışmalarını planlamıştır. Bu malzemeler sıcak iş takım çeliğidir ve kullanım sıcaklığında malzeme özelliklerini kaybetmemeleri gerekir. Sıcak iş takım çeliklerini birbirlerinden ayıran en önemli özellikler, sertlik ve bu sertliğin temperleme sıcaklığı ile değişimi ve aşınma özellikleridir [1,2].

Bu çalışmada, haddehanelerde sıcak kesim bıçak uygulamalarında kullanılan DIN 1.2344, 1.2367 ve 1.2367esr kalite sıcak iş takım çeliklerinin laboratuvar koşullarındaki mekanik özellikleri incelenmiş mekanik testler olarak sertlik ölçümü yapılmış ve abrasiv aşınma testleri uygulanmıştır. Çeliklerin SEM çalışmaları yapılarak mikroyapı bileşenleri belirlenmiştir. Bu testlere ilave olarak bu malzemelerden üretilmiş uçar makaslarla haddehanede performans karşılaştırmaları yapılmıştır.

## II. DENEYSEL ÇALIŞMA

### A. Malzeme

Bıçak Malzemelerin kimyasal bileşimleri, SpektroMax marka spektral analiz cihazında belirlenmiştir. Tablo 1' de incelenen takım çeliklerin kimyasal bileşimleri verilmektedir.

Tablo 1. DIN 1.2344, 1.2367 ve 1.2367esr malzemelerin kimyasal analiz değerleri

Malzeme	% Bileşim					
	C	Si	Cr	Mo	Mn	V
1.2344	0,40	1,00	5,30	1,40	0,35	1,00
1.2367	0,38	0,40	5,00	3,00	0,40	0,50
1.2367esr	0,37	0,40	5,00	3,00	0,50	0,60

### B. Isıl İşlem

Karbürce zengin olan sıcak iş takım çeliklerinin sürtünme ve/veya bıçak uygulamalarındaki optimum

performansla çalışabilmesi için ısıl işlem geçmişinin çok iyi olması gerekmektedir. Bu nedenle malzemelerin menevişleme diyagramı çıkarılmıştır. Östenitleme işlemi vakum fırınında 1050°C'de yapıp ardından yağda soğutma ile su verilmiştir. Menevişleme ısıl işlemi SCHMETZ Marka fırında 250 ve 350°C'de 2 saat, 450, 550 ve 625°C'de ise 2.5 saat süre ile yapılmıştır.

### C. Mikroyapısal İncelemeler

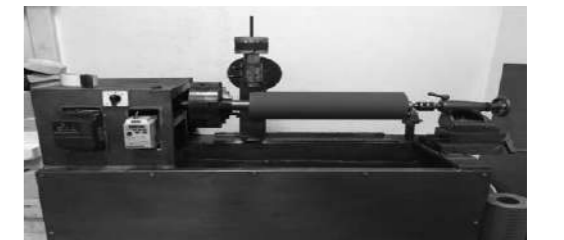
Uygulanan ısıl işlemden sonra numuneler 200-1200 mesh silisyum karbür zımpara ile zımparalanmış ve ardından parlatma işlemi yapılmış ve parlatıldıktan sonra da % 3 Nital ile yüzeyleri dağlanmış. Mikroyapı analizi Zeiss Ultra Plus SEM cihazında gerçekleştirilmiştir.

### D. Sertlik Ölçümleri

Takım Çeliği numuneleri üzerinden gerçekleştirilen sertlik ölçümleri standart Rockwell C esasına göre yapılmıştır.

### E. Abrasiv Aşınma Testleri

Isıl işlemi yapılmış olan 14x19x55 mm boyutlarındaki numunelere aşınma deneyleri uygulanmıştır. Deneylerde kullanılan Abrasiv Tambur üzerinde Blok tipi aşınma cihazı Şekil 1'de gösterilmiştir. Bu cihazda aşındırıcı olarak Ø150x500 mm boyutlarında tambur üzerine 60 ve 220 meshlik zımpara kaplanmıştır. Aşınma testleri 10, 30, 50 N'luk yüklerde 300 devir/dakika ve 80 N yük altında 350 devir/dakika hız ile yapılmıştır. Testler 18'er metre aralıklarla toplamda 54 metre yol alınarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 1). Aşınma deneyi süresince numunenin daima temiz zımpara üzerinde sürtünmesi için zımpara kaplı tambur dönerken numune tutucu kol yatay ekseninde hareket ederek zımpara kağıdında spiral şekilli iz oluşturmuştur.



Şekil 1. Abrasiv tambur üzerinde blok aşınma cihazı

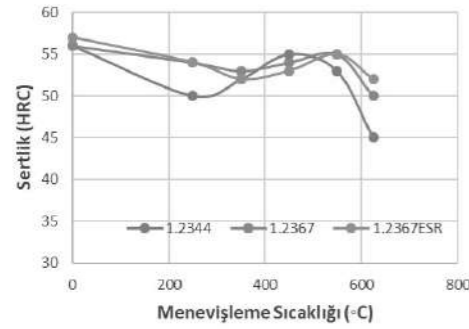
## III. BULGULAR VE İRDELEME

### A. Menevişleme Diyagramının Çıkarılması

Menevişleme ısıl işlemi uygulanmış malzemelerin farklı meneviş sıcaklıklarına karşı ölçülen sertlik değerleri Tablo 2.'de verilmiştir. Bu ölçümler neticesinde Şekil 2.'deki menevişleme diyagramı oluşturulmuştur.

Tablo 2. Farklı sıcaklıklarda menevişlenen takım çeliklerinin sertlik değişimi

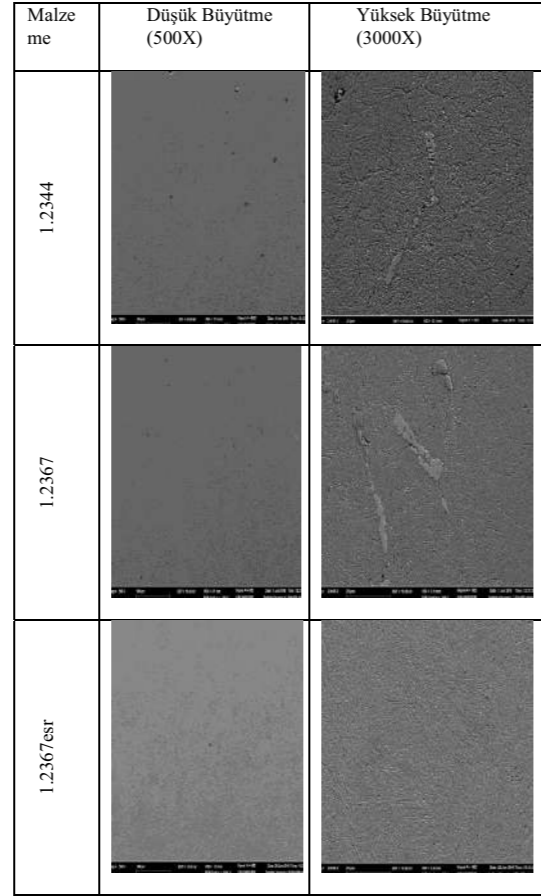
Menevişleme Sıcaklığı (°C)	1.2344 (HRC)	1.2367 (HRC)	1.2367esr (HRC)
0	56	56	57
250	50	54	54
350	52	53	52
450	55	54	53
550	53	55	55
625	45	50	52



Şekil 2. DIN 1.2344, 1.2367 ve 1.2367esr takım çeliklerinin menevişleme diyagramı

## B. Mikroyapı Sonuçları

Şekil 3.'de, incelenen takım çeliklerinin SEM mikroyapıları verilmiştir. 1.2344, 1.2367 ve 1.2367 esr sıcak iş takım çeliklerinin üzerinden alınan SEM fotoğraflarında matris, tane sınırı boyunca uzanmış kütleli açık gri renkli fazlar, noktasal beyaz renkli çökeltiler ve koyu gri renkli küresel partikül bulunmaktadır. 1.2344 kalite takım çeliğinin mikroyapısına kıyasla 1.2367 kalite çelikte tane sınırlarında oluşan açık gri renkli fazlar kaba ve süreklidir [3, 4]. 1.2344 ve 1.2367 kalite çeliğin mikroyapısında tane sınırında oluşan fazlar çözünmemiş sert karbürlerdir [4]. 1.2367esr malzemede ise tane sınırı boyunca uzanmış kütleli açık gri renkli fazlar ve koyu gri renkli küresel partikül hiç bulunmamakla birlikte noktasal beyaz renkli çökeltiler ise oldukça ince ve seyrek bir şekilde dağılmıştır [5, 6].

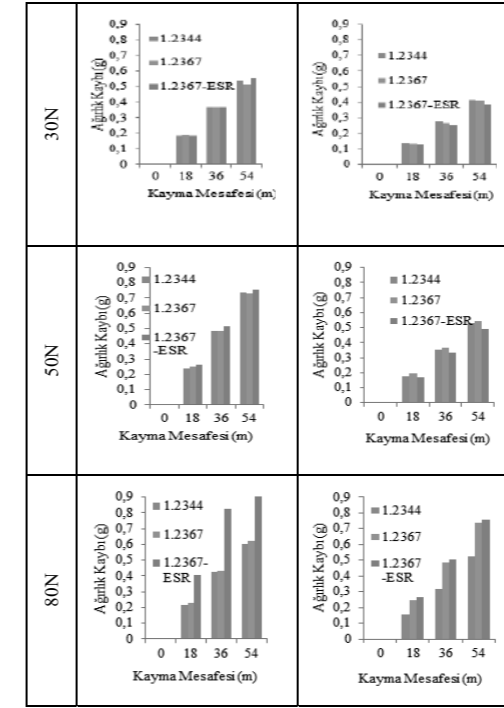
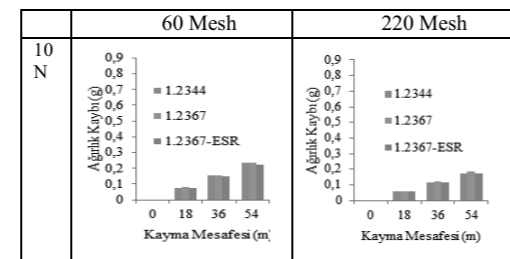


Şekil 3. İncelenen DIN 1.2344, 1.2367 ve 1.2367esr takım çeliklerinin SEM görüntüleri

## C. Aşınma Dayanımı

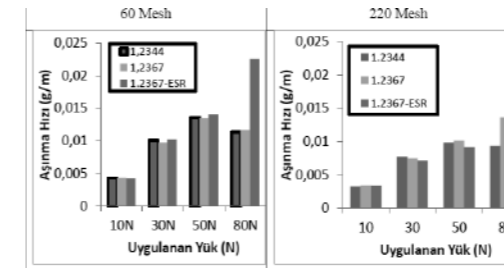
### C.1. Oda Sıcaklığı Aşınma Sonuçları

1.2344, 1.2367, 1.2367esr malzemelerine 10, 30, 50 ve 80N'da 60 ve 220 mesh zımpara üzerinde 18'er metre arayla toplamda 54 metre yol aldırılmış ve malzemede meydana gelen ağırlık kayıpları Şekil 4.'te grafiklerde verilmiştir.



Şekil 4. DIN 1.2344, 1.2367, 1.2367esr takım çeliklerinin ağırlık kaybı-kayma mesafesi sonuçlarının karşılaştırılması olarak gösterimi

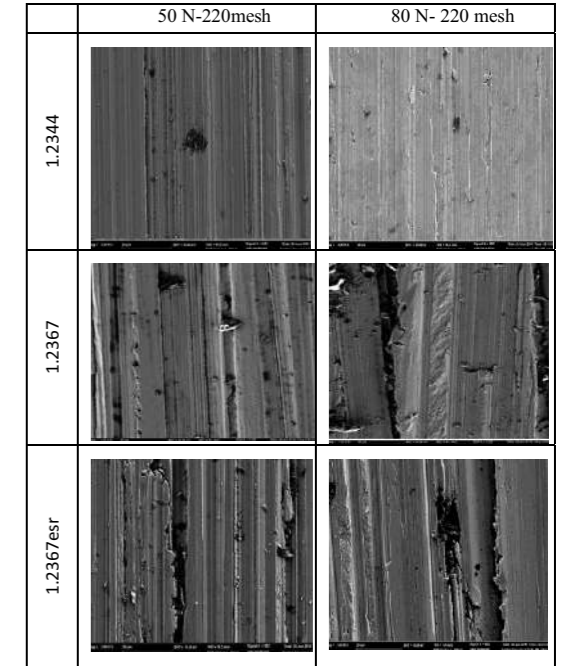
Şekil 4. incelendiğinde yük arttıkça ve abrasiv zımpara boyutu irileştikçe ağırlık kaybının lineer olarak arttığı gözlemlenmiştir. Oda sıcaklığında, ESR üretim tekniği ile üretilen 1.2367esr malzemenin 60 ve 220 Mesh zımpara ile yapılan deneylerinde düşük yüklerde (10, 30 ve 50 N yük altındaki) aşınma miktarının bir miktar daha az olduğu ancak yükün 80N'a çıkması ile 1.2367 esr kalite çeliğin diğerlerine kıyasla daha yüksek ağırlık kaybı gösterdiği görülmüştür. Şekil 4. değerlendirildiğinde incelenen numunelerin abrasiv ağırlık kaybına sertliğin belirgin bir etkisi gözlenmemektedir.



Şekil 5. DIN 1.2344, 1.2367, 1.2367esr takım çeliklerinin uygulanan yük ile aşınma hızlarının değişimi.

Şekil 5'de görüleceği üzere 220 Mesh zımpara ile yapılan aşınma deneyinde 10, 30 ve 50 N yük altında diğerlerine kıyasla aşınma hızı bir miktar düşük olan

malzemenin 1.2367esr olduğu gözlemlenmiştir. Yükün artması sonucunda 80 N yük altında ise 1.2344 malzemenin aşınma hızında bir miktar düşme gözlemlenmiş olup 1.2367 ve 1.2367esr'de ise aşınma hızı giderek artmıştır. 60 Mesh zımpara ile yapılan aşınma sonuçları incelendiğinde 10, 30 ve 50N yük altında aşınma hızının genel olarak birbirine yakın olduğu en düşük aşınma hızına sahip malzemenin 1.2367 olduğu gözlemlenmiştir. Yükün 80N'a çıkması ile 1.2344 ve 1.2367' nin aşınma hızında düşüş gözlemlenirken 1.2367esr' nin ise aşınma hızının şiddetli bir şekilde arttığı gözlemlenmektedir.



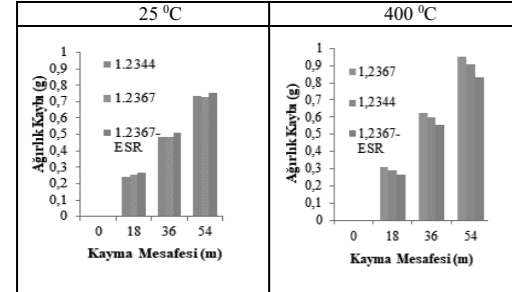
Şekil 6. Oda sıcaklığında 220 Mesh 50 ve 80 N yük altında yapılan aşınma yüzeylerinin yüksek büyütme (3.00 K X)SEM görüntüleri.

Oda sıcaklığında incelenen tüm aşınma numunelerinin 220 mesh zımpara üzerinde 50 ve 80 N yük altında gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucu oluşan aşınma yüzeylerinden alınan SEM görüntüleri incelenmiştir (Şekil 6). Görüntülerde derin yivlerin oluştuğu ve zımpara partiküllerinin numuneden plastik deformasyonla malzeme yüzeyini yanlara doğru ayırdığı görülmektedir [6-13,7-14]. 50 N yük altında oluşan izlerin daha çizgisel olduğu ve 80 N' da oluşan izlerin zımpara partiküllerinin batarak siyah şekilsiz çukur oluşturduğu görülmüştür. Sonuç olarak incelenen aşınma hızları birbirine yakın olmasından dolayı aynı aşınma mekanizmasını sergilemiştir.

### C.2. Yüksek Sıcaklık Aşınma Sonuçları



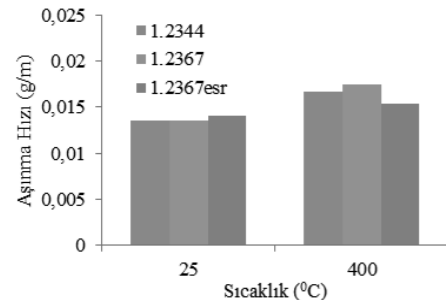
Bıçakların yüksek sıcaklıktaki demir mamüllerini kesmesinden ve sürekli olarak yüksek sıcaklık ortamı altında çalışmasından ötürü malzemelerin sıcak ortamdaki aşınma davranışları ölçülmek istenmiş ve 60 mesh zımpara ile ve 50 N yük altında ikinci bir aşınma deneyi daha yapılmıştır. 25 ve 400°C'de yapılan deney sonuçları Şekil 7.'de verilmiştir.



Şekil 7. 50N yük altında oda sıcaklığında ve 400°C'de ağırlık kaybı kayma mesafesi grafiği.

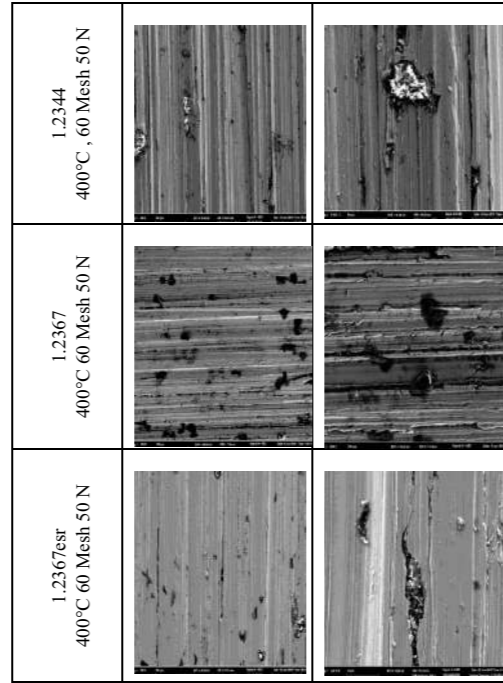
Şekil 7'de 60 mesh zımpara üzerinde 50 N yük altında 400°C'de yapılan aşınma deneyinde oda sıcaklığında yapılan deneye oranla ağırlık kaybının belirli bir artış göstermediği gözlemlenmiştir. Genel olarak 1.2367esr numunesinin nispeten daha az aşındığı, 1.2367'nin ise en fazla aşındığı gözlemlenmektedir.

Şekil 8'de incelenen numunelerin 60 Mesh zımpara üzerinde 50 N yük altında oda sıcaklığı ve 400°C'de aşınma hızlarının değişimi verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi oda sıcaklığına kıyasla 400°C de yapılan aşınma deneyleri sonrası aşınma hızında çok az artış gözlemlenmiştir. 400°C'de aşınma hızındaki artış 1.2367esr kalitede diğerlerine kıyasla biraz daha düşüktür.



Şekil 8. 50 N yük altında 60 mesh zımpara üzerinde aşınma hızının sıcaklıkla değişimi.

	Düşük Büyütme (500x)	Yüksek Büyütme (5000x)



Şekil 9. Yüksek sıcaklıkta (400 °C) 60 Mesh 50 N yük altında yapılan aşınma yüzeylerinin yüksek büyütme (3.00 K X) SEM görüntüleri.

Şekil 9'da İncelenen aşınma numunelerinin 60 mesh zımpara üzerinde 50 N yük altında gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucu oluşan aşınma yüzeylerinden alınan düşük ve yüksek büyütme SEM görüntüleri incelenmiştir. Görüntülerde yüksek sıcaklık aşınmasında daha derin yivlerin oluştuğu ve bununla birlikte abrasif aşındırıcı partiküllerinin yüzeye daha fazla batarak kaldığı gözlemlenmiştir. Yüksek sıcaklık aşınma hızının oda sıcaklığı aşınma hızına yakın yakın olmasının nedeni buna dayandırılabilir.

#### D. Haddehane Bıçak Performans Sonuçları

Laboratuvar ortamında incelenen bıçak malzemelerinin gerçek koşullardaki performansını incelemek ve laboratuvar ortamındaki sonuçlar ile kıyaslamak için haddehane testleri yapılmıştır. Bu test esnasında Haddehanelerde olağan olarak yaşanmakta olan mal ve çekilen boyuttaki ani değişimler, zamansız duruşlar vb. diğer faktörlerin hiçbirisi minimize edilmeyerek tamamen gerçek koşullardaki çalışma performansı incelenmiştir. Dolayısıyla 1.2367 malzemenin yapılan bıçak ile ince grup olarak da adlandırılan 17, 20, 22, 25 mm çaplarındaki st37-2 kalite çubuk ve ağırlıklı olarak da DIN 1.1040 kalite çubuk mamul kesilmiştir. 1.2344 kalite bıçak ile 40 ve 50 mm çaplarında st37-2 ve DIN 1.1040 kalite mamul kesilirken 1.2367esr kalite bıçak ile 20, 25, 30mm çaplarında mamul ve

30, 36 ve 38 mm boyutlarında altıköşe şekilli DIN 1.1040 ve st52-2 kalite mamul kesilmiştir. Bıçak performansı; çekilen malın sertliği, çap ölçüsü ve bıçak sertliğine göre değişmektedir. Bu durumda 1.2367 esr kalite bıçak daha güç servis koşullarında denenmek zorunda kalmıştır. Üç malzemenin üretilmiş bıçakların performansı (Kesim başına aşınma miktarı (mm/kesim sayısı) Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3'e göre gerçek uygulamada daha güç koşullarda kullanılmasına rağmen 1.2367esr çeliği en düşük aşınma vermiştir. 1.2367 çeliğinin performansı, 1.2344'den çok daha iyidir. Bu sonuçlar yüksek sıcaklık aşınma deneyi sonuçları (Şekil 8) ile oldukça uyumludur.

Tablo 3. Gerçek uygulama koşullarında 3 takım çeliğinin kesim başına aşınma miktarı

Malzeme Kalitesi	Kesim Başına Aşınma Miktarı (mm/kesim sayısı)
1.2344	0,00041
1.2367	0,00025
1.2367esr	0,00013

#### IV. SONUÇLAR

Belirlenen menevişleme diagramından yararlanarak optimum ısı işlem uygulanmış DIN 1.2344, 1.2367 ve 1.2367esr kalite sıcak iş takım çeliklerinin mikroyapısına, mekanik özelliklerine, abrasiv aşınma davranışının incelenmesi amacıyla gerçekleştirilen bu çalışmada elde edilen genel sonuçlar aşağıda listelenmiştir.

-Çizilen menevişleme diagramından 1.2344' kalite takım çeliğinin 450°C'de ikincil sertlik gösterdiği, 1.2367 ve 1.2367esr'nin ise 550°C'de ikincil sertlik göstermiştir.

-Oda sıcaklığında yapılan abrasiv aşınma deneylerinde incelenen tüm yüklerde ve ince/kaba zımparalar üzerinde incelenen sıcak iş takım çelikleri birbirine yakın aşınma davranışı sergilemişlerdir. 400°C'de yapılan 50 N ve 60 mesh zımpara üzerinde abrasiv aşınma deneyinde ise 1.2367esr malzemenin aşınma hızının, 1.2367 malzemeye kıyasla %15 daha az olduğu ölçülmüştür.

-Oda sıcaklığı ve 400°C'de yapılan aşınma deneylerinden sonra aşınma yüzeyinden alınan SEM görüntüleri incelendiğinde yüzeyde yiv oluşumu, zımpara üzerinden aşınma yüzeyine kopan gritlerin batmış olduğu, çizilme sırasında yanlara plastik akışın meydana geldiği gözlemlenmiştir.

-Haddehanede uçar makas olarak kullanım performanslarının ölçümüne göre en düşük kesim başına aşınma miktarı 1.2367esr için elde edilirken en yüksek aşınma miktarı 1.2344 çeliği için elde edilmiştir. Bu sonuçlar 1.2367esr ve 1.2367 sıcak takım iş çeliklerinin 1.2344 sıcak takım iş çeliğine iyi birer alternatif olabileceğini göstermiştir.

#### KAYNAKLAR

[1] İnternet: Kocaeli Üniversitesi, "Ders Notları", <http://metalurji.kocaeli.edu.tr/files/DersNotlari/mmt422-02.pdf> (2016).

[2] Koçak, H., "Takım Çelikleri El Kitabı", Bolokur Yayınevi, İstanbul, 76-86 (2012).

[3] Fuchs, K., "Influence of heat treatment parameters on the properties of common hot-work tool steels", Deutsche Edelstahlwerke GmbH, 42-43 (2006).

[4] Polat, Ş., Atapek Ş. H., ve Topaç, H. "Gaz nitrasyon ile yüzeyleri sertleştirilmiş AISI 4140 ve DIN 1.2344 çeliklerinde mikroyapısal karakterizasyon", 6 th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), Elazığ, 56-58 (2011).

[5] Naimi, S. and Hosseini, S. M. "Tool steels in die-casting utilization and increased mold life", Advances in Mechanical Engineering, 2-22 (2014).

[6] Aydın, M., "Takım çelikleri üretiminde kullanılan ESR yönteminin metalurjik karakterizasyonu", AYBİTAK, Çelik Teknolojileri Araştırma Departmanı, İstanbul, 1-8 (2016).



## Through-Process Optimization – Improved Production Efficiency and Quality by Digitalization

Jan Friedemann Plaul, Thomas Pfatschbacher, W. Oberaigner, Alfred Seyr

Primetals Tehnologies Austria GmbH • Austria

### INTRODUCTION

A key cornerstone for being successful in Steel and Metals Business is to achieve a highly efficient overall production process enabling the economical successful production of high quality products with high yield at competitive low costs. This can be pushed to higher levels by digitalization and sufficient know-how. Primetals Technologies has developed a pioneering solution for this – TPO, Through-Process Optimization. TPO combines the modern, highly functional digitalization IT System “TPQC – Through-Process Quality Control” with the digitalized know-how and experience of domain experts and AI algorithms.

TPO enables metals producers to control and optimize the production and product quality across the entire process chain, enabling real and seamless “Through-Process Optimization”. By collecting the right data with TPQC out of all automation systems, measurement systems, smart sensors and even from operators, data are transformed into valuable information, KPIs, decisions, advices and actions enabling a higher level of production and product quality. So TPO is a pioneering digitalization solution for making the next big steps towards a fully automated intelligent digital steel production. This paper explains the cornerstones and main elements of TPO, the background of the development, a view and outlook on the further potential and gives some examples of successful customer implementation. Additionally the paper discusses experiences and key success factors for a successful execution of a digitalization project, including cultural aspects.

### DIGITLIZATION OF OPERATIONAL KNOW-HOW

#### Point of departure

Steel producers globally face increasing technical and economic challenges. While commodity products are coming under pressure, requirements of the premium customers’, for example, on the quality of the surface and on the constancy of mechanical-technological properties of complex steel grades increase in all markets simultaneously. This leads to narrower process windows and requires a more rapid reaction to process imperfections. At the same time the number of product variants increases. But even for the so called commodity products the increasing cost pressure requests a fully optimized through-process production in order to stay competitive with these mass products.

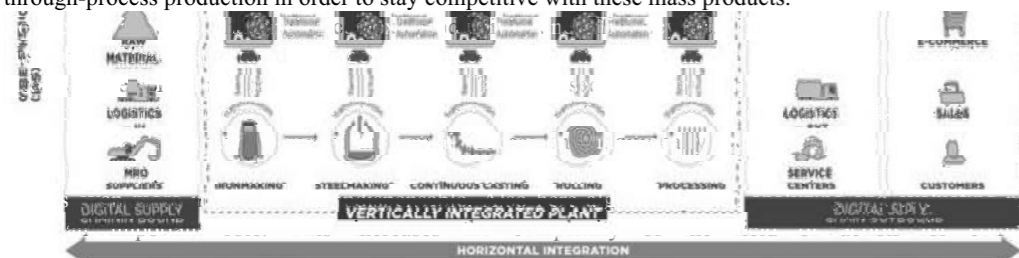


Figure 1. Risks and opportunities are close to each other and digitalization can be used effectively as a tool to lower uncertainty and to unlock additional value [10].

Requirements of companies and are encouraged by ISO 9001 etc. are interested in the and environmental thods [7] begin to nies additionally,

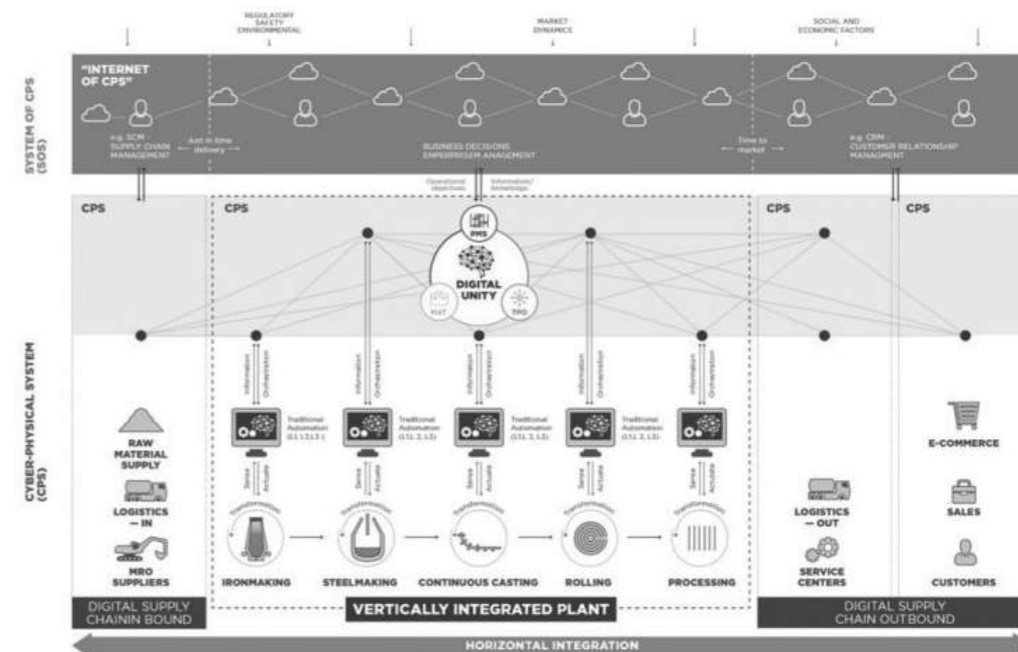


Figure 1 IT systems digitally represent the over-all metal business

#### IT systems start to map complete plants

Over many years, single production units in metals companies were intensively improved and their reliability has been increased. They were upgraded and modernized. Also new production plants and production technologies have been developed, e.g. for the production of new steel grades. Such state of the art plants comprise modern mechanical equipment and advanced automation systems, which nowadays integrate intuitively to-use HMIs, new and more powerful control techniques and modern metallurgical and technological (sub-) process models. Currently, the so called digital twin, which is an integrated cyber physical model of real world processes moves in the focus of attention, cf. [8].

This became possible, because in the last years the performance of computer power and data storage technology has continued to increase exponentially in accordance with Moor’s rule [1]. A weakening of Moor’s rule of thumb, although predicted, will be more than offset by recent developments in the area of algorithms which will make future calculations even more successful [6]. So for example physical based metallurgical models which had to be executed “offline” in the past can be executed in real time due to the increased processing power of the CPUs. The basis for all the capability of models is made not only by the mathematical approach that necessarily represents a simplified image of reality, but by data availability and data quality. Sensors and data acquisition are more or less the digital senses of a cyber physical model and therefore determining up to which level of processing and learning a computer model can come. This process is running fast but is still incomplete as Uhlemann et al. [5] note: “[...] the application of fully automated techniques [...] is not yet common practice. Deficits are to be observed in the course of the use of a fully automated data acquisition of the underlying process data, a key element of Industry 4.0, as well as the evaluation and quantification and analysis of the gathered data.”

Therefore and starting from "Veracity", one the "four V's of Big Data", the authors attach not only great importance on the quality of the data itself, but also on increasing the "Volume" by means of advanced sensor systems to make data available which are hardly available today. In a highly digitalized plant it is crucial to be able to predict end-of-process parameters and to detect and explain process anomalies with an intelligent root cause analyzing tool. Based on automatic root-cause analysis compensational actions can be made directly by the IT-system to keep productivity at a high level. These IT systems have to combine expert driven calculation models and data interpretation which satisfy the necessity of logical correction algorithms of industrial data to avoid misleading predictions, cf. [9]. Undoubtedly, optimization of the parts can result in increased efficiency and better quality but there is no guarantee that it optimizes the whole automatically. Thanks to increased computational power the combination of formerly stand-alone simulation models, measured process and product data under the common roof of the so called "Digital Twin" has become possible. The combination of models allows a much better prediction of process behavior and product properties resulting thereof.

#### Digitalized Knowledge and Know-How Rules

W. E. Deming said: "There is no substitute for knowledge." In general, one can confirm that knowledge (science) always depends on theory and information (data) alone is not knowledge. It is necessary to combine a profound physical background

with modelling and simulation as well as with data science and finally with quality oriented, practical procedures and recommendations. The result will be digitalized operational know-how and digitalized practical experience, which can be made available in an intelligent way for a twenty-four-seven use.



Figure 2 Screenshot of Primetals Technologies' TPQC Through-Process Quality Control IT system

Therefore IT systems, Figure 2, where quality- and process-relevant production data from all production units are not only stored but can be combined, processed and evaluated automatically and where decisions are proposed and actions are triggered, offer great chances of improvement. The knowledge-based algorithm which is behind each proposal or action is called a "Rule". Rules represent well-proven digital procedures and instructions and build a central place of operating know-how. A central rule system is therefore a core element of a Through-Process Know-How system.

### THROUGH-PROCESS OPTIMIZATION (TPO) AND DIGITALIZATION

One main lever of efficiency and quality is an optimization process which covers a total plant comprehensively. One precondition for a deep and successful understanding of the interdependence of the different process steps following each other is data acquisition and data interpretation. Well beware of the conclusion: „Stored data does not generate business value” [3] the authors want to propose a knowledge based tool-box called Through-Process Optimization (TPO) which consists of two main parts

1. A new, intelligent Through-Process Quality Control (TPQC) IT system and
2. The Through-Process Know-How (TPKH) packages

The reason why two parts were put together is the fact that: “The transformation of data into knowledge is by no means an easy task for high performance large-scale data processing, including exploiting parallelism of current and upcoming computer architectures for data mining. Moreover, these data may involve uncertainty in many different forms.” [2].

#### Digital Genes - Human Brains: The expert's role in TPO

Experienced experts in metals industry are a key success factor for successful metals producers. Already today these specialists are able to highlight, to discuss and to interpret even the most complex interconnections which are decisive to competitiveness and success. In future additional qualification will be needed to transform human knowledge into computable algorithms and formula. Human expertise which turns knowledge into useful, permanently available and digitalized know-how is the basis for enabling next generation intelligent digitalization systems. For the implementation of such IT-systems and in order to resolve specific problems, additional support by domain experts can contribute to fast acceptance and pay off.

In exactly this well balanced combination of modern machinery, high end computerized data processing, artificial intelligence and internal and external experts, like operators, quality engineers, product development scientists there the authors look for the reason why a handful of leading steel producers are able to sail nearer the wind.

Expert services and IT-solutions have to work closely related to the PDCA (PDSA) cycle, **Error! Reference source not found..** While TPO creates something to the effect of a larger outer cycle or of a superordinate optimization process, it is the easiness of data access within the IT-solution in combination with human expertise which enables target-oriented and efficient working. Of course, there can be several optimization cycles running simultaneously or sequentially.

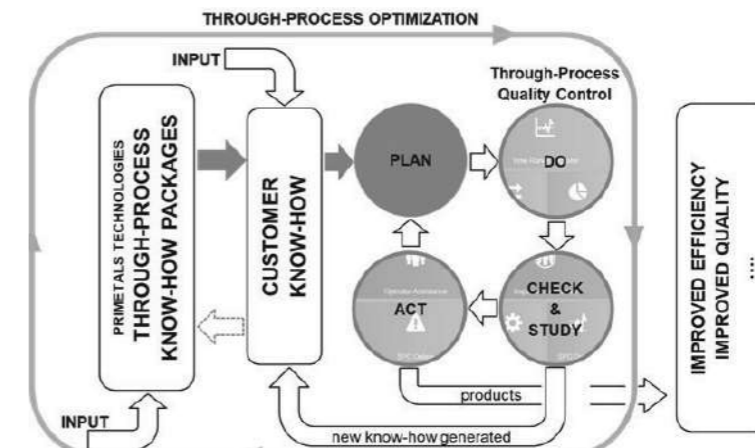


Figure 3 Through-Process Optimization and the PDCA-Cycle

In accordance with QM-standards unusual process or quality deviations or alarms will trigger a so called root cause analysis. Following the classical approach a team of experts will gather information and combine their knowledge in a structured way using methods like 5W or Ishikawa-diagrams. These very useful but more or less still paper based methods can be very time consuming and every team of experts occupied with these tasks will highly appreciate support.

Thanks to comprehensive data and digitalized procedures mapped within TPQC's rule editor the modern approach allows to analyze a situation automatically and to deliver relevant information. The result is a fast and highly computerized root-cause analysis of high quality which additionally proposes or even activates model based corrective or compensational actions to counteract the deviation.

#### Key aspects of implementing know-how based digitalization systems

In the case of implementing know-how based digitalization systems one has to consider not only technical issues but also cultural and human factors. Digitalization can cause disturbance and unsettledness. It is especially the group of mill experts, quality engineers and technicians whose role might change in the socio-cultural environment of a production team.

First of all, digitalized systems will increase transparency tremendously and the felt or real competition among persons, teams, shifts etc. becomes obvious. Automatically and permanently updated, real-time KPIs and SPCs and other forms of compressed information can raise a human's stress level if this information is used as a human's performance indicator solely. This might lead to a situation of non-usage or of non-accepting where people magnify even the smallest shortcomings of a new system. If such a situation occurs or to which kind of degree it will occur mainly depends on the quality of working culture and on the personal attitude to innovation. The supportive mill management's paradigm for digitalization plays a vital role how well digitalized systems contribute to the success of a company.

Secondly, the implementation of an intelligent system might in some cases create a kind of aloofness or unwillingness among mill experts who fear to render their knowledge to a computerized system because it is regarded as a decrease of the expert's standing within the team. In contradiction, these systems are a personal enrichment because digitalized systems can help experts to be more informed and offer a good chance to increase the probability of making correct decisions. Thus, the role of an expert who transparently leans on reliable data, methods and mathematical algorithms and whose analyses and decisions are highly correct is strengthened.

#### Through-Process Quality Control

Within the system an information-rich genealogy of each individual product that is processed [cf 11], and makes it possible to retrieve process data of all production steps for every part of the product. This allows users to track quality issues in very little time and analyze them by reviewing process data for all relevant production steps, which is the key for fast

troubleshooting and claim management. Figure 4 shows the TPQC System embedded into the automation and IT-environment and can cover the whole process chain; Figure 5.

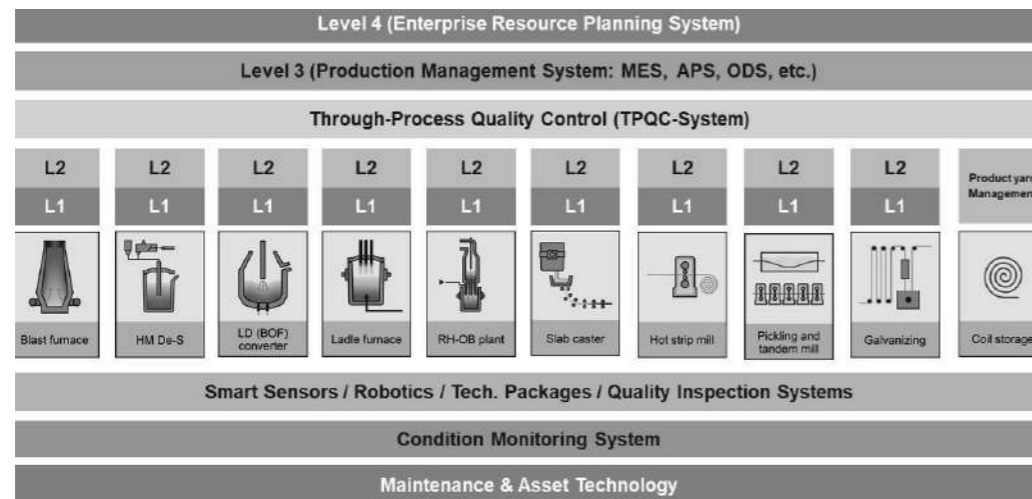


Figure 4 Integration of TPQC with Automation and IT-Systems

The essential functionality is to ensure desired product properties and increase quality levels by monitoring all quality-relevant process parameters along the full production route at defined quality gates. In addition to pure process data, which is collected from various processing unit, the genealogy information interconnects this data across all involved processing unit. I.e., the genealogy, Figure 5, keeps track about elongation factors, head/tail changes, upside/down-changes as well as cutting and welding operations that are possible between different processing units of the production chain.

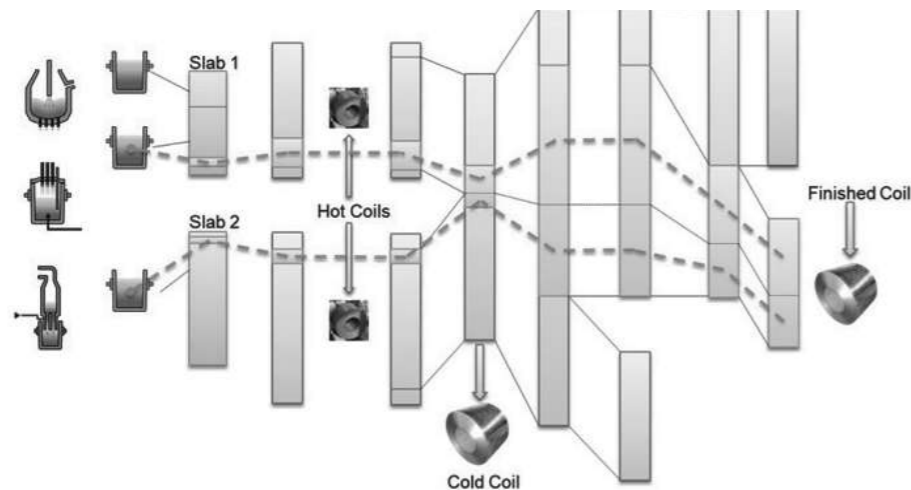


Figure 5 Genealogy based data tracking across multiple processing units

#### Quality Control System Functionality

Quality conformance checks are carried out by means of a specific rule system using production data. The results will be shown to operators and quality engineers, respectively, depending on the kind of quality issue and location in the plant. By means of the rule editor TPQC offers a flexible way for quality checks, which paves the way for future adaptations and extensions without having to change any part of the system's source code. Figure 6 shows the principle of this process / quality checking. A green traffic light indicates all values (of a production unit) are inside the specified bounds. A yellow light expresses the presence of minor problems, requiring some further checks. A red light indicates more serious issues which in most cases need a more complex remedial action and a final decision plan. What can be defined as minor and major has to be developed from the process experience and must be finally specified as expert rules, again an example of digitalization of know-how.

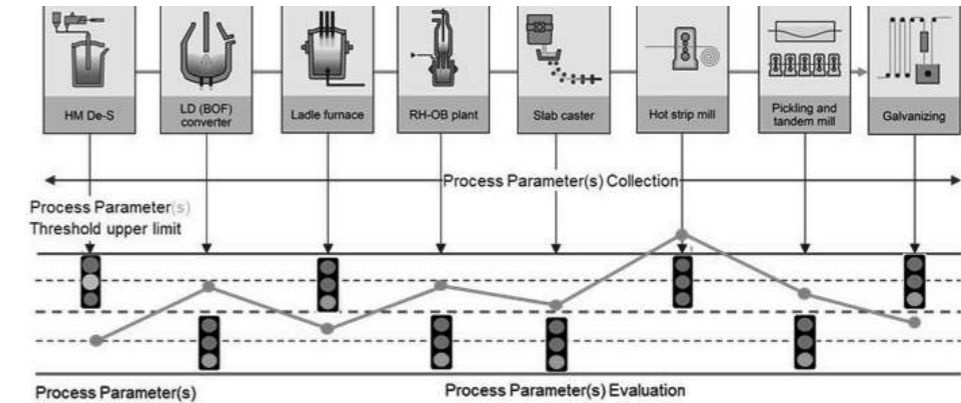


Figure 6 Quality-control functions along the production route.

Red lights will trigger corrective or compensational actions.

#### Deviation and Root-cause analysis

Root-cause analysis (RCA) is a mandatory, method-based and structured way of problem solving used for identifying the real causes of faults or problems. TPQC provides a dynamic root cause approach, Figure 7:

1. In case of a detected deviation, a list of highly probable root-causes is shown to the operators or quality engineers depending on the plant location and organizational responsibility. People who are in charge of deviation management can be informed automatically which possible root causes can be excluded because of non-anomalous measurements.
2. Each root-cause comes with a specific description for root-cause verification, in order to eventually remove any doubt in cases in which more than just one root-cause might be possible.
3. After identification of the actual root-cause, the responsible person places a check-mark and thereby confirms the root-cause for the given quality deviation.
4. The system keeps track of the root-causes for any detected quality deviation and calculates a root-cause statistic.

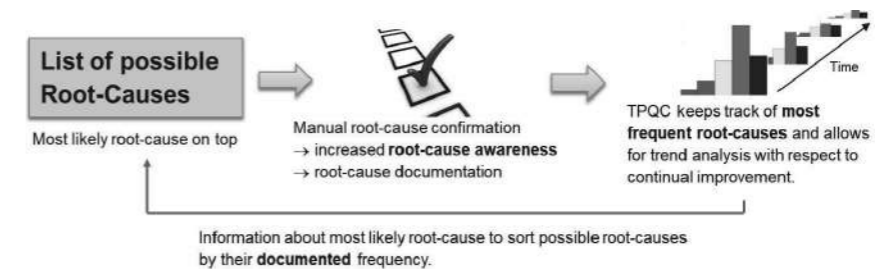


Figure 7 Dynamic Root-Cause Analysis Support

In addition, a root-cause statistic can be calculated for an arbitrary time period and thereby enables the calculation of trends over time. Hence, the root-cause statistic feature is a valuable aid to provide convincing evidence on the effectiveness of the quality management with respect to continual improvements. In particular, it is a useful tool for the plant manager, enabling a strict monitoring of deviation frequencies, in order to identify the most frequent and most costly deviations. These identified deviations may then be addressed by additional problem solving methods and corrective actions, if adequate.

#### Corrective and compensational actions

A corrective action can be defined as a set of actions to eliminate the cause of a quality deviation under specific conditions. Unfortunately, the production environment is subject to a large number of influences like any kind of external disturbances, raw material unknowns as well as the human factor and other non-deterministic events. Hence, it is seldom possible to eliminate the cause of a quality issue permanently. For this reason, the definition of corrective action has to be broadened in so far as a certain corrective action for a given root-cause may eliminate a quality deviation absolutely and permanently only under the specific condition that applied previously, although not all of them can be determined or measured and archived.

A compensational action is defined as an action to repair an already affected semi-finished product, e.g. by cutting out defective sections from a strip or by means of surface scarfing of a slab as indicated in the example below etc. Because of the fact that the system provides guidance to operators and quality engineers, the tool can also be seen as a learning tool in that

regard. It is a fact that people who are actively involved in root-cause analysis for some time will become more aware regarding quality related influences, which allow them to take preventive measures even before a quality related incident happens, that is without having to wait for root-cause suggestions at any rate and for any incident, respectively. Thus, TPQC can be used as a pure conformance tool for quality checks and root-cause analysis support, but the real benefit of this system is realized when it is also used as a continual learning tool in order to improve the skill level of operators and quality engineers. The next easy example in Figure 8 deals with quality issues in the melt-shop.

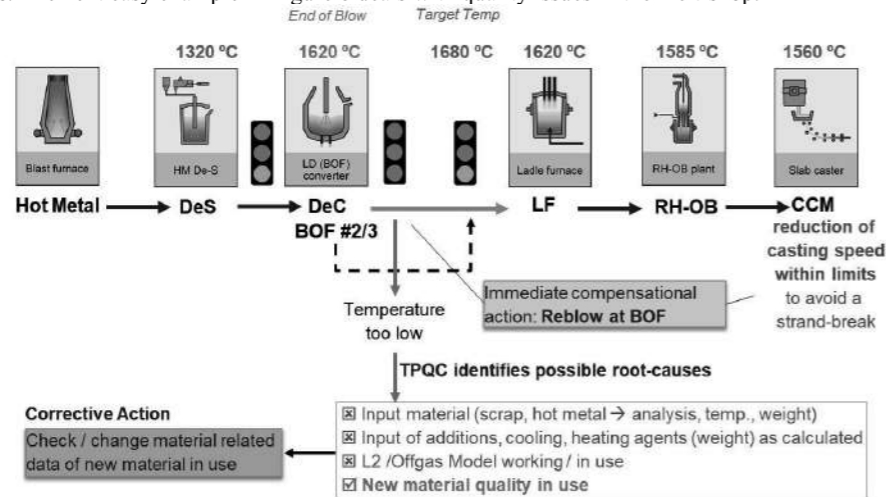


Figure 8 Root-cause analysis within the melt-shop

Figure 8 illustrates the example of a produced heat, which is planned to arrive subsequently at a continuous casting machine. At the end of the BOF process, the L2 system indicates a temperature of the liquid steel that violates the grade specific requirements. In this case, TPQC evaluates the temperature by means of process specific rules and records a quality issue. In addition, the TPQC system immediately suggests a re-blow at the BOF and if this is confirmed by the operator, a message is sent to the operator at the continuous casting machine to reduce the casting speed. By reducing the casting speed, TPQC tries to compensate for the additional processing time caused by the re-blow at the BOF, which otherwise would increase the risk of a sequence break or slab quality issues.

In addition, the system indicates again a list of likely root causes for this problem. In the example case, a new material had been used for the material additions. I.e., the operators had not managed to update the L2 data base with the new material data in time, which led to an inaccurate calculation of the L2 model for the BOF process and finally caused the temperature deviation.

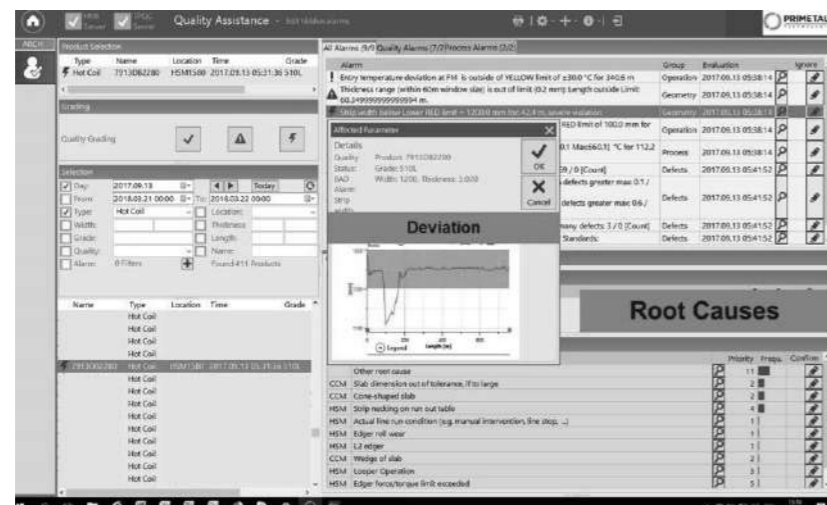


Figure 9 Root-cause analysis support as part of quality assistance

Figure 9 shows a screenshot of how TPQC indicates root-causes for recorded quality issues to quality engineers. The list on the left hand side of the screen shows all semi-finished products for a given day (in this case filtered for heats). The selection of a heat with recorded quality issues (indicated by the call sign) shows all recorded quality alarms/issues. In this case there are two quality alarms. By selecting a quality alarm, the instructions for verification as well as root causes are shown in the text window at the bottom of the screen.

Even though the given example shows a root-cause analysis for a single process unit, this kind of root-cause analysis is not restricted to single processes or plant areas (melt-shop, hot strip mill, cold mill etc.). By means of carefully specified rules for root-cause analysis, TPQC can also indicate root-causes across process or plant boundaries. In this way, the system supports through-process root-cause analysis, which is especially useful in case of certain surface defects that can be tracked back to the liquid phase. Surface defect rules as well as surface grading will be treated below.

**Automatic product grading**

TPQC incorporates a rule-based module for coil-grading. The coil-grading module pre-processes e.g. surface defect maps, Figure 10. Afterwards, the grading-module performs an in-depth evaluation of the defect map, in order to determine instantly whether a coil surface quality matches the pre-defined requirements of the end-customer, and what action to take if this is not the case.

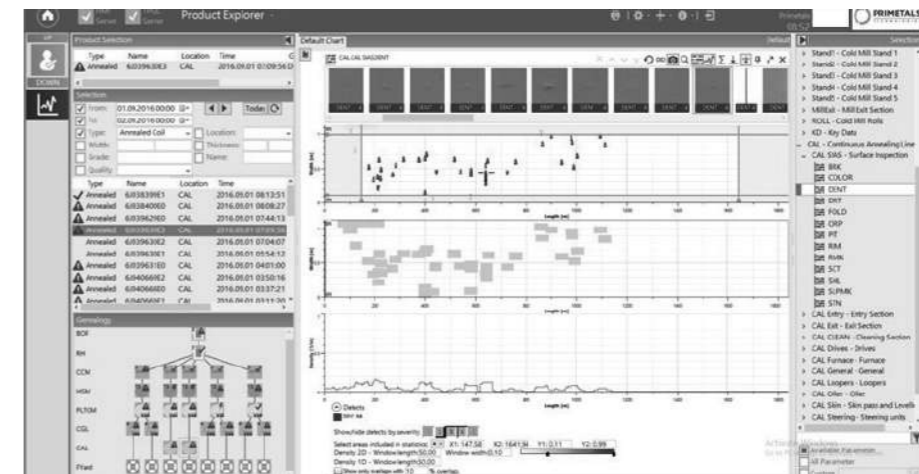


Figure 10 Various surface defects scattered across a hot rolled coil

**Key Performance Indicator evaluation and visualization**

The centralized collection of data enables the generation of key performance indicators (KPIs), which convey information about technical and business-related achievements and illustrate what progress has been made, Figure 11. TPQC implements various types of graphical human-machine interfaces to support staff members from the quality and production departments, as well as top-management executives, in monitoring and benchmarking production conditions with respect to specific targets that are in alignment with the KPIs.

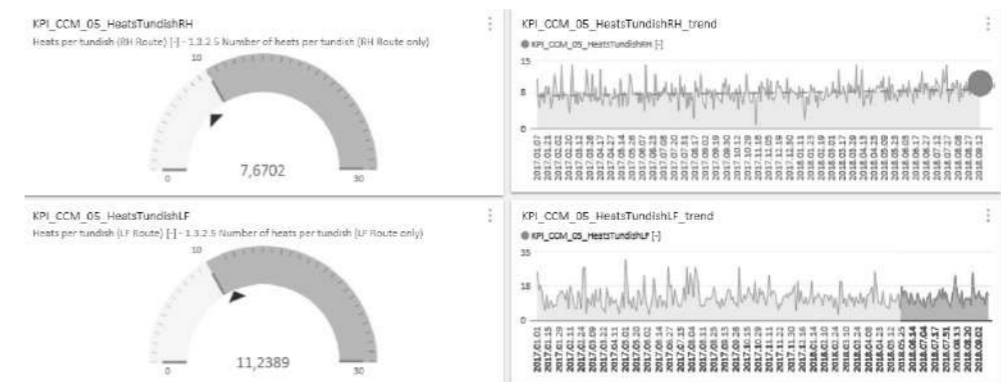


Figure 11 KPI Visualization

**Statistic-process control (SPC)**

SPC is a reliable and proven tool to provide statistical evidence that a production process stays within its predefined operational range and therefore behaves in a controlled way, Figure 12. There are significant advantages of having this statistical process control applied to quality assurance processes, since sooner or later statistical significant deviations of process values will have an impact on the product quality. In general, SPC aims on sampling data which is meant to be stable over a long period of time in order to allow for a reliable detection of undesired process dynamic. TPQC can follow up single process criteria but also combined calculated performance indicators and KPIs, and offers SPC charts for selectable material/product related measurements or process data.

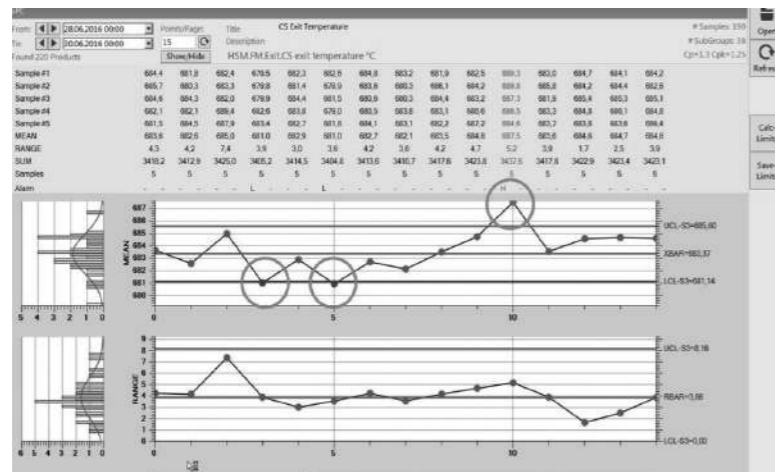


Figure 12 Typical SPC Diagram

**Machine learning capabilities**

The extraordinary large amount of structured data in the TPQC system is perfectly suited for analysis with data mining and machine learning algorithms. A direct interface is offered to transfer data to state of the art data mining platforms. All acquired data is automatically assigned to the correct products along the process chain (steel making heat, slab, hot rolled strip, cold rolled strip, galvanized strip) by the genealogy function in the TPQC. Data mining and machine learning in combination with TPQC have following benefits:

1. Fast analysis for data quality and potential problems of measurements, manual inputs, etc.
2. Quick analysis of multi-variate problems e.g. variation of mechanical properties by visualizing the raw data from TPQC
3. Root cause analysis of problems using through-process data and applying advanced data mining methods
4. Predictions using machine learning methods for end of line properties of products or process stability

Closing the loop by creating new rules, KPIs or SPC charts in TPQC can be based on the data mining results, Figure 13. The data mining functionality of TPQC supports quality and process engineers in optimizing the product quality and stabilizing the production process. It is an extremely useful tool to increase the productivity of technologists and engineers throughout the process chain.

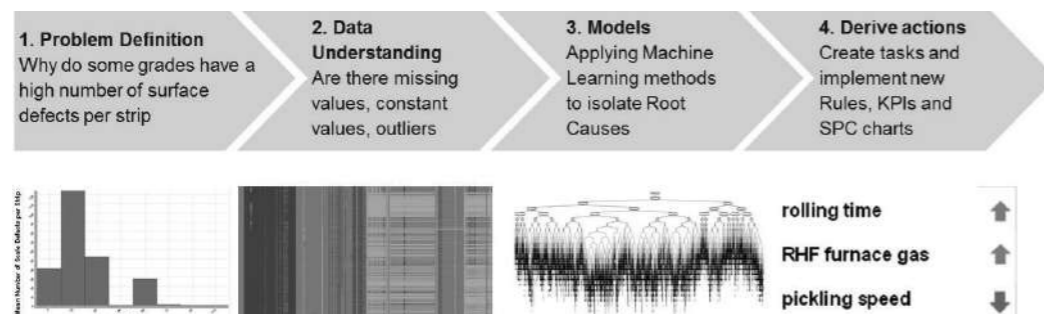


Figure 13 Example for data mining project and definition of actions

**CONCLUSIONS**

This paper presents how the coaction of digitalization and human expertise results in a deeper overall process understanding and how this coaction can be supported by a "Through-Process Optimization" digital solution. The holistic approach, considering technical as well as socio-cultural aspects and the combination of metallurgical and operational know-how with an intelligent IT-system allows steel producers to improve their overall efficiency, achieving higher levels of quality and developing and maintain their know-how basis.

**REFERENCES**

1. Manfred Broy: *Big Data Fluch oder Segen*, Technische Universität München, Institut für Informatik, Ringvorlesung, 2018
2. D. P. Acharjya, A. P. Kausar, *A Survey on Big Data Analytics: Challenges, Open Research Issues and Tools*, (IJACSA) International Journal of Advanced Computer Science and Applications, Vol. 7, No. 2, 2016
3. H. J. Watson, *Tutorial: Big Data Analytics: Concepts, Technologies, and Applications*, Communications of the Association for Information Systems: Vol. 34, Article 65, 2014, Available at: <http://aisel.aisnet.org/cais/vol34/iss1/65>
4. E. Auschitzky et al., *How big data can improve manufacturing*, McKinsey&Company, 2014
5. Th. Uhlemann et al., *The Digital Twin: Realizing the Cyber-Physical Production System for Industry 4.0*, The 24th CIRP Conference on Life Cycle Engineering, Procedia CIRP 61 (2017) 335 – 340
6. P. Schuster, *The end of Moore's law. Living without an exponential increase in the efficiency of computational facilities*; Complexity, 2016
7. J. Quan et al., *Green Supplier Selection for Process Industries Using Weighted Grey Incidence Decision Model*; Complexity, 2018
8. W. Kritzinger et al., *Digital Twin in manufacturing: A categorical literature review and classification*, IFAC PapersOnLine 51-11 (2018) 1016–1022
9. S. Wu et al., *High Dimensional Data-driven Optimal Design for Hot Strip Rolling of C-Mn Steels*, ISIJ International, Vol. 57 (2017), No. 7, pp. 1213–1220
10. World Economic Forum in collaboration with Accenture, *Digital Transformation Initiative: Mining and Metals Industry*; White Paper, 2017 Available at: <http://reports.weforum.org/digital-transformation/wp-content/blogs.dir/94/mp/files/pages/files/wef-dti-mining-and-metals-white-paper.pdf>
11. J.F. Plaul et al., *Digitalisierung in der Stahlindustrie Chancen und Herausforderungen am Beispiel „Through-Process Optimization“*, ASK32, Tagungsband pp14-25, 2018

## Smart Maintenance Concept via Mechatronic Checker Products for Casters

Claudia Hemmelmeir, Serkan Özdemir

Primetals Tehnologies Austria GmbH • Austria

### Abstract

With worldwide experience and many installations Primetals Technologies is world market leader for mechatronic products for checking the most critical parts of casters.

Original products from Primetals Technologies are the culmination of several years' experience in engineering, design, manufacturing, operations, and maintenance. Our sophisticated testing procedures enable us to offer instantly deployable solutions, deliverable quickly, anywhere in the world.

In this respect, our aim is to set up the most modern mechatronic products available on the market. It will allow for more control at the hearth of casters. Based on state-of-the-art control philosophies like perfect oscillation, perfect alignment & gaps of strands and perfect mold surface are the main focus.

### Introduction

This paper describes the features of the checker products for casters and operational experience of the products. Our focus is on the practical aspects of plant status monitoring, reporting, and functionality as well as the improvements achieved.

Crystallization zone is the hearth of the casters and if you can maintain and monitor these critical areas it gives you chance to match optimization of higher quality, less maintenance and long life time.

Mold surface, oscillation conditions (for billet/bloom/slab casters) and segment alignments & gaps (for slab casters) are the key effects to product quality. With the products which given in detail as following pages, our customers are increasing the life times of molds, arranging and controlling required oscillation conditions and after installing the segments to the caster, they are checking whole strand alignment & gap for effective production.

### 1. Oscillation Checker for Perfect Casting Products

Knowledge of oscillation movement of a casting mold provides plant operators with important information about the surface quality to be expected. Additionally, this gives information about the maintenance condition of the oscillator.



Fig.1: Wireless oscillation sensor

The portable OsciChecker Wireless records and displays the movement of the mold in all three spatial directions. With an OsciChecker Wireless consisting of more than one measurement sensors, the rotation and phase shift can be measured too. The operator can check the mechanical condition of the entire oscillating equipment by means of evaluated data (bearing clearance, etc.).

The system comprises up to four sensors and battery-powered measurement PC (Notebook PC). For each of the three axes capacity acceleration sensors are used. The evaluation software calculates the movements out of the acceleration signals. The displayed values are updated every second, so changes can be viewed in real-time. A rigid body check monitors the measurement procedure and informs of incorrect handling.

The system is also available as a fixed installed version, this version is called OsciMon. Using the same technique and electronics, the OsciMon measures permanently the mechanical condition of the oscillator and can give an

alarm if the movement does not comply with given set points.

### Advantages of the device

- Reduction of breakout risk
  - Help to detect source for surface defects
  - Early detection of problems in mold guidance
  - Simple check of the real stroke of the oscillator
  - Easy handling, no cable tangle
  - Variable measurement points
  - Movement is visible in real-time
  - Can be used for straight and curved oscillations
  - Measures and evaluates sinusoidal and non-sinusoidal oscillation
  - Saving of measurement data with only one mouse click for later analysis
  - Report generation
  - Phase shift between several measurement points\*
  - Rigid body check monitors measurement procedure\*
  - Fix installed version with alarm system available
- \* only available for measurements with more than 1 sensor

### Principle of measurement

The OsciChecker Wireless picks up mold movement spatially by capacitive acceleration sensors. For measuring, the sensors are placed on the mold, x pointing in casting direction and z in stroke direction as shown in Figure 2. Data of all 3 dimensions is collected simultaneously.

Fig.2: Principle of measurement with 4 measurement sensors

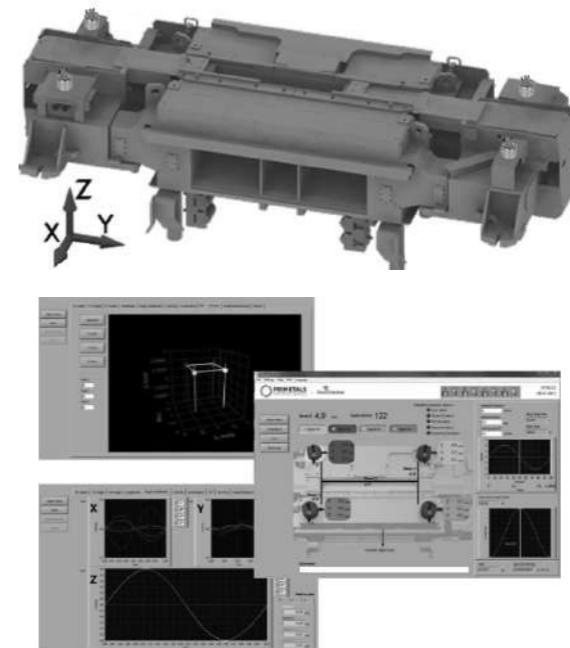
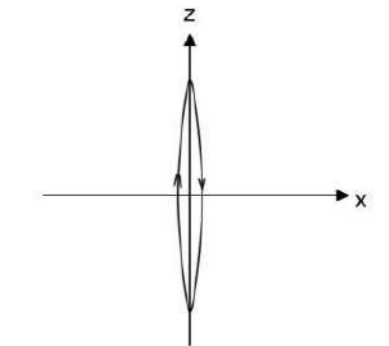


Fig.3: Online measurement screens

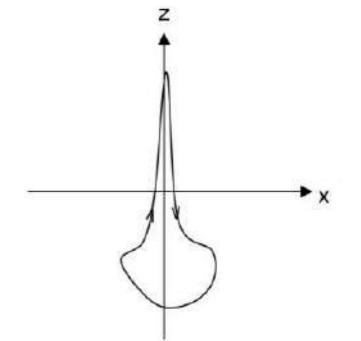
During measurement the movement of the mold is shown and numerical values for oscillation frequency and strokes in all 3 dimensions are displayed.

The oscillations are represented graphically in the X-Z, Y-Z and X-Y planes. These graphs facilitate localization and elimination of defects in oscillation equipment.

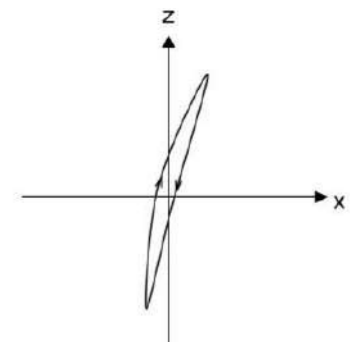
Fig.3: following graphs show different types of oscillations



Normal oscillation (in z-axis only)

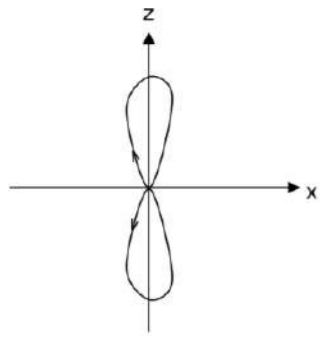


Clearance in the bottom dead center of the mold



Curved oscillation (in x-/z-axis)





Tumbling of mold

### Measuring

Measurement equipment consists of:

- Up to four (4) measuring sensors,
- Calibration plate
- Measurement PC
- Data acquisition and evaluation program
- Protection case conducted as trolley for easy handling

### Data Acquisition

Mold accelerations are recorded by means of capacitive acceleration sensors in the three spatial directions.

The intelligent software is able to compensate an inclination of the measurement sensors up to 2 degrees automatically.

A calibration plate, which is in the standard scope of supply, makes calibration of the OsciChecker Wireless easily possible and calibration can be done anywhere.

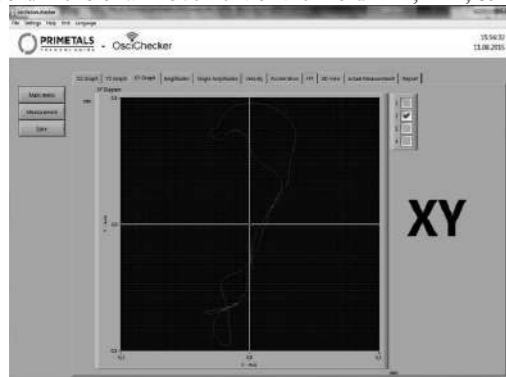
Since the OsciChecker Wireless calibrates the acceleration sensors on the earth's gravity, a perfect trustworthy reference is given.

### Data Evaluation

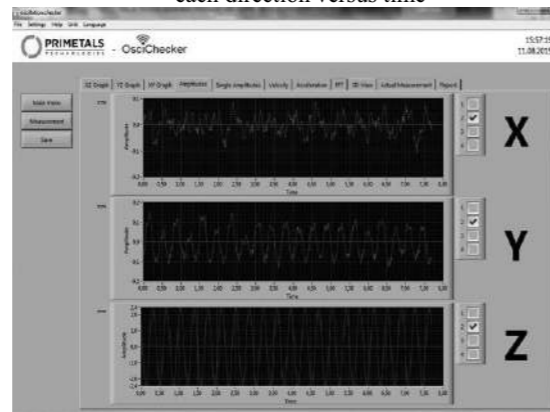
Data can be evaluated immediately during measurement or offline from stored measurements.

The evaluation program can be installed on different PCs.

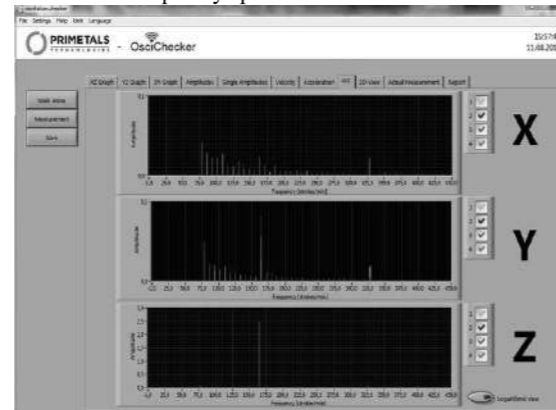
Two-dimensional movement of the mold Z-X, Z-Y, & X-Y



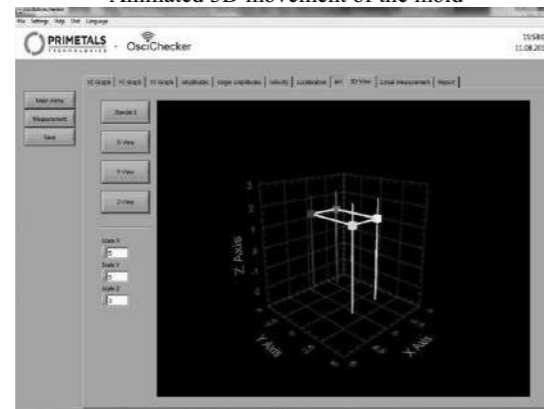
Graphical display of amplitude / velocity / acceleration in each direction versus time



Frequency spectrum of movements

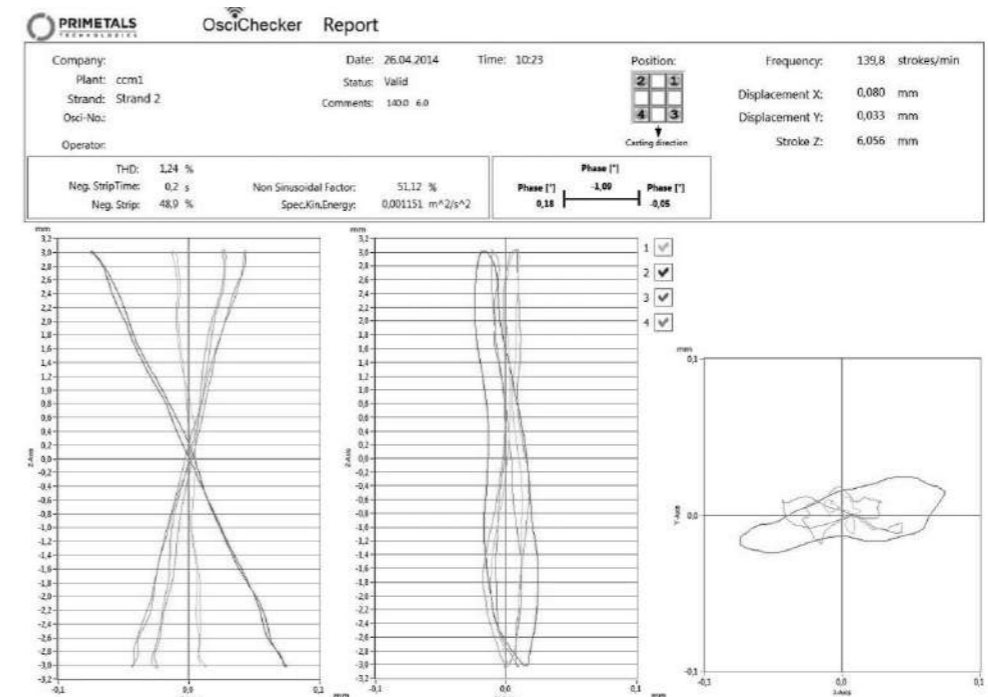


Animated 3D movement of the mold



Additionally reports of the measurements can be generated easily.

Complete reports of the measurement can be sent to a printer or saved to a file.



### Technical Data

#### Acceleration Sensor

Measuring range	± 30 m/s <sup>2</sup> (~ 3g)
Temperature Range	-20°C to +70°C (-4 °F to +158 °F)
<b>Dimensions:</b>	
Diameter	100 mm (3,92 in)
Height (cylinder / with antennas)	75 mm (2,95 in) / 115 mm (4,52 in)
Weight	1,6 kg (3,53 lbs)
Magnet power	Ca. 16 N
<b>Electric:</b>	
Battery type: voltage / capacity	Li-Ion: 3,7 V / ca. 2,5 Ah
Operating voltage / current	3 to 4 V / 0,2 A
Charging supply	typ. 5 V; ca. 0,5 A
Charging current / time	max. 4,2 V (internally) / max. 7 h
Display	2 LED's (Charging and Operation)
<b>Degree of protection:</b>	
OsciChecker Wireless Sensor	IP 54

#### Data Acquisition Unit (including Laptop)

Measuring and Evaluation Computer	Notebook HP ProBook 650
Operating system	Windows 7
Data Acquisition Program	OsciChecker 7.0
Measuring Range Amplitude	± 10 mm (± 0.39 in)
Measuring Range Frequency	60 - 600 strokes/min
Accuracy of Measurement	± 25µm vertical / ± 10µm horizontal
Accuracy of Measurement Frequency:	± 0,5 strokes/min
Temperature Range	+5 °C to +35 °C (40 °F to 95 °F)
Dimensions (measuring box):	approx. 250mm x 440mm x 220mm (9,84 in x 17,32 in x 8,66 in)
Weight (measuring box including 4 Sensors)	approx. 20 kg

## 2. Mold Checker for Longer Life Time & High Quality Surface and Heat Treatment

With the Mold Checker measuring device you acquire a high precision, high sophisticated quality product, designed by a renowned company.

The Mold Checker's newest laser technology makes you able to improve your quality, efficiency and production with one single device.

For the first time you will be able to measure the whole 3-dimensional contour of a new mold and estimate the lifetime of the mold. All results are documented and visualized in an easily interpretable form.

The Mold Checker measures not only along the axis, by measuring several layers the complete 3D structure of the mold is included in the measurement data and will be evaluated. So no blind spots with possibly missed scratches are left.

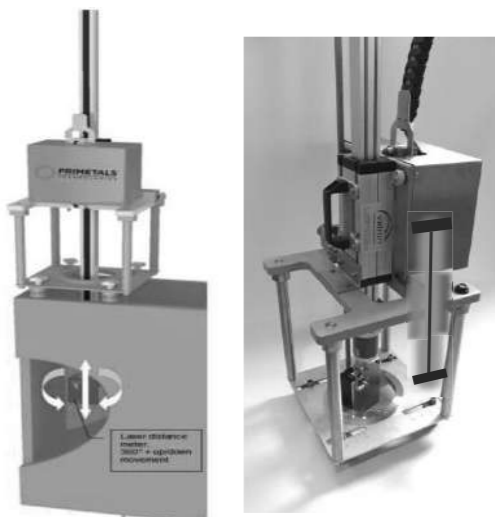
The advantages of a 3-dimensional measurement of the mold are:

- Wear at any part of mold can be observed with one eye catch
- Scratches are easily detected, no matter where in the mold they appear.
- The distribution of wear is evaluated.

The Mold Checker is your all-in-one measurement device which replaces:

- Taper meter
- Surface inspection system

The Mold Checker calculates all results from one measurement. After entering the identification parameters for the mold, the measurement procedure runs automatically. No interaction or supervision is needed.



### Function Description

The Mold Checker Slab measurement task:

- Measurement of the mold cross sections at different heights (cross section measurement).
- Measurement of a vertical line at the broad faces to detect horizontal scratches).

### Measurement Unit

The measuring unit includes the precision laser distance meter which is pivot-mounted, by using a slip ring endless rotation is possible. The linear unit moves the laser up and down the mold with a motor. The whole control system for the motors is also included in the measuring unit.

The newest Mold Checker Slab generation benefits from the advanced digital technology. By using only digital signals for measurement data, starting inside the precision laser distance meter and ending at the digital position encoder, analog noise and interferences are completely eliminated.



### Evaluation Unit

The evaluation unit includes a computer and the software necessary for control the measurement unit.

Both units are connected together by a standard RJ-45 cable.

### Design

The Mold Checker evaluation unit is given as a laptop. A lockable transport box on wheels suitable for the device and the laptop is also delivered so the whole measurement unit can be moved to different places.

Advantages:

- You can measure wherever you want, on different places in the maintenance shop or directly in the plant.

### Initialization

Due to the high resolution of the laser, laser adapter plates are used for different mold sizes.

The measurement program starts with a calibration measurement. During this measurement the exact mechanical position of the laser is evaluated by measuring the calibration ring. If another laser adapter plate has to be used, the Mold Checker Slab finds the new calibration parameters automatically.

Additionally, the casting direction and top of mold are determined during the initialization procedure. The whole initialization process is done within 15 seconds.

### Measurement

The linear unit stops the laser at user-defined depths of the mold and measures each section by rotating the laser. The sections to measure can be defined individually in steps of minimum 5mm.

Optimal performance is given by using small steps (e.g. 5 mm) in interesting regions (e.g. meniscus, bottom of mold) and bigger steps (e.g. 50 mm) in the regions in between.

A pendulum is used as a vertical reference, so the taper can be measured.

The measurement data is stored automatically, so analysis can be done at a later date.

To detect horizontal scratches the Mold Checker Slab makes vertical measurements of the broad faces.

In this way the depth and position of the scratch is evaluated.

### Foot Roll Measurement (Optional Feature)

The linear unit moves further down the mold to the foot rolls. By moving vertical, every foot roll is measured twice so the exact position relative to the mold can be ascertained. Optional, the Mold Checker can measure down to the first bender rolls, so you can gather information of the correct position of the mold in relation to the strand.

### Analysis

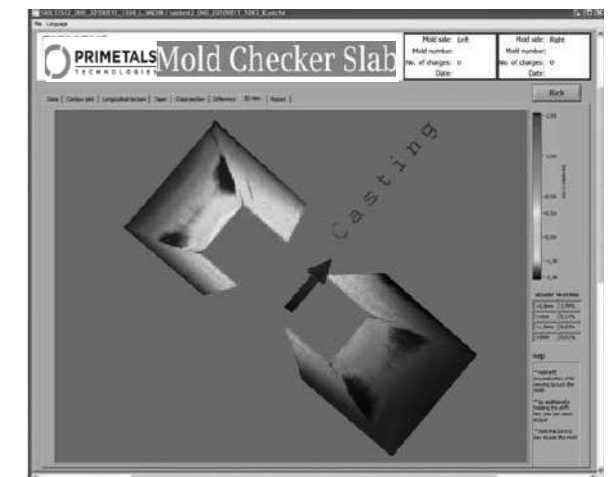
The measurement data is always compared to set points. Depending on the size of the measurement data, the analyzing routines need 5 to 10 seconds.

Please see following descriptions for a rough summary of the represented results.

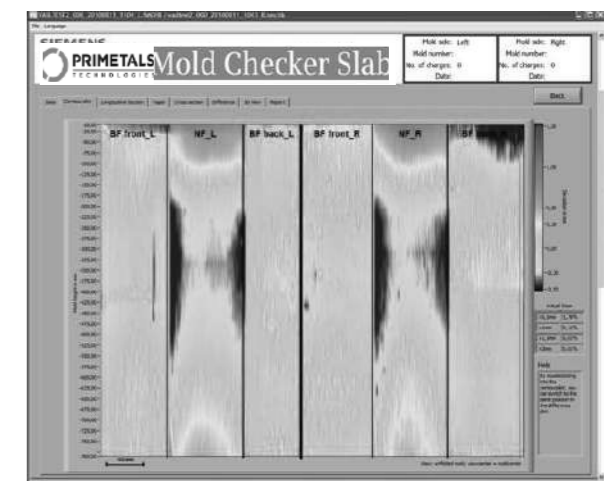
### 3D View

In the 3d view the inner contour of the mold is displayed in a false color view. The viewing angle can be changed easily by moving the mouse as it is done in a 3-d design program. The colors of the surface indicate the intensity of the deviation, red indicates high deviation and green indicates no deviation.

In the example view below, a typical measurement is displayed.



### Contour Part

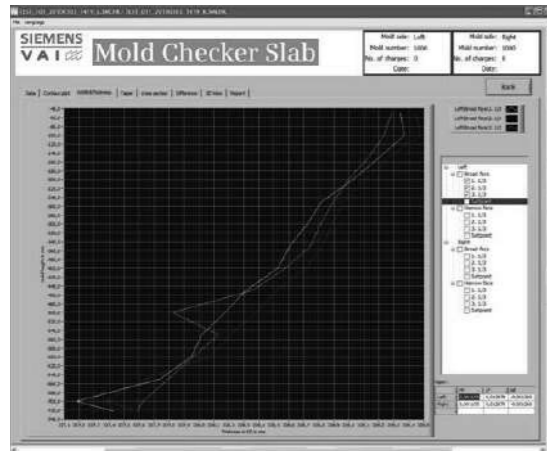


The figure above shows the contour plot of the unfold mold.

In this view, the complete deviation can be inspected with one eye catch. This represents the same data as the 3-D view does, but in a more technical, clearly represented manner.

### Width & Thickness

Because total cross sections of the mold have been measured, the taper of the mold can now be calculated for broad and narrow faces.



The picture above shows the taper of broad and narrow faces at 3 different vertical lines.

### Foot Roll Evaluation (optional)

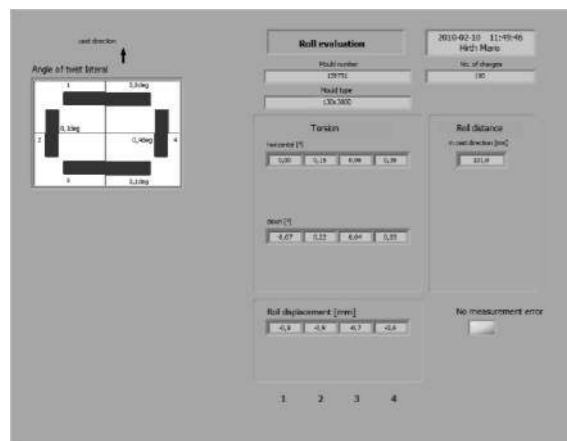
In this mode, the Mold Checker Slab evaluates every foot roll on 2 vertical lines to calculate foot roll position and foot roll angle.

In this way, 3 measurement results can be obtained:

- Distance between opposite foot rolls
- Alignment of foot rolls to shape of mold
- Inclination of foot rolls

It has been shown that the inclination of the foot rolls have influence on the position of maximum wear (asymmetric wear with inclined foot rolls) and the profile of the slabs.

Optional, the Mold Checker can measure down to the first bender rolls, so you can gather information of the correct position of the mold in relation to the strand.



So the Mold Checker Slab enables you to:

- save money
- increase slab quality
- keep up with today's top quality management

### Reports

For quality assurance an analysis report can be printed containing the following information:

- Contour plot of cross section measurement
- Subplots with taper measurement
- Numeric values for maximum wear, wear index (percentage of surface with wear higher than a certain limit).

### Laser

Laser Class	2 (not dangerous for the human eye)
Measurement range	120 mm
Resolution	7,4 $\mu\text{m}$
Linearity	$\leq \pm 0,02\%$ typ ( $\leq \pm 0,08\%$ max)
Measurement Freq.	1,25 kHz
Temperature stability	0,01%/K

### Other

Duration of measurement	Depends on number of cross sections that are measured (customized), typically < 5 minutes
Measuring time per cross section	5 to 10 s
Measurement points per cross section	~6000
Repeat accuracy	$\pm 0,08\text{mm}$
Operating temperature	10° to 35°C (PC), not condensing 0° to 50°C (electronics)
Storage temperature	-20° to 60°C

### Laser Distance Meter (optional)

Accuracy	$\pm 1\text{mm}$
Laser class	2
Data connection	Bluetooth class 2

### Benefits

-Product quality can be kept high by knowing the wear of the mold. (It has been proven that there is a direct correlation between the wear of the mold and subsurface cracks).

-A customer that is using the wear index concept for the management of the mold life, figured out that 75% of the monitored molds could have had an extended life of +40% compared to the standard technological life based on the number of heats cast. For evaluating the wear index, Siemens's Mold Checker measuring device was used.

-New molds can be inspected, whether they are manufactured correctly.

-Measurement of different mold formats with one tool

-New mold formats can be measured by comparing it to the drawing file for the new mold type.

-Contact less measurement

-Short measurement time (typically < 10 min.)

-Simple measurement. The measurement is done automatically, so errors caused by human interaction are reduced.

-Documentation of quality of the molds

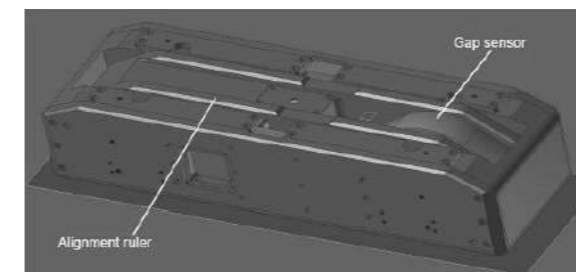
-Easy comparison of mold dimensions during lifetime, and comparison between different molds is possible.

-Automatic saving of all measurements for 100% traceability.

### 3. Inline Strand Checker for Slab Casters

#### Measurement Unit

The Inline Strand Checker consists of measurement units that are applied to the dummy bar chain and measures roll gap and alignment. The Inline Strand Checker is designed for 225 mm and 250 mm casting thickness.



The measurement unit has rulers that have contact to at least 2 neighboring rolls on outer bow and additionally hold the gap sensor.

#### Gap Sensor



The two measurement arm moves around the common axis and a spring is pressing them against the rolls. The measured angle between these two arms changes according to the changing gap.

#### Alignment Sensor

For alignment measurement the free moveable measurement ruler. By springs it is pressed against the outer bow rolls. Therefore it always has contact with two neighboring rolls of the outer bow and measures the angle between these two rolls. Deviations from set point angles show misalignments of rolls and/or segments.

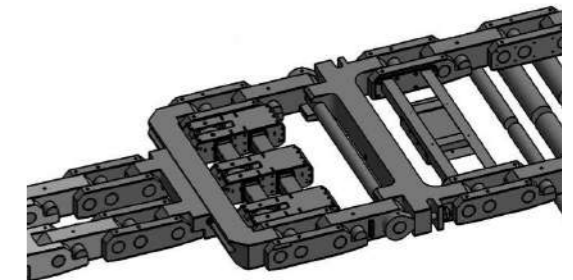
### Evaluation Unit

All signals from gap and alignment sensors are collected and read in the evaluation unit.

Additionally there are batteries and the Wi-Fi connection inside.

### Assembly

There are 3 lines of measurement units that are applied to the dummy bar. A measurement line consists of gap and alignment measurement.

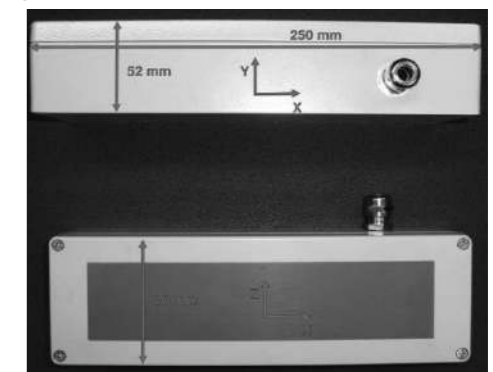


For installing the inline sensors the dummy bar chain has to be modified. With that modification whether the inline sensors move over an intermediate bearing nor the dummy bar chain. All parts are manufactured of stainless steel.

### Charging of Batteries

The controller inside the evaluation unit that reads, evaluates and stores the sensor signals is powered by batteries. This battery is charged via cable. (A PLC program has to guarantee that the dummy bar is not moved when the charging cable is connected).

Optionally, the batteries in Inline Strand Checker can be charged wireless.

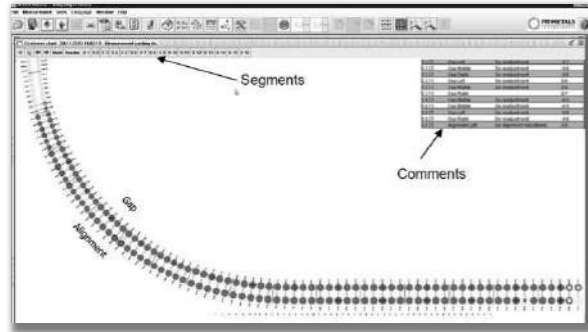


Therefore there are two transmission boxes. One box is mounted to the dummy bar and the other one mounted to the dummy bar car. Customer has to guarantee that these two boxes are within according distances to each other.

### Overview of Complete Caster

This overview shows

- gap as number between rolls and as roll outer diameter color
- outer roll alignment



All segments, rolls with measured data are visualized. In the upper right corner all comments which are available are shown.

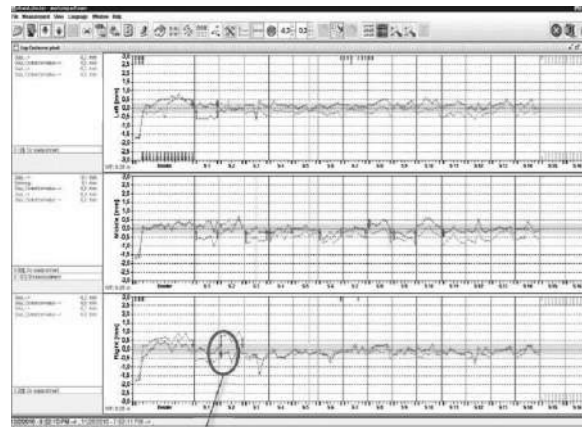
The mouse wheel is used to zoom in and out. To reset the zoom click the button "view all" and the whole caster is shown again.

Every segment is selectable by a button. If the button is pressed the view is zoomed to the selected segment. E.g. S4

### GAP Monitoring

The gap visualization is subdivided into several diagrams depending on the number of measure lines.

For each diagram a legend with detail information is shown at the left hand side.

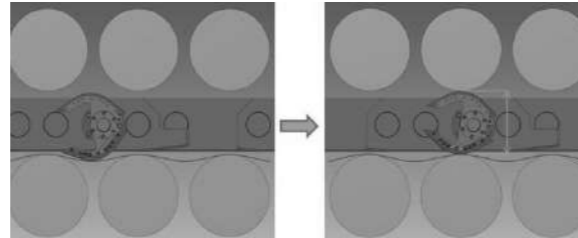


### Commenting Measurement

Often a supervisor is evaluating the measurement results.

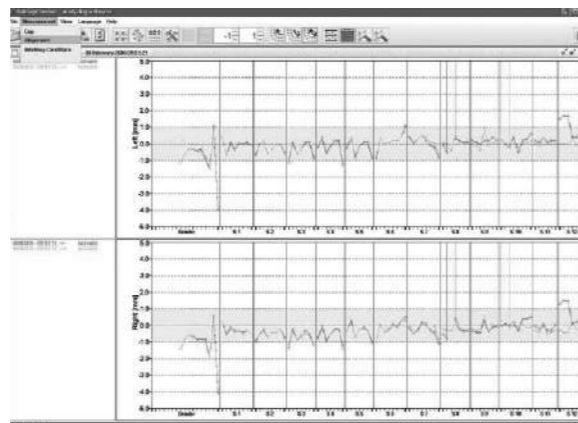
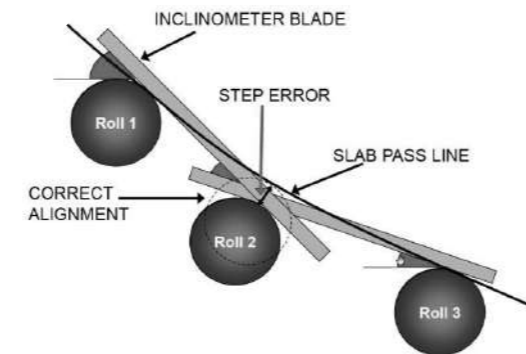
Instead of writing notes on the printed report (but the notes are not stored in the system), he can directly comment within the individual reports and tell the operator in this way:

-which individual roll has to be shimmed for which value  
 -which side of the segment is misaligned and how to shim  
 After the next measurement, when all the reported problems should have been solved, he can compare the new measurement with the old, commented measurement. So he easily can determine if the corrections have led to the desired result.



### Alignment Monitor

At this overview from strand, segment and roll position, the alignment is shown. For each diagram, on left side, a legend shows detail information.



### Storage Measurements

A big number of measurements can be stored on the on board memory of the data acquisition unit, but you do not want to store measurement, you want to evaluate them. It does not make sense to have the last 10 measurements stored in the Inline Strand Checker but not have evaluated them.

The measurement results are automatically transferred after the measurement. So no one can forget to transfer a measurement.

Even if the Wi-Fi fails, data is stored in the on board memory and is transferred automatically the next time the Inline Strand Checker is used.

Additionally there is the possibility to transfer the measurement results by cable.

On the evaluation PC all measurements are stored in a database.

### Client Server Architecture

The PC where the Inline Strand Checker database is running is working as a server.

On all PCs that have access to that database the Inline Strand Checker Analyzer can be installed to view the measurement results.

### Advantages

- Robust sensors
- Measurement units are exchangeable
- Measurement every time when dummy bar insert
- Save time because no installation of measurement device necessary
- Better planning of segment maintenance
- Soonest possible detection of strand guiding failures

## Smart Maintenance via m.Space Data Driven Services Push Maintenance to the Next Level

Adnan Cosic, Serkan Özdemir

Primetals Tehnologies Austria GmbH • Austria

### Abstract

Primetals Technologies is renowned for its customer-centric approach, and in an effort to further streamline the plant-management workflow, and as part of its ongoing strategy to embrace digitalization, a groundbreaking web platform has been introduced purely with the steel producer in mind: m.space conveniently delivers a growing number of features and services as a software as-a-service package in one place, enabling steel producers to operate more efficiently and stay ahead of the curve. It is designed first and foremost to be a user-friendly environment, at the heart of which is the steel producer of today.

Digitalization has impacted the steel industry on multiple levels while also creating unparalleled opportunities for improving plant operation and maintenance.

The m.space platform is firmly built on the premise to tap into the potential of Industry 4.0 and make the lives of steel producers easier. One of its many facets is the product catalog m.buy, which includes a web shop where customers can browse a large selection of spare parts. The m.academy training platform was created to encourage staff at all levels to keep their knowledge up-to-date through a range of e-learning and real-world training opportunities. Another feature of m.space is the secure document-management system m.doc, which centralizes the document management process. It doesn't end there, though, because m.space is a portal into a much wider world of e-services that can be configured by the customer in just a few clicks.

### Introduction

Maintenance is a serious issue. A well maintained machine, not only performs better but also has a lower risk of breakdown. Thus, steel plant operators have a keen interest in digitalizing their maintenance procedures in order to predict, plan and execute servicing of their machines in a more efficient way.

The actual time service technicians spend directly on maintenance, e. g. exchanging a broken part with a functional one, is significantly lower than the time spent on complementary processes around the actual maintenance job. Activities such as searching for the manual, finding the right spare part or simply documenting maintenance work often take more time than actually repairing a machine. You can compare this imbalance between the time spent on complementary processes and actual maintenance activities with an iceberg, where only a small part is visible above water, while the majority of it is hidden underneath the surface of the ocean.

The Primetals Smart Maintenance concept covers all activities around maintenance. For this purpose Primetals has developed eight powerful tools to support customers with digitizing and digitalizing their processes. These tools are called eServices and are conveniently delivered to all clients via a convenient web platform, thus available from any place at any time. eServices are all about connectivity. They act as an catalyst for connecting the shop floor with the top floor (production level with planning and business level) as well as connecting steel plant operators with Primetals.

### M.buy webstore for steel producers



m.buy is a comprehensive online catalog of spare parts for Primetals Technologies equipment, including related product drawings and blueprints. Users simply log in for a personalized user experience, which then enables them to browse through the catalog, request quotations, read through the available engineering-related information, and start the inquiry process quickly and easily. These inquiries as well as other customer questions will be quickly answered by the experienced m.buy team.

[www.meta.ls/mbuy](http://www.meta.ls/mbuy)

### M.academy online training platform



m.academy is an e-learning space that offers both online courses as well as on-site training opportunities for steel plant operators. It provides worldwide classroom training, practical training, process training, e-learning, and individual training. Courses can be tailored to individual requirements for maximum personal benefit. m.academy is the perfect knowledge-sharing platform and is designed to help staff sharpen their skills and keep their career development on track.

[www.meta.ls/academy](http://www.meta.ls/academy)

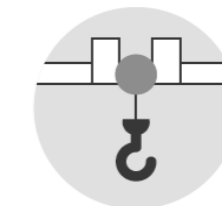
### M.doc document-management system



m.doc is a document-management service for storing the technical documentation of a steel plant. The m.doc documentation system provides reliable, fingertip access to critical information, and because the data is centrally organized and ready for use, the time, cost, and energy saved in being able to quickly navigate through a wealth of information can make all the difference in terms of keeping ahead of the competition

[www.meta.ls/mdoc](http://www.meta.ls/mdoc)

### M.crane automated engineering service



m.crane is an automated web-based engineering soft-ware that allows a customized hoisting drum to be designed in a matter of minutes by entering parameters such as lifting weight, height, speed, and ropedrive. Every aspect of the design process is covered, and once the parameters have been entered m.crane is capable of calculating and designing the drum in less than fifteen minutes. m.crane is designed to save time and money when replacing hoisting drums.

[www.meta.ls/mcrane](http://www.meta.ls/mcrane)

### M.fleetguard condition monitoring and GPS tracking



m.fleetguard is a software-as-a-service solution that monitors technical parameters of all your vehicles in real time and gathers information such as whether a truck is currently operational, its location, tire pressures and lifecycles, fuel and oil levels, payloads, and even the road conditions. m.fleet guard sends alerts whenever a scheduled route is changed, or if a technical problem is detected, so that preventive action can be taken before damage occurs.

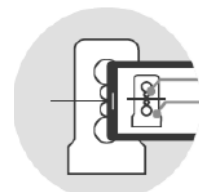
[www.meta.ls/mfleetguard](http://www.meta.ls/mfleetguard)

### M.connect process-analysis solution



m.connect is designed to make sense of even the most complex plant data, gathering unorganized data, analyzing it, and transforming it into structured information. m.connect turns raw data into an asset that a steel plant can put to good use. For example, seemingly random measurement signals can be put together with production figures to paint a bigger picture that indicates quite clearly where improvements can be made

[meta.ls/mconnect](http://meta.ls/mconnect)

**M.ario augmented reality for the mill**

m.ario is an augmented reality enhanced document-management software designed to collect, organize, and visualize operational information in a uniquely structured way for unparalleled usability. Using

augmented reality, m.ario visualizes data such as voltages, for example, precisely where it is needed on a mobile device such as a tablet. The m.ario data management system is designed to streamline and increase the efficiency of maintenance and operations.

[www.meta.ls/mario](http://www.meta.ls/mario)

**M.predict predictive-maintenance system**

m.predict uses sophisticated vibration-signature analysis for the early detection of developing equipment faults, enabling steel producers to act quickly and avoid unscheduled downtime or worse. m.predict is the culmination of decades of experience in vibration-based

condition monitoring and analysis. To identify potential problems, it combines the analysis of mechanical vibration signatures with deep knowledge about equipment design and function.

[www.meta.ls/mpredict](http://www.meta.ls/mpredict)

**ALBACUT4.0, Smart Machine Management and Predictive Maintenance for Torch Cutting Machines**

Enrico D'Ottavi<sup>1</sup>, Luca Piccione<sup>1</sup>, Mustafa Öztürk<sup>2</sup>

<sup>1</sup>A.L.B.A. S.r.l., <sup>2</sup>ALBA Turkey • Italy, Turkey

Torch Cutting Machine (TCM) might be the bottleneck of the whole steelmaking process and, naturally, generates consumption and yield loss. Customers are demanding reliability, safety, energy savings and top performances. ALBACUT 4.0 is your specialist for the TCM at complete disposal 24/7.

**1 Introduction**

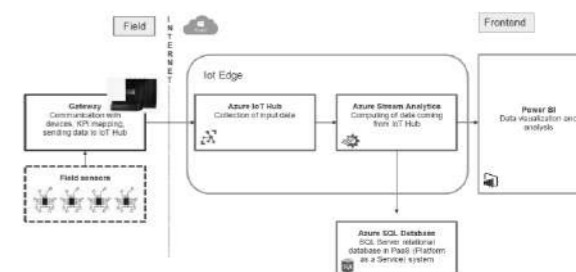
ALBACUT4.0 is an industry4.0 application for torch cutting machines, which is the best solution for predictive and preventive maintenance as well as smart machine management. ALBACUT 4.0 system is composed of hardware, software and service. All data collected by field sensors are processed, stored in an analytic software running in cloud, which enables access to machine status, running parameters, variables, all information for a remote analysis. Then the system automatically generates notifications of predictive maintenance and preventive alarms. By the help of remote support service, torch cutting system, bottleneck of the whole steel making process become as more reliable as ever. ALBACUT 4.0 reduces downtimes, increases productivity and yield, minimizes cost, increase cutting quality and performance.

**2 Description of the system**

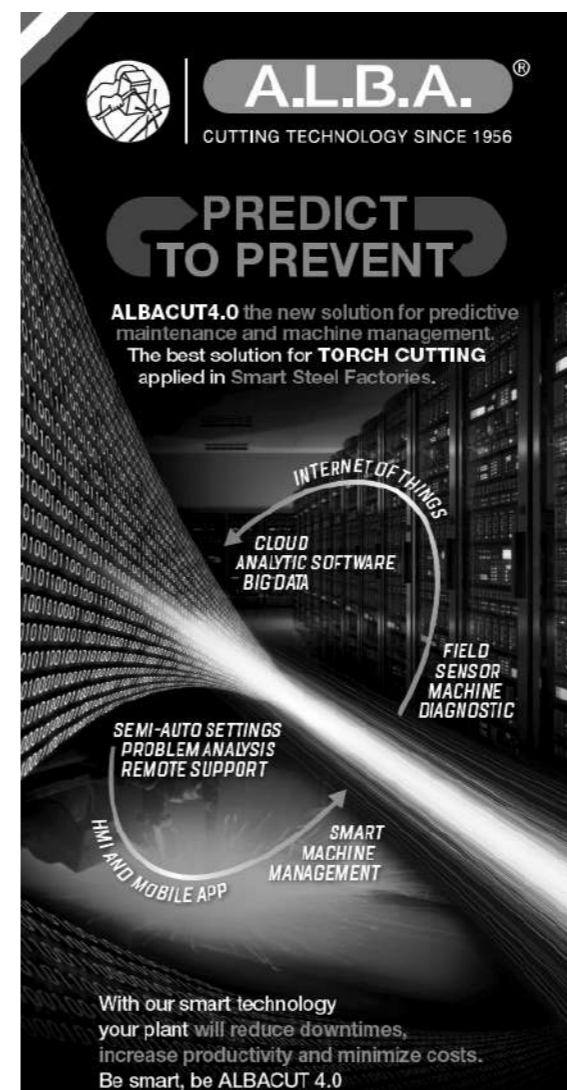
ALBACUT 4.0 is a smart package composed by 3 main items:

- Hardware
- Software
- Service

System architecture:

**2.1. Hardware**

A set of field sensors - to be installed on the machine – specifically designed to collect all data of machine status (pressures, flow rates, electrical absorptions, temperatures, vibration, etc...) and a gateway able to collect data from sensors.



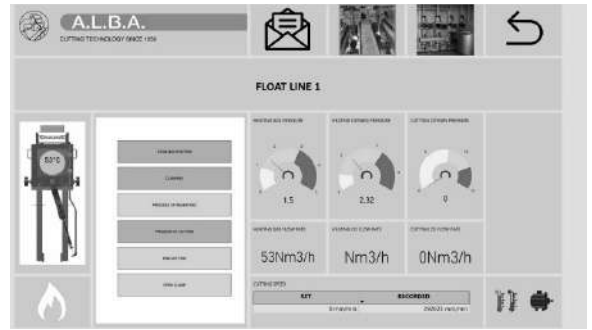


**2.2. Software**

All data collected from the hardware are processed and then stored into an analytic software running in cloud.

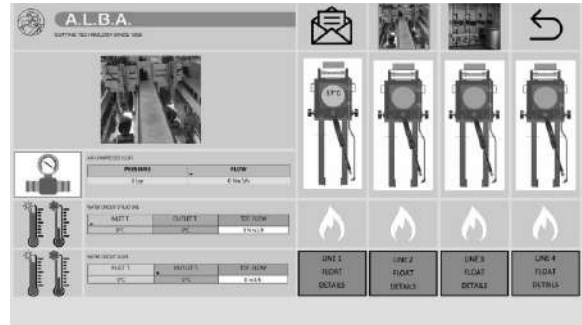
By means of a dedicated dashboard, end user steel mill is able to access in any moment to machine status, running parameters and variables, all information required for a precise analysis.

IoT solutions, Database and Dashboard are powered by Microsoft technology.



**3. Conclusion**

ALBACUT 4.0 is the smart solution to run a Torch Cutting Machine always at the best operating parameters by predictive and preventive maintenance concentrated in the available time and avoid undesired stop of production. Having the advantages of increased yield, cutting performance and cutting quality, machine availability, minimized downtimes, consumption figures and kerf (cutting loss). With ALBACUT 4.0 a TCM becomes as more reliable as ever and be smart.



The system automatically generates notifications of predictive and preventive maintenance, preventive alarms for the possible problem points and gives their remedies in accordance with different thresholds.

It supports the maintenance personnel (also operators not familiar with the machine) by indicating the correct action to solve a possible future problem avoiding the risk of stop of the machine



**2.3. Service**

Our team of specialists from remote will analyze the real on time situation of the machine and help the local maintenance service in a precise troubleshooting, indicating the necessary actions for a fast and safe restore.











INTERNATIONAL SYMPOSIUM  
ON  
IRON & STEEL

"Let's Talk STEEL Now" / "Haydi ÇELİK Konuşalım"

ADVERTISEMENT // REKLAMLAR





**PIONEERS  
AT  
HEART**

EXPLORE  
**WHAT'S NEXT**



Watch our  
new corporate  
identity video at  
[meta.ls/explore](https://meta.ls/explore)







*İşinin Ehli*

## Teknik Hâkimiyet, Operasyonel Kabiliyet ve Güvene Dayalı Bir İlişki

Alpet Endüstriyel olarak birinci önceliğimiz, ihtiyaçlarınıza doğru çözümler üretmek için sizleri anlamak. İşimize olan teknik hâkimiyetimiz, üretim gücümüz ve operasyonel kabiliyetimiz kadar çalıştığımız markalarla kurduğumuz ilişkideki güven noktasına da büyük önem veriyoruz.

Bu sayede kısa sayılabilecek bir sürede Türkiye'nin önde gelen sanayi kuruluşları ile çalışmayı başardık. Siz de gerçekten anlaşılıp, koşulsuz güvenebileceğiniz bir çözüm ortağı arıyorsanız **şu anda doğru yerdensiniz.**



# Global PARTNERİNİZ.

Uluslararası geniş ağımız,  
Stok gücümüz ve  
Kaliteli ürünlerimiz ile ...



Tulachermet

**FerroPem**  
Group ■ FerroAtlántica

**Calcinor**  
QUÍMICA NATURAL  
**Kelsen**

**MAGNA**  
MAGNESITAS NAVARRAS



**AVEKS**

[www.aveks.com](http://www.aveks.com)



İmes Sanayi Sitesi C Blok 306 Sk. No. 4  
Y. Dudullu, Ümraniye, İstanbul, 34775 TURKEY  
T. +90 (216) 540 00 60 F. +90 (216) 540 00 61

Palladium Tower Kat:31 Kardelen Sok. No:2  
Barbaros Mah. Atasehir, İstanbul, 34746 TURKEY  
T. +90 (216) 514 90 00 F. +90 (216) 514 90 90

E-5 Karayolu Üzeri Tavşanlı Mevkii No:44  
Yolbulan Antrepo Yanı Gebze,Kocaeli TURKEY  
T. +90 (262) 724 99 14-15 F. +90 (262) 724 99 12



# Independent Identification of Steel Products

The CARES mark identifies a specific mill in a specific country



Trust the CARES mark

Country = 7 ribs

Mill = 7 ribs



Download the CARES CLOUD App



[ukcares.com](http://ukcares.com)



# Castrol MOLUB-ALLOY ile Arızalara Bağlı Duruşları Azaltın!



Castrol MOLUB-ALLOY, özel katkıları ile koruyucu film tabakası oluşturarak aşırı yük ve basınç koşulları altında üstün performans gösterir, yüksek sıcaklık ortamlarında oksidasyon ve korozyon önleyiciliğe sahiptir. Ayrıca arızalara bağlı duruşları azaltarak üretim kayıplarını önlemeye yardımcı olur.

DETAYLI BİLGİ İÇİN : (212) 4 737 737

  
MOLUB-ALLOY





Fabrika İmalat Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi

**demora**

[www.demora.com.tr](http://www.demora.com.tr)

## DEMORA FACTORY

Kaleköyü O.S.B  
Buket Sok. No: 4  
Karabük / TURKEY  
Phone: +90 370 447 62 84  
Fax: +90 370 447 62 83

## DEMORA HEAD OFFICE

Bağlarbaşı Mah.  
Şehit Mücahit Sok. No:75/1  
Maltepe - ISTANBUL  
Phone: +90 216 457 17 90 - 91  
Fax: +90 216 457 06 57  
E-Mail: demora@demora.com.tr



# WE ARE GRAFTECH

Global high-end graphite electrode manufacturer  
with 130+ years of experience

Highly engineered, industry-leading  
technical services and solutions

180+ patents and patents pending  
working with EAF operators

Vertically integrated into  
petroleum needle coke production

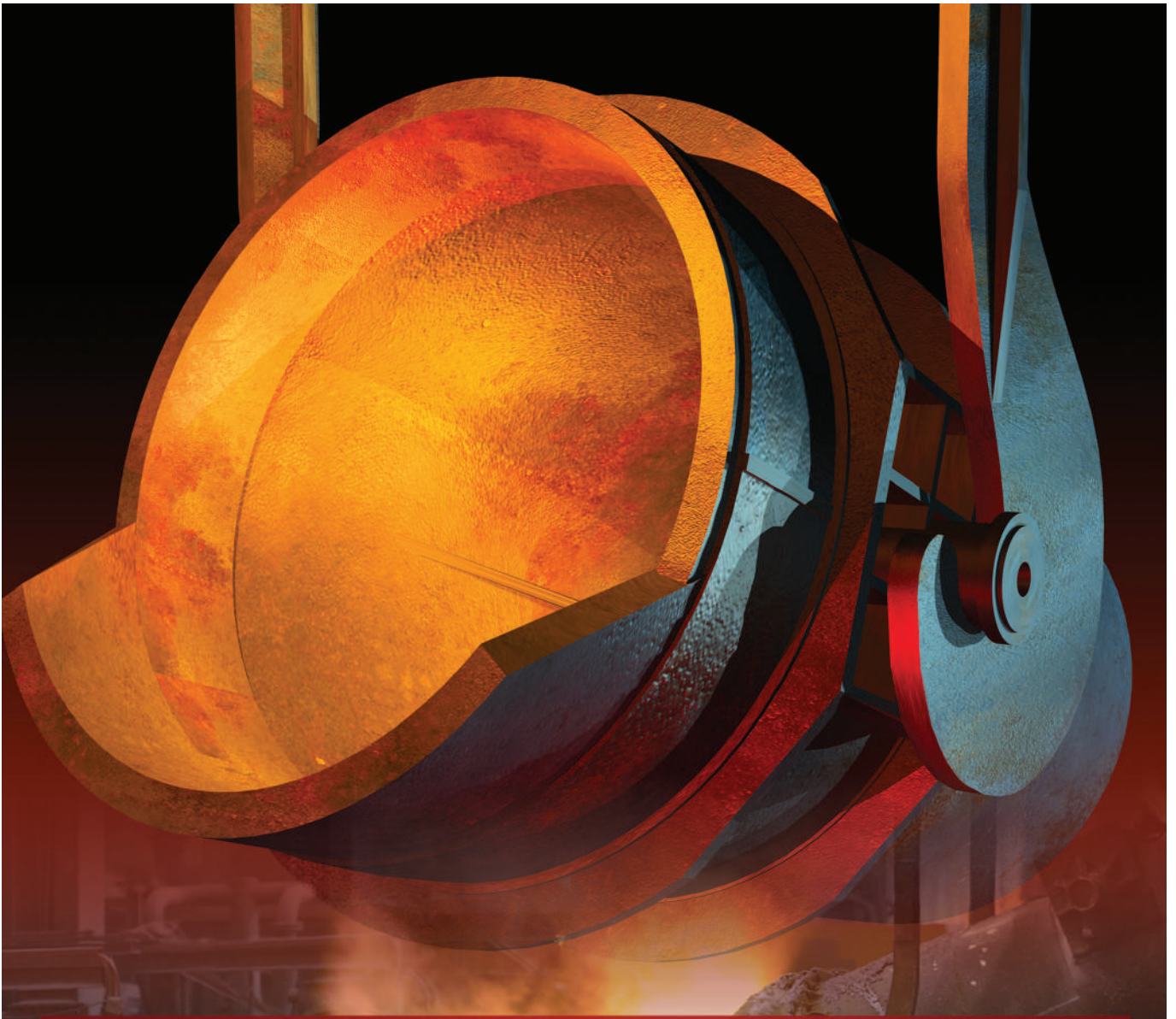
GrafTech operates three of the highest capacity graphite electrode production facilities in the world. We also offer one of the leading technical services teams in the industry bringing nearly 500 years of combined expertise to help customers push the boundaries of their melting operations – increasing productivity, reducing costs and improving safety.

[www.graftech.com](http://www.graftech.com)

**GRAF***Tech*  
International

**UCAR**<sup>®</sup>  
GRAPHITE ELECTRODES





## 1929'dan günümüze

- Kalitesinden ödün vermediğimiz ürünlerimiz,
- Üstün ürün performansına verdiğimiz önem,
- Her ihtiyaca özel refrakter çözümlerimiz,
- Hızlı teslimat ilkemiz ve
- Deneyim dolu geçmişimiz ile

**Türkiye ve Dünya'da  
demir çelik sektörünün hizmetindeyiz.**



[www.haznedargroup.com](http://www.haznedargroup.com)



Büyükçavuşlu Mah. Çerkezköy Cad. No:587 Silivri, İSTANBUL  
T: +90 212 7453505 F: +90 212 7453515  
[www.hazref.com](http://www.hazref.com) [info@hazref.com](mailto:info@hazref.com)



# 1977'den Günümüze, Monolitik Refrakterin Lider Kuruluşu



Çimento Sanayii için özel geliştirilmiş yüksek performanslı ürünlerimizle hizmetinizdeyiz.

Dökme Refrakter Malzemeler • Püskürtme Refrakter Malzemeler • Dövme ve Plastik Refrakter Malzemeler  
Manyezit Bazlı Monolitik Malzemeler • Pre-Cast Refrakter Malzemeler • Refrakter Harçlar



www.haznedargroup.com

**DURER**  
REFRAKTER

Büyükcavuşlu Mah. Çerkezköy Cad. No:587 Silivri, İSTANBUL  
T: +90 212 7453505 F: +90 212 7453515  
info@durer.com.tr www.durer.com.tr



Demir-Çelik Üreticisinin Bilinçli Refrakter Seçimi:

## DOLOMIT ÜRÜNLER

- Temiz çelik üretimi ✓
- Yüksek performans ✓
- Düşük maliyet ✓
- Enerji tasarrufu ✓
- Çevre dostu ✓

**Vardar**  
**Dolomit**

**HAZNEDAR**  
**GROUP**

[www.haznedargroup.com](http://www.haznedargroup.com)

UI. "JNA" No.318 1230 Gostivar p.fax 210 North Macedonia

T: +389 (0)42 219-030 F: +389 (0)42 242-507

[www.vardardolomit.com](http://www.vardardolomit.com)

# HEG LIMITED



## WORLD'S LARGEST UHP GRAPHITE ELECTRODE PLANT

GROWING EVEN LARGER BY EARLY 2022



● Capacity 80000 tons upto 30" Dia

● Expanding to 100000 tons

● Winning Quality

● State of the Art Technology

● World Class Manufacturing Facility

● Expert Tech Services

● Local Presence

● R & D Centre

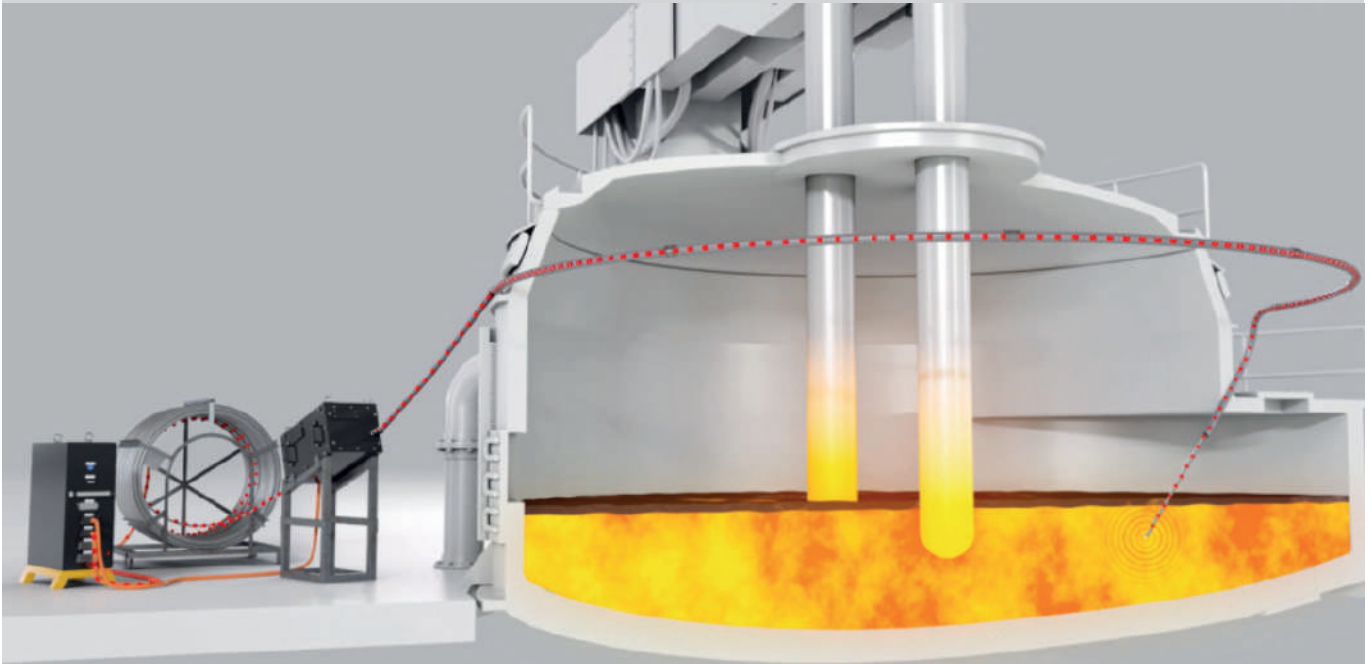
● Exporting 70% production to 30+ countries around the globe



[www.hegltd.com](http://www.hegltd.com)



## CoreTemp



*Manless, on-demand temperature measurement system for the EAF*

### CoreTemp system

A new, automated, optical fiber based measuring system has been developed, capable of delivering accurate temperature readings every 20 seconds.

- A semi-continuous temperature profile helps the operator accurately define the desired end point of each melting cycle, without opening the slag door. So, allowing deep foamy slag conditions at the end of the EAF process. And reduced power input due to accurate end point determination

- Manless operation is achieved by remote control of the CoreTemp system from the safety of the control room.

### For more information contact:

#### Heraeus Electro-Nite A.S.

1. Organize Sanayi Bölgesi, Dağistan Cad.No:15

06935 Sincan-Ankara

Tel: +90 (312) 2670888 Fax: +90 (312) 2670887

e-mail: info.electro-nite.tr@heraeus.com

web: www.heraeus-electro-nite.com



## Electro-Nite



# AS RELIABLE AS STEEL

**TECHNOLOGY AND  
RELIABILITY  
IN ROLLING MILLS  
FOR LONG PRODUCTS**



**NUOVA  
CARPENTERIA  
ODOLESE**



NCO offers state-of-the-art technology, highest equipment reliability and quality of service. We supply a complete scope of any green-field rolling mill plant for long products (re-bar, wire-rod, SBQ, small to medium section), as well as upgrades of existing mills. From the initial concept to commissioning and start-up, we design, manufacture and install your hot rolling mill from A to Z.

- **Turn-key plants**
- **Auxiliary systems**
- **Roll process engineering**
- **Process control and automation**

**NCO Headquarter:**

25076 Odolo (BS) - Italy - [sales@nco.it](mailto:sales@nco.it) - [www.nco.it](http://www.nco.it)

**MORE  
THAN  
100  
COMPLETED  
PROJECTS  
WORLDWIDE**



**Your Reliable Partner in Graphite Electrodes**

**Turkish Representation**

**FERPRO**  
Materials & Technologies

**Nurol Plaza B02, Büyükdere Caddesi No:255  
Maslak, Sarıyer / İstanbul, Türkiye**



Following tradition, **creating future.**



**TOKAI ERFTCARBON**

Your supplier for Graphite Electrodes

**TOKAI ERFTCARBON GmbH**

Aluminiumstraße 4  
41515 Grevenbroich

P.O. Box 10 02 63  
41486 Grevenbroich  
Germany

Phone +49/21 81/49 52 - 100

Fax +49/21 81/49 52 - 252

[www.tokai-erftcarbon.com](http://www.tokai-erftcarbon.com)



# UNIFRAX

Global Solutions For High Temperature Applications



**INSULFRAX VE ISOFRAX  
ÜRÜNLERİMİZ İLE ENERJİ  
TASARRUFU YAPARKEN  
GELECEK NESİLLERE DE  
TEMİZ BİR DÜNYA BIRAKIN...**



**UNIFRAX YÜKSEK ISI İZOLASYON ÇÖZÜMLERİ TİC. LTD. ŞTİ.**

Oda 22-V, Saray Mah. Dr. Adnan Büyükdeniz Cad. No:4








Akkom Office Park 2 Blok Kat 10 Ümraniye / İstanbul

**Telefon: +90 216 250 35 09 Fax: +90 216 250 32 32 GSM: +90 546 8 643 729**  
**UNIFRAX**





## SMART PORTABLE TUNDISH ROBOTICS

-  **Safety**
-  **Integrated spray machine & robot**
-  **Flexibility**
-  **Consistency**
-  **Data**
-  **Reliability**
-  **Remote Diagnostics**

The Portable Smart Tundish Robot is a fully integrated robotic spray application system. The spraying robot, coupled with mixing unit allows consistent and reliable mix preparation and application. The laser setting system provides accurate positioning of tundish furniture.

The robot is assembled inside a fully enclosed, heavy duty steel frame with lifting trunnions or hooks matching those on the tundish. This moveable system allows for safe work in a protected and shielded zone, whilst the steel plant operators can simultaneously prepare the next tundishes. The system is engineered to fit on multiple designs in the same tundish yard.

A data report is created and archived for every application. All relevant information like date, time, tundish number, spray weight, water content, etc., allows remote diagnostics for process monitoring and optimization.



**KNOW**

FUTURE



**B** BAŞTUÇ

[www.bastugmetalurji.com](http://www.bastugmetalurji.com)



# ISO'da 11. sıraya yükseldik

 **Çolakoğlu Metalurji**  
www.colakoglu.com.tr



B500C  
DEPREME DAYANIKLI ÇELİKLERLE  
**HAYATA GÜLÜMSEYİN!**



**EKİNCİLER DEMİR VE ÇELİK SANAYİ A.Ş.**

YENİ DEPREM YÖNETMELİĞİ İLE  
KULLANIMI RESMİ OLARAK ONAYLANMIŞ OLAN

**B500C KALİTE** ≡ **EKSİMİK®**

DEPREME DAYANIKLI ÇELİKLERLE  
DAHA GÜVENLİ YAŞAM ORTAMLARI

SUNAR...



**EKİNCİLER DEMİR VE ÇELİK SANAYİ A.Ş.**

Organize Sanayi Bölgesi Orhan Ekinci Bulvarı No: 3  
Sarısaki İskenderun / HATAY  
Tel: 0326 656 22 00 / Fax: 0326 656 33 55  
E-Posta: [info@ekinciler.com](mailto:info@ekinciler.com) Web: [www.ekinciler.com](http://www.ekinciler.com)







İDÇ

İZDEMİR  
ENERJİ

İDÇ  
LİMAN İŞLETMELERİ A.Ş.

İZDEMİR  
ÇELİK SANAYİ VE TİCARET A.Ş.

# BİRLİKTE GÜÇLÜYÜZ

İDÇ GRUP ŞİRKETLERİ

insana verilen değer,  
çağdaş yönetim anlayışı, profesyonel  
kadro ve güçlü finans yapısı ile  
**Türkiye için değer üretmeye,  
ürettikçe güçlenmeye devam ediyor.**

[www.izdemir.com.tr](http://www.izdemir.com.tr)



MAYATANITIM



İZMİR DEMİR ÇELİK  
SANAYİ A.Ş.



İlk adımdan bugüne kadar;  
demir çelik, denizcilik, limancılık, taşımacılık, enerji, madencilik,  
geri dönüşüm ve tersanecilik alanlarında yaptığı yatırımlarla  
büyümeye devam eden Kaptan Grup, 55 yılı aşan tecrübesiyle  
Türk Ekonomisine katkı sağlamaktadır.





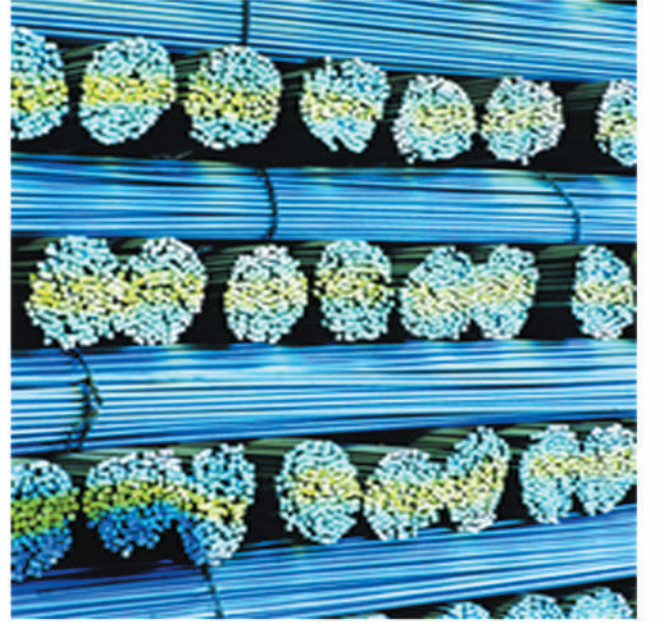
YAŞAMIN OLDUĞU HER YERDE İMZAMIZ VAR



**TOSÇELİK**

[www.tosyaliholding.com.tr](http://www.tosyaliholding.com.tr) / [www.toscelik.com.tr](http://www.toscelik.com.tr)





YAZICI DEMİR ÇELİK SAN. VE TUR. TİC. A.Ş.

Tel: 0 326 656 23 00 pbx (12 hat)

Fax: 0 326 656 23 15

E-mail: yazicidemircelik@dilerhld.com

Organize Sanayi Bölgesi Sarıseki İskenderun

# alus'09

[in](#) [@](#) [f](#) [t](#) /alusist  
www.alusist.com

9<sup>th</sup> International  
Aluminium Symposium

9. Uluslararası  
Alüminyum Sempozyumu

10-11

OCTOBER / EKİM

2019

İstanbul

**TALSAD**  
TURKISH ALUMINIUM INDUSTRIALISTS ASSOCIATION

  
TUBITAK  
**MAM**

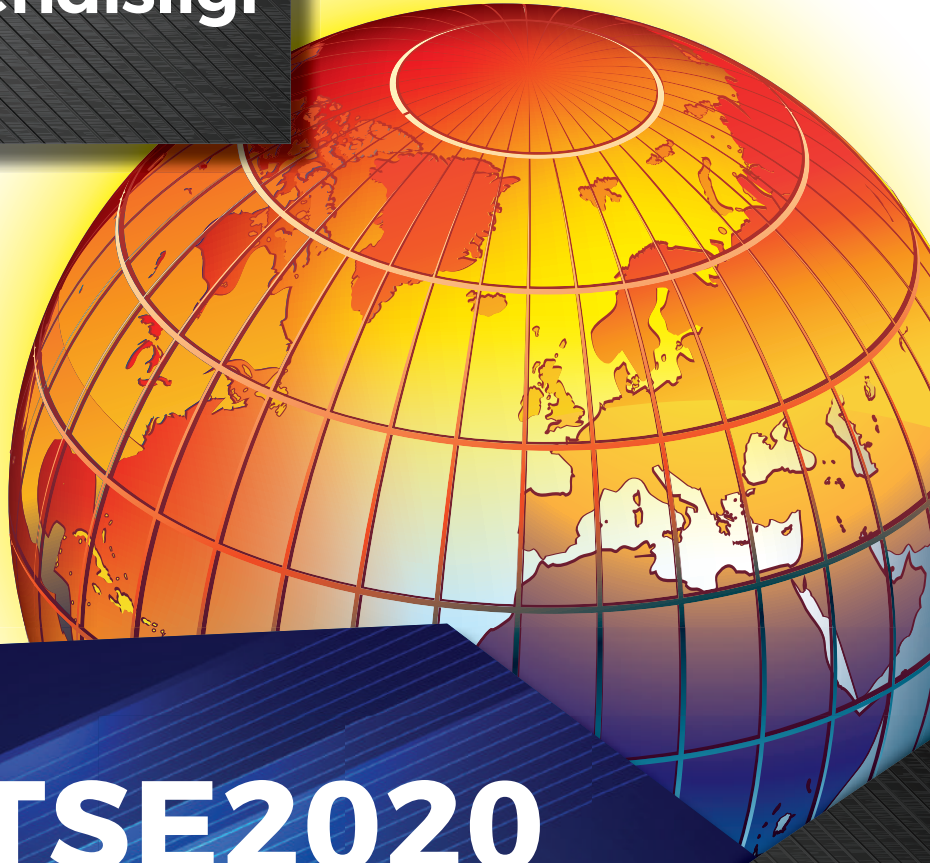
 **METEM**  
UCTEA CHAMBER of METALLURGICAL and  
MATERIALS ENGINEERS'S TRAINING CENTER





4. Uluslararası Akdeniz  
**ISIL İŞLEM** ve  
Yüzey Mühendisliği  
Konferansı

**03-05** Haziran 2020  
İstanbul Sanayi Odası, İSTANBUL



**MCHTSE2020**  
İSTANBUL



[www.mchtse2020.com](http://www.mchtse2020.com)  
[f](https://www.facebook.com/mchtse2020) mchtse2020  
[t](https://www.twitter.com/mchtse2020) mchtse2020  
[i](https://www.instagram.com/mchtse2020) mchtse2020  
[in](https://www.linkedin.com/company/mchtse2020) mchtse2020



# METEM

UCTEA CHAMBER of METALLURGICAL and  
MATERIALS ENGINEERS'S TRAINING CENTER

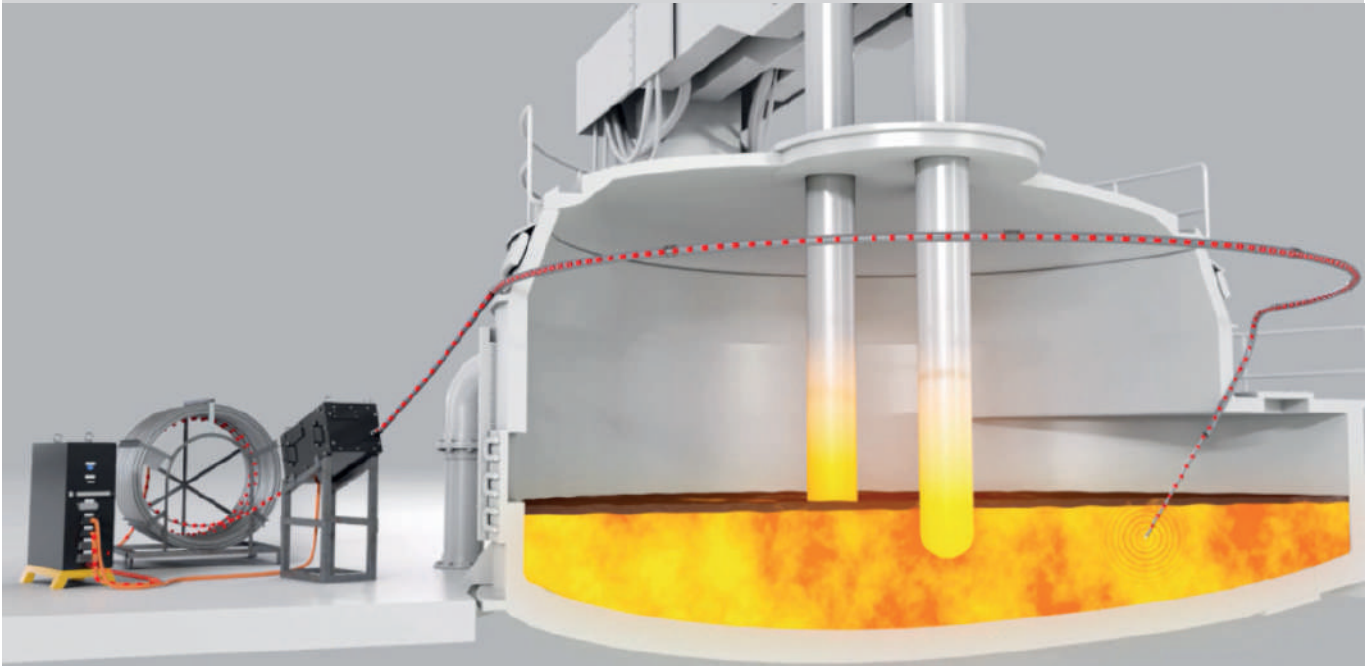


[www.metem.org.tr](http://www.metem.org.tr)

[metem@metem.org.tr](mailto:metem@metem.org.tr)



## CoreTemp



*Manless, on-demand temperature measurement system for the EAF*

### CoreTemp system

A new, automated, optical fiber based measuring system has been developed, capable of delivering accurate temperature readings every 20 seconds.

- A semi-continuous temperature profile helps the operator accurately define the desired end point of each melting cycle, without opening the slag door. So, allowing deep foamy slag conditions at the end of the EAF process. And reduced power input due to accurate end point determination

- Manless operation is achieved by remote control of the CoreTemp system from the safety of the control room.

### For more information contact:

#### Heraeus Electro-Nite A.S.

1. Organize Sanayi Bölgesi, Dağistan Cad.No:15

06935 Sincan-Ankara

Tel: +90 (312) 2670888 Fax: +90 (312) 2670887

e-mail: [info.electro-nite.tr@heraeus.com](mailto:info.electro-nite.tr@heraeus.com)

web: [www.heraeus-electro-nite.com](http://www.heraeus-electro-nite.com)



## Electro-Nite