



ISRS'2023

2nd INTERNATIONAL
STEEL ROLLING
SYMPOSIUM
14-15 SEPTEMBER
İSKENDERUN
ANEMON HOTEL

2. ULUSLARARASI
H A D D E
SEMPOZYUMU

**PROCEEDINGS
e-BOOK**

**BİLDİRİLER
e-KİTABI**

**ADDING VALUE
TO STEEL
ÇELİĞE DEĞER
KATIYORUZ**

 www.isrs-mtm.com

 isrs@isrs-mtm.com

 [isrs.mtm](https://www.facebook.com/isrs.mtm)

 [isrs_mtm](https://twitter.com/isrs_mtm)

 [isrs_mtm](https://www.instagram.com/isrs_mtm)

 [isrs-mtm](https://www.linkedin.com/company/isrs-mtm)



UCTEA Chamber of Metallurgical and
Materials Engineers' Training Center
TMMOB Metalurji ve Malzeme
Mühendisleri Odası Eğitim Merkezi





ISRS'2023

2nd INTERNATIONAL
**STEEL ROLLING
SYMPOSIUM**
14-15 SEPTEMBER
**İSKENDERUN
ANEMON HOTEL**

2. ULUSLARARASI
H A D D E
SEMPOZYUMU

**PROCEEDINGS
e-BOOK**

**BİLDİRİLER
e-KİTABI**

 www.isrs-mtm.com

 isrs@isrs-mtm.com

 [isrs.mtm](https://www.facebook.com/isrs.mtm)

 [isrs_mtm](https://twitter.com/isrs_mtm)

 [isrs_mtm](https://www.instagram.com/isrs_mtm)

 [isrs-mtm](https://www.linkedin.com/company/isrs-mtm)



METEM

UCTEA Chamber of Metallurgical and Materials Engineers' Training Center
TMMOB Metalurji ve Malzeme Mühendisleri Odası Eğitim Merkezi



UCTEA CHAMBER OF METALLURGICAL AND MATERIALS ENGINEERS' TRAINING CENTER

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, ISRS International Steel Rolling Symposium, ALUS International Aluminum Symposium, BHTS Bosphorus Heat Treatment Symposium, ESWS Employee Safety and Wellbeing Symposium in Metallurgy Sector congresses 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.



TMMOB METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLERİ ODASI EĞİTİM MERKEZİ

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, ISRS Uluslararası Hadde Sempozyumu, ALUS Uluslararası Alüminyum Sempozyumu, BHTS Boğaziçi Isıl İşlem Sempozyumu, ESWS Metalurji Sektöründe Çalışan Güvenliği ve Esenliği Sempozyumu gibi birçok; kongre, 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, iyiye ve değişime olan inanç ve değerleriyle sektörümüzün hizmetindedir.

ORGANIZATION COMMITTEE

ORGANİZASYON KOMİTESİ



ORGANIZATION COMMITTEE

YÜRÜTME KURULU

ISRS'2023

STEEL ROLLING

Chairman



Kadir KARA
Ekinciler Demir Çelik



Alper AKÜN
MMK Metalurji



Serkan ATAMER
Karabük Demir Çelik



Ayhan AYDIN
İskenderun Demir Çelik



Tuna BEYDOĞAN
Habaş Demir Çelik



Andaç BİRİŞÇİ
CARES



Mehmet GÜNER
İçdaş Çelik



Nuri GÜRKAN
İzmir Demir Çelik



Bahri İKİZ
Tosyalı Demir Çelik



Mahmut KESKİNCİ
Çolakoğlu Metalurji



Özgür NAL
Baştuğ Metalurji



Cevdet ÖZDURMUŞ
Diler Demir Çelik



Ozan YAPICI
Yazıcı Demir Çelik



SUPPORTING MANUFACTURERS

ISRS'2023

DESTEKLEYEN ÜRETİCİ FİRMALAR

STEEL ROLLING



Çolakoğlu Metalurji



GALA DINNER SPONSOR

ISRS'2023

GALA YEMEĞİ SPONSORU

STEEL ROLLING



COFFEE BREAK SPONSOR

ISRS'2023

COFFEE BREAK SPONSORU

STEEL ROLLING



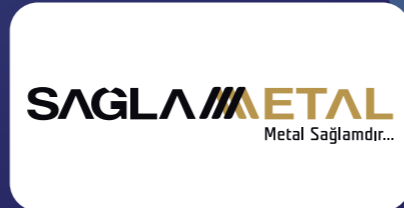


PLATINUM SPONSORS

PLATİN SPONSORLAR

ISRS'2023

STEEL ROLLING



SILVER SPONSORS

GÜMÜŞ SPONSORLAR

ISRS'2023

STEEL ROLLING



**EXHIBITORS**

SERGİ KATILIMCILARI

ISRS'2023

STEEL ROLLING

FIRM / FİRMA	HALL / SALON	STAND NO.
AB INDUSTRIALS	POOL / HAVUZ	H-15
AKBAL RULMAN	POOL / HAVUZ	H-13
AKM	DOWN GARDEN / ALT BAHÇE	B-04
AQUAMATCH	DOWN GARDEN / ALT BAHÇE	B-01
ARC SU ARTIMA	SEA SIDE / DENİZ TERASI	DT-04
ARDÖKÜM	SEA SIDE / DENİZ TERASI	DT-11
ARK ENDÜSTRİ	SEA SIDE / DENİZ TERASI	DT-10
ALAÇAM RULMAN	POOL / HAVUZ	H-13
ATN DEMİR ÇELİK	POOL / HAVUZ	H-07
AYDINLAR REFRAKTER	TERRACE / TERAS	T-02
AYDINLAR DIŞLI	SEA SIDE / DENİZ TERASI	DT-01
BAŞTUĞ METALURJİ	LOBBY / LOBİ	L-02
BCS NÜHENDİSLİK	SEA SIDE / DENİZ TERASI	DT-05
BWF	POOL / HAVUZ	H-06
CALDİNİ MADENİ YAĞ	SEA SIDE / DENİZ TERASI	DT-08
CASTOLİN KAYNAK	POOL / HAVUZ	H-05
CASTROL	TERRACE / TERAS	T-04
CORFİN LUBRICATION	TERRACE / TERAS	T-06
ÇUKUROVA POMPA	POOL / HAVUZ	H-01
DEMORA	SEA SIDE / DENİZ TERASI	DT-13
EBA MÜHENDİSLİK	POOL / HAVUZ	H-04
ECOSTAR	POOL / HAVUZ	H-03
FOCUS ENDÜSTRİ	TERRACE / TERAS	T-05
GERMAKSAN	SEA SIDE / DENİZ TERASI	DT-03
GÜNEY ATEŞ REFRAKTER	SEA SIDE / DENİZ TERASI	DT-09

**EXHIBITORS**

SERGİ KATILIMCILARI

ISRS'2023

STEEL ROLLING

FIRM / FİRMA	HALL / SALON	STAND NO.
HAMDİ KÜÇÜK ÇELİK MAKİNE	SEA SIDE / DENİZ TERASI	DT-14
HAZNEDAR DURER REFRAKTER	POOL / HAVUZ	H-10
HİDROHAN HİDROLİK	SEA SIDE / DENİZ TERASI	DT-06
HİDROPAR GÜNEY	CENTRO HALL / CENTRO SALONU	C-06
HKTM	SEA SIDE / DENİZ TERASI	DT-15
İZMİR DEMİR ÇELİK	LOBBY / LOBİ	L-01
KİLTAŞ	CENTRO HALL / CENTRO SALONU	C-05
KİMYA SRL	POOL / HAVUZ	H-08
MARMACOR	TERRACE / TERAS	T-01
METALFORM	DOWN GARDEN / ALT BAHÇE	B-03
ORTATEPE	DOWN GARDEN / ALT BAHÇE	B-02
ÖZEVREN RULMAN	SEA SIDE / DENİZ TERASI	DT-07
PETROFER	TERRACE / TERAS	T-03
PETROL OFİSİ	CENTRO HALL / CENTRO SALONU	C-03
SAĞLAM METAL	CENTRO HALL / CENTRO SALONU	C-02
SAYGILI RULMAN	SEA SIDE / DENİZ TERASI	DT-02
SHELL	POOL / HAVUZ	H-11
SÜPERREF	CENTRO HALL / CENTRO SALONU	C-01
TEKBEM	POOL / HAVUZ	H-02
TERRALAB	SEA SIDE / DENİZ TERASI	DT-16
TOTAL ENERGIES	CENTRO HALL / CENTRO SALONU	C-04
ÜNİVERSAL BIÇAK	SEA SIDE / DENİZ TERASI	DT-12
ÜNLÜ TEKNİK	TERRACE / TERAS	T-07
VİNÇSAN	POOL / HAVUZ	H-09



14 SEPTEMBER 2023, THURSDAY

14 EYLÜL 2023, PERŞEMBE

ISRS'2023

STEEL ROLLING

TIME SAAT	HALL ISSOS SALON ISSOS
09:00	Registration Kayıt
09:55-10:30	Opening Ceremony Açılış Konuşmaları
10:30 - 11:15	Plaque Ceremony Plaket Töreni
11:15-12:45	Plenary Panel Açılış Paneli
12:45-13:00	Exhibition Opening Stand Açılışı
13:00-14:00	Lunch Break Öğle Yemeği
14:00-14:40	Keynote Speaker Davetli Konuşmacı
14:40-15:10	Coffee Break Çay-Kahve Arası
15:10-16:10	Long Products Uzun Ürünler
16:10-16:40	Coffee Break Çay-Kahve Arası
16:40-18:00	Digitalization Dijitalizasyon
18:00-19:00	Free Time Serbest Zaman
18:50-19:00	Stand Closing Stand Kapanış
19:30	Gala Dinner with CASTROL Gala Yemeği CASTROL Sponsorluğunda



15 SEPTEMBER 2023, FRIDAY

15 EYLÜL 2023, CUMA

ISRS'2023

STEEL ROLLING

TIME SAAT	HALL ISSOS SALON ISSOS
10:00-11:00	Various Rolling Technologies Çeşitli Haddemelemler Teknolojileri
10:30-12:00	Workshop with Schaeffler Schaeffler sunumu ile Atölye Çalışması
11:00-11:20	Coffee Break Çay-Kahve Arası
11:20-12:20	Lubricants Madeni Yağlar
12:20-13:20	Lunch Break Öğle Yemeği
13:20-14:20	Flat Products Yassı Ürünler
14:20-14:50	Coffee Break Çay-Kahve Arası
14:50-15:50	Energy Efficiency & Sustainability Enerji Verimliliği & Sürdürülebilirlik
15:50-16:20	Coffee Break Çay-Kahve Arası
16:20-17:20	Maintenance Technologies Bakım Teknolojileri
18:00	Symposium Closing and Cocktail Prolonge Sempozyum Kapanışı ve Kokteyl Prolonge

SYMPOSIUM PROGRAMME

1ST DAY

SEMPOZYUM PROGRAMI 1. GÜN



14 SEPTEMBER 2023, THURSDAY

14 EYLÜL 2023, PERŞEMBE

ISRS'2023

STEEL ROLLING

11:15-12:45

Hall / Salon ISSOS

PLENARY PANEL: 2023 Earthquake Field Observations - Steel, Concrete and Structural Performances

AÇILIŞ PANELİ: 2023 Deprem Saha Gözlemleri - Çelik, Beton ve Yapı Performansları



Moderator / Moderatör

Fatih KESEROĞLU
EKİNCİLER DEMİR ÇELİK

Panelists / Panelistler



Alper İLKI
İSTANBUL
TEKNİK ÜNİVERSİTESİ



Ali ERGÖLEN
ÇİMSA



N. İzzet ULU
TMMOB METALURJİ
ve MALZ. MÜH. ODASI

14:00-14:40

Hall / Salon ISSOS

KEYNOTE SPEAKER / DAVETLİ KONUŞMACI



Necdet UTKANLAR
KARDEMİR

Engineering & Innovation
Mühendislik ve İnovasyon



14 SEPTEMBER 2023, THURSDAY

14 EYLÜL 2023, PERŞEMBE

ISRS'2023

STEEL ROLLING

SESSION 1 / 1. OTURUM

Long Products / Uzun Ürünler

Session Chairman / Oturum Başkanı
Murat DÜZGÖREN - İÇDAŞ

15:10-15:30

Hall / Salon ISSOS

New Horizontal Billet Welder and Spooler Technology

Kütük Kaynağı ve Spooler Teknolojisi

Cimaponti RUBENS

Danieli & C. Officine Meccaniche S.P.A.
Italy

15:30-15:50

Hall / Salon ISSOS

Jumbo Section Mills: Today and in Future

Bugün ve Gelecekte Jumbo Section Mill

Ralf SIEWE¹, Wolfgang SCHEFFEL¹, Can YALCIN²

¹SMS Group, ²SMS Digital
Germany

15:50-16:10

Hall / Salon ISSOS

Long Rolling - Process Expert

Uzun Mamül Haddeme - Proses Eksperi

Dmitry KAZANTSEV

Primetals Technologies
Germany



14 SEPTEMBER 2023, THURSDAY

14 EYLÜL 2023, PERŞEMBE

ISRS'2023

STEEL ROLLING

SESSION 2 / 2. OTURUM

Digitalization / Dijitalizasyon

Session Chairman / Oturum Başkanı
Osman İŞIKGÜL - KARDEMİR

16:40-17:00

Hall / Salon ISSOS

Improving Energy Efficiency Through Digitalization - Case Study

Dijitalleşme ile Enerji Verimliliğini Arttırma - Vaka Çalışması

Kássio Nogueira CANÇADO, Ana Carolina ROCHA,

Rafaela RAPALO, Paula POMARO, Lis SOARES

SMS Group, Brazil

17:00-17:20

Hall / Salon ISSOS

Smart Long Rolling - Digital Solutions

Akıllı Uzun Haddeme - Dijital Çözümleri

Matthew ANDERSON, Ruth Kirkwood-AZMAT,

Paras PATEL

Primetals Technologies, USA

17:20-17:40

Hall / Salon ISSOS

Danieli Intelligent Plant: An Innovative and Outstanding Approach to Plant Supervision and Process Control for ABS QWR 4.0 (Quality Wire Rod Mill)

Danieli'nin Akıllı Tesisi ABS QWR İçin Tesis Denetimine ve Proses Kontrolüne Yenilikçi ve Özgün Bir Yaklaşım)

Enrico PLAZZOGNA

Danieli & C. Officine Meccaniche S.P.A., Italy

17:40-18:00

Hall / Salon ISSOS

İsdemir Sıcak Haddehane Verileriyle Kapsamlı Bir Sınıflandırma Algoritmaları Karşılaştırması

A Comprehensive Classification Algorithm Comparison With Isdemir Hot Rolling Mill Data

Ahmet BEŞKARDEŞ, Rahmi ÜLKER

İskenderun Demir ve Çelik, Türkiye

SYMPOSIUM PROGRAMME

2ND DAY

SEMPOZYUM PROGRAMI

2. GÜN



15 SEPTEMBER 2023, FRIDAY

15 EYLÜL 2023, CUMA

ISRS'2023

STEEL ROLLING

SESSION 3 / 3. OTURUM

Various Rolling Technologies

Çeşitli Haddemeleme Teknolojileri

Session Chairman / Oturum Başkanı

Hamza KOYUNCU - EKİNCİLER DEMİR ÇELİK

10:00-10:20

Hall / Salon ISSOS

Automotive and Silicon Steel Cold Rolling Technology

Otomotiv ve Silikon Çeliğinin Soğuk Haddemeleme Teknolojisi

Tommaso SETTIMO, Dmitriy VOITEKHOVSKII

Danieli & C. Officine Meccaniche S.P.A.

Italy

10:20-10:40

Hall / Salon ISSOS

Demiryolu Hafif Taşımacılıkta Kullanılan Oluklu Ray Üretimi

Production of Grooved Rail Used in Light Rail Systems

Aysun IŞIKGÜL, Ali Yağız ŞAHİN, Mücahit SEVİM,

Serkan ATAMER, Sait HADUTOĞLU

Kardemir

Türkiye

10:40-11:00

Hall / Salon ISSOS

Rolling of Cold Strip Down to Thin Gauges in Tandem Mills:

Challenges and Solutions

Sıralı Haddelerde Soğuk Şeridin İnce Ölçeklere Yuvarlanması:

Zorluklar ve Çözümler

Michael BREUER, Falk TÖPLER

SMS Group

Germany



15 SEPTEMBER 2023, FRIDAY

15 EYLÜL 2023, CUMA

ISRS'2023

STEEL ROLLING

SESSION 4 / 4. OTURUM

Lubricants / Madeni Yağlar

Session Chairman / Oturum Başkanı

Murat GÜNERDİ - ÇOLAKOĞLU METALURJİ

11:20-11:40

Hall / Salon ISSOS

Accelerating Progress

İlerlemeyi Hızlandırmak

Nilay TATLISÖZ

Castrol
Türkiye

11:40-12:00

Hall / Salon ISSOS

Demir-Çelik Sektörü İçin Sürdürülebilir Bir Geleceğe Doğru 4 Adım & "Yeşil Çeliğin" Şekillendirilmesine Yardımcı Olan 3 Sıfır Karbon Yeniliği

4 Steps Towards A Sustainable Future For Steel & 3 Decarbo-
nising Innovations Helping To Shape "Green Steel"

Cem AYZAZ

Shell Madeni Yağlar
Türkiye

12:00-12:20

Hall / Salon ISSOS

Reducing the Compromise Between Safety and Mechanical Protection Innovative Fire Resistant Lubricant HFC-E

Güvenlik ve Mekanik Koruma arasında taviz vermeden perfor-
mans; İnovatif HFC-E Yanmaz Hidrolik Yağları

**Björn RATHKE¹, David KUPIEC², Aimilia NEROUTSOU²,
Ege TURHAN³**

¹Fluid Competence, Germany, ²Total Energies, France,

³Total Energies, Türkiye

Germany, France, Türkiye



15 SEPTEMBER 2023, FRIDAY

15 EYLÜL 2023, CUMA

ISRS'2023

STEEL ROLLING

SESSION 5 / 5. OTURUM

Flat Products / Yassı Ürünler

Session Chairman / Oturum Başkanı

Buğra ŞENER - İSKENDERUN DEMİR ÇELİK

13:20 - 13:40

Hall / Salon ISSOS

Latest Achievements with DUE® Technology at Shougang Jingtang

Shougang Jingtang Tesislerinde DUE Teknolojisiyle Elde Edilen
Son Başarılar

Alessandro PIGANI

Danieli & C. Officine Meccaniche S.P.A.
Italy

13:40-14:00

Hall / Salon ISSOS

CSP® Nexus - Newest Generation of Thin Slab Casting and Ultra Thin Rolling For Highest Energy Efficiency With Lowest CO₂ Emissions

CSP® Nexus- Düşük Karbon Emisyonu ve Yüksek Enerji Verim-
liliğine Sahip Yeni Nesil İnce Slab Dökümü ve Ultra İnce Hadde-
leme

Stephan KRÄMER, Cosimo CECERE

SMS Group
Germany

14:00-14:20

Hall / Salon ISSOS

eHRC: Endless Hot Rolled Coil From Arvedi ESP: Green Gold From Scrap

Hurdadan Yeşil Altına

Christoph FELLNER, Juergen SCHOLLER,

Carlo P. PIEMONTE

Primetals Technologies
Austria



15 SEPTEMBER 2023, FRIDAY

15 EYLÜL 2023, CUMA

ISRS'2023

STEEL ROLLING

SESSION 6 / 6. OTURUM

Energy Efficiency & Sustainability Enerji Verimliliği & Sürdürülebilirlik

Session Chairman / Oturum Başkanı
C. Bahadır KARADAYI - CARES

14:50-15:10

Hall / Salon ISSOS

The Stepwise Decarbonization of Reheating Furnaces - From Efficiency Improvements to the Tenova Hybrid Furnace
Yeniden Isıtma Fırınlarının Kademeli Dekarbonizasyonu - Verimlilik İyileştirmelerinden Tenova Hibrit Fırınına
Alessandro Della Rocca, Alessandro Sicher, Davide Astesiano, Claudio Leoncini, Marcello Tomolillo
Tenova, Italy

15:10-15:30

Hall / Salon ISSOS

The Fossil Free Hot Strip Mill - Contribution to Carbon Neutrality in Steel Making
Fosilsiz Sıcak Haddehane- Çelik Üretiminde Karbon Nötrlüğüne Katkı (Karbonsuz Çelik Üretimine Katkı)
Michael BREUER, Wolfgang FUCHS, Georg PADBERG, Heiko REICHEL, Michael DEGNER
SMS Group, Germany

15:30-15:50

Hall / Salon ISSOS

Konvansiyonel Brülörler, Oksi-Yakıt Brülörler ve Isı Geri Kazanım Sistemine Sahip Brülörler Arasında Enerji Verimliliği, Bakım ve Maliyet Analizleri
Energy Efficiency, Maintenance and Cost Analysis For Conventional Burners, Oxy-Fuel Burners, Burners with Heat Recovery System
Kenan KARAÇAVUŞ¹, Semih KORKMAZ², Furkan HAMZAOĞLU²
¹Trakya Üniversitesi, ²Termo Isı Sistemleri, Türkiye



15 SEPTEMBER 2023, FRIDAY

15 EYLÜL 2023, CUMA

ISRS'2023

STEEL ROLLING

SESSION 7 / 7. OTURUM

Maintenance Technologies Bakım Teknolojileri

Session Chairman / Oturum Başkanı
Oğuz CAN - DİLER DEMİR ÇELİK

16:20-16:40

Hall / Salon ISSOS

İsdemir'de Özel Statüdeki Ekipmanların Bakım Sistematiği
Maintenance Systematics of Equipment in Special Status in Isdemir
Hasan BULUT, Sururi KARAÇORLU, Gökçe ARSLAN
İsdemir Demir ve Çelik
Türkiye

16:40-17:00

Hall / Salon ISSOS

Hadde Atölyesinin Dijitalleşme İle İzlenebilirliğini ve Verimliliğini Artırmak
Improving the Traceability and Efficiency of Roll Shop By Digitalization
İlhami M. ORAK¹, Muharrem ERGÖKTAŞ², Burak ESEN²
¹Karabük Üniversitesi, ²Teknoplan Mühendislik
Türkiye

17:00-17:20

Hall / Salon ISSOS

Yüksek Performanslı Sıcak İş Takım Çeliklerinin Mekanik ve Tribolojik Özelliklerinin Karşılaştırması
Comparison of Mechanical and Tribological Properties of High Performance Hot Work Tool Steels
Volkan KARAKURT¹, İdris ALAGAŞ¹, Ahmet Furkan KELEŞ¹, Onur ÖZER¹, Hayrettin AHLATCI²
¹Sağlam Metal, ²Karabük Üniversitesi
Türkiye

POSTERS

POSTER SUNUMLARI



POSTERS

POSTER SUNUMLAR

ISRS'2023

STEEL ROLLING

ISRS-P01

Sentetik Yağlar ile Dişli Kutularında Verimlilik
Efficiency in Gearboxes with Synthetic Lubricants

Hüseyin HACIKADİROĞLU

Mobil Oil Türk
Türkiye

ISRS-P02

İkincil Metalurji İstasyonunda Karpit (CaC₂) Kullanımı ile Kükürt Giderme ve Haddeme Kusurlarının İncelenmesi
Investigation of Desulphurization and Rolling Defects By Using Carpite (CaC₂) in A Secondary Metallurgy Station

Emrecan ZORBA, Uğur CENGİZ

Bilecik Demir Çelik
Türkiye

ISRS-P03

Çelik İçerisindeki O₂ Gazının Çelik Temizliği ve Son Ürün Olan İnşaat Çeliği Üzerine Etkisi

Effect of O₂ Gas in Steel on Steel Cleaning and Final Product Construction Steel

Nilan DAĞLI

Bilecik Demir Çelik
Türkiye

ISRS-P04

Alüminyum İletken Üretim Sektöründe Deep Learning Yüzey Görüntüleme Sistemi ile Hasar Tespiti

Damage Detection in Aluminum Conductor Production Sector with Deep Learning Surface Imaging System

Doğukan ÖZ, Gazi Can İLKİN, Pınar Sinem ÖZER

Emta Conductor & Cable
Türkiye



ISRS-P05

Organik Rankine Çevrimi Teknolojisi ve Hidrojen Üretimi ile Atık Isı Geri Kazanımı

Organic Rankine Cycle Technology and Waste Heat Recovery with Hydrogen Production

Seyed Hamed Pour Rahmati KHALEJAN

Hidropar Hareket Kontrol Teknolojileri Merkezi
Türkiye

ISRS-P06

Hidrolik Boru Hatlarında Pickling & Flushing Metodolojisi, Sürdürülebilirlik, Kararlılık ve Bakım Maliyetlerini Düşürmedeki Önemi

Pickling & Flushing Methodology in Hydraulic Pipelines and Their Importance in Sustainability, Stability and Reducing Maintenance Costs

N. Uğur EREN

HPS Hidrolik Sistem Teknolojileri
Türkiye

ISRS-P07

P295GH Kalite Basıncılı Kap Çeliğinin Yüksek Sıcaklıktaki Mukavemet Özelliklerinin İncelenmesi

Investigation of Mechanical Properties of P295GH Grade Vessel Steel at Elevated Temperature

Celal Erkal KAHRAMAN¹, Caner TUNA¹, Hakan ERÇAY¹, Tuncay DİKİCİ²

¹Özkan Demir Çelik, ²Dokuz Eylül Üniversitesi
Türkiye



ISRS-P08

Çevre Dostu Isı Değişim Ortamı ile Çelik Tel Patentleme Yönteminin Araştırılması

Investigation of Steel Wire Patenting Method With Environmentally Friendly Heat Exchange Environment

Erkan KARAYİĞİT, Gönül COŞKUN

Güney Çelik Hasır Demir Mamulleri
Türkiye

ISRS-P09

Monitoring Technology for Downstream Processes on the Example of Hot Strip Camber, Strip Edge Inspection and Mechanical Properties Measurement

Yassı Haddeleri İçin İzleme Teknolojileri

Helmut HLOBIL, Serkan ÖZDEMİR

Primetals Technologies, Austria
Austria

ISRS-P10

Superior Cold Rolling Solutions of Primetals Technologies for the production of NGO Electrical Steels - MQL

NGO Elektrik Çeliği Üretimi için Yenilikçi Soğuk Hadde Çözümleri

Toru NAKAYAMA¹, Konrad KRİMPELSTAETTER²

¹Primetals Technologies Japan, ²Primetals Technologies Austria
Japan, Austria



ISRS-P11

Recent Hot Strip Mill Technology Highlights

Yeni Sıcak Sac Haddehanesi Teknolojileri

Konrad KRIMPELSTAETTER

Primetals Technologies Japan

Japan

ISRS-P12

WP7V Çeliğinin Kullanım Alanına Göre Farklı Takım Çelikleri İle Karşılaştırmalı İncelemesi

Comparative Examination of WP7V Steel With Different Tool Steels According To the Usage Area

Orçun ZİĞİNDERE, Talip ÇİTRAK, Yasin ÇİÇEK, Onur YILMAZ

Sağlam Metal

Türkiye

ISRS-P13

Karar Analizi ve Çözümü Kullanılarak Sıcak Haddeleme Çizelgelemesinde İki Farklı Sıralama Yöntemi Nasıl Karşılaştırılır?

How To Compare Two Different Sequencing Methods in Hot Rolling Scheduling Using Decision Analysis and Resolution?

Atilla ÖZGÜR

SMS Digital

Germany

ISRS-P14

Highest Steel Surface Quality and Process Efficiency Powered By Smart Inspection Systems

Yüksek Çelik Yüzey Kalitesinin ve Proses Verimliliğinin Akıllı Yüzey Görüntüleme Sistemleri İle Sağlanması

Volkan KOCAL

ISRA Vision

Türkiye



ISRS-P15

Güvenlik Kültürünün Geliştirilmesinde “Amirimden ®” Çalışan Sağlık ve Güvenliği Eğitimleri

“Amirimden ®” Employee Health and Safety Trainings in Developing the Safety Culture

Müzeyyen GENCER¹, Elif SUNGUR²

¹GLC Eğitim, ²Maltepe Üniversitesi
Türkiye

ISRS-P16

Phase 1 of Plate Mill Upgrade at JSW Steel Texas Is Completed

JSW Steel Texas Plate Mill Güncellenmesinin 1. Fazı Tamamlandı

Matteo Remy BULFONE

Danieli & C. Officine Meccaniche S.P.A.

Italy

ISRS-P17

Tıg Kaynaklı SAF 2205 Paslanmaz Çelik Levhaların İçyapı ve Mekanik Özelliklerine Isı Girdisi Etkisi

Effect of Heat Input on Microstructure and Mechanical Properties of TIG Welded SAF2205 Stainless Steel Plates

Muhammed M. ARSLAN, Gürel ÇAM

İskenderun Teknik Üniversitesi

Türkiye

ISRS-P18

Kangal Taşıma Vinci C-Kanca Halat Uç Bağlantı Tasarımı

C-Hook Rope End Connection Design of Wire Coil Handling Crane

Veysel ÇELİK, Önder Armağan YALIMKILINÇ, Hasan ÖZTÜRK, Hüseyin ALBAY

Erdemir Mühendislik

Türkiye



ISRS-P19

**Demir Çelik Sektörüne Özel Rulman Bakımı ve Yönetimi
Örnek Çalışmaları**

Maintenance and Management of Bearing Special For Iron
and Steel Industry Case Studies

**Mustafa CEYHUN, Barış KÜPELİ, Osman ÇELİK, Bulut İN,
Yalçın TEKİN, Mehmet TEHÇİ**

İskenderun Demir ve Çelik
Türkiye

ISRS-P20

**Haddeleme Süreçlerinde Kalite Ölçüm Sistemleri ile Büyük
Veri Oluşturma, Yapay Zeka Algoritmaları ile Arıza Tahmini
ve Kalite Performanslarının Raporlanması**

Generating Big Data with Quality Measurement Systems,
Fault Prediction with Artificial Intelligence Algorithms and
Reporting Quality Performances in Rolling Processes

**Mehmet Emin CÜR MEN, Burak ÖZBEK, Burak CANBAZ,
Görkem AYMELEK, Mustafa Ozan YILDIRIM,
Serim GENÇASLAN, Denizcan BAĞDATLIOĞLU**

SpechtLab
Türkiye

**15 SEPTEMBER / EYLÜL 2023 - 10:30-12:30****We Transform Maintenance by Digitalization
Dijitalleşmeyle Bakımı Dönüştürüyoruz**

Speaker / Konuşmacı

Ingo SCHMİDT

Global Business Development Key Account Manager, Steel
Global İş Geliştirme Müşteri Yöneticisi
SCHAEFFLER
Germany

- 1. Expert Services**
Uzman Servis Hizmeti
- 2. Rolling Mill Bearings**
Haddehane Rulman Uygulamaları
- 3. Continuous Caster Bearings (CoCaB)**
Sürekli Döküm Rulmanları (CoCaB)
- 4. Lifetime Solutions for Steel Applications > Improving
production availability across the bearing lifecycle**
Çelik Uygulamaları için Kestirimci Bakım Çözümleri > Rulman
Ömrü Boyunca Üretimin Sürdürülebilirliğini İyileştirmek
- 5. Bearing Data Services**
Rulman Data Servisleri

**1 hour presentation - 1 hour discussion. It will be organized
as an invited event, especially with manager, chief and
maintenance employee in the relevant parts.**

Özellikle ilgili kısımlardaki müdür, şef, bakım personellerinin
katılımı üzerine davetli etkinlik olarak organize edilecektir.

CONTENTS

İÇİNDEKİLER



CONTENTS

İÇİNDEKİLER

ISRS'2023

STEEL ROLLING

New Horizontal Billet Welder and Spooler Technology Kütük Kaynağı ve Spooler Teknolojisi Danieli & C. Officine Meccaniche S.P.A. Italy	41
Jumbo Section Mills: Today and in Future Bugün ve Gelecekte Jumbo Section Mill ¹ SMS Group, ² SMS Digital Germany	44
Long Rolling - Process Expert Uzun Mamül Haddeleme - Proses Eksperti Primetals Technologies Germany	53
Improving Energy Efficiency Through Digitalization - Case Study Dijitalleşme ile Enerji Verimliliğini Arttırma - Vaka Çalışması SMS Group Brazil	56
Smart Long Rolling - Digital Solutions Akıllı Uzun Haddeleme - Dijital Çözümleri SMS Group Brazil	60
Danieli Intelligent Plant: An Innovative and Outstanding Approach to Plant Supervision and Process Control for ABS QWR 4.0 (Quality Wire Rod Mill) Danieli'nin Akıllı Tesisi ABS QWR İçin Tesis Denetimine ve Proses Kontrolüne Yenilikçi ve Özgün Bir Yaklaşım Danieli & C. Officine Meccaniche S.P.A. Italy	64
İsdemir Sıcak Haddehane Verileriyle Kapsamlı Bir Sınıflandırma Algoritmaları Karşılaştırması A Comprehensive Classification Algorithm Comparison With Isdemir Hot Rolling Mill Data İskenderun Demir ve Çelik Türkiye	65
Automotive and Silicon Steel Cold Rolling Technology Otomotiv ve Silikon Çeliğinin Soğuk Haddeleme Teknolojisi Danieli & C. Officine Meccaniche S.P.A. Italy	74
Demiryolu Hafif Taşımacılıkta Kullanılan Oluklu Ray Üretimi Production of Grooved Rail Used in Light Rail Systems Kardemir Türkiye	76



Rolling of Cold Strip Down to Thin Gauges in Tandem Mills: Challenges and Solutions Sıralı Haddelerde Soğuk Şeridin İnce Ölçeklere Yuvarlanması: Zorluklar ve Çözümler SMS Group Germany	81
Demir-Çelik Sektörü İçin Sürdürülebilir Bir Geleceğe Doğru 4 Adım & "Yeşil Çeliğin" Şekillendirilmesine Yardımcı Olan 3 Sıfır Karbon Yeniliği 4 Steps Towards A Sustainable Future For Steel & 3 Decarbonising Innovations Helping To Shape "Green Steel" Shell Madeni Yağlar Türkiye	86
Reducing the Compromise Between Safety and Mechanical Protection Innovative Fire Resistant Lubricant HFC-E Güvenlik ve Mekanik Koruma arasında taviz vermeden performans; İnovatif HFC-E Yanmaz Hidrolik Yağları ¹ Fluid Competence, Germany, ² Total Energies, France, ³ Total Energies, Türkiye Germany, France, Türkiye	95
Latest Achievements with DUE® Technology at Shougang Jingtang Shougang Jingtang Tesislerinde DUE Teknolojisiyle Elde Edilen Son Başarılar Danieli & C. Officine Meccaniche S.P.A. Italy	101
CSP® Nexus - Newest Generation of Thin Slab Casting and Ultra Thin Rolling For Highest Energy Efficiency With Lowest CO₂ Emissions CSP® Nexus- Düşük Karbon Emisyonu ve Yüksek Enerji Verimliliğine Sahip Yeni Nesil İnce Slab Dökümü ve Ultra İnce Haddeleme SMS Group Germany	107
eHRC: Endless Hot Rolled Coil From Arvedi ESP: Green Gold From Scrap Hurdadan Yeşil Altına Primetals Technologies Austria	113
The Stepwise Decarbonization of Reheating Furnaces - From Efficiency Improvements to the Tenova Hybrid Furnace Yeniden Isıtma Fırınlarının Kademeli Dekarbonizasyonu - Verimlilik İyileştirmelerinden Tenova Hibrit Fırınına Tenova Italy	118



The Fossil Free Hot Strip Mill - Contribution to Carbon Neutrality in Steel Making Fosilsiz Sıcak Haddehane- Çelik Üretiminde Karbon Nötrlüğüne Katkı (Karbonsuz Çelik Üretimine Katkı) SMS Group Germany	121
Konvansiyonel Brülörler, Oksi-Yakıt Brülörler ve Isı Geri Kazanım Sistemine Sahip Brülörler Arasında Enerji Verimliliği, Bakım ve Maliyet Analizleri Energy Efficiency, Maintenance and Cost Analysis For Conventional Burners, Oxy-Fuel Burners, Burners with Heat Recovery System ¹ Trakya Üniversitesi, ² Termo Isı Sistemleri, Türkiye	127
İsdemir'de Özel Statüdeki Ekipmanların Bakım Sistematiği Maintenance Systematics of Equipment in Special Status in Isdemir İsdemir Demir ve Çelik Türkiye	135
Hadde Atölyesinin Dijitalleşme İle İzlenebilirliğini ve Verimliliğini Artırmak Improving the Traceability and Efficiency of Roll Shop By Digitalization ¹ Karabük Üniversitesi, ² Teknoplan Mühendislik Türkiye	140
Yüksek Performanslı Sıcak İş Takım Çeliklerinin Mekanik ve Tribolojik Özelliklerinin Karşılaştırması Comparison of Mechanical and Tribological Properties of High Performance Hot Work Tool Steels ¹ Sağlam Metal, ² Karabük Üniversitesi Türkiye	145
Sentetik Yağlar ile Dişli Kutularında Verimlilik Efficiency in Gearboxes with Synthetic Lubricants Mobil Oil Türk Türkiye	151
İkincil Metalurji İstasyonunda Karpit (CaC₂) Kullanımı ile Kükürt Giderme ve Haddeleme Kusurlarının İncelenmesi Investigation of Desulphurization and Rolling Defects By Using Carpite (CaC ₂) in A Secondary Metallurgy Station Bilecik Demir Çelik Türkiye	159
Çelik İçerisindeki O₂ Gazının Çelik Temizliği ve Son Ürün Olan İnşaat Çeliği Üzerine Etkisi Effect of O ₂ Gas in Steel on Steel Cleaning and Final Product Construction Steel Bilecik Demir Çelik Türkiye	166



Alüminyum İletken Üretim Sektöründe Deep Learning Yüzey Görüntüleme Sistemi ile Hasar Tespiti Damage Detection in Aluminum Conductor Production Sector with Deep Learning Surface Imaging System Emta Conductor & Cable Türkiye	172
Organik Rankine Çevrimi Teknolojisi ve Hidrojen Üretimi ile Atık Isı Geri Kazanımı Organic Rankine Cycle Technology and Waste Heat Recovery with Hydrogen Production Hidropar Hareket Kontrol Teknolojileri Merkezi Türkiye	176
Hidrolik Boru Hatlarında Pickling & Flushing Metodolojisi, Sürdürülebilirlik, Kararlılık ve Bakım Maliyetlerini Düşürmedeki Önemi Pickling & Flushing Methodology in Hydraulic Pipelines and Their Importance in Sustainability, Stability and Reducing Maintenance Costs HPS Hidrolik Sistem Teknolojileri Türkiye	183
P295GH Kalite Basınçlı Kap Çeliğinin Yüksek Sıcaklıktaki Mukavemet Özelliklerinin İncelenmesi Investigation of Mechanical Properties of P295GH Grade Vessel Steel at Elevated Temperature ¹ Özkan Demir Çelik, ² Dokuz Eylül Üniversitesi Türkiye	195
Çevre Dostu Isı Değişim Ortamı ile Çelik Tel Patentleme Yönteminin Araştırılması Investigation of Steel Wire Patenting Method With Environmentally Friendly Heat Exchange Environment Güney Çelik Hasır Demir Mamulleri Türkiye	197
Monitoring Technology for Downstream Processes on the Example of Hot Strip Camber, Strip Edge Inspection and Mechanical Properties Measurement Yassı Haddeleri İçin İzleme Teknolojileri Primetals Technologies, Austria Austria	212
Superior Cold Rolling Solutions of Primetals Technologies for the production of NGO Electrical Steels - MQL NGO Elektrik Çeliği Üretimi için Yenilikçi Soğuk Hadde Çözümleri ¹ Primetals Technologies Japan, ² Primetals Technologies Austria Japan, Austria	219



Recent Hot Strip Mill Technology Highlights Yeni Sıcak Sac Haddehanesi Teknolojileri Primetals Technologies Japan Japan	222
WP7V Çeliğinin Kullanım Alanına Göre Farklı Takım Çelikleri ile Karşılaştırmalı İncelemesi Comparative Examination of WP7V Steel With Different Tool Steels According To the Usage Area Sağlam Metal Türkiye	225
Karar Analizi ve Çözümü Kullanılarak Sıcak Haddeleme Çizelgelemesinde İki Farklı Sıralama Yöntemi Nasıl Karşılaştırılır? How To Compare Two Different Sequencing Methods in Hot Rolling Scheduling Using Decision Analysis and Resolution? SMS Digital Germany	229
Highest Steel Surface Quality and Process Efficiency Powered By Smart Inspection Systems Yüksek Çelik Yüzey Kalitesinin ve Proses Verimliliğinin Akıllı Yüzey Görüntüleme Sistemleri İle Sağlanması ISRA Vision Türkiye	235
Güvenlik Kültürünün Geliştirilmesinde "Amirimden ®" Çalışan Sağlık ve Güvenliği Eğitimleri "Amirimden ®" Employee Health and Safety Trainings in Developing the Safety Culture ¹ GLC Eğitim, ² Maltepe Üniversitesi Türkiye	241
Phase 1 of Plate Mill Upgrade at JSW Steel Texas Is Completed JSW Steel Texas Plate Mill Güncellenmesinin 1. Fazı Tamamlandı Danieli & C. Officine Meccaniche S.P.A. Italy	246
Tıg Kaynaklı SAF 2205 Paslanmaz Çelik Levhaların İyçayı ve Mekanik Özelliklerine Isı Girdisi Etkisi Effect of Heat Input on Microstructure and Mechanical Properties of TIG Welded SAF2205 Stainless Steel Plates İskenderun Teknik Üniversitesi Türkiye	251
Kangal Taşıma Vinci C-Kanca Halat Uç Bağlantı Tasarımı C-Hook Rope End Connection Design of Wire Coil Handling Crane Erdemir Mühendislik Türkiye	262



CONTENTS

İÇİNDEKİLER

ISRS'2023

STEEL ROLLING

Demir Çelik Sektörüne Özel Rulman Bakımı ve Yönetimi Örnek Çalışmaları 265

Maintenance and Management of Bearing Special For Iron and Steel Industry Case Studies
İskenderun Demir ve Çelik
Türkiye

Haddeleme Süreçlerinde Kalite Ölçüm Sistemleri ile Büyük Veri Oluşturma, Yapay Zeka Algoritmaları ile Arıza Tahmini ve Kalite Performanslarının Raporlanması 273

Generating Big Data with Quality Measurement Systems, Fault Prediction with Artificial Intelligence Algorithms and Reporting Quality Performances in Rolling Processes
SpechtLab
Türkiye

PROCEEDINGS

BİLDİRİLER



Long Products

Uzun Ürünler

New Horizontal Billet Welder and Spooler Technology

Kütük Kaynağı ve Spooler Teknolojisi

Cimaponti RUBENS

Danieli & C. Officine Meccaniche S.P.A.
Italy

Keywords: Billet Welder, Spooler

INTRODUCTION

Competitiveness and modernization in the rebar industry to produce endless-rolled bars in spooled coils, a route that accumulates the benefits brought by the two effective and proven processes.

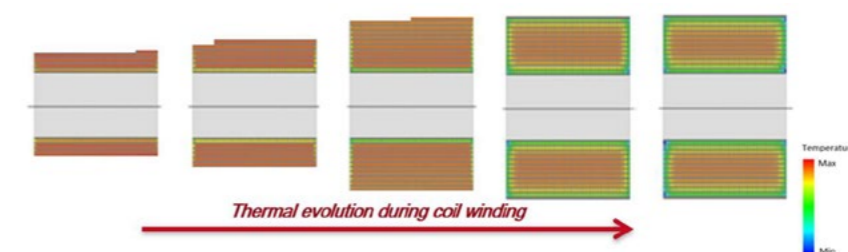
The construction scenario has progressively changed in both methods and technology requirements. For example, the trend toward easier on-site assembly of rebar cages -as well as the need to fully respond to seismic standards for construction - has driven the design of concrete structures that match the required content of reinforcing members using more and smaller elements.

The development in Europe of a modern downstream cut-and-bend industry structured with automatic and safer equipment for coil straightening, bending and cutting, as well as the capability to reduce process scrap volumes considerably, pushed the steel rolling industry towards coil production, either stretched/re-wind or hot rolled.

K-spool Technology

In 2000, Ferriere Nord pioneered the hot spooling of rebars, installing the very first Danieli spooler line (K-Spool) for rebars up to 16 mm.

Horizontal coiling technology with unbeatable performances in terms of mechanical properties thanks to symmetrical thermal profile that grants less than 20 MPa standard deviation along the same coil.



Highly sophisticated automation system includes the Q-Vid, a Danieli Automation innovative computer vision system that feeds the automation control to fine tune the distributor course to optimally displace the rolled wires, ensuring a more compact coil by 3-5%.

K-Spool technology ensures homogeneity of material characteristics, geometry of coiling, and filling factor over 60%. Further development has expanded the system capabilities to process rebars up to 32 mm, and in customized weights from 1.5 up to 8 t.

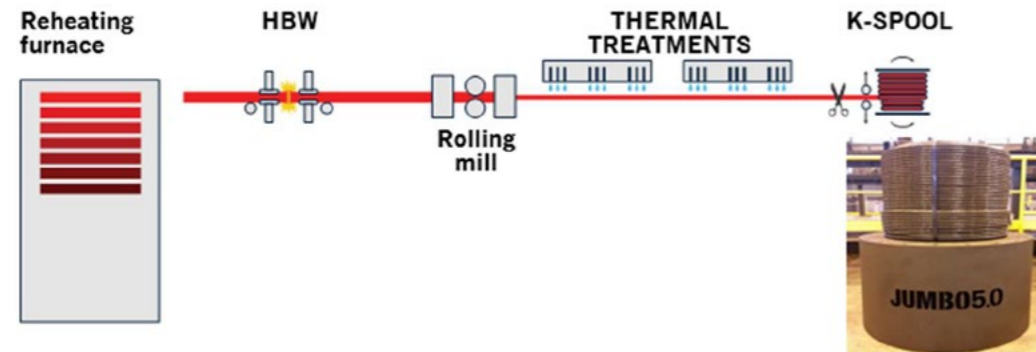
The quality of hot rolled coil produced with Danieli K-Spool technology (finishing speed up to 45 mps for the smaller diameters and smaller coils) is unanimously recognized as unparalleled in terms of mechanical consistency and twist-free tendency, which are ultimately the aspects that mean the most for downstream processors and that consequently lead to

significant Euro/Tons saving due to less uncoiling activities, less cobbles and scraps and higher productivity thanks to coil compactness.

There is no doubt that whoever has installed a Danieli K-Spool line has soon reached a prominent standing in its reference market, as proven by a rich array of case histories.

Maximizing the benefits

The key to producing heavy coils but also increasing the overall yield of a plant reducing operating cost is the billet welding system from Danieli.



K-Welding establishes the EWR-Endless Welding Rolling process, a technology mastered by Danieli for more than two decades. Shifting from billet-to-billet rolling to EWR there is the possibility, thanks to the elimination of gap time, to increase productivity in the range of 12-14% depending on the rolling mill size and where there is unexploited capacity still available in the reheating furnace. The almost total elimination of head and tail cropping, the disappearance of short bars from the cooling bed, and a drastic reduction of cobbling due to higher stability of the rolling process, can lead to an increase in yield generally ranging from 1.2% to over 1.5%, depending on the rolling mill characteristics and capacity.

State-of-the-art

Currently Danieli is developing full-scale integration of induction heating technology with the billet welding, to have optimal control on the whole process, starting with optimal fine-tuning of material temperature equalization and full operational flexibility. In certain markets, the availability of electric energy at competitive costs provides further incentive to shift consumption "from gas to electrical power", while reducing scale loss and further benefitting the overall yield balance.

The Danieli K-Welding unit can cope with very high production output, the upper limit being the reheating furnace capacity, thanks to a number of exclusive technical solutions developed from day-to-day feedback and collaboration with various clients.

The array of innovations includes, amongst others, an automation system based on Industry 4.0 concepts, ensuring dynamic control of the whole process, an innovative spark killer protection device, and the most efficient solution for the cleaning of the welded joint.



In 2021 6th generation of K-Welding unit was installed and commissioned to Ferriere Nord, implementing a **new design** that simplify and short cleaning operation by 50%, leading to a +5% of plant efficiency, introducing the "**cartridge concept**" to quickly and easily replacement for off-line maintenance in the workshop and, last but not least, including the **current control system** to reduce the welding time by minimum 5% improving reliability of welding joints.

Conclusion

The global rebar industry is in the process of modernization that is essential for producers whose ambition is to lead the market, offering high-quality products that respond to the transformation and modernization of the downstream market chain. This is accomplished by rendering the processes more efficient, under better control, and reducing production and operating costs.

Jumbo Section Mills: Today and in Future

Bugün ve Gelecekte Jumbo Section Mill

Ralf SIEWE¹, Wolfgang SCHEFFEL¹, Can YALCIN²

¹SMS Group, ²SMS Digital
Germany

Summary:

In recent years, Jumbo Beam and Section Mills were either supplied as new plants, modernized and successfully commissioned or are under construction. Such heavy rolling mills require special technologies and equipment like thermo-mechanical rolling as well as in-line thermal treatment. Furthermore, rolling of beams up to more than a ton per meter poses special requirements on the rolling mill equipment design and layout. In particular, solutions for covering a very wide range of product mix are presented here.

Beside the introduction of the mill equipment and its technologies, this paper focuses on the today's and tomorrow's possibilities to provide tailor made asset optimization applications enabling plant operators to make accurate, machine learning-based predictions about production processes, product quality, and the plant's condition. The possibility of making accurate process predictions means that raw materials and feedstock are used according to required demand, thus reducing waste, downtime, and costs. By relying on digitalization, companies can generate enormous added value from the possibilities offered by new technologies such as machine learning for the holistic optimization of production processes.

Predictive asset optimization applications offered by SMS group enable steel producers to draw better conclusions in data-rich decision areas and help to assess equipment health and detect complex anomalies from real-time sensor data. Thanks to machine learning, equipment failures can be predicted or, at the very least, a probability of failure assessed days in advance. It uncovers characteristics and sensor-level factors that cause a failure. Data-driven condition monitoring lays the groundwork for the learning steel plant. By providing real-time insights into the plant's condition and process deficiencies as well as predicting machine failures, maintenance measures can be taken proactively and production can be rescheduled and productivity increased.

Keywords:

Reversing Tandem Mill, Universal Beam Rolling, CCS-Mill Stands, CRS-Straightener, ProfileGauge, SurfTech, Thermomechanical Rolling of Sections, Quenching and Self-tempering, QST, Asset Optimization, Predictive Maintenance, Process Stability, Process Prediction, Proactive Maintenance, Condition Monitoring, AI, Machine Learning, Deep Learning, OEE.

combination with improved fabrication properties like weldability. Main application of such products are power plants, off-shore platforms, high-rise buildings in particular in seismic active regions, bridges, etc. This demand cannot be served by conventional steel making and rolling processes alone.

Challenged by this increased requests for steel manufacturers, SMS has developed technologies and equipment designs that allow the reliable and cost efficient production of these demanding products.

What are the challenges?

Rolling of beams with thicknesses up to 140 mm and weight per meters up to 1377 kg require extreme large beam blanks as feedstock. Rolling from slabs as done in the past is less reliable and require many passes in the BD-stand, which result in temperature loss, limited productivity and unfavorable yield.

The rolling equipment needs to be extra heavy, rolling forces, torques, but also the carrying loads require special designs.

Despite the use of heavy beam blanks, the reduction in the rolling mill is limited. In addition, since the yield strength is decreasing with larger thicknesses, the beams need to be thermally treated in line. Properties like high yield strength, improved toughness and good weld ability cannot be achieved in the traditional normalizing rolling process.

In-line roller straightening is limited by the moment of inertia, which limits roller straightening for beams up to a range of approximately 500 kg/m. Heavier beams require a gag press route for straightening.

Cut-to-length for jumbo beams require a hot sawing process, whereby standard beams will be cut-to-length after in-line straightening by cold saws.

Survey through a Heavy Section Mill for standard beams and jumbo beams showing the solutions

In the old times, the only choice for rolling of jumbo beams was using slabs, which normally are cast for flat products. However, over the last decades it became possible to continuously cast ultra large and heavy beam blanks. Figure 1 shows some examples from different jumbo beam mills.

By using beam blanks for rolling of large and heavy beams, the rolling technology on the Breakdown-stand has been changed resulting in reduced passes, stable product quality and increased yield. At the same time the size of the breakdown mill and drive power could be reduced.

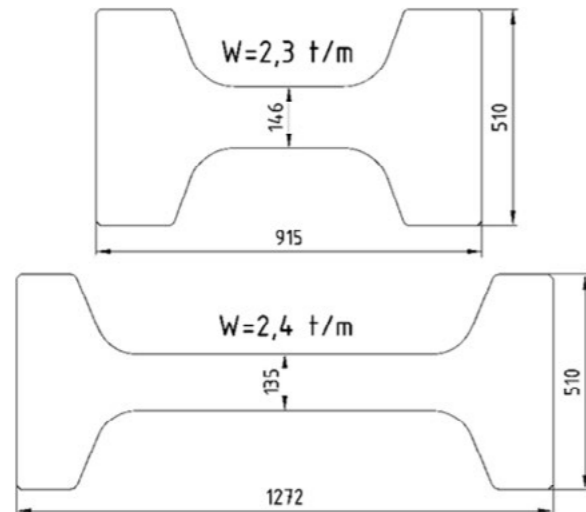


Figure 1: Beam Blanks used for Jumbo beams (examples)

For rolling of such heavy beam sizes up to 1377 kg/m, the rolling mill equipment has to be adapted accordingly. Obviously, the rolling mill equipment needs to be more rigid in order to accommodate much higher loads. Reversing tandem mill stands requested larger roll diameters, higher horizontal and vertical roll separating forces as well as more drive power. Since typically the jumbo beam mills produce also the normal range of standard beams and other products like sheet piles, the CCS-type of mill stands are designed to accommodate different roll sets with different diameters and barrel length. This feature allows using existing and new rolls in case of modernizations like at Nucor Yamato Steel or to use roll diameters, which are appropriate for the different products within the product mix. A typical example is the heavy section mill at Suez Steel, having a wide range of different sections, also rails in the product program, which require smaller roll diameters compared to jumbo beams. Figure 2 shows the universal stands CCS 1500 at Nucor Yamato Steel after the Revamp of their rolling mill No. 1 in Blytheville, USA.



Figure 2: Reversing Tandem Mill with CCS-1500 Universal Mill Stands for rolling of jumbo beams (reference Nucor Yamato Steel, USA)

For achieving the requested mechanical properties and in particular for off-shore applications, which require a high yield point as well as high impact toughness at low temperatures the application of in-line thermal treatment is a must, since classical steel making / rolling routes are unable to achieve these mechanical properties of the finished products.

Thermo-mechanical rolling of beams, selective flange cooling as well as quenching and self-tempering processes for beams were developed and introduced already in the 90's of the last century. Thermo-mechanical rolling is used for thinner beams, QST for thick-flange beams, selective flange cooling is used for both applications. Hence, economical production of beams with increased tensile properties, excellent toughness, improved weld ability and low operating costs and the reduced cost for alloying elements in steelmaking is realized.

The SMS design for these in-line treatment facilities is distinguished by its flexibility to be used for the entire range of beams with recipes for different beams and grades generated by a so-called BeamCool process model, however without any changing of equipment for different beam sizes. Figure 3 shows a typical quenching module in 3D-design, which will be applied for the entire beam program.

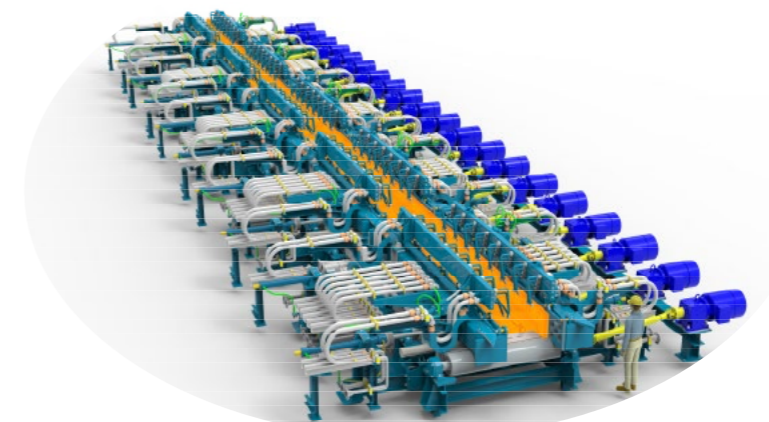


Figure 3: 3D-design of water quenching module for flexible quenching of the entire beam range

Due to the thickness of flanges and web, the jumbo beams can neither be cut-to length in cold conditions like the remaining product program nor straightened by a roller straightening process. Even though SMS has built the largest CRS-straightening machine worldwide for the Heavy Section Mill at Masteel in China, still the jumbo's need to be gag pressed.



Figure 4: Largest CRS-Roller Straightening Machine (CRS 2800)

For cutting to length, hot sawing processes have to be applied. The hot saws are distinguished by large saw blade diameters, high drive power. Figure 5 shows the a typical layout for extension of an existing beam mill by an additional hot sawing line, jumbo cooling bed and followed by a gag press process for the jumbo beams.

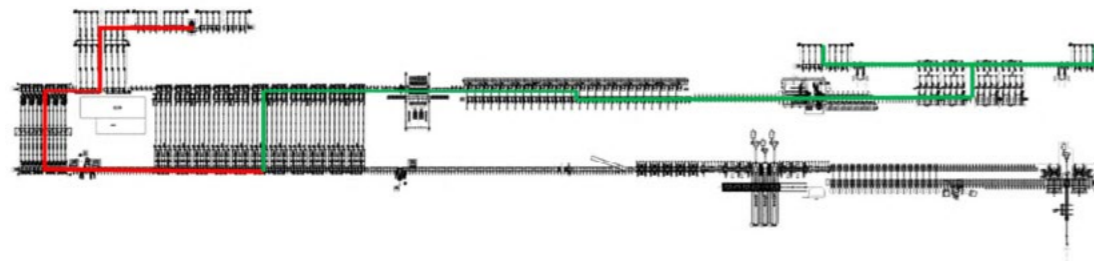


Figure 5: Layout for jumbo rout with hot sawing, cooling bed and gag press

Over the recent five years SMS has built one Heavy Section Mills for jumbo beams in China and one in North Africa is under construction. Moreover, two Heavy Section Mills in USA and Korea were revamped. This underlines the increasing demand for those products. This brings us the second topic, the digital solutions, which are offering not only for jumbo beam mills, but for all kind of section mills new possibilities and solutions.

Introduction and Objectives for Digital Solutions

This document describes the comprehensive functionalities and features of SMS group's tailor made asset optimization system. The presented platform, models and approaches are based on real customer examples, data analysis and study results of SMS group.

Key objectives of the system

- *Prevent equipment failures and avoid downtime*
The system identifies needs for maintenance of an asset based on an impending failure predicted by the application.
- *Reduce planned downtime and maintenance cost*

The system identifies opportunities to delay maintenance of the machine if no significant anomalies or subsequent failure is predicted by the application.

- *Reduce reliance on fixed interval preventative maintenance activities*
The system enables the reduction of unneeded maintenance activity, and associated downtime, by better understanding of the equipment and conducting condition-based and/or predictive maintenance.
- *Reduce production downtime due to process instability*
The system enables more proactive assessment of process instability by building the baseline and compare with the actual process parameters.

Concept

The overall system software is based on SMS group's **DataXpert platform**. With this platform SMS group customer are able to do advanced analytics and artificial intelligence, detect anomalies and predict failures, thus triggering interventions by customer operators and maintenance personnel when a problem is identified. This may include, for example, scheduling repairs or replacements during planned maintenance down turns instead of risking an equipment failure and unplanned downtime for repair. From this, the system leverages the correlations from the outputs of all components, the rules and targeted data sets, as well as raw time series data to sense complex patterns across sensors, detect anomalies in the equipment and process behavior and provide relevant warnings to the operators and maintenance personnel.

In summary, the tailor made asset optimization system is a holistic system solution for the continuous sensing, accessing, monitoring, detecting, and predicting occurrence of failure events before they happen. It supports the maintenance planning and the reduction of production downtime. Besides the realization of these economic benefits, the asset optimization system is an essential component enabling digitalization in the entire production plant.

DataExpert platform by SMS group

The DataXpert is a toolbox, which consists of three major applications: a rules engine named RulesXpert, a machine learning application, named AIXpert and a configurable dash boarding solution, BiXpert.

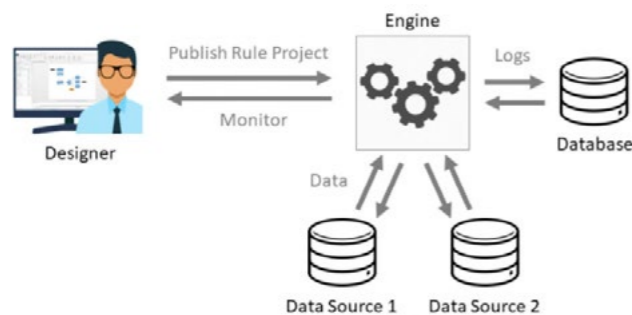


Figure 6: Rule engine of RulesXpert

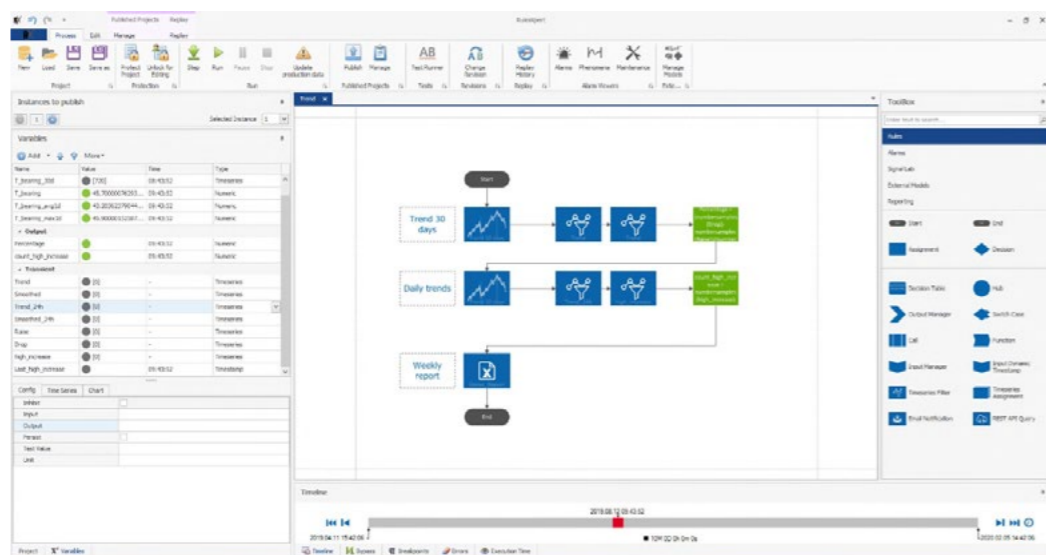


Figure 7: graphical user interface of RulesXpert Designer



Figure 8: Dashboards built within BIXpert

Conclusion

The described predictive asset optimization applications show that SMS group enables steel producers to draw better conclusions in data-rich decision areas and helps to assess equipment health and detect complex anomalies from real-time sensor data. Thanks to machine learning, equipment failures can be predicted or, at the very least, a probability of failure assessed days in advance. It uncovers characteristics and sensor-level factors that cause a failure. Data-driven condition monitoring does the groundwork for the learning steel plant. By providing real-time insights into the plant's condition and process deficiencies as well as predicting machine failures, maintenance measures can be taken proactively and production can be rescheduled and productivity increased.

Long Rolling – Process Expert

Uzun Mamül Haddeme – Proses Eksperti

Dmitry KAZANTSEV

Primetals Technologies
Germany

References

Micak J., Giroladini F. And, Hansen F. - ProcessXpert : a new generation of knowledge based blast furnace expert system - AISTech 2022

Thirion, C.; Odicino, G.; Fontana, P.: Improving BF operation through SACHEM® (Intelligent Supervision System) and process optimization models, ABM 3rd International Meeting on Ironmaking, São-Luís, Brazil, 2008

A.-K. Agrawal; C. Shockaert; Y. Reuter; F. Hansen; P. Bermes; F. Giroladini; J.-P. Simoes; R. Lin: Advanced BFXpert – with Artificial intelligence at ROGESA, ESTAD, Düsseldorf, 2019

C. Schockaert; F. Hansen; A. Schmitz; S. Weyer: Digitizing valuable process and maintenance know-how: A fundamental step for future optimizations, ESTAD, Stockholm, 2021

Keywords: Process Expert, Scheduling, Digitalization, Smart, Modular, Rolls, Productivity

Introduction

Disruptive technologies can dramatically change the market landscape, but they sometimes struggle to gain broad market acceptance until a driving force emerges to create a new equilibrium. This equilibrium can be a result of various factors such as government subsidies, consumer preferences, or technological advancements. For example, in some countries, the initial costs of electric vehicles were significantly reduced by government subsidies, leading to an increase in demand and development of the technology.

Maximizing productivity has always been a driving factor for the industry. Technological advancements have been a crucial part of pushing productivity levels further, while ensuring operator safety.

Primetals Technologies is at the forefront of developing smart and advanced digital solutions, that are at the confluence of safety and productivity. Our team is continuously exploring new and disruptive technologies that can revolutionize the industry while ensuring maximum safety and productivity. This paper aims to elaborate on several new and disruptive technologies that have the potential to transform the industry. We firmly believe that these technologies will lead to a safer and more productive workplace, and we are excited to share our insights with you.

PRIMETALS – Process Expert for Long Rolling

Primetals Process Expert is a system that supports control and management of long rolling production, which will help to:

- Measure and monitor long rolling mill KPI's
- Monitor and schedule of the process of production from billet yard through furnace and mill to product yard.
- Record downtimes and delays.
- Control maintenance activities.
- Monitor utilization of the mill resources.
- Provide immediate and up to date information about mill performance and production quality.
- Generate rich customize reports and data analysis.
- Connect various systems data results (measuring devices, laboratory, etc.) to one central point.

Process Expert is a modular system, and each module is dedicated to a different area of the Rolling Mill.

PRIMETALS – Process Expert Roll Shop

Roll Shop module is a module that support roll shop area. Roll Shop module provides full inventory of all rollers and roll sets in the mill as well as actual information about rolled tonnage by each groove.

Roll Shop module functionalities:

- Grooves and Rolls definitions
- Rolls Inventory
- Managing grinding queue



- Monitoring mill configuration
- Accumulating rolled tonnage
- Historical data
- Reporting

Roll Shop module is displaying status of each stand (stand type, status, installed cassette/roll set), displaying information about active grooves per each stand (groove description, tonnage of rolled material). Information is based on signals received from L1 – communication with L1 required. The system can provide notification of exceeding groove limit.

Conclusion

Primetals Technologies is committed to exploring and developing digital technologies that help to maximize productivity in the metals industry. Their focus is on creating innovative solutions that can help customers stay ahead of the competition while creating a safer and more productive workplace for everyone involved. Primetals Technologies has invested heavily in research and development, constantly exploring new and disruptive technologies that have the potential to transform the industry. This has led to the development of advanced digital solutions presented in this paper. By embracing these new technologies, Primetals Technologies believes that customers can achieve maximum productivity, while also staying ahead of the competition.

Digitalization

Dijitalizasyon

Improving Energy Efficiency Through Digitalization - Case Study

Dijitalleşme ile Enerji Verimliliğini Arttırma – Vaka Çalışması

Kássio Nogueira CANÇADO, Ana Carolina ROCHA,
Rafaela RAPALO, Paula POMARO, Lis SOARES

SMS Group
Brazil

Keywords: Digital tool, Reheating furnace, Combustion, Energy efficiency

Abstract

Improving the energy efficiency of a reheating furnace is not a simple task because it involves a large number of parameters that, in most of the time, are connected to each other in a complex way. To be feasible, the evaluation of such a vast number of variables must be supported by digital tools that are embedded with artificial intelligence. The SMS group has been developed a digital tool that effectively supports operators and engineers in enhancing energy efficiency within the reheating furnaces of hot rolling mills. This paper presents a quick study case of the use of *Viridis Performance*, an application of *Viridis Energy & Sustainability Suite*, in the analysis and correction of the deviations in the air-gas ratio of a reheating furnace. In this study, a production period of 8 hours was evaluated, during which the air-gas ratio presented a significant deviation. Analysis showed that the probable cause of the deviation was a production stoppage where the furnace control was set to manual mode. A reduction potential of 0.26 Gcal/h was identified along with a 13 kg/h decrease in CO₂ emissions. *Viridis Performance* would support the process by guiding the decisions of the operator in a way that energy losses would be avoided or minimized. The potential economic savings were also quantified. This task is performed in the system by *Viridis Moneybox*, which is another application of *Viridis Energy & Sustainability Suite*. The results showed potential savings of 13 US \$/h. In addition to the gains and savings outlined in this study, the utilization of *Viridis Performance* encompasses numerous other advantages, such as enhanced operational standardization and improved process capability, to name just a few.

1. Introduction

Reheating furnaces are of great interest in the steel industry due to their wide applicability within the production chain. Among their most common applications, it is worth noting: heating slabs and billets for the rolling process, forging processes, and heat treatment of rolled steel. [1] [2] [3]. The energy consumption of reheating furnaces is of interest for several reasons, including:

- Important cost driver;
- An important emission source;

- Indirect influence on product quality.

The present work will use the *Viridis Performance* to develop an analysis of process parameters that can affect the energy consumption of reheating furnace during transient periods. *Viridis Performance* is a digital tool from SMS group which is embedded with state-of-the-art methodologies based on artificial intelligence and mathematical models. It enables to ensure that energy efficiency actions are being applied in daily life, contributing to the reduction of energy cost without equipment modification or production disruption.

2. Methodology

The methodology proposed in this work consists of performing an energy balance to a real operating scenario of a reheating furnace and a subsequent analysis of deviations that could be avoided by the use of *Viridis Performance*. The reheating furnace is of walking beam type and operates with coke furnace gas (COG). The methodology was divided into the following subsections: “Energy Balance” and “Analyses”, as shown below.

2.1. Energy Balance

The energy balance used in this study follows the first law of thermodynamics [4]. The control volume is given in Figure 1 and the energy balance is defined by equations 1 to 7.

$$\dot{E}_{in} = C_{S_{air}} + C_{S_{fuel}} + \Delta H_{C_{fuel}} \quad (1)$$

$$\dot{E}_{out} = C_{S_{fumes}} \quad (2)$$

$$\Delta E = \dot{E}_{in} - \dot{E}_{out} \quad (3)$$

$$\Delta H_{C_{fuel}} = \sum_{i=1}^k fuel(i) + O_2 \xrightarrow{\Delta h^0} CO_2 + H_2O \quad (4)$$

$$C_{S_{air}} = \sum_{i=1}^k C_{S_{air}}(i)_{@T_{air}[^{\circ}C]} - C_{S_{air}}(i)_{@25[^{\circ}C]} \quad (5)$$

$$C_{S_{fuel}} = \sum_{i=1}^k C_{S_{fuel}}(i)_{@T_{fuel}[^{\circ}C]} - C_{S_{fuel}}(i)_{@25[^{\circ}C]} \quad (6)$$

$$C_{S_{fume}} = \sum_{i=1}^k C_{S_{fumes}}(i)_{@T_{fumes}[^{\circ}C]} - C_{S_{fumes}}(i)_{@25[^{\circ}C]} \quad (7)$$

In which \dot{E}_{in} is the input energy defined by Eq. (1), in (kcal/h); \dot{E}_{out} is the output energy defined by defined by Eq.(2), in (kcal/h); ΔE is the available energy balance defined by Eq.(3), in (kcal/h); $C_{S_{air}}$ is the sensible heat from air defined by Eq.(5), in (kcal/h), whose components are listed Table 2; $C_{S_{fume}}$ is the sensible heat from the fumes defined by Eq.(7), in (kcal/h), whose components are listed in Table 3; $C_{S_{fuel}}$ and $\Delta H_{C_{fuel}}$ are the sensible heat and the fuel combustion energy defined by Eq. (6) and Eq. (4), respectively, and whose components are listed in Table 1.

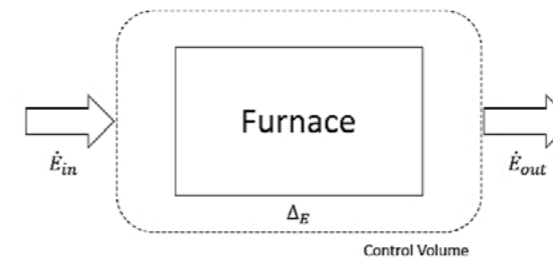


Figure 1. Energy balance control volume

Table 1. Fuel gas composition

		% Volumetric
1	CO ₂	2.9
2	N ₂	6.5
3	H ₂	57.9
4	CO	7.5
5	CH ₄	23.2
6	C ₂ H ₆	2.2

Table 2. Air gas composition

		% Volumetric
1	O ₂	21
2	N ₂	79

Table 3. Fumes composition

CO ₂
H ₂
N ₂
O ₂
H ₂ O

2.2. Analyses

The subsequent analyzes are made for a billet reheating furnace of walking beam type which operates with coke

furnace gas (COG). Such analyzes are based on a typical production day.

As can be seen in Figure 2, the air-gas ratio remains at the same level for most of the time. However, a significant deviation is evident in the period between 4am and 12pm. The native resources of *Viridis Performance* were used to carry out an exploratory analysis for the period and to determine the cause of this deviation.

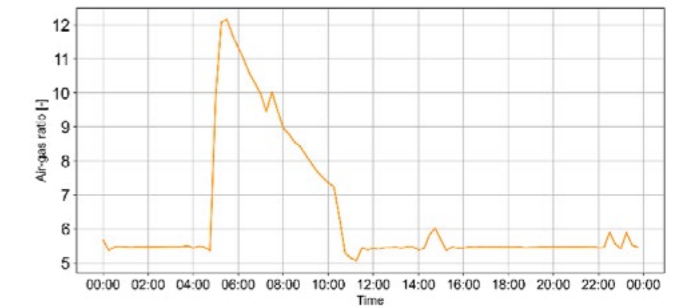


Figure 2. The air-gas ratio for one production day

The reheating furnace operates with COG, which is a by-product gas and, as such, may have its availability affected by process events. In case of unavailability and/or low availability of this gas, it is possible to use natural gas to supply the energy demand of the furnace, which changes the air-gas ratio. In order to evaluate if the air-gas ratio was changed due to a change in the fuel, the variation of the lower heating value (LHV) was plotted for the analyzed period and it is shown in Figure 3. As can be seen, the maximum LHV variation was less than 5%, which does not indicate that there was a fuel change.

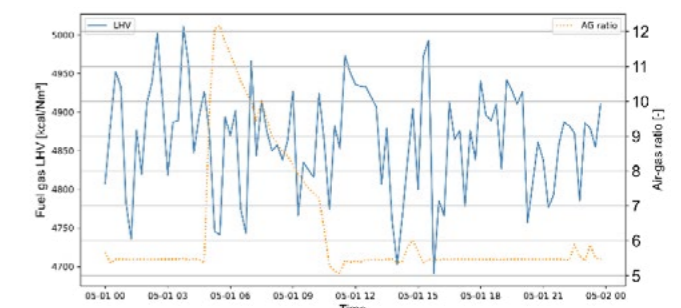


Figure 3. COG LHV variation

The next point to be checked is the production rate of the furnace. As can be seen in the graph of Figure 4, there is a stoppage in the furnace charge in the period when air-gas ratio presents a deviation. The curve in blue refers to an incremental scale that records the mass of the billets that are loaded into the furnace, thus, the flat levels indicate periods when the billet charge was not recorded. The sudden drop in the graph shows the shift change period, when the incremental counter is reset. The usage of *Viridis Performance* allowed a crosscheck of this hypothesis with production management data to confirm this assumption.

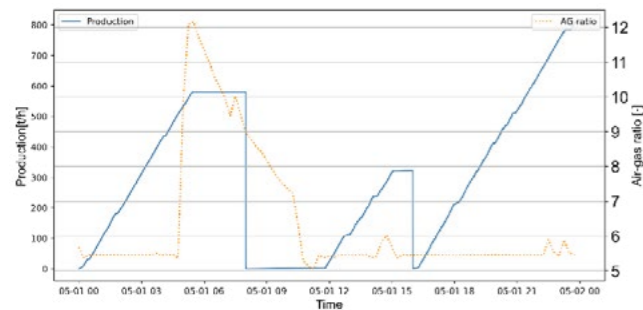


Figure 4. Reheating furnace production rate

Figure 5 shows that during the stoppage the operator manually reduced the furnace temperature. This hypothesis is validated by observing the temperatures of the control zones. The dashed line shows the setpoint of the control zones remained constant while the value measured by the control thermocouples indicates a drop in temperature (solid line). The additional analysis of air and fuel flows in each control zone shows a reduction for both, but the air-gas ratio was not maintained.

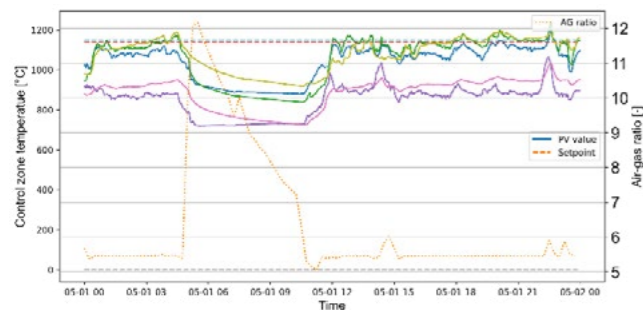


Figure 5. Control zones temperature

It is not clear whether the standard operational procedure requires a change to manual operation in case of prolonged stoppages, but the reduction in the furnace temperature could have been achieved by keeping the air-gas ratio constant with lower energy input. Using *Viridis Performance's* resources to carry out the energy balance, whose methodology was previously described, it is possible to quantify the impact of this approach. The results found in the energy balance will be discussed in the next section.

3. Results and Discussion

An energy balance was performed for 2 different scenarios. The first refers to the real production period discussed in the previous section. The second aims to quantify what energy input (\dot{E}_{in} , Eq. (3)) is needed to maintain the same net energy (ΔE , Eq. (3)) of scenario one if the air-gas ratio were kept at the same level before the deviation.

Table 4 shows the operational parameters used in the energy balance. For scenario one, the actual average values shown in the previous section was used, and for scenario 2, historical data were used, whose operation took place in conditions similar to those analyzed. For this purpose,

Viridis Performance was used to define representative values from similar scenarios. The values of free oxygen in the fumes were calculated through the stoichiometric analysis of combustion.

Table 4. Energy balance parameters

Scenario	Avg. AG ratio	Fumes O ₂ level	Air temp.	Fumes temp.
1	8:1	11%	260 °C	500 °C
2	5:1	4.7%	350 °C	650 °C

Table 5 shows a summary of the energy balance results for the two scenarios.

Table 5. Energy balance results

Scenario	\dot{E}_{in} [Gcal/h]	ΔE [Gcal/h]	\dot{E}_{out} [Gcal/h]	CO ₂ [Kg/h]
1	6.95	4.79	2.16	1085
2	6.69	4.79	1.9	1072

Analyzing the results, it can be concluded that by reducing the air-gas ratio from 8:1 to 5:1, the energy input necessary to maintain the same net energy in the furnace ($\Delta E = 4.79$ Gcal/h) is decreased by 3.74% (0.26 Gcal/h). This occurs because, although the fumes temperature is higher in scenario 2 compared to scenario 1, the flue gas flow rate is significantly lower, which results in a decrease of 12% in energy loss through the fumes. Additionally, the higher fumes temperature results in a higher combustion air temperature, which contributes to the lower fuel demand.

Reduction in energy consumption is a direct benefit of better control of combustion parameters. In addition to reducing gas consumption, lower CO₂ emissions is a secondary benefit. Performing the stoichiometric analysis of combustion, scenario 2 emits 1.2% (13 kg/h) less CO₂ than scenario 1. Figure 6 and Figure 7 show the energy balances results.

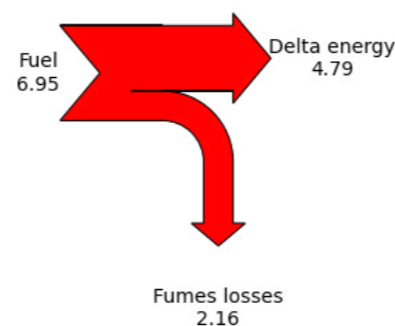


Figure 6. Energy balance results for scenario one

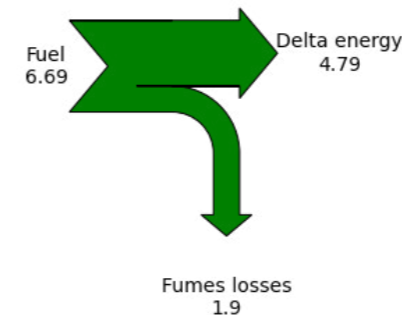


Figure 7. Energy balance results for scenario two

4. Conclusion

The present work consisted of using *Viridis Performance* to identify deviations in the combustion parameters of a billet reheating furnace. *Viridis Performance* is an application of the *Viridis Energy & Sustainability Suite* that allows, through artificial intelligence resources and machine learning techniques, the real-time monitoring of hundreds of parameters, enabling the calculation and control of several indicators applied to different contexts, such as different production levels, different product mix, etc.

A period of 8 hours was identified in which the air-gas ratio of the reheating furnace showed a significant deviation. Using native resources of *Viridis Performance*, an exploratory analysis was performed indicating that the probable cause of this deviation was a production stoppage where the operator placed the furnace control system in manual mode, and the adopted procedure to reduce the energy input did not keep constant the air-gas ratio. Through an energy balance, a potential energy saving of up to 3.7% was identified only by controlling the AG ratio. In addition, a reduction of 1.2 in the amount of CO₂ emitted would be possible.

Viridis Performance can continuously monitor hundreds of parameters, triggering alerts and checklists for the operator in case of deviations. In the case presented here, for example, when detecting a deviation in the air-gas ratio, the system would have triggered an alert and a checklist of corrective measures, guiding the operator to follow the operating standard. In cases where the deviation persists, new alerts are triggered, which can, for example, be configured so that alerts can be forwarded to the operation supervisor and/or to the operation management.

Another feature of the *Viridis Energy & Sustainability Suite* is *Viridis Moneybox*. *Viridis Moneybox* prices the cost of each deviation from the operating standard. In this case, for example, taking a cost of 51 US \$/Gcal as a reference, the potential reduction would be 13 US \$/h only by controlling the AG ratio. The continuous pricing of deviations is especially useful in defining the company's strategic plan and can be used as a benchmark for prioritizing projects and/or maintenance activities.

References

- [1] A. Steinboeck, D. Wild, and A. Kugi, "Feedback Tracking Control of Continuous Reheating Furnaces," *IFAC Proc. Vol.*, vol. 44, pp. 11744–11749, 2011.
- [2] T. Morgado, P. J. Coelho, and P. Talukdar, "Assessment of uniform temperature assumption in zoning on the numerical simulation of a walking beam reheating furnace," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 76, pp. 496–508, 2015.
- [3] W.-H. Chen, Y.-C. Chung, and J. Liu, "Analysis on energy consumption and performance of reheating furnaces in a hot strip mill," *Int. Commun. Heat Mass Transf.*, vol. 32, pp. 695–706, 2005.
- [4] Y. A. Çengel, *Thermodynamics: an engineering approach*. Sixth edition. Boston: McGraw-Hill Higher Education, [2008] ©2008. [Online]. Available: <https://search.library.wisc.edu/catalog/9910062108002121>

Smart Long Rolling - Digital Solutions

Akıllı Uzun Haddeme - Dijital Çözümleri

Matthew ANDERSON, Ruth Kirkwood-AZMAT, Paras PATEL

SMS Group
Brazil

Keywords: Safety, Digitalization, Smart, Guides, Cooling, Vibration, Productivity

Introduction

Disruptive technologies can dramatically change the market landscape, but they sometimes struggle to gain broad market acceptance until a driving force emerges to create a new equilibrium. This equilibrium can be a result of various factors such as government subsidies, consumer preferences, or technological advancements. For example, in some countries, the initial costs of electric vehicles were significantly reduced by government subsidies, leading to an increase in demand and development of the technology. Similarly, safety has emerged as a driving force that has created a paradigm shift in the industrial sector in recent years.

While safety has always been important in the metals industry, recent technological advances have propelled it to a level where it is conceivable for a mill to operate with zero lost-time injuries. Apart from safety, maximizing productivity has always been a driving factor for the industry. Technological advancements have been a crucial part of pushing productivity levels further, while ensuring operator safety.

Primetals Technologies is at the forefront of developing smart and advanced digital solutions, that are at the confluence of safety and productivity. Our team is continuously exploring new and disruptive technologies that can revolutionize the industry while ensuring maximum safety and productivity. This paper aims to elaborate on several new and disruptive technologies that have the potential to transform the industry. We firmly believe that these technologies will lead to a safer and more productive workplace, and we are excited to share our insights with you.

Vibration Monitoring

Unscheduled downtime, due to mechanical equipment failure can be costly and time consuming, while catastrophic equipment failure can pose a significant safety hazard and be devastating to a company's bottom line. Complex rotating equipment with variable speeds and loads have hundreds of bearings, gears, shafts, seals, couplings, and other component interfaces and alignments, any of which could face imminent failure or develop problems that could lead to sudden failure. These issues are often undetectable through traditional preventive maintenance programs or standard vibration monitoring methods such as RMS trending and screening. If an issue is identified using traditional methods, it is often discovered too late in the component's failure cycle to allow reaction in a timely and cost-effective manner.

Condition monitoring is the cornerstone discipline of most Predictive Monitoring (PdM) programs and provides the critical data for many proactive maintenance decisions. As a full vibration analysis provider, Primetals Technologies ensures the right PdM solution is applied to each asset type based on customer's industry, operation, and application.

The Primetals Technologies Periodic Vibration Monitoring Program is a route-based vibration analysis (VA) solution that uses data collected on a periodic basis for analysis and reporting. Each measurement point contains a set of 3 data measurements taken simultaneously, one in each of the X, Y, and Z axis. This tri-axial data collection provides for safer and more time efficient data collection as well as more integrated

information for better analysis. Data collection, performed based on strategic measurement points, arranged in an efficient "route" along the equipment to be evaluated, providing optimal coverage for maximum reliability and minimum down time.

With real-time condition monitoring of critical equipment, customers can have an unprecedented level of confidence in the reliability of their equipment and can be confident that the system will alert to immediate or emerging problems.

ARCS Roll Cooling System

Much like condition monitoring, a proactive approach to other areas of the mill can also lead to significant improvements in productivity and safety of those areas. Roll cooling is a critical process in long rolling mills, and its inconsistency can lead to increased operating costs, as well as reduced safety levels. The wear, deterioration, and compromise of cooling systems over time can cause a drop-off in cooling efficiency, resulting in varying wear rates of mill rolls. Reduced cooling efficiency leads to increased roll wear and failure rates, which ultimately affects the operational costs and the safety of the mill.

ARCS is a high-efficiency, cartridge-style cooling header system with advanced sensing capabilities developed by Primetals Technologies. Its unique design splits the cooling nozzle and the mounting into two distinct components: a mounting block, and a removable cooling header cartridge. The cartridge-style design reduces the costs of the wear piece, reducing the likelihood of overuse. Additionally, the quick-change design of the polymer cartridge decreases the time required to swap-out or check header condition, further increasing the chances they will be checked or changed at an appropriate interval. These features also make cartridge handling more ergonomic, and ultimately make the task of changeover lower risk for injuries to operators. ARCS also integrates sensor technology into the mounting blocks, providing operators with an interface that shows real-time header information, alerts, and warnings. The sensors reduce the need for physical proximity to rolling mill stands to do visual checks, further reducing chances of possible injuries.

The key to ARCS is the maximized cooling efficiency consistency by changing header cartridges at regular intervals, well before they exhibit efficiency decline. When headers are changed out, they are cleaned and inspected offline and reused for future campaigns. Extensive in-mill testing of the system has proven its durability and effectiveness in increasing cooling consistency. Ultimately the increase in cooling consistency not only increases roll life but decreases possible roll failures and resulting cobbles.

Advanced Guiding

The evolution of guiding concepts and equipment has been a long-standing issue within the steel industry, as cost considerations have historically taken precedence over technological advancement. However, recent years have seen a substantial shift in attitude, with the realization that digitized guiding systems can significantly enhance mill safety while simultaneously increasing productivity. Primetals Technologies has developed a unique solution to digitised guiding with the Advanced Guiding system. This new line of equipment seamlessly integrates traditional mechanical functionality with cutting-edge technologies. A key factor in the success of any guiding system is its ease of use. Primetals Technologies has ensured that the Advanced Guiding system is intuitive and user-friendly. This has been achieved through a holistic approach to development: focusing on simplifying setup procedures, reducing costs, and enhancing reliability. Operators are provided with a seamless transition from legacy technologies to the new equipment, ensuring that the system is both durable and effective. The system has been rigorously tested and refined to ensure that it meets the highest standards of quality, durability, and effectiveness.

The primary features of Advanced Guides are continuous height measurement of the incoming section, remote symmetrical adjustment of guide rollers, and guide roller and bearing condition monitoring. All data and measurements are continuously transmitted from each Advanced Guide to a central controlling workstation, which displays the information and generates various alarms as necessary. The workstation not only passively displays guide information, but also actively trends, analyses, and interprets data to help detect guide and process issues before they result in catastrophic failure.

A main focus of Primetals Technologies Advanced Guiding is on improving operator safety. Reducing operator physical proximity to the rolling line is an advantage over traditional guiding equipment. Condition checks and adjustments are performed from a safe distance at the operator workstation. The overall reliability of the guide is also improved by the Advanced technologies, reducing failure events and the potential for resulting injuries. Further, the analytic component of the workstation software can actively recognize guide and process issues before they result in failure or a cobble, which is a significant improvement in safety, not only preventing possible injury from the failure event, but also preventing injury from clean-up and repair activities.

Advanced Guiding technology represents a large step forward in guiding concepts, equipment, and safety. By seamlessly integrating mechanical functionality and advanced technologies, the system offers unparalleled safety and productivity benefits for mills. Its user-friendly design, reliability, and cost-effectiveness make it an ideal choice for operators seeking to enhance performance and safety.

Digital Optical Caliper

Many companies are beginning to mandate the operators must remain away from the stock during rolling, however woodburning or physically caliper the product is still used widely in the industry to measure section size. This is inherently a dangerous practice, only providing a single instance, subjective result. The Digital Optical Caliper (DOC) is primarily used in the roughing an intermediate mill area where gauges are not typically present. The system can be used to measure rounds, flats, and ovals.

Primetals Technologies has developed a portable 'Plug & Play' unit (P-DOC) which can be moved between different locations on the mill, allowing operators to remain away from the product while rolling. The P-DOC can be mounted at different interstand locations along the mill floor and can be left in-situ for several minutes. Results are objective – the minimum, maximum and average values are given per billet. These are typically at the same distance from the pass and centerline of the mill but can vary – this is accommodated by moving the cameras along the adjustable sliders on the unit.

The fixed version of the system (F-DOC) takes images from up to 6 cameras inputs (typically 3 interstand locations) and measures the sections concurrently and concurrently, rather than individual values once every product, shift or roll change etc. This system has been able to aid in the identification of tension issues and with the second phase of implementing multiple interstand locations, plans are to utilize the feedback for closed-loop section and tension control. The measurement is available to data acquisition systems such as iba in order to record analyze and report trends. Making this a powerful addition to a plant to monitor the rolling process and troubleshoot process issues.

The section data, taken after start-up, shift change, product change etc. improves trouble shooting process and can help to identify roll wear and furnace soaking issues such as cold spots. A significant benefit of the DOC is that it is able to measure with only narrow field of view – enabling implementation without mechanical modifications. The measurements are for the section observed from vertical and horizontal perspectives.

Crop Optimization

The primary aim of this vision system is to minimize crop lengths and more accurately crop – increasing yield. In addition, this system can be used to:

- a. Monitor the product dimension, and depending on the angle of installation, potentially measurements such as shoulder gap and twist – this data can be used to verify setup, roll wear, overfill etc.
- b. Monitor temperature variations correlated to brightness along billet length - this differs from the pyrometer at the exit of the reheat furnace as it is monitoring variations across the entire face, rather than the temperature of a single spot. This function can be used to identify cold spots along the billet.

The system works autonomously – requiring no trigger signal from the PLC.

Once the system detects the head or tail end a product detect signal, a timestamp, the end position (EP) relative to a reference (known to both the camera and the shear control system) and an optimized length (OL) from the EP is send to the shear control PLC where, with few modifications to the code, can be utilized to increase product yield.

End Cut Identification through AI

The profile remains similar for a given product at a given position, but variations in temperature, billet chemistry, furnace soak time etc. cause differences, sometimes considerable. In addition, quality controllers and metallurgists in each plant have varying requirements/opinions about amounts to crop.

This portion of commissioning depends heavily on the product cycle, changes in process variables and presentation of the profile. Collaborative efforts with the plant metallurgists, to train images using AI built into the camera, allow the system to quickly and accurately determine what portion should be cropped.

Laying Head Closed Loop Control

The addition of integrated closed loop control to Primetals Technologies Intelligent Pinch roll, Laying Head and Stelmor solutions, using feedback smart sensors which includes image processing and a laser velocimeter which allows SMART Laying to be achieved. The system automatically adjusts control parameters to provide the required pattern with the coil correctly position on the Stelmor conveyor.

The camera, located to looking into the entry area of the of the Stelmor takes an image which is then mathematically transposed to create a plan view of the coil on the conveyor. Over the duration of the coil formation, the system is able to build up a picture of the entire product.

Depending on the section of the coil detected, the image is assessed for a) head end positioning and front-end orientation (FEO) b) Main body c) tail end positioning. At all times ring size, position & pattern are measured. In addition, amplitude & frequency of any wobble is determined. The resulting feedback is then used to vary the IPR, LH and Stelmor speeds, powered tripper setting and well as the IPR pinch pressure, in order to optimize the coil pattern, ring size & centering plus any wobble required.

The result of this technology both improves and produces coils package of a higher, and more consistent quality. In addition, as the system optimizes the speed control through the IPR and LH, this reduces variations, potentially extending pipe life.

Roll Change Robot

In collaboration with Polytec, Primetals Technologies is developing a robotic system to change the rolls on cantilevered prefinishing and finishing blocks. It is envisioned the system will reduce the manpower required by 50% and the time by more than 60%. The robot utilizes a patented process, roll mounting mechanism (RM) and an end effector tool, which replaces several manual tools currently required.

The 6-axis robot removes roll from the block, places it on depleted RSR, takes new roll from new RSR and positions it on the block. The robot utilizes a 7th axis to traverse along the blocks. Cordoned safety areas in which the robot operates, protected though a dedicated safety PLC and by physical and light barriers will allow operators to work safely at distance. Communications with level 2 systems specify roll sizes and location on RSR. The Robotic system will be equipped with feedback from integrated 3D vision. This also allows the verification and logging, through vision of codes or RFID tags located on both the block and rolls, that the correct roll sets are mounted on the correct block.

Conclusion

Primetals Technologies is committed to exploring and developing digital technologies that help to maximize safety and productivity in the metals industry. Their focus is on creating innovative solutions that can help customers stay ahead of the competition while creating a safer and more productive workplace for everyone involved. Primetals Technologies has invested heavily in research and development, constantly exploring new and disruptive technologies that have the potential to transform the industry. This has led to the development of advanced digital solutions presented in this paper. By embracing these new technologies, Primetals Technologies believes that customers can achieve maximum safety and productivity, while also staying ahead of the competition.

Danieli Intelligent Plant: An Innovative and Outstanding Approach to Plant Supervision and Process Control for ABS QWR 4.0 (Quality Wire Rod Mill)

Danieli'nin Akıllı Tesisi ABS QWR İçin Tesis Denetimine ve Proses Kontrolüne Yenilikçi ve Özgün Bir Yaklaşım

Enrico PLAZZOGNA

Danieli & C. Officine Meccaniche S.P.A.
Italy

ABSTRACT

DIP, DANIELI INTELLIGENT PLANT is the driver of a new approach to Human Machine Interface, finalized at continuous improvement of plant performances for production, process and quality, maintenance and energy, where operator and machine are both contributing to an increased company knowledge and where the operator perception is empowered by the control system.

Danieli Automation Intelligent Plant adopts a human-centric approach, actively contributing to the growth of the operator managing the plant, while surrounding technologies are designed to lead them to easier target identification. The system was designed to place the operator in control, with the most sophisticated solutions operating autonomously while being ready to support them when needed.

In the DANIELI INTELLIGENT PLANT, images, audio recordings and process data and main plant parameters are synchronized. Applied AI (Artificial Intelligence) and advanced automation support tools tracking, production tracing, mobility and flexibility.

Benefits of this technology are of various type: there is an undoubted impact on safety and simplification of process guidance, with a minimum number of operators needed and a single control pulpit. Another advantage is empowering operators' learning and know-how transfer, as well as the increased awareness on critical events along the entire plant, thanks to the intelligent TVCC systems and plant data and KPIs centralization.

Indeed, this simplification increases productivity and repeatability of process. Also, the DIP, Q3 Pulpit and all other technologies discussed facilitate the operators' work. The architecture is cybersecure by design, an unavoidable feature for a modern plant. Moreover, artificial intelligence and machine learning will provide additional benefits after longer deployment times at the plant.

Last, but not least, the DANIELI INTELLIGENT PLANT is green, focusing on efficiency and controlled and reduced consumption.

One of the first and better functional example of Danieli Intelligent Plant is the QWR 4.0 (Quality Wire Rod) at ABS, Italy, characterized by fully automatic operation controlled from a pulpit by few operators, from which they can actively manage the different process phases, together with the so-called decision-making room, where the plant manager defines, in accord with process engineers, maintenance, operations and quality, the strategy to adopt based on past and present data and event information.

İsdemir Sıcak Haddehane Verileriyle Kapsamlı Bir Sınıflandırma Algoritmaları Karşılaştırması

A Comprehensive Classification Algorithm Comparison With Isdemir Hot Rolling Mill Data

Ahmet BEŞKARDEŞ, Rahmi ÜLKER

İskenderun Demir ve Çelik
Türkiye

Anahtar Kelimeler: Sıcak haddehane, göçüklük kusuru, veri madenciliği, makine öğrenmesi, sınıflandırma algoritmaları

Abstract

Data science and machine learning applications provide significant contributions to businesses in matters such as increasing production efficiency in the iron and steel industry, reducing quality defects, and customer satisfaction. In this study, data preparation, data preprocessing and data mining on the data collected to detect the dent defect, one of the important quality criteria of coils produced in hot rolling mills, are summarized in a systematic way. The data collected from Iskenderun Iron and Steel Co. (ISDEMİR) hot rolling mills in 2022 were evaluated with k-NN, support vector machines, decision trees, neural networks, logistic regression, and naive Bayes classification algorithms, and the slumping defect prediction successes and processing times of these algorithms were compared. The recorded success rates ranged from 85% to 95%, and the classification algorithms were compatible with each other.

Özet

Veri bilimi ve makine öğrenmesi uygulamaları demir çelik sektöründe üretim veriminin artması, kalite kusurlarının azalması ve müşteri memnuniyeti gibi konularda işletmelere önemli katkılar sağlamaktadır. Bu çalışmada sıcak haddehanelerde üretilen bobinlerin önemli kalite ölçütlerinden biri olan göçüklük kusurunu tespit için toplanan veriler üzerinde veri hazırlama, veri ön işleme ve veri madenciliği konuları bir sistematik içinde özetlenmektedir. İskenderun Demir Çelik A.Ş. (İSDEMİR) sıcak haddehanelerinde 2022 yılında toplanan veriler k-NN, destek vektör makineleri, karar ağaçları, sinir ağları, lojistik regresyon ve naive Bayes sınıflandırma algoritmaları ile değerlendirilmiş, bu algoritmaların göçüklük kusurunu tahmin başarıları ve

işlem süreleri karşılaştırılmıştır. Kaydedilen başarı oranları %85 ile %95 arasında değişmiştir ve sınıflandırma algoritmaları birbiri ile uyumluluk göstermiştir.

1. Giriş

Entegre demir çelik fabrikalarında demir cevheri, yoğun emek, işgücü, enerji ve zaman gerektiren birçok aşamalardan geçerek sıcak haddehanede bobin haline alır. Son aşamaya gelmiş bir üründe oluşacak üretim ve kalite kusurları maliyet ve zaman olarak önemli kayıplara neden olur. Sıcak haddehanede üretimin son aşamasında meydana gelebilecek olan kusurlardan biri de bobinlerdeki göçüklük kusurudur. Göçüklük, Şekil 1'de görüldüğü üzere bobinin sonraki aşamalarda kullanımını engelleyecek kadar silindirik deliğin formunun bozulması demektir. Göçüklüğe sebep olan faktörler arasında bobinin boyutu ve ağırlığı, uygun olmayan sarma gerilimleri, sarıcı ekipman tasarımı, çelik şerit özellikleri, şeritler arasındaki temas, çelik içeriğindeki karbon, azot, mangan ve bor gibi elementlerin oranı gelmektedir [1-3].

Bu çalışmada, İSDEMİR sıcak haddehaneleri verileri kullanılarak makine öğrenmesi yöntemiyle bobinlerdeki göçüklük kusurunu tahmin etmenin mümkün olduğu gösterilmektedir. Bu amaçla önce problemi anlamaya yönelik titizlikle gerekli veriler toplanmıştır. Bu verilerden göçüklük durumunu tahmin etmeyi sağlayacak öznitelikler çıkarılmıştır. Veri setinde keşifsel bilgi analizi yapılarak (varsa) eksik, yanlış ya da aykırı veriler temizlenmiş standardizasyon ve veri bölme işlemleri ile veri sınıflandırma algoritmalarına uygulanacak biçime getirilmiştir. Son olarak bu veriler üzerinde denetimli öğrenme [4] gerçekleştirilerek altı adet sınıflandırma algoritması [5]

ile göçüklük durumu tahmin edilmiştir. Bu aşamalar Şekil 2'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Göçük kusuru oluşmuş bir bobin.



Şekil 2. Göçük kusurunu tahmin için uygulama aşamaları.

2. Deneysel Çalışmalar

Bu bölümde Şekil 2'de gösterilen sıra ile bir bobinin göçüklük kusurunun nasıl tahmin edildiği anlatılacaktır.

2.1. Problemi anlama

Bu çalışmanın çıkış noktası, sıcak haddehane prosesinden kaynaklı bazı değişimlerin bobin göçüklüğüne etki ettiği fikridir. Bu amaçla üretilen bobinler kalite bazlı olarak gruplanmış, bu kaliteler için proses parametrelerindeki farklılıklar değerlendirilmiş ve bu parametrelere ait işletme verileri toplanmıştır.

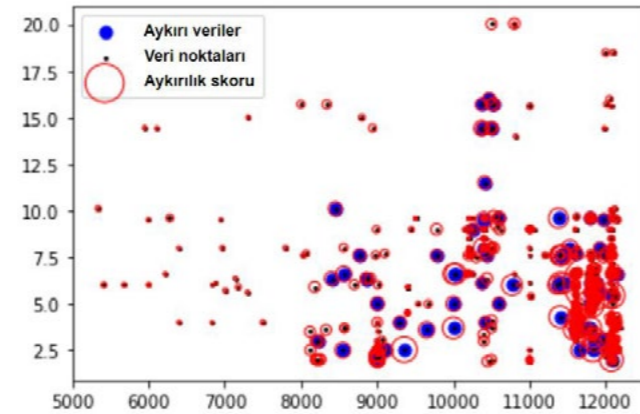
2.2. Öznitelik çıkarma

İkinci aşamada 6050 kalitesindeki üretim verilerinden göçüklük tahmini için gerekli olan öznitelikler çıkarılmıştır. Göçüklük durumunu belirlemede etkili olan 39 etkili özellik belirlenmiştir. Bunlar slab ve bobine ait ebat bilgileri, kimyasal analiz değerleri ve bobin hattına ait diğer proses parametreleridir.

2.3. Ön işleme

Öznitelikleri çıkardıktan sonra veri seti üzerinde keşifsel veri analizi yapılmıştır. Bu kapsamda ilk olarak birlikte hareket eden iki gruptaki, beşer adet sıcaklık verilerinin ortalaması kullanılarak 10 adet öznitelik kaldırılmış, bunların ortalaması eklenmiştir. Daha sonra korelasyon analizi yapılarak birbirinden etkilenen öznitelikler tespit edilmiş buna dayanarak iki tane daha hadde hız verisine ait öznitelik kaldırılmış, böylece öznitelik sayısı 29'a düşürülmüştür.

Veri ön işleme aşamasında yapılan işlemlerden biri de kayıp ya da eksik veri kontrolüdür. Bu kapsamda 7 adet sarıcı gergi parametresine ait gelmeyen değer tespit edilmiş ve bunlar zan (imputation) yöntemiyle doldurulmuştur. Daha sonra aykırı veri olup olmadığına bakılmış, yerel aykırılık faktörü yöntemiyle aykırı veriler tespit edilmiştir. Her noktanın etrafındaki 20 komşuya bakarak yapılan analizde, belirlediğimiz eşik değerinin üstünde değer alan veriler veri setinden temizlenmiştir. Şekil 3'te aykırılık analizi grafiği gösterilmektedir.



Şekil 3. Yerel aykırılık faktörü ile aykırı noktaların tespit edilmesi.

Şekil 3'de küçük siyah noktalar veri noktalarını, kırmızı çemberler her nokta için hesaplanan aykırılık değerini, mavi noktalar ise belirlenen eşik değerini aşan aykırılık skoruna sahip örnekleri göstermektedir. Bu işlemin sonunda veri setinden 38 adet veri kaldırılmış, 1873 adet veri örneği kalmıştır.

2.4. Dönüşüm

Bu bölümde veri seti eğitim ve test verileri olarak ayrılmış ve veriye standartlaştırma işlemi uygulanmıştır. Veri setini bölmek sınıflandırma algoritmalarında en iyi parametreleri

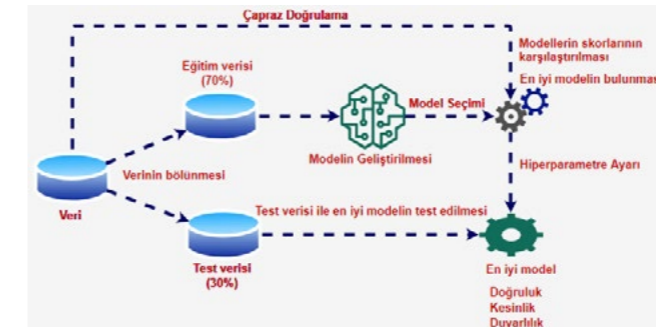
bulurken eğitim ve test verilerindeki doğruluk değerlerini karşılaştırma imkânı verecektir. Veri seti %70 eğitim, %30 test verisi olacak şekilde bölünmüştür. Daha sonra özellikler arasındaki ölçek farkını gidermek için standardizasyon işlemi yapılmıştır. Eşitlik 1'de gösterilen standardizasyon işlemi ile bir özelliğe ait verilerin ortalamasının 0, standart sapmasının 1 olması sağlanmıştır. Bu işlem özellikle uzaklık bazlı hesaplamaları kullanan modellerin başarısına önemli katkı sağlamaktadır.

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (1)$$

Burada x değişken değeri, μ ortalama değeri σ ise standart sapmadır.

2.5. Modelleme

Verinin ön işleme aşaması tamamlandıktan sonra yapılması gereken probleme uygun olarak bir algoritma seçilip makine öğrenmesinin çalıştırılmasıdır. Şekil 4'de verinin eğitim ve test veri setlerine ayrılması, modelin eğitim verisi ile eğitilmesi, bu modelde en iyi sonucu verecek olan parametrelerin tespiti ve bu parametrelere sahip modelin test verisi ile test edilmesi gösterilmektedir.

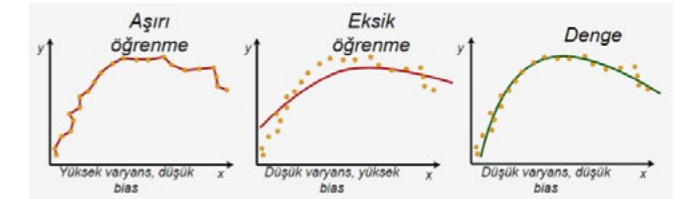


Şekil 4. En iyi modeli bulma ve test verileriyle test etme.

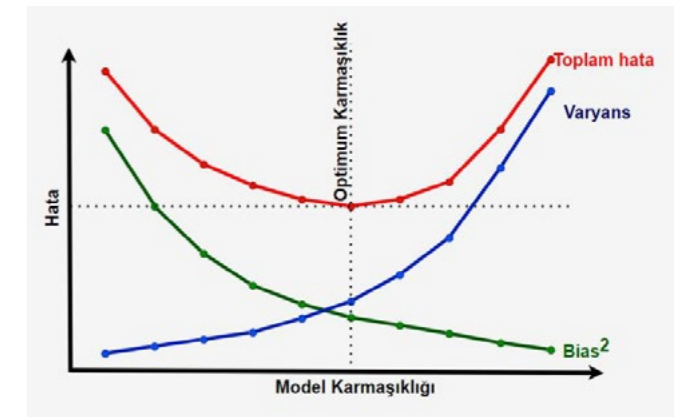
Bu çalışmada çalışılan modellerin en iyi parametreleri bulunurken GridSearchCV [6] algoritması kullanılmıştır. Bu algoritmayı kullanırken tüm veri 10 parçaya bölünüp her bir iterasyonda farklı bir bölümü test, diğerleri eğitim verisi olarak kullanılmıştır. Her sınıflandırma modelinin ayar parametresi denenerek en yüksek başarıyı getiren parametreler tespit edilmiştir.

GridSearchCV ile en iyi parametreleri bulmanın yanında modelin aşırı öğrenme ya da yeterli öğrenememe durumunda kalmaması için eğitim ve test veri setlerinde yakaladığı doğruluk oranları da karşılaştırılmalıdır. Şekil 5'de gösterildiği gibi eğer model eğitim veri setinde çok iyi

başarı gösterip test veri setinde aynı başarıyı gösteremiyorsa burada bir aşırı öğrenme sorunu vardır. Yani modelin varyansı yüksektir, eğitim verilerini ezberlemiştir ve kendini yeni veriler için genellememektedir. Her iki veri setinde de sonuçlar kötü ise model aşırı basit olmuş yüksek bias üretmiş ve genelleme yapacak kadar eğitilememiştir. Modelin en iyi parametrelerine karar verirken Şekil 6'da gösterildiği gibi varyans ve bias arasındaki en iyi takası bulmak gerekir.



Şekil 5. Aşırı öğrenme, yetersiz öğrenme ve denge durumları.



Şekil 6. Bir modelin en uygun parametreleri bulunurken varyans ve bias arasında bir takas yapılması.

Daha önce de belirtildiği gibi bu çalışmada sınıflandırma algoritmaları temelinde geliştirilen makine öğrenmesi yöntemleri ile çalışılmıştır. Makine öğrenmesi algoritmaları, bir sistemde çıkış ve girişler arasında net bir ilişki kurulamadığında geçmiş deneyimlerden öğrenerek çözümler sunmak, yapılandırılmamış karmaşık veri yığınlarından anlamlı sonuçlar çıkarmak, büyük veri kümeleri içindeki örüntüleri tespit edebilmek için çeşitli istatistiksel, olasılıksal ve optimizasyon yöntemleri kullanır [7]. Denetimli, denetimsiz, yarı denetimli olarak kategorize edilmiş bu algoritmalar izinsiz giriş tespiti [8], e-posta filtreleme [9], müşteri satın alma davranışı tespiti [10], sürüş stili tanıma [11], imalat süreci [12] gibi alanlarda başarılı bir şekilde uygulanmaktadır. Denetimli öğrenmede etiketli bir veri kümesinde girdi seti ile çıktı arasında bir ilişki kuracak şekilde model eğitilmekte ve

yeni verilere en uygun çıktılar üretilmektedir. Bu çalışmada k-NN, destek vektör makineleri, karar ağaçları, yapay sinir ağları, lojistik regresyon ve naive Bayes algoritmaları ile bir sınıflandırma problemi olan güççüklük tahmini üzerine çözümler aranmıştır.

k-NN sınıflandırıcı

k En Yakın Komşu (k-NN) algoritması anlaşılması ve kullanılması kolay makine öğrenimi algoritmalarından biridir. En yakın komşu yöntemleri, yeni noktaya en yakın mesafede daha önce tanımlanmış eğitim örneklerini bulur ve buna göre yeni noktanın sınıfını tahmin eder. k parametresi, test verilerini sınıflandırmak için kaç tane en yakın komşunun dikkate alınacağını gösterir [13]. Uzaklık hesaplaması Eşitlik 2'de gösterildiği gibi Manhattan, Euclidean, Minkowski gibi yöntemlerle belirlenir.

$$d(x, y) = \left(\sum_{i=1}^n (|x_i - y_i|)^q \right)^{\frac{1}{q}} \quad (2)$$

Minkowski yöntemi olarak bilinen bu denklemde q=1 alınırsa Manhattan, q=2 alınırsa Öklid yöntemine göre hesaplama yapılır.

Destek vektör sınıflandırıcı

Destek vektör makineleri (DVM), Vapnik tarafından geliştirilen ve istatistiksel öğrenme teorisine dayanan bir yöntemdir [14]. DVM hem doğrusal hem de doğrusal olmayan verileri sınıflandırabilir. Bu yöntemde girdi uzayı, sınıflandırıcının genelleme yeteneğini artırmak için en uygun düzlemlerin belirlendiği özellik uzayı adı verilen çok boyutlu bir iç çarpım uzayı üzerine haritalanır. Bir sınıf için marjinal uzaklık, karar hiper düzlemi ile o sınıfın bir üyesi olan en yakın örneği arasındaki mesafedir. Sınıflandırmayı gerçekleştirmek için, Eşitlik 3 ve Eşitlik 4'te gösterildiği gibi iki sınıfı maksimum farkla ayıran hiper düzlemi bulmak gerekir. DVM, çok sayıda bağımsız değişkenle çalışabilmesi, çok az girdi ile öğrenilebilmesi, doğrusal olarak ayrılabilen veya ayrılamayan verilere uygulanabilmesi ve yüksek doğrulukta sonuçlar vermesi açısından avantajlıdır.

$$df(x) = w \cdot x + b = \sum_{j=1}^n w_j \cdot x_j + b \quad (3)$$

$$y_i f(x_i) = y_i (w \cdot x + b) \geq 0 \quad (4)$$

Burada w, n-boyutlu bir vektördür ve b, eşittir. $y_i = -1$ ise x_i birinci sınıfa, $y_i = +1$ ise x_i ikinci sınıfa dahil edilir.

Karar ağacı sınıflandırıcı

Karar ağaçları, en eski ve önde gelen makine öğrenimi algoritmalarından biridir. Karar ağacının yapısı verinin hiyerarşik bir şekilde ayrıştırılmasına dayanır [15]. Bir karar ağacı, daha önce gerçekleşmiş veriler üzerinden bir karar mantığı modeller. Karar ağacındaki tüm dahili düğümler girdi değişkenlerini veya ilgili öznelik üzerindeki testleri temsil eder. Test sonucuna bağlı olarak, sınıflandırma algoritması, yaprak düğüme [16] ulaşana kadar test ve dallanma sürecini devam ettirir. Yaprak adı verilen en uçtaki düğümler, modelin kararını gösterir. Karar ağacı bir örneğin neden başka bir sınıfta değil de bu sınıfta olduğunun tam olarak anlaşılmasını sağlayan bir beyaz kutu modelidir. Karar ağacında çıktı için hangi özelliğin daha kritik olduğunu görmek de mümkündür. Bu algoritma bilgi entropisini kullanarak bir karar mekanizması kurar. Entropi, beklenmedik bir olayın olma olasılığını ve belirsizliğini gösterir. Örneklerin tamamı homojen ise entropi 0'dır. Değerler eşit ise entropi 1'dir. S veri setinin bilgi entropisini temsil eden E(S) Eşitlik 5'deki gibi hesaplanır.

$$E(S) = \sum_{i=1}^c -p_i \log_2 p_i \quad (5)$$

Burada p, başarı olasılığıdır. Tüm giriş özneliklerinin entropisi, Eşitlik 6'deki gibi hesaplanır.

$$E(T, x) = \sum_{c \in X} P(c) E(c) \quad (6)$$

Burada T çıktı niteliği, X girdi niteliği, P(c) X' teki olası veri noktasının olasılığı ve E(c) bunun olasılık değeridir.

Yapay sinir ağı (çok katmanlı algılayıcı) sınıflandırıcı

Yapay sinir ağları (YSA), belirli bir görevi yerine getirmesi için insan beyninden ilham alarak geliştirilen makine öğrenimi algoritmasıdır. Bir sinir ağı her sinirin kendisiyle ilişkili bir ağırlığa sahip olduğu bir dizi giriş/çıkış birimidir. Öğrenme aşamasında, YSA verilen girdilerin doğru sınıf etiketini tahmin etmek için ağırlıkları sürekli olarak değiştirir. Bir yapay sinir ağında Eşitlik 7'de görüldüğü gibi girişler bir ağırlık faktörü ile çarpılıp toplanır ve bir transfer fonksiyonuna aktarılır.

$$y = f \left[\sum_{i=1}^n x_i w_i + b \right] \quad (7)$$

Burada x_i girişler, w_i ağırlıklar, b artık (bias), y ise çıktısıdır. f aktivasyon fonksiyonunu gösterir. Beklenen çıkış ile elde edilen çıkış arasındaki fark hatadır. Hata, belirlenmiş eşik değerinden büyük olduğunda ağırlık faktörleri değiştirilir ve yeni hesaplamalar için ağ bir kez daha eğitilir [17]. Burada ana kural tekrarlanan prosedürler ile hesaplanan çıkış ile gerçek çıkış arasındaki hatayı en aza indirmektir [18]. Yapay sinir ağı öğrenmesi bu şekilde olur.

Lojistik regresyon sınıflandırıcı

Lojistik regresyon (LR) adının aksine regresyondan daha çok sınıflandırma problemleri için kullanılmaktadır. Lojistik regresyonda, kategorik veya sayısal bağımsız değişkenlerin değerlerine dayalı olarak bir olayın olasılığını istatistiksel olarak modellemek mümkündür [19]. LR, matematikte x ve y arasındaki ilişkiyi logit fonksiyonu kullanarak bulan istatistiksel bir modeldir. Logit fonksiyonu, Eşitlik 8'deki gibi y'yi x'in sigmoid fonksiyonu olarak eşler ve 0 ile 1 arasında bir değer üretir. Eşitlik 8'de x yerine lineer regresyonda kullanılan Eşitlik 9'daki ifade konursa Eşitlik 10-12'de gösterildiği gibi arasında doğrusal ilişki olmayan x ve P(x) eşitliği elde edilir. Burada P(x)'in değeri 0 ile 1 arasında değişir.

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} = \frac{e^x}{1 + e^x} \quad (8)$$

$$p(X) = \beta_0 + \beta_1 X \quad (9)$$

$$p(X) = \frac{e^{\beta_0 + \beta_1 X}}{1 + e^{\beta_0 + \beta_1 X}} \quad (10)$$

$$\frac{p(X)}{1 - p(X)} = e^{\beta_0 + \beta_1 X} \quad (11)$$

$$\log\left(\frac{p(X)}{1 - p(X)}\right) = \beta_0 + \beta_1 X \quad (12)$$

Naive Bayes sınıflandırıcı

En basit denetimli öğrenme uygulamalarından biri olan Naive Bayes sınıflandırıcısı hızlı, doğru ve güvenilir bir algoritmadır. Naive Bayes sınıflandırıcısı bir sınıftaki belirli bir özelliğin diğer özelliklerden bağımsız olduğunu varsayan serbestlik özelliklerine sahip Bayes teoremine dayanır. Bu özellikler birbirine bağımlı olsa bile bağımsız kabul edilir ve bu şekilde hesaplama basitleştirilir. Naive

ismi de buradan gelmektedir. Bu algoritmada önceki giriş ve çıkışlar arasında istatistiksel ve olasılıksal çıkarımlar yapılır [20]. Önceki bir örneğin olasılığı, belirli her bir sınıfa yaklaşmak için kullanılır.

Bayes kuralına göre hem A hem de B farklı olayların meydana gelme olasılığı, Eşitlik 13'te gösterildiği gibi verilen A olasılığının ve B olasılığının çarpımıdır.

$$P(A \cap B) = P(A) \times P(B|A) \quad (13)$$

Burada P(A), A'nın tek başına olma olasılığıdır ve P(B|A), A zaten olmuşsa B'nin de olma olasılığıdır. Bu denklem, Eşitlik 14 olarak da ifade edilebilir:

$$P(A|B) = \frac{P(B|A)P(A)}{P(B)} \quad (14)$$

Bir Bayes Ağı modelinin girdileri arasındaki neden-sonuç ilişkileri, koşullu olasılık dağılımları ile temsil edilir. Bir Bayes ağının X_1, X_2, \dots, X_n bağımsız değişkenlerinden tam olarak birleştirilmiş olasılık dağılımı, Eşitlik 15 ile temsil edilir.

$$P(X_1, X_2, \dots, X_n) = P(X_1|X_2, X_3, \dots, X_n) \dots P(X_{n-1}|X_n)P(X_n) \quad (15)$$

$$= \prod_{i=1}^n P(X_i|X_{i+1}, \dots, X_n)$$

2.6. Model doğruluğunu değerlendirme

Bir sınıflandırma algoritmasının performansı, modelin test için ayrılan veriyle test edilmesi ve modelin bu veriler için hesapladığı sonuçlara bakılıp bazı başarı oranlarının bulunmasıyla ölçülür. Sınıflandırma algoritmaları kullanılarak yapılan çalışmalarda sadece doğruluk oranına bakmak yeterli değildir. Sınıflandırma performansını değerlendirmek üzere Çizelge 1'deki gibi bir hata matrisi oluşturulur. Bu tabloya göre, tahmin işleminde gerçekte pozitif olarak var olan bir durum pozitif olarak tahmin ediliyorsa DP bir tahmin yapılmış yani pozitif olan durum doğru tahmin edilmiştir. Eğer var olan durum negatif ve modelin tahmini de negatif ise DN bir tahmin yapılmış yani negatif durum doğru tahmin edilmiştir. Eğer var olan durum negatif ise ancak model sonucu pozitif olarak tahmin ederse birinci tip hata olan YN durumu oluşur. Eğer var olan durum pozitif ise ve model sonucu negatif olarak tahmin ederse ikinci tip hata olan YP durumu oluşur. Bu matrisle yazılan değerlerden doğruluk, kesinlik, duyarlılık, doğru pozitif oranı, yanlış pozitif oranı ve F1 skoru değerleri hesaplanır. Eşitlik 16-19'da yukarıda sayılan başarı ölçütlerinin matematiksel ifadeleri verilmektedir.

Çizelge 1. Hata matrisi.

Gerçek	Tahmin	
	Doğru Pozitif (DP)	Yanlış Negatif (YP)
	Yanlış Pozitif (YN)	Doğru Negatif (DN)

$$\text{Doğruluk} = \frac{DP + DN}{DP + YN + YP + DN} \quad (16)$$

$$\text{Kesinlik} = \frac{DP}{DP + YN} \quad (17)$$

$$\text{Duyarlılık} = \frac{DP}{DP + YP} \quad (18)$$

$$\text{F1 Skoru} = 2 \times \frac{\text{Kesinlik} \times \text{Duyarlılık}}{\text{Kesinlik} + \text{Duyarlılık}} \quad (19)$$

3. Sonuçlar ve Tartışma

Bu bölümde önce altı adet sınıflandırma algoritmasının detaylı test sonuçları verilecek sonra bu altı algoritmanın başarısı doğruluk ve işlem süresine göre kıyaslanacaktır. Bu testler, 64 bit ile 3.00 GHz hızında 11th Gen Intel® Core™ i7-1185G7 işlemcili bir bilgisayarda Anaconda Spyder ortamında ScikitLearn kütüphanesi [6] kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

İSDEMİR sıcak haddehanesinde üretilen bobinlerdeki göçüklük durumunu proses parametrelerini dikkate alarak önceden tahmin etmek için kullanılan sınıflandırma algoritmaları ile elde edilen sonuçlar Şekil 7-9'da gösterilmiştir. Her algoritma için önce Bölüm 2.5'de anlatıldığı gibi en iyi parametreler bulunmuş daha sonra bu parametreler kullanılarak en yüksek algoritmanın en iyi sonuçları paylaşılmıştır.

Sonuçlar değerlendirilecek olursa, ilk olarak test edilen altı adet sınıflandırma algoritmasının doğruluklarının yüksek ve birbirine yakın olması veri madenciliği ve makine öğrenmesi yönüyle yaptığımız çalışmanın isabetini gösterir. İkinci olarak, işlem süreleri eğitim süreci içeren YSA, DVM gibi modellerde daha yüksektir ancak bu süreler bile saniyenin yaklaşık onda biri kadardır. Üçüncü olarak daha önce de belirttiğimiz gibi sınıflandırma algoritmalarının asıl başarısı her bir sınıfı diğerinden ne kadar ayırt ettiği ile ölçülür. Bu çalışmada bobinin normal olma durumu tüm modeller tarafından çok yüksek isabet oranlarıyla tahmin edilebilmiştir. Bunun yanında modellerden göçüklük durumunu da normal durumdan başarılı bir şekilde ayırt etmesi beklenir. Bunu da

gösterecek olan göçüklük durumuna ait kesinlik ve duyarlılık değerleridir. Göçüklük durumunu ayırt ederken modellerin performansı biraz düşmektedir. Ancak en iyi sonuçların alındığı karar ağacı sınıflandırıcının bu konuda da yüksek performans gösterdiği rahatlıkla söylenebilir.

k-NN sınıflandırıcı				Destek vektör makinesi sınıflandırıcı			
Doğruluk: 0,939				Doğruluk: 0,948			
İşlem Süresi: 34 ms				İşlem Süresi: 155 ms			
Gerçek	Tahmin			Gerçek	Tahmin		
		N	G			N	G
	N	491	14		N	499	6
G	19	23	G	22	20		
Kesinlik Duyarlılık F1-Skoru				Kesinlik Duyarlılık F1-Skoru			
Normal	0,96	0,97	0,97	Normal	0,96	0,99	0,97
Göçük	0,62	0,55	0,58	Göçük	0,77	0,48	0,59

Şekil 7. k-NN ve destek vektör makinesi sınıflandırıcılara ait detaylı test sonuçları.

Karar ağacı sınıflandırıcı				Yapay sinir ağı sınıflandırıcı			
Doğruluk: 0,952				Doğruluk: 0,932			
İşlem Süresi: 49 ms				İşlem Süresi: 132 ms			
Gerçek	Tahmin			Gerçek	Tahmin		
		N	G			N	G
	N	495	10		N	487	18
G	16	26	G	19	23		
Kesinlik Duyarlılık F1-Skoru				Kesinlik Duyarlılık F1-Skoru			
Normal	0,97	0,98	0,97	Normal	0,96	0,96	0,96
Göçük	0,72	0,62	0,67	Göçük	0,56	0,55	0,55

Şekil 8. Karar ağacı ve yapay sinir ağı sınıflandırıcılara ait detaylı test sonuçları.

Lojistik regresyon sınıflandırıcı				Naive Bayes Sınıflandırıcı			
Doğruluk: 0,937				Doğruluk: 0,855			
İşlem Süresi: 13,2 ms				İşlem Süresi: 0,15 ms			
Gerçek	Tahmin			Gerçek	Tahmin		
		N	G			N	G
	N	494	11		N	427	78
G	23	19	G	1	41		
Kesinlik Duyarlılık F1-Skoru				Kesinlik Duyarlılık F1-Skoru			
Normal	0,96	0,98	0,97	Normal	1	0,85	0,92
Göçük	0,63	0,45	0,53	Göçük	0,34	0,98	0,51

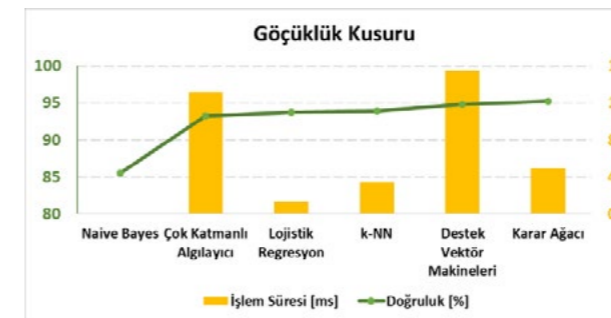
Şekil 9. Lojistik regresyon ve Naive Bayes sınıflandırıcılara ait detaylı test sonuçları.

Şekil 7-9'da görüldüğü üzere tüm sınıflandırma modelleri ile yüksek doğrulukta çözümler elde edilmiştir. Çizelge

2'de ve Şekil 10'da bu modellerin performansları işlem süresi ve genel doğruluk üzerinden karşılaştırılmalı olarak gösterilmektedir.

Çizelge 2. Sınıflandırma algoritmalarının performansları.

Göçüklük Kusuru		
Algoritmalar	Doğruluk [%]	İşlem Süresi [ms]
Naive Bayes	85,5	0,15
Çok Katmanlı Algılayıcı	93,2	132
Lojistik Regresyon	93,7	13,2
k-NN	93,9	34
Destek Vektör Makineleri	94,8	155
Karar Ağacı	95,2	49

**Şekil 10.** Sınıflandırma algoritmalarının işlem süresi ve genel doğruluk ölçütlerine göre karşılaştırılması

4. Sonuç

Bu çalışmada İSDEMİR sıcak haddehanesinde üretilen bobinlerden biri olan 6050 kalitesine ait veriler altı adet sınıflandırma algoritmasına uygulanmış ve bobinlerin olası göçüklük durumu üretim tamamlanmadan önce bu algoritmalarla tahmin edilmiştir. Slab ve bobine ait ebat bilgileri, kimyasal analiz değerleri ve bobin hattına ait diğer proses parametrelerine ait veriler bir veri tabanında kayıt altına alınmış, bu veriler üzerinde veri madenciliği teknikleri uygulanmış ve makine öğrenmesi modelleri için hazır hale getirilmiştir. Yaygın makine öğrenmesi yöntemlerinden olan k-NN, destek vektör makineleri, karar ağacı, yapay sinir ağı, lojistik regresyon ve naive Bayes sınıflandırma algoritmaları ile detaylı testler yapılmıştır. Bu testlerin sonucunda böyle bir problem için sınıflandırma algoritmalarının uygun bir yöntem olduğu gösterilmiştir. İşlem süresi, genel doğruluk ve her sınıfı diğerlerinden ayırt etme becerisi olarak bakıldığında karar ağaçlarının en uygun yöntem olduğu ortaya çıkmıştır. Bu sonuç, bu yöntemlerin diğer bobin kalitelerine de uygulanabileceğini göstermektedir.

Referanslar

- [1] B. Anderssen, N. Fowkes, R. Hickson, M. McGuinness, Analysis of coil slumping, in: 2010.
- [2] K. Banks, A. Tuling, B. Mintz, Influence of chemistry and runout table parameters on hot coil collapse in C-Mn steels, Ironmak. & Steelmak. 38 (2011) 204–210. <https://doi.org/10.1179/1743281210Y.0000000002>.
- [3] P. Smolinski, C.S. Miller, R.D. Marangoni, D. Onipede, Modeling the collapse of coiled material, Finite Elem. Anal. Des. 38 (2002) 521–535. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0168-874X\(01\)00083-X](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0168-874X(01)00083-X).
- [4] P. Cunningham, M. Cord, S.J. Delany, Supervised Learning, in: M. Cord, P. Cunningham (Eds.), Mach. Learn. Tech. Multimed. Case Stud. Organ. Retr., Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2008: pp. 21–49. https://doi.org/10.1007/978-3-540-75171-7_2.
- [5] J. Korst, V. Pronk, M. Barbieri, S. Consoli, Introduction to Classification Algorithms and Their Performance Analysis Using Medical Examples, in: S. Consoli, D. Reforgiato Recupero, M. Petković (Eds.), Data Sci. Healthc. Methodol. Appl., Springer International Publishing, Cham, 2019: pp. 39–73. https://doi.org/10.1007/978-3-030-05249-2_2.
- [6] F. Pedregosa, G. Varoquaux, A. Gramfort, V. Michel, B. Thirion, O. Grisel, M. Blondel, P. Prettenhofer, R. Weiss, V. Dubourg, J. Vanderplas, A. Passos, D. Cournapeau, M. Brucher, M. Perrot, E. Duchesnay, Scikit-learn: Machine Learning in {P}ython, J. Mach. Learn. Res. 12 (2011) 2825–2830.
- [7] T.M. Mitchell, T.M. Mitchell, Machine learning, McGraw-hill New York, 1997.
- [8] C. Sinclair, L. Pierce, S. Matzner, An application of machine learning to network intrusion detection, in: Proc. 15th Annu. Comput. Secur. Appl. Conf., 1999: pp. 371–377. <https://doi.org/10.1109/CSAC.1999.816048>.
- [9] M. Sahami, S. Dumais, D. Heckerman, E. Horvitz, A Bayesian approach to filtering junk e-mail, in: Learn. Text Categ. Pap. from 1998 Work., 1998: pp. 98–105.
- [10] E. Kim, W. Kim, Y. Lee, Combination of multiple classifiers for the customer's purchase behavior prediction, Decis. Support Syst. 34 (2003) 167–175.
- [11] A. Beşkardeş, Y. Hameş, Data-driven-based fuzzy control system design for a hybrid electric vehicle, Electr. Eng. (2023). <https://doi.org/10.1007/s00202-023-01776-9>.
- [12] V. Kumar, S.D.S.S. Sairam, S. Kumar, A. Singh,



- D. Nayak, R. Sah, P.C. Mahapatra, Prediction of Iron Ore Sinter Properties Using Statistical Technique, *Trans. Indian Inst. Met.* 70 (2017) 1661–1670. <https://doi.org/10.1007/s12666-016-0964-y>.
- [13] D. Dogan, S. Bogosyan, Performance Analysis of SVM, ANN and KNN Methods for Acoustic Road-Type Classification, in: *2019 IEEE Int. Symp. Innov. Intell. Syst. Appl.*, 2019: pp. 1–6. <https://doi.org/10.1109/INISTA.2019.8778247>.
- [14] V.N. Vapnik, *The Nature of Statistical Learning Theory*, *Nat. Stat. Learn. Theory.* (2000). <https://doi.org/10.1007/978-1-4757-3264-1>.
- [15] J.N. Morgan, J.A. Sonquist, Problems in the Analysis of Survey Data, and a Proposal, *J. Am. Stat. Assoc.* 58 (1963) 415–434. <https://doi.org/10.1080/01621459.1963.10500855>.
- [16] J.R. Quinlan, Induction of decision trees, *Mach. Learn.* 1 (1986) 81–106. <https://doi.org/10.1007/BF00116251>.
- [17] Y. Tunçkaya, E. Köklükaya, Comparative performance evaluation of blast furnace flame temperature prediction using artificial intelligence and statistical methods, *Turkish J. Electrical Engineering Comput. Sciences.* 24 (2016) 1163–1175. <https://doi.org/10.3906/elk-1309-242>.
- [18] D. Gajic, I. Savic-Gajic, I. Savic, O. Georgieva, S. Di Gennaro, Modelling of electrical energy consumption in an electric arc furnace using artificial neural networks, *Energy.* 108 (2016) 132–139. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.07.068>.
- [19] P. Bhattacharjee, V. Dey, U.K. Mandal, Risk assessment by failure mode and effects analysis (FMEA) using an interval number based logistic regression model, *Saf. Sci.* 132 (2020) 104967. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ssci.2020.104967>.
- [20] H. Zhang, The Optimality of Naive Bayes, in: *Florida AI Res. Soc.*, 2004.

Digitalization

Dijitalizasyon

Automotive and Silicon Steel Cold Rolling Technology

Otomotiv ve Silikon Çeliğinin Soğuk Haddelme Teknolojisi

Tommaso SETTIMO, Dmitriy VOITEKHOVSKII

Danieli & C. Officine Meccaniche S.P.A.
Italy

INTRODUCTION

The typical cold mill for Automotive and Silicon steel is designed to cover a huge range of customer needs regarding the range of material, from the ultra-soft grades for deep drawing to the high-strength structural and Dual phase grades, for the final thickness range (from 0.2 mm to 3.0 mm), a production of over 1.3 Mtpy at 1,400 mpm maximum speed. The Danieli tandem mill features advance 6 high technology, Confined jet dryer, dual mode intermediate roll shifting, new HAGC system, new integrated automatic thickness, flatness and off-gauge controls; so to minimize scrap and thus transformation costs.

Intermediate roll shifting

The mill consists of five, 6-Hi stands with intermediate roll shifting in all the stands. This function can be used in two ways depending on the rolling parameters and product characteristics.

The first mode implies the use of intermediate rolls flat grinding profile with tapers on one end. The taper is expected to gradually reduce the contact pressure in a roll stack out of strip width. The shifting is synchronized between top and bottom rolls and typically the position of the tapers on the intermediate rolls is symmetric regarding the center line of the mill. In case of specific needs this position can be adjusted independently for top and bottom rolls to deal with non-symmetric flatness defects.

The position of the tapers correlates to the strip edges position and follows the changes in strip width in the rolling campaign. To control the edge drop profile the position of tapers can be additionally moved in a range of ± 100 mm. The mode is required for most products but it is mandatory whenever the risk of "roll kissing" is high and whenever the edge drop is an issue.

The second mode of the Intermediate shifting, named OSRT (Optimized Shaped Roll Technology) allows instant change to the contact conditions between the rolls and the strip, imitating the different rolls crown profile. A special profile is applied through grinding for top and bottom intermediate rolls that in different shifting positions provides different rolling force distribution between the center and lateral parts of the work rolls. This mode can be chosen in case of thin material production as well as hard and narrow strips when the bending efficiency doesn't cover the flatness control system needs.

It is easy to switch from one mode to another and requires only to use appropriate Intermediate rolls grinding profile. In both modes with the help of the negative and positive bending for Intermediate and Work rolls, the flatness control area is significantly increased covering the most difficult flatness defects.

The concept of intermediate rolls shifting is a proven Danieli solution applied also in tandem mills commissioned in previous years where we developed an effective flatness and edge drop control as well as easy and fast rolls grinding process without specific features of the grinding machines.

Using the updated designs, it is possible to significantly exceed standard values in flatness and produce strips as thin as 0.20 mm starting from 1,95 mm (total reduction 92,3%) without edge waviness that is typical for ultrathin gauges at such high reduction.

Thickness control

Following strict performance targets, Danieli uses ultra-low hysteresis HAGC with a 45% faster response time to ensure precise control of strip thickness and off-gauge on the strips ends.

In case of the thinnest 0.20 mm strip thickness, that has the strictest demand for thickness variation, we can achieve ± 3 μm for steady state rolling and ± 3.6 μm for the transitional state. For both modes, the mentioned accuracy should be achieved for 98.7% of strip length.

Off-gauge length control

One of the important mill characteristics for the customer is the thickness of the off-gauge part of the strip, that in most cases becomes a downgrade or even scrap material. The critical part of the strip is the weld pass, especially in case of rolling setup changes. To provide the smooth transition from one setup to another without strip breakage minimizing off-gauge, it is important to have reliable rolling data from Level-2 automation. The Danieli force prediction model is based on improved self-learning algorithm that monitor long and short-term fluctuation of force feedback for each stand and correct the hardening curve for each steel grade and supplier. This function allows to keep high setup accuracy coming from L2 in situations where the hot-rolled coils, as incoming material, vary among more than 70 combinations of supplier and steel grades. This means that different material behaviors during cold rolling are the norm. There are many other aspects that influence the force prediction model accuracy. To cope with these variations, the friction coefficient model, roll thermal expansion model, roll roughness degradation model and others are foreseen in Level-2 automation. Because the precision of some inputs like emulsion characteristics is limited at a certain level due to inevitable fluctuations, the performance of the force prediction model in these conditions is impressive.

But getting the reliable set up is halfway. Flying setup change (FSC) is a very complicated function, developed by Danieli Automation's L1 engineers, capable of changing the setup during the running to minimize the transient tension, thickness deviation and the probability of strip break.

Conclusion

The Danieli cold mill for Automotive and Silicon tandem mill is the most advanced mill available. One machine can deliver steel to construction, white goods and automotive and silicon steels, giving access to added value markets. The latest improvements in hardware and software implemented in the mill allows to widen the products range in terms of thickness and steel grades and to get, as a result, additional economic advantages of scrap reduction thanks to decreased off-gauge length.

Demiryolu Hafif Taşımacılıkta Kullanılan Oluklu Ray Üretimi Production of Grooved Rail Used in Light Rail Systems

Aysun İŞIKGÜL, Ali Yağız ŞAHİN, Mücahit SEVİM, Serkan ATAMER, Sait HADUTOĞLU

Kardemir
Türkiye

Anahtar Kelimeler: Demiryolu, Oluklu Ray, Raylı Taşımacılık, Hafif Raylı Sistem

Abstract

Rail systems are accepted as the most important planning tool in solving the transportation problem in rapidly developing cities. The fact that it is economical and requires less maintenance, has low ecological emission production, relieves traffic, visually and environmentally friendly, provides time-dependent and reliable transportation, makes rail systems special. Rail systems contribute to the social development of societies and are preferred because they are effective in healthy planning of cities and regulation of traffic management. Although it is possible to see rail system types in many developed cities, light rail systems are generally preferred more than others due to the economic conditions of our country. The main reason for this preference is the low investment costs. In addition, heavy rail systems carry more passengers than light rail systems, while investment costs are higher. Heavy rail systems are used in urban transportation in the cities of Istanbul, Ankara, Izmir and Bursa, where the population density is high in our country. In the provinces of Eskişehir, Konya, Antalya, Gaziantep, Kayseri and Samsun, which have lower population density, light rail systems are used in urban transportation. In this study, the production and control of grooved rail according to EN 14811 standard in Kardemir, the first integrated iron and steel factory, is explained. Kardemir is the only manufacturer in Turkey and the Middle East with the production of grooved rails of different types and qualities used in light rail system lines.

Özet

Raylı sistemler, hızlı gelişen şehirlerde ulaşım sorunun çözülmesinde en önemli planlama aracı olarak kabul edilmektedir. Ekonomik oluşu ve şehir trafiğinde özel araçlara göre daha az bakım gerektirmesi, ekolojik açıdan emisyon üretiminin düşük olması, trafiği rahatlatması, görsel ve çevre dostu olması, zamana bağlı ve güvenilir ulaşımı sağlaması, raylı sistemleri özel kılmaktadır. Raylı sistemler aynı zamanda toplumların sosyal gelişimine de katkıda vermekte, şehirlerin sağlıklı planlanmasına ve trafik yönetimlerinin düzenlenmesinde etkili olduğu için de tercih edilmektedir. Raylı sistem çeşitlerini birçok gelişmiş şehirlerde görmek mümkün olsa da ülkemizin ekonomik koşulları nedeni ile genellikle hafif raylı sistemler diğerlerine göre daha fazla tercih edilmektedir. Bu tercihin ana nedeni olarak yatırım maliyetlerinin düşük olması gösterilmektedir. Öte yandan ağır raylı sistemler hafif raylı

sistemlere göre daha fazla yolcu taşırken yatırım maliyetleri daha yüksektir. Ülkemizde nüfus yoğunluğunun fazla olduğu İstanbul, Ankara, İzmir ve Bursa illerinde şehir içi ulaşımında ağır raylı sistemler kullanılırken, nüfus yoğunluğu daha düşük olan Eskişehir, Konya, Antalya, Gaziantep, Kayseri ve Samsun illerinde ise şehir içi ulaşımında hafif raylı sistemler kullanılmaktadır. Bu çalışmada, ilk entegre demir çelik fabrikası Kardemir'de oluklu rayın EN 14811 standardına göre üretimi ve kontrolü anlatılmaktadır. Kardemir, hafif raylı sistem hatlarında kullanılan farklı tip ve kalitelere göre oluklu ray üretimi ile Türkiye'nin ve Orta Doğu'nun tek üreticisi konumundadır.

1. Giriş

Demiryolu taşımacılığı, daha güvenli, daha ekonomik ve çevre dostu olduğu için dünya çapında giderek daha popüler hale geldi [1]. Kaynak sorunlarının yaşandığı son dönemlerde söz konusu faydaların daha fazla dikkat çektiği görülmektedir. Bu durumun bir sonucu olarak şehir içi raylı taşıma sistemlerinin sağladığı avantajlar aynı zamanda bu sistemlere neden ihtiyaç duyulduğunun da bir göstergesidir. Şehir içi raylı sistemlere günümüzde gereksinim duyulmasının temel nedenleri arasında birim zamanda daha çok ulaşım talebini karşılaması, konfor ve güvenli ulaşım hizmeti kalitesi sunması, çevre dostu ve ekonomik bir taşıma türü olması yer almaktadır. Ayrıca, trafikte harcanan zaman ve maliyeti düşürmektedir. Özel otomobillerin yarattığı olumsuz etkileri minimize ederek, birim zamanda daha az yakıt tüketimi, altyapı maliyeti, şehirlerin planlı gelişiminde önemli rol oynamaktadır [2]. Bu sebeple, şehir içi ulaşımında trafik sorununu çözmeye yönelik olarak uygulanabilecek sistemlerin başında raylı sistem taşımacılığı gelmektedir. Şehir içi ulaşım için en çok kullanılan raylı sistemler tramvay, hafif raylı sistem ve metro olarak sınıflandırılmaktadır [3].

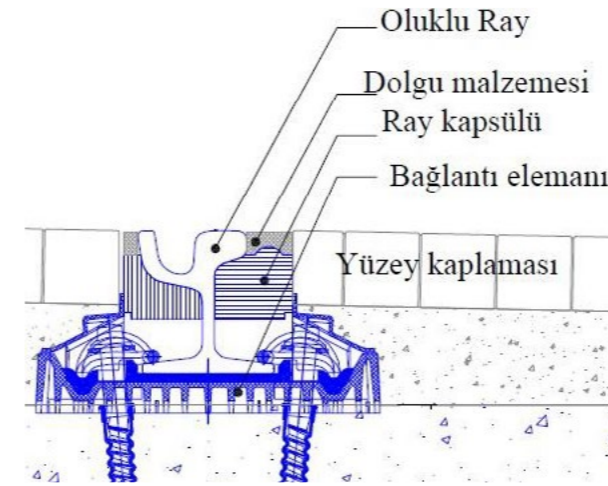
Demiryolunda farklı raylı sistemler bulunması sebebiyle farklı ray tipleri kullanılmaktadır. Üretim başlangıcından günümüze kadar raylarda malzeme kalitesi ve şekil yapısında önemli gelişmeler yaşanmıştır. Şekilsel olarak başlıca 3 adet ray tipi bulunmaktadır [4].

- Tek Mantarlı Ray
- Çift Mantarlı Ray
- Oluklu Ray

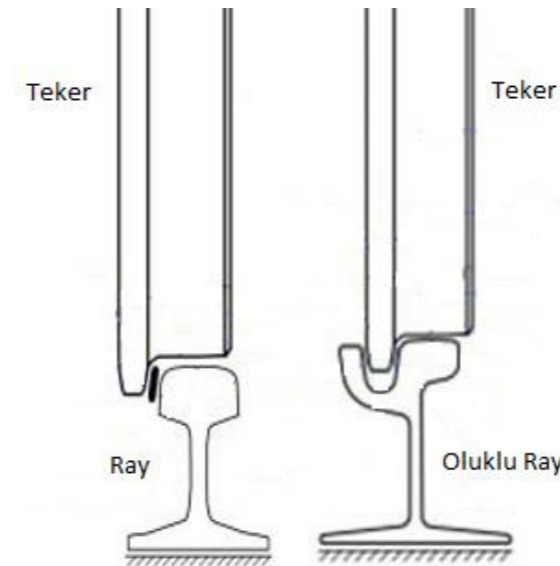
2. Oluklu Ray

Oluklu rayların temel amaçları, raylı taşıtların güvenli bir şekilde yönlendirilmesini sağlamak ve rayın güvenli ve konforlu kullanımını en üst düzeye çıkarmaktır [5].

Şekil 1'de oluklu rayların demiryolu hatlarına döşenme yöntemi görülmektedir. Demiryolu hatlarına döşenen bu rayların demiryolu tekeri ile arasında oluşan temas bölgeleri de Şekil 2'de yer almaktadır.



Şekil 1. Oluklu raylı hat detayı [6].



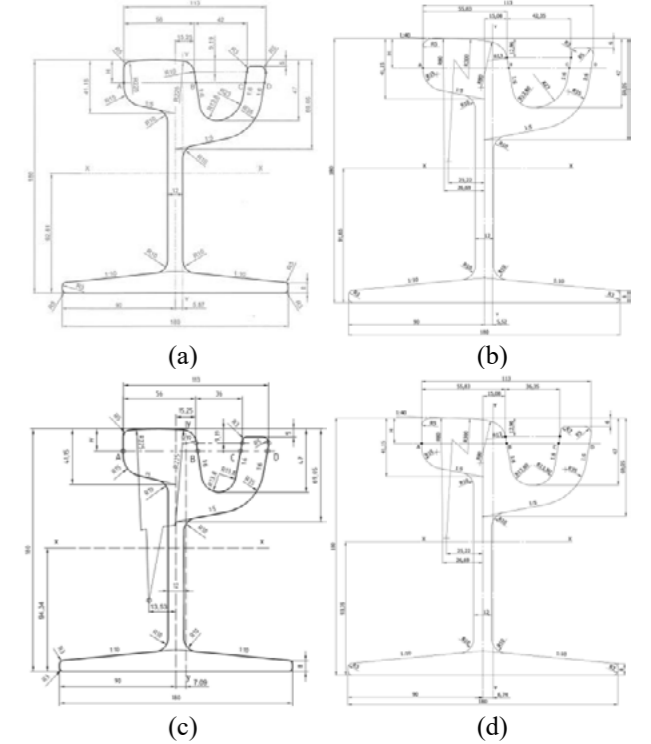
Şekil 2. Demiryolu tekeri ile raylar arasındaki temas [7].

2.1. Oluklu ray standardı

Kardemir'de EN13674-1, UIC 860, GOST R 51685 gibi farklı standartlara göre ray üretimi yapılmaktadır. Oluklu rayları üretim standardı ise EN 14811'dir [8]. Bu standarda göre Kardemir'de üretimi yapılan ray tipleri ve kaliteleri Çizelge 1'de verilmektedir. Rayların ölçüleri de Şekil 3'de verilmektedir.

Çizelge 1. EN 14811'e göre üretilen oluklu raylar.

Standart	Ray Tipi	Kalite
EN 14811	59R1	R220G1, R260
	59R2	R220G1, R260
	60R1	R220G1, R260
	60R2	R220G1, R260



Şekil 3. a) 59R1, b) 59R2, c) 60R1, d) 60R2 ray ölçüleri.

2.2. Kardemir'de oluklu ray üretimi

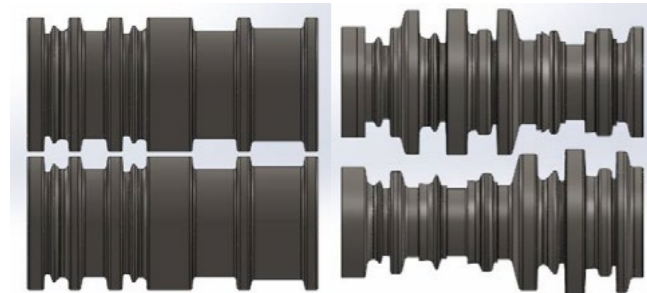
Ray Profil Haddehanesinde oluklu ray üretimi sürekli dökümlerde dökülen 260X360 mm kesitli blumların, tav fırınlarında tavlama, hadde tezgahlarında haddeleme, soğutma ızgarasında soğutma ve doğrultma işlemlerine tabi tutularak gerçekleştirilir. Doğrultulan oluklu tahribatsız muayene yapıldıktan sonra raylar müşteri talebine göre kesilerek kalite kontrolü yapılır.

İlk olarak, sürekli dökümlerde verilen döküm numarası yarı mamul üzerine etiketlendikten sonra karekod okuma sistemi tarafından otomatik olarak taranmaktadır. Bu döküm numarası malzemenin üretiminin başından müşteriye gidene kadar ki sürecinin takip edilmesini sağlamaktadır. Ardından, yürüyen kirişli tav fırınına alınan yarı mamuller 1200-1250°C'de Şekil 4'de verilen tav fırınında tavlama işlemine tabi tutulmaktadır. Fırın çıkışında blumlar yüksek su basıncına sahip descaler içerisinde geçirilerek yüzeyinde oluşan tufal tabakası temizlenmektedir.



Şekil 4. Tav fırını.

Oluklu ray üretiminde tavlanan ve temiz bir yüzeye sahip blumlar BD1 haddesinde ve ardından BD2 haddehanesine gelerek reçeteye uygun şekilde haddelenmektedir. Haddelenmede kullanılan merdanelerin Şekil 5'deki kalibre tasarımları Autocad ve Solidwork programında yapılmaktadır. Sonrasında, Şekil 6'da görülen ve dört yönde aksenel olarak haddeleme yapan UR, Edger ve UF'den oluşan tandem tezgahına gelerek son nihai ölçülerini almaktadır. Buradan da Şekil 7'de verilen ölçü ve hata kontrol sistemlerine gelmektedir.



Şekil 5. BD1 ve BD2 merdane kalibre tasarımları.



Şekil 6. Tandem tezgahı.



Şekil 6. Ölçü ve hata kontrol sistemleri.

Nihai olarak üretilen oluklu raylar ölçü ve hata kontrolünden sonra soğutma ızgarasına gelmektedir. Yaklaşık 2 saatlik soğuma sonrasında doğrultma ünitesinde Şekil 7'de ki yatay ve dikey yönde doğrultma işlemine tabi tutulmaktadır.



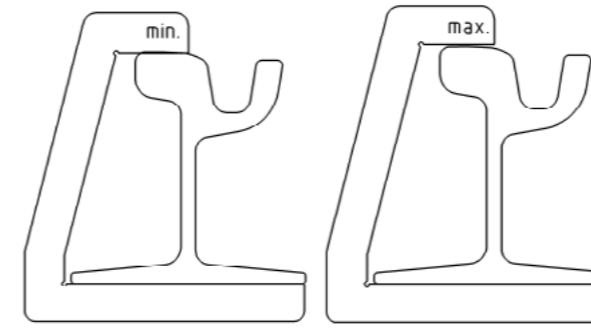
Şekil 7. Dikey ve yatay doğrultma.

Doğrultma işlemi sonrasında oluklu raylar iç yapı, yüzey ve doğrusalık kontrolü için tahribatsız muayene istasyonundan geçirilmektedir. Burada kusurlu olarak tespit edilen raylar ise direk hurdaya ayrılmaktadır. Ardından oluklu rayların ucunda ki doğrusalığı hem kontrol etmek hem de düzeltmek için gag pres ünitesine gitmektedir. Müşterinin talep ettiği sipariş boyuna kesilmek içinde delme-kesme ünitesinden geçirilmektedir.

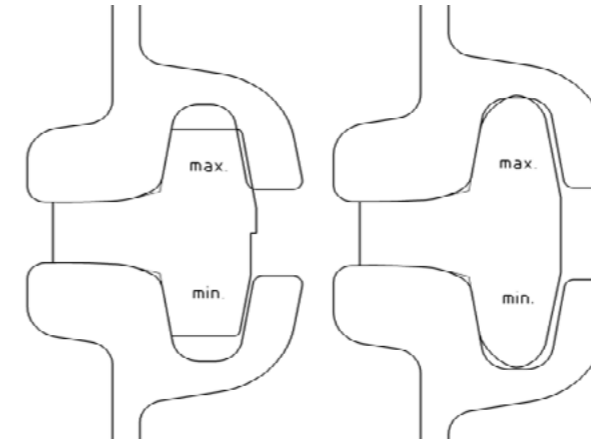
2.3. Oluklu rayların master kontrolü

Üretimi tamamlanan oluklu raylar EN 14811 standardının gerekliliği olan master kontrolü için ray kontrol ızgarasına gelmektedir.

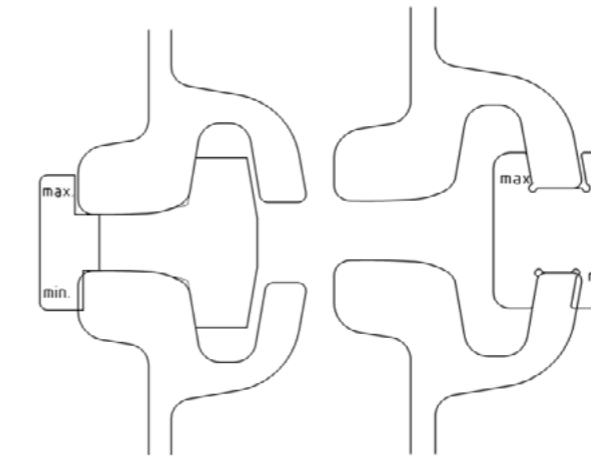
Ray üretiminin en önemli kıstaslarından biri olan master kontrolünde oluklu raylarda toplam 23 adet iken tek mantarlı raylarda bu adet 15 adettir. Oluklu rayın oluk genişliği, oluk yüksekliği, kanca ucu, ray yüksekliği vb. gibi birçok bölgesinde master kontrolü yapılmaktadır. Şekil 8 ile 15 arasında rayların kontrolünde kullanılan masterlar yer almaktadır. Bu masterlar standarda göre olması gereken min. ve max. değerlere göre hazırlanmaktadır. Üretilen oluklu rayların hepsine %100 master kontrolü yapılarak 1. Sınıf ve hurda olduğuna karar verilmektedir.



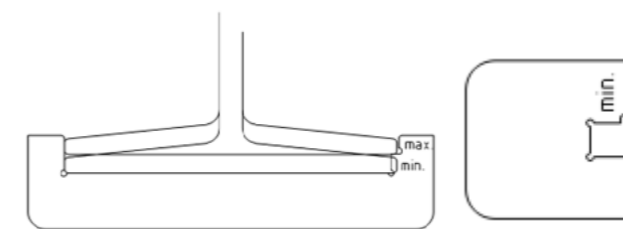
Şekil 8. Ray yüksekliği masterı.



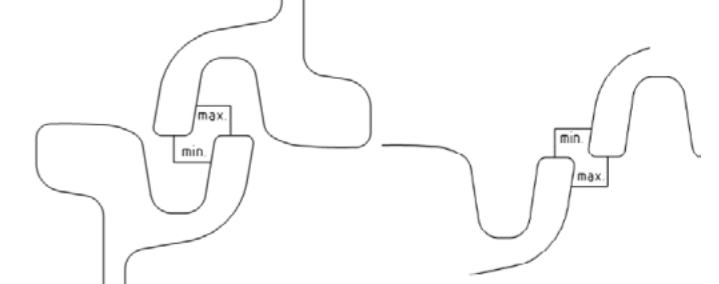
Şekil 9. Oluk genişliği ve derinliği masterları.



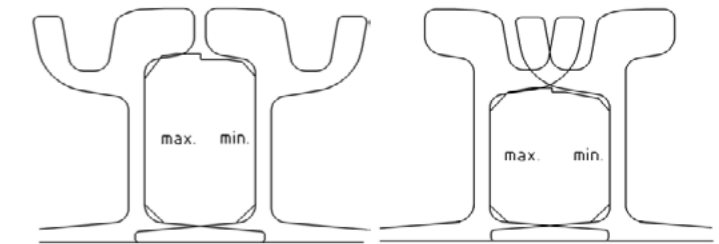
Şekil 10. Mantar ve kanca ucu genişliği masterları.



Şekil 11. Ayak genişliği ve web kanlığı masterları.



Şekil 12. Mantar ucu radiusu masterı.



Şekil 13. Ray cebire masterı.

2.4. Oluklu rayların mekanik özellikleri

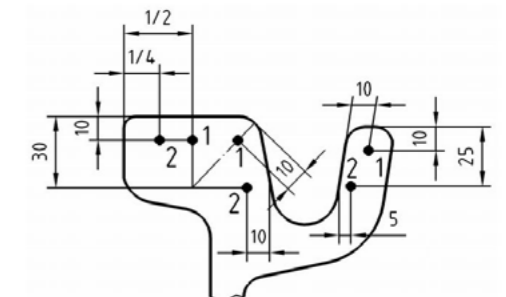
Çeliğin çekme mukavemeti milimetre kare başına Newton birimi ile ölçülmektedir. R260 çeliğin minimum 880 N/mm² mukavemetine sahip olması gerekmektedir. Sertlik ise Brinell HBW olarak ölçülmekte ve 260-300 HB aralığında olması beklenilmektedir.

Çizelge 2. EN 14811'e göre üretilen oluklu raylar.

Çelik Kalitesi	Çekme Mukavemeti Rm (MPa) min.	Uzama A (%) min.	Çalışan Yüzey Sertlik HBW
R220	780	12	220-260
R260	880	10	260-300

Sertlik testleri EN ISO 6506-1 standardına göre aşağıdaki koşullarda ve rayın Şekil 14'deki pozisyonlarından alınmaktadır.

- Ø 2,5 mm çaplı tungsten karbür bilye,
- Baskı yükü 1,839 kN,
- Uygulama periyodu 15 sn.



Şekil 14. Sertlik testi pozisyonları.

3. Sonuç

Ülkemizdeki şehir içi hafif raylı taşımacılığının her geçen gün ilerimizde çoğalması ile oluklu raya duyulan ihtiyaç artmaktadır. Patenli raylara göre asimetrik olması sebebi ile daha zor üretilen oluklu raylara olan bu ihtiyaç yerli ve milli olarak 2007 yılında kurulan Ray Profil Haddehanesi tarafından karşılanabilmektedir. EN 14811 standardına göre çoklu mastar kontrollerine uygun olarak üretilmiş olan bu rayların ülkemiz ekonomisine katkıda bulunduğu ve ithal ikameninde önünü kestiği bilinmektedir. KARDEMİR A.Ş., demiryolu sektörüne yönelik tüm ihtiyacı karşılayacak ray ve demiryolu tekeri üretimi ile katma değerli üretim anlayışıyla kendisini geliştirmeyi sürdürecektir.

Teşekkür

Türkiye’de ilk defa oluklu ray üretimi yapan bir tesisin kurulmasına öncülük yapmanın gururunu yaşatan, imkanları sağlayan Devletimize, Kardemir A.Ş. Yönetim Kurulumuza, Üst Yönetimimize ve emeği geçen tüm çalışanlarımıza teşekkür ederiz.

Referanslar

- [1] H. Tao, P. Zhang, Characterization And Mitigation Of Wheel Rail Impact at a Singular Rail Defect, Journal of Vibration and Control, 2022, DOI:10.1177/10775463221122111.
- [2] H. G. Önder, F. Akdemir, Evaluation of Urban Rail Transit Systems Within the Scope of Transportation Master Plans in Turkey, Demiryolu Mühendisliği, 10 (2019) 31-45.
- [3] A. Çelebi, Hafif Raylı Sistemlerin Özel Otomobil Kullanımına Etkisinin İncelenmesi, Y. Lisans Tezi, Niğde Ömer Halis Demir Üniversitesi, 2022, Niğde, Türkiye.
- [4] M. Eroğlu, Raylı sistemlerde ray ve teker arasındaki temas analizinin ansys ortamında incelenmesi, Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, 2014, Karabük, Türkiye.
- [5] S. Lakusic, M. Ahac, Hardness distribution over cross-section of grooved rails, Gradevinar, 64 (2012) 1009-1018.
- [6] F. E. Erbaş, Hafif Raylı Sistemlerde Köprü ile Balastsız Üstyapı Geçiş Bölgelerinin İrdelenmesi, Y. Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2017, İstanbul, Türkiye.
- [7] <<http://www.rail-fastener.com/grooved-rail.html>>Tarih 01.09.2021
- [8] “TS EN 14811 Demiryolu uygulamaları – Yol – Özel amaçlı raylar – Kanallı raylar ve ilgili yapı profilleri”, 2019, Ankara.

Rolling of Cold Strip Down to Thin Gauges in Tandem Mills: Challenges and Solutions

Sıralı Haddelerde Soğuk Şeridin İnce Ölçeklere Yuvarlanması: Zorluklar ve Çözümler

Michael BREUER, Falk TÖPLER

SMS Group
Germany

Keywords: Cold rolling, tandem cold mill, CVC® systems, thin gauge, thin gage, chatter, lubrication

Abstract

When speaking of cold strip rolling, especially carbon strips, mainly final gauges between 1.5 mm and 0.35 mm are referred to. Cold rolling of thinner strips poses special challenges for the plant technology and the process control. In addition to the targeted final thicknesses, it is also important to attain the strip quality and the required product properties, such as flatness or surface quality. Rolling jobs, which involve special challenges, are preferably performed in reversing mills because here, the rolling process is better manageable and a strip break has less impact on the production.

The limitation on reversing cold mills, however, is the restricted production capacity, which, in the case of single-stand mills, is around 300,000 tons per year and in the case of two-stand Compact Cold Mills, around 600,000 tons, depending on the processed strip widths and strip gauges. The productivity of a tandem mill is even higher at a better yield rate together with combined process steps.

There are regions on the world market - this includes the Asia/Pacific region - which have a very high demand for cold-rolled thin strip in a thickness range of 0.50 mm to 0.15 mm. Two of the main applications for this material are roofing and packaging. With the capacities installed in this region alone, the demand cannot be met completely.

SMS group supplied two coupled pickling/tandem roll mills especially for this demand.

This paper provides an overview on the challenges and experiences made during commissioning of these two PLTCMs. The focus is on mechanical equipment and process control items.

1. Introduction

Rolling of thin cold strips in a gauge below 0.35 mm thickness is a demanding task for coupled pickling/tandem cold rolling mills (PLTCM). Rolling on continuous tandem mills, however, provides several advantages in comparison to reversing mills (RCM):

- Higher yield
- Higher productivity
- Better uniform quality in terms of thickness and flatness

The disadvantages, which are also to be mentioned, are as follows:

- In case of strip breaks longer downtime to clean up the mill
- Higher demands on production planning
- Higher demands on process control (chatter risk at high-speed rolling)
- Higher maintenance effort to keep the rolling conditions stable

The different aspects to operate a PLTCM in such a demanding market niche are discussed and the experience gained during operation of the two new installed lines will be shared with focus on the rolling mills.

The most existing tandem cold rolling mills producing thin gauges for tin-plate applications are operating with Palm-oil. In this case, the lubrication is done with an oil-based emulsion. Some advantages in practical operation are more simple emulsion plant, no special cleaning section necessary and direct batch annealing possible.

The typeface of the manuscript should be Times New Roman, 10 pt. and justified. The manuscript must be written in English. The manuscript has to consist of minimum 4 pages and maximum 8 pages.

2. Mill layout

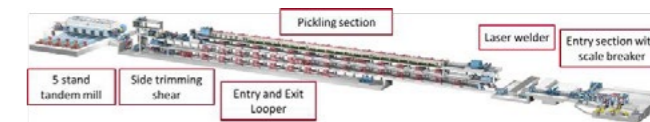


Figure 1. Mill layout and main components.

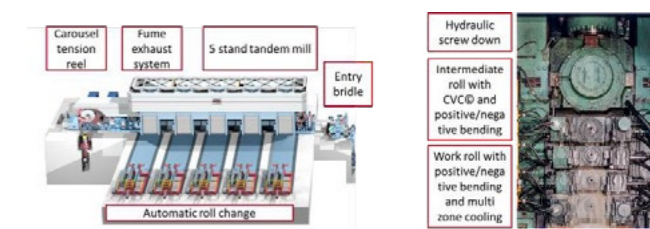


Figure 2. Main components of tandem Rolling mill.

Both lines were equipped with laser welder in the entry section followed by entry looper, pickling area, exit looper, side trimmer, inspection area, rolling mill, flying shear, carousel tension reels and an offline inspection area, only mentioning the main equipment.

The 5-stand arrangement with hydraulic screw down system provides the necessary reduction capacity in order to achieve the final thicknesses and the production volume.

The rolling stands were implemented in 6-high design to assure a perfect flatness control independent from the incoming hot strip profiles. The equipment includes CVC®-systems on intermediate rolls, work roll and intermediate roll positive/negative bending systems. The last stand features a multizone cooling system. The tension reels are built as carousel coiler with automatic sleeve handling to provide a compact mill design. The automatic roll change devices round up the state of the art installation.

Both mills are capable to roll 1800 m/min assuring a high productivity level.

The main difference in both lines is the arrangement of the pickling section. While one facility is built inline, the other facility features a pickling section arranged in parallel to the rolling line with the aid of turning rolls. This shows the possibility to adapt the line layouts to existing equipment and facilities.

Furthermore, the target products differ slightly from each other serving in the one case mainly galvanizing lines and in the other case providing a proportion for tin plate lines.

3. Challenges in rolling of thin gauges

The main challenges in rolling thin gauges can be stated as:

- Avoidance of strip breaks
- Assurance of fast rolling
- Reproducibility of rolling conditions

Therefore, the following tasks have to be fulfilled:

- Reliable mechanical equipment with high reduction capability adapted to thin strip rolling conditions
- Automation system to allow smooth operation with nearly no operator intervention
- Perfect mass flow, flatness and thickness control
- Adjustment of draft distribution, emulsion conditioning, according to final product dimensions
- Special handling provisions to process thin strips in automation mode
- Maintenance and housekeeping on a high level of equipment knowledge and process know-how

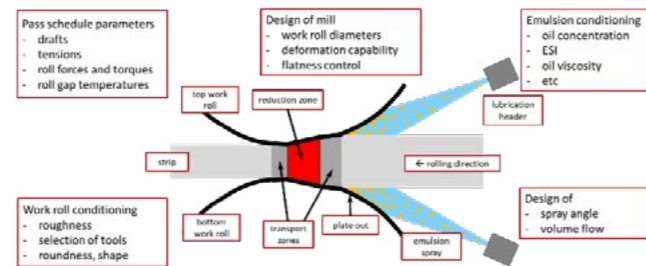


Figure 3. Challenges in rolling thin gauges.

4. Skills and competencies

Product planning requires more attention in a PLTCM than a RCM: Width and thickness jumps have to be considered as well as material hardness changes and have to follow special rules. The differences in operating a reversing mill and a tandem mill cannot be ignored. Essential for the success is continuous training of the operators. Education sessions in both theory and practice are mandatory and should be repeated from time to time. A high degree of automation requires special attention on maintenance and home keeping.

The grinding shop has to assure a stable, reliable work roll quality in terms of roundness, eccentricity, roll shape and roughness. The roughness of rolls is in many cases measured as average roughness Ra, but this is not enough. Experience shows that the grinding practice and the tools used cannot be selected freely.

5. Components

Thin gauge rolling starts with the accuracy of erection. Special attention is necessary to achieve perfect flatness results later during operation. Design demands focusing only on small work roll diameters are not sufficient for achieving a stable mill operation and for rolling thin strips. The design of the cooling and roll gap lubrication systems must fulfill high demands to keep the work roll and strip temperature in limits.

The stable properties of the emulsion must be reflected in the emulsion system design.

The transport of thin strip heads without tension to the tension reel mandrel is very sensitive, too. Special measures must be taken to avoid coiling failures. In addition, the measurement devices have to be selected carefully to reach sensitivity in the complete product range.

These are some important but not all design aspects to be considered. The production line must be seen as one system; just combining components may not provide the desired success.

A level 2 system with powerful models is mandatory for rolling thin gauges. It must at least include pass schedule (PSC®) and flatness control (PCFC®) setups. For example,

the changing rolling conditions during mill warm-up have to be considered for accurate setup in order to avoid too many step down coils. It was found that for some grades it is very helpful to change the process setup during rolling considering the different speeds and rolling conditions. In those cases, the PSC® and PCFC® models calculate more than one setup for rolling of one strip.

Flatness control of final strip is assured with the X-roll® shape roll interacting with the flatness control equipment of the mill. CVC®, bending and multizone cooling is dynamically controlled based on the measured shape. Rolling thin gauges, the interstand flatness becomes more important for the rolling process. Especially too high edge tension can be a reason for strip breaks. The hot strip profile as base for the setup differs in many cases dramatically from 0.5 to 2.5% and are considered in the PCFC® model to optimize setup accuracy. The technological models calculate the setup values for the actuators together with parameters for acting on dynamic disturbances like roll force changes and assure the requested flatness in the mill.

The automation level 1 of a mill has to deal with a lot of sensors and actuators, which are interacting in the rolling process. Due to the high process velocity, controller speeds have to be balanced to avoid on the one hand overreaction and oscillations and on the other hand approach high performance in terms of thickness and process safety. Dynamic adjusting of amplifying factors are essential to achieve the required performance.

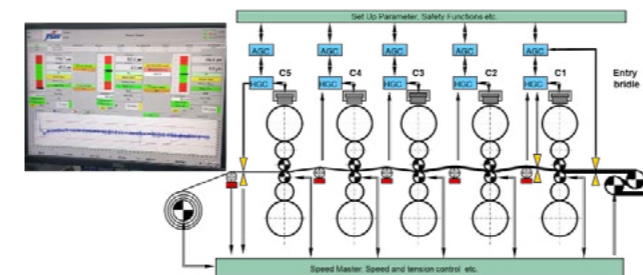


Figure 4. Technological control systems: Thickness control [2].

Thickness and mass flow control is based on speed control and measured with strip tension acting on the hydraulic screw down systems. For thin strips, a special strategy comes into force to assure after the dividing cut with the flying shear a save strip head transfer to the tension reel. The behavior of strips with a thickness below 0.2 mm is similar to paper and must be specially handled. Transition in between two different strip thicknesses is done with a special strategy to keep the yield at the highest level.

6. Technological tasks for rolling thin strips at high speed

The emulsion supplier is selected by the customer. The trend to use instable or metastable fluids with a high ESI continues

in all regions. These fluids offer the advantage of a high plate out and good lubrication as well as cleaning properties but the process demand for rolling thin gauges at high speed cannot be fulfilled without adaptations. To achieve stable rolling conditions the conditions in roll gaps must be balanced:

- Lubrication and plate out → emulsion conditioning
- Roll roughness / surface → conditioning in grinding shop
- Tensions → forward slip
- Drafts → roll forces

Typical characterization of an emulsion is done with the parameters

- Oil content,
- Emulsion stability index ESI and
- pH value

Further parameters like

- Oil viscosity,
- Oil drop size / plate out,
- Iron content,
- Saponification value and
- Ash content (in some cases)

are not always in the focus. All these parameters influence each other. The chemical playground is like alchemy for the unskilled. Small amounts of additives have a big impact on the rolling process.

A stable working point must be established and kept in order to achieve high rolling speed and the sensitivity of chatter to rolling parameters must be as low as possible. Low friction is in many cases not helpful for fast rolling. A certain roll force and reduction level in the last stands must be adjusted to keep the mill stable. For operation, the team of customer, emulsion supplier and mill/technology supplier has to find the best solution under the given constrains. The optimum may differ depending on the target product mix as observed in both tandem mills.

3rd octave chatter is a phenomenon facing most tandem mills of the world. This self-excavated oscillation at a frequency of around 130 Hz of the roll set can cause heavy strip breaks because of its impact on the strip thickness. The only chance to avoid strip break is to lower the rolling speed immediately.

Chatter can mainly be observed in final rolling speeds above 800 m/min. Most tandem rolling mills limit the max. speed to avoid these critical chatter speeds to achieve stable and reliable process conditions, at the cost of lower production rates.

To avoid destabilizing vibrations caused by roll eccentricity, grinding mistakes or bearing failure the mill and grinding shop needs attention in terms of maintenance, grinding practice and housekeeping. Mill design (gearboxes and other



rotating parts) must also follow special rules to avoid excitations.

To detect the starting of this oscillation and avoid strip breaks the new mills were equipped with a vibration monitoring system connected to an automatic slow-down function, which avoids strip breaks and helps a lot during optimization. This GENIUS®-system is also capable to detect grinding or roller bearing failures at a very early stage.

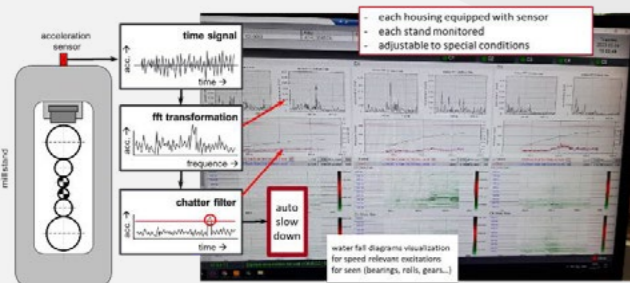


Figure 5. Genius CM Chatter monitor working principle [2].

During thin gauge rolling, the absolute thickness reduction in the last passes is in the range of some 10 μm . Because of the high strip deformation resistance the flattening of work rolls are more and more in the same range. Roll force calculation models not considering this physical effect cannot accurately predict roll forces etc. and are largely based on adaptation than on model values. Flattening of work rolls seems to be a disadvantage but for fast rolling speeds the additional load increase the stability against chatter.

Roll kissing can be avoided by selection of a small work roll crown and was not observed.

The distribution of interstand tensions must consider the actual strip yield strength. The material model must be capable to calculate the work hardening in each deformation step to set up the tensions in a range of 35% to 15% of yield strength.

7. Summary and conclusion

The experience with the two new continuous pickling tandem cold mills shows that a tandem mill can produce strip thickness below 0.25 mm at a high productivity level. Maintaining this stable rolling practice is a demanding task for all relevant areas of operations:

- High maintenance and housekeeping level
- Skilled operators and careful production planning
- Stable emulsion parameters and reproducible grinding practice
- Reliable equipment and perfect automation system



Lubricants

Madeni Yağlar

Demir-Çelik Sektörü İçin Sürdürülebilir Bir Geleceğe Doğru 4 Adım & “Yeşil Çeliğin” Şekillendirilmesine Yardımcı Olan 3 Sıfır Karbon Yeniliği

4 Steps Towards A Sustainable Future For Steel & 3 Decarbonising Innovations Helping To Shape “Green Steel”

Cem AYZAZ

Shell Madeni Yağlar
Türkiye



Demir-çelik sektörü diğer sektörlerde olduğu gibi daha sürdürülebilir bir şekilde yaşayabilmemiz için hayati önem taşımaktadır. Üretilen ürünler özellikle %79'a¹ kadarı metalden üretilen güneş panelleri ve rüzgâr türbinleri gibi yenilenebilir enerji çözümlerinin imalatında önemli bir rol oynamaktadır. Ayrıca daha düşük karbonlu bir ulaşım geleceğini elektrikli araçları oluşturacağı için metal sektörünün rolü çok önemli olacaktır.

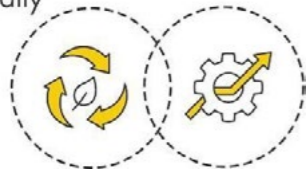
Bununla birlikte, çeliğin sürdürülebilir bir malzeme olması için hala gidilecek çok yol var. Bugün üretilen her ton çelik ortalama 1,4 ton CO₂ yaymaktadır. Bu, metal endüstrisini çözülmesi zor bir paradoksla karşı karşıya bırakıyor. Peki işletmeler büyümeyi nasıl destekleyebilir ve sürdürülebilirlik hedeflerine nasıl ulaşabilir?

Shell Madeni Yağ Çözümleri Global Endüstri Pazarlama Genel Müdürü Mario Viarengo'ya göre zorluk çok açık. "Toplumumuzun ve ekonomimizin çeliğe ihtiyacı var, ancak karbon ayak izini azaltmanın yollarını da bulmalıyız" diye açıklıyor. "Peki, endüstri liderleri ikisini nasıl dengeliyor? Çevresel etkiyi azaltırken üretimi artırma konusundaki ihtiyaçla ortaya çıkan çelişki ile nasıl mücadele ediyorlar?"

Bunlar metal lider üreticilerinin cevaplama gereken büyük sorular, ancak Viarengo üretkenliği ve sürdürülebilirliği rakip hedefler olarak görmüyor. Bu bakış açısı, çelik endüstrisi şirketlerinin tahmini % 14'ünün çevresel etkilerini azaltamadıkları takdirde potansiyel değerlerinin risk altında olduğu gerçeğiyle desteklenmektedir.³

"Bu, sürdürülebilirlik ve üretkenliğin birbirinden farklı yönde hedefler olması gerektiğini gösteriyor. Bunun yerine, aslında başarı için birbirlerine bağımlı olabilirler" diyor Viarengo. "Belki de çelik işletmeleri bu konuları ayrı ayrı düşünmek zorunda değiller. Belki de başlangıçta olduklarını düşündükleri paradoksla karşı karşıya değiller."

**Sustainability and
productivity** do not
have to be mutually
exclusive goals



Çelik üreticilerinin daha verimli çalışması için 4 pratik yol

Çeliği daha sürdürülebilir hale getirmek için, işletmelerin operasyonlarını daha verimli çalışacak şekilde uyarlamaları gerekir. Bu nedenle, çevre üzerindeki etkilerini geliştirirken çıktıyı artırmak için atabilecekleri 4 adım:



1. Bakım yoluyla sürdürülebilirliği destekleyin

Operasyonel, finansal ve düzenleyici baskıların bir karışımıyla karşı karşıya kalan şirketlerin, her çözümün işletmeleri üzerinde nasıl daha geniş bir etkiye sahip olabileceğini keşfetmeleri önemlidir.

"Örneğin karbon nötr yağlayıcıları ele alalım," diye açıklıyor Viarengo. "Geçiş yapmak, işletmelerin çeşitli hedeflere ulaşmasına yardımcı olabilir. Beklenmedik bakım maliyetlerinden kaçınabilir ve yüksek operasyonel performans seviyelerini sürdürülebilirlik ihtiyaçlarını yönetirken de koruyabilirler."

Viarengo'ya göre, bu ürünler insanların düşündüğünden daha yaygın. "Birçok şirket zaten mevcut olan sıfır karbon seçenekler olduğunun farkında bile değil" diyor. Sentetik dişli yağları "Shell Omala S4 GXV, Shell Omala S4 WE, Shell Gadus S5 T, Shell Gadus S5 V ve Shell Tellus S4 VE, metal müşterilerimizin bazen sürdürülebilirlik hedefleri üzerinde sahip olabilecekleri olumlu etkiyi bilmeden kullandıkları karbon-nötr yağlayıcılara birer örnektir."

2. Kaynaklarınızın rolünü yeniden gözden geçirin

Kaynak yönetimi, tüm endüstrilerdeki şirketlerin daha verimli ve daha sürdürülebilir bir şekilde çalışmasına yardımcı olmada kilit bir rol oynamaktadır. Sonuçta, daha düşük tüketim, daha düşük maliyet ve daha az atık anlamına gelir.

Viarengo, "Birçok metal zaten etkileyici geri dönüşüm oranlarına sahip, ancak atık yönetimi sadece temel malzemelerinizin ötesine geçebilir" diyor. "Üretim süreçlerini yeniden tasarlamaktan su israfını azaltmaya kadar, işletmeler işlerini ve sürdürülebilirlik referanslarını artırırken maliyetleri düşürmeye yardımcı olan çeşitli yöntemler kullanmaya başlıyor."

"Ve elbette, yağlayıcılar da burada yardımcı olabilir" diye ekliyor. "Çoğu zaman, bir ürünün kalitesi ne kadar yüksek olursa, o kadar az yağa ihtiyaç duyulur veya israf edilir."

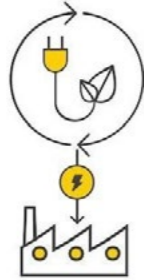


3. Yeni enerji kaynaklarına geçiş yapın

Çelik üretimi, enerji talebinin %75'i için hala kömüre dayanmaktadır⁴. Endüstrinin sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşması için değişmesi gereken bir durum ve yenilenebilir enerjiler fosil yakıtlardan elde edilen güçten uzaklaşmada hayati önem taşıyacak.

Viarengo, "Operasyonlarınızı güneş gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına veya hidrojen gibi daha temiz alternatiflere taşımak, iş verimliliğinde bir dünya fark yaratabilir" diyor. "Bunu ilk elden gördüm, Shell'in Madeni Yağ Harmanlama Tesislerinde kullanılan elektriğin %50'den fazlası artık yenilenebilir kaynaklardan geliyor⁵. Bu arada, enerji izleme sistemleri tesislerimizin daha da enerji verimli hale gelmesine yardımcı oluyor."

More than
50%
of the electricity used in
Shell's **Lubricant Blending
Plants** now come from
renewable sources



4. Doğru stratejik desteği bulun

Hiçbir şirket her şeyi tek başına yapamaz. Enerji geçişi, işletmeler arasında ve endüstriler arasında iş birliğini gerekli kılmaktadır. Liderlerin, sürdürülebilir büyüme potansiyelini sunmalarına yardımcı olmak için doğru ortaklıkları kurmaları gerekiyor.

"Doğru uzmanlık ortada; işletmeler genellikle nerede bulacaklarını bilmiyorlar" diyor Viarengo. "İronik olarak, bazen tam önünüzde duruyor. Örneğin, Shell'de sadece arıza sürelerini azaltmaya yardımcı olabilecek yağı sağlamak yerine, müşterilerin daha önce fark etmedikleri gizli fırsatları ortaya çıkarmalarına yardımcı olabilecek ek hizmetlerimiz de var."

"Dünyanın en büyük çelik şirketlerinden birinin, ekipmanlarıyla ilgili iki ayrı, gizli sorunu ortaya çıkarmak için yağın durumunu izlemeyi kullanarak 228.000 dolardan fazla tasarruf etmesine yardımcı olduk" diye açıklıyor. "Ayrıca Çin'deki bir filmaşın hattında, artan üretim, azaltılmış bakım maliyetleri ve yağ ve filtre tüketimini azaltarak yılda 1 milyon dolardan fazla tasarruf sağladık." ⁶

We have helped one of the
**world's largest steel
companies** save more than
\$228,000
by using **oil condition
monitoring**



Çelik için daha temiz bir gelecek yaratmak için iş birliği yapmak

Verimlilik ve sürdürülebilirlik arasındaki bağlantı, çelik şirketlerinin bir paradoksa yakalanmadığı, diğerinin pahasına bir eylem planı arasında seçim yapmak zorunda kalmadığı anlamına gelir. Ancak, çevresel etkilerini yönetirken verimi artırmaya çalıştıklarında, hala yapacak çok şey var.

Doğru iş birliği, başarı için kritik öneme sahip olacak ve daha temiz bir enerji geleceğine geçiş için doğru beceri, uzmanlık ve bilginin mevcut olduğundan emin olacaktır.

Viarengo, "Mevcut sıfır karbon yolculuğunuzun neresinde olursanız olun, eldeki soruna yeni bir bakış açısı getirmenin, çıktığı etkiyle dengelemenin yararlı bir yolu olabileceğini unutmayın" diye sonlandırıyor. "Sonuçta, hiçbir işletmenin tüm cevaplara sahip olması beklenmiyor. Endüstriler olarak hem performansı hem de sürdürülebilir büyümeyi teşvik edebilecek çözümler üretmek için birlikte çalışmalıyız."



Referanslar:

¹ US Geological Survey. "[What materials are used to make wind turbines?](#)" usgs.gov. N.D.

² International Energy Agency. "[Iron and Steel Technology Roadmap.](#)" IEA.org. October, 2020.

³ Hoffman, Christian, Michel Van Hoey and Benedikt Zeumer. "[Decarbonization challenge for steel](#)." Mckinsey & Company. 03 June, 2020.

⁴ International Energy Agency. "[Iron and Steel Tracking Report](#)." IEA.org. November, 2021.

⁵ Including renewable electricity contracts. Based on Shell internal data.

⁶ Shell. "[Reducing downtime in the Metals Sector](#)". Shell.com.

*"Karbon nötr", Shell'in, Yağlayıcıların hammadde çıkarma, taşıma, üretim, dağıtım, kullanım ve kullanım ömrünün sona ermesi ile ilişkili CO₂e miktarına eşdeğer CO₂ miktarının doğal ekosistemlerin korunması yoluyla emisyon olarak önlenildiği veya doğa temelli bir süreçle atmosferden uzaklaştırıldığı bir işlem gerçekleştirdiğini belirtir. CO₂e (CO₂ eşdeğeri) CO₂, CH₄, N₂O anlamına gelir



"Yeşil çeliğin" şekillendirilmesine yardımcı olan 3 sıfır karbon yeniliği

Madencilik gibi birbirine benzeyen çelik endüstrisi de enerji geçişinde karmaşık bir role sahiptir. Çelik tedarikçileri, rüzgâr türbinleri ve elektrikli araçlar gibi yenilenebilir endüstrilerin büyümesini desteklerken, gerekli karbon yoğun üretim, çelik endüstrisi bir ülke olsaydı, karbondioksit emisyonları için dünyada üçüncü sırada yer alacağı anlamına gelir¹.

İlk başta paradoksal görünse de toplumun aslında bu geçişi hızlandırmak için daha fazla çeliğe ihtiyacı var. Ancak küresel enerji ve iklim hedeflerine ulaşmak için, çelik endüstrisinden kaynaklanan emisyonların 2050 yılına kadar en az %50 oranında düşmesi **gerekli**.² Küresel çelik üretiminin 20 yıl önce olduğu gibi emisyon yoğun olduğu göz önüne alındığında zor bir soru.³

Soru daha sonra hızla "ne kadar?" dan "nasıl yapılır?" sorusuna geçer, çünkü artan büyümeyi azaltılmış çevresel etki ile dengelemek için, gelecekteki çeliğin çok daha büyük bir kısmının daha az emisyon eklenerek üretilmesi gerekir. Bu, "düşük karbonlu"⁴ veya "fosilsiz" girişimlerin artmasına neden olmuştur; bunların hepsi, şirketler mümkün olan en düşük karbon ayak izine sahip bir ürün üretmeye çalıştıkça, "yeşil çelik" şemsiye terimi altına girmektedir. Bununla birlikte, "yeşil çelik" in evrensel bir tanımı olmadan, bu alandaki ilerleme bodur olabilir mi?

Çelik üreticilerinin göz önünde bulundurması gereken düşük karbonlu stratejiler

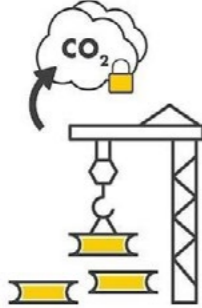
Çeşitli terminolojiler ve küresel olarak araştırılan bir dizi düşük karbonlu yenilik ve teknoloji ile Dünya Çelik Birliği, bu yaklaşımları üç geniş kategoride gruplandırmıştır: karbon; hidrojen ve elektrik⁵.

1. Karbon azaltma stratejileri

Çelik üretimi de dahil olmak üzere birçok süreç bu aşamada sıfır karbonlu olamayacağından, henüz kaçınılmaz olan emisyonlarla başa çıkmak için ağır sanayide karbon azaltma stratejileri kullanılmaktadır. Çelik endüstrisi için, Karbon Yakalama ve Depolama (CCS - carbon capture and storage -) belki de daha popüler ve umut verici yaklaşımlardan biridir. Bu, çelik üretim sürecinden kaynaklanan karbondioksit emisyonlarını yakalamak için çeşitli teknolojilerin kullanılmasını, bunları gerekirse yeraltında enjekte edilebilecekleri ve depolanabilecekleri ayrı bir alana taşımadan önce içerir.

Uluslararası Enerji Ajansı (IEA -International Energy Agency), CCS'nin "CO2 emisyonlarını önemli ölçüde azaltmak için nispeten gelişmiş ve maliyet açısından rekabetçi bir seçenek" olduğunu öne sürse de , kamuoyu algısı biraz karışık ve altyapısını ölçeklendirmek zor olabilir⁶. Bununla birlikte, Shell ve Norveç hükümeti arasındaki bir ortaklık olan "Northern Lights" gibi projeler, CCS'nin çelik üretimi gibi sınırlı alternatif seçeneklerle karbon yoğun prosesler için ne kadar önemli olabileceğini göstermeyi amaçlamaktadır.

For the steel industry, carbon capture and storage (CCS) is perhaps one of the more popular and promising approaches



2. Karbon yerine hidrojenin kullanılması

Hidrojen, endüstriyel çelik üretim sürecinden kaynaklanan emisyonları azaltmanın başka bir yolunu sunuyor. İster yüksek fırının içinde yardımcı bir indirgeyici madde olarak kullanılsın, ister Doğrudan İndirgenmiş Demir (DRI - Direct Reduced Iron) üretirken tek bir indirgeyici madde olarak kullanılsın, hidrojen tek atık ürünü su olduğu için daha temiz bir alternatiftir. Ve bu tek fayda değil: Japonya'daki bir proje, doğal gazdan hidrojen ve karbon monoksit kullanılarak üretilen DRI kullanarak % 20'lik bir emisyon azaltımını başarıyla göstermiştir.⁷

Çelik gibi endüstriyel sektörler kolayca elektrikleştirilemediğinden, enerji yoğun bir gaz yakıtı olarak, hidrojen, özellikle yenilenebilir enerjili elektroliz yoluyla üretiliyorsa ve "yeşil" olarak sınıflandırılıyorsa, üretimin karbondan arındırılmasında önemli bir rol oynayabilir. "Yeşil" hidrojen, bazı şirketlerin etkili bir şekilde "fosilsiz" çeliğin gelişimini keşfetmelerine izin veriyor. Bununla birlikte, bu teknoloji platformlarının birçoğu henüz geniş çapta ölçeklendirilecek veya uygun maliyetli olacak kadar olgun değildir. Bu nedenle, çelik operatörleri için daha acil bir çözüm olan ve Kanada Alberta'daki Quest tesisi gibi CCS tesislerinin bir parçası olarak üretilen "mavi" hidrojen kullanımını dahil etmek olabilir.



3. Elektroliz bazlı bir işlem kullanma

Demir cevherini oluşturan demir ve oksijen kimyasal indirgeyicilerle ayrılabilirken, elektroliz işlemi aynı sonucu elde etmenin alternatif bir yoludur. Bunun yararı, oksijenin karbondioksit yerine tek yan ürün olmasıdır. Bununla birlikte, zorluk, teknolojinin çelik üreticileri için hem ticari olarak ölçeklenebilir hem de uygun maliyetli olacak şekilde nasıl geliştirileceğidir. Asıl engel ise tüm yöntemi karbonsuz tutmak için yeterli temiz gücün nasıl sağlanacağıdır.

Bunun bir örneği, erimiş oksit elektrolizidir - birkaç endüstri grubu tarafından araştırılan ve geleneksel kok fırınları veya yüksek fırınlar gerektirmeyen bir süreç⁸. Daha ucuz ve daha temiz bir çelik üretim süreci için uzun vadeli bir potansiyele sahip olsa da, bugüne kadar elektroliz kullanılarak sadece kilogram bazında demir üretilmiştir, bu da elektrolizin endüstrinin sıfır karbon tahriki üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olması için hacminin yaklaşık sekiz katı büyüklüğünde olması gerektiği anlamına gelir⁹.

Her çözüm kendi zorluklarını ortaya koyduğundan, çelik şirketleri hangi yolun ihtiyaçlarına ve yeteneklerine en uygun olduğuna dikkatlice karar vermelidir. Ve bu seçimin önemi küçümsenemez, özellikle de üretim tesislerine ve ekipmanlarına yapılan büyük yeniden yatırımlar veya bunların yenilenmesi sadece birkaç on yılda bir gerçekleştiğinden, dünyadaki tesislerin çoğunun bu değişime en kısa sürede başlaması gerekmektedir.¹⁰

Demir-çelik işletmelerinin daha büyük ölçekli değişimler ve ölçeklenebilir hale gelene kadar emisyonları azaltmalarına yardımcı olabilecek daha erişilebilir ve acil çözümler de vardır. Shell Madeni Yağ Çözümleri gibi stratejik bir ortakla iş birliği yapmak, ekipman bakımının optimizasyonunun desteklenmesine yardımcı olabilir: karbon nötr yağlayıcılar veya Shell LubeAnalyst gibi yağ durumu izleme yoluyla olsun, bu eylemler çelik tesislerinin bugün daha sürdürülebilir bir geleceğe doğru anlamlı adımlar atmaya başlamasına yardımcı olabilir.

Sonuçta, sıfır karbon bir yolculuktur ve şirketler sürekli ilerleme kaydetmek için ekosistemleri içinde çalışmalıdır. Ancak bu, yalnızca tüm değer zincirinin karbondan arındırılmasına yardımcı olabilecek güçlü işbirliği ile mümkün olacaktır. Bu yolculukları şekillendirme konusunda deneyime sahip bir kuruluş olarak Shell, size yardımcı olmaktan mutluluk duyar.

Referanslar:

¹ Mark Peplow. "Can industry decarbonize steelmaking?" Chemistry and Engineering. 13 June, 2021.

² International Energy Agency. "Iron and steel technology roadmap." IEA.org. October 2020.

³ Peter Levi, Tiffany Vass, Hana Mandová and Alexandre Gouy. "Iron and steel technology roadmap." International Energy Agency. June 2020.

⁴ "Low-carbon steel" is used here in an emissions sense as opposed to a metallurgical sense. It is important to make this distinction since the term has historically been used to describe steel with a carbon content of less than 0.3%. However, the concept is now gaining traction outside of the industry as a comparison to terms such as "low-carbon electricity" or "low-carbon buildings".

⁵ World Steel Association. "[Breakthrough technologies](#)." WorldSteel.org. 2021.

⁶ Adam Baylin-Stern and Niels Berghout. "[Is carbon capture too expensive?](#)" International Energy Agency. 17 February, 2021.

⁷ Bellona Europa. "[Hydrogen in steel production: what is happening in Europe – part two](#)." Bellona.org. 26 May, 2021.

⁸ Energy.nl. "[High-temperature molten oxide electrolysis steelmaking \(ULCOLYSIS\)](#)." Energy.nl. 28 September, 2020.

⁹ World Steel Association. "[Electrolysis in ironmaking](#)." IEA.org. May 2021.

¹⁰ Cate Lawrence. "[Why everyone is talking about 'green steel' at COP26](#)." The Next Web. 05 November, 2021.

Reducing the Compromise Between Safety and Mechanical Protection Innovative Fire Resistant Lubricant HFC-E

Güvenlik ve Mekanik Koruma arasında taviz vermeden performans; İnovatif HFC-E Yanmaz Hidrolik Yağları

Björn RATHKE¹, David KUPIEC², Aimilia NEROUTSOU², Ege TURHAN³

¹Fluid Competence, Germany, ²Total Energies, France, ³Total Energies, Türkiye
Germany, France, Türkiye

Keywords: Lubricant, Hydraulic Fluid, Fire-Resistant, Environmental, Safety, Protection

Abstract

This article will focus on recent innovation in hydraulic fluids that is set to provide greater safety to steel industry without compromising performance.

1. Introduction

Fire - resistant hydraulic fluids have been developed to replace petroleum - based fluids in applications where there is a higher potential ignition source. The types of fire - resistant fluids are categorized and defined within the ISO 6743-4:2015 standard. Those with fire – resistant properties within this standard are divided into six categories: HFAE, HFAS, HFB, HFC, HFDR and HFDU – referring to the types of formulations.

HFDU is the one and only non - water based (except HFDR, which is only used in very special cases) and beside HFC the most common fire-resistant hydraulic fluid used in steel industry, but it has its limitations. This type of fluid is very often based on synthetic esters derived from vegetable oils and has relatively similar technical performances compared to mineral oils.

However, it is still flammable and the stability of the ester in water can be questionable. The less flammable technologies are water – based – HFA, HFB and HFC – but these fluid types typical lack lubricity. Following the market demands for a water – based technology with superior mechanical performances, comparable to mineral or HFDU fluids, TotalEnergies has introduced an innovative technology. It combines the fire - resistance performance of water with the equipment protection properties and environmental responsibility that conforms to the highest standards.

The HFC-E concept has been launched to make a breakthrough among the existing fire – resistant technologies in the market. Dedicated to delivering the uppermost mechanical performance and boosted with anti – wear and other relevant additives, the fluid aims to provide optimal equipment assurance and protection.

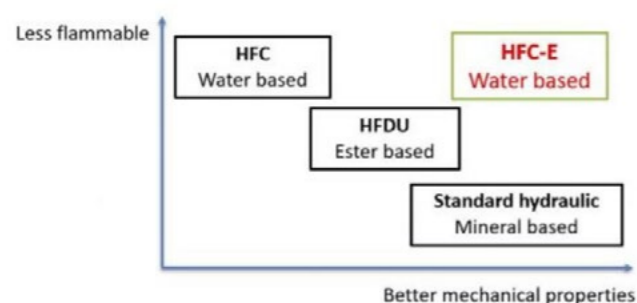


Figure 1. Fire Resistant Hydraulic Classification

2. Fire Resistant Properties

In general, water – glycols mixtures, water – in – oil emulsions and synthetic fluids are less hazardous and more fire – resistant hydraulic fluids. Even if fire – resistant fluids have a lower fire hazard than petroleum oil, all have the propensity to ignite under extreme conditions. Although fire – resistant fluids are not fireproof, they significantly reduce the potential fire hazard associated with oil – based fluids.

HFC-E surpasses the fire resistance of prevailing HFDU fluids used in the market. Its RI ignitability index is “D” rated, compared to the “G” classification of HFDU hydraulic oils (according to ISO 15029-2:2018) – “A” represents the most fire - resistant category.

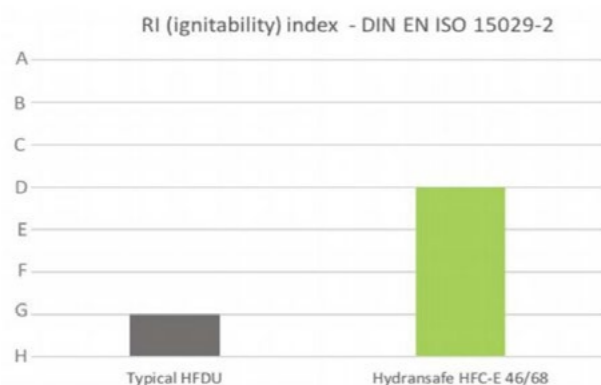


Figure 2. Ignitability Index Comparison HFDU - HFC-E

3. Pump Protection

TotalEnergies has achieved another milestone with the launch of HFC-E, as reflected by a world – renowned original equipment manufacturer (OEM) of pumps issuing a letter of reference, indicating the product’s utilization in bent axis pumps and motors, without limitations.

In addition to the previously – mentioned attributes HFC-E concept provides better cooling to hydraulic circuits than a mineral oil. Indeed, laboratory tests results showed an improvement of approximately 12% in the cooling capacity of a hydraulic system using this new fluid type, under specific conditions, compared to a mineral oil. This overall lowering of the system temperature leads to improved equipment reliability and potential energy efficiency.

4. Field Experience

HFC-E concept has not only demonstrated impressive results in lab scale testing, but also proven its capability in the field, delivering operational performance whilst ensuring fire risk reduction. A lot of companies worldwide have benefitted in reducing operational costs by replacing all HFC, HFDU and mineral hydraulic products with HFC-E, attaining an effective total cost of ownership approach. Renowned OEM conducted detailed field test on site and their facility to evaluate performance of the fire resistant HFC-E hydraulic fluid.

Field Test at RAG

Field test has been done with Variable Double Pump at underground mining company RAG (Deutsche Ruhrkohle AG) in challenging environment (dust, high ambient temperature). **HFC-E ISO VG 68** is used in the pump. Performance data are given below.

Running time	: 1190 hours
Operating pressure	: 180 - 200 bar
Max Operating pressure	: 220 bar
Operating speed	: 1400 rpm
Oil temperature	: 60 - 63 °C

The Variable Double Pump in bent axis design was investigated at OEM HQ in Germany with the following results:

- All parts from the pump show good appearance with no deposits and no varnish
- All components in the control system and the rotary group have a very good appearance without visible wear and with a good operational profile
- NBR or PTFE seals are recommended especially with radial shaft seals.

5. Biodegradability and Toxicity

Biodegradability and toxicity are essential consideration when evaluating environmental impact of fire-resistant hydraulic fluids. While Biodegradability refers to the ability of a substance to break down naturally in environment by the action of microorganisms, Toxicity refers to the potential harm a substance can cause to living organisms. The examination of the **HFC-E** concept regarding biodegradability and toxicity in relation to higher and

lower aquatic organisms and mammals are conducted under the basis of German Regulation on Substances Hazardous to Water issued on 17.05.1999. To determine the water hazard class of blends and products, the following examinations pursuant to the amended regulation have been performed.

Ascertaining acute toxicity in relation to mammals

Determining acute toxicity in relation to mammals (oral or dermal) is performed in accordance with valid OECD guidelines 401, 402, 420, or 423 taking into account the assignment specified under the Hazardous Substances Law, of respective risk phrases according to the following point system:

Exposure	LD ₅₀ in mg/kg of body weight	Risk phrases	Evaluation points
Oral	≥ 2000	–	0
Dermal	≥ 2000	–	0
Oral	200 – 2000	22	1
Dermal	400 – 2000	21	1
Oral	25 – 200	25	3
Dermal	50 – 400	24	3
Oral	< 25	28	5
Dermal	< 50	27	5

Figure 3. Point System for Acute Toxicity in relation to mammals

Ascertaining acute toxicity and environmental hazard

Determining aquatic toxicity and environmental hazard is performed by ascertaining toxicity rates in relation to

- Fish (LC₅₀) in a 96-h test
- Daphnia (EC₅₀) in a 48-h test
- Algae (IC₅₀) in a 72-h test

Assignment of the concentration limits obtained is to be performed via a point system, taking into account the assignment specified under the Hazardous Substances Law, of respective risk phrases according to the following point system:

LC ₅₀ / EC ₅₀ / IC ₅₀ in mg/l	Risk phases	Evaluation points
> 100	-	3
> 10 - ≤ 100	52 / 53	4
> 1 - ≤ 10	51 / 53	6
≤ 1	50 / 53	8

Figure 4. Point System for Acute Toxicity and environmental hazard

Ascertaining and evaluating biodegradability

Ascertaining biodegradability is performed in accordance with the methods specified in OECD processes 301 A and 301 F and in OECD guidelines 302 B and 302 C. Here, with regard to the assignment of evaluation points, the toxicity ((LC₅₀, EC₅₀, IC₅₀) in relation to aquatic organism is to be taken into account as follows:

Biodegradability	Aquatic toxicity (LC ₅₀ / EC ₅₀ / IC ₅₀) mg/l			
	> 100	10 - ≤ 100	1 - ≤ 10	≤ 1
> 60 % O ₂ consumption > 70 % DOC elimination as per OECD - 301	0 points	0 points	6 points	8 points
> 60 % O ₂ consumption > 70 % DOC elimination as per OECD - 302	0 points	0 points	6 points	8 points
< 60 % O ₂ consumption < 70 % DOC elimination as per OECD - 301	0 points	4 points	6 points	8 points
< 60 % O ₂ consumption < 70 % DOC elimination as per OECD - 302	3 points	4 points	6 points	8 points

Biodegradation Pattern

The biodegradation pattern of HFC-E concept was ascertained monometrically, whilst taking into account OECD rule 301 C (MTI test) concerning biochemical oxygen demand. The latter procedure not only provided a measurement for the oxidative degradation of the organic ingredients microbiologically, but also allowed for statements on the kinetics of the degradation based on the respective curve progression. By referring to the chemical oxygen demand of 1 094 000 mg O₂ /l as the oxygen demand required for 100% degradation, HFC-E, the biochemical degradation, express as BOD, amounted to 390 000 mg O₂ /l = 35,7 % five days later. As biochemical degradation kinetics considered, the microbiological degradation of the biochemical oxidizable ingredients under the selected test conditions if finished after 20-21 days to amount approximately 93,2%.

Evaluation

Based on the results of the toxicological examinations described above, the following evaluation points arose for HFC-E ;

Toxicity to mammals (LD ₅₀ rat	= > 2000	mg/kg):	Evaluation points	= 0
Toxicity to fish (LC ₅₀	= 6300	mg/l):	Evaluation points	= 3
Toxicity to daphnia (EC ₅₀	= 5000	mg/l):	Evaluation points	= 3
Toxicity to algae (IC ₅₀	= 280	mg/l):	Evaluation points	= 3
Biodegradability	= 93.2	%:	Evaluation points	= 0

Figure 5. Evaluation of toxicological examinations

The evaluation points are given below for the water hazard classes.

Total evaluation points	Water hazard class	Description
0 to 4	1	"slightly hazardous to water"
5 to 8	2	"hazardous to water"
9 and greater	3	"severely hazardous to water"

Figure 6. Water Hazard Classes

Based on the results of toxicity testing and the determination of biodegradability, it can be deduced, HFC-E type of fluid is to be assigned water hazard class "1", that is described as "slightly hazardous to water".

6. Conclusion

Selecting the right fluid is fundamental to increasing equipment reliability. While steel industry is a core market for the HFC-E fluids, other sectors, also have the potential to benefit from this new development.

In conclusion, HFC-E represents a significant advancement in fire-resistant hydraulic fluid technology. Its superior fire resistance, surpassing that of conventional HFDR fluids, ensures a reduced fire hazard associated with oil-based fluids. The fluid also provides excellent pump protection and improved cooling capacity, leading to enhanced equipment reliability and potential energy efficiency. Field tests and evaluations by renowned manufacturers have demonstrated the fluid's exceptional performance and its suitability for use in bent axis pumps and motors. Furthermore, HFC-E exhibits favorable biodegradability and low toxicity, making it an environmentally responsible choice. Overall, HFC-E type of fire-resistant hydraulic fluid offers optimal equipment assurance, fire risk reduction, and adherence to the highest standards of environmental responsibility.

References

- [1] ISO 12922:2020, Lubricants, industrial oils and related products (class L) — Family H (hydraulic systems) — Specifications for hydraulic fluids in categories HFAE, HFAS, HFB, HFC, HFDR and HFDR, 2020
- [2] ISO 15029-2:2018, Petroleum and related products — Determination of spray ignition characteristics of fire-resistant fluids — Part 2: Spray test — Stabilised flame heat release method, 2018
- [3] HYDRANSAFE HFC-E Classification in a water hazard Class Report, Hygiene-Institut des Ruhrgebietes, 2012, Gelsenkirchen, Germany

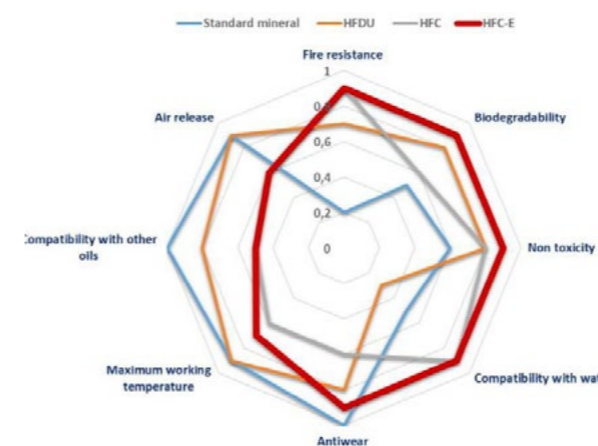


Figure 3. Comparison of HFC-E against Conventional Fire-Resistant Lubricants



Flat Products

Yassı Ürünler

Latest Achievements with DUE® Technology at Shougang Jingtang

Shougang Jingtang Tesislerinde DUE Teknolojiyle Elde Edilen
Son Başarılar

Alessandro PIGANI

Danieli & C. Officine Meccaniche S.P.A.

Italy

Keywords: Danieli Universal Endless, DUE®, QSP-DUE®, Shougang Jingtang,
SGJT, productivity, thin, coil-to-coil, endless

INTRODUCTION

The direct slab casting and rolling process is continuing to gain a greater share of the global market in the production of hot-rolled strip, mainly thanks to its competitiveness over conventional routes as well as to the growing ability of this technology to cover the majority of all market requirements, not limited to the pure commodity sector.

Over the past 30 years Danieli has progressively developed, together with its customers, a new-generation, direct slab casting and rolling layout named Danieli Universal Endless (DUE®), marking a new phase in the evolution of this process.

DISCUSSION

QSP-DUE®—Danieli Universal Endless—layout configuration, in combination with optimized energy consumption, represents the most extended application to date of Danieli's flexible concept in direct slab casting and rolling, enabling Shougang Jingtang (SGJT) to exploit a wide product mix with minimized OpEx.

A brilliant concept has become reality, and its plant implementation allows full-speed operations, breaking new records and always setting a higher bar, reconfirming the company's bet on a single plant capable of producing in coil-to-coil to endless casting and rolling modes.

The achievements reached at SGJT are the natural outcome of the solidity of the QSP-DUE® technology.

Slab caster

One of today's main market requirements is to achieve increased productivity from QSP plants. Danieli's modular approach provides space for future caster elongation: initial CapEx is limited, but productivity can be boosted in the future. With the vertical-curved slab caster, the installation of additional segments in the strand guidance horizontal section ensures higher throughput, without increasing ferrostatic pressure, leading to improved slab quality compared to pure vertical casters. Hence, space for future horizontal segments installation provides for an easy adaptation of the caster to meet future market demands. Additionally, OpEx benefits arise from the reduced distance between the caster exit and the tunnel furnace entry: the higher entry temperature allows the suppression of micro-alloying elements precipitation (e.g., niobium) and a reduction of reheating energy.

Danieli's unique vertical curved caster can be designed to produce up to 140-mm slab thicknesses according to the final HRC quality requirements, with an up-to-3.0-Mtpy productivity with one casting strand. The unprecedented combination of a large-slab thickness and a high casting speed, up to 6 m/min, makes it possible to reach the required high mass flow for full endless production mode, required for effective production of ultra-thin gauge products.

Additionally, a thicker slab notably increases the reduction ratio from slab to strip, which in turn allows the production of a wider mix of steel products. To achieve targets of both high productivity and quality, the single-strand caster can be equipped with a suite of design features—mould fluidynamic control and roll geometry to name but a few—and 3Q technological packages, reflecting the know-how Danieli gathered in over 30 years of fieldwork experience in slab casting.



Figure 1: DUE® caster at Shougang Jingtang (P.R.China)

Tunnel Furnace

The tunnel furnace overall length is limited to approx. 80 m (first to last roll), including a shuttle furnace for slab or bar rejection from the rolling line in case of emergency. Notwithstanding the reduced length, it allows the production of full coil weight in coil-to-coil mode, ensuring at the same time uniform temperature distribution along the slab width and length.

The tunnel furnace provides a fundamental buffer function that increases plant flexibility. In fact, it allows to perform the mills' work roll change at any time, as a background task, without affecting the operation of caster and meltshop, "switching" from endless to coil-to-coil operating mode during roll changes, which in any case does not reduce plant productivity.

No restrictions in the mills' work roll change, possible at any time of the casting sequence, is also reflected into the final coil quality, basically constant and repetitive within the rolling campaign and within the casting sequence.

DUE® is ready to face the transition from blast furnace to EAF, that comes with an increase in the copper content and other tramp elements in the liquid coming from the meltshop, and then with a higher risk of defects on the rolled products due to the hot shortness phenomenon. The increased copper content is balanced with several technical solutions.

First, online quenching is used in the caster to decrease the austenite grain size, that helps reducing the susceptibility towards hot shortness. Second, the use of the tunnel furnace is beneficial since, while equalizing the temperature profile, the tunnel furnace increases the temperature of the slabs above the critical temperature for hot shortness, independently from the casting speed.

With all the above-mentioned solutions, it's possible to switch from blast furnace to EAF with no compromises on quality and drastically reducing the emissions.



Figure 2: DUE® tunnel furnace at Shougang Jingtang (P.R.China)

Hot-strip mill

Danieli's first-generation QSPs were mainly based on a 60-mm thin-slab caster followed by a tunnel furnace and a finishing mill with either six or seven rolling stands in cluster configuration. Such a concept, although still valid and applicable for specific cases, no longer fulfills today's customers and market requirements.

To maximize flexibility, Danieli conceived a layout with a physical separation between the high-reduction mill stands and the finishing mill ones, to perform dual-step rolling.

The transfer bar area includes:

- > A crop shear, to cut the transfer bar head and/or tail, for a smoother threading into the finishing mill, as well as reduced tail chew-up. It features a chopping function, in case of emergency;
- > An induction heating system, for consistent production of thin and ultra-thin gauges, particularly in case of endless rolling mode;
- > A dedicated high-pressure descaling unit at the finishing mill entry (in addition to that at the high-reduction stand entry), to eliminate imprinting scale phenomena on the final strip, significantly improving the relevant surface quality;
- > A transfer bar cooling system used when producing Thermomechanical Rolling (TMR) and/or API grades, to guarantee the correct bar temperature profile and grain growth proper control, essential features of the true TMR process.

The mill stands are designed to guarantee the final product superb geometrical and mechanical properties and are equipped with all the state-of-the-art features for maximum strip crown and profile control.



Figure 3: DUE® rolling mill at Shougang Jingtang (P.R.China)

Rolling modes

These considerations are reflected into the Danieli Universal Endless configuration, which represents the latest stage in Danieli's development of the QSP family. This new concept represents a major technological advancement, capable of using the most suitable process for each steel grade and product combination, to reach every market niche:

- > Coil-to-coil rolling mode: the caster and mill operate independently with different mass flows, and the slab is cut to length by the pendulum shear at the caster exit (one slab for each coil);
- > Semi-endless rolling mode: a long slab, whose length is defined by that of the tunnel furnace, is cast and cut to length by the pendulum shear at the caster exit. Several coils can be produced out of this long slab, using a high-speed shear positioned in front of the down coilers for the dividing cuts. The weight of each coil is independent from that of the long slab, and the rolling speed is independent from the casting speed;
- > Endless rolling mode: the caster and mill operate with the same mass flow to ensure an uninterrupted process; the high-speed shear separates the strip into final lengths before the downcoiler.

In recent years, the steady increase in mass flow in the latest generation of slab casters operating at high speeds high throughputs, combined with reliable application of induction heating technology, made it possible to develop, test, and put in operation a new generation of plants specifically designed for ultra-thin gauge production. The endless rolling process thus was made possible through the direct and uninterrupted coupling of casting and rolling.

The pure endless rolling process eliminates the well-known limitations typical of the coil-to-coil, thin-strip production during threading in the mill stands, tailing out and "flying strip heads" between the finishing mill exit and the downcoilers.

This concept is increasingly attractive to the market, as the thin-gauge, hot-rolled coils can directly substitute some cold-rolled products, reducing OpEx in farther downstream strip processing. On the other hand, a true endless plant shows little flexibility in the production of more sophisticated grades, due to the rigid link between casting and rolling. In the case of endless rolling, the caster is forced to always run at very high casting speeds, which is simply not possible for all steel grades due to metallurgical reasons. Moreover, in a compact layout configuration with slab reheating provided by the induction heaters only, there isn't buffer time between caster and mill, significantly limiting the operational flexibility of the entire production line.

Shougang Jingtang achievements

In 2016, Shougang Jingtang United Iron & Steel Co. Ltd. (SGJT) confirmed its trust in and satisfaction with the technological equipment supplied by Danieli in previous projects by placing another order with the Group for the world's first Danieli Universal Endless (DUE[®]) plant. The new Multi-Mode Continuous Casting & Rolling Plant facility (MCCR) was installed in Caofeidian Industrial Area, Tangshan City, Hebei Province, P.R. China.

The QSP-DUE[®] plant features an innovative layout, developed in a continuous effort to improve existing processes and technologies and overcome their limitations: it unifies all the winning features that have been demonstrated up to now using either endless or coil-to-coil rolling in separate production lines into a single production line, while eliminating the limiting factors of each.

With its characteristics of low consumption, low emissions and high efficiency, DUE[®] perfectly fits into the so-called new-normal vision, establishing the guidelines for industrial development in the People's Republic of China, including the steelmaking sector.

What makes the QSP-DUE[®] different are the "universal" rolling modes that prove it is possible to perform endless, semi-endless and coil-to-coil rolling in a single plant: it is a major technology innovation compared to the previous generation of thin-slab casting and rolling plants. Specifically, Shougang Jingtang's DUE[®] plant produces 2.1 Mtpy of hot-rolled coils in a wide mix of steel grades and strip dimensions, from 0.8- to 12.7-mm-thick and from 900- to 1600-mm-wide.

Last year a special event took place at SGJT's premises to celebrate the achievements of Danieli's QSP-DUE[®] technology, representing a new milestone in thin-slab casting and rolling for flexible production of quality-strip products in three rolling modes.

Resting on laurels is not an option though for a modern plant, hence continuous improvements have been implemented to successfully match with flat product market fluctuations and expectations.

The plant is regularly working in full production, up to 190 kt/month of HRC and exceeding the 2.1-Mtpy nominal capacity.

The caster typically operates with a cruise speed of 5.4–5.5 m/min for low-carbon grades, with stable mould level and casting conditions during production, including when online Mould Width Adjustment (MWA) during endless is applied.

Up-to 36 heats had been cast in 24 hours, equivalent to about 8000-t and, in general, casting sequence durations exceed 12 hours, peaking 27 heats for over 6100-t cast in more than 16.5 hours continuous operation.



Figure 4: DUE[®] control pulpit at Shougang Jingtang (P.R.China)

The fruitful cooperation between Danieli and SGJT teams resulted into revised operating practices to develop a mould powder suitable for high-speed casting, improved liquid steel flow pattern, optimized mould cooling water, secondary cooling parameters, and more.

Typically, 110-mm slab is used, however a slab thickness increases up to 118 mm has been also successfully implemented, targeted to further improve product internal quality, at the same time consolidating productivity at the 400-tph level.

The product mix has been further exploited, with dedicated practices developed for new steel grades such as Weather Resistance SPA-H, High Carbon 65Mn, High Strength Low Alloy SG700BL, Dual Phase DP780, Structural 22MnB5, and more.

Lot of efforts have been made towards Weather Resistance SPA-H grade production, being the container steel a promising market thanks to a profitable selling price, with continuously increasing demand. SPA-H is a crack-sensitive grade due to semi-peritectic chemistry and high copper content, which typically imply a casting speed of about 4.3-4.5 m/min in most thin-slab-based plants, hence affecting the overall plant production outcome. At SGJT, the production of WR grade is now representing about 20% of the total production, with a cruise casting speed of 5.2-m/min, therefore with sufficient mass flow to perform full endless casting and rolling, allowing to fulfill orders for strip thicknesses down to 1.4 mm, as required by SGJT's final end-users.

The plot below reports the experience in SGJT where, for the SPA-H grade, copper content up to 0.36% is achieved, showing the advantage of DUE when running grades with high content of tramp elements without any issue related to the hot shortness.

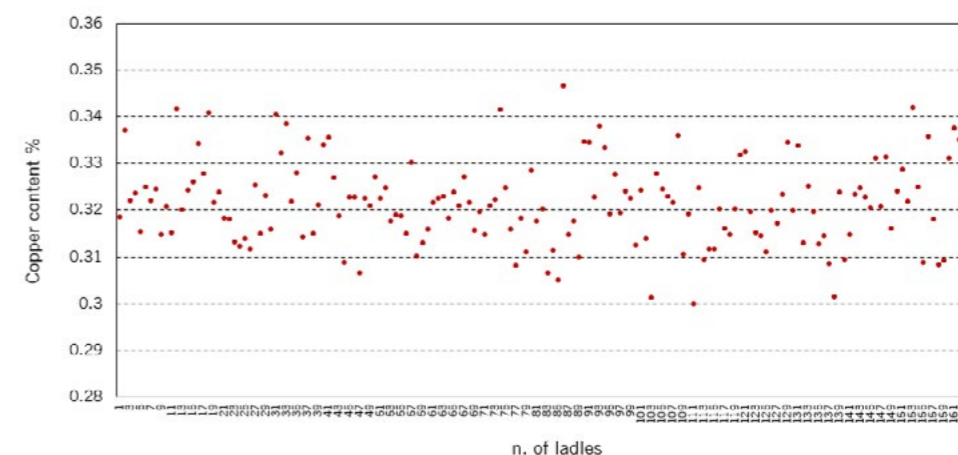


Figure 5: SPA-H grade copper content at Shougang Jingtang (P.R.China)

True endless production represents up to 97% of each casting and rolling sequence by weight, with steady-state rolling conditions enabling SGJT to deploy its QSP-DUE on thin-gauge production, maximizing both the existing conventional hot-strip mill's productivity, and increasing profitability and competitiveness at the same time, optimizing conversion costs and production routes. In fact, nearly 90% of the overall QSP-DUE production is below 2.0 mm thick, while over 50% ranges from 1.5 down to the 0.80-mm-minimum strip thickness.

Consolidated process stability also makes it possible to achieve a plant record of 263 km of rolled product within a single rolling campaign, which lasted nearly 14 hours, with consequent OpEx optimization benefits.

The buffer function ensured by the tunnel furnace makes it possible to change the mill's work rolls at any time, without affecting casting operations, enabling a proper balance between rolling campaign length and hot-rolled coil quality requirements.



Figure 6: HRC quality at Shougang Jingtang (P.R.China)

The QSP-DUE® configuration allows Shougang Jingtang to exploit production of a wide product mix with optimized OpEx, which is possible thanks to the selection of the most convenient rolling process mode. Also, the customer can properly rearrange hot-rolled coils overall production between the new plant and the existing conventional HSMs, increasing profitability and competitiveness optimizing conversion costs and production routes.

CONCLUSIONS

Danieli's technology for flat-product rolling has always been a beacon of innovation, and to this day DUE® technology is the one and only solution that makes true flexible casting and rolling possible.

The achievements of the first reference at Shougang Jingtang confirms the solidity of the QSP-DUE® technology, recognized by our customers with additional orders awarded to Danieli. The latest signed in March 2022 with a leading steelmaker in U.S. such as Nucor Steel, reconfirms its trust in Danieli as a technological partner for a brand new 3.0-Mshtpy Danieli Universal Endless plant to be installed in Apple Grove (WV, USA), along the Ohio River.

QSP-DUE® represents a story of success.

To be continued...

CSP® Nexus - Newest Generation of Thin Slab Casting and Ultra Thin Rolling For Highest Energy Efficiency With Lowest CO₂ Emissions

CSP® Nexus- Düşük Karbon Emisyonu ve Yüksek Enerji Verimliliğine Sahip Yeni Nesil İnce Slab Dökümü ve Ultra İnce Haddeme

Stephan KRÄMER, Cosimo CECERE

SMS Group
Germany

Keywords: Thin Slab Casting & Rolling, Green Steel, CSP®, Hot Strip Production

Summary

In view of global warming and the international agreements on climate targets, the topic of sustainability is more urgent than ever and the steel industry must make its contribution to CO₂ reduction. At the same time, demand for "green" steel is increasing, as the automotive industry, for example, has to consider the CO₂ footprint of their products over the entire life cycle.

The CSP® technology has been known since its introduction as a particularly efficient way to produce high-quality hot strip. With its further development, CSP® is not only offering the energy-optimized way of hot rolled coil production, but is also continuously closing the gap of achievable products compared to the conventional route. Recent modernization upgrades of the CSP® plants revealed new improvements and benefits to increase productivity, improve plant reliability, reduce energy consumption and lower the carbon footprint.

Even though modernizations are the most common approach in Europe, a new steel plant is built - and as such, it is a novelty since decades. In 2025, the first carbon-neutral CSP® Nexus plant will go on stream as part of the H2 Green Steel project in Northern Sweden.

The CSP® Nexus technology does not only move forward in terms of energy optimization but even makes the big step into carbon free steel production. In addition, it takes full advantage of high throughput casting and the latest developments in hot rolling, such as endless operation where beneficial. Thus, CSP® Nexus increases and enhances the product mix compared to other combined casting and rolling plants in terms of steel grades and strip dimensions.

1. Introduction

The iron and steel production was one major part of the industrial revolution, which led Europe, the United States and later Asia into the age of industrialization. From its humble beginnings, the industry has evolved dramatically to clean up pollution of air and water. Today, another revolution within this long-established industry is becoming a reality as the traditional way of iron- and steelmaking is transformed into climate neutrality. The iron and steel sector generates around 7 % of the total global GHG

emissions and is by that among the largest contributing industries [3]. With the emissions being on a high level, there is a strong driving power in the industry due to international climate goals. This is even leading to new players joining a market, which seemed to be mainly settled amongst long existing participants. H2 Green Steel in Sweden is one of these new players, with the ambitious project of a large-scale green steel plant being built in Boden (Northern Sweden). Not only is a "startup" something new in the steel sector but also a greenfield plant in Europe is a novelty since decades.

The paper will present CSP® Nexus in general but also with a special focus on the specific solution for H2 Green Steel being an important piece in the puzzle to reduce the CO₂ emissions of the whole plant. The good news is that 95 % of global integrated steelmaking is located in countries with GHG reduction targets (net zero, climate neutral, carbon neutral, etc.). However, national climate targets differ from country to country by their ambition levels and target years. Still, meeting these national targets theoretically requires significant GHG emission reductions for an average of 35 million tons of BF-BOF-based crude steel capacity every single year from today until 2050[5] [6]. This target can be achieved either by new plants replacing existing plants or by upgrading/converting them to fossil-free plants. Consequently, SMS group offers solutions all along the process chain and with different targets from add-on technologies and digital solutions over transformation of existing processes to building completely new green steel structures.

Even though the focus of climate goals is the reduction of direct greenhouse gas emissions, the general energy efficiency of the steel production process is extremely important to reduce indirect emissions. This is where CSP® Nexus comes into play as not only being capable to produce steel 100 % fossil free but also on a high level of energy efficiency compared to other ways of hot rolled coil production. The strongest advantage of CSP® Nexus is the "real batch" rolling process in which, similar to conventional HSMs, roughing rolling and finishing rolling are two separate phases. Two strong roughing stands allow for fastest roughing in order to keep as much heat in the process as possible. By that, a further reduction of energy consumption and thus operating costs reduction is achieved

for hot rolled coil production. In addition, it enables a further product mix expansion into the direction of highly value added products, such as thin-gauge high strength grades for automotive application. The other extreme of products, heavy gauge HSLA for line pipe or wind tower construction, can be securely covered with CSP® Nexus due to a process that is capable to fully utilize real thermo-mechanical rolling. Only the complete separation of the roughing and finishing phase, a well known benefit of conventional hot strip mills, offers the full flexibility to control the material's speed, temperature and time profile from leaving the furnace until reaching the downcoiler.

2. Development of CSP® Technology

CSP® technology was born in 1989 with Nucor Crawfordsville being the first thin-slab casting and rolling plant. It started with a cost-optimized layout consisting of a vertical solid bending caster, one single strand and four tandem-finishing stands [Fig. 1]. Since the early days, the technology was further developed with CSP® Nexus as the latest stage and a big step into a new green future.

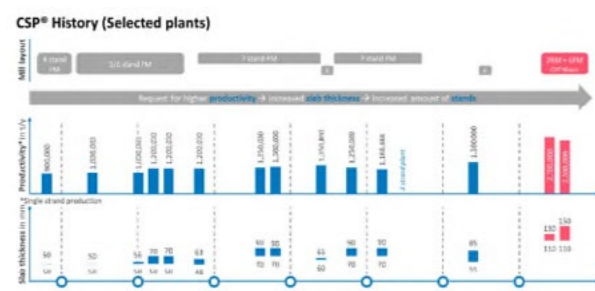


Figure 1. Productivity and slab thickness of selected CSP® plants

2.1. Increase of casting thickness and widening of product mix

Over the years, the casting thickness has increased from a starting 50 mm in the vertical solid bending (VSB-type) caster of Nucor Crawfordsville up to 150 mm in the newest vertical liquid bending (VLB-type) casting machine for H2 Green Steel. One major target of the increased casting thickness and a following increase in metallurgical length is shown in Figure 1, the increase of single strand productivity up to 2.7 million tons per year for the SDI Sinton plant. With the CSP® typical extension of a second casting strand, the plant productivity can be boosted up to more than 5 million tons per year. Due to the strong real batch mode on CSP® Nexus, a second casting strand can almost double the overall productivity, which is not possible for plant concepts requiring a specific share of endless production to achieve the desired product mix.

In addition, an increased casting thickness further extends the product mix. On the one hand, this can be API grades, which aim for high final strip thicknesses up to 25.4 mm (1 inch) and require a certain amount of reduction from slab

to strip. That is one reason, why CSP® Nexus is narrowing the gap between conventional HSM and thin slab technology. On the other hand, a still rare application on casting & rolling plants, are peritectic grades, which will greatly benefit not only from the higher slab thickness but also from the possibility to apply straight mold plates without the typical CSP® funnel shape.

2.2. Automotive exposed on CSP® Nexus

Also automotive exposed products are a market still rarely supplied via thin slab casting and rolling plants. With CSP® Nexus not only the increased casting thickness but specific layout solutions, will extend the product mix towards this market. As in the process route via conventional HSM, a surface inspection after casting and based on the measurements a scarfing process is foreseen. In order to keep the benefits of energy efficiency, this is not done via the classical offline scarfing but with an inline scarfing process in order to maintain as much heat in the material as possible. After scarfing, the slab will be transferred back into the rolling mill without any furnace roller contact in order to avoid any damage of the bottom surface. Regarding rolling of automotive exposed grades, CSP® Nexus has the strong advantage of the real batch mode. In real batch, it is no problem to reduce the casting speed in order to increase the slab quality while still aiming for the necessary high final rolling temperature (up to 920 °C). A coupled process or even worse, an endless process, cannot provide the full flexibility to combine low casting speeds with high final rolling temperatures.

The package of new products is rounded up by very demanding products like thin-gauge high strength grades, that can be cost- and energy efficiently produced in real batch production mode and do not require the very energy-intensive endless production mode. If ultra-thin strips are part of the product mix, endless production mode can be foreseen to further increase rolling stability for such products. In endless mode, caster and mill are connected and the strip is separated into coils with a high-speed shear prior to the downcoilers. Therefore, the mass flow of the entire plant depends on the casting speed, so the rolling speed is lower compared to the rolling speed in batch production mode. To achieve the required final rolling temperature in spite of this, heating between the two rolling phases is necessary, which increases the energy demand compared to batch production mode.

With the inductive heating installed in the transfer bar area, not only endless mode is possible but also the batch mode can benefit from an additional temperature boost to further increase the temperature level of the intermediate slab before finishing rolling and thus decreases the minimum final strip thickness in batch operation further. This can be done very flexibly and only on demand. Furthermore, this hybrid heating solution (gas+electricity or purely electric)

allows the flexible use of energies, balancing economical as well as quality aspects.

3. Layout of CSP® Nexus

3.1. High productivity casting machine

CSP® started its journey with a vertical solid bending caster, where the forming slab solidifies in the vertical section of the caster and is afterwards bent into the horizontal direction. For the mentioned increase in thickness, the metallurgical length (the length in which the liquid steel completely solidifies to form the slab) has to be increased. Due to the technology, this has to be done in the vertical part of the casting machine, which increases both the height of the caster platform and the ferrostatic pressure in the liquid core of the forming slab. Therefore, the solid bending caster is applied up to a slab thickness of 90 mm. As the slab thickness further increased up to even 160 mm, the chosen technology is the vertical liquid bending caster, where the strand does not solidify in the vertical part of the machine.

3.2. Dedicated casting machine (two-strand concepts)

When considering the productivity increase of a CSP® plant by adding a second casting strand, the typical approach on classical CSP® plants is a copy of the first casting machine in order to double the overall productivity of the plant. This is still a valid concept also for the CSP® Nexus to further push the productivity of the casting machine(s) up to the limits of the mill. But as the single strand productivity of CSP® Nexus already provides a stable and high level of production, an alternative concept can be the specific design of the second casting machine for special high value added grades. These can be for example peritectic grades or automotive exposed grades, which both benefit from an increase in casting thickness but with slow casting speeds. By moving such grades to the dedicated second casting machine, the first strand can still run on high casting speeds to provide high productivity and a certain share of special grades can be produced on the second machine without impacting the overall plant productivity.

3.3. Strong roughing mill

The latest CSP® plants with a slab thickness up to 90 mm were able to achieve a final strip thickness of 1.0 up to 25.4 mm in combination with a compact 7-stand tandem mill. With SDI Sinton, the first CSP® Nexus plant, the slab thickness range moved up to 110 – 130 mm. The second CSP® Nexus plant, H2 Green Steel, even has the potential to further increase the slab thickness up to 150 mm. To still cover the same final strip thickness range, or even further extend it, the required extra reduction is covered by two additional roughing stands behind the first tunnel furnace. In addition to the two roughing stands, a decoupled 6-stand tandem finishing mill provide the desired range of hot strip

thicknesses. To separate the rolling in the roughing stands from the finishing stands, a heated roller table is added in between. This roller table can cover a complete transfer bar and allows for high rolling speeds in the roughers and therefore reduces the temperature loss during this rolling step.

The split into independent roughing and finishing rolling even opens doors for further expansions. E.g., if a further increase of slab thickness occur, a third roughing stand could be implemented without any influence in the finishing mill. On the other side, a seventh finishing mill stand opens additional flexibility regarding thin gauge rolling for harder grades and still keeping the rolling speeds on a reasonable level. This flexibility is limited in any coupled concept as the impact of additional stands on the final rolling temperature and/or rolling speed is significantly higher compared to a decoupled plant layout.

3.4. Decarburization of CSP® plants

Historically, CSP® plants were always equipped with gas fired tunnel furnaces that connect the casting machine with the hot strip mill in order to provide a completely homogenized slab at a proper high temperature for rolling. Over the years, various alternative heating concepts have been developed. There are two general types of heating possible in CSP® based on its energy carrier:

- Fuel based heating like natural gas or hydrogen (purely or mixed)
- Electricity based heating

H2 Green Steel will be the first thin slab casting and rolling plant, with batch rolling mode, fully equipped with an electricity based heating concept. Not only do the heated roller tables, based on the physical principal of resistance heating, provide the benefit of a CO2 reduction down to zero but also the overall heating efficiency is increased. The classical gas fired furnace does lose a certain amount of heating energy through the off-gas, which is not applicable in case of electricity based heating.

Another possibility that can be used in combination with such heated roller table or even a fuel based tunnel furnace is inductive heating. Inductive heating has the strong benefit, that it is used fully flexible on demand. Inductive heating also allows for reducing the overall energy consumption for heating by lowering the main furnace temperature to a lower level and only apply higher temperatures by inductive heating for the products that really require these. With the reduced furnace temperatures, the refractory and roller lifetime can be further improved.

3.6. Real batch rolling

This rolling mode is comparable to the batch rolling process in a conventional HSM, why it is called real batch rolling. The identical feature is, that the roughing and the finishing phase are completely decoupled by the transfer bar area unlike other plant concepts, where these two phases are connected at all times. This transfer bar area is covered with a heated roller table, as this enables the benefit of decoupled rolling while keeping the temperature homogeneity of the CSP® process. Working in a decoupled way has multiple advantages over rolling in batch where the roughing and the finishing phase are directly connected to each other.

3.7. Thin gauges in combination with high final rolling temperatures

Certain final products require the combination of thin final gauges (e.g. below 2.0 mm) and high final rolling temperatures (e.g. above 880 °C). These are for example certain grades like Ultra Low Carbon, Electrical Steel or even HSLA grades with a corresponding chemistry. Depending on the thickness and target temperature, adding additional stands to a tandem mill is only beneficial to a certain extent as with every additional stand, the rolling speed has to be increased in order to achieve the same finishing mill exit temperature. This is especially valid for plant layouts with coupled roughing and finishing stands, where not only stands are added but also additional equipment needs to be added in the transfer bar area. Such layouts are reaching threading speed limits in batch mode already with higher strip thicknesses and have to apply endless mode instead. Therefore CSP® Nexus is designed to perform the roughing phase on the desired speed/temperature level for each product. If a high final rolling temperature and/or reduced rolling loads for harder grades are the main target, then the roughing process is performed on a high speed level in order to keep as much temperature in the material as possible.

3.8. Energy efficiency

As mentioned in the introduction, the CSP® Nexus of H2 Green Steel is not only aiming for a completely decarburized process but also the most energy efficient way of production. Real batch rolling allows for achieving the most energy efficient way to produce certain products. By increasing the roughing speed and thus minimizing the travel time through the mill, the temperature losses are kept to a minimum. This is beneficial to reduce energy costs in terms of necessary heating and necessary rolling energy. The highest advantage in terms of energy efficiency is achieved for products, where other thin slab casting and rolling concepts need to produce in endless rolling. The endless rolling mode offers no flexibility in terms of speed selection, thus the temperature losses are on very high level so that additional energy has to be put into the process by inductive heating. That is why CSP® Nexus is designed for a strong real batch mode, in which most products can be

easily produced for which other concepts need to apply endless rolling. For CSP® Nexus, endless rolling is an option, that can be added in a very selective way, if ultra-thin gauges are targeted.

3.9. Product mix extension

The strong focus on real batch production and its benefits is one area, where the CSP® technology is moving closer to the conventional route. Another area is the incoming slab thickness. This is not only relevant to the before mentioned productivity increase of the CSP® Nexus caster but provides more degree of freedom for specific products like for example thick gauge HSLA grades used for line pipe production (API grades). These have very high requirements for the metallurgical process in order to achieve the desired final product properties. One of these is the requirement to achieve a certain level of reduction above the recrystallization stop temperature (the reduction from slab to transfer bar) and the necessary level of reduction below this temperature (the reduction from transfer bar to strip). In addition to the control of the necessary reduction, also the process times and temperature of the material are important factors. Only with a plant layout, that decouples roughing and finishing phase, real batch rolling is possible and by that the complete degree of freedom to control reductions, temperatures and process times independently for both reduction phases like done in conventional HSMs.

Another area, connected to the slab thickness, where the processes are moving closer to each other, are peritectic grades. These were up to now not processed in normal production on any thin slab casting and rolling plant. Due to the increased slab thickness up to 160 mm, a completely flat mold ensures best preconditions for the production of crack sensitive grades. Even though automotive exposed grades do not necessarily demand for a higher slab thickness, there are certain benefits that derive from a thicker slab for such products. The overall yield when scarfing a slab aimed for automotive exposed production is increased, as the ratio of slab surface to slab volume is lower, the thicker the slab is. With a higher slab thickness, also the caster exit temperatures can be kept on a higher level, when reducing the casting speed in order to provide a proper slab surface quality and steel cleanliness.

Even though CSP® is moving closer to the conventional process routes, this is not the main target for all areas, as the CSP® technology has benefits over the conventional process, that shall be kept and even improved with the CSP® Nexus. This is for example the more energy efficient hot rolled coil production, a more homogenous process due to the type of furnace and roughing rolling in continuous and thus non-reversing way. In addition, CSP® Nexus is also capable to provide final products beyond the product spectrum of conventional HSMs, due to the very homogenous transfer bar temperature and selective

possibility of endless rolling. Especially ultra-thin gauge low carbon grades will be produced on CSP® Nexus in endless mode. Due to its strength in real batch production, CSP® Nexus only requires the endless mode for a very small portion of products. For example, thin and hard grades like HSLA can be produced in real batch much more energy efficient.

This is a strong benefit compared to plants, that have to produce a larger share of products in endless and thus in a more energy consuming way. Given by the fact, that only a small amount of products requires endless rolling, is the additional flexibility in terms of thickness and width changes within the sequence, as for endless sequences the main target must always be a wear optimized sequence in order to extend its length as much as possible. This is another benefit, as a CSP® Nexus can easily build the rolling sequences around the actual production planning and just perform work roll changes whenever it is necessary without the need to interrupt the casting sequence.

Another example for a lighthouse implementation of a CSP® Nexus was the selection of H2GS for the first ever carbon free steel plant, that will be built from scratch in Europe.

4. H2GS – The World's First Carbon-Neutral Steel Plant



Figure 2. 3D model of H2GS site in Boden (Sweden)

H2 Green Steel (H2GS) is a very special project in many ways: it is a complete greenfield plant in Europe, including on-site hydrogen electrolyzers right from the beginning to support the direct reduction plant with the necessary reducing gas. In addition, the electricity will be taken from an entirely renewables-based grid. SMS group will supply a MIDREX® direct reduction plant, the EAF based melt shop, a CSP® Nexus casting and hot rolling plant as well as an advanced cold rolling and processing complex. This results in a reduction of CO₂ emissions by 95 % compared to traditional steelmaking for a planned production of 5.0 million tons per year by 2030 [1].

Consequently, the CSP® Nexus for H2GS is only utilizing electricity for the heating equipment with a combination of resistance heating furnaces to provide a constant temperature level along the complete product mix and inductive heating modules to be only utilized when required by the final product. Speaking of final products, the CSP® Nexus is designed to meet the state of the art requirements for a broad product mix including Advanced High Strength Steel and automotive steel grades. In order to provide full process flexibility over the complete product mix, the two roughing stands for H2GS rank among the strongest stands ever installed in thin slab casting and rolling plants.

To enable production on the CSP® Nexus plant as energy efficiently as possible, SMS introduced the Integrated Temperature Model (ITM) to the Level 2 automation system of the plant to coordinate the outcomes of the conventional Level 2 models such as Pass schedule calculation (PSC) or Cooling Section Control (CSC). The Integrated Temperature Model considers the whole temperature evolution of all slabs until they are finally coiled at the downcoiler. Depending on the actual production scheme, the furnace temperatures can be set as low as possible to achieve the desired final mechanical properties. Furthermore, the rolling load in the mill stands as well as increased speed level in the cooling section including an energy optimized water pump setting is taken into account. ITM will thus set up the process prior to rolling in the most energy efficient way while maintaining the target dimensions and properties [7].

To illustrate the before mentioned energy efficiency of the real batch production, the main electrical consumers for a selected average product (3.0 mm x 1,450 mm Low Carbon) will be explained. These are the inductive heating systems, which are not utilized as the product is easily produced in batch mode. Also the electrical heating energy needed for the resistance heating furnaces is rather low as the second furnace only has the purpose of keeping and homogenizing the temperature level and the first furnace only applies a small temperature boost due to the higher caster entry temperature. In total approximately 23 kWh/t are needed for heating. The biggest share is necessary for the hot rolling process, which is around 47 kWh/t, resulting in a total of 70 kWh/t for the main process consumers.

5. Conclusion

This paper gave an overview of the challenges and already present solutions to decarburize the world's steel industry. With H2 Green Steel, these ambitious targets will become reality with the first integrated green field plant in Europe since decades, which will reduce steelmaking GHG emissions by about 95 % in addition. As the CSP® Nexus will be one of the key components of this project; the main drivers to develop CSP® Nexus as the new era of thin slab casting & rolling were further explained. Therefore it is extremely important to emphasize that a decarbonized

future is not only about turning current processes green but to have a closer look on the process efficiency because energy is still a precious good even without emitting CO₂. That is why CSP® Nexus, as it is based on the classical CSP® technology, puts such a strong focus on real batch production and only utilizes the endless production mode for the products that benefit from such a mode. The resulting highest energy efficiency compared to other available technologies is only one key strength of CSP® Nexus. It is topped off with highest process flexibility and widest possible product mix in terms of grades and dimensions. H2 Green Steel will be the lighthouse project to showcase that the already proven CSP® Nexus concept is ready to make the next step of full de-carbonization and energy efficiency

References

- [1] "H2 Green Steel," 26 01 2023. [Online]. Available: <https://www.h2greensteel.com/>.
- [2] W. Oswald, A. Streisselberger, R. Thul, H.-J. Nehrenberg and J. Kirsch, "Heavy plates with special process design to meet extreme customer requirements," AG der Dillinger Hüttenwerke, Dillingen/Saar.
- [3] W. S. Association, "Climate change and the production of iron and steel," World Steel Association, Belgium, 2021.
- [4] M. Moggridge, "Be safe, be proud, make money...," Steel Times Int., 2019.
- [5] W. S. Association, "World Steel in Figures 2022," [Online]. Available: <https://worldsteel.org/steel-topics/statistics/world-steel-in-figures-2022/>. [Accessed 08 02 2023].
- [6] "Net Zero Tracker," [Online]. Available: <https://zerotracker.net/>. [Accessed 08 02 2023].
- [7] K. Grybel, C. Hassel, K. Pronold and P. Dickel, "Integrated Temperature Model for CSP Nexus Plants for Superior Hot Strip Production," in AISTech, Pittsburgh, 2022.

eHRC: Endless Hot Rolled Coil From Arvedi ESP: Green Gold From Scrap Hurdadan Yeşil Altına

Christoph FELLNER, Juergen SCHOLLER, Carlo P. PIEMONTE

Primetals Technologies
Austria

Abstract.

Since the development of rolling technology, the steel flat products have been traditionally divided among the two big families of Hot Rolled (HRC) and Cold Rolled (CRC) coils.

The introduction of Arvedi ESP process made possible the development of a new class of products, the endless Hot Rolled Coils (eHRC) dramatically extending the domain of hot rolled material into applications traditionally served by cold rolled products.

This comes with evident economical savings in transformation costs and, not using any fossil fuel during the process, substantial reduction of environmental impact with the lowest direct and indirect greenhouse gas emissions than any other casting and rolling technology.

Moreover Arvedi ESP, omitting any tunnel furnace, demonstrated to be being much more tolerant than any other thin slab casting and rolling technology to tramp elements content, namely Copper, hence representing the perfect match with EAF-based meltshop with increasing scrap charging percentages.

This feature makes Arvedi ESP the most optimized solution to produce green steel with a circular economy approach.

The beginning of the journey: "the thinner the better".

One of the first goals that historically pushed the development of the "endless" process in casting and rolling of flat products, was to produce thinner and thinner gauges as HRC, overcoming the well-known limitations of the conventional plants operating in batch mode.

The dawn of "ultra-thin gauges production era" is marked by the "game changer event" startup of Arvedi ESP plant in Cremona, Italy in 2009 in partnership with Primetals Technologies. The goal of the first ESP plant was to produce 0,8 mm gauge in industrial quantities: this became reality already in 2010.

At present, the world record of ultra-thin gauges has been set in the Rizhao ESP plant in China, down to 0,6 mm.

The advantage of this progress is evident: a large portion of products that in the past required to be first hot rolled AND THEN also cold rolled to reach the desired final thickness now can be produced directly as hot rolled coils. And, in case thinner gauges are requested, a reduced number of passes in cold rolling is now sufficient, hence reducing both CAPEX and OPEX in the cold complex anyway.



Why endless coil is better?

Only endless mode allows the stable production of thin and **ultra-thin gauges**: in coil-to-coil mode it is not possible and semi-endless mode is not efficient.

The endless process has **the highest material yield**: no more head/tail crops are needed for each coil, as in coil-to-coil mode.

The endless process **minimizes the risk of cobbles** in the rolling mill: there is just one transfer bar head entering the mill at the beginning of each sequence and one tail at the end of the sequence eliminating the "strip steering" phenomenon related to irregular shape of coil tail/camber.

The cut of each coil is done after the end of the rolling process by the flying shear, so **the cut is perfectly regular** (no "dog bone" and "fish tail" profile in each coil as in coil-to-coil mode), hence further increasing the overall product yield.

Also surface quality as well geometrical tolerances are enhanced allowing to target high added-value applications, for the following reasons:

First, the endless process operates with constant speeds and temperature settings for very long times avoiding speed-up in the rolling mill for each coil, which is typical for coil-to-coil mode.

Such working conditions allow to get a **superior control of the geometrical properties and microstructure of the eHRC**.

The resulting extremely regular coil contour proved to make eHRC ideal also for slitting.

Second, there are **no inhomogeneous mechanical properties** inside each coil between head/center/tail because each part of the coils has been rolled and cooled under the same conditions.

Endless is not for ultra-thin gauges only.

The coil quality advantages of endless process are so evident that a new market segment emerged as profitable target: the production in endless mode of relatively thicker grades, but of much more advanced added value.

The most recent technological developments on ESP design allow the production of coil thickness up to 25.4 mm (1 inch) in full endless mode, even for hard grades: this evolution is the result of:

- increased slab thickness, allowing significant mill reduction also for thicker coils
- optimized roughing mill configurations with 3 or even 4 roughing stands
- multi-mode inductive heaters, able to efficiently control the heat transfer to both thin and thick transfer bars, maintaining energetically convenient the endless operation also for thicker gauges.
- advanced rolling strategies optimizing the number of finishing stands involved in rolling
- ultra-early power cooling within the finishing stands.
- powerful shears, to cut in endless mode also thicker coils.

When cold rolling is completely avoided (i.e. for products with min thickness from 1,2 to 0,6mm) also further downstream annealing process (to reduce the internal tensions generated in the material by deformation at low temperature in cold rolling mill) can be completely omitted. In this case the correct comparison to fully understand the advantages of "market substitute products" is between an eHRC, sold as pickled and oiled, versus an annealed CRC for a given material and final thickness requested by the end user.

In most of the cases, according to the experience of Arvedi ESP plant in Arvedi or Rizhao ESPs in China, even no skin-passing and edge trimming is required.

Experience of customers shows that endless mode proved to be very flexible on both product mix (steel grades, coil dimensions) and operational features (in-line changes of product dimensions/steel grade, in-line change of work rolls, etc.) hence the residual reasons of operating in batch mode just vanished.

ESP product mix versatility

Several "business models" have been adopted by ESP end users, beating the competition in terms of operational cost, energy consumption and environmental impact.

Commercial grades model:

The product mix is focused on the production of more commercial grades (low/ medium carbon) in thin and ultrathin gauges, covering a market that conventional plants cannot/do not want to cover.

Champion of this model is Rizhao plant in China, where 5 ESP lines, with an about 10 Mtpy productivity, serve downstream cold complexes without any cold rolling facility installed.

High added value grades model:

The product mix is focused on more high added value grades (HSLA, DP, TRIP, Silicon steels..) not necessarily as thin gauges, to serve also mechanical applications, automotive, etc., taking advantage of both OPEX cuts and superior coil quality.

Advanced applications for eHRC

Grades for Automotive Industry

HSLA components ensuring lightness yet robustness to vehicle structures have been an impressive development in recent years. With typical thicknesses between 1 and 2 mm, eHRC up and above 1000 MPa are perfect material for these applications. As reference, such automotive applications represent almost 30% of the market served by ESP in Acciaieria Arvedi, Italy, out of a total of 45% of HSLA, with thicknesses ranging from 1 to over 8 mm Typical applications are structural components (car body) and mechanical components (such as distribution shafts and safety components), the latter made by with pickled coils transformed in tubes and hollow sections, downstream further down to precision tubes.

API grades

The 2-step rolling configuration of ESP allows to perfectly control the temperature profile getting the requested final fine grain structure via thermomechanical rolling and "pancaking". This production route allows to strongly reduce the requested alloying element content (Niobium) to control precipitation process necessary to refine the grain structure.

AHSS

Thanks to excellent temperature profile control during endless, also DP/TRIP grades can be produced, with the requested multiphase structure, directly out of ESP. US Steel ESP plant (startup foreseen at the beginning of 2024) will precisely target this market niche.

Weathering-resistant steels

An excellent example of direct application is the production of massive quantities of CORTEN grades by our Customer Rizhao, directly used for the manufacturing of containers: typical thickness is 1,4 mm.

Electric Steels

Silicon Steel are key for the growing e-mobility industry and overall industry electrification, to face climate change. The uniformity of eHRC is the perfect starting point for silicon steel processing in cold complexes

Our Customers are already considering eHRC not just as an innovative way to produce coils and save money but, thanks to its unique properties, as a distinguished product with its own "personality" to be presented to their customers even with dedicated brand names to emphasize their "added value". As example, Acciaieria Arvedi introduced the dedicated ArvTech brand name. Also Rizhao Steel proposes on its website to their Customers the "endless coils" as a distinct product from the conventional HRCs.

Tunnel furnace? No thanks

One of the defining features of Arvedi ESP concept is the direct connection between caster and mill, completely omitting any tunnel furnace in-between as used in other thin slab casting and rolling plants (TSCR) of previous generations. Let's briefly analyze all the advantages that this solution brings from coil quality, energy consumption and circular economy perspectives.

Let's start from "green steel" production.

The good news: zero-carbon steel strip rolling is not a dream for the future.

Arvedi ESP is the only technology enabling zero-carbon casting&rolling of high-quality flat steel, already today without any fossil fuel.

The ESP compactness allows to fully benefit from the thermal energy in the liquid steel and is the key factor to perform at about 40-65 % lower energy consumption compared to any other TSCR technology: total energy consumption can be as low as 120 kWh/t.

Arvedi ESP is not just shifting energy consumption of from fossil sources to electric power: it cuts the TOTAL ENERGY consumption, hence cutting the OVERALL CARBON FOOTPRINT Scope 1 (direct emissions "at the chimney") plus Scope 2 (indirect emissions generated for the production of the consumed electric power). This feature recently allowed (May 2023) Acciaieria Arvedi to present as world pioneer the new product ArvZERO: the first coils that can be certified carbon neutral having a total scope 1 and scope 2 emissions of just 133 kg of CO2 per ton of steel (total emission from scrap to finished coil).

All running ESP plants in the world do not operate with tunnel furnace because:

Thermal reason: The steel enthalpic content at the exist of the high-speed caster allows the direct rolling of the slab, without significant addition of further energy. Any temperature adjustment requested by process (fine tuning of finishing temperature) is made by a very compact inductive heater located just before finishing mill entry.

Logistic reason: the use of endless process and the possibility to change the work rolls of the finishing mill in-line (without interrupting the rolling process) allows to increase the length of rolling campaigns in between roll changes: this harmonizes the restranding stoppages of the caster (SEN/Tundish refractories worn out) with the mill stoppages, making obsolete the concept of "buffering" slabs in the tunnel furnace (scheduled buffering)

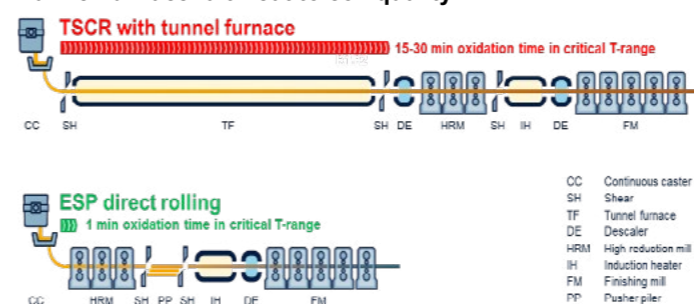
Operative reason: endless operation (absence of slab head and tail entering the mill, absence of mill stands chattering, etc..) makes highly unlikely the occurrence of cobbles, making not necessary to foresee buffering of slabs in the tunnel furnace in case of emergency (unscheduled buffering).

ESP flexibility is in any case ensured by uncoupling roughing mill and finishing mill operations and, in case of emergencies, complete the emptying of the ladle already present at the caster producing rolled plates (sellable products, not scrap).

The unsurpassable advantage in energy efficiency is further enhanced if we consider the performances of other TSCR plants with tunnel operating in endless mode compared to with ESP.

In endless mode, the slab produced by the caster proceeds across the tunnel furnace till the entry of the rolling mill at the speed of the caster: no speed accelerations inside the tunnel furnace are possible as in coil-to-coil mode. This results in very long residence times of the slab in tunnel furnace (15 to 30 minutes, according to the length of the tunnel furnace) at high temperature and in an oxidizing atmosphere, calling for very high energy input in the furnace to compensate the thermal losses.

Tunnel furnace: a threat to coil quality



If considered from the product quality point of view, the phenomena incurring inside the tunnel furnace that represent a threat are scale generation, selective corrosion and hot shortness.

It is evident that the long tunnel furnace strongly promotes oxidation. Contrary to the narrative that oxidation leads to an improved surface quality (on



the cost of yield performance) it is well established in literature that tunnel furnace thin slab plants with EAF route are especially prone to surface defects related to the long heating time before rolling.

This is due to long time available for selective oxidation of iron, hence promoting crack formation due to Cu-induced hot shortness.

While scale formation problems are widely understood and related to formation of adhesive scale in the furnace oxidising atmosphere, hot shortness is a more subtle effect dealing with the presence of copper as tramp element.

This last phenomenon is of particular importance because, on the way to climate neutrality, more and more plants will be based on EAF meltshop with rising content of recycled scrap in the charge mix, gradually rising tramp element contents in the steel (Cu, Sn, etc.): the main critical tramp element in this regard is Cu. And it is precisely under the temperature conditions the steel experiences in the tunnel furnaces that the detrimental Cu effects on quality are generated.

The longer the time for selective high-temperature oxidation during casting (and soaking), the higher is the enrichment of noble elements like Cu in the subscale regions of the steel resulting in formation of low melting point Cu-rich phases with low liquidus points of around 1090 °C. These phases penetrate and thus embrittle the austenite grain boundaries, leading to so-called hot shortness and crack formation in hot rolling and ending with sliver formation during cold rolling.

In the ESP layout, without tunnel furnace, the time during which the steel stays in the conditions promoting hot shortness is minimised and this explains why ESP is an optimised technology to produce best quality even with high tramp element contents related to increased scrap ratios.

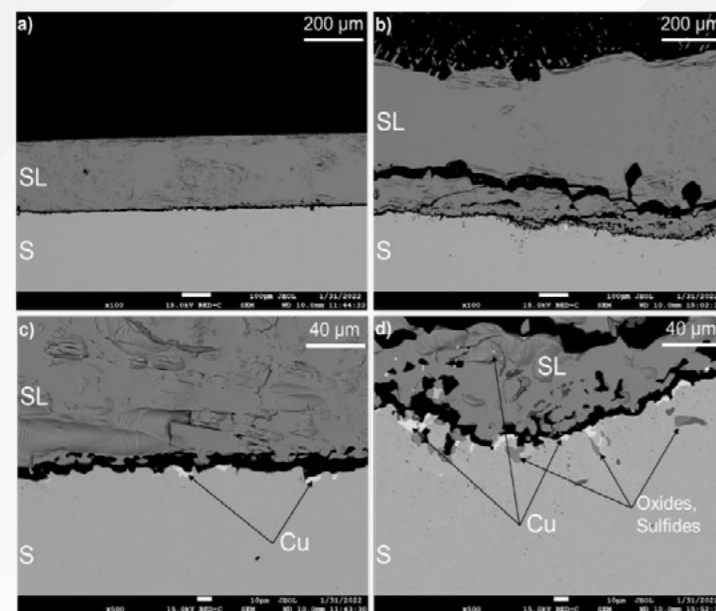
Scientific evidence.

To scientifically define the phenomena, a campaign of tests has been arranged with the team of University of Leoben, Austria (Chair of Ferrous Metallurgy),

The high-temperature oxidation behavior of a low carbon steel was investigated (0.055 % C, 0.23 % Mn, 0.025 % Si, 0.32 % Cu, 0.055 % Ni, 0.033 % Sn).

Two temperature profiles were applied: In the first scenario representing the conventional TSCR route, the oxidation process was simulated from mould exit to tunnel furnace exit. In the second, representing ESP, simulation was done from mould exit to rougher entry: caster temperature profiles were identical for both scenarios.

SEM images reported below compare the different oxidation behaviour resulting from the two temperature profiles applied. A) and C) show the scale layer (SL) after the ESP temperature profile. B) and D) present the conditions of the steel surface (S) at tunnel furnace exit. The scale layer after the long oxidation period in the tunnel furnace is nearly 3 times thicker than the one after the ESP temperature profile.



ESP

Tunnel furnace TSCR

In TSCR simulating sample, the steel surface is very uneven after the tunnel furnace and there are considerably more Cu-rich (white) phases present at the interphase compared to the ESP sample. Penetration of former austenite grain boundaries with Cu-rich phases is practically absent with the ESP sample in contrast to the tunnel furnace TSCR sample where pronounced hot shortness is found.

In addition, considerable sulfide and oxide formation is found along the interphase and within the steel substrate close to the interphase with the tunnel furnace sample. These pronounced inhomogeneities at and below the interphase will not be removed during descaling before roughing, and this will also affect the surface quality of the final strip produced on a tunnel furnace TSCR.

The results of these novel high-temperature oxidation experiments clearly contribute to explain and understand why ESP plants can tolerate much higher residual Cu contents before surface quality issues arise than tunnel furnace TSCR plants, as experienced in everyday live in ESP real plants.

This is another profound advantage of ESP since more and even much cheaper scrap can be used.



Energy Efficiency & Sustainability

Enerji Verimliliği & Sürdürülebilirlik

The Stepwise Decarbonization of Reheating Furnaces – From Efficiency Improvements to the Tenova Hybrid Furnace

Yeniden Isıtma Fırınlarının Kademeli Dekarbonizasyonu – Verimlilik İyileştirmelerinden Tenova Hibrit Fırınına

Alessandro Della Rocca, Alessandro Sicher, Davide Astesiano, Claudio Leoncini, Marcello Tomolillo

Tenova
Italy

The steel producers need a technology shift to fulfil environmental regulations and evolve their production towards green steels. Therefore, the production processes must be transitioned towards low-carbon technologies without losing competitiveness or profitability. Today, about 70% of Turkish steel production comes from scrap recycling with relatively low direct carbon emission intensity for the Upstream portion. In this case, reheating and heat treatment processes in Downstream cover a relevant fraction of total direct carbon intensity of steel products. Consequently, the decarbonization of the scrap route must take into account low-carbon heating solutions. This is particularly relevant for hot rolling mills, which are heavy CO₂ emitters in the Downstream area.

Within this energy transition scenario, Tenova proposes a stepwise approach to the decarbonization of slab reheating furnaces (see Figure 1) that allows steelmakers to channel their capital investment towards the most effective decarbonization solutions. Strategic capital allocation is carried out by taking into account two indicators: the capital efficiency, measuring the capital investment required to obtain a certain decarbonization goal, and the decarbonization potential, quantifying the maximum possible reduction in carbon emission achievable by a specific technology.

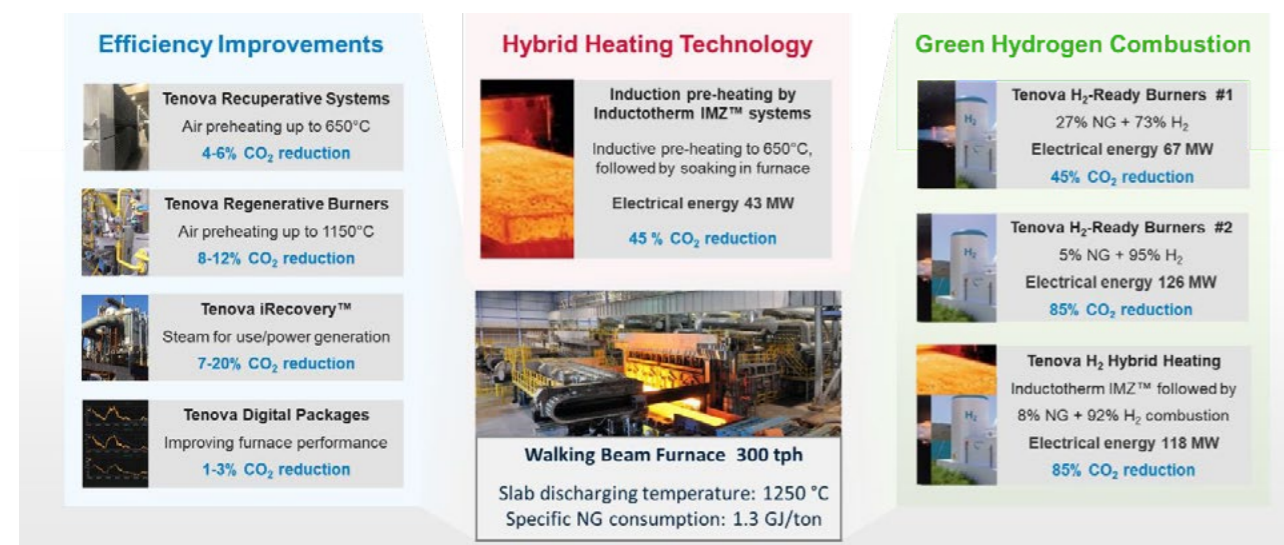


Figure 1. Map of Tenova decarbonization technologies, which maximize efficiency in energy flows.

This stepwise approach allows Tenova to guide steelmakers in selecting the best technology according to specific features of each hot rolling mill. In Tenova stepwise approach, the first step of decarbonization

entails the optimization of the combustion system efficiency. To this end, Tenova has recently developed the new high-efficiency TRGX H₂-Ready Flameless Regenerative burners (see Figure 2) able to burn any mixture of hydrogen and natural gas without changing thermal efficiency or NO_x emissions. In particular, emissions below 80 mg/Nm³ (at 3% O₂ in dry flue gases) can be reached at any hydrogen enrichment fraction. These burners are designed to operate also with oxygen-enriched air for maximum fuel efficiency with respect to any other combustion technology.

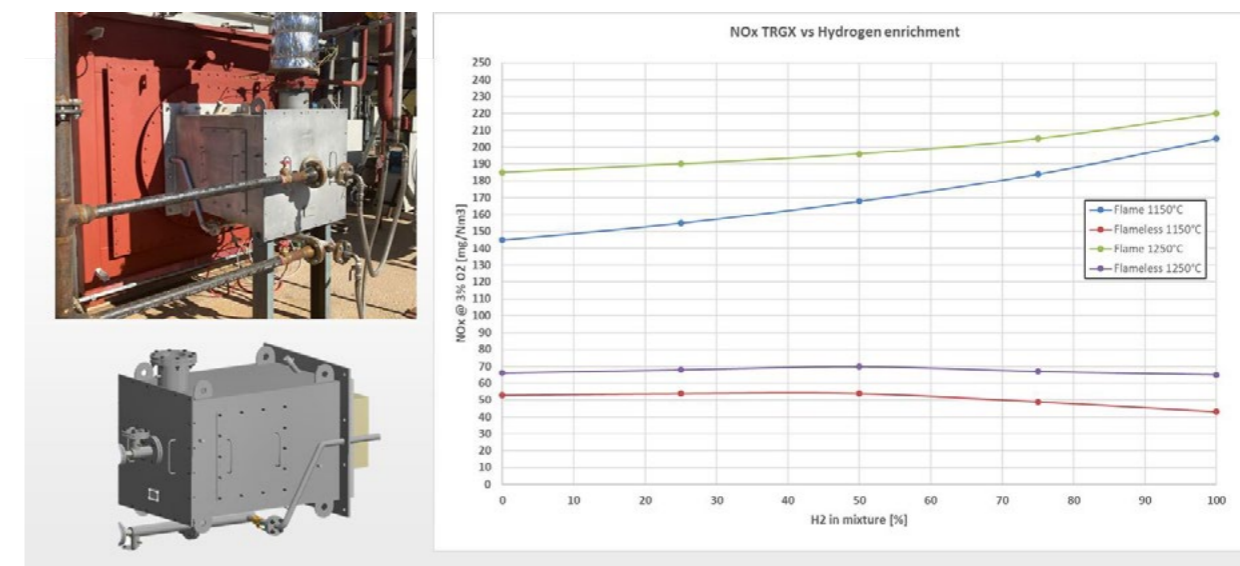


Figure 2. Tenova TRGX H₂-Ready Flameless Regenerative Burner with capability of regenerating oxygen-enriched air. The combination of flameless and regenerative combustion technologies allows to reach high thermal efficiency as well as minimal NO_x emissions in flameless mode. The use of oxygen enrichment further limits fuel consumption and hence CO₂ emissions.

The second step of Tenova stepwise decarbonization process takes into account electrification via inductive charge preheating (see Figure 1) in order to minimize the total electricity consumption. This is possible only up to a critical temperature, where other important process constraints (i.e., increased scale formation, decreasing heating efficiency and attaining production flexibility) come into play.

Hydrogen and non-fossil fuels combustion are thus required for the third decarbonization step. This is implemented in a capital-efficient way through the installation of Tenova H₂-Ready burners, which are able to burn any amount of hydrogen in the fuel mixture without changing their thermal performance and keeping stable NO_x emissions (e.g., see Figure 2).

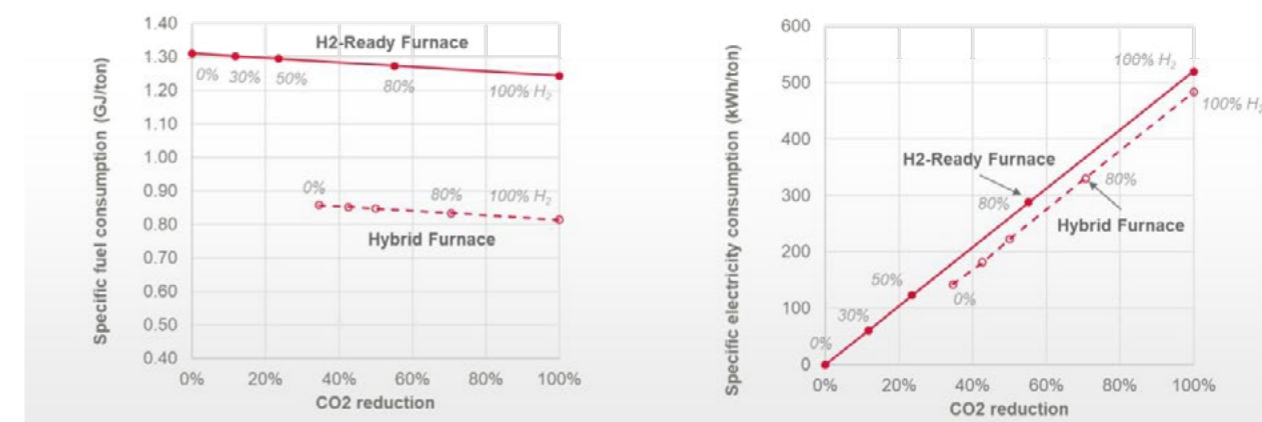


Figure 3. Tenova Hybrid Furnace performance in terms of fuel savings and reduction in total electrical consumption (i.e., hydrogen production unit and reheating furnace) at different decarbonization levels.

The sequence of these transition steps follows the availability of resources as foreseen in the energy transition scenario, thus providing steelmakers with a low-risk strategy aligned with their decarbonization goals. Finally, elaborating the best combination in terms of capital investment and operational expenses directly leads to the concept of the Tenova Hybrid Furnace, which represents a novel solution for a fuel-efficient and decarbonization compliant reheating furnace. By combining inductive heating with Tenova H-Ready burners, the Tenova Hybrid Furnace makes possible to fully decarbonize slab reheating furnaces by limiting operational costs (see Figure 3). In particular, it entails a 40% reduction in fuel consumption as hydrogen/fossil fuel mixture and at least 10% of electrical consumption with respect to a hydrogen fed furnace for any amount of hydrogen fraction in the fuel mixture. Therefore, Tenova Hybrid Furnace replaces the traditional fossil-fired furnace with a highly efficient and fully decarbonized reheating solution.

Keywords: decarbonization, reheating, hydrogen, electrification, regenerative burner

The Fossil Free Hot Strip Mill – Contribution to Carbon Neutrality in Steel Making

Fosilsiz Sıcak Haddehane- Çelik Üretiminde Karbon Nötrlüğüne Katkı (Karbonsuz Çelik Üretimine Katkı)

Michael BREUER, Wolfgang FUCHS, Georg PADBERG, Heiko REICHEL, Michael DEGNER

SMS Group
Germany

Keywords: Hot strip mill (HSM), carbon neutrality, reheating furnace, alternative heating systems, smart descaling, HI_{BOX}[®] heat panels, Convection Roll Cooling (CRC), Roll gap lubrication

Abstract

In modern conventional hot strip rolling mills, HSM, energy efficient production is a fundamental requirement. The ecological task for the near future is to get rid of fossil energy sources. H₂ and electricity seem to be the future energy carriers based on natural energy sources like wind, sun radiation and others.

To make the facility fossil free, all areas of the plant need to be reviewed. This paper provides an overview on the necessary modifications to achieve a better energy efficiency and a fossil-free production, possibly in a stepwise approach.

This report introduces the tools to increase energy efficiency in hot strip mill developed by SMS group. The topics mentioned are taken into account according to the material flow, starting at the slab reheating furnace, followed by roughing train, the delay roller table of finishing train, the finishing train itself, the run out table with cooling train and finishing with the downcoiler area.

1. Introduction

A typical energy balance of a today's conventional hot strip mill, as presented in figure 1, using gas-fired furnaces, is shown in figure 2 [1] similar to a Sankey diagram. The percentages indicate the share of total energy throughput. The arrows point out the direction of energy flow. The green boxes represent the areas of energy transformation.

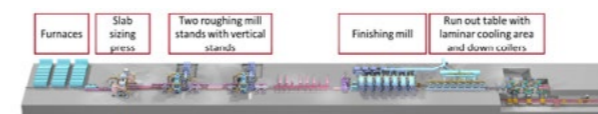


Figure 1. Example sketch of a conventional hot strip mill [1].

Shares may be different between hot rolling facilities depending on the equipment, the configuration, the rolling practice and other boundary conditions. However, but the reheating furnace dominates the energy consumption with a share of around 80%.

The energy source in the rolling process itself is mainly electricity (motors for main drives, roller tables, hydraulic pumps etc.).

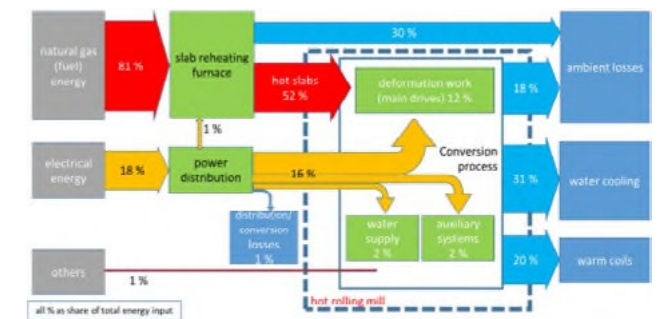


Figure 2. Energy balance in a conventional hot strip mill [1].

The total energy dissipates into the environment as heat (waste gas, cooling towers, warm coils). Because of the low temperature level a further use of these energies is commercially not attractive in most cases.

2. Reheating furnace

A closer look at the energy flow in a typical gas fired slab reheating furnace is taken in figure 3. The energy efficiency of these furnaces is limited today to a value around 55 to 65% because of the unavoidable combustion gas losses, the required cooling systems and the operational practice, i.e. target temperature changes, interruptions, slab dimension changes. These waste losses can be used as energy source outside the investigated system like steam generation or low temperature heating systems.

2.1 Conventional burner based slab reheating furnace technology

To optimize the energy efficiency and/or the CO₂ footprint of an existing slab reheating furnace based on conventional burner technology, the following measures can be taken:

- Use H₂ and/or artificial gas as energy source
- Increase the oxygen content of the atmosphere
- Reduce heat losses via doors, insulation, beams
- Optimize process control in terms of air, fuel and temperature
- Increase air fuel temperature (regenerator/recuperator)

There are several limitations for this measurement, see table 1.

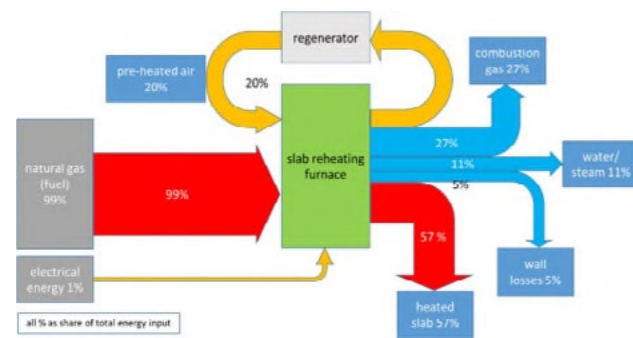


Figure 3. Simplified energy balance in a typical gas fired slab reheating furnace.

A higher oxygen (O₂) content provides optimized conditions at the burners. A higher hydrogen (H₂) share provides a reduced amount of natural gas. Modern burners can deal with up to 100% H₂ as energy source avoiding an increase of nitrogen oxides (NO_x) in the combustion gas [2].

Producing 5 million t/a of coils in a hot strip mill requires around 1.94 TWh of energy for the reheating of cold slabs. In 2020, Germany produced in total 57 TWh of H₂ energy equivalent mainly based on fossil sources and predominantly for the chemical industry. In 2021, the total energy equivalent of H₂ produced by alternative energy sources (wind turbines, photo voltaics etc.) summed up to 215.4 MWh of H₂ in Germany [4]. One of the key challenges of the next decades will be to close this gap.

If H₂ is available, artificial gas (CH₄) can be generated in combination with CO₂/CO and substitute the fossil gas. This technology is attractive because the existing consumers of natural gas can be fed with minor changes. The CO₂/CO source is in many cases available in an integrated plant with a conventional blast furnace or with coke batteries. The CO₂ footprint is improved because of the reused combustion gas.

The impact of the different measures on the efficiency is summarized in table 1.

Table 1. Scenarios to optimize conventional slab reheating furnaces.

Measure	Impact	Limitations	Remarks
Increase O ₂ content in air input flow	10% per 2% O ₂	O ₂ costs/availability NO _x content	Furnace control
Use H ₂ /artificial gas as energy source	better CO ₂ footprint	H ₂ costs/availability	Control of burners and furnace
Adaption of slab extracting temperature	10% per 90K	Hot rolling process requirements/furnace dynamics	Campaign scheduling
Increasing charging temperature	10% per 140K	Precondition/layout of site / scheduling	Campaign scheduling metallurgical requirements
Optimum slab dimensions	5%	Order book requirements	reference slab dimensions

2.2 Alternative heating systems

Initially, it appears that the electrically heated slab reheating furnace is the first option to be considered. In figure 4, the energy balance of an electrically heated slab furnace is shown. The elimination of waste gas losses results in a significant efficiency increase.

The typical heat energy density in a gas-fired slab reheating furnace is around 130 kW/m² in average with a maximum of around 300 kW/m² in the heating zone. Electrical heaters available today have a maximum energy density of around 30 kW/m². In consequence an electrically driven slab reheating furnace would require at least 4 to 5 times the length of a conventional gas-fired furnace with the same production capacity [1]. This is imaginable but a challenge from the practical point of view (plant layout, heat expansion, flexibility). In addition the efficiency will drop because of the larger furnace surface and the share of cooled parts inside the furnace (values in brackets in figure 4).

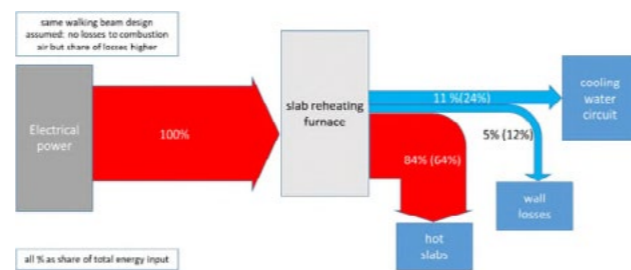


Figure 4. Estimated energy balance of an electrical heated slab reheating furnace [1].

The maximum achievable heating temperature also has to be taken into account. The lifetime of standard heating wires is reduced significantly above temperatures of 1150°C. Special wire materials (e.g. Tantalum, Tungsten) can withstand even higher temperatures with the consequence of significantly higher costs. Another challenge is the oxidation of the steel (scale formation) in this type of furnace. A protective atmosphere helps to keep the yield in a certain range. Long-term investigations are under progress to investigate the best solution [1].

Plasma burners - at present used in the waste industry - are a further substitution alternative for conventional burners and under development. An electrical arc is formed at the outlet of a gas nozzle. A plasma jet is generated with extremely high temperatures and can be fed with nearly all energy sources. Today large-scale burners are not available and existing small-scale require relatively cold gas supply. Therefore, the energy efficiency of a reheating furnace equipped with plasma burner would be limited to around 30 to 50%.

Today, inductive heating is already used in hot strip production as a temperature booster in front of the finishing mill. The target is to achieve better rolling conditions, especially for thin strip rolling and sensitive steel grades. The heat is generated close to the surface of the bar. The efficiency can reach around 80% below Curie temperature, depending on design, grade etc.. Above Curie temperature, it can drop to 60% or even less. The surface temperature during heating has to be limited to prevent the transfer bar from melting.

The transferred energy density can reach 2.5 MW/m² and more, allowing a massive temperature boost. The inductive heater as temperature control element is the fastest way of reheating and delivers “power on demand”. Reheating of cold slabs with inductive heaters requires special attention to avoid surface cracks caused by the high temperature gradients from surface to core. Above around 300°C average temperature, this behavior disappears. Further more, thick slabs with typical thicknesses in between 230 and 250 mm require time to equalize the temperature from core to surface.

Conductive heating is another physical principle for heating processes. It is generally possible to use the electrical resistance of the slab or transfer bar itself for direct resistance heating by means of electrical current. The almost uniform heat generation covering the entire cross section is inviting. The necessary electrical power supply to heat an 11 m long slab in the dimension of 220 mm x 1200 mm for a 5 million t/a hot strip mill is impressive and the resulting current is currently far from realistic.

Summarizing the view on alternative technologies for gas-fired slab reheating systems, there are currently no solutions apparent, that could replace these furnaces without restrictions, see table 2. The substitution scenarios of the conventional natural gas firing provide compromises and, in some cases, introduce new challenges where currently no technical solution is available. As soon as H₂ is available, the substitution of the gas burners with H₂ tolerant burners seems to be a reasonable way to achieve fossil free operation [2]. The high power density of the inductive heaters and the controllability enable “power on demand”.

Table 2. Alternative energy sources for slab reheating furnaces.

Measure	Benefit	Limitations	Remarks
Electrically heated radiators	CO ₂ neutral, easy to control	Energy density, max temperature	Scale formation
Plasma burner	Extreme temperatures, Energy source independent	Furnace efficiency limited	Burner size not available
Inductive heating	High energy density, easy to control	Restrictions for thick slab heating, max temperature	Proven technology, „power on-demand“
Conductive heating	Uniform fast heating	Impressive current demand (Amps)	Required current transmission not available

Investigating the possible alternatives for heating concepts with pros and cons it becomes clear that hybrid concepts

offer solutions to achieve both CO₂ free/reduced and energy savings.

2.3 Process opportunities

Depending on the requirements of the rolling process the slab discharging temperature can be lowered and/or the slab charging temperature can be increased. This is common practice in many hot strip mills and rolling campaigns are scheduled in order to meet the demands of the hot strips. However, in gas-fired reheating furnaces the dynamic temperature control is limited by the relatively slow behavior of the furnace itself.

Concepts to reduce the energy consumption in conventional hot rolling mills have been available for some time. These make use of the residual heat from upstream process steps (casting plant) in differing degrees and can be classified as follows: Cold Charge Rolling (CCR) with slab temperatures below 250°C, Hot Charge Rolling (HCR) with slab temperatures typically between 250°C and 600°C, Hot Direct Charge Rolling (HDCR) with temperatures typically above 900°C or Hot Direct Rolling (HDR) with temperatures up to 1100°C.

In the case of HCR the hot thick slabs coming from the casting machines are usually stored temporarily in slab holding pits and are charged at the mentioned temperature range into the reheating furnace. The benefits are the energy advantage and a positive effect on the furnace throughput. Certain steel grades even require the hot charging method for metallurgical reasons. With the HDCR method, the hot thick slabs are directly charged into the reheating furnace without the use of intermediate storage in a holding pit. With the HDR method, the hot thick slabs are even fed directly into the rolling mill after a final temperature adjustment with a fast heating device (e.g. inductive heating). A significant reduction of the energy consumption requires an optimized site layout with a direct link between slab caster and the hot strip mill.

The major advantage of a conventional hot strip mill is the high flexibility in terms of steel grades, strip dimensions and order size. An optimized synchronization of the caster production program and the rolling program results in a high flexibility at high production level.

Two conventional casters, each equipped with two casting strands, are able to produce the amount of slabs that a high production hot strip mill consumes. In case of the HDCR method and the HDR method, the ladle size defines the minimum number of slabs of same chemistry and dimensions - only one grade can be cast in one mold at one point of time. Modern thick slab casters offer the possibility of moderate width adjustments during casting, but the width change speed is limited to typically 20 mm per meter cast slab length. Thick slabs of different steel grade and

dimension must be charged from the slab yard, either in HCR method or in even in Cold Charge Rolling (CCR) method at ambient temperature. Effective width adjustment devices in the hot strip mill with high width reduction capacity like a sizing press and vertical edgers are mandatory [3]. Based on this preconditions two scenarios were investigated for a more energy efficient heating process.

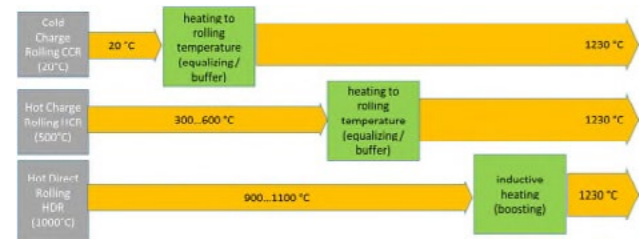


Figure 5. Scenario 1 – Process sketch of a hybrid strategy for slab heating.

A sketch of the first process scenario is shown in figure 5, based on a high share of Hot Charge Rolling and Hot Direct Rolling. The process can be characterized as follows:

- the slabs are leaving the caster at a temperature level of 900°C to 1100°C average temperature
- depending on the actual condition of the hot strip mill and the production schedule, the slabs are directly fed to the rolling mill via inductive booster heating or delivered to the furnaces or stored in the slab yard for later rolling
- the furnaces heat up the cold slabs and slabs with residual heat (hot slabs) to rolling temperature
- the rolling campaign follows a typical coffin shape schedule
- if required, the slab width is adjusted by the sizing press and the vertical edgers that are attached to the roughing mill stands
- following the rolling campaign planning the casting width is adjusted slowly inside the caster if necessary

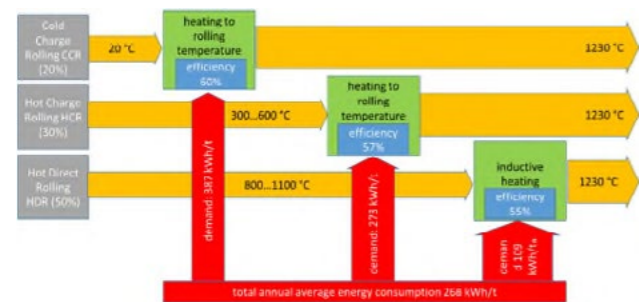


Figure 6. Scenario 1 – estimated energy consumption of a hybrid slab heating system.

In figure 6, the assumed shares of the different production modes are indicated. 50% of the slabs, reflecting the production capacity of one casting machine, are considered to be rolled with the HDR method - direct feeding to an inductive heating device for temperature adjustment and direct hot rolling. The furnaces are capable to deal with cold (CCR) and hot slabs (HCR). 20% of the slabs are charged cold and reheated in a conventional furnace (CCR). The considered share of hot slabs is 30%, also reheated in a conventional furnace (HCR). Considering these shares a total energy demand of 268 kWh/t can be calculated.

A layout considering the optimized arrangement of the casting machines, the furnaces and the rolling mill entry area is given in figure 7. The direct link of the caster 1 is achieved by the in-line arrangement with the rolling mill via roller tables and ferries. The caster 2 and the slab yard are connected in the same way on the furnace charging side.

A logistics simulations demonstrate the capability for high production rates. The investigated scenario fulfills the requirements of a high production HSM:

- typical cycle times coil to coil between 90s and 150s
- production capacity of 5 million t/a requires a high degree of planning and scheduling
- rolling campaign in between two regular roll changes is designed in a “coffin-shape”; the rolling width is reduced stepwise according to the order book and the work roll wear
- a sizing press [3] and vertical edgers attached to the roughing mills offer the advantage to reduce the slab width in the HSM by up to 400 mm and the width schedule can follow the required coffin shape

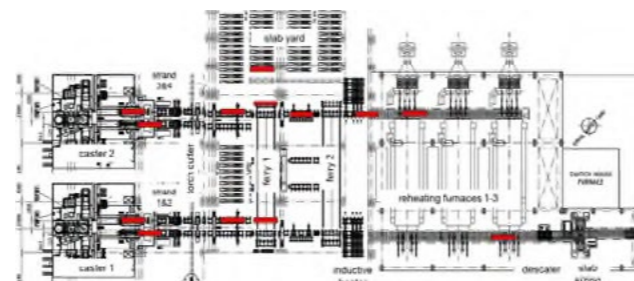


Figure 7. Scenario 1 – Layout of a hybrid slab heating system.

The logistic demands for such a process are challenging. Order book, steel plant, slab storage and rolling campaign design have to be synchronized to a common program. Disturbances in one of the production process steps may result in a redesign of the scheduling. A smart production observation- and planning tool is essential, not only to schedule the program but also to reschedule the production process in case of process disturbances. This is mandatory to

achieve the today required production capacities of high production plants.

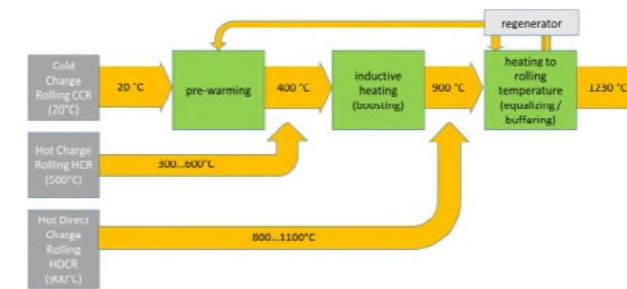


Figure 8. Scenario 2 – Process sketch of a hybrid slab heating system.

The second scenario offers advantages for higher shares of cold charged slabs (CCR), see figure 8. Cold slabs from the coil yard are reheated in a pre-warming furnace to a temperature of 400°C. After passing an induction heater, that increases the average temperature to 900°C, the slabs are transferred to a slab heating furnace that elevates the slab temperature to the required discharging temperature (1230°C) and assures the timely sequencing according to the rolling mill production cycle (buffer function).

The expected energy demands are summarized in figure 9. Considering 30% hot direct charging (HDCR), 40% cold charging (CCR) and 30% hot charging (HCR), the selected slabs are charged in the chain according to their temperature level. Considering the indicated production shares and efficiencies, an average energy consumption of 268 kWh/t can be estimated, see figure 9.

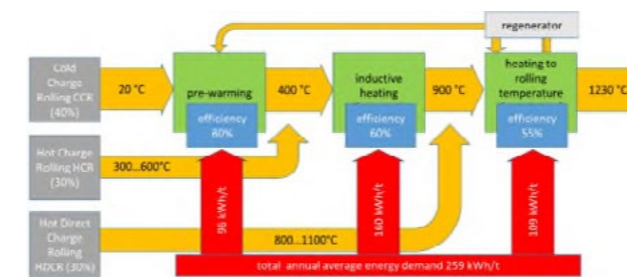


Figure 9. Scenario 2 – Estimated energy consumption of a hybrid slab heating system.

A sketch of the layout is given in figure 10. Caster 1 is arranged in-line with the inductive heater and caster 2 is arranged in-line with the pre-warming furnace charging roller table. Two ferries allow the transfer of slabs from each strand to the furnaces and to the slab yards. Additionally, a pre-warming furnace is considered to elevate the temperature of cold slabs. The waste gas heat of the main furnaces can be used to increase the efficiency of this pre-

warming furnace thanks to the comparably low extracting temperature.

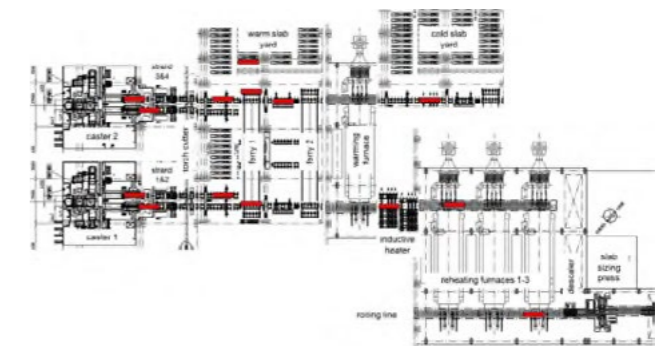


Figure 10. Scenario 2 – Layout of a hybrid slab heating system.

In table 3, the evaluated numbers of energy demands are summarized.

Table 3. Summary of heat demands for different heating scenarios.

Scenario	Total energy demand in kWh/t	Electrical energy in kWh/t	Natural gas / fuel energy in kWh/t	H2 / artificial gas energy in kWh/t	Remark
Conventional heating	387	0	387		
Hybrid heating scenario 1	269	109		160	
Hybrid heating scenario 2	259	112		147	

3. Energy savings in the HSM

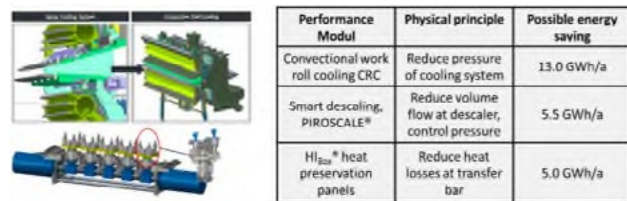
Compared to the reheating area the energy consumption in the hot strip mill itself seems to be low. However, since the goal of carbon neutrality is specified and the electrical energy consumption in the hot strip mill still sums up to around 475 GWh/a, it is imperative to investigate this area as well. SMS group has developed a variety of solutions to optimize the energy efficiency; a selection of these solutions (Performance Modules) is explained in the following. A conventional work roll spray cooling system installed in a seven stand finishing mill is mostly operating with a system pressure of 12bar. The water flow is approximately 7000m³ per hour. The operational costs for energy and water use as well as for the maintenance of the systems are challenging.

The Convection Roll Cooling (CRC) system improves energy consumption and maintenance efforts significantly. The CRC substitutes the conventional spray cooling via nozzles by a water stream channel on the work roll surface. The CRC cools via forced convection principle. Compared to conventional spray cooling, the work roll cooling capability is higher with the same water amount, resulting in

a reduction of the required pump energy. Furthermore, the guiding of water is simplified and possible effects of floating water are also improved. Up to 80% savings in energy consumption for the pumps are possible.

The most efficient operating pressure is around 1.5 bars only causing a cooling water flow, guided by the shell against the direction of work roll rotation, and providing a significant increase of the heat transfer coefficient. This provides an improved cooling effect using less pressure, water, and subsequently less pump energy.

Another effective Performance Module is the Smart Descaling. Smart Descaling takes place in the roughing and in the finishing mill area. The patented system implements a width- and steel-grade dependent descaling. The water pressure and the water volume are specifically controlled and applied, resulting in water and energy use savings. The PiroScale® system, a rotary descaling solution, results in an additional reduction of the water amount and better descaling results at the same time. [9].



Performance Modul	Physical principle	Possible energy saving
Convictional work roll cooling CRC	Reduce pressure of cooling system	13.0 GWh/a
Smart descaling, PIROSCALE®	Reduce volume flow at descaler, control pressure	5.5 GWh/a
HI _{BOX} ® heat preservation panels	Reduce heat losses at transfer bar	5.0 GWh/a

Figure 11. Selected solutions for energy savings in the rolling line.

Heat panels HI_{BOX}® serve to reduce the heat radiation that causes temperature decrease along the transfer bar length [7]. Rolling behavior in the finishing train is more stable and the product mix can be shifted towards a smaller final thickness and/or towards higher-strength steel grades. The heat panels are arranged as swiveling elements above the delay roller table enabling simplified inspection and maintenance of the elements. Within each panel, the insulating elements are formed as individual rectangles. They are mounted on the panel and can be changed individually in case of damage.

4. Summary and Conclusion

This paper gives an introduction into the energy demands of high production hot strip mills. The main energy consumer is the reheating process. Alternative physical principles for the slab reheating process are summarized. The most effective way for the reduction of the energy consumption and thus the CO₂ footprint is the connection of the casting and rolling processes. Two different scenarios were investigated to show possibilities to reduce the energy consumption of the reheating process by more than 30%. The individual production share is a key factor for choosing the best option. The selection of new solutions (Performance

Modules) that was introduced for energy savings in new and existing hot rolling mills can lead to a reduction of the energy consumption in the rolling process itself of around 5%.

The paradigm change in the steel industry is challenging. Beside the investment costs, the energy consumption and CO₂ footprint are today much stronger in focus for all investments. The availability of alternative energy sources (green electricity and green hydrogen) and new process set-ups will shape the design of new hot strip mills but also revamp the layouts of existing plants.

Literature

- [1] SMS group internal data and investigations
- [2] <https://www.sms-group.com/en-us/plants/reheating-furnaces>
- [3] SMS group publication: W4-305E, Hot strip mills Mechanical equipment; 25.01.2019
- [4] Veröffentlichungen des statistischen Bundesamts: <https://www.destatis.de/>
- [5] <https://www.sms-elotherm.com/branche/stahlverarbeitung/induktives-erwaermen-von-flachprodukten/>
- [6] <https://www.sunfire.de/en/home>; Renewables Everywhere - Sunfire
- [7] Patent application HIBOX®: Wärmedämmvorrichtung, EP3319741B1
- [8] Patent application X-Roll® CRC, EP3307448B1
- [9] Patent application PiroScale®: Vorrichtung und Verfahren zum Erzeugen eines Werkstücks eines vorbestimmten Typs, EP3429772B1
- [10] Patent application: System and method for producing flat products, WO 2023052500 A1

Konvansiyonel Brülörler, Oksi-Yakıt Brülörler ve Isı Geri Kazanım Sistemine Sahip Brülörler Arasında Enerji Verimliliği, Bakım ve Maliyet Analizleri Energy Efficiency, Maintenance and Cost Analysis For Conventional Burners, Oxy-Fuel Burners, Burners with Heat Recovery System

Kenan KARAÇAVUŞ¹, Semih KORKMAZ², Furkan HAMZAOĞLU²

¹Trakya Üniversitesi, ²Termo Isı Sistemleri, Türkiye

Anahtar Kelimeler: Atık Isı, Enerji Verimliliği, Atık Isı Geri Kazanımı, Reküperatif, Rejeneratif, Oksi-Yakıt, Brülör, Enerji Maliyetleri.

Keywords: Waste Gas, Energy Efficiency, Waste Heat Recirculation, Recuperative, Regenerative, Oxy-Fuel, Burner, Energy Cost.

Özet

Dünya üzerindeki başlıca enerji kaynakları; petrol, doğalgaz, kömür gibi organik kaynaklardan elde edilen fosil yakıtlar, güneş, rüzgar, hidrolik, jeotermal ve biokütle gibi yenilenebilir enerji kaynakları, metan hidrattı, petrol kumu ve şeyl gazı gibi hidrokarbonlar, atom çekirdeklerinin kontrollü şekilde parçalanması veya birleşmesi sonucu açığa çıkan nükleer enerji olarak sınıflandırılabilir.

Özellikle yenilenebilir olmayan petrol, doğalgaz, kömür gibi organik bileşiklerin tüketilmesi ve yenilenebilir olmaması sebebi ile azalması, yanma reaksiyonu sonrasında açığa çıkan zararlı bileşenler sebebi ile çevreye olan olumsuz etkileri de ele alındığında, üretilen enerjinin en etkin biçimde verimli olarak kullanılması büyük önem arz etmektedir.

Dünya üzerindeki insan popülasyonunun ve ihtiyaçlarının hızla artmasına paralel olarak talep artışı görülmektedir. Oluşan yüksek talep endüstriyel üretimi tetiklemektedir. 18. yüzyılda sanayi devrimi ile başlayan süreç ile endüstriyel üretim, seri imalat gibi üretim aşamalarında büyük bir hızla gelişim görülmektedir.

Özellikle bazı üretim prosesleri ısı enerjisine ihtiyaç duymaktadır. Bu doğrultuda yüksek sıcaklıklara erişebilen üretim prosesleri ve ısı enerjisini üretebilecek mekanik makine talebi doğmaktadır ve talebi karşılamak üzere prosese uygun endüstriyel brülörlere ihtiyaç duyulmaktadır.

Yanma reaksiyonu sonrası ortaya çıkan ısı enerjisinin endüstriyel uygulamalarda tercih edilmesinin başlıca sebepleri; düşük işletme maliyetleri, yüksek enerji yoğunluğu, verimli olması ve enerji kaynaklarının kolay bulunabilir, kullanılabilir, taşınabilir ve depolanabilir olmasıdır.

Avrupa Yeşil Mutabakatı ile bu anlamda atılabilecek adımların belirlenmesi, iklim değişikliği ile mücadele etmek ve sürdürülebilir bir gelecek için ekonomik, sosyal ve çevresel açıdan dönüşüm yapmak amacıyla Avrupa Birliği'nin (AB) 2019 yılında başlattığı bir stratejidir. Avrupa Yeşil Mutabakatının temel hedeflerinden biri, enerjinin verimli kullanımını artırma ve sera gazı emisyonlarının azaltılmasıdır.

Üretilen enerjinin en etkin biçimde kullanılması, atmosfer ve çevre koşullarına zararının mümkün olduğunca azaltılması, enerji üretim aşamasında en verimli yöntem ve tekniklerin kullanılması insan sağlığı ve çevre sağlığı açısından büyük önem arz etmektedir.

Yakıcı üretim sektöründe ilk aklı gelen teknik ve çözümler konvansiyonel yakıcılarla üretilen enerjinin baca gazı ile atmosfere atılan büyük ölçüde enerjiye sahip atık ısının tekrar değerlendirilmesi tekniğidir. Buna alternatif olarak yenilenebilir yakıtları yakabilen veya havadan daha verimli oksijeni kullanabilen brülörler kullanılabilir.

20. yüzyılın ortalarından itibaren daha verimli ve alternatif yakıtları yakabilen brülörler geliştirilmiştir. Bu sayede daha düşük bir enerji ile proses süreçlerinin karşılanması mümkün olmuştur. Yapılan geliştirme ve ARGE çalışmaları neticesinde hidrojen yakıtlı brülörler, hava yerine oksijen kullanan oksi-yakıt brülörleri, atık ısı enerjisinin tekrar kullanılması prensibine dayanan reküperatif ve rejeneratif brülörler geliştirilmiştir.

Bu çalışmada konvansiyonel brülörler, reküperatif brülörler, rejeneratif brülörler, oksi-yakıt brülörleri ve hidrojen brülörlerinin birbirlerine göre ekonomik ve enerji verimliliği bakımından avantaj ve dezavantajları karşılaştırılmıştır ve

bilinen en verimli tekniklerin maliyetlere göre analizi gerçekleştirilmiştir.

Yapılan çalışmadaki maliyetlere göre amortisman süreleri de bu sayede belirlenebilmiştir. Üretim açısından birim maliyetlerin önemli olması sebebi ile bu çalışma sonucunda en verimli ve birim maliyeti en düşük yakma sistemleri belirlenmiştir.

Bu çalışmanın ürün seçimi ve verimli kullanılması gibi konularda endüstriyel sanayiye ve daha sonra yapılacak olan çalışmalar konusunda da brülör geliştiricilerine yol gösterici olması hedeflenmiştir.

Abstract

The main energy sources in the world can be classified as; Fossil fuels obtained from organic sources such as oil, natural gas, coal; Renewable energy sources such as solar, wind, hydraulic, geothermal and Biomass; hydrocarbons such as methane hydrate, oil sand and shale gas, nuclear energy that is released as a result of the controlled disintegration or fusion of atomic nuclei. It is very significant that the produced energy should be used in the most efficient way considering the negative effects of the consumption and reduction of non-renewable organic compounds such as oil, natural gas and coal over the environment as well as the harmful components released after the combustion reaction. The demand increases in parallel with the rapid increase in population and requirements in the world. The high demand triggers industrial production. A rapid development has been observed in production process such as industrial production and mass production which was started with the industrial revolution in the 18th century.

In particular, some production processes require heating as an energy. In this context, there is a demand for production processes that can reach high temperatures and mechanical machinery that can produce heat energy, and industrial burners suitable for the process are needed to meet the demand.

The main reasons for preferring the heat energy generated after the combustion reaction in industrial applications are; low operating costs, high energy density, efficiency and energy sources which are easy to find, applicable, portable and storable. Determining the steps that can be taken in this sense with the European Green Deal which is a strategy initiated by the European Union (EU) in 2019 to combat climate change and transform economically, socially and environmentally for a sustainable future. One of the main goals of the European Green Deal is to increase the efficient use of energy and reduce greenhouse gas emissions. It has a great importance for human health and environment to use the produced energy in the most effective way, to reduce the damage to the atmosphere and environmental conditions as much as possible, and to use the most efficient methods and techniques in the energy production phase.

The first techniques and solutions that come into mind in combustion technology is the heat recovery of the waste heat, which has discharged to the atmosphere with the flue gas of the energy produced by conventional burners. The other alternative is using burners that can operate with renewable fuels or use oxygen which is more efficient than air.

It has been developed more efficient and alternative fuel burners since the middle of the 20th century. Thus, it was possible to meet the demand of processes with a lower energy. As a result of development and R&D studies, hydrogen fuel burners, oxy-fuel burners using oxygen instead of air, recuperative and regenerative burners based on the principle of reusing waste heat energy have been developed. In this study, the advantages and disadvantages of conventional burners, recuperative burners, regenerative burners, oxy-fuel burners and hydrogen burners were compared in terms of economic and energy efficiency and the most efficient techniques were analyzed according to their costs.

Therefore, amortization periods could be determined according to the costs in the study. As a result of this study the most efficient and lowest unit cost combustion systems were determined considering that the unit costs are important for production. It is aimed that this study will guide the industry for product selection and energy efficient usage, and the burner developers in future studies.

1. Giriş

Sanayi sektörü, dünya genelinde en büyük enerji tüketicilerinden biridir ve bu nedenle enerji verimliliği çok önemlidir. Brülörler, çeşitli endüstriyel uygulamalarda kullanılan önemli bir enerji kaynağıdır. Bu nedenle, enerji tasarrufu sağlamak ve karbon ayak izlerini azaltmak için daha verimli brülörler kullanmak önemlidir. Bu bildiride, konvansiyonel brülörler, oksijen-yakıt brülörler ve ısı geri kazanım sistemine sahip brülörlerin enerji verimliliği, bakım ve maliyet analizleri incelenecektir.

Demir çelik sektöründe kullanılan brülörlerin seçiminde, enerji verimliliği, bakım ve maliyet faktörleri göz önünde bulundurulmalıdır. Konvansiyonel brülörler, en yaygın kullanılan brülör tipidir ve yakıtı yanma odasına basarlar.

Avrupa Birliği'nin iklim değişikliği ile mücadele etmek, biyoçeşitliliği korumak, kirliliği azaltmak ve sürdürülebilir bir ekonomi yaratmak için kararlılıkla hareket etmesini sağlamak amacıyla Avrupa Yeşil Mutabakatı adı altında bir dizi politika ve önlem Avrupa Komisyonu tarafından 2019 yılında başlatılmıştır.

Avrupa Yeşil Mutabakatı'nın hedefleri, enerji verimliliği ve sürdürülebilir enerji kullanımı konusunda şirketlere, endüstriyel tesislere ve hatta hane halklarına yönelik düzenlemeler ve teşvikler getirmek, düşük karbonlu teknolojilere geçiş ve yenilenebilir enerjinin kullanımını

arttırmaktır. Bu nedenle, brülör seçimi ve kullanımı, enerji verimliliği, bakım ve maliyet analizleri yaparken, Avrupa Yeşil Mutabakatı hedeflerinin de dikkate alınması önemlidir.



Resim 1 Örnek Tavlama Fırın Görseli

Konvansiyonel brülörler, en basit brülör sistemidir ve sadece yakıtın yakılmasını sağlar. Bu brülörler, düşük maliyetleri ve basit tasarımları nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak, düşük verimlilikleri ve yüksek enerji tüketimi nedeniyle işletme maliyetleri yüksek olabilir. Ayrıca, düzenli bakım gereksinimi nedeniyle işletme maliyetleri daha da artabilir.

Oksi-yakıt brülörler, yakıtla birlikte oksijen kullanarak yüksek sıcaklıkta yanma sağlar. Bu brülörler, yüksek yanma verimliliği sağlar ve düşük enerji tüketimi ile işletme maliyetleri daha düşüktür. Ancak, yüksek maliyetleri ve karmaşık tasarımları nedeniyle yüksek bir yatırım maliyeti gerektirirler. Ayrıca, yüksek basınçlı oksijen kullanımı nedeniyle güvenlik riskleri de bulunmaktadır.

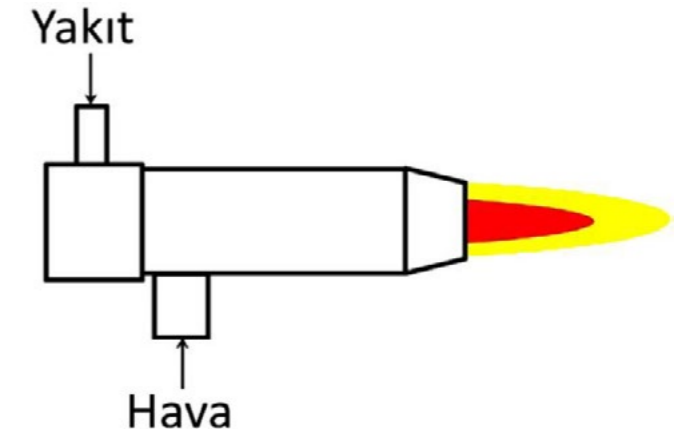
Isı geri kazanımlı brülörler, yanma işleminden çıkan atık ısıyı geri kazanarak kullanırlar ve bu sayede yakıt tüketimini azaltırlar. Bu brülörler, düşük enerji tüketimi ve yüksek verimlilikleri nedeniyle işletme maliyetlerini azaltır. Ayrıca, düşük emisyonlar ve çevre dostu tasarımları ile çevresel etkiyi azaltırlar. Ancak, yüksek yatırım maliyetleri nedeniyle ilk yatırım maliyeti daha yüksek olabilir.

2. Endüstriyel Brülörlerin Karşılaştırılması

Yapılan bu çalışmada konvansiyonel brülör, oksijen-yakıt brülörü, reküperatif ve rejeneratif brülörler arasında ilk yatırım maliyetleri, doğalgaz tüketimi ve konvansiyonel brülörlere göre gaz miktarının; proses ihtiyacı doğrultusunda brülör verim artırma teknikleri ile elde edilen avantajların sonucunda azaltılmasının ekonomik etkileri, elektrik tüketimlerinin maliyetlere etkisi, yıllık bakım maliyetlerinin irdelenmesi, kısa orta uzun vadede elde edilen avantajlar ile maliyetlerin kıyaslanması ve amortisman süreleri ile ilgili süreçler incelenmiştir.

2.1. Enerji Verimliliği Bakımından Karşılaştırma

Isıl işlem proseslerinde kullanılan konvansiyonel brülörler genellikle %70 - %75 proses verimliliklerinde çalışmaktadırlar. Bu tip brülörlerde baca gazı sıcaklıkları yüksektir. Genellikle direkt tip alev kullanırlar ve ürüne enerjiyi kondüksiyon ve radyasyon ile aktarırlar. Yakıt olarak genellikle hidrokarbonlar kullanılırlar. Oksitleyici olarak ise ortam havası kullanılmaktadır. Hava içeriğinde bulunan azot ve yakıt içeriğinde bulunan karbon dolayısıyla yanma verimi düşüktür. Ayrıca kirletici emisyonlara sebep olmaktadır.



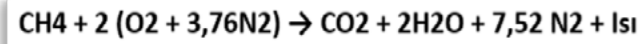
Resim 2 Yakıt Üzerinde Yakıt ve Oksitleyici Bağlantı Noktaları Görseli

Oksitleyici olarak ise ortam havası kullanılmaktadır. Hava içeriğinde bulunan azot ve yakıt içeriğinde bulunan karbon dolayısıyla yanma verimi düşüktür. Ayrıca kirletici emisyonlara sebep olmaktadır.

Yanma teknolojisi ortaya çıktığı günden beri verim artırmak ve kirletici emisyonları azaltmak adına pek çok mühendislik çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar neticesinde pek çok tasarımsal iyileştirme ortaya konmuştur. Hava kademelendirme, gaz kademelendirme, akışı döndürerek karışım performansını artırarak emisyon iyileştirme gibi uygulamalar buna örnek olarak gösterilebilir. Hem ekonomik hem performans anlamında daha büyük iyileştirmeler elde edebilmek adına alternatif yakıt teknolojileri de her zaman gündemde olmuştur. Bu doğrultuda katı, sıvı ve gaz halinde pek çok yakıt brülör sektöründe kullanılmıştır. Fosil yakıtlar yanma sektöründe de çok önemli oranda kullanılmaktadır. Kirletici emisyonlar nedeniyle ortaya konan regülasyonlar sıklaştıkça fosil yakıt kaynaklı emisyonları azaltmak ve aynı enerjiyi daha az yakıt ile üretmek zaruri bir hal almıştır.

Bu doğrultuda havanın içerisinde yer alan azot ve diğer moleküllerden arındırılmış saf oksijenin kullanıldığı oksijen-yakıt prosesleri geliştirilmiştir. İçerisinde azot yer almadığı ve oksitleyici doğrudan yanma reaksiyonuna katıldığı için oksijen-yakıt proseslerinde alev sıcaklıkları hava-yakıt proseslerine göre daha yüksektir. Bu nedenle bu tarz yakıcılarda, yüksek sıcaklık gerektiren uygulamalarda daha düşük bir enerji

tüketimi ile bu sıcaklığa erişebilmek mümkün olmaktadır. Yine azot ve türevlerini içermemesinin getirdiği avantaj ile oksijen yakıcılar konvansiyonel yakıcılara göre daha yüksek verimlerde çalışmaktadırlar. Oksijen-yakıt reaksiyonları, konvansiyonel sistemlere oranla hem daha hızlı hem de oksitleyicinin tamamı kullanılarak gerçekleşmektedir. Bu nedenle yanma proses verimleri %85'a kadar yükselmektedir. Proses verimi uygulanan prosese, yakıt türüne ve baca gazı sıcaklıklarına bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Ayrıca oksijen-yakıt proseslerinde atmosfer havası kullanılmadığı için bir kirletici emisyon olan azot oksit oluşumu gerçekleşmez.



Resim 3 Doğalgaz Yanma Kimyasal Denklemi

1990 yılında ilk olarak İsveç Emisyon vergisi uygulamasına başlamıştır. Emisyon vergisi, sera gazı emisyonlarını ve çevresel etkileri azaltmak amacıyla uygulanan bir vergi türüdür. Bu vergi, belirli bir sektör veya endüstri tarafından salınan sera gazı emisyonlarına göre belirlenir ve bu emisyonlardan sorumlu olan şirketler tarafından ödenir. Günümüzde Norveç, Danimarka, Finlandiya, İngiltere, Almanya, Kanada, Amerika Birleşik Devletleri ve Çin gibi pek çok ülkede emisyon vergisi uygulanmaktadır. Bu gibi uygulamalar neticesinde oksijen-yakıt benzeri emisyon avantajları sağlayan brülörlere yönelim artması beklenmektedir.

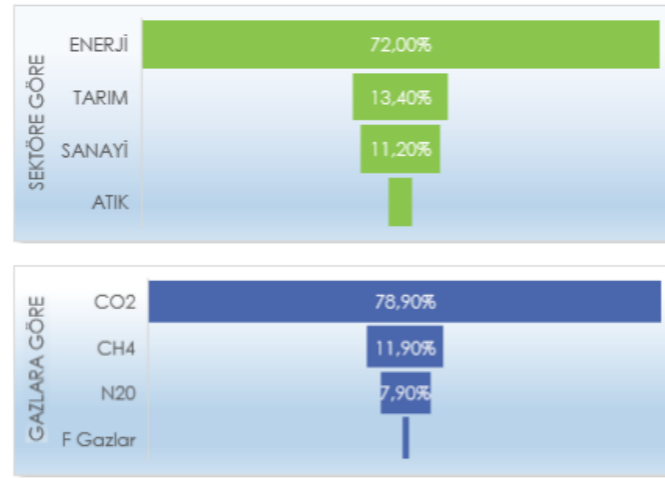
İyi tasarlanmamış brülörler, doğru karışım performansı sergileyemezler. Ayrıca proses tasarımı ve brülör yerleşim konumları doğru olmadığında, yeterli dağılım ve akış oluşturulmaması, yanma hücresinin atmosfer koşullarından arındırılmaması, kontrolsüz oksijen girişi veya ortama baca gazı karışması gibi yanma reaksiyonunu kontrol etmeyi güçleştiren durumlar yanma reaksiyon sürecini bozar. Enerjinin büyük bir bölümünün kullanılmadan bacadan atılmasına, yüksek ısıya sahip baca gazı içerisinde sera gazı emisyonlarının pik yapmasına sebep verebilmektedir.

Doğru yanma koşulları sağlanmadığında baca gazı ile atmosfere salınan zararlı gaz örnekleri;

Tamamen yanmamış metan gazı (CH₄),

Doğru karışım ve reaksiyon süreçleri tamamlanmadığından karbondioksit (CO₂), karbonmonoksit (CO), Azot (N₂), azot oksit (NO) 'dir.

Ülkemiz için yapılan araştırmalarda baca gazı emisyon dağılımı;



Resim 4 GAZBİR-GAZMER "Yakıtlarda Yanma ve Enerji Reaksiyonlarının İncelenmesi" Türkiye Zararlı Baca Gazı Emisyonlarının Dağılım Grafiği

Enerji verimliliğini arttırmak için kullanılan bir diğer yöntem ise atık ısıdaki enerjiyi tekrar sisteme dahil edebilme prensibine dayanmaktadır. Atık ısıdan enerji kazanımı baca tesisatında konumlandırılan reküperatörlerde olabileceği gibi doğrudan brülör üzerinde de yer alabilir. Tek bir brülörün kendi üzerinde yer alan reküperatör ile ön ısıtma sağladığı sistemlere reküperatif brülör, iki brülörün ısı şarj küreleri ile birbirinin baca gazı sıcaklığını kullandığı sistemlerde yer alan brülörlere ise rejeneratif brülör adı verilmektedir. Reküperatif veya rejeneratif brülörler farklı yakıt seçeneklerinde çalışabileceği gibi oksijen-yakıt versiyonları da mevcuttur. Kendinden atık ısı geri kazanımlı brülörlerin verimleri reküperatif brülörler için %85'e, rejeneratif brülörler için %95'e kadar yükselmektedir.

2.2. Ekonomik Analiz

Yıllık çalışma saat süresi, proses bakım süreçleri, vardiya değişimleri gibi sebeplerle 7488 saat (312 gün ve 24 saat olarak) olarak alınmıştır. Türkiye ÇORDAŞ firmasının 14.05.23 tarihli sanayi gaz Nm³ birim fiyatı 8,02 ₺/Nm³ baz alınmıştır. Elektrik

üketim ücretleri yine aynı tarihli TREDAS dağıtım firmasının sanayi elektrik bedeli 2,3 ₺/kWh baz alınarak hesaplanmıştır.

1MW'lık proses için:	Konvansiyonel	Oksi-Yakıt	Rekuperatif	Rejeneratif
Brülöre göre proses verimleri (atık baca gazı ısı verimi)	75%	85%	85%	95%
1MW güç için harcanan doğalgaz miktarı (Nm ³ /h)	104,24	104,24	104,24	104,24
Isı geri kazanımı ile azaltılacak gaz miktarı (Nm ³ /h)	0%	0%	30%	50%
%100 oksijen sayesinde verim artışı ile azaltılacak gaz miktarı	0%	28%	0%	0%
Tüketilecek proses doğalgaz miktarı	104,24	75,05	72,97	52,12
Hava tüketimi (@%3O ₂ - Nm ³ /h)	1146,67	0,00	802,67	573,33
Oksijen tüketimi (@%3O ₂ - Nm ³ /h)	0,00	173,38	0,00	0,00
Doğalgaz maliyeti (₺/h)	836,02	601,94	585,22	418,01
Fan ve elektrik maliyeti (₺/h)	9,20	0,69	16,10	46,00
Oksijen maliyeti (₺/h)	0,00	27,91	0,00	0,00
Brülör ilk yatırım maliyeti (₺)	48.000	65.000	400.000	780.000
Tesisat ilk yatırım maliyeti (₺)	30.000	80.000	370.000	750.000
Fan ilk yatırım maliyeti (₺)	0	0	17.800	160.875
Planlı bakım maliyeti (₺/yıl)	10.000	25.000	50.000	250.000
Oksijen jeneratörü maliyeti (₺)	0,00	6.006.000,00	0,00	0,00
1 yıllık toplam işletme maliyetleri (Doğalgaz+O ₂ +elektrik+bakım)(₺)	6.339.039,13	4.721.494,28	4.552.661,47	3.724.522,76
İlk yatırım maliyeti (₺)	78.000,00	6.151.000,00	787.800,00	1.690.875,00

Tablo 1 Brülör türüne göre maliyet kıyaslama tablosu

Tüm hesaplamalar, konvansiyonel brülör ile standart 1MW güç ihtiyacı üzerinden hesaplanarak, kıyaslama tablosu hazırlanmıştır. Tüm verim, doğalgaz tüketim miktarlarındaki verim artışı sebebi ile elde edilen yakıt tüketim kazanımı, konvansiyonel brülörlere göre hesaplanarak kıyaslanmıştır. Oksijen-yakıt brülörleri için gerekli olan saf oksijenin tedarikinin oksijen jeneratörü ile sağlandığı düşünülerek birim maliyette 0,161 ₺/Nm³ birim fiyat baz alınmıştır. İlk yatırım maliyetlerinde oksijen jeneratörü maliyeti ürün yatırım maliyetine eklenmiştir.

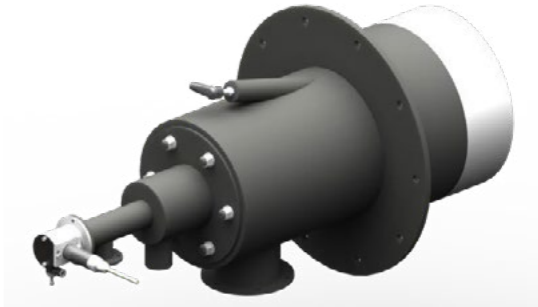
Yapılan kıyaslama tablosu sonuçlarına göre 1 yıllık toplam işletme maliyetleri, ürün ilk yatırım maliyetleri, yaklaşık bakım maliyetleri, ayrı ayrı elde edilmiş olup, yıllık enerji

maliyetlerinden kazanımlar belirlenerek hesaplanmış ve amortisman süreleri hesaplanarak grafik oluşturulmuştur.



Resim 5 Bir Konvansiyonel Proses Brülör

Konvansiyonel brülörler 1-3 yıl gibi kısa vadelerde ilk yatırım anlamında avantajlı görünmesine karşın 3-6 orta vadelerde enerji tüketimlerinin ve verimlerinin düşük olması sebebi ile avantajlarını kaybetmektedir.



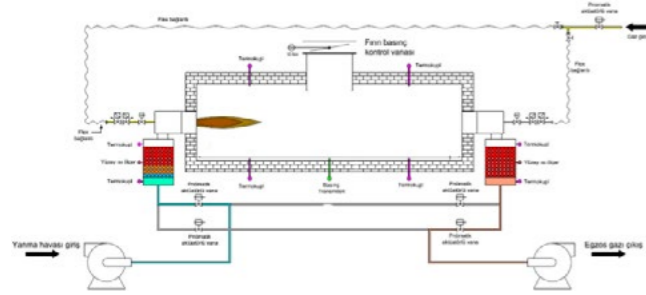
Resim 6 Oksi-Yakıt Proses Brülörü

Oksijen-yakıt brülörleri özellikle saf oksijen ihtiyaçları bulunmasından ötürü ilk yatırım maliyetleri kapsamında oksijen jeneratörü yatırımına ihtiyaç duyduğundan en maliyetli ürün olmaktadır. Fakat 2000°C proses sıcaklıklarına ulaşabilme ve uzun vadede konvansiyonel brülörlere göre verimli oldukları görülmektedir.



Resim 7 Self Rekuperatif Proses Brülör

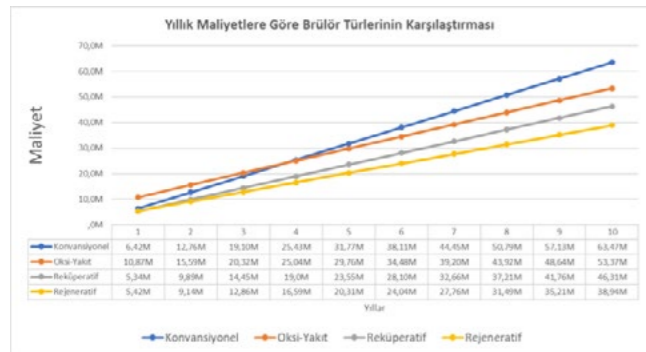
Rekuperatif brülörler ilk yatırım anlamında konvansiyonel brülörlere göre yüksek olmasına karşın, ısı geri kazanım sistemlerinin verime olan etkisi ve gaz tüketim değerlerinde oldukça başarılı sonuçlar elde edilebildiğinden kısa süreçte kara geçme noktasında başarı sağladığı görülmektedir.



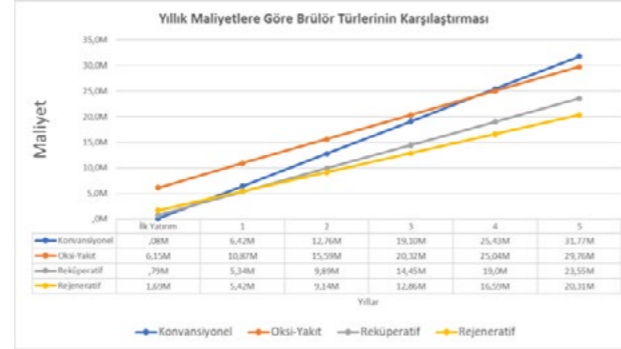
Resim 8 Rekuperatif Brülör Çalışma Sistemi

Rejeneratif brülörler oksji-yakıt brülörler dışında en pahalı ilk yatırım maliyetine sahip sistemler olmasına karşın en verimli yanma elde edilen, ısı geri kazanım sistemleri sayesinde elde ettiği 1000°C üzerinde ön ısıtılmış yakma havası sıcaklık değerleri ile en az gaz tüketim değerine sahip brülör olduğu görülmüştür.

Aşağıdaki Resim 9 ve Resim 10'da bulunan grafiklerde tüm ürünler için ilk yıl sonundan 10. Yıl sonuna kadar geçen kullanım ömrü ile 1MW ısı kapasite ihtiyacı ile tüm maliyetler hesaba katılarak oluşturulmuş grafik bulunmaktadır. 10 yıllık süreçte konvansiyonel brülörlerin işletme maliyetlerinin yüksek olması sebebi ile yaklaşık 3. yıldan sonra avantajını kaybettiği açıkça görülmektedir.



Resim 9 10 Yıllık Maliyetlere Göre Brülör Türlerinin Karşılaştırılması



Resim 10 İlk yatırım sürecinden 5. Yıl sonuna kadar maliyetlere göre brülör türlerinin karşılaştırılması

İlk yatırım maliyetlerine bakıldığında konvansiyonel brülörlere göre diğer alternatiflerin doğalgaz tasarrufu sağlayarak ekonomik kazanımlar elde ettiği, sırası ile oksji yakıt brülörlerin yaklaşık 45 ay, Rekuperatif brülörlerin 6 ay, Rejeneratif sistemlerin 8 ayda brülör ilk yatırım maliyetlerini karşıladığı görülmektedir.

İlk yatırım maliyetlerinde brülör, oksitleyici ve gaz hatlarının tamamı değerlendirmeye katılmış olup, proseste kullanılacak fırın pota vb. proses altyapısı ile ilgili durumlar hariç tutulmuştur.

3. Sonuçlar ve Tartışma

Proses ihtiyacına göre brülör seçimi yapılması, proses tasarımı yapılırken seçilen brülör türüne uygun yapıda tasarım yapılması enerji verimliliği açısından çok önemlidir.

Enerji maliyetlerinin günümüzde çok yüksek olması, enerjinin verimli kullanılması konusunda büyük önem arz etmekte, verim artışı sağlayan uygulamaların önemini arttırmaktadır.

Yakıcı cihazlar üzerinde geliştirilen teknolojiler, verim artırıcı çalışmalar ile enerjinin verimli kullanılması yönünde oldukça başarılı ilerlemektedir. Günümüz teknolojisi ile olabildiğince verimli brülör çeşitleri ve türleri bulunmaktadır. Sistem tasarımlarında uygun şartları sağlayan en verimli brülör yatırımları ile kısa, orta ve uzun vadede elde edilen avantajlar ile ilk yatırım maliyetlerinin karşılandığı açıkça görülmektedir.

Ayrıca iklim değişikliği ve çevre şartlarına olan zararların minimuma indirilmesi, hatta sıfırlanması amacı ile ortaya çıkmış olan uygulamaların karşılanabilmesi, yakıcı teknolojilerinde yapılan geliştirmeler ve devam eden ARGE çalışmaları ile mümkün olabilmektedir. Emisyon değerlerinin uygulama yükümlülüklerini karşılaması, önde gelen ülkelere başlatılmış olan emisyon vergi maliyetlerinin üretim maliyetlerini etkilememesi adına güncel teknolojinin takibi büyük önem arz etmektedir.

Yapılan çalışmada irdelenen konvansiyonel sistemler, oksji-yakıt brülör sistemleri, rekuperatif brülör teknolojileri,

rejeneratif brülörler ele alındığında Demir-Çelik sektörü için en uygun yakıcı seçeneklerinin kullanımı, üretim maliyetlerinin uygun şartlara çekilmesinde önemli olduğu görülmektedir.

4. Teşekkür

ECOSTAR firmasına bilgi arşivini paylaşması konusundaki destekleri için teşekkürü borç biliriz. 1967 yılında ülkemizde enerji konusunda önemli bir yatırım gerçekleştirerek bugün yanma sektöründe gerçekleştirilen Ar-Ge çalışmalarına öncülük olan Sayın Sami ÖZYILDIRIM ve ayrıca yanma sektörünün ülkemiz için en büyük duayenlerinden olan ve sektöre pek çok yetkin personel kazandıran Sayın İhsan BAYRAKLI'yı minnetle anar ve ışıklar içinde uyumalarını dileriz.

5. Referanslar

1. Eyidogan, M., Kaya, D., Dursun, Ş., & Taylan, O. (2014). ENDÜSTRİYEL TAV FIRINLARINDA ENERJİ TASARRUFU VE EMİSYON AZALTIM FIRSATLARI. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 29(4). <https://doi.org/10.17341/gummfd.76579>
2. Bozkurt, Ö., & Kaya, M. (2021). CFD Destekli Bir Çalışma: Endüstriyel Uygulamalarda Kullanılan Rekuperatif Alüminyum Ergitme Fırınlarının Rejeneratif Sisteme Dönüştürülmesinin İncelenmesi. Mühendis Ve Makina. <https://doi.org/10.46399/muhendismakina.846123>
3. Chen, J., Andersson, K., Leckner, B. G., & Johnsson, F. (2009). Emission control of nitrogen oxides in the oxy-fuel process. Progress in Energy and Combustion Science, 35(5), 385–397. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2009.04.002>
4. Jouhara, H. (2022). Waste Heat Recovery in Process Industries. John Wiley & Sons.
5. Jr, C. E. B. (2010). Industrial Combustion Testing. CRC Press.
6. Industrial Waste Heat Recovery - Potential Applications, Available Technologies and Crosscutting R & D Opportunities. (2015).
7. Akman, A. A., Özkesen, M. R., Aslan, M., Uçar, S., (2022, Şubat 30) Yakıtlarda Yanma ve Enerji Reaksiyonlarının Çevre ile Temel İncelemesi. https://www.gazmer.com.tr/upload/tr/dosya/haberyonetimi/1136/Gazbir-Gazmer-Yanma-Enerji-Cevre_20022022200313-3.pdf
8. Nazilli Ticaret Odası. (2021). Demir Çelik Sektör Raporu. <https://www.naztic.org.tr/wp-content/uploads/2021/08/DEMIRCELİK-donusturuldu.pdf>



Maintenance Technologies

Bakım Teknolojileri

İsdemir'de Özel Statüdeki Ekipmanların Bakım Sistematiği Maintenance Systematics of Equipment in Special Status in Isdemir

Hasan BULUT, Sururi KARAÇORLU, Gökçe ARSLAN

İsdemir Demir ve Çelik
Türkiye

Abstract

In the production facility, there are equipment that must be checked in the criteria determined in the specified periods in accordance with the legal legislations. In İsdemir, all equipment is defined as a tree structure. Defined equipment; it is classified according to its criticality (production, OHS, environment, quality and cost), legal and/or seveso status, and technical features. Appropriate maintenance strategies are applied to each equipment according to the classification result. Legal equipments are checked according to the technical periodic control criteria in the determined standards. Controls and maintenance of legal equipment are recorded.

Due to the high number of legal equipment in İsdemir, a software infrastructure has been created for the all of legal equipment. In accordance with the legal legislation, the sub-classification of the equipments is also carried out separately. Control criteria are defined as periodic preventive maintenance in the maintenance management software used by İsdemir according to these sub-classifications and the same standards are applied in all equipment.

As a result, all equipment is classified in İsdemir, appropriate maintenance strategies are determined and implemented according to the classification result. In this study, planning the technical periodic controls of the equipment determined with the legal legislations, making the controls according to the standard control criteria and taking actions, following up and reporting according to the control results will be shared.

Özet

Üretim tesislerinde yasal mevzuatlar gereği belirlenen periyotlarda, belirlenen kriterlerde, kontrol edilmesi gereken ekipmanlar bulunmaktadır. İsdemir'de tüm

ekipmanlar ağaç yapısı şeklinde tanımlanmıştır. Tanımlanan ekipmanlar; kritiklikliğine (üretim, isg,

çevre, kalite ve maliyet), yasal ve/veya seveso kapsamında olup olmamasına, teknik özelliklerine göre sınıflandırılmaktadır. Her ekipmana sınıflandırma sonucuna göre uygun bakım stratejileri uygulanmaktadır. Yasal kapsamdaki ekipmanların tamamı belirlenen standartlarda teknik periyodik kontrol kriterlerine göre kontrol edilmektedir. Yasal ekipmanların kontrolleri ve bakımları kayıt altına alınmaktadır.

İsdemir'de yasal kapsamdaki ekipmanların sayısının fazla olmasından dolayı tüm yasal ekipmanların takibi için yazılımsal alt yapı oluşturulmuştur. Yasal mevzuat gereği, ekipmanların alt sınıflandırmaları da ayrı ayrı yapılmaktadır. Kontrol kriterleri, bu alt sınıflandırmalara göre İsdemir'in kullandığı bakım yönetim yazılımında periyodik koruyucu bakımlar olarak tanımlanarak, tüm ekipmanlarda aynı standartlarda uygulanması sağlanmaktadır.

Sonuç olarak, İsdemir'de tüm ekipmanlar sınıflandırılmış, sınıflandırma sonucuna göre uygun bakım stratejileri belirlenmiş ve uygulanmaktadır. Bu çalışmada, yasal olarak belirlenen ekipmanların teknik periyodik kontrollerinin planlanması, standart kontrol kriterlerine göre kontrollerinin yapılması ve kontrol sonuçlarına göre aksiyonların alınması, takip edilmesi ve raporlanması paylaşılacaktır.

1. Giriş

İsdemir, çelik üretimi yapan büyük ölçekli bir sanayi kuruluşudur. Bunun sonucu olarak saha da etkin yönetilmeyi bekleyen çok sayıda sistem, makina ve ekipman bulunmaktadır. Tüm bu varlıkların yönetimi belirli bir sistematik ve dijital destek gerektirmektedir. Aynı zamanda bazı varlıkların öz durumları, belirtilen

yönetim sürecini daha da etkin yapılmasını zorunlu hale getirmektedir. Yasal mevzuata tabi ekipmanlar, seveso kapsamındaki ekipmanlar, exproof ekipmanlar ve kritik ekipmanlar belirtilen öz sınıftaki ekipmanlara örnek olarak verilebilir. Bu varlıkların yasalara uygun yönetilmesi, bir taraftan görevimiz olmakla birlikte aynı zamanda vijdani bir sorumluluğumuzdur.

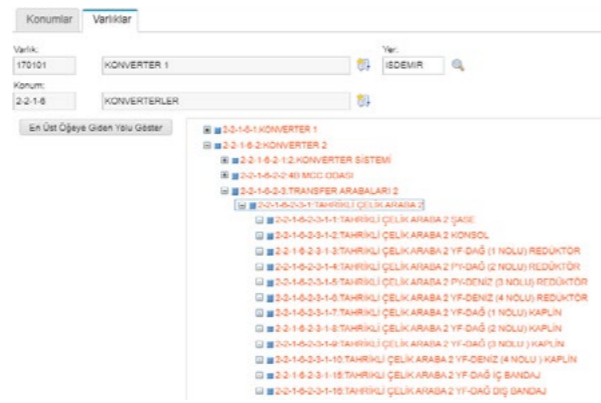
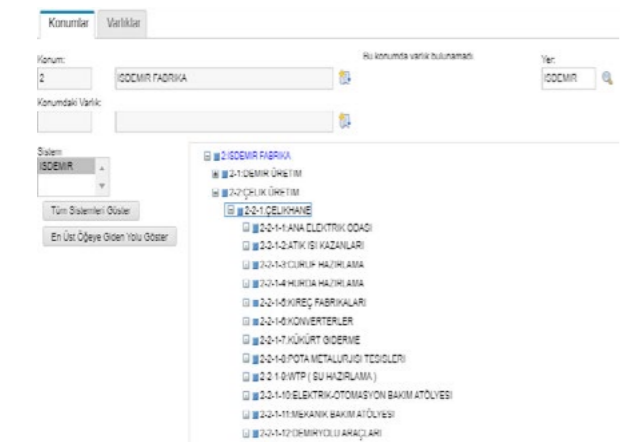
Bu çalışmada özel statüdeki bu varlıkların İsdemir'de nasıl yönetildiği detaylı olarak anlatılacaktır.

2. Özel Statüdeki Ekipmanların Bakım ve Kontrollerinin Yönetimi

İsdemir'de, bakım yönetim sürecinin belirli bir standartta yapılabilmesi için "bakım prosedürü" hazırlanmıştır. bakım prosedüründe; bakım faaliyetlerinin amacı, kapsamı, bakım yaklaşımı, bakım yetkileri, bakım uygulama esasları, varlıkların tanımlanması, sınıflandırılması, kaynakların yönetilmesi, uygulanacak bakım türü ve bakım performans göstergeleri belirlenmiştir.

2.1. İsdemir'de Varlıkların Tanımlanması

Varlıkların yönetilmesi için yaşam döngüsü bir bütün olarak kabul edilerek işletmelerimizdeki tüm varlıklarımız kurulmaya karar verilme aşamasından hurdaya ayrılma aşamasına kadar takip edilmektedir. Varlıkların işletmeye alınmasından itibaren performansının sürekliliği için bakım faaliyetleri başlamaktadır. İsdemir'de varlıkların bakımlarının yönetimi için bilgisayar destekli bakım ve atelye yönetim sistemi (BAYS-Maximo) kullanılmaktadır. Varlıklar, BAYS-Maximo yazılımı içinde varlık ağaç yapısı oluşturularak tanımlanmaktadır. Lokasyon ve varlık ağaç yapısı örneği şekil-1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Lokasyon ve varlık ağaç yapısı örneği

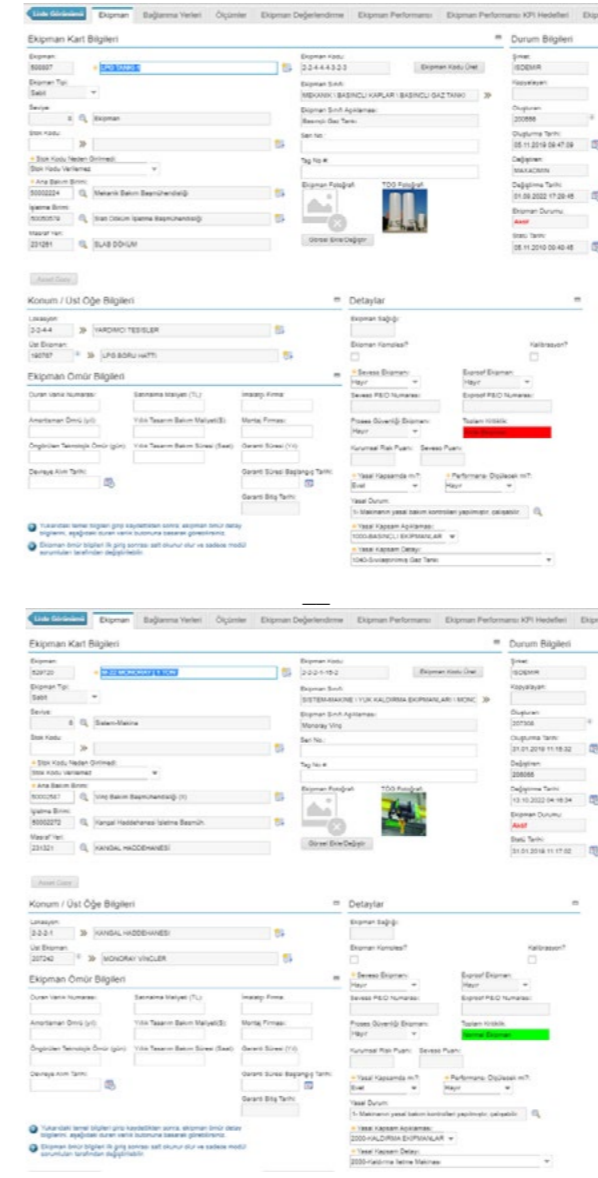
Varlıklar ağaç yapısı mantığı ile kodlanarak kademeli olarak kırınımlar şeklinde takip edilmektedir. Her bir varlık bağlı bulunduğu lokasyona kadar bu yapı içinde görülebilmektedir.

İsdemir'de toplam 239.618 aktif tanımlanmış ekipman bulunmaktadır. Özel statüdeki (yasal, seveso, kritik) ekipmanlar da süreç içinde ağaç yapısına tanımlanmıştır. Her bir ekipmanın kendine has özel durumu ekipman üzerinde belirtilmiştir.

Özel statüdeki ekipmanların tanımlamaları;

- Her bir ekipman ağaç yapısı altında çalıştığı üst ekipmana bağlanır,
- Ekipman sınıfı belirlenir, teknik özellikleri, yedek parçaları, görselleri, teknik projeleri gibi bilgiler varlık bilgileri olarak sisteme girilir,
- Süreç bazında ekipman değerlendirmesi yapılır, yasalık durumu, seveso kapsamı, bakım planları oluşturulur,
- Performansı ölçülecek ekipmanların belirlemesi yapılır, kalibrasyon ihtiyaçları belirtilir,
- Performansı ölçülecek ekipmanların performans kriterleri belirlenir ve tarih aralıklarında sonuçları raporlanacak şekilde,

yapılmaktadır. Ekipman tanımlama sayfası örneği şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Ekipman tanımlama sayfası örnekleri

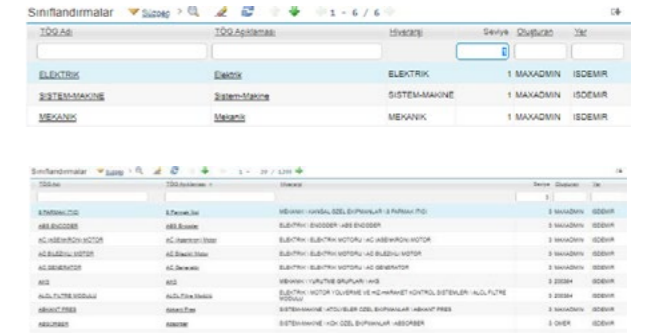
2.2. İsdemir'de Varlıkların Sınıflandırılması

Varlıkların bakımlarının, sınırlı kaynaklar ile gerekli ve yeterli kadar yapılmasını sağlayacak şekilde yönetilebilmesi için sınıflandırılması gerekmektedir. Varlıkların sınıflandırılması bir çok kriterde yapılmaktadır.

2.2.1. Ekipmanların Teknik Özelliklerine Göre Sınıflandırılması

Ekipmanlar varlık bilgisi kapsamında teknik özelliklerine göre sınıflandırılmaktadır. İsdemir'de teknik özellik grupları (TÖG) üç kademeli olacak şekilde sınıflandırılmıştır. Varlık TÖG sınıfı, alt sınıflar ve detay sınıfı olarak kademeler BAYS-Maximo yazılımında

tanımlanmıştır. TÖG ağaç yapısı şekil 3'de gösterilmiştir.

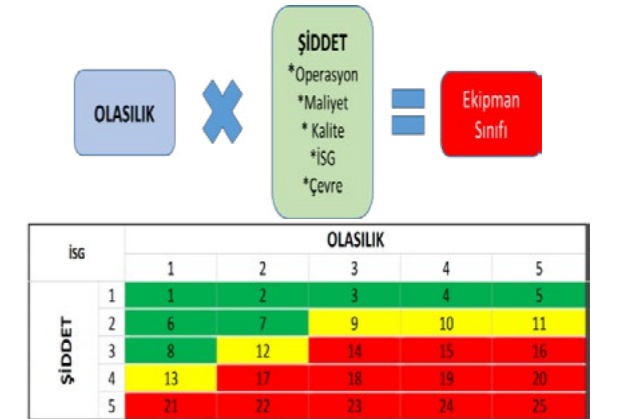


Şekil 3. TÖG ağaç yapısı örneği

Örneğin; "AC (Asenkron) Motor" teknik özellik grubuna göre; Elektrik üst sınıfı, Elektrik Motoru alt sınıfı ve AC (Asenkron) Motor olarak tanımlanmıştır. TÖG seçimi yapıldıktan sonra her TÖG sınıfı için belirlenen örneğin marka, model, güç, strot, tip, kapasite gibi özellikler tanımlanmış, veri girişleri de yapılmaktadır.

2.2.2. Ekipmanların Sürece Göre Sınıflandırılması

İsdemir'de süreç olarak ekipmanlar; operasyonel, maliyet, kalite, İş Sağlığı ve Güvenliği (İSG) ve çevreye etkisi açısından değerlendirilmektedir. Operasyonel değerlendirme işletme ile birlikte yapılmakta ve diğer değerlendirme maddelerinde ise gerekli noktalarda İSG, çevre ve kalite birimlerinden destek alınmaktadır. Süreç sınıflandırması her ekipman için *olasılık x şiddet* matrisine göre yapılmaktadır. Tüm değerlendirme BAYS-Maximo yazılımı içinde yapılmakta ve toplam kritiklik puanı hesaplanmaktadır. Risk değerlendirme puanına göre ekipmanlar kritik, önemli veya normal ekipman olarak sınıflandırılmaktadır. Ekipmanlar için oluşturulan olasılıkxşiddet matrisi örneği şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. Ekipmanların İSG değerlendirmesi
OlasılıkxŞiddet matrisi

2.2.3. Ekipmanların Kapsamına Göre Sınıflandırılması

İsdemir’de kapsam olarak ekipmanlar; proses güvenliği, yasal, seveso, exproof olarak tanımlanmaktadır.

Ekipman sınıfı, yasal olarak seçilen ekipmanların alt sınıfları 2 kademeli olarak belirlenmiştir. Yasal kapsam ekipmanları ilk olarak 9 ana başlıkta tablo 1’de görüldüğü gibi sınıflandırılmakta sonrasında detay olarak alt sınıflandırılma yapılmaktadır. Ekipmanların yasal sınıf seçimleri BAYS-Maximo yazılımında ana başlıktaki seçimlere göre detayda çıkan menüden yapılmaktadır. Örneğin, ana yasal sınıfı 1000-Basınçlı Ekipmanlar için detay sınıflandırma tablo 2’de verilmiştir. Ekipman tanımlama ekranlarında yasal ekipmanlar için bu seçimler yapılmaktadır.

Örneğin; G42 hava tankı kapsam olarak değerlendirilirken; yasal ekipman mı? “evet” olarak seçilmiş; ana yasal kapsam sınıfı “1000-Basınçlı ekipman” ve yasal kapsam detayı “1050- hava tankı” olarak seçilmiştir.

Bu şekilde tanımlı tüm yasal ekipmanlar sınıflarına göre listelenebilmekte ve raporları alınmaktadır.

Yasal Kapsam Kodu	Yasal Kapsam Açıklaması
1000	1000-BASINÇLI EKİPMANLAR
2000	2000-KALDIRMA EKİPMANLARI
3000	3000-TEŞİSAT
4000	4000-TEZGAHLAR (Manuel-NC-CNC)
5000	5000-METALURJİ MAKİNALARI
6000	6000-EL ALETLERİ
7000	7000-KALDIRMA AMAÇLI OLMAYAN İŞ MA
8000	8000-TARIM VE ORMAN MAKİNALARI
9000	9000-ÖLÇÜM ALETLERİ

Tablo 1. Yasal ekipman ana sınıfları

2.2.4. Ekipmanların Performans Değerlendirmesine Göre Sınıflandırılması

Ekipman bazında performans takibi yapılabilmektedir. Performans değerlendirilmesi yapılacak ekipmanların; kullanılabilirlik, güvenilirlik, iki arıza arası ortalama süre (MTBF) ve arızalanmış ekipmanın ortalama tamir süresi (MTTR) değerleri tarih aralığına göre ekipman sayfasında gösterilmektedir. Performansı takip edilen ekipmana ait performans gösterge sayfası şekil 7’de örnek olarak gösterilmiştir.

Ekipman		Ekipman Kodu	
E3945		2-2-16-8-20	
Ekipman Güvenliği			
Sadece Arıza Kaynaklı Duruşlar Baz Alınarak Hesaplanır. Ekipmanın Emre Anında Dura Olmasıdır.			
Formül: (Arıza Kaynaklı Duruşların Toplam Süresi) / (Toplam Çalışma Süresi)			
Güvenlilik Toplam (%)	85,60	Güvenlilik Son 1 Yıl (%)	83,96
Güvenlilik Bu Yıl (%)	83,91		
MTBF			
Arıza Kaynaklı Ortalama Duruş Süresi			
Formül: (Arıza Kaynaklı Duruşların Toplam Süresi) / (Duruş Sayısı)			
MTBF Toplam (Saat/Dakika)	211,26	MTBF Son 1 Yıl (Saat/Dakika)	147,22
MTBF Bu Yıl (Saat/Dakika)	142,26		
MTTR			
Arızaların Ekipmanın Ortalama Tamir Süresi			
Formül: (Arıza Kaynaklı Duruşların Toplam Süresi) / (Duruş Sayısı)			
MTTR Toplam (Saat/Dakika)	0,67	MTTR Son 1 Yıl (Saat/Dakika)	0,66
MTTR Bu Yıl (Saat/Dakika)	0,67		
MDT			
Arıza Kaynaklı Ortalama Duruş Süresi			
Formül: (Arıza Kaynaklı Duruşların Toplam Süresi) / (Duruş Sayısı)			
MDT Toplam (Saat/Dakika)	1,07	MDT Son 1 Yıl (Saat/Dakika)	1,06
MDT Bu Yıl (Saat/Dakika)	1,07		
Kullanılabilirlik (Arıza)			
Sadece Arıza Kaynaklı Duruşlara Bakılarak Ekipmanın % olarak ne kadar çalıştığıdır.			
Formül: (Toplam Süre - Toplam Arıza Duruş Süresi) / (Toplam Süre) * 100			
Arıza Kullanılabilirlik Toplam (%)	99,47	Arıza Kullanılabilirlik Son 1 Yıl (%)	99,25
Arıza Kullanılabilirlik Bu Yıl (%)	99,21		
Kullanılabilirlik (Bakım)			
Sadece Arıza Kaynaklı Duruşlara Bakılarak Ekipmanın % olarak ne kadar çalıştığıdır.			
Formül: (Toplam Süre - Toplam Arıza Duruş Süresi) / (Toplam Süre) * 100			
Bakım Kullanılabilirlik Toplam (%)	99,87	Bakım Kullanılabilirlik Son 1 Yıl (%)	99,71
Bakım Kullanılabilirlik Bu Yıl (%)	99,71		

Şekil 6. Ekipman performans gösterge sayfası

2.3. Yasal Ekipmanların Koruyucu Bakım Tanımlaması

İsdemir’de varlıkların sınıflandırılmasına göre yapılacak bakım metodları belirlenmiştir. Özellikle süreç bazlı sınıflandırma sonrasında ekipmanlara yapılması gereken bakım tipi önerisi sisteme tanımlanmış ve ekipman değerlendirme ekranında uygun bakım tipi belirtilmektedir.

Yasal ekipmanlar için belirlenen bakım periyoduna uygun olarak tüm yasal kapsam sınıfları için teknik periyodik kontrol (TPK) formları ilgili standartlara göre oluşturulmuştur. Tüm TPK formlarındaki kontrol kriterleri BAYS-Maximo yazılımında ilgili yasal sınıfa göre şablon olarak oluşturulmuştur. Yasal ekipmanın sınıfına uygun olarak her ekipman için koruyucu bakımlar tanımlanmıştır. Koruyucu bakımlar yasal kapsamda hazırlandığı takdirde özellikle seçim yapılarak yasal koruyucu bakım olarak işaretlenmektedir. Koruyucu bakımlarda belirlenen kontrol periyoduna bağlı olarak her ekipman için ayrı ayrı olmak üzere otomatik koruyucu bakım iş emri oluşmaktadır.

Ünitelerin yetkin personelinin ilgili TPK formuna göre yaptığı kontrollerin sonuçları ekipmanın üstünde açık bulunan iş emrine kriter bazında uygun/uygun değil olarak girilmektedir. TPK formu yaş imzalı olarak taranarak iş emrine eklenmektedir.

Kontrol sonucuna göre ekipmanların durumu;

- 1- Makinanın yasal bakım kontrolleri yapılmış, çalışabilir

- 2- Makinanın yasal bakım ve kontrolleri yapılmıştır, minör uygunsuzluklar vardır, çalışabilir
- 3- Makinanın yasal bakım kontrolleri yapılmıştır, çalıştırılmaz!

şeklinde işaretlenmektedir. Yasal ekipmanların sonuç seçim ekranı Şekil 7’de gösterilmektedir.

Değer Seç	Açıklama
1- Makinanın yasal bakım kontrolleri yapılmıştır, çalışabilir.	
2- Makinanın yasal bakım kontrolleri yapılmıştır, minör uygunsuzluklar vardır, çalışabilir.	
3- Makinanın yasal bakım kontrolleri yapılmıştır, çalıştırılmaz!	

Şekil 7. Yasal ekipmanların sonuç seçim ekranı

Kontrol sonucunda uygunsuzluk tespit edilen kriterler için sistem tarafından iş bildirimini açılmaktadır. İş bildirimini ilgili bakım birimi tarafından iş emrine dönüştürülerek uygunsuzluk giderilerek iş emri kapatılmaktadır. Uygunsuzluk giderildikten sonra tekrar kontrol iş emri açılarak ekipmanın kontrol sonrasındaki son durumu girilmektedir. Dışarıdan alınan kontrol hizmetlerinde de aynı sistematik uygulanmaktadır.

2.4. Yasal Ekipmanların İSG Yönetim Sisteminde Kullanılması

Erdemir’de tanımlanan tüm ekipmanlar İSG yönetim sistemi ODAK yazılımına aktarılmıştır. BAYS-Maximo yazılımı ile ODAK yazılımı entegrasyon halinde olup güncellemeleri günlük periyotlarda aktarmaktadır. ODAK yazılımına yapılacak yeni entegrasyon ile BAYS-Maximo yazılımında gerçekleştirilen yasal ekipmanların TPK kontrol iş emirleri bilgilerinin aktarılması sağlanacaktır. ODAK yazılımında iş izni ekranında TPK kontrolü devam eden ekipmanların bakım faaliyetlerinde kullanılmaması için sistem ikaz verecektir. İSG faaliyetleri kayıtlarının Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı sayfasına aktarılmasında ODAK yazılımı yasal ekipmanlar için BAYS-Maximo yazılımından entegrasyon ile aldığı verileri kullanacaktır.

2.5. Raporlar

Tüm ekipmanlar için gerek süreç gerekse performans raporları ihtiyaçlara göre tasarlanmış ve kriterler bazında alınabilmektedir. Özellikle yasal ekipmanlar için liste raporları, yasal sınıflara göre dağılım raporları direk

yazılım üstünden kriterleme yapılarak alınabilmektedir. Liste raporları haricinde;

- Bakım başmühendislikleri KPI raporu
 - Yasal ekipman tanımlama raporu
 - Yasal ekipman gerçekleştirme raporu
- Yasal kapsamdaki ekipmanların durum raporu
- Yasal kapsam bakım raporu
- Yasal kapsam koruyucu bakım liste raporu

BAYS-Maximo yazılımından alınabilmektedir. Bunlar dışında ekipmanlar için alınan tüm raporlar, kriter ekranından yasal ekipman seçilerek yasal ekipmanlar için de kullanılmaktadır.

3. Sonuç

İsdemir’de tüm ekipmanlar sınıflandırılmış, sınıflandırma sonucuna göre uygun bakım stratejileri belirlenmiş ve uygulanmaktadır. Yasal ekipmanların teknik periyodik kontrolleri belirlenen periyotlarda BAYS-Maximo yazılımı iş emirleri ile yapılmakta ve sonuçlarına göre aksiyonlar alınmakta, tespit edilen uygunsuzluklar varsa giderilmektedir. Tüm faaliyetler BAYS-Maximo yazılımı ile yasal ekipman ve iş emri bazında kayıt altına alınmaktadır. Yasal ekipmanlara ait raporlar istenilen kriterlere göre düzenlenmektedir.

Kısaltmalar:

BAYS-Maximo	: Bakım ve Atelye Yönetim Sistemi
TÖG	: Teknik Özellik Grubu
İSG	: İş Sağlığı ve Güvenliği
MTBF	: İki arıza arası ortalama süre - Mean Time Between Failure
MTTR	: Arızalanmış ekipmanın ortalama tamir süresi - Mean Time To Repair
TPK	: Teknik Periyodik Kontrol
KPI	: Anahtar/Temel Performans Göstergesi – Key Performance Indicator

Referanslar:

- [1] IBM Maximo yazılımı

Hadde Atölyesinin Dijitalleşme İle İzlenebilirliğini ve Verimliliğini Artırmak Improving the Traceability and Efficiency of Roll Shop By Digitalization

İlhami M. ORAK¹, Muharrem ERGÖKTAŞ², Burak ESEN²

¹Karabük Üniversitesi, ²Teknoplan Mühendislik
Türkiye

Abstract

In today's world, technological advances and digital transformation have initiated a major change and development process in the industry. Using today's digital technologies will also provide gains in terms of efficiency and optimization in iron and steel industry in general and also one of its division called roll shop specifically. With the digitization of the processes in the rolling processes and the analysis of the data received from the sensors in the field, all of the production processes can be monitored and controlled in real time. Thus, it can be ensured that the performance, condition, processing time and efficiency of the rolling equipment in the production line can be continuously monitored. Detailed information about the maintenance and repair of rolling equipment can be collected and the stock status of the parts of the equipment can be followed. According to the reports generated as a result of the digitalization of rolling systems, several advantages such as optimizing production processes, reducing operational costs, increasing quality and traceability, shortening production processes, providing better planning and management will be possible. In addition, it will be possible to reduce unexpected equipment failures and thus increase productivity by monitoring equipment lifetimes. In this article, the Roll Shop Management System developed to digitally monitor all the activities of the roll shop in wire-rod rolling (WRM) mill has been examined.

1. Introduction

In today's competitive manufacturing environment, the efficiency of industrial facilities, cost reduction, and optimization of processes are of critical importance. The digital transformation movement known as Industry 4.0 aims to achieve these goals by integrating smarter, automated, and connected systems into production facilities. [1] Rolling mills are facilities used in the production and processing of metals. In these facilities, metal sheets, strips, bars, and coils are shaped, thickness is reduced, or they are transformed into materials with specific properties through the rolling process. The maintenance, repair, planning, and preparation of equipment according to production are carried out in the roll shops. Roll shops are the sections where maintenance, repair, adjustment, and change of rolling mill stands and rolls are performed. [2]

The maintenance and preparation processes of equipment in metal processing facilities such as roll shops can undergo

significant improvements through digitalization. Industry 4.0 has gained significant importance as a concept heavily utilizing digital transformation and smart manufacturing technologies in the industrial sector. Industry 4.0 represents a transformation process that fundamentally changes production processes and the way businesses operate. [3] Digitalization, on the other hand, refers to restructuring and optimizing business processes using digital technologies that are more efficient, faster, and lower cost than traditional methods. [4]

Digitalization leads to the rapid acquisition of field data, resulting in the generation of various and big data. In a study conducted by S. Ma and colleagues, they examined how big data, along with digital twin technology, can be utilized for sustainability and smart manufacturing in two companies (A and B) in South and North China. Digital twins are virtual models that monitor and analyze real-time operational data. According to the study, in company A, the implementation of the model based on digital twin data resulted in at least a 3% reduction in energy consumption and energy costs in the production unit. Additionally, the analysis of the entire life cycle from "cradle to gate" using big data reduced Company B's environmental protection costs significantly. The research concluded that digital twins and big data have the potential to provide sustainable smart manufacturing in energy-intensive industries. By employing these technologies, energy efficiency can be increased, production processes improved, waste and scrap reduced, and contributions made to sustainability goals. [5]

Z. Liu and colleagues aimed to develop an intelligent scheduling method for workshops by integrating digital twin technology. They conducted a study to demonstrate the efficiency of their proposed smart scheduling strategy using a gear production workshop for aircraft engines as an example. By integrating the digital twin, they were able to prevent time loss for non-production activities and improve production efficiency. [6]

In order to solve the significant and complex equipment maintenance planning problem in a rolling mill, W. Qin and colleagues analyzed the characteristics of equipment maintenance planning in the steel industry. They developed a two-stage optimization approach using rule-based pre-planning and genetic algorithms to further optimize maintenance planning. The proposed two-stage optimization approach significantly reduced human errors, increased efficiency in creating equipment maintenance plans, and improved the rationality and scientificity of maintenance

plans. [7]

In this article, the aim is to develop software that enables the acquisition of data related to digitalization in a roll shop and utilizes this data in subsequent stages based on current applications.

The developed system for the roll shop will allow for the systematic acquisition of data related to the equipment and systems used in the rolling process. By analyzing these data and leveraging artificial intelligence technologies, it will be possible to conduct a detailed evaluation and control of the production processes.

The Roll Shop Management System, together with Level-2 integration, establishes a connection between the materials produced and equipment, providing information for quality control. It even allows for real-time reporting of equipment failures by monitoring the working equipment. Level-2 software is a software layer used in industrial automation systems. It continuously communicates with automation control systems to monitor the production line and production process. Level-2 collects and analyzes operational data, plans, and manages the production process based on this data.

By integrating Level-2, the following gains can be achieved through live monitoring and real-time analysis:

- Real-time monitoring of production processes
- Analysis of performance data
- Quick decision-making
- Tracking of all business processes
- Increased efficiency
- Facilitating enterprise management
- Gaining a competitive advantage in the industry
- Reducing costs
- Creating a sustainable production environment

The Roll Shop Management System also provides information based on equipment stock status for production-related equipment pre-preparation and planning. It guides operators through equipment changes and maintenance processes. The Roll Shop Management System is a crucial factor in increasing the efficiency of rolling mills, improving quality control, and optimizing maintenance management.

2. Experimental Studies

In order to monitor all activities of the roll shops that serve rolling mills through digital integration, the Roll Shop Management System has been developed. The Roll Shop Management System allows for tracking all business processes of the rolling workshop in a single environment and enables effective planning, management, maintenance, and coordination with real-time data. During this study, the identification of equipment that needs to be monitored in the rolling workshop was conducted, including rolls, rings, passes, guides, casings, reels, roller stands, and bearings, along with their specific characteristics. The relationships between the identified equipment were analyzed to design the

digital execution of business processes. A software was developed within the framework of the designed process for efficient execution of the processes. The fundamental features of the Roll Shop Management System are detailed in the subsections of this section.

2.1. Equipment Tracking

The Roll Shop Management System enables recording all equipment used in the roll shops and provides the capability to monitor them throughout their lifecycle as depicted in Figure 1.

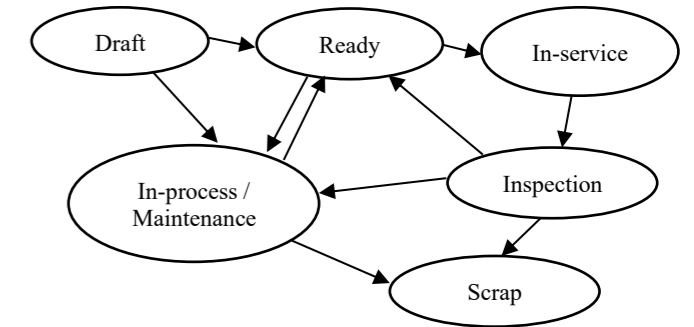


Figure 1. Example equipment lifecycle for the system

When equipment is initially defined, it is in the draft state, and depending on its condition, it can be declared as Ready for service and made available for use. Some equipment may undergo processing or maintenance (e.g., opening a pass for rolls) after the draft state.

Equipment in the Ready state can be put into service and used, and equipment in the Ready state, which is waiting in stock, can be taken back for maintenance. Equipment that comes out of service always goes into the Inspection status. After inspection, equipment can be taken for maintenance or directly categorized as Ready or Scrap based on its condition and sent to stock.

As shown in Figure 2, the software allows for defining technical specifications specific to each equipment, tracking maintenance history, usage time, and other relevant data. Real-time status tracking is also possible for each equipment individually.

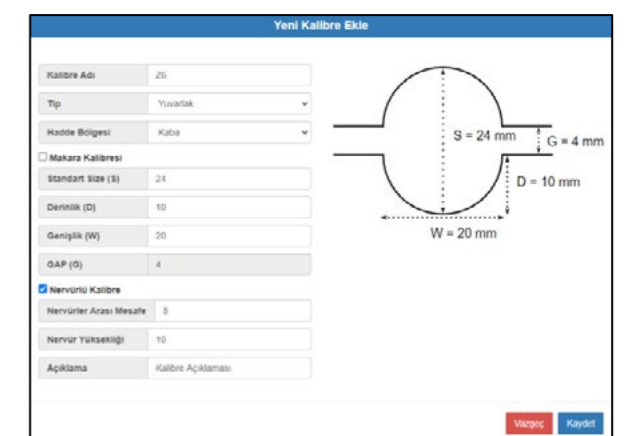


Figure 2. Identifying the roll and ring pass caliber

With the implemented software, equipment statuses can be monitored in real-time, providing the ability to obtain up-to-date information on availability, maintenance needs, and faults. This information is crucial in determining when equipment can be used for production (as shown in Figure 3).

Kontrol	Edilebilir	Sıkıştırıcı	İşlevsel	Servis Hazır	Çalışır	Montaj Planları	Hazır Durumlar
No	Hadde Tipi	Takım No	Durum	Onay Tarihi	İşlem		
15104	Kaba	KDM400 - KDM410	Hazır	22/09/2020 12:16	✓		
15129	Meer Drive	T502 - T503	Hazır	14/10/2020 10:56	✓		
15130	Meer Drive	X501 - X502	Hazır	14/10/2020 10:59	✓		
15131	Meer Drive	Z5 - Z6	Hazır	14/10/2020 11:00	✓		
15132	Meer Drive	-	Hazır	14/10/2020 11:00	✓		

Figure 3. Confirmation and status information of roller sets

2.2. Live Tracking and Real Time Analysis

The roll shop managers and operators can now track production processes in real-time, analyze performance data, and make quick decisions using the developed software. For instance, they can monitor current values, such as which pass is active in which roll during the production phase and the amount of tonnage produced (as shown in Figure 4). An alert mechanism is activated for deciding on the replacement of a pass that has reached the end of its lifespan.

23	Meer Drive	0.23612023 80.06.35	1	2	3	Y102	01.000	04.000	• Bir pasoda
			50	50	50				• Çıkış yoluğun değişimi gerektirir.

Figure 4. Pass tonnage and analysis values of the ring in real time

Based on the alerts, after a pass replacement is performed on-site, the program can activate the relevant pass through the active stands panel, as shown in Figure 5. During this process, the software also allows recording additional information such as the previous pass status and the reason for the change.

Paso Değişikliği

Aktif Paso

3. Paso: T

Tonaj: 0

Durumu: Açılmıy

Son Değişim Sebabi: Fırt Değişim

Yeni Paso

4. Paso: R15

Tonaj: 0

Durumu: Değişim

Son Değişim Sebabi: Çatık

Durum: Açılmıy

Değişim Sebabi: Proses

İşlet

Pasajın Servisi Al

Figure 5. Active pass change of the roller in service

2.3. Maintenance Management

The Roll Shop Management System has a user-friendly interface that facilitates the planning and tracking of equipment maintenance processes (as shown in Figure 6). This enables easy identification of maintenance needs.

Ayak Kontrol

Ayak No: F5

Açıklama

Takım No: KDM 25 - KDM 25

No	Katman	Tonaj	Önceki Durum	Sonraki Durum	Önceki Değişim Nedeni	Sonraki Değişim Nedeni
1	R24	678.0	Açılmıy	Açılmıy	İşlem yapılmadı	Proses
2	R24	0.0	Açılmıy	Açılmıy	İşlem yapılmadı	İşlem yapılmadı
3	R15	2034.0	Açılmıy	Açılmıy	Proses	Proses
4	R15	6534.0	Kırık	Kırık	Kırık	Kırık
5	R15	0.0	Çatık	Çatık	-	Yık
6	R15	0.0	Açılmıy	Açılmıy	İşlem yapılmadı	İşlem yapılmadı

Hızlı Kontrol

Hadde	Katman	Tipi	Çerçeve	Denetim	Standart Size	İşleme Mik.	Nervörel Aralık Mik.	Nervörel Yık.
Kaba	R24	Çatık	20	10	24	6	5	10
Ara	R15	Yuvartık	30	10	24	6	5	10

Yolluk

Yolluk Giriş Sicil No: R201522

Yolluk Çıkış Sicil No: R201556

Vazgeç Kaydet

Figure 6. Condition control and maintenance of out-of-service equipment

For the roll shop, the software streamlines and improves the regularity and effectiveness of equipment maintenance (as shown in Figure 7).

The tracking of equipment maintenance needs allows for timely interventions and preventive maintenance practices, leading to increased efficiency in the roll shop, prolonged equipment lifespan, and prevention of breakdowns and unexpected downtimes.

Takım CNC İşleme Onayla

İsteyiş: Geniş

İşl. Mik. (mm): 12

İşlemin Başlangıç Tarihi: 09/29/2020 11:47 PM

Nervörel İşlenecek.

No	Katman	Tonaj	Önceki Durum	Önceki Değişim Nedeni	İşle
1	R24	0.0	Açılmıy	-	İşle
2	R24	0.0	Açılmıy	-	İşle
3	R15	0.0	Açılmıy	-	İşle
4	R15	0.0	Açılmıy	-	İşle
5	R15	0.0	Açılmıy	-	İşle
6	R15	0.0	Açılmıy	-	İşle

Hızlı Kontrol

Hadde	Katman	Tipi	Çerçeve	Denetim	Standart Size	İşleme Mik.	Nervörel Aralık Mik.	Nervörel Yık.
Kaba	R24	Çatık	20	10	24	6	5	10
Ara	R15	Yuvartık	30	10	24	6	5	10

Vazgeç Onayla

Figure 7. Creating a pass on a roller in maintenance

2.4. Equipment Planning

The developed software simplifies equipment planning for production and preparation for production. As a result, production processes become more efficient, and workforce and resource utilization are optimized. With reference to production plans, it enables managing equipment requirements and availability, as illustrated in Figure 8.

Yeni Ayak Planı Ekle

Hadde Tipi: Kaba

Ayak Sicil No: T4

Takım No: KDM80 - KDM81

Giriş Yolluk: R201521

Çıkış Yolluk: R201564

Makara Sicil No: P100, 001

Statik Sicil No: P100, 001

Vazgeç Kaydet

Figure 8. Creating equipment plan for rolling

A production plan is created to maintain information about equipment for production. When the production time comes, the relevant plan is selected, and equipment is loaded into the system as a package. After the equipment has been used, it can be removed from the system as an equipment package, leaving them for production tracking. Equipment can be inspected and transferred to maintenance or stock accordingly.

By determining equipment requirements based on production plans, the availability of equipment at the right time and place is ensured. Planning helps prevent operator errors and increases efficiency. By processing past planning data, new plans can be optimized.

2.5. Quality control

The software supports monitoring and controlling the quality of produced items. With Level-2 integration, a link is established between products and equipment. The roll shop equipment produced by the equipment or used in the production of the product is determined. Equipment performance can be determined by defining equipment-quality parameters based on the quality of produced materials. Additionally, it allows tracing faulty products caused by equipment. This is an essential feature that contributes to maintaining quality standards and enhancing customer satisfaction.

2.6. Data Analysis and Reporting

The software provides advantages in terms of decision-making and support systems by collecting data, conducting analyses, and generating reports in the roll shop. This enables the monitoring of critical data such as production efficiency, equipment usage, maintenance costs, and real-time maintenance reports for bearings as shown in Figure 9, allowing for the evaluation of operational performance.

Çalışan	Hurd	Ayak	Punta Alt Sicil	Punta Alt Poz. / Tonaj	Punta Üst Sicil	Punta Üst Poz. / Tonaj	Tahrik Alt Sicil	Tahrik Alt Poz. / Tonaj
T2003811	1 / 0	T20031432	154032020 15.49	1 / 0	T2003813	1 / 0	154032020 15.49	1 / 0
<p>1. pozisyondaki Punta Alt rulmanın değişme zamanı geldi. (2 gün geçti.)</p> <p>3. pozisyondaki Punta Üst rulmanın değişme zamanı geldi. (2 gün geçti.)</p> <p>1. pozisyondaki Tahrik Alt rulmanın değişme zamanı geldi. (2 gün geçti.)</p> <p>1. pozisyondaki Tahrik Üst rulmanın değişme zamanı geldi. (1 gün geçti.)</p> <p>1. pozisyondaki Eksenele Alt rulmanın değişme zamanı geldi. (2 gün geçti.)</p> <p>2. pozisyondaki Eksenele Üst rulmanın değişme zamanı geldi. (0 gün geçti.)</p>								
F8	T1278	1 / 0	T1279	1 / 0	T1280	1 / 0	T1281	1 / 0
	154032020 15.19	1 / 0	154032020 15.19	1 / 0	154032020 15.19	1 / 0	154032020 15.19	1 / 0
	T131231	1 / 0	T131232	1 / 0	T131233	1 / 0	T131234	1 / 0
	154032020 15.16	1 / 0	154032020 15.16	1 / 0	154032020 15.16	1 / 0	154032020 15.16	1 / 0

Figure 9. Instant maintenance report of bearings

Along with various analyzes of the data collected with the program helps to evaluate the efficiency of use of equipment, process improvements and potential capacity increases. This helps make better decisions and improve business processes.

2.7. Integration and Customization

The Roll Shop Management System seamlessly integrates with other business systems and facilitates data sharing. For example, integration with Level-2 systems allows obtaining information about which equipment is processing which products during production and the amount of production carried out by the equipment during its usage. It enables the tracking of equipment-related faults, alarms, or other events.

New equipment stock information or existing stock data can be transferred from like ERP systems. If a separate maintenance management system exists, maintenance-related data can be transferred as well. Moreover, the software's customizable nature allows it to be tailored to the specific needs and processes of the roll shop.

2.8. Stock management

The software enables real-time monitoring of stock levels, as shown in Figure 10, and facilitates the optimization of material procurement. The status of equipment can also be tracked in the inventory. This helps prevent unnecessary stock holding and contributes to reducing the costs of rolling mill businesses.

Stok Sahası	Raf	Yatay No - Dikey No	Adet	Stok Tipi	İşlem	Tipi	Hadde Tipi	Durumu
A	R1	A - 1		Merdane	✓	Merdane	Kaba	Tasliak
A	R1	A - 2		Merdane	✓	Merdane	Kaba	Tasliak
A	R1	A - 3		Merdane	✓	Merdane	Kaba	Tasliak
A	R1	B - 1		Merdane	✓	Merdane	Ara	Yola Girebilir
A	R1	B - 2		Merdane	✓	Merdane	Ara	Yola Girebilir

Figure 10. Placement of rolling equipment in stocks

2.9. Remote Access and Monitoring

The Roll Shop Management System is developed as a web application, providing users with remote access. This allows managers and experts to monitor the production process, access data, and make data-driven decisions remotely. Additionally, it simplifies process optimization by offering remote intervention and management capabilities.

3. Results

The Roll Shop Management System can bring significant improvements in equipment maintenance and preparation for production processes. Utilizing big data analytics with data from sensors, it can be employed to monitor equipment performance, track maintenance needs, optimize production processes, and increase efficiency. With the software designed and developed for the roll shop, the tracking and management of the rolling equipment has been digitized. In this way; reduced breakdowns, shorter downtime, and increased productivity are achieved. Better organization of workflows, reduced operator errors, and more effective use of time and resources have been achieved. The benefits provided by Industry 4.0 and digitalization to the rolling mill industry have increased the competitiveness of the industry and constituted an important step for future sustainability.

The developed system allows storing data about roll shop equipment, their lifespans, usage characteristics, faults, and other desired information. Long-term data collected will create a valuable environment for data analysis. Data mining and artificial intelligence techniques applied to this data will enable the creation of meaningful insights and models.

Acknowledgements

We would like to thank Muhlis Yeni for his helpful suggestions, contributions and comments.

References

- [1] Favoretto, C., Mendes, G.H.d.S., Filho, M.G., Gouvea de Oliveira, M. and Ganga, G.M.D, Digital transformation of business model in manufacturing companies: challenges and research agenda, *Journal of Business & Industrial Marketing*, (2022) 748-767.
- [2] Angelo, G; Claudio, T. , Roll Shop Simulator: For Roll Shop design, *Steel Times International*, (2011) 24-25.
- [3] Ustundag, A., & Cevikcan, E, Industry 4.0: Managing The Digital Transformation. Springer Series in Advanced Manufacturing, (2018) 3-20.
- [4] Reis, J., Amorim, M., Melão, N., & Matos, P. Digital Transformation: A Literature Review and Guidelines for Future Research. *Trends and Advances in Information Systems and Technologies*, (2018) 411–421.
- [5] Ma, Shuaiyin & Wei, Ding & Liu, Yang & Ren, Shan & Yang, Haidong. Digital twin and big data-driven sustainable smart manufacturing based on information management systems for energy-intensive industries. *Applied Energy*. (2022), 326.
- [6] Liu, Zhifeng & Chen, Wei & Zhang, Caixia & Yang, Congbin & Cheng, Qiang. Intelligent scheduling of a feature-process-machine tool supernetwork based on digital twin workshop. *Journal of Manufacturing Systems*, (2020), 58.
- [7] Qin, Wei & Zhuang, Zilong & Liu, Yang & Xu, Jie. Sustainable service-oriented equipment maintenance management of steel enterprises using a two-stage

optimization approach. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, (2022),75.

Yüksek Performanslı Sıcak İş Takım Çeliklerinin Mekanik ve Tribolojik Özelliklerinin Karşılaştırması Comparison of Mechanical and Tribological Properties of High Performance Hot Work Tool Steels

Volkan KARAKURT¹, İdris ALAGAŞ¹, Ahmet Furkan KELEŞ¹, Onur ÖZER¹, Hayrettin AHLATCI²

¹Sağlam Metal, ²Karabük Üniversitesi
Türkiye

Anahtar Kelimeler: 1.2344, 1.2367, 1.2367 VAR, Hadde Bıçakları

Abstract

Rolling knives are made of conventional tool steel 1.2344 quality hot work tool steel, which has better resistance to tempering than cold work tool steels and many hot work tool steels. However, in recent years, when it is desired to increase the mass production speed in rolling mills, it is observed that 1.2344 steel does not adequately meet the needs. 1.2367 and 1.2367 VAR tool steels, which have high wear resistance and can maintain their hardness at high temperatures, are foreseen as an alternative to 1.2344 (X40CrMoV5-1) tool steel in order to get optimum efficiency from flying shear blades and to minimize blade costs in businesses. In this study, the type of blade material, the material's heat treatment history, the material's working conditions, and the material's heat treatment history, the factors affecting the deformation of the material were examined and evaluated.

Özet

Hadde bıçakları, menevişlenmeye karşı direnci soğuk iş takım çeliklerinden ve birçok sıcak iş takım çeliğinden daha iyi olan konvansiyonel takım çeliği 1.2344 kalite sıcak iş takım çeliğinden yapılmaktadır. Ancak son yıllarda haddehanelerdeki seri üretim hızının artırılması istendiğinde 1.2344 çeliğinin ihtiyaçlara yeterince cevap vermediği gözlemlenmektedir. Uçar makas bıçaklarından optimum verim almak ve işletmelerde bıçak giderlerini en aza indirmek için 1.2344 (X40CrMoV5-1) takım çeliğine alternatif olarak yüksek aşınma dayanımına sahip ve yüksek sıcaklıklarda sertliğini koruyabilen 1.2367 ve 1.2367 VAR takım çelikleri öngörülmüştür. Bu çalışmada, bıçak malzemesinin cinsi ve malzemenin ısı işlem geçmişi ile malzemenin çalışma şartları ve malzemenin deformasyonuna etki eden faktörler incelenmiş ve değerlendirilmiştir.

1. Giriş

Demir çelik sektöründe, haddehanelerde sıcak haddelenmiş kütük mamullerini kesmek için kullanılan uçar makas

bıçakları, maruz kaldıkları yüklerden ve çevresel şartlardan dolayı aşınma, kırılma ve kalıcı deformasyona (ezilme) 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. Haddehanelerde kullanılan uçar makas bıçaklarının aşınma dayanımlarını iyileştirmek için 1.2344 (X40CrMoV5-1) takım çeliğine alternatif olarak seçilen 1.2367 ve 1.2367 VAR çeliğin ısı işlem parametrelerinin belirlenmesi son derece büyük bir önem arz etmektedir. Zira bıçağın sıcak aşınma direncinin yüksek olması için menevişlenmeye karşı direncinin de fazla olması ve yüksek sıcaklıkta uzun süre sertliğini yitirmeden tok kalması gerekmektedir. İşletmelerin sürekli olarak üretim hızını ve üretim kapasitelerini arttırmak istemesi ve haftalık duruşların minimuma çekilebilmesi noktasında bıçaklar önemli bir rol oynamaktadır. Üretim esnasında bir bıçağın değiştirilmesi 40 dk ve hasara uğrayan bıçağın yeniden kaynak ve taşlama işleri ise yaklaşık 3 saat sürmektedir. Haddelenen mamullerin kesilmeden sevkiyatının da yapılamayacağı düşünüldüğünde konunun önemi bir kez daha anlaşılmaktadır.

Bu çalışmada Haddehanelerde sıcak hadde yarı ürünlerini (kütük, lama, yuvarlak v.b.) kesmek için kullanılan 1.2344 kalite uçar makas bıçağına alternatif olarak önerilen: konvansiyonel yöntemle üretilmiş 1.2367 ve VAR (Vakum Ark Yeniden Ergitme) üretim yöntemi ile üretilmiş olan 1.2367 VAR kalite çeliklerin laboratuvarında Block-on-Ring aşınma ve gerçek ortamda (Hadde) servis testleri yapılmıştır.



Şekil 1. Gerçek ortamda hadde ömür testlerinin yapıldığı sıcak hadde tezgâhı

2. Deneysel Çalışmalar

Bu çalışmada, haddehanelerde sıcak kesim bıçak uygulamalarında DIN 1.2344, 1.2367 ve 1.2367 VAR kalite sıcak iş takım çeliklerinin laboratuvar koşullarındaki mekanik özellikleri, aşınma dayanımları ve devamında da hadde uygulamalarındaki gerçek çalışma performansı değerlendirilmiştir.

2.1. Malzemelerin Kimyasal Analizi

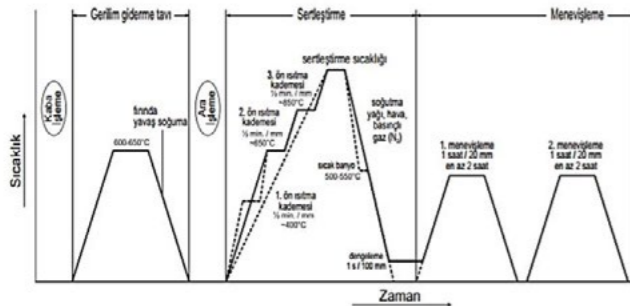
Bıçak malzemelerin kimyasal bileşimleri, Spektramax marka spektral analiz cihazında yapılmış olup Çizelge 1'de incelenen takım çeliklerin kimyasal bileşimleri verilmektedir.

Çizelge 1. DIN 1.2344, 1.2367 ve 1.2367 VAR 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
1.2367 VAR	0.37	0.40	5.00	3.00	0.50	0.60

2.2. Malzemelerin Isıl İşlemleri

DIN 1.2344, 1.2367 ve 1.2367 VAR malzemelerin Östenitleme işlemi vakum fırınında 1050⁰ C'de yapılarak 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.



Şekil 2. DIN 1.2344, 1.2367 ve 1.2367 VAR malzemelerine uygulanan ısıl işlem basamakları

2.3. Sertlik Testi

Malzemelerin meneviş sertlikleri QATM- QNESS 150R markalı cihaz ile Rockwell sertlik test cihazında (C-Scale) ile ölçülmüştür. Rockwell yöntemi kullanılan ölçümlerde, 10 kg minör yük ve ardından 150 kg majör yük 15 saniye süreyle uygulanmıştır. Sertlik değerleri, numune başına ortalama 5 test yapılarak ortalamaları rapor edilmiştir.

2.4. Aşınma Testi

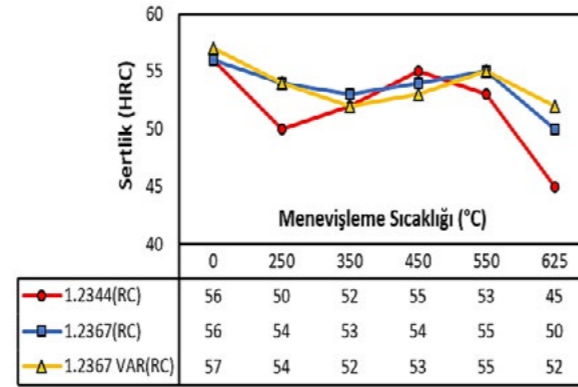
Isıl işlemi yapılmış olan 14x19x55 mm boyutlarındaki numunelere aşınma deneyleri abrasiv tambur üzerinde blok tipi aşınma (Block-On-Ring) cihazında Ø150x500 mm boyutlarında tambur üzerine 220 mesh ölçülerinde zımpara ile kaplanarak, 30 ve 50 N yükde 300 devir/dakika hız ile toplamda 18'er metre aralıklarla toplamda 54 metre yol aldırılarak gerçekleştirilmiştir. Aşınma deneyi süresince numunenin daima temiz zımpara üzerinde sürtünmesi için zımpara kaplı tambur dönerken numune tutucu kol yatay eksende hareket ederek zımpara kağıdında spiral şekilli iz oluşturmuştur.

SAĞLAM METAL A.Ş tarafından tedarik edilen bıçakların gerçek çalışma performansları hadde tezgâhı olan bir firmada ölçülmüştür (Şekil 1). Belirli kalitede takılan bıçak, üretimi ve/veya partiyi tamamladıktan sonra çıkarılmış kesme köşesindeki düzleşme bölgesinin genişliği mm cinsinden ölçülerek aşınma miktarı belirlenmiştir. Her bir bıçakta ölçülen kesme ağız düzleşme miktarı kesme miktarına oranlanarak "mm/kesim sayısı" biriminde normalize edilmiştir.

3. Sonuçlar ve Tartışma

3.1. Sertlik Testi Sonuçları

Menevişlenmiş malzemelerin farklı meneviş sıcaklıklarının sertlik değerleri neticesinde Şekil 3'deki menevişleme diyagramı oluşturulmuştur.



Şekil 3. DIN 1.2344, 1.2367 ve 1.2367 VAR takım çeliklerinin menevişleme diyagramı.

Şekil 3'de verilen menevişleme (Temperleme) grafiği incelendiğinde 3 malzemenin de ikincil sertlik oluşturduğu gözlemlenmektedir. 1.2344 450 °C'de ve 1.2367 ile 1.2367 VAR malzeme ise 550 °C'de ikincil sertlik göstermişlerdir. Menevişleme diyagramı incelendiğinde Sıcaklık artışı ile 1.2344'ün meneviş çizgisinin daha keskin bir geçiş sergilediği, 1.2367 ve 1.2367 VAR'nin ise daha yumuşak bir geçiş sergilediği gözlemlenmiştir [1,2]. Bu da 1.2367 ve

1.2367 VAR malzemelerin menevişlemeye karşı dirençlerinin nispeten daha yüksek olduğu anlamına gelmektedir [3,4].

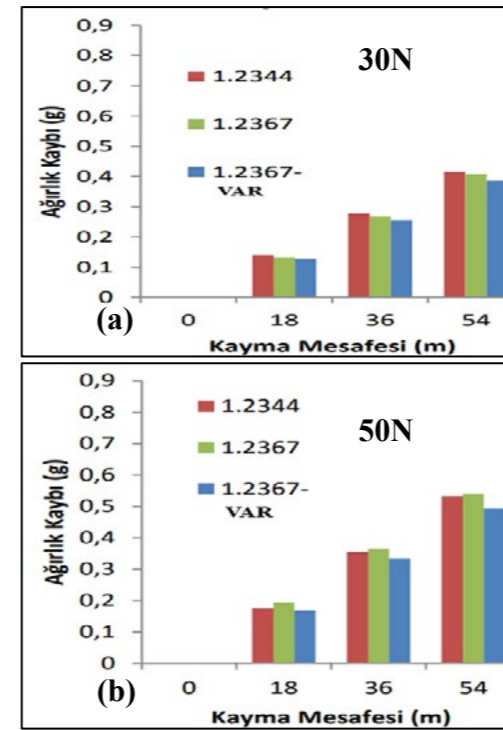
3.2. Aşınma Testi Sonuçları

1.2344, 1.2367 ve 1.2367 VAR malzemelerine 30 ve 50N'da ve 220 mesh zımpara üzerinde 18'er metre arayla toplamda 54 metre yol aldırılmış ve malzemede meydana gelen ağırlık kayıpları aşağıda Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. DIN 1.2344, 1.2367 ve 1.2367 VAR malzemelerin 30 ve 50N yük altındaki ağırlık kayıpları

Kayma Mesafesi (m)	Uygulanan Yük (N)					
	1.2344		1.2367		1.2367esr	
	30N	50N	30N	50N	30N	50N
18	0.1407	0.1742	0.1320	0.1931	0.1270	0.1681
36	0.2782	0.3546	0.2674	0.3656	0.2562	0.3340
54	0.4151	0.5322	0.4078	0.5407	0.3855	0.4924

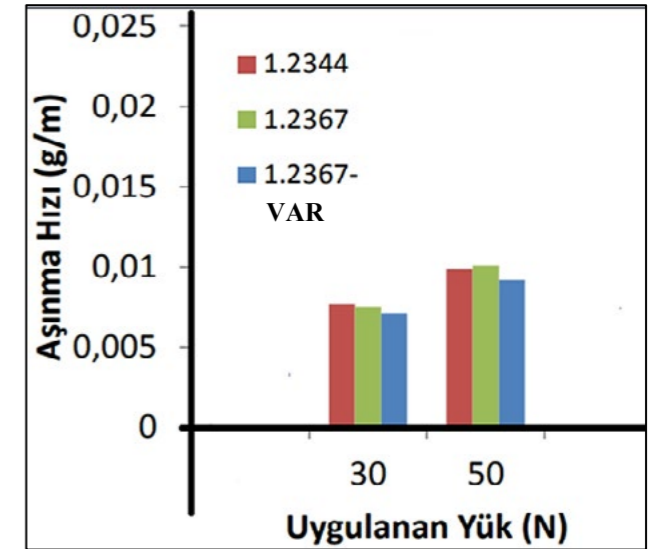
Aşağıda Şekil 4. incelendiğinde malzemeye etki eden Yük arttıkça ağırlık kaybının da lineer olarak arttığı gözlemlenmiştir. VAR tekniği ile üretilen 1.2367 takım çeliğinin 30 N ve 50 N yük altında da minimum ağırlık kaybı gösterdiği gözlemlenmiştir. Klasik yöntemle üretilmiş 1.2367 çeliği yük arttığında 1.2344 ve 1.2367 VAR çeliğine kıyasla daha fazla ağırlık kaybına uğradığı gözlemlenmektedir.



Şekil 4. DIN 1.2344, 1.2367 ve 1.2367 VAR malzemelerin

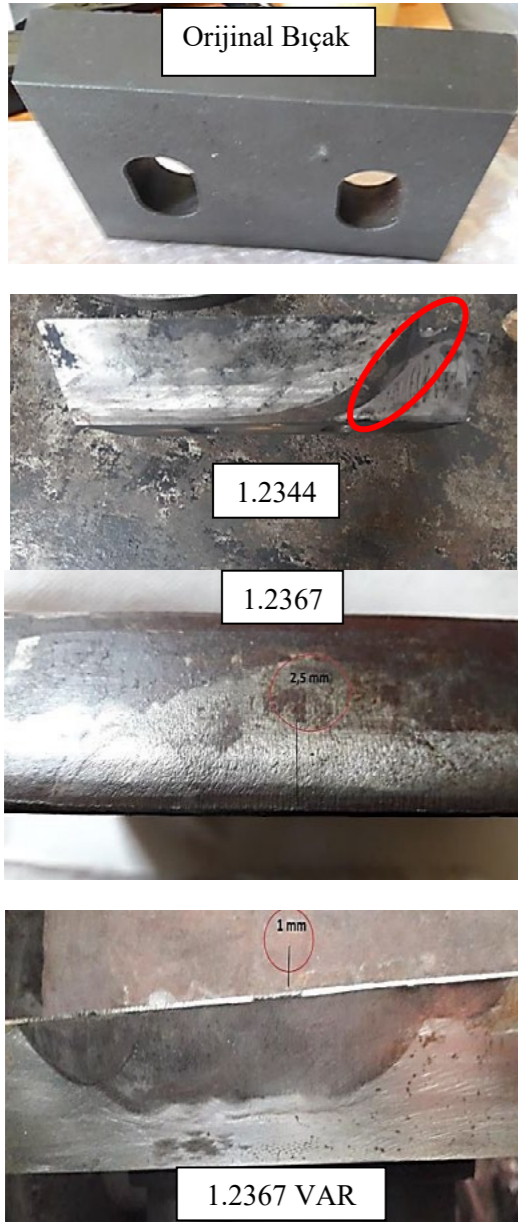
(a) 30 ve (b) 50N yük altındaki ağırlık kayıpları grafikleri

Şekil 5.'de görüleceği üzere 220 Mesh zımpara ile yapılan aşınma deneyinde 30 ve 50 N yük altında diğerlerine kıyasla aşınma hızının düşük olan malzemenin 1.2367 VAR olduğu gözlemlenmiştir. Aşınma hızının düşük olması malzemenin aşınma direncinin yüksek olduğunu sunuyor. 50N'da 1.2367 sıcak iş çeliğinin 1.2344'e göre aşınma hızının fazla olduğu aşınma direncinin aşınma direncinin ise düşük olduğu değerlendirilmektedir.



Şekil 5. Şekil 4'te Ağırlık kaybı- Kayma Mesafesi grafiğinin eğimi alınarak Aşınma hızı-Uygulanan yük grafiği oluşturulmuştur

Laboratuvar ortamında incelenen bıçak malzemelerinin gerçek koşullardaki performansını incelemek ve laboratuvar ortamındaki sonuçlar ile kıyaslamak adına 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 1.2367 VAR kalite bıçak ile 20, 25, 30mm çaplarında mamul ve 30, 36 ve 38 mm boyutlarında altı köşe şekilli DIN 1.1040 ve St52-3 kalite mamul kesilmiştir. Bıçak performansı; Çekilen malın sertliği, çap ölçüsü ve bıçak sertliğine göre değişmektedir. Bu durumda 1.2367 VAR kalite bıçak güç koşullarda serviste denenmek zorunda kalmıştır.



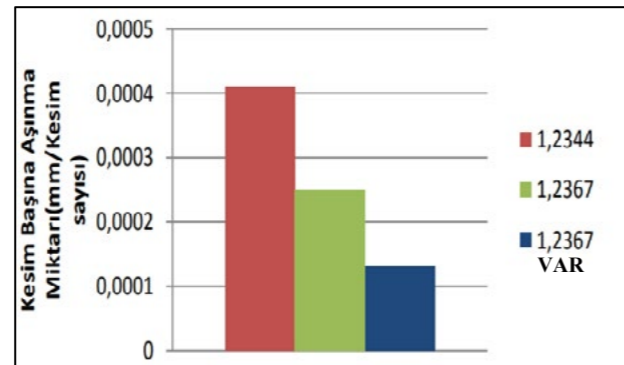
Şekil 6. Gerçek koşullarda performansları incelenen DIN 1.2344, 1.2367 ve 1.2367 VAR malzemeleri

Şekil 6'da görüldüğü gibi, 1.2344 kalite ile yapılan bıçaklarda sürekli olarak taşlamaya ihtiyaç duyulmuş ve 3. vardiyayı tamamlamadan kırıldığı gözlemlenmiştir. 1.2367 kalite bıçak ise iyi bir çalışma performansı sergilemiş olup herhangi bir kırılma olmaksızın çalışmıştır. 1.2367 kalite bıçağın kesici ağzında meydana gelen aşınma 2,5 mm olarak ölçülmüştür. Sıcaklığın etkisiyle kesici kenara yakın yerlerin sertliği bir miktar düşmüş ve her kesimde oluşan darbe neticesinde de bıçak üst kısmı bir miktar yuvarlanmıştır. 1.2367 VAR bıçak çok farklı çaplarda

çalışmasına ve farklı ürün gruplarını kesmesine rağmen kırılma gözlemlenmemiş olup bıçak ağzındaki aşınma miktarı ise 1mm kadardır. Şekil 6'da verilen aşınma miktarları ile kesim miktarları oranlanarak normalize edilen değer Çizelge 3'de verilmiştir. Çizelge 3'den yararlanarak incelenen bıçak malzemelerinin kesim başına aşınma miktarı Şekil 7'de karşılaştırılmıştır. Şekil 7'de görüldüğü gibi 1.2367 VAR kaliteye kıyasla 1.2367 kalite çelik % 92 ve 1.2344 kalite çelik ise % 215 daha fazla aşınma miktarı sergilemiştir.

Çizelge 3. Kesim başına düşen aşınma miktarı

Malzeme Kalitesi	Kesim Başına Aşınma Miktarı (mm/kesim sayısı)
1.2344	0.00041
1.2367	0.00025
1.2367 VAR	0.00013



Şekil 7. Gerçek koşullarda performansları incelenen DIN 1.2344, 1.2367 ve 1.2367 VAR malzemelerinin Aşınma miktarının kesim sayısına oranının grafik ile gösterimi.

4. Sonuç

Belirlenen menevişleme diagramından yararlanarak optimum ısı işlem uygulanmış DIN 1.2344, 1.2367 ve 1.2367 VAR kalite sıcak iş takım çeliklerinin hadde bıçak uygulamalarına takım çeliği tipinin etkisinin incelenmesi amacıyla gerçekleştirilen bu çalışmada elde edilen genel sonuçlar aşağıda listelenmiştir.

- Çizilen menevişleme diyagramından 1.2344' kalite takım çeliğinin 450 °C'de ikincil sertlik gösterdiği, 1.2367 ve 1.2367 VAR'ın ise 550 °C'de ikincil sertlik göstermiştir.
- Laboratuvar ortamında yapılan Block-On-Ring aşınma testinde her iki yük altın dada (30N ve 50N) 1.2367 VAR sıcak iş takım çeliğinin yüksek aşınma direnci gösterdiği görülmüştür.
- Haddehanede yapılan testlerde Kesim Başına aşınma miktarı; 1.2344 0,00041, 1.2367 0,0025, 1.2367 VAR'ın ise 0,00013 mm/kesim sayısı olarak ölçülmüştür.

Referanslar

- [1] Albaraz, Z., "Isıl işlem parametrelerinin ve kimyasal kompozisyonun sıcak iş takım çeliklerinin mekanik özelliklerine etkisi", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 35-45 (2011).
- [2] Schmolz Bickenbach Çelik A. Ş., "Takım Çelikleri El Kitabı", Schmolz Bickenbach Çelik A. Ş., Kocaeli, 45-85 (2009).
- [3] Elisangela, A, Santos, A, Júlio, C, Giubilei M, and César, E, "Acquired properties comparison of solid nitriding, gas nitriding and plasma nitriding in tool steels", Master's Thesis, Costa, Santa Catarina State University, Brazil, 55- 85 (2015).
- [4] Koçak, H., "Takım Çelikleri El Kitabı", Bolokur Yayınevi, İstanbul, 76-86 (2012)

Sentetik Yağlar ile Dişli Kutularında Verimlilik Efficiency in Gearboxes with Synthetic Lubricants

Hüseyin HACIKADİROĞLU

Mobil Oil Türk
Türkiye

Anahtar Kelimeler: Dişli, Yağ, Yağlama, Sentetik Yağ, Verimlilik, Enerji Tasarrufu

Abstract

It is known that energy use increases significantly every year. Using an energy-efficient lubricating oil is one of the ways to help meet growing energy demand and balance economic growth, social development and environmental protection.

It is generally accepted that electric motors account for about 70% of industrial electrical energy consumption. Assuming if all the electric motors drive the gearboxes, every 1% increase in gearbox efficiency corresponds to the annual output of an 800 MW power plant. Small changes in efficiency can have a large total impact. Unlike other methods of increasing efficiency, oil and lubrication changes do not require any changes or modifications to existing equipment.

The results to be presented in this study shows that, based on laboratory and field evaluations, the advanced synthetic gear oils have the potential to significantly reduce energy consumption in gearboxes and bearing lubrication systems compared to mineral gear oils. It has been statistically confirmed in the field and laboratory tests which will be mentioned in this study that, synthetic gear oils provide energy savings of up to 3.6% compared to conventional mineral gear oils.

As a result of the studies, it has been seen that it is possible to achieve significant energy savings with a synthetic gear oil if the base oils and additives are carefully selected and formulated accordingly. In addition, these studies have shown that documenting energy savings should be done using appropriately controlled tests to statistically validate the results.

Özet

Enerji kullanımının her yıl önemli ölçüde arttığı bilinmektedir. Enerji tasarruflu bir yağlama yağı kullanmak, hem artan enerji talebini karşılamaya hem de ekonomik büyümeyi, sosyal kalkınmayı ve çevre korumayı dengelemeye yardımcı olmanın sayısız yolundan biridir.

Elektrik motorlarının, endüstriyel elektrik enerjisi tüketiminin yaklaşık %70'ini oluşturduğu genel olarak kabul edilmektedir. Elektrik motorlarının tamamının dişli kutularını tahrik ettiğini varsayarsak, dişli kutusu verimliliğindeki her %1'lik artış, 800 MW'lık bir elektrik santralinin yıllık üretimine karşılık gelir. Verimlilikteki küçük değişikliklerin büyük bir toplam etkisi olabilir. Verimliliği artıran diğer metodların aksine, yağ ve yağlama değişiklikleri mevcut ekipmanda herhangi bir değişiklik veya modifikasyon gerektirmez.

Bu çalışmada sunulacak sonuçlar, diğer laboratuvar ve saha değerlendirmelerine göre, gelişmiş sentetik dişli yağları, dişli kutuları ve yatak yağlama sistemlerinde enerji tüketimini önemli ölçüde azaltma potansiyeline sahiptir. Sentetik dişli yağlarının, geleneksel mineral bazlı dişli yağlarına karşı % 3,6'ya varan enerji tasarrufu sağladığı, bu çalışmada bahsedilecek saha ve laboratuvar testlerinde istatistiksel olarak onaylanmıştır.

Yapılan çalışmalar neticesinde, baz yağlarının ve katkı maddelerinin dikkatli bir şekilde seçilip, uygun şekilde formüle edildiği takdirde, sentetik bir dişli yağı ile, önemli ölçüde enerji tasarrufu elde etmenin mümkün olduğu görülmüştür. Ayrıca sözkonusu çalışmalar, enerji tasarruflarının belgelenmesinin, sonuçları istatistiksel olarak doğrulamak için uygun şekilde kontrol edilen testler kullanılarak yapılması gerektiğini göstermiştir.

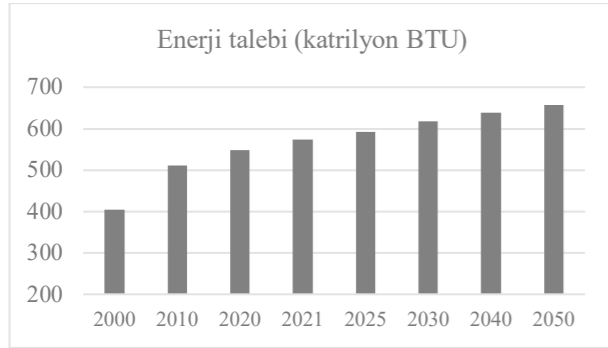
1. Giriş

Enerji kullanımının her yıl önemli ölçüde arttığı bilinmektedir. 2050 yılında enerji talebinin, 2021 yılına göre %15 artacağı öngörülmektedir (Şekil 1) [1].

Ekonomiler olgunlaştıkça ve nüfus artışı durağanlaştıkça, enerji talebindeki büyüme yavaşlamaktadır. Genel olarak, Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Teşkilatı'na (OECD) üye ülkelerdeki enerji kullanımında, 2021 yılından 2050'ye kadar %9'luk bir gerileme olacağı öngörülmektedir. Buna karşılık, OECD üyesi olmayan (Non-OECD) ülkelerin enerji taleplerinde ise, yine 2021 yılından 2050'ye kadar %30'a yakın bir artış öngörülmektedir (Şekil 2) [1].

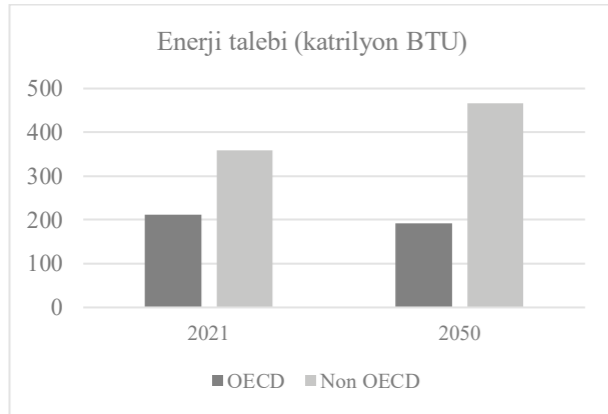
Poster Presentations

Poster Sunumlar



Şekil 1. Dünya enerji talebindeki değişim.

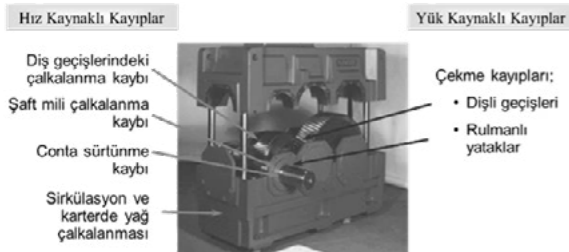
Enerji tasarruflu bir yağlama yağı kullanmak, hem artan enerji talebini karşılamaya hem de ekonomik büyümeyi, sosyal kalkınmayı ve çevre korumayı dengelemeye yardımcı olmanın sayısız yolundan biridir.



Şekil 2. Ekonomilere göre enerji talebindeki değişim.

1. Dişli Kutularında Enerji Kayıplarının Kaynakları

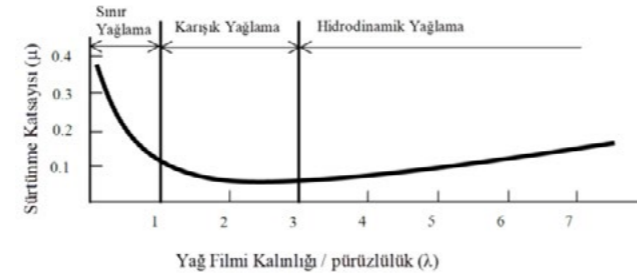
Genel olarak endüstriyel ekipmanlarda ve özel olarak dişli kutularında yağla ilgili birden fazla enerji kaybı kaynağı vardır (Şekil 3). Dişli kutularındaki verim kaybının nedenleri genel olarak hıza bağlı olanlar ve yüke bağlı olanlar olmak üzere iki kategoriye ayrılır [2].



Şekil 3. Dişli kutularındaki kayıplar.

Yağlama yağının viskozitesi hıza bağlı kayıpları etkilerken, yağlama yağının çekme (traction) katsayısı ve sınır sürtünmesi yüke bağlı kayıpları etkiler.

Şekil 4'te gösterilen Stribeck Eğrisi, yük taşıyan yüzeyler arasındaki sürtünmeyi, bağlı yağ filmi kalınlığı ve yağlama rejiminin işlevi ile ilişkilendirir. Bağlı yağ filmi kalınlığı, film kalınlığının yüzey pürüzlülüğüne oranıdır. Yüzey pürüzlülüğü ile ilişkili film ne kadar kalınsa, yüzey pürüzlerinin temas olasılığı azalır.



Şekil 4. Stribeck eğrisi.

Sınır yağlamada, yük taşıyan yüzeyler temas eder. Sınır yağlama; temas yüzeylerindeki hız yavaşsa, yüksek yük veya yön değişimi varsa oluşur.

Hidrodinamik yağlamada bir yağ filmi iki taşıyıcı yüzeyi tamamen ayırır. Makine ömrü, metal-metal teması olmadan sadece yağın temizliğine bağlıdır. Sürtünme, artan film kalınlığı ile birlikte artar.

Karışık film yağlaması, iki yüzeyin pürüzleri bir yağlama filmi mevcut olmasına rağmen temas ederse oluşur. Yağ filmi sınır yağlamadan daha kalındır ve hidrodinamik ile sınır yağlamanın bir kombinasyonudur.

Endüstriyel ekipmanlarda, sürtünme nedeniyle kaybedilen mekanik enerji, iletilen tüm enerjinin yalnızca küçük bir kısmını temsil eder, ancak iletilen enerji miktarları çok büyük olabileceğinden kullanıcı için yine de önemli bir değere sahip olabilir. Buna ilave olarak, sürtünme enerjisi ısıya dönüştürülür ve bunun sonucunda ortaya çıkan sıcaklık artışı, azaltılmış oksidasyon ömrü veya azaltılmış viskozite nedeniyle azaltılmış hidrodinamik veya elasto-hidrodinamik (EHL) koruması gibi olumsuz etkilere sebep olabilir.

Sürtünme kayıpları üç tip yağlama rejiminde meydana gelebilir: hidrodinamik, EHL veya en önemlisi metal yüzeylerin fiilen temas halinde olduğu sınır yağlama altında [3].

Hidrodinamik yağlama ile EHL arasındaki temel fark, temastaki basınçtır. EHL, yükün küçük bir alan üzerinde taşındığı yüzeylerle ilişkilidir. Örnekler arasında her türlü rulman, kam ve dişliler bulunur. Bu temaslarda, yük o kadar yüksektir ki, yüzey küçük bir temas noktası

oluşturacak şekilde elastik olarak deforme olur. Yağlayıcı film bu alana çekilir ve yüzeyleri ayırır:

- Yağlayıcı, bu yüksek basınç koşulları altında kesilir. EHL temaslarında basınçlar 1 GPa ve üzerindedir.
- Kayıplar, yağın bu aşırı koşullar altında nasıl davrandığına göre belirlenir. İleride göreceğimiz üzere, bu koşullar altında yağın özellikleri çok farklıdır.

Çekme ve sürtünme terimleri arasında karışıklık olabilmektedir. Sürtünme kelimesini kullandığımızda, genellikle bir miktar yüzey etkileşimine karşılık gelen sınır yağlama etkilerinden bahsettiğimiz varsayılır.

Çekme sözcüğü kullanıldığında ise bu, genellikle yüksek EHL temas basınçları altında yağ filminin kesilmesiyle geliştirilen kuvvetle ilgilidir.

Sürtünme sınır filmleriyle ilişkilendirildiğinden, genellikle yağlayıcı katkı maddelerinin en doğrudan etkiye sahip olduğu durumdur.

Çekme özellikleri temel olarak baz yağ tipinin seçimine bağlıdır. Çekme, herhangi bir yüzey teması olmadan yağın kesilmesiyle ilgili olduğundan, katkı maddelerinin seçiminin çok az etkisi vardır.

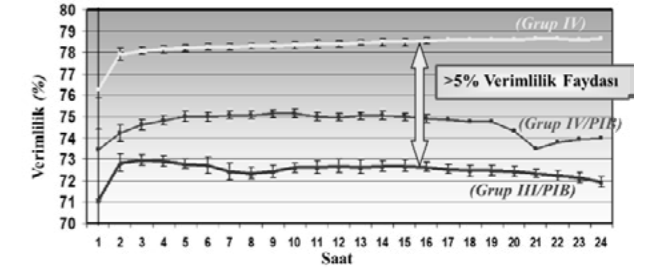
Bu nedenle, uygun şekilde formüle edilmiş bir sentetik yağlayıcının kullanılması, çekmenin neden olduğu enerji kayıplarını önemli ölçüde azaltılabilir. Bu aynı zamanda daha düşük ekipman çalışma sıcaklıkları ile sonuçlanarak, hem ekipman bileşenlerinin ömrünü hem de yağ değişim aralığını uzatır.

2. Sentetik Yağlar

Sentetik yağların çekme katsayısı, sentetik bazyağların tekdüze moleküler yapısından dolayı, mineral yağlara göre %30'a kadar daha düşüktür. Buna karşılık, mineral bazyağlar, çeşitli zincir uzunluklarına sahip düzensiz yapıda hidrokarbonların bir karışımıdır. Geleneksel dişli uygulamalarında, sentetik yağlar, sürtünme kayıplarını klasik dişliler için kademe başına %0,5; yüksek redüksiyonlu sonsuz dişliler için ise %8'e kadar azaltılabilir.

Yukarıda belirtildiği gibi, enerji verimliliğini artırmak için sentetik yağlayıcılar kullanılabilir [4] [5] [6]. Ancak, tüm sentetik yağlayıcılar aynı faydaları sağlamaz ve bazıları keçe uyumluluğu ve sudan ayrılabilirlik gibi diğer alanlarda zarar verebilir [7].

Örneğin, bir sonsuz dişli kutusundaki kontrollü testte, Şekil 5'te gösterildiği gibi üç farklı sentetik yağ test edildi.



Şekil 5. Sonsuz dişli verimlilik testi sonuç grafiği.

Sonuçlar aşağıdaki gibiydi:

Verimlilik: API Grup IV [8] Yalnızca polialfaolefin (PAO) bazlı dişli yağı, API Grup III / PIB (Poliizobütülen) tabanlı dişli yağına göre ortalama %5 verimlilik gösterdi. PIB içeren yağlar için kademeli olarak azalan verimlilik eğrileri görülmüştür. Buna iki faktör neden olur: bronz dişlide aşınma ve kesilme nedeniyle azalan viskozite (Çizelge 1).

Viskozite değişikliği: PIB içeren dişli yağları, yalnızca PAO bazlı dişli yağına göre önemli kesilme kaybı gösterdi.

Aşınma: Kullanılmış yağdaki daha yüksek aşınma metal seviyeleri, PIB içeren dişli yağları için daha yüksek aşınma oranlarına ve daha kısa ekipman ömrüne işaret eder (Çizelge 1).

Çizelge 1. Test sonunda kullanılan yağların analizi.

Bazyağ Tipi	Grup IV	Grup IV / PIB	Grup III / PIB
Viskozite Değişimi	-1.8%	-4.8%	-5.9%
Cu, ppm	70	320	1100
Sn, ppm	25	42	160
Fe, ppm	1	2	8

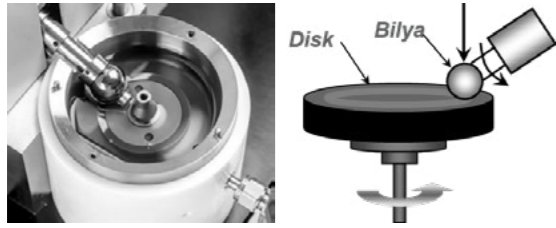
3. Deneysel Çalışmalar

3.1 Laboratuvar deneyleri

İleri seviye sentetik yağların sağladığı enerji verimliliği performansını gösteren laboratuvar testleri, ExxonMobil Research & Engineering şirketi tarafından laboratuvar test ekipmanları kullanılarak gerçekleştirildi.

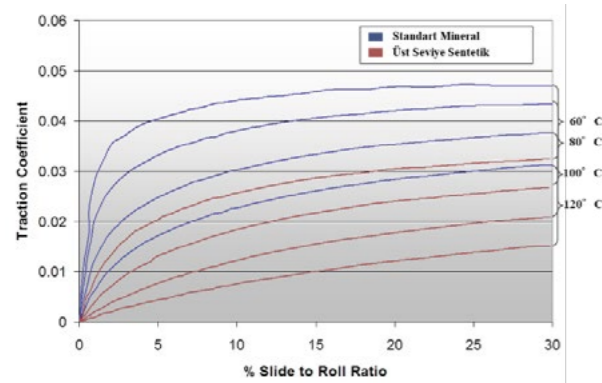
PCS Instruments'tan ticari olarak temin edilebilen Mini Traction Machine (MTM), tribolojik deneyler yapmak için yaygın olarak kullanılan bir ekipmandır (Şekil 6). Son derece kontrollü EHL koşulları altında yağlanmış bir temas noktası oluşturur. Yüğü, hızı ve sıcaklığı kontrol

ederken, değişen miktarlarda kayma altında bir yağ filmi boyunca iletilen çekme kuvvetlerini ölçer.



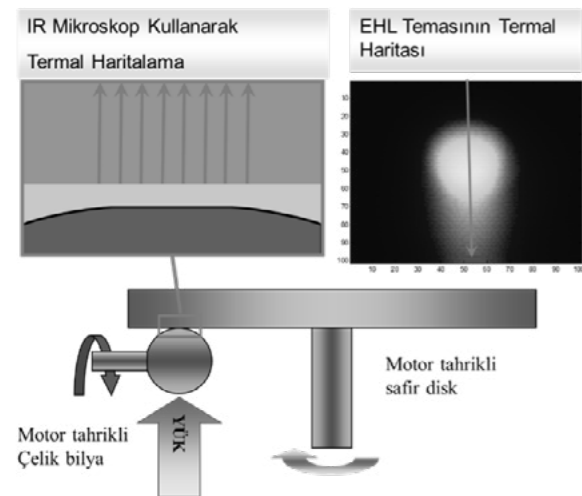
Şekil 6. MTM test cihazı ve çalışma prensibi.

Şekil 7'de bulunan, belirli kayma yuvarlanma oranları aralığında gerçek çekiş katsayısı ölçümü, sentetiklerin tipik mineral yağ bazlı ürünlerden çok daha düşük çekiş katsayısına sahip olduğunu göstermektedir. Bu, daha fazla enerji verimliliği ile çalışmayı, üretilen ısının azalmasını ve daha düşük genel sistem çalışma sıcaklıklarını sağlar.



Şekil 7. Mineral ve sentetik yağ MTM sonuçları.

Testler ayrıca, kızılötesi görüntüleme ile termal haritalama yapabilen sıradan bir EHL bilya-disk ekipmanı [9] ile de gerçekleştirildi (Şekil 8).

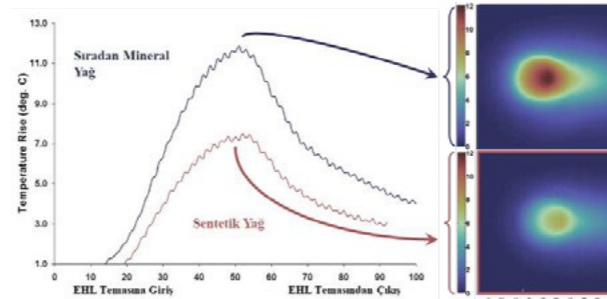


Şekil 8. Geleneksel EHL bilya-disk ekipmanı.

Söz konusu test; yükü, hızı ve giriş sıcaklığını kontrol ederken değişen miktarlarda kayma ile, yüksek yüklü EHL koşulları altında yağlanmış bir temas noktasının sıcaklık haritasını belirler.

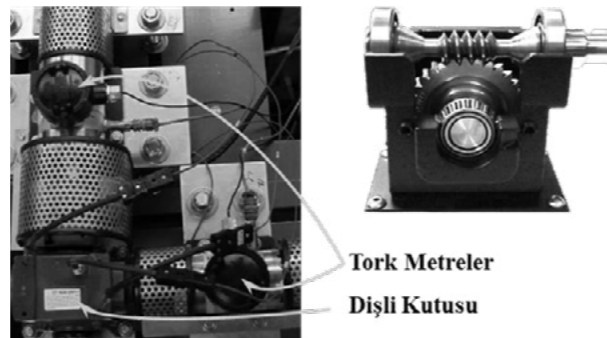
Bu değerlendirmede veriler, temas bölgesindeki sıvının kesilmesi nedeniyle disk yüzeyi ısınırken sıcaklıktaki değişimi gösteren renklerle oluşturulmuştur. Sıcaklık artışı, temas koşulları ve kayma hızı altındaki akışkan kesme geriliminin ürünü olan birim alan başına ısı üretiminin bir fonksiyonudur.

Belirli bir kayma hızı için, daha düşük kesme gerilimine sahip sıvılar, EHL teması boyunca daha düşük sıcaklık artışı sağlayacaktır. Belirli bir akışkan için, artan kayma hızı ile temas boyunca sıcaklık artışı hızlanır. Bu çalışmada, gelişmiş sentetik yağlar, geleneksel mineral bazlı yağlara karşı test edilmiştir. Sentetik yağ, temas bölgesindeki sıcaklığı 4°C'den fazla düşürerek üretilen ısının azalmasına ve genel sistem çalışma sıcaklıklarının düşmesine yol açmıştır (Şekil 9).



Şekil 9. EHL bilya-disk test sonucu.

Yukarıda bahsi geçen endüstriyel laboratuvar testlerine ilave olarak, ExxonMobil Research & Engineering şirketi tarafından özel olarak geliştirilmiş detaylı bir sonsuz dişli kutusu test ekipmanında da sentetik ve mineral yağların karşılaştırma testleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 10).



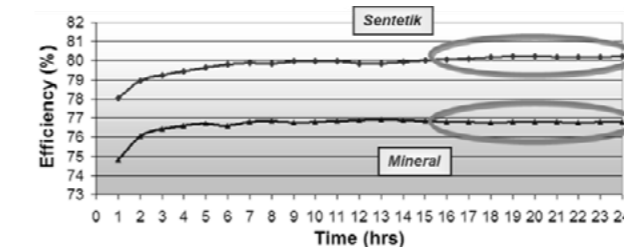
20:1 Kademeli Dişli Kutusu, 1.00 HP

Şekil 10. Sonsuz dişli test ekipmanı.

Test ekipmanında sonsuz dişli seçilmesinin nedenleri şöyledir;

- Vida dişli, yuvarlak dişliye karşı uzatılmış eliptik bir temas oluşturur. Sonsuz dişlilerin konfigürasyonu nedeniyle, nispeten daha düşük verimlilikle sonuçlanan çok fazla kayma gerçekleşir.
- Sonsuz dişliler neredeyse tamamen yüksek kayma - yuvarlanma oranı koşulları altında çalışır

Şekil 11, gelişmiş sentetik teknoloji referans yağ ve mineral yağ bazlı bir dişli yağının verimliliğini göstermektedir. Verimlilik, dişli kutusu termal dengeye ulaştıktan sonra, test çalışmasının son bölümündeki verilerden belirlenir. Dişli kutusuna giren ve çıkan torku ölçmek için iki tork metre kullanılır. Çıkış torku, yüzde verimi sağlamak için giriş torkuna bölünür. Akım/gerilim ölçümleri çok daha yüksek hata potansiyeline sahip olduğundan bu testte akım yerine tork ölçüldü.



Şekil 11. Sonsuz dişli testi sonuçları.

Karter sıcaklığı ayrıca karterdeki termokupullar aracılığıyla test boyunca izlenir. Daha yüksek verimliliğe sahip yağlar, daha düşük yağ sıcaklığı göstererek daha soğuk çalışan bir dişli kutusu sağlar.

Dişli kutusu tam hızda (giriş 1800 dev/dak), nominal yükün %100'ünde ve 20/1 redüksiyon oranında çalıştırılır. Her dişli kutusu ayrı ayrı kalibre edilir ve çalıştırılır ve testler, verilerdeki herhangi bir tutarlı sapmayı hesaba katmak için referans yağ akışlarıyla bağlantılır. Bu testin tekrarlanabilirlik oranı, + %0,25 (mutlak) olarak belirlenmiştir. Bu son derece kontrollü testin sonuçları, iki yağlayıcıyı karşılaştırırken %3'lük bir enerji verimliliği artışı olduğunu göstermektedir.

Söz konusu çalışmalar haricinde bir çalışma da, Sumitomo Drive Technologies tarafından, CHH-6145Y-51 model bir planet dişli kutusunda gerçekleştirilmiştir (Şekil 12) [10]. Bu çalışmada, mineral ve sentetik dişli yağların planet tipi dişli kutusundaki verimlilik ve enerji kayıpları karşılaştırılmıştır.

Test ekipmanında, giriş torku dinamik olarak ölçülürken, çıkış torku için makul tekrarlanabilirliğe sahip bir yöntem seti tasarlanmıştır.



Şekil 12. Sumitomo CHH-6145Y-51 planet dişli kutusu

Beklendiği gibi, mineral bazlı dişli yağı, en düşük verimlilik değerini göstermiştir. Yükü %25 artırmak verimliliği % 0,1'den daha az artırmıştır (Çizelge 2).

Sentetik dişli yağına geçmek, verimi 1,86 puan artırmıştır. Artan yük ile verimlilik biraz arttı. Daha düşük sıvı sürtünmesi, verimliliğin artmasına yardımcı olmuştur.

Çizelge 2. Sumitomo Drives test sonuçları.

	Mineral Yağ		Sentetik Yağ	
Giriş Torku (in-lb)	212	264	208	260
Verimlilik (%)	92,7	92,7	94,6	95,5
Kayıplar (W)	319	395	233	241

3.2 Saha deneyleri

Laboratuvarda kurulan dişli kutularındaki enerji verimliliği iyileştirmelerini belgeledikten sonraki adım, dikkatle kontrol edilen saha testlerindeki gelişmeleri belgelemektir. Gelişmiş sentetik dişli yağı teknolojisinin saha testleri, ExxonMobil Product Solutions Yağlama Mühendisleri tarafından Amerika Birleşik Devletleri Minnesota'daki bir takonit madeninde, 1150 HP'lik endüksiyon motoruyla çalışan bir Falk çift redüksiyonlu dişli kutusunda gerçekleştirilmiştir (Şekil 13).



Şekil 13. Madendeki Falk marka dişli kutusu.

Falk dişli kutusu, takonit cevherini ana maden sahasından bir stok yığına taşımak için kullanılan ana taşıyıcı olarak bir POC'ye (birincil cevher konveyörü – Şekil 14) bağlanmıştır. Konveyör yaklaşık ¼ mil uzunluğundadır ve bir dizi kılavuz silindir ve ayak tarafından desteklenir. Silindirler, takonit cevherini taşınırken konveyörün merkezine kanalize etmek için konveyörü kaplayan içbükey bir düzenlemede konumlandırılmıştır.



Şekil 14. Madendeki takonit konveyörü.

Takonit cevheri, maden sahasından konveyör aracılığıyla aşağı aktarılır ve cevheri stok yığınlarına bırakan bir ayırıcıya geri gönderilir (Şekil 15). Cevher, homojen yükleme sağlayan bir ölçüm kutusundan tekrar konveyöre yüklenir.



Şekil 15. Takonit konveyörü genel görünümü.

Falk dişli kutusu, 39,4:1 redüksiyon oranına sahip bir çift redüksiyonlu paralel milli hız düşürücüdür (Şekil 13). Bu uygulamada, Falk dişli kutusu 4160 VAC, dört kutuplu, 3 fazlı 1150 HP'lik GE endüksiyon motoruyla tahrik edilmektedir. Motor, dişli kutusunun yüksek hızlı giriş miline doğrudan akuple edilmiştir. Motorun senkron yüksüz hızı 1792 rpm'dir ve dişli kutusu çıkış milinde 45

rpm'e düşürülür. Dişli kutusundan 1188 HP'de maksimum tork çıkışı 186000 Nm'dir. Dişli kutusu yaklaşık 1250 litre dişli yağı içerir.

Verimlilik çalışması, A-B-A-B karşılaştırmasında, geleneksel mineral yağ bazlı dişli yağı ve ileri sentetik teknoloji dişli yağı ürünleri kullanılarak tamamlandı. "A" serisi çalışmalarını temsil eden geleneksel dişli yağı ve "B" serisi çalışmalarını temsil eden ise gelişmiş sentetik yağdır. Çalışma, çeşitli zaman dilimlerinde takonit cevherini transfer etmek için gereken torka göre motora sağlanan güç girişinin izlenmesiyle tamamlandı.

Verimlilik çalışmasının temeli, A-B-A-B çalışmaları sırasında benzer konveyör yük noktalarında dişli yağının motora giriş gücü üzerindeki etkilerini belirlemektir. Falk dişli kutusu tarafından üretilen çıkış torkuna karşı motora giriş gücünün fonksiyonu olarak her çalışma için yük eğrileri oluşturulmuştur. Çalışmanın temeli, bir dişli yağı ürününün daha verimli olup olmadığını ve dişli kutusundaki kayıp azaltmanın bir fonksiyonu olarak karşılaştırılabilir tork üretmek için daha az motor giriş gücü gerektirip gerektirmediğini belirlemektir.

Çalışmayı tamamlamak için, motora giden giriş gücünü izlemek üzere bir Fluke 1760 üç fazlı güç analizörü kullanıldı. Üç fazlı giriş besleme gücü, motoru besleyen ana motor kontrol merkezinden elde edildi. Gerçek üç fazlı güç değerleri sürekli olarak 200 msn aralıklarla kaydedildi. Güç kayıtları, dişli kutusunun çıkış milinde ölçülen tork değerleri ile senkronize edildi. Tork okumaları, dişli kutusu çıkış miline monte edilmiş bir gerinim ölçer kullanılarak elde edildi.

Dişli kutusu çıkış devirleri ile birlikte tork değerleri telemetrik olarak iletildi ve 200 msn aralıklarla sürekli olarak kaydedildi (Şekil 16).



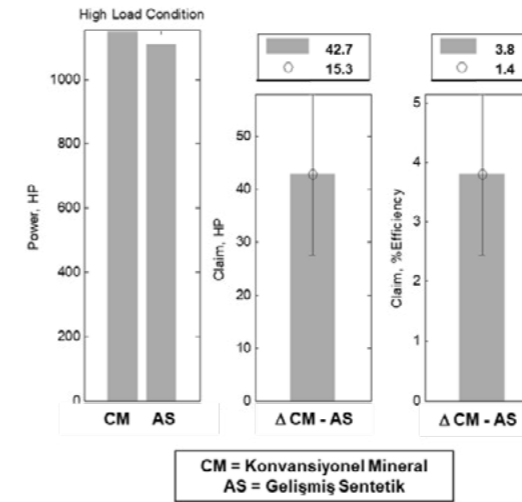
Şekil 16. Ölçüm düzeneği görünümü.

A-B-A-B çalışmaları operasyon periyotlarına ayrıldı. Belirli bir çalışma periyodu için bir veri seti oluşturuldu ve hem yüksek, hem de düşük yük çevrimleri dahil olmak üzere, zamana göre güç tüketimi karşılaştırılarak analiz edildi. Sonuçta, ikinci B-A testlerinden elde edilen önemsiz veriler nedeniyle yalnızca ilk A-B verileri kullanılabilir.

Hem yüksek hem de düşük yük koşulları dahil olmak üzere, %95'lik güven aralıkları kullanılarak, aşağıdaki grafiklerde görüldüğü gibi, gelişmiş sentetik dişli yağının, konvansiyonel mineral yağ bazlı ürüne göre %3,6 + %1,3 daha verimli olduğu tespit edilmiştir (Şekil 17). Hesaplamalar Matlab™ yazılımı kullanılarak aşağıdaki gibi yapılmıştır:

- Konveyör bandı cevher yığınlarını taşıırken, güç tüketimi döngüleri yukarı ve aşağı doğru değişir.
- Bu döngüler arasında, 10 periyotta kararlı durum çalışması tespit edildi.

Bu kararlı durum periyotları, verimlilik hesaplamalarının temelini oluşturdu ve bu periyotlar, ortalama verimlilik tahminlerine ilişkin güven aralıklarını hesaplamak için bağımsız örnekler olarak kabul edildi.



Şekil 17. Ölçüm sonuçları özeti.

Ölçülen watt kullanımına ve sürekli çalışma varsayımına dayalı olarak, gelişmiş sentetik yağın kullanılması, 0,05-0,10 \$/kWh aralığında kullanılarak yılda 8700 \$'dan 17.400 \$'a kadar tasarruf sağlayabilir. Bu sadece bir dişli kutusunu temel alır. Birden fazla dişli kutusu olan bir tesiste, tasarruf orantılı olarak artacaktır. Bu bulgular, saha değerlendirmelerinde belgelenen daha önce yayınlanmış enerji tasarrufu çalışmaları ile tutarlı olarak ortaya çıkmıştır [6].

4 Sonuç

Yukarıda sunulan sonuçlara ve diğer laboratuvar ve saha değerlendirmelerine göre, gelişmiş sentetik ürünler, dişli kutularında ve sirkülasyon sistemlerinde enerji tüketimini önemli ölçüde azaltma potansiyeline sahiptir. İstatistiksel olarak doğrulanmış şekilde geleneksel mineral yağ bazlı dişli yağlarına kıyasla %3,6'ya varan enerji tasarrufu sergiler. Saha ve laboratuvar testlerine göre bu enerji verimliliği, yüksek düzeyde kanıtlanmış performans ve korumadan ödün verilmeden sağlanır.

Bu nedenle, hem baz yağların hem de katkı maddelerinin dikkatli bir şekilde seçilmesi yoluyla sentetik bir yağlayıcının uygun şekilde formüle edilmesiyle, önemli ölçüde enerji tasarrufu elde etmek mümkündür. Ek olarak, çalışmalarımız, enerji tasarruflarının belgelenmesinin, sonuçları istatistiksel olarak doğrulamak için uygun şekilde kontrol edilen testler kullanılarak yapılması gerektiğini göstermiştir.

Enerji kullanımının önümüzdeki 30 yılda önemli ölçüde artacağı tahmin edilmektedir. Enerji tasarruflu bir madeni yağ kullanmak, hem bu ek enerji talebini karşılamaya hem de ekonomik büyümeyi, sosyal kalkınmayı ve çevre korumayı dengelemeye yardımcı olmanın sayısız yolundan biridir.

Teşekkür

Bu çalışmaya, laboratuvar ve saha testlerindeki katkılarından ötürü, ExxonMobil Research & Engineering ve ExxonMobil Product Solutions çalışanlarına teşekkür ederim. Sempozyuma katılım konusundaki desteklerinden ötürü Mobil Oil Türk A.Ş.'deki çalışma arkadaşlarım ve yöneticilerime ayrıca teşekkür etmek isterim.

Referanslar

- [1] ExxonMobil: 2022 The Outlook for Energy: A perspective to 2050, October 5, 2022.
- [2] Energy Efficiency of Industrial Oils, L. Bronshteyn et al, Tribology and Lubrication Engineering, October 2011, pp. 48-56.
- [3] AGMA 925-A03, Effect of Lubrication on Gear Surface Distress, March 13, 2003.
- [4] Improving Energy Efficiency Through Optimized Lubricants, F. Guerzoni, Utilities Manager, February 2008.
- [5] Energy Efficiency Through Precision Lubrication, M. Johnson, Tribology and Lubrication Technology, November 2010, pp. 18-23.
- [6] Often Overlooked, Lubricants Can Help Lower Energy Consumption, J. Sender, Power Transmission Engineering, December 2011, pp. 20-25.

[7] Benefits of Synthetic Lubricants in Industrial Applications, W.R.Murphy et al, J. Synthetic Lubrication 18-4, Jan. 2002, pp. 301-325.

[8] APPENDIX E—API Base Oil Interchangeability Guidelines for Passenger Car Motor Oils and Diesel Engine Oils, March 2015.

[9] Improved Temperature Mapping of EHL Contacts, Reddyhoff, T., et.al., Proc. I. Mech. E. part J: Journal of Engineering Tribology, 2008 ,pp1165-1177.

[10] White Paper | Gearbox Efficiency and Lubrication, M. L. Johnson, Sumitomo Drive Technologies, January 2007.

İkincil Metalurji İstasyonunda Karpit (CaC₂) Kullanımı ile Kükürt Giderme ve Haddeme Kusurlarının İncelenmesi

Investigation of Desulphurization and Rolling Defects By Using Carpite (CaC₂) in A Secondary Metallurgy Station

Emrecan ZORBA, Uğur CENGİZ

Bilecik Demir Çelik
Türkiye

Anahtar Kelimeler: Pota ocağı, kükürt giderme, karpit, oksijen (ppm), bazik cüruf, reoksidasyon

Abstract

In today's steel industry, induction furnace plants, arc furnace plants, ladle metallurgy and billet production are carried out by continuous casting.

After the melting process takes place in the induction furnace, the liquid steel comes to the ladle furnace for the ladle metallurgy operations to be carried out. It is intended to prepare liquid steel temperature and chemical analysis in line with targeted quality standards at the ladle furnace.

Deoxidation, desulphurization, dephosphorylation processes are carried out in the ladle furnace. In this study, reducing the sulfur concentration in steel to the targeted quality standards using carbide (CaC₂) was investigated.

Experimental studies looked at slag chemical analyses of 9 casts in total, steel spectrometer chemical analyses, the amount of oxygen measured at the ladle furnace entrance and output. Comparison of ladle furnace input and output %sulphur (S) amounts was made.

As a result of the creation and evaluation of all outcomes, the use of carpids in the secondary metallurgical station, in the ladle furnace, in conjunction with lime;

it has been established that the amount of defective products has decreased in the rolling processes where there are positive results in slag basicity, desulfurization and the surface quality of semi-finished.

Özet

Günümüz çelik sektöründe indüksiyon ocaklı tesisler, ark ocaklı tesisler, pota metalürjisi ve sürekli döküm ile küçük üretimi gerçekleştirilmektedir.

İndüksiyon ocağında ergitme işlemi gerçekleştirildikten sonra sıvı çelik, pota metalürjisi işlemlerinin yapılabilmesi için pota ocağına gelir. Pota ocağında sıvı çelik sıcaklığını ve hedeflenen kalite standartlarına uygun kimyasal analiz hazırlanması amaçlanmaktadır.

Deoksidasyon, desülfürizasyon, defosforizasyon işlemlerinin gerçekleştirilmesi yine pota ocağında olmaktadır. Bu çalışmada çelikte bulunan kükürt konsantrasyonunun karpit (CaC₂) kullanılarak hedeflenen kalite standartlarına indirgenmesi araştırılmıştır.

Yapılan deneysel çalışmalarda toplamda 9 dökümün cüruf kimyasal analizlerine, çelik spektrometre kimyasal analizlerine, pota ocağı girişinde ve çıkışında ölçülen oksijen miktarına bakılmıştır. Pota ocağı giriş ve çıkış % kükürt (S) miktarlarının karşılaştırılması yapılmıştır. Tüm sonuçların oluşturulması ve değerlendirilmesi sonucunda pota ocağında karpit kullanımının kireçle birlikte kullanımının cüruf bazıklığı, kükürt giderme ve yarı mamulün yüzey kalitesi noktasında olumlu sonuçlarının olduğu haddeme süreçlerinde kusurlu ürün miktarının azaldığı saptanmıştır.

1. Giriş

Çelik üretim aşamalarında sıvı çelik kimyasal analizinin her konsantrasyonunda kükürt, çeliğin tokluğuna zarar vererek mekanik özellikleri kötü yönde etkilemektedir. Kükürt, çelik üretim sürecinde kullanılan hammaddelerin kimyasal analizlerinden gelebilmektedir. Aynı zamanda yüksek kükürt içeriği sıcak gevrekliğe neden olmaktadır. Sıcak gevreklik sonucunda kükürt, yarı mamul içerisinde çok az çözünürlüğe sahip olması ve yarı mamul oluşumu sırasında kükürtlü inklüzyonların tane sınırları arasında çökmesine akabinde kılcal çatlak oluşumunu tetiklemesiyle bilinmektedir. [1]

Kükürten arındırma işlemleri genellikle kireç, magnezyum, kalsiyum bileşikleri ve diğer nadir toprak elementleri ile sülfür tasfiyesi için yüksek afinitiyeye sahip elementler kullanılarak çökeltme reaksiyonu ile yapılır. Kükürt giderme işlemi yapılırken diğer safsızlıklarda çelikten arındırılır ve ekstra zaman tasarrufu sağlanmaktadır.

Çoğunlukla pota ocağı metalürjisinde gerçekleşen bu işlemler, kalsiyum oksit/alümina/kalsiyum florür ve kalsiyum karbür ile inert gazların eş zamanlı kullanımı sonucunda sıvı banyonun yüksek sıcaklığı yakalanarak sağlanmaktadır. Kükürt tasfiyesi sonrasında ergiyikte kalan kükürt bileşikleri, sonraki şekillendirme (haddeme) işlemlerinde olumsuz bir etkisi olmayan küresel bir şekil alır. [2]

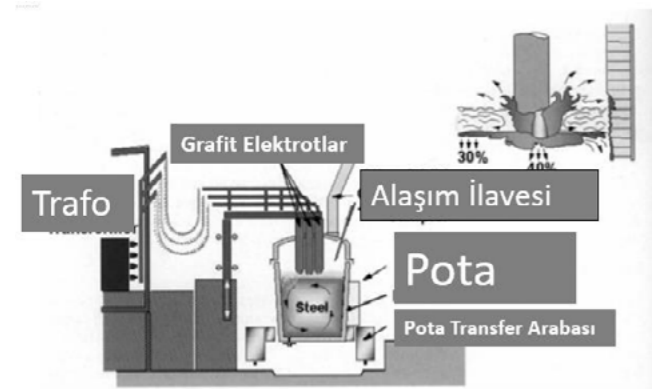
Yapılan karpit (CaC₂) denemesi sonuçları ile üretilen B420C standartlarındaki yapı çeliğinin yarı ürün üzerindeki

etkisinin incelenmesi ve haddeleme kusurlarının ortadan kaldırılması amaçlanmıştır.

2. Pota Ocağı Prosesi

Pota ocağında grafit karbon elektrot kullanılarak dakikada 3 –5°C'ye kadar elektriksel olarak ısıtılmaktadır. Pota içindeki argon gazıyla güçlü karıştırma ve homojenleştirme, cüruf üzerindeki ısının yayılımı, doğru cüruf oluşturma teknikleriyle refrakter (*pota tuğlası*) aşınmasını minimum seviye indirme ve gerekli hedef sıcaklık ve kimyasal analizin sağlanması bu istasyonda gerçekleşmektedir. [3]

İkincil metalürji istasyonu olan pota ocağında sıvı çeliğin kimyasal analizi ve sıcaklık gibi işlemlerinin ayarlanmasından sonra SDM'ye yollanmış, 135 * 135 kütük üretimi gerçekleşmiştir. Bilecik Demir Çelik fabrikasına ait pota ocağı 7 MW kapasiteli olup 3 adet grafit karbon elektrota sahiptir.



Şekil 2.1 Pota ocağı [3]

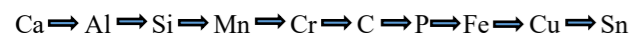
3. Pota Ocağında Deoksidasyon ve Desülfürizasyon

3.1. Deoksidasyon

Pota Ocağında gerçekleşen sekonder metalürji işlemlerinin başlangıcında sıvı çeliğin oksijen içeriği 60-300 ppm arasında değişmektedir. Çelik katılaşmadan önce içeriğindeki oksijen seviyesi yarı mamulde gaz boşluğu oluşturmayacak şekilde azaltılması gerekmektedir.

- Sıvı çelik sıcaklığı arttıkça oksijen çözünürlüğü artmaktadır,
- %C içeriği azaldıkça oksijen çözünürlüğü artmaktadır.

Demirden (Fe) daha yüksek oksijen afinitesine sahip elementlerin, sıvı çelikte oksijen çözünürlüğünü düşürmek için kullanılması işlemine “deoksidasyon” denmektedir. [4]



Elementlerin oksijen afinitesinin en fazladan en aza sıralaması yukarıdaki gibidir.

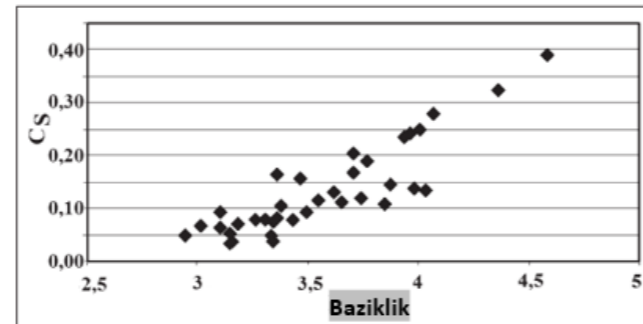
3.2. Desülfürizasyon

Kükürt çelik içerisinde FeS oluşumunu tetikleyerek tane sınırlarında çökme meydana gelmesi sonucu SDM'de çatlak ve kopmalara, haddeleme de ise sıcak yırtılmalara sebep olmaktadır. Oluşan bu kalıntılar haddeleme esnasında uzayarak çelik üzerindeki yükün artmasına ve çatlak ve kırılmalar oluşmaktadır. İkincil metalürji istasyonunda kireç (CaO), fluspat (CaF₂), karpit (CaC₂) ilavelerini pota sentetik cürufuna katarak kükürdün uzaklaştırılması işlemine “desülfürizasyon” denmektedir. İyi bir desülfürizasyon iyi bir deoksidasyon yapmaktan geçmektedir.

Kükürt giderme işlemi sırasında kireç parçacıklarının, kalsiyum karbür (CaC₂) ve kalsiyum silikat (CaSiO₄) ile sürekli kaplanma durumu oluşmaktadır. Bu da kirecin sıcak metale temasındaki kükürt giderme reaksiyonunu engellemektedir. Bu durumu önleyebilmek için; kirecin tane boyutunun en fazla 45 mikrometre ile olması gerekmektedir. [5]

Pota ocağı sentetik cürufunda bulunan FeO+MnO < max 5 olması çelik üretim süreçlerinde istenen bir değerdir. Bu oranın miktarının fazla olması kükürt giderme konusunda olumsuz etkisi olduğu bilinmektedir. Kükürt dağılım oranı “(%S) / [%S]” kükürdün cürufu metal arasında paylaşımını ifade etmektedir. Bu oran S kapasitesi (Cs) ile metal içinde çözülmüş bulunan oksijenle (% O) aşağıdaki eşitlikle doğru orantılıdır. [4]

$$(\%S) / [\%S] = C_s / \% O \quad (3.1)$$



Şekil 3.1 Bazikliğin cüruf kükürt kapasitesi üzerindeki etkisi [6]

Deoksidasyon ve desülfürizasyon işlemlerinin eş zamanlı yapılması pratik olarak zor olduğundan dolayı kükürt giderme prosesinin temel olasılığı cüruf bazikliğiyle ilişkilidir. Temel oksitleyici cüruf her zaman serbest oksijen anyonları içerir, bu nedenle kükürt giderme prosesi sırasında bazik oksitleyici cüruf ile metal arasındaki kükürt paylaşım katsayısı özellikle kalsiyum ve silis oksit içeriğine veya cüruf bazikliğine bağlıdır. [6]

Pota ocağında bazik indirgeyici cüruf oluşturulmalıdır ki kükürt tasfiyesi ve pota ocağı çıkış oksijeninde 10 ppm altına düşürülmesi sağlanmalıdır.

4. Karpit ve Oluşum Mekanizması

Kimyasal formülü CaC₂ olan ve suyla birleştiğinde hızlı tepkimeye giren ve asetilen gazı çıkaran, bulunması kolay bir malzemedir. Yoğunluğu 2,2 g/cm³, kaynama noktası 2300°C'dir.

Kalsiyumla karbonun CaC₂ formülündeki oranda birleşmesinden doğan bir bileşiktir. Kimya bilminde kalsiyum karbür olarak adlandırılır. Karpit elde etmede 64 gr. kalsiyum karbür için 112 kalori gerekir ki bu da elektrik arkı yardımıyla sağlanır. 10 kısım yanmış kireç 7 kısım kok kömürü ile karıştırılır, her bir elektroda 65 – 90 volt gerilim uygulayarak karpit elde edilir. Büyük fırınlarda 50.000 amperlik bir akım gerekir ki bu da elektrik enerjisinin çok ucuz olduğu yerlerde yapılabilir. [7]

Kalsiyum Karbür, kireç taşının yakma fırınlarında yakılması ile kalsiyum oksit (Sönmemiş kireç) elde edilir.

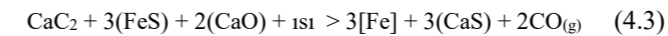


Elde edilen sönmemiş kireç (CaO) kok kömürü ile elektrik ark fırınlarında 2700-3800 °C'de eritilmesiyle elde edilir.



Oluşan bu reaksiyon geleneksel yanma reaksiyonları gibi gerçekleşemediğinden dolayı grafit elektrotları olan bir sistem ile elektrik ark oluşumu yardımıyla elde edilir. Üretilen ürünün ağırlıkça %80'i kalsiyum karbürden oluşmaktadır. [8]

Kükürt giderme için kullanılan reaktiflerden olan CaC₂ (karpit) desülfürizasyonun gerçekleşmesi için olması gereken tepkime şu şekildedir;



Karpit ilavesi sonucunda 4.3 numaralı reaksiyon gereğince CO gazı açığa çıkmakta ve sıvı çelik içerisinde ek bir karıştırma olması muhtemeldir. Etkili bir kükürt tasfiyesi kademeli bir şekilde gerçekleşmektedir [4].

5. Yüksek Kükürtlü Dökümlerde Haddehane Kusurlarının Araştırılması

Katılaşmakta olan çeliğin soğuma hızında ani bir yavaşlama neticesinde dış kabuğun ısınarak genişlemeye çalışması ve görece daha soğuk olan yüzey altının buna direnç göstermesi ile oluşan iç gerilmeler çeliğin sıfır mukavemete olduğu katılaşma bölgesinde iç çatlaklar oluşturur. Çatlağın şiddetinin iç çekme gerilmelerine yol açan yeniden ısınma miktarına bağlı olduğu; düşük Mn/S oranı ve yüksek döküm sıcaklıklarının var olan çatlak riskini ve şiddetini artırıcı rol oynadığı bilinmektedir.

Dendritler arasında ayrışma eğilimi yüksek ve sıcak yırtılma riskini artırıcı elementlerin (kükürt, S) yasal sınırların içinde bulunması gerekmektedir. [7]



Şekil 5.1 Kusurlu kütük yüzey yapısı



Şekil 5.2 Haddeleme sırasında çapak oluşumu



Şekil 5.3 Haddeleme sonrası tezgahtan ayrılan kusurlu çelik çubuk

Kimyasal analiz sonuçlarına göre yasal sınırlar dışında (S>0,050) kalan dökümlerin haddeleme öncesi ve haddeleme sonrası görüntüleri şekil 5.1 5.2 5.3 'de verilmiştir.

Mn/S oranının hedef değer aralıkları dışında olması çelik içinde FeS oluşumunu tetiklemekle birlikte ergime noktası düşük olan bu inklüzyonun tane sınırları içerisinde kalıntı

oluşturarak sıcak yırtılmaya sebep olması muhtemeldir. Aynı zamanda haddeleme esnasında çapak ve çapak yapışması oluşumlarına sebebiyet vermesi kusurlu ürün oluşumunu artırarak ıskarta ürün miktarında artışa sebebiyet vermektedir.

6. Deneysel Çalışmalar

İkincil metalürji istasyonunda ferro-alaşım ilavelerinin yanı sıra kükürt gidermede kullanılan karpitin 9 farklı dökümde etkisi incelenmiş olup çelik ve cüruf analizleri yapılarak döküm başı ve sonunda oksijen ölçümleriyle sonuçlar desteklenmiştir. Kullanılan karpit malzeme tenek kova içinde 50 kg ağırlığında her döküme 1 adet şeklinde kullanımını sınırlandırılmıştır.

Karpit kullanımı; pota ocağına gelen dökümlerin yüzey sertliğinin giderilmesinden sonra kullanımına başlanmıştır. Döküm sıcaklığı 1515-1525 °C arasındayken kaynama bölgesine verilmiştir.

1. Döküm:

Hedef sıcaklığa yaklaşıldıktan sonra (1515-1525 °C) 50 kg karpit ilavesi verilmiştir. 1545 °C dereceye kadar döküm çalışmaya devam etmiştir ardından ferro-alyaj ilaveleri yapılmıştır.

50 kg karpit,

292,5 kg kireç,
60 kg FeSiMn,
100 kg FeSi,
20 kg Karbon döküme ilave edilerek döküm hazırlanmıştır. (30 tonluk döküm baz alınmıştır)

2. Döküm:

1530 °C'de karpit kullanılmıştır, 1550 °C'de ferro-alyaj ilaveleri yapılmıştır.

50 kg karpit,

520 kg kireç,
75 kg FeSiMn,
110 kg FeSi,
65 kg Karbon,
7,5 kg Al. döküme ilave edilerek döküm hazırlanmıştır. (30 tonluk döküm baz alınmıştır)
Yarı mamul kimyasal analiz sonuçlarına göre %S yasal sınırlar içinde bulunmaktadır ve %0,059'dan %0,011'e ciddi bir düşüş gerçekleşmiştir.

3.Döküm:

1525 °C'de karpit kullanılmıştır, 1550 °C'de ferro-alyaj ilaveleri yapılmıştır.

Kireç pota ocağında hiç kullanılmamıştır.

50 kg karpit,

90 kg FeSiMn,
100 kg FeSi,
15 Karbon döküme ilave edilerek döküm hazırlanmıştır. (30 tonluk döküm baz alınmıştır)
Yarı mamul kimyasal analiz sonuçlarına göre %S yasal sınırlar içinde bulunmaktadır.

4. Döküm:

1515 °C'de karpit kullanılmıştır, 1545°C'de ferro-alyaj ilaveleri yapılmıştır.

50 kg karpit,

150 kg Kireç,
75 kg FeSiMn,
100 kg FeSi,
15 kg Karbon. döküme ilave edilerek döküm hazırlanmıştır. (30 tonluk döküm baz alınmıştır)
Yarı mamul kimyasal analiz sonuçlarına göre %S yasal sınırlar içinde bulunmaktadır.

5. Döküm:

1520 °C'de karpit kullanılmıştır, 1550 °C'de ferro-alyaj ilaveleri yapılmıştır.

Kireç pota ocağında hiç kullanılmamıştır.

50 kg karpit,

100 kg FeSiMn,
100 kg FeSi,
20 kg Karbon. döküme ilave edilerek döküm hazırlanmıştır. (30 tonluk döküm baz alınmıştır)
Yarı mamul kimyasal analiz sonuçlarına göre %S yasal sınırlar içinde bulunmaktadır ve %0,043'den %0,017'ye ciddi bir düşüş gerçekleşmiştir. Fakat burda deoksidasyonun yeterli miktarda yapılamadığı sıvı çelik içindeki oksijen miktarının yüksek olduğu görülmektedir.

6. Döküm:

1515 °C'de karpit kullanılmıştır, 1550 °C'de ferro-alyaj ilaveleri yapılmıştır.

50 kg karpit,

390 kg Kireç,
105 kg FeSiMn,
100 kg FeSi,
40 kg Karbon,
3,25 kg Al. döküme ilave edilerek döküm hazırlanmıştır. (30 tonluk döküm baz alınmıştır)
Yarı mamul kimyasal analiz sonuçlarına göre %S yasal sınırlar içinde bulunmaktadır.

7. Döküm:

1520 °C'de karpit kullanılmıştır, 1550 °C'de ferro-alyaj ilaveleri yapılmıştır.

50 kg karpit,

130 kg Kireç,
75 kg FeSiMn,
100 kg FeSi,
40 kg Karbon,
3,25 kg Al. döküme ilave edilerek döküm hazırlanmıştır. (30 tonluk döküm baz alınmıştır)
Yarı mamul kimyasal analiz sonuçlarına göre %S yasal sınırlar içinde bulunmaktadır. Hem oksijen seviyesinde hem %S miktarında ciddi düşüş yaşanmıştır.

8. Döküm:

1520 °C'de karpit kullanılmıştır, 1550'de ferro-alyaj ilaveleri yapılmıştır.

Kireç pota ocağında hiç kullanılmamıştır.

50 kg karpit,

75 kg FeSiMn,
100 kg FeSi, döküme ilave edilerek döküm hazırlanmıştır. (30 tonluk döküm baz alınmıştır)
Yarı mamul kimyasal analiz sonuçlarına göre %S yasal sınırlar içinde bulunmaktadır. %0,068'den %0,009'a düşüş yakalanarak en başarılı sonuç elde edilmiştir.

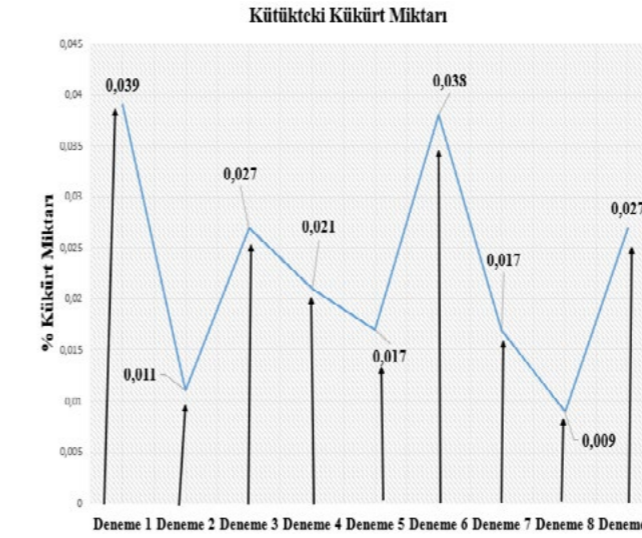
9. Döküm:

1520 °C'de karpit kullanılmıştır, 1550'de ferro-alyaj ilaveleri yapılmıştır.

50 kg karpit,

210 kg Kireç,
75 kg FeSiMn,
90 kg FeSi,
40 kg Karbon döküme ilave edilerek döküm hazırlanmıştır. (30 tonluk döküm baz alınmıştır)

7. Genel Değerlendirme ve Sonuç



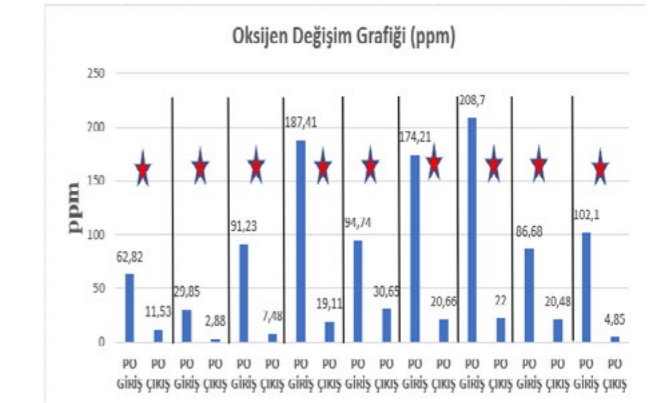
Şekil 7.1 Karpit kullanım sonrası yarı mamuldeki %S değerleri
Deneme yapılan 9 dökümün ortalama %S değeri **0,023**'dür.

KARPIT DENEMESİ SONRASI CÜRUF KİMYASAL ANALİZ SONUÇLARI												
KARPIT	Döküm No	%MnO	%Cr ₂ O ₃	%CaO	%MgO	%Fe ₂ O ₃	%SiO ₂	%Al ₂ O ₃	%MnO	Oksijen (ppm)	PO Çalışma Süresi (dk)	Harcanan Enerji (kWh)
PO GİRİŞ	8709	5,22	0,53	23,52	17,36	6,62	27,98	18,77	11,84	62,82	34	2992
PO ÇIKIŞ		4,81	1,45	63,92	0,00	5,72	17,75	6,35	10,53	11,53		
PO GİRİŞ	8712	8,33	1,80	62,03	0,00	7,58	13,56	6,70	15,91	29,85	31	2736
PO ÇIKIŞ		1,41	0,12	80,30	0,00	2,55	8,35	7,28	3,96	2,88		
PO GİRİŞ	8736	13,09	2,96	60,60	0,00	11,67	5,06	6,61	24,76	91,23	30,8	2848
PO ÇIKIŞ		1,90	0,29	76,80	0,00	4,59	10,98	5,44	6,49	7,48		
PO GİRİŞ	8737	2,18	0,52	53,86	0,00	14,19	19,97	9,28	16,37	187,41	33	2256
PO ÇIKIŞ		1,93	3,81	64,19	0,00	7,02	13,35	9,69	8,95	19,11		
PO GİRİŞ	8738	2,03	1,04	46,03	4,72	21,63	16,53	8,01	23,66	94,74	32,8	2400
PO ÇIKIŞ		2,71	0,52	82,54	0,00	7,71	2,26	4,26	10,42	30,65		
PO GİRİŞ	8740	8,64	3,48	50,09	0,00	14,13	11,30	12,36	22,77	174,21	28,9	2400
PO ÇIKIŞ		1,85	0,37	66,21	0,00	12,17	10,03	9,37	14,02	20,66		
PO GİRİŞ	8743	2,59	0,48	63,49	0,00	5,28	10,43	17,73	7,87	208,7	25,9	2128
PO ÇIKIŞ		3,16	0,79	45,92	9,64	9,09	13,06	18,34	12,25	22		
PO GİRİŞ	8745	4,35	0,96	61,09	5,28	12,69	6,27	9,36	17,04	86,68	26,5	2224
PO ÇIKIŞ		3,71	0,91	54,02	11,26	10,57	8,27	11,26	14,28	20,48		
PO GİRİŞ	8765	5,78	1,43	46,70	9,21	13,22	12,98	10,68	19,00	102,1	26	2272
PO ÇIKIŞ		1,55	0,31	56,18	10,54	2,86	19,30	9,25	4,41	4,85		

Şekil 7.2 9 dökümün cüruf analizi, oksijen miktarları, pota ocağı çalışma süresi ve pota ocağında harcanan enerji verileri

Pota ocağına gelen 9 dökümün ortalama giriş oksijen seviyesi 115,3 ppm, pota ocağında hazırlanan 9 dökümün çıkış oksijen seviye ortalaması 15,5 ppm olarak ölçülmüştür. Pota ocağında 9 dökümün ortalama hazırlama süresi 29,9 dakikadır.

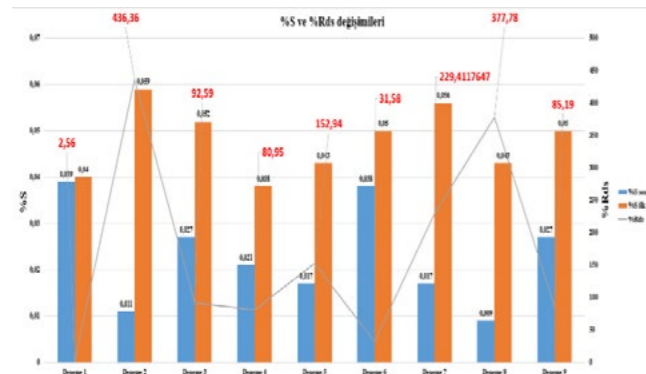
Pota ocağında döküm hazırlanması sırasında 9 dökümün harcanan enerji ortalaması 2472,9 kWh'dır.



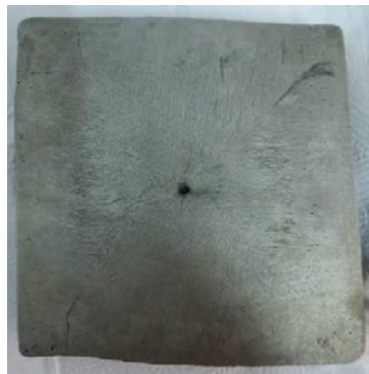
Şekil 7.3 9 dökümün pota ocağı girişi ve çıkışı oksijen ölçüm sonuçları (ppm). (Her yıldız soldan sağa doğru Şekil 7.2'de ki sıralı dökümleri temsil eder)

KARPİT DENEMESİ SONRASI SPEKTROMETRE KİMYASAL ANALİZ SONUÇLARI										
Döküm No:	Ocak No:	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Al	%Cesd	POTA
8709	CZ/1	0,36	0,06	0,26	0,025	0,040	0,39	0,003	0,550	8
	PO/1	0,22	0,00	0,14	0,025	0,045	0,38	0,001	0,369	
	PO/2	0,15	0,15	0,57	0,022	0,037	0,36	0,001	0,394	
	KÜTÜK 9	0,19	0,14	0,58	0,025	0,039	0,48	0,001	0,430	
8712	AZ/1	0,10	0,00	0,13	0,020	0,059	0,14	0,004	0,188	7
	PO/1	0,10	0,00	0,13	0,023	0,061	0,18	0,001	0,197	
	PO/2	0,12	0,09	0,42	0,013	0,027	0,28	0,003	0,282	
	PO/3	0,17	0,21	0,64	0,016	0,016	0,29	0,002	0,371	
8736	CZ/1	0,14	0,00	0,10	0,025	0,052	0,18	0,013	0,252	8
	PO/1	0,15	0,00	0,13	0,027	0,053	0,28	0,001	0,274	
	PO/2	0,14	0,22	0,49	0,024	0,039	0,33	0,002	0,333	
	KÜTÜK 9	0,20	0,20	0,52	0,023	0,027	0,33	0,001	0,389	
8737	AZ/1	0,13	0,00	0,12	0,024	0,058	0,16	0,007	0,222	3
	PO/1	0,15	0,00	0,16	0,027	0,045	0,26	0,001	0,264	
	PO/2	0,18	0,29	0,47	0,020	0,031	0,26	0,005	0,343	
	KÜTÜK 9	0,17	0,24	0,55	0,020	0,021	0,28	0,001	0,354	
8738	CZ/1	0,15	0,00	0,12	0,025	0,052	0,21	0,001	0,251	7
	PO/1	0,14	0,00	0,14	0,024	0,044	0,28	0,009	0,258	
	PO/2	0,15	0,29	0,50	0,018	0,030	0,31	0,004	0,330	
	KÜTÜK 9	0,17	0,24	0,51	0,018	0,017	0,31	0,001	0,354	
8740	AZ/1	0,05	0,00	0,08	0,019	0,050	0,10	0,002	0,126	9
	PO/1	0,08	0,00	0,09	0,022	0,059	0,13	0,004	0,163	
	PO/2	0,14	0,22	0,46	0,013	0,040	0,19	0,001	0,294	
	KÜTÜK 9	0,17	0,15	0,51	0,020	0,038	0,24	0,001	0,345	
8743	AZ/1	0,06	0,00	0,08	0,024	0,056	0,08	0,001	0,131	3
	PO/1	0,06	0,00	0,09	0,022	0,045	0,12	0,010	0,137	
	PO/2	0,21	0,33	0,53	0,017	0,031	0,16	0,005	0,370	
	KÜTÜK 9	0,20	0,28	0,60	0,018	0,017	0,19	0,001	0,375	
8745	CZ/1	0,23	0,03	0,20	0,023	0,043	0,34	0,003	0,375	7
	PO/1	0,21	0,00	0,15	0,026	0,068	0,34	0,001	0,345	
	PO/2	0,20	0,28	0,56	0,023	0,018	0,39	0,004	0,416	
	KÜTÜK 9	0,21	0,24	0,57	0,025	0,009	0,39	0,002	0,424	
8765	CZ/1	0,19	0,01	0,12	0,027	0,050	0,20	0,004	0,296	9
	PO/1	0,15	0,00	0,12	0,027	0,051	0,25	0,001	0,261	
	PO/2	0,10	0,00	0,13	0,019	0,050	0,23	0,001	0,210	
	PO/3	0,16	0,15	0,41	0,020	0,031	0,29	0,001	0,320	
KÜTÜK 9	0,18	0,17	0,47	0,022	0,027	0,27	0,001	0,354		

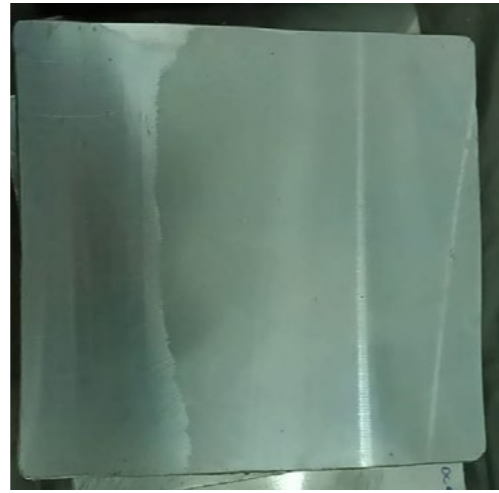
Şekil 7.4: 9 dökümün çelik analizi sonuçları



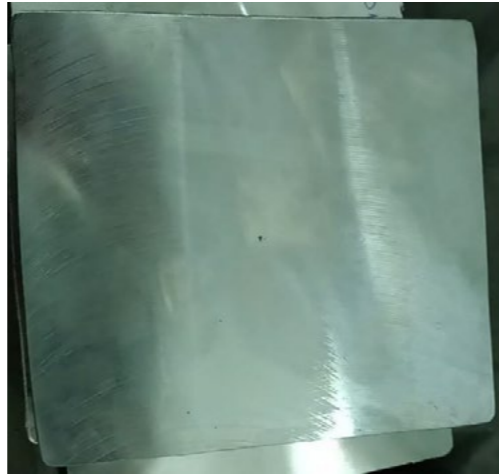
Şekil 7.5: 9 dökümün %S ve %Rds sonuçları



Şekil 7.6 8709 numaralı döküme ait (%0,039 S) kütük kesit numunesi



Şekil 7.7 8712 numaralı döküme ait (%0,011 S) kütük kesit numunesi



Şekil 7.8 8745 numaralı döküme ait (%0,009 S) kütük kesit numunesi

Şekil 7.6, 7.7 ve 7.8'de incelenen kütük kesit numunelerinde yüksek kükürlü dökümün (Şekil 7.6) kütük kesit yüzeyinde kılcal çatlak oluşumları net bir şekilde görülmektedir. Şekil 7.7 ve 7.8'in kütük yüzey kesitlerinde ise herhangi bir çatlak oluşumu, çatlak ilerlemesi, gaz boşluğu oluşumları olmadığı net bir şekilde görülmektedir. Yetersiz deoksidasyon ve desülfürizasyonun kütük yüzey kesitlerinde kalite kusuru oluşturması olası haddeleme problemlerini tetikleyeceğinden dolayı bu iki metalürjik işlemlerin yeterli ve zamanında gerçekleştirilmesi önem arz etmektedir. İkincil metalürji istasyonu pota ocağında karpit kullanımı ile kükürt tasfiyesi gerçekleştirilmekte aynı zamanda kireç kullanımı desteklenmektedir. Sıvı çelik içerisinde serbest oksijen miktarının azaltılması yine deoksidasyon ile mümkündür.

Sonuç:

- Denemelerde karpit kullanımı döküm yüzey sertliğinin giderildiği an kullanılmıştır (yaklaşık 1520 derecede).
- Denemelerde sabit 50 kg karpit kullanımı gerçekleştirilmiştir.
- Denemelerde ferro-alyaj ilaveleri karpit kullanımından sonra gerçekleştirilmiştir.
- 8738 numaralı dökümlerde 1.yola cüruf geldiğinden dolayı yol patlaması yaşanmıştır. Diğer 8 döküm, sürekli döküm makinasında yarı mamule dönüşmesi esnasında herhangi bir yol patlaması, çatlak kütük, ekli kütük, yarı kütük, yol kanaması gibi sorunlar yaşanmamıştır.
- Tüm dökümlerde %S değerleri yasal sınırların altında kalmıştır (< 0,050).
- İlk denemede kükürt oranı %0,037'den %0,039'a çıkmıştır. Döküm sonunda ilave edilen karbonun reoksidasyonu tetikleme ihtimali yüksektir.
- Tüm denemelerde oksijen miktarı 30 ppm altına indirilmiştir.
- MnO+Fe₂O₃ toplamı %5'in altında kalan dökümlerde oksijen miktarları da 5 ppm'in altına indirilmiştir.
- Şekil 5.1, 5.2 ve 5.3'de belirtilen kusurlu ürünlerin kütük yüzey yapısında kılcal çatlaklar ve gaz boşlukları olduğu saptanmış, haddeleme esnasında kopma ve çapak oluşumunu tetiklemiştir.
- Yarı mamul ve nihai ürünün değerlendirilmesi kapsamında B420C standartlarına uygun çelik üretildiği, Şekil 7.6 7.7 ve 7.8'de paylaşılan kütük kesit numunelerinde haddeleme esnasında kusurlu ürün oluşturacak bir problem yaşanmamıştır. Kütük dış yüzey kesitleri bakımından hedeflenen görüntüye ulaşılmıştır.

9 dökümde kullanılan karpit tüm sonuçlarda olumlu olarak değerlendirilebilir. Kullanımını artırarak farklı sonuçlar takip edilebilir.

Referanslar

- [1] M. Hansen ve K. Anderko, "Constitution of Binary Alloys", Mc.Graw Hill, (1958).
- [2] R.Kiessling ve N.Lange, "Non-Metallic Inclusions in Steel", Part II, Iron and Steel Inst., (1966).
- [3] R. Fandrich, H. B. Lungen and C.-D. Wuppermann (2007) Secondary Metallurgy p. (4-5) , p.6
- [4] M.G. Özaksoy, (2004) "İkincil Çelik Üretiminde Kükürt Giderme ve Çelik Kalitesi" İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

[5] E. Özcan, (2021) "Kükürt Giderme İşlemi İçin Kullanılan Malzeme Miktarının Makine Öğrenme Yöntemleri ile Tahmini", Karabük Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Karabük.

[6] J. Kijac, M. Borgon, "Desulphurization of Steel and Pig Iron", Metalurgija 47 (2008) 4, 347-350.

[7] Sürekli Döküm Makinesi (SDM) Kusurları 't.y'

[8] <<https://www.ankaizen.com/karpit-nedir/>> (Erişim tarihi: 28.04.2023)

Çelik İçerisindeki O₂ Gazının Çelik Temizliği ve Son Ürün Olan İnşaat Çeliği Üzerine Etkisi

Effect of O₂ Gas in Steel on Steel Cleaning and Final Product Construction Steel

Nilan DAĞLI

Bilecik Demir Çelik
Türkiye

Anahtar Kelimeler: indüksiyon ocakları, çelik temizliği, oksijen, C-O dengesi-çapak-çapak yapışması

Abstract

Today's steel production is increasingly specialized due to high demands from customers and increasing competition.

With the increasing demands for steel quality, it has become important how to control the process to make clean steel that meets customers' demands for material properties. Steel cleanliness can be expressed by the number of impurity elements or inclusions present in the steel.

Clean steelmaking involves the control of inclusions, including the number, size, morphology of non-metallic inclusions.

In industry, the total amounts of oxygen in the steel are often used to indicate the degree of steel cleanliness. Since the amount of dissolved oxygen is approximately constant, the total oxygen content is a measure of the number of oxide inclusions in the steel.

During the carbon burning process in steel production, some of the oxygen in the steel will dissolve in the liquid metal and cause a void in the steel during solidification, so the oxygen should be as low as possible in order to increase the steel quality.

In this direction, in order to observe a cleaner steel melting process within the scope of this study, oxygen measurements were made from the castings prepared in the Induction Furnace, the castings prepared in the ladle furnace and the tundish at certain temperatures and the effects of the dissolved oxygen amounts in our production conditions on the final product, the construction steel.

Günümüzün çelik üretimi, müşterilerden gelen yüksek talepler ve artan rekabet nedeniyle giderek uzmanlaşmıştır.

Çelik kalitesine yönelik artan taleplerle müşterilerin malzeme özellikleriyle ilgili taleplerini karşılayan, temiz çelik yapmak için sürecin nasıl kontrol edileceği önemli hale gelmiştir. Çelik temizliği, kirlilik elementlerinin veya çelikte bulunan inklüzyonların sayısı ile ifade edilebilir.

Metalik olmayan inklüzyonlar çelik ürünlerin hem işlenmesini hem de uygulanmasını etkileyen çeliğin bir çok özelliğinde önemli rol oynar.

Temiz çelik yapımı metalik olmayan inklüzyonların sayısı, boyutu, morfolojisini içeren inklüzyonların kontrolünü içermektedir.

Endüstride, çelik temizliğinin derecesini belirtmek için çelikteki toplam oksijen miktarları sıklıkla kullanılmaktadır. Çözünmüş oksijen miktarı yaklaşık olarak sabit olduğundan, toplam oksijen içeriği çelikteki oksit inklüzyonlarının sayısının bir ölçüsüdür.

Çelik üretiminde karbon giderme işlemi esnasında çelik içindeki oksijenin bir kısmı sıvı metal içinde çözünmektedir. Bu çözünme katılma esnasında yarı ürün de boşluk oluşmasına neden olmaktadır. Yarı üründe bulunan bu boşluklar haddelemeyi doğrudan etkilemektedir ve çapak/çapak yapışmasına bağlı olarak geri iade alınan yarı mamul ıskarta miktarını arttırmaktadır. Bu sebeple çelik kalitesini arttırmak için oksijenin mümkün olduğunca az olması gerekmektedir.

Bu doğrultuda, bu çalışma kapsamında daha temiz bir çelik ergitme süreci sağlanmasını gözlemleyebilmek adına İndüksiyon Ocağında hazırlanan dökümlerden, pota ocağında hazırlanan dökümlerden ve tandiştin belirli sıcaklıklarda oksijen ölçümleri yapılmış ve üretim şartlarımızdaki çözünmüş oksijen miktarlarının son ürün olan inşaat çeliğine ve haddeleme üzerine etkileri incelenmiştir.

1.GİRİŞ

Çelik üretiminde son yıllarda üzerinde durulan en önemli konu, özellikle çelikteki P, S, N, O ve H gibi elementlerin çok düşük seviyelere kadar azaltılmasının amaçlandığı, temiz çelik olarak tabir edilen çeliği elde edebilmektir.

Çeliğin temizliği, metalik olmayan kalıntılardan arınmış olması manasına gelmektedir. Bu kalıntılar şekil, boyut, adet ve yapı içerisindeki dağılımlarına bağlı olarak çeliklerin yorulma ömrünü etkileyecektir.

Temiz çelik üretimi için çelik temizliğini etkileyen faktörlerin araştırılması, kirliliği arttıran kaynakların azaltılması ve bunun proses yöntemleri veya kullanılan malzemenin seçimi yolu ile gerçekleştirilmesi hedeflenmektedir. Temiz çelik öncelikle çeliğin oksit ve sülfid olarak düşük düzeyde safsızlıklar içermesi, yani yüksek oksit ve sülfid temizliğine sahip olmasını gerektirmektedir. Temiz çelik kavramı son zamanlarda daha da genişletilmiş, çok düşük azot, hidrojen ve bazı durumlarda düşük karbon içeriğini de tanımlar hale gelmiştir.

Çelik üretim sürecinde temiz çelik daha çok, çelikte istenilen kimyasal bileşimin sağlanmaya çalışıldığı pota (sekonder) metalürjisi işlemleri ile şekillenir, daha sonraki sürekli döküm aşamasında ise elde edilmiş olan yüksek temizlik düzeyi korunmaya çalışılır.

Çelik üretiminde içinde kalan oksijenin bir kısmı sıvı metal içinde çözünerek katılma esnasında çelik içinde boşluk oluşmasına neden olacağından çelik kalitesini arttırmak için oksijenin alınması gerekir. Oksijeni gidermek (deoksidasyon) için alüminyum ve ferrosilis şeklinde silisyum ilave edilir. İlave edilen bu elementler oksijen ile oksit bileşikleri oluşturarak cüruf meydana getirmekte veya kalıntı bileşiği olarak çelik içinde kalmaktadır. Deoksidasyon dışında refrakterden veya cüruftan aşınma ve mekanik karışma sonucunda sonucunda ya da kalıpta katılma sürecinde oluşan kalıntılar da çeliği kirletmektedir. Pota metalürjisi işlemleri sonrasında çok düşük oksijen düzeyleri elde edilebilmesine rağmen sıvı çeliğin transfer süreçlerinde yeniden oksijen alma durumuyla karşılaşmakta, aynı zamanda sıvı çelik azot ve bazı durumlarda da hidrojen kapmaktadır.

Bunlar da yapı içerisinde metalik olmayan kalıntılara yol açmaktadır. Yeniden oksitlenme bileşikleri çoğunlukla büyük kalıntılar şeklinde oluşurlar ve eğer özellikle üretimin son aşamalarında oluşmuşlarsa çelikteki kirliliğin en büyük nedeni olurlar.

Temiz çelik ve temiz olmayan çelik kıyaslanacak

olursa, çelik temizliğinin birçok faydası olduğu görülecektir. Temiz olmayan çeliklerin yorulma dayanımları temiz çeliklere göre daha düşüktür. Temiz olmayan çeliklerde akma sınırları ve çekme dayanımları yöne bağlı olarak fazla değişmezken süneklikleri, toklukları ve yorulma dayanımları değişmektedir. Boylamasına kopma uzamaları, kopma büzülmeleri, toklukları ve yorulma dayanımları enlemesinden daha fazla olmaktadır. Çelik temizliği yapıldığında, çentik darbe tokluğu özelliklerinde iyileşme olmaktadır.

1.1 Metalik olmayan inklüzyonlar nelerdir?

Metalik olmayan inklüzyonlar, esas olarak, sıvı çelik yoğunlaşma sürecinde oksijen, kükürt ve nitrojen bileşiklerinin denge sabitlerinin artmasıyla oluşturulan çeşitli metalik olmayan inklüzyon bileşiklerinden gelir. Kimyasal reaksiyonla oluşan ürünlere kısaca metalik olmayan inklüzyon veya inklüzyon denilmelidir. Çelikteki inklüzyon miktarı az olsa da çelik malzeme ve ürünlerin kalitesi üzerinde kötü bir etkisi vardır. Modern malzeme mühendisliği teknolojisinin gelişmesiyle, çelik kalitesi gereksinimi giderek daha katı hale geldi. Bu nedenle, metalik olmayan inklüzyonların derinlemesine incelenmesi ve mümkün oldukça çelikten arındırılması son derece önemlidir. Çünkü çeliğin iç yapısındaki kalıntılar çeliklerin mukavemet düzeyleri, tokluk ve yorulma özelliklerini doğrudan etkileyerek çelikleri, üstün ya da düşük maliyetli yapmaktadır[1]. Hem işlenmesini hem de uygulanmasını etkileyen metalik olmayan inklüzyonların kontrolü ile temiz çelik yapımı sağlanır.

Endüstride, çelik temizliğinin derecesini belirtmek için çelikteki toplam oksijen miktarları sıklıkla kullanılmaktadır. Çelik kalitesini arttırmak için oksijenin mümkün olduğunca az olması gerekmektedir.

1.2.Çelikte oksijen etkisi

Oksijen genellikle üretilen çeliğin kalitesine zararlı olduğu için çelik yapım sürecinde önemlidir. Katı çelikte oksijenin çözünürlüğü ihmal edilebilecek kadar küçüktür. Bu nedenle, sıvı çeliğin katılma sırasında, fazla oksijen katılan metal tarafından reddedilir. Bu fazla oksijen C, Mn, Si vb. ile reaksiyona girerek kusurlara neden olur ve hava deliklerinin oluşmasına neden olur. Yarı üründe bulunan bu boşluklar haddelemeyi doğrudan etkilemektedir ve çapak/çapak yapışmasına bağlı

olarak geri iade alınan yarı mamul ıskarta miktarını arttırmaktadır. Bu sebeple çelik kalitesini arttırmak için oksijenin mümkün olduğunca az olması gerekmektedir.

1.3. Pota ocağı çalışma prensibi

Çelik içinde bulunabilecek tüm oksit, sülfür, nitrür gibi metalik olmayan bileşikler kalıntıları (inklüzyon) oluşturur. Tüm çeliklerde kalıntı az veya çok, mutlaka bulunur. Metalik olmayan bu kalıntıların türü veya görünümü; çeliğin cinsi, ergitme yöntemi, pota metalurjisi işlemleri ve dökümü gibi değişik etkenlere bağlıdır. Çelik içindeki metalik olmayan kalıntılar kırılabilir ve çok değişik çatlak oluşumları gibi, tehlikeli ve ciddi malzeme hatalarının en önemli nedenlerinden biridir. Bu yüzden Pota ocağında bu kalıntıların giderilme işlemi yapılması önem arz eder.

BDÇ'de yapılan döküm sürekli döküm işlemidir. Sürekli döküm prosesi çok hızlı katılaşmayı gerektirdiğinden sözü edilen gazlar dışarı atılmadan katı çelik içerisinde kalarak "gaz boşluğu" adı verilen döküm kusurlarına neden olur. Bu nedenle oksijen çözünürlüğünün az boşluğu oluşturmayacak kritik değerin altına düşmesi gerekmektedir. Bu işlemde deoksidasyon ile gerçekleşir.[2,3]

Deoksidasyonun yapılabilmesi için öncelikle Pota Ocağı'nda malzeme ilavesi öncesinde banyonun oksijen çözünürlüğü ile bu değerin ne kadar düşürülebileceğinin ve ayrıca katılma sırasında gaz boşluğu oluşturmayacak kritik oksijen çözünürlüğünün bilinmesi gerekmektedir.

1.4. Gaz boşluğu nedir?

Çelik üretiminin açık atmosferde gerçekleştirilmesi, çok yüksek sıcaklıklarda çalışması ve Oksijen gazı ile rafineasyona dayanması nedeniyle kaçınılmaz olarak sıvı çelik içinde soda, kolaya benzer şekilde Oksijen(O₂), Azot(N₂) ve Hidrojen(H₂) gibi gazlar çözünmektedir[4].

Gaz çözünürlükleri sıcaklığın bir fonksiyonu olduğundan özellikle Oksijen gazı çözünürlükleri büyük boyutlara kadar çıkabilmektedir. Ancak

katılaşmış çelik içinde gazların çözünürlükleri ihmal edilebilecek düzeydedir ve katılma sırasında gazlar sıvı çelikten atmosfere tabii olarak atılmaktadır. Sürekli dökümde çok şiddetli soğutma olması nedeniyle katılma çok kısa sürelerde oluşmaktadır, sıvı çelik içinde çözünmüş bulunan gazlar ani katılma nedeniyle dışarıya çıkma fırsatı bulmadan gaz boşluğu olarak katılma kabuk içine hapsolarak kusur oluşturmaktadır[5].

2. Deneysel Çalışmalar:

Sıvı çelik üretim prosesinde gerek çelik gerekse cürufu sürekli olarak kontrol edilmesi gereken en önemli parametrelerin başında çözünmüş oksijen gelmektedir.

Bu çalışmada sıvı çelik üretim proselinin ilk aşaması olan indüksiyon ocaklarından itibaren dökümün pota ocağı ve yarı mamül olan kütüklerinde çözünmüş oksijen kontrolü yapılmıştır.

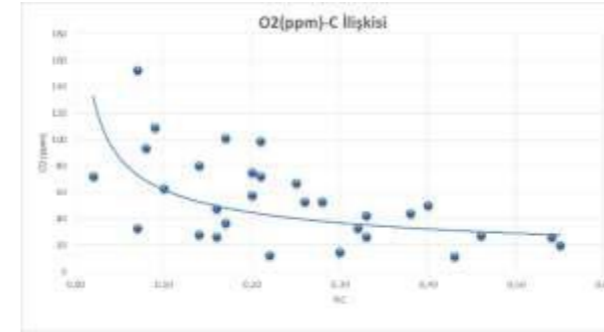
Çelik üretiminin son aşaması olan deoksidasyon aşaması uygulanarak indüksiyon ocaklarından gelen dökümün deoksidant malzemeler ile (ferrosilis, ferromangan) oksijen seviyesinin düşürülmesiyle çeliğin yapısındaki Mn Si miktarı değişimi ve buna bağlı olarak gaz boşluklarından kaynaklı çapak/çapak yapışması durumları incelenmiştir. Ayrıca operasyonel süreçler gereği sürekli dökümde tandişe oksijen verildiği dökümlerinde incelenmesi yapılmıştır.

Tablo 1. Çelik Analiz Tablosu

Çelik Analizleri						
Döküm No	Numune	Sıcaklık	PPM	%C	%Si	%Mn
1	Ocak	1600	93,55	0,08	0,01	0,13
	PO Giriş	1535	11,87	0,15	0,00	0,14
	PO İlave sonrası	1543	10,2	0,14	0,18	0,2
	PO Çıkış	1593	19,44	0,12	0,26	0,78
	Tandiş	1549	25,94	0,16	0,21	0,75
2	Ocak	1605	153	0,07	0,01	0,06
	PO Giriş	1530	97	0,13	0,01	0,13
	PO İlave sonrası	1555	17	0,18	0,13	0,45
	PO Çıkış	1585	22,6	0,19	0,17	0,48
	Tandiş	1548	33	0,19	0,17	0,52
3	Ocak	1600	63,25	0,10	0,00	0,10
	PO Giriş	1546	84,12	0,09	0,00	0,09
	PO İlave sonrası	1570	15,94	0,14	0,05	0,56
	PO Çıkış	1613	6,17	0,18	0,13	0,62
	Tandiş	1565	32,17	0,19	0,18	0,61
4	Ocak	1595	33	0,32	0,04	0,26
	PO Giriş	1535	73,21	0,23	0,05	0,29
	PO İlave sonrası	1565	20,6	0,2	0,12	0,35
	PO Çıkış	1651	11,37	0,18	0,25	0,48
	Tandiş	1562	30,28	0,18	0,19	0,55
5	Ocak	1605	20	0,55	0,13	0,43
	PO Giriş	1565	30,03	0,39	0,03	0,22
	PO İlave sonrası	1578	18,22	0,22	0,00	0,26
	PO Çıkış	1631	30,61	0,21	0,24	0,66
	Tandiş	1558	34,2	0,19	0,17	0,64

Tablo 1'de 5 örnek dökümün ocak, pota ocağı giriş (PO), pota ocağı ilave sonrası, pota ocağı çıkış ve tandişe aşamalarından oksijen ölçümü ve çelik analizleri görülmektedir.

Aşağıdaki grafikte de gösterildiği gibi oksijen miktarının %C miktarı ile doğrudan ilişkisi vardır.



Grafik 1. O₂-%C ilişkisi

Grafik 1 aldığımız oksijen ölçümleri ile %C ilişkisini göstermektedir. Grafikten de görüldüğü üzere %C miktarındaki artışa bağlı olarak O₂ miktarı düşmektedir.

Pota ocağı ferrosilis, ferromangan (deoksidant malzemeler) ilave sonrasında oksijen miktarındaki düşüş görülmektedir.

Tandişte oksijenin yükselmesinin sebebi açık dökümden dolayı çeliğin hava ile temas etmesidir.

Tablo 1 BDÇ'nin normal şartlarda sorunsuz verilerini içermektedir.

Tablo 2. Tandişte oksijen müdahalesi yapılan dökümler

Döküm No	Numune	Sıcaklık	PPM	%C	%Si	%Mn
1	Ocak	1600	15,12	0,46	0,08	0,32
	PO Giriş	1500	39,48	0,30	0,01	0,16
	PO İlave sonrası	1580	42,56	0,25	0,00	0,21
	PO Çıkış	1610	8,57	0,19	0,19	0,42
	Tandiş	1530	68,2	0,20	0,17	0,46
2	Ocak	1598	11,81	0,43	0,02	0,17
	PO Giriş	1503	35,95	0,42	0,01	0,17
	PO İlave sonrası	1544	55,16	0,26	0,00	0,32
	PO Çıkış	1618	47,2	0,15	0,16	0,40
	Tandiş	1540	60,2	0,18	0,19	0,58

Tablo 2'de verilen dökümlere organizasyonel süreçlerden dolayı (tandiş sıcaklığının düşük olması) tandişe 3 boy oksijen müdahalesi yapılmıştır. Bu müdahale analizde sorun yaratmamasına rağmen fazla oksijen seviyesinden dolayı yarı üründe gaz boşluğu yaratmıştır.

Deneysel çalışmada normal şartlarımızdaki veriler ile oksijen müdahalesi yapıldığındaki verilere kıyaslanmıştır.

3. Sonuçlar ve Tartışma

Tablo 1'de yer alan örneklerin kimyasal analizleri, çeşitli üretim parametreleri görülmektedir.

Tablo 1'deki sonuçlar incelenecek olursa ocak numunelerinde sıcaklığın yüksek olması ve %C'nun düşük olmasından dolayı oksijen (ppm) değerleri daha yüksektir. Pota ocağında deoksidant malzeme ilavesinden sonra oksijen giderme işlemi gerçekleştiğinden giriş analizlerine göre oksijen seviyesinin düşmüş olduğunu görmekteyiz. İlave malzeme verilmesinden ve oksijen seviyesinin düşmesinden dolayı çelik analizlerinde bizim için önemli parametrelerden olan %Si ve %Mn değerlerimiz istediğimiz sonuçlardır. Bu sonuçları elde etmemizin sebebi de tabii ki sıvı çelikteki çözünmüş oksijeni kontrol edebilmemizdir.

Tandişten aldığımız oksijen ölçümlerinde ise bir miktar artış görülmektedir. Bu artış açık dökümden kaynaklı sıvı çeliğin döküm esnasında hava ile temas etmesinden ve organizasyonel süreçten dolayı döküm esnasında tandişten cüruf süzmek amacıyla kullanılan çeltiklerden kaynaklanmaktadır.

Tablo 1'de görülen değerlerde oksijen seviyesi kontrol altında olduğundan dökümde kalıntı kontrolü sağlanması, silis ve mangan değerlerimizin çalışma aralığında olması sebebiyle yarı ürün ve son ürünlerimizde gaz boşluğu görülmemektedir.

Tablo 1 'de görülen 5 numaralı dökümde tandişte diğer dökümlere nazaran oksijen seviyesi daha yüksektir.(34,2 ppm) Bu dökümden alınan numune şekil 1 ve şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 1. 5.döküm kontrol numunesindeki hafif gaz boşluğu görüntüsü



Şekil 2. Sorunsuz nihai ürün

Şekil 1'de görülen hafif gaz boşluğu haddehanede sorun yaratmaz ve tolere edilebilir aralıktadır. Son üründe herhangi bir çapak/çapak yapışması vb. yapmamaktadır.

Tablo 2'de verilen numunelerde ise tandište sıcaklık düşmesinden dolayı 3 boy oksijen verilen numuneler yer almaktadır.

Bu numunelerde oksijen seviyesi 68,2 ve 60,2 ppm değerlerindedir. Bu dökümlerden alınan numune sonuçları şekil 3, şekil 4 ve şekil 5'te görülmektedir.



Şekil 3. Oksijen müdahalesi yapılan dökümün kontrol numunesi yoğun gaz boşluklu numune görüntüsü



Şekil 4. Oksijen müdahalesi yapılan dökümün kütük görüntüsü



Şekil 5. Oksijen müdahalesi yapılan dökümün çapaklı/çapak yapışmalı ıskarta son ürün görüntüsü

Şekil 3,4 ve 5'te görüldüğü üzere 60-68 ppm oksijen değerlerinde yoğun gaz boşlukları bulunmaktadır. Yüksek oksijen seviyesinden dolayı çapak/çapak yapışmasından kaynaklı ıskarta ürün oluşmaktadır.

Yapılan çalışmaların sonuçlarından görüldüğü üzere yaklaşık 30-35 ppm serbest oksijen değeri gaz boşluğu için sınır değer olmaktadır. Oksijen değerinin 35 ppm'den büyük olduğu durumda gaz boşlukları aşırı şiddetlenmekte ve haddehanede ıskarta ürün oluşumuna sebebiyet vermektedir.

4.SONUÇ

Sonuç olarak Bilecik Demir Çelik A.Ş.' de dökümlerimizden belirli zaman ve sıcaklıklarda oksijen ölçümleri ve dökümlerin kimyasal analizleri yapılmıştır. Bizim serbest oksijen değeri çalışma aralığımız 30-35 ppm'dir. Organizasyanel süreçlerden dolayı yükselen (oksijen verme) oksijen miktarımız 35 ppm'den daha yüksek olduğu durumlarda gaz boşlukları şiddetlenmekte ve haddehanede ıskarta ürün oluşumuna sebebiyet vermektedir. Bilecik Demir Çelik'te serbest oksijen değeri çalışma aralığımız 30-35 ppm'dir. Organizasyonel süreçlerden dolayı yükselen (oksijen verme) oksijen miktarımız 35 ppm'den daha yüksek olduğu durumlarda gaz boşlukları şiddetlenmekte ve buna bağlı olarak son üründe çapak/çapak yapışması vb. sorunlar çıkartmaktadır.

Referanslar

- [1].KÖLLER,O.,1987,Influence of Mn-Si Deoxidation on the type of Inclusion of a Steel Cast in a Billet Caster in dependence on Deoxidation and/or Alloying Time,International Conference Secondary Metallurgy.
- [2].GHOSH,A.,2001. Secondary Steelmaking, Principles and Applications, CRC Press,London.
- [3].SEVİNÇ,N.,1987.Çelikte Oksijen Giderme,T.C Sanayi ve Ticaret Bakanlığı,Sanayi Eğitim ve Geliştirme Merkezi Genel Müdürlüğü,Bursa
- [4]. BANNENBERG, N. Refrakter malzeme ile çelik arasındaki etkileşimler ve bunların çeliğin temizlik derecesi üzerindeki etkileri . Çelik ve Demir, cilt. 115, sayı 10. 1995. sayfa 75-82
- [5] B. Deo ve R. Boom, "Fundamentals of Steelmaking Metallurgy", Prentice Hall International, BK, 1993.

Alüminyum İletken Üretim Sektöründe Deep Learning YüzeY Görüntüleme Sistemi ile Hasar Tespiti

Damage Detection in Aluminum Conductor Production Sector with Deep Learning Surface Imaging System

Doğukan ÖZ, Gazi Can İLKİN, Pınar Sinem ÖZER

Emta Conductor & Cable
Türkiye

Anahtar Kelimeler: Alüminyum İletken, Deep Learning, YüzeY Görüntüleme, Hasar Tespiti

Abstract

The mechanical and electrical properties of braided aluminum conductors used in power transmission lines are specified in international standards. Surface quality is also addressed in these standards. In the production process of aluminum conductors, certain conditions can negatively affect surface quality. In the current system, defects occurring on the conductor surface are manually detected by workers. Some defects that are difficult to perceive can result in customer dissatisfaction. In this study, the aim is to detect defects that may occur on the surface of aluminum conductors and improve production quality. Images of deformations such as cracks, streaks, and superficial peelings on the products are collected and filtered according to each defect type. The collected defective data visuals are trained, validated, and tested to create a dataset. After training these filtered defect types with the YOLOv8 model, the accuracy of the detections is observed by testing on similar images to the trained defects. Following the test, the developed model, integrated with mobile platforms using high-resolution cameras, can be used to record the defects on the conductors by utilizing the cameras of mobile devices or different high-resolution cameras. This enables the detection of defects in products that are difficult to perceive with the naked eye or for which the eye cannot capture the fast flow of defects, providing the necessary data to quality control units. As a result, the detections and actions taken by the units can be performed more quickly. In conclusion, the developed surface imaging system is expected to play an important role in facilitating and shortening the processes of quality control departments in the production of aluminum conductors. Its main purpose is to assist quality control processes by providing significant support in terms of detecting and addressing defects.

Özet

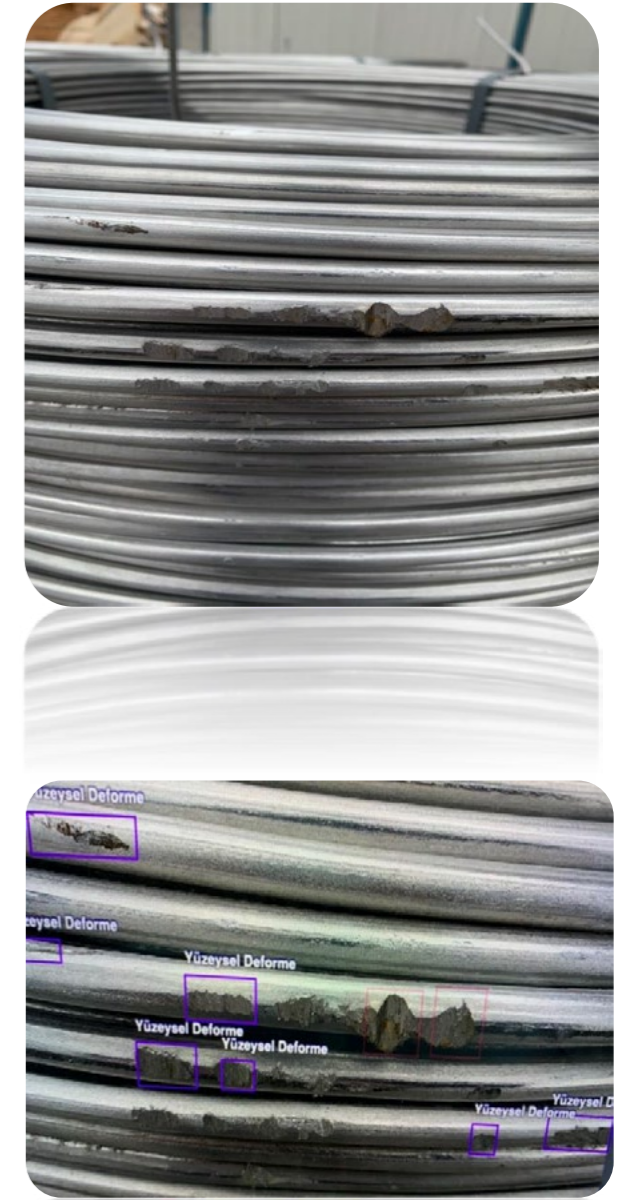
Enerji nakil hatlarında kullanılmakta olan örgülü alüminyum iletkenlerin mekanik ve elektriksel özellikleri uluslararası standartlarda belirtilmektedir. Bu standartlarda yüzeY kalitesi de ele alınmaktadır. Alüminyum iletken üretim sürecinde yüzeY kalitesini olumsuz yönde etkileyecek bazı durumlarla karşılaşmaktadır. Mevcut sistemde iletken yüzeyinde meydana gelen kusurlar çalışanlar tarafından manuel olarak tespit edilmektedir. Gözle görülmesi güç olan bazı kusurlar müşteri memnuniyetsizliği ile sonuçlanabilir. Bu çalışmada alüminyum iletkenlerin yüzeyinde oluşabilecek kusurları tespit etmek ve üretim kalitesini artırmak için ürünlerin üzerindeki deforme olmuş çatlak, damarlar ve yüzeysel soyulmalar gibi kusurların görüntüleri toplanarak her bir kusurun tipine göre filtrelenir. Toplanan kusurlu verilerin görselleri train, value ve test olarak eğitilip bir veri seti haline getirilir. Filtrelenen bu kusur tipleri YoloV8 modeli ile eğitildikten sonra eğitilen kusurlara benzer görseller üzerinde test edilerek ne kadar isabetli tespit yapıldığı gözlemlenecektir. Test sonrasında yüksek çözünürlüklü bir kamera ile kullanılan model eğitilen bu verilerle mobil platformlara entegre edilerek mobil cihazların kameraları veya daha farklı yüksek çözünürlüklü kameralar ile kayda alınarak iletkenlerin üzerindeki kusurların tespitleri yapılabilecektir. Böylelikle göz görülmesi güç olan veya gözün hız akışını yakalayamadığı ürünlerin kusur tespitleri gerçekleştirilip üretiminin kalite birimlerine gerekli veriyi sağlayacaktır. Bu şekilde ise birimlerin tespitleri ve aldıkları aksiyonlar daha hızlı bir şekilde gerçekleştirilecektir. Çalışmanın sonucunda geliştirilen yüzeY görüntüleme sistemi ile alüminyum iletkenlerin üretiminde kalite kontrol gibi departmanların süreçlerini kolaylaştıran ve süreçlerini kısaltan bu sistemin kalite kontrol süreçlerine yardımcı olması açısından önemli rol alacağı ön görülmekte ve amaçlanmaktadır.

1. Giriş

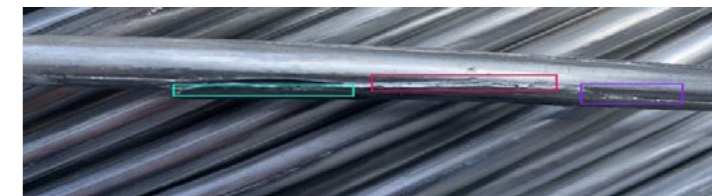
Alüminyum iletken üretimi sektöründe, alüminyum külçeler fırında yaklaşık 800° de ergitilip dinlendirme fırınlarına gönderilir. Dinlendirme fırınında bir süre bekledikten sonra döküm hattına giriş yapar ve burada bulunan teker ve etrafındaki soğutma sistemiyle şekillendirilir ve haddelerin bulunduğu redüktörlere girer. Haddelenmeden çıktıktan sonra alüminyum filmaşın halini alır ve sepete sarılmaya başlar. Daha sonra bu sepetlere sarılan filmaşınler soğumaya bırakılır. Soğuyan filmaşınler kalite kontrol birimleri tarafından filmaşın üzerinde herhangi bir hasar, deformasyon, çapaklanma ve damar gibi üretimin ileriki proseslerinde ürün üzerinde oluşumuz koşul yaratabilecek tüm koşullar göz önüne alınarak kontrol edilir. Ancak metalik renklerin parlaması, aynı ve renksizliği gibi faktörler göz önünde bulundurulduğundan görmesi güç hale gelen bu hasarlar gözden kaçabilir ve bunlar ileriki tel- çekme prosesinde kopma yaparak olumsuz sonuçlar doğurabilir. Bunun önüne geçilmesi için “Alüminyum İletken Üretim Sektöründe Deep Learning YüzeY Görüntüleme Sistemi ile Hasar Tespiti” projesi hayata geçirilmiştir. Bu yapay zekâ görüntüleme sistemi ile alüminyum filmaşınlerin üzerlerinde olumsuz koşullar doğurabilecek hasarların veya deforme olmuş kısımların tespiti yapılabilecek ve ilgili birim tarafından kolaylıkla etiketlenebilecektir.

2. Deneysel Çalışmalar

İlk olarak belirli literatür taramaları yapıldıktan ve algoritma oluşturulduktan sonra yolov8 modeli Google Colab'a import edilir. Görüntülerin işlenerek eğitilmesi çok fazla gpu tükettiğinden dolayı ilk olarak Google Colab üzerinden yazılıp test edilmiştir. Import edilen modele en az 2000 – 3000 adet hasarlı filmaşın görselleri yüklenmiştir. Bunlar test, train, ve valid olarak ayrılmıştır. Görsellerin train kısmına hasarlı filmaşınlerin yüzeyindeki hasarlar ve deforme olmuş kısımlar kategorize edilmiş ve ona göre etiketlenmişlerdir.(Örğ:Yüzeysel_Deformasyon,Yüzeysel_Hasar,Çapaklanma) Şeklinde. Daha sonra %60 train, %10 test ve %30 valid şeklinde ayrılmıştır. Bu. Veriler ile YoloV8'e import edilerek orada eğitilmeye başlanır .Eğitilen veriler ilk başta daha önce öğretilmemiş olan alüminyum filmaşınlerin üzerinde test edilmiştir ve ilk başta alüminyumun filmaşın halinde nekad ar isabetli olduğu test edilmiştir. Alüminyum filmaşın üzerinde fazla ışık yansımalarının yüzeY tespitinde aksaklığa neden olduğu tespit edilmiştir. Daha sonra hasarlı verilerin üzerinde etiketlenmeler başlanmış ve modele eğitilmeye başlanmıştır. Hasar tespitlerinin etiketlenerek yüksek 60 fps'lere akıcı bir şekilde etiket yapıldığı tespit edilmiştir.



Şekil 2. Etiketleme yapılmamış, train verisi ve etiketlenmiş hali (Mor ile İşaretlenmiş kısımlar Yüzeysel Deformasyon olarak eğitilmiş kısımlar hafif silik kırmızı kısımlar ise Yüzeysel Hasar olarak etiketlenmiş ve ona göre modele train edilmiştir.)



Şekil 2.1 Kategorilere ayrılan hasarların etiketlenmesi
Turkuaz = Çapaklanma Kırmızı = Yüzeysel_Hasar
Mor=Yüzeysel_Deforme

2.1. Süreç

Alüminyum İletken Üretim Sektöründe Deep Learning Yüzey Görüntüleme Sistemi ile Hasar Tespiti projesi için Süreç şu şekilde işleyecektir;
Bu metindeki yazılımın algoritması aşağıdaki adımları içerebilir:

1. Veri Toplama:

- Alüminyum iletkenlerin yüzeyinde oluşabilecek kusurları tespit etmek için görüntü verileri toplanır.
- Deforme olmuş çatlaklar, damarlar ve yüzeysel soyulmalar gibi farklı kusur tipleri için görüntüler toplanır.
- Toplanan görüntüler train, validation (value) ve test kümelerine ayrılır.

2. Veri Ön İşleme:

- Görüntülerdeki kusurların belirginleştirilmesi ve algılanmasını kolaylaştırmak için görüntü ön işleme teknikleri uygulanır.
- Gürültü azaltma, kontrast artırma, keskinleştirme gibi işlemler yapılır.

3. Kusur Tespiti Modelinin Eğitimi:

- YoloV8 modeli gibi bir nesne algılama modeli kullanılarak kusur tespiti modeli eğitilir.
- Eğitim veri seti kullanılarak modelin öğrenmesi sağlanır.
- Model, farklı kusur tiplerini algılayabilme yeteneği kazanır.

4. Modelin Doğrulama ve Ayarlaması:

- Eğitilen model, test veri seti üzerinde değerlendirilir.
- Modelin doğruluk oranı, yanlış pozitifler ve yanlış negatifler gibi metriklerle değerlendirilir.
- Modelin performansını artırmak için hiperparametreler ayarlanır ve model tekrar eğitilebilir.

5. Mobil Uygulama Entegrasyonu:

- Yüksek çözünürlüklü bir kamera kullanılarak alüminyum iletkenlerin üzerindeki kusurların tespitleri gerçekleştirilir.
- Model, mobil cihazların kameraları veya başka yüksek çözünürlüklü kameralar ile kayıt yapabilen mobil platformlara entegre edilir.
- Kamera tarafından kaydedilen görüntüler model tarafından işlenir ve kusurların tespiti gerçekleştirilir.

6. Sonuç ve Kalite Kontrol:

- Geliştirilen yüzey görüntüleme sistemi, alüminyum iletkenlerin üretiminde kalite kontrol departmanlarına yardımcı olur.
- Tespit edilen kusurlar kalite birimlerine iletilir ve gerekli aksiyonlar alınır.
- Bu süreç, kalite kontrol süreçlerini kolaylaştırır, hızlandırır ve üretim kalitesini artırır.

3. Tartışma

Bu çalışmada, alüminyum iletkenlerin yüzeyinde oluşabilecek kusurları tespit etmek ve üretim kalitesini artırmak amacıyla bir yöntem önerilmektedir. Bu yöntemde, ürünlerin üzerindeki deforme olmuş çatlaklar, damarlar ve yüzeysel soyulmalar gibi kusurların görüntüleri toplanmaktadır. Her bir kusur tipine göre bu görüntüler filtrelenerek, kusurlu verilerin görselleri train, value ve test olarak eğitim veri seti haline getirilir. Ardından, bu filtrelenen kusur tipleri YoloV8 modeli ile eğitilir ve eğitilen kusurlara benzer görseller üzerinde test edilerek tespit oranı değerlendirilir. Test sonuçlarına bağlı olarak, yüksek çözünürlüklü bir kamera kullanılarak mobil platformlara entegre edilebilen bir model geliştirilir. Bu şekilde, mobil cihazların kameraları veya farklı yüksek çözünürlüklü kameralar kullanılarak iletkenlerin üzerindeki kusurların tespitleri gerçekleştirilebilir. Bu sayede gözle görülmesi güç olan veya gözün hız akışını yakalayamadığı ürünlerin kusurları tespit edilerek üretimin kalite birimlerine gerekli veriler sağlanabilir. Bu çalışmanın sonucunda geliştirilen yüzey görüntüleme sistemi, alüminyum iletkenlerin üretiminde kalite kontrol gibi departmanların süreçlerini kolaylaştıran ve kısaltan bir rol oynayarak, kalite kontrol süreçlerine yardımcı olması amaçlanmaktadır. Bu sistem, üretimdeki kusurları tespit etmek için hızlı ve etkili bir yöntem sunarak birimlerin tespitleri ve alınacak aksiyonların daha hızlı bir şekilde gerçekleştirilmesine olanak tanıyacaktır.

4. Sonuç

Bu çalışmanın sonucunda elde edilen yüzey görüntüleme sistemi, alüminyum iletken üretiminde kalite kontrol departmanlarının süreçlerini kolaylaştırmakta ve süreçleri kısaltmaktadır. Üretimdeki kusurların hızlı bir şekilde tespit edilmesi, kalite birimlerinin alınacak aksiyonları daha hızlı bir şekilde gerçekleştirmesine olanak tanımaktadır. Bu sistemin yaygın bir şekilde kullanılmasıyla birlikte alüminyum iletken üretiminde kalite seviyesinin yükselmesi ve maliyet tasarruflarının sağlanması hedeflenmektedir. Bu çalışma, alüminyum iletken üretiminde kalite kontrol süreçlerine yardımcı olması, üretim kalitesini iyileştirmesi ve müşteri memnuniyetini artırması açısından önemli bir adımdır. Gelecekte yapılacak araştırmalarla bu sistemin daha da geliştirilerek endüstriyel uygulamalarda yaygınlaşması ve enerji nakil hatlarının güvenilirliğini artırması beklenmektedir.

Kaynaklar

- [1] <https://github.com/ultralytics/ultralytics>
- [2] <https://docs.ultralytics.com>
- [3] <https://towardsdatascience.com/train-yolo-for-object-detection-on-a-custom-dataset-using-python-e4fe5eb94673>
- [4] <https://blog.roboflow.com/how-to-train-yolov8-on-a-custom-dataset/>
- [5] <https://www.analyticsvidhya.com/blog/2022/06/yolo-algorithm-for-custom-object-detection/>
- [6] <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/1825645>
- [7] <https://medium.com/deep-learning-turkiye/yolo-algoritmasını-anlamak-290f2152808f>

Organik Rankine Çevrimi Teknolojisi ve Hidrojen Üretimi ile Atık Isı Geri Kazanımı

Organic Rankine Cycle Technology and Waste Heat Recovery with Hydrogen Production

Seyyed Hamed Pour Rahmati KHALEJAN

Hidropar Hareket Kontrol Teknolojileri Merkezi
Türkiye

Abstract

In recent years, the interest in recovering waste heat through the utilization of Organic Rankine Cycle (ORC) technology for power generation has been steadily growing. The reason behind this interest lies in the fact that ORC offers a highly efficient and cost-effective means of converting waste heat into useful energy. In the specific context of the continuous casting machine industry, a substantial amount of waste heat is generated during the casting process and is typically dissipated into the surrounding environment, resulting in significant energy loss and contributing to the overall energy consumption of the plant. By implementing ORC technology, the waste heat from the continuous casting machine can be efficiently recovered and converted into electricity. This electricity can then be utilized to power various parts of the plant, thereby reducing the reliance on traditional energy sources. Moreover, the implementation of ORC technology opens up an additional opportunity for the plant to further enhance its sustainability efforts. By utilizing the electricity generated through ORC, the plant can engage in the production of hydrogen via electrolysis, which serves as a clean and renewable alternative to traditional fossil fuels. The integration of ORC technology not only allows for the recovery of otherwise wasted energy but also enables the reduction of the plant's carbon footprint. This approach aligns with the global efforts to transition towards a low-carbon economy and offers substantial benefits in terms of energy efficiency, cost savings, and environmental impact.

Keywords: Organic Rankine Cycle (ORC), Waste Heat Recovery, Continuous Casting Machine, Hydrogen Production.

Özet

Son yıllarda, atık ısısının geri kazanılması için Organik Rankine Çevrimi (ORÇ) teknolojisinin kullanılmasıyla ilgili büyüyen bir ilgi bulunmaktadır. ORÇ, atık ısıyı verimli ve uygun maliyet bir şekilde kullanılabilir enerjiye dönüştürme konusunda yüksek etkinlik sağladığı için tercih edilmektedir. Sürekli döküm makinesi endüstrisi bağlamında, döküm süreci sırasında atık ısı oluşmakta ve genellikle çevreye yayılmaktadır. Bu durum enerji kaybına ve tesisin genel enerji tüketimine sebep olmaktadır. ORÇ teknolojisinin uygulanmasıyla, sürekli döküm makinesinden kaynaklanan atık ısı geri kazanılarak elektriğe dönüştürülebilir. Bu elektrik, tesisin çeşitli bölümlerinin enerji ihtiyaçlarını karşılamak için kullanılabilir. Dahası, ORÇ teknolojisiyle üretilen elektriğin elektroliz yoluyla hidrojen üretimi için kullanılması, tesisdeki fosil yakıtlara olan bağımlılığı önemli ölçüde azaltabilir ve karbon ayak izini düşürebilir. ORÇ teknolojisinin entegrasyonu, enerji israfının önlenmesine ve tesisin çevresel etkisini azaltmaya yardımcı olmanın yanı sıra, sürdürülebilirlik çabalarının güçlendirilmesi için de önemli bir fırsat sunmaktadır. Bu yaklaşım, düşük karbon ekonomisine geçiş çabalarıyla uyumlu olup enerji verimliliği, maliyet tasarrufu ve çevresel etki açısından önemli faydalar sağlamaktadır.

Anahtar kelimeler: Organik Rankine Çevrimi (ORÇ), Atık ısı geri kazanımı, Sürekli Döküm Makineleri, Hidrojen Üretme.

1- Giriş

İnsan faaliyetlerinin artması ve sanayinin gelişmesi, enerji tüketiminde artışa neden olmuştur. Fosil yakıtlar, enerji ihtiyacını karşılamak için giderek daha fazla kullanılmaktadır. Ne yazık ki, fosil yakıtların kullanımı insan sağlığı ve ekosistemler için birçok tehlike oluşturmaktadır. Bu zararlı etkilerin yanı sıra, fosil yakıt kaynakları sınırlıdır ve küresel ısınmaya neden olan sera gazı emisyonlarının artmasına yol açarlar. Enerji yoğun sektörler, sera gazı emisyonlarının önemli bir kısmını oluşturur. Özellikle, demir çelik endüstrileri, kimya ve çimento endüstriyel karbondioksit emisyonlarının yaklaşık %70'ini oluşturur. Bu nedenle, bu endüstrilerin kaynak ve enerji verimliliğinin artırılması, iklim hedeflerine ulaşmak için son derece önemlidir. 2019 yılında Dünya Çelik Birliği verilerine göre, her 1 ton ham çelik üretimi için yaklaşık 1,83 ton CO₂ emisyonu meydana gelmektedir ve bu emisyonun küresel düzeydeki fosil yakıt kullanımının %7-9'unu demir çelik sektörü oluşturmaktadır [1].

Sanayi işletmelerinde gerçekleştirilen prosesler sonucu açığa çıkan ısı, genellikle atık gaz olarak baca yoluyla atmosfere verilir. Isı kaybı, 100'den 1000 °C'ye kadar geniş bir sıcaklık aralığında sektöre bağlı olarak gerçekleşir [2]. Ancak, bu atık ısı, eşanjör, reküperatör, ekonomizer ve ORÇ gibi sistemlerle geri kazanılabilir.

Sanayi bacalarındaki sıcak gazların enerjisi, elektrik enerjisi üretmek için etkili bir şekilde kullanılabilir. Bu enerjinin üretimi, ekonomik açıdan avantajlı ve çevre dostu bir seçenektir.

Sanayide ısı geri kazanımıyla ilgili deneysel ve teorik olarak bazı çalışmalar aşağıdaki gibidir; Chen ve ark. [3], kömür yakıtlı bir enerji santralinde ısı geri kazanım süreci ile bağlantılı bir atık ısı geri kazanım sistemi önermiştir. Egzoz gazlarından elde edilen termal enerji, santralin buhar döngüsüne beslendi. Sonuçlara göre, önerilen atık ısı dönüşümü sistemi, geleneksel sistemden 6,75 MW daha fazla güç üretebilir. Ayrıca, önerilen atık sisteminin net termal verimliliği %8,11 ve güç üretim verimliliği %18,11 artırıldı. Sanaye ve diğerleri [4], enerji, ekserji, ekonomi ve çevre açısından atık ısı geri kazanım sistemlerinin modellenmesi için prosedürler tanıttılar ve iki paralel çimento üretim hattından atık ısı geri kazanımı için optimal tasarım elde ettiler. Amiri Rad ve Mohammadi [5], bir çimento fabrikasındaki bacalardan atık ısıyı kullanarak güç üretmek için bir buhar çevrimi önerdiler ve buhar çevriminin optimal parametrelerini araştırdılar.

Hidrojen, bilim adamları ve yetkililer tarafından fosil yakıt kullanımını önlemek için kullanılacak potansiyel bir seçenek olarak görülmektedir [6]. Hidrojen, karbonsuz yapısı nedeniyle yakıldığında yıkıcı emisyonlar yayınlamaz. Bu nedenle, hidrojen, küresel ısınma, hava kirliliği ve dolayısıyla iklim değişikliği gibi sosyal ve çevresel sorunları çözmeye yardımcı olabilir. Hidrojen, fosil yakıtlardan (dünya genelinde üretilen hidrojenin yaklaşık %95'i hidrokarbon yakıtlardan elde edilmektedir veya rüzgar, güneş okyanus, jeotermal, biokütle ve hidroelektrik gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilir [7].

Ateş ve Özcan [8], Türkiye'deki endüstrilerin atık ısı potansiyelini araştırmak amacıyla hidrojen ve enerji üretimi için çeşitli teknolojileri karşılaştırdılar. Hidrojen, ısıtma uygulamaları için belirli bir fraksiyonla doğal gaz boru hatlarına beslendiğinde, doğal gaz kullanımına bağlı olarak yılda 720 bin tonun üzerinde karbondioksit emisyonunun azaltılabileceğini belirttiler.

Bu çalışmada, demir çelik sektöründen salınan atık ısının verimli ve çevre dostu bir şekilde kullanımı ile elektrik ve hidrojen üretiminde kullanımı araştırılmaktadır.

2- Materyal ve Yöntem

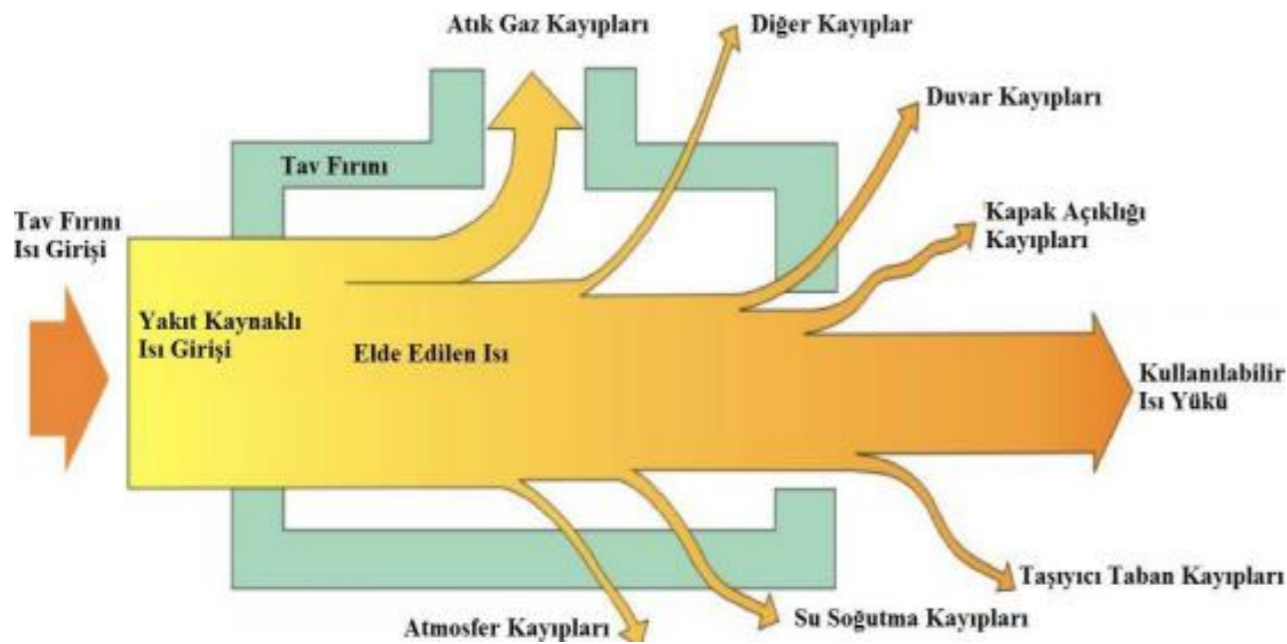
Bu çalışma doğrultusunda ilk olarak baca gazı sıcaklık değişiklikleri ve açığa çıkan yüksek sıcaklıktaki çıkış gazların atık ısı enerji potansiyeli tespit edilmelidir. En son olarak, tespit

edilen atık ısısının geri dönüşümü için ORÇ çevrimi tasarladıktan sonra atık ısıdan elektrik ve hidrojen üretim kapasitesi hesaplanmalıdır.

2-1- Atık Isı

Demir çelik tesisteki ön ısıtma (tav) fırında atık baca gazının ısısı geri döndürmekle planlanan ORÇ sisteminin tasarımının yapılmasından önce bacadan atmosfere atılan egzoz gazların düzenli olarak sıcaklık ve debi değerleri ölçülmemeli ve sıcaklık değerlerinin değişimi incelenmelidir.

Tav fırınları sistemlerine giren enerji genellikle doğalgaz veya fueloil yakıtları kullanılarak sağlanır ve bu sistemlerden çıkan enerjilerin bir kısmı malzemeye aktarılan yanı kullanılabilmeyen enerjidir ve diğer kısmı yüzeyden, bacadan, kapak açıklıklarından, su soğutma sistemlerinden, atmosferden ve taşıyıcı tabandan kaybedilen enerjidir. Şekil 1, tav fırınlarındaki genel giriş ısı ve ısı kaybı diyagramını göstermektedir [9].



Şekil 1. Tav fırınlarındaki genel giriş ısı ve ısı kaybı diyagramını [9, 10].

Giren enerji %100 kabul edildiğinde, çıkan enerjiler yaklaşık olarak aşağıdaki gibidir [11];

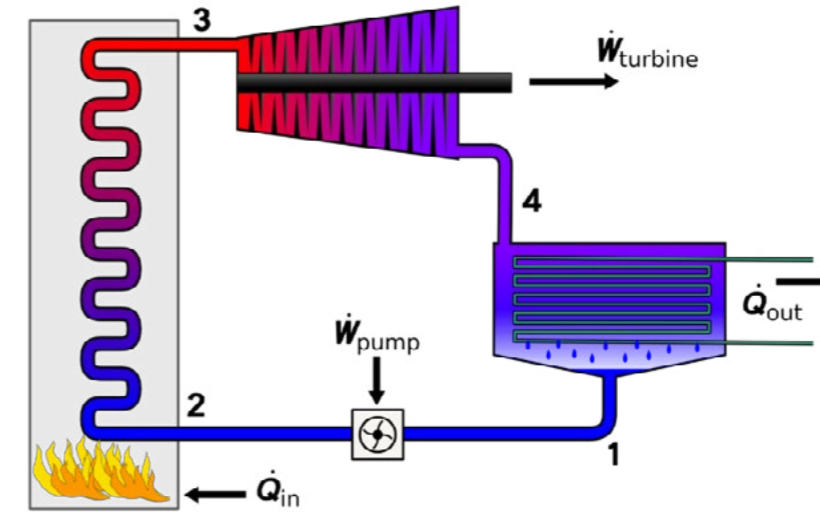
- Malzemeye aktarılan enerji % 30 - % 60 arası,
- Baca gazı ile dışarı atılan atık gazdan kaybedilen enerji % 20 - % 50 arası,
- Yüzeyden duvardan dolayı kaybedilen enerji % 3 - % 10 arası,
- Kapak açıklıklarından kaybedilen enerji % 1 - % 2 arası,
- Soğutucu sudan kaybedilen enerji % 5 - % 10 arası ve,
- Atmosferden kaybedilen enerji % 2 - % 5 arası olduğu kabul edilmektedir

Yukarıdaki bahsedilen kayıp olan ısısının bir kısmı, eşanjör, reküperatör, ekonomizer ve ORÇ gibi sistemlerle geri kazanılabilir.

Bu çalışma, demir çelikteki ön ısıtma fırınındaki için organik Rankine çevriminin atık ısı geri kazanım sistemini sunmayı amaçlamaktadır.

2-2- ORÇ sistemleri

Basit buharlı güç ünitelerinin ideal veya teorik çevrimi, genellikle Rankine çevrimi olarak tanımlanır. Rankine çevrimi, diğer termodinamik çevrimler gibi, Carnot çevriminin maksimum verimine dayalı olarak hesaplanan bir termodinamik çevrimdir. Rankine çevriminin temel formu, dört bileşenden oluşur: buharlaştırıcı, yoğuşturucu, pompa ve türbin. Şekil 2. Rankine çevrimi şemasını göstermektedir [12].



Şekil 2. Rankine çevrimi şeması [12].

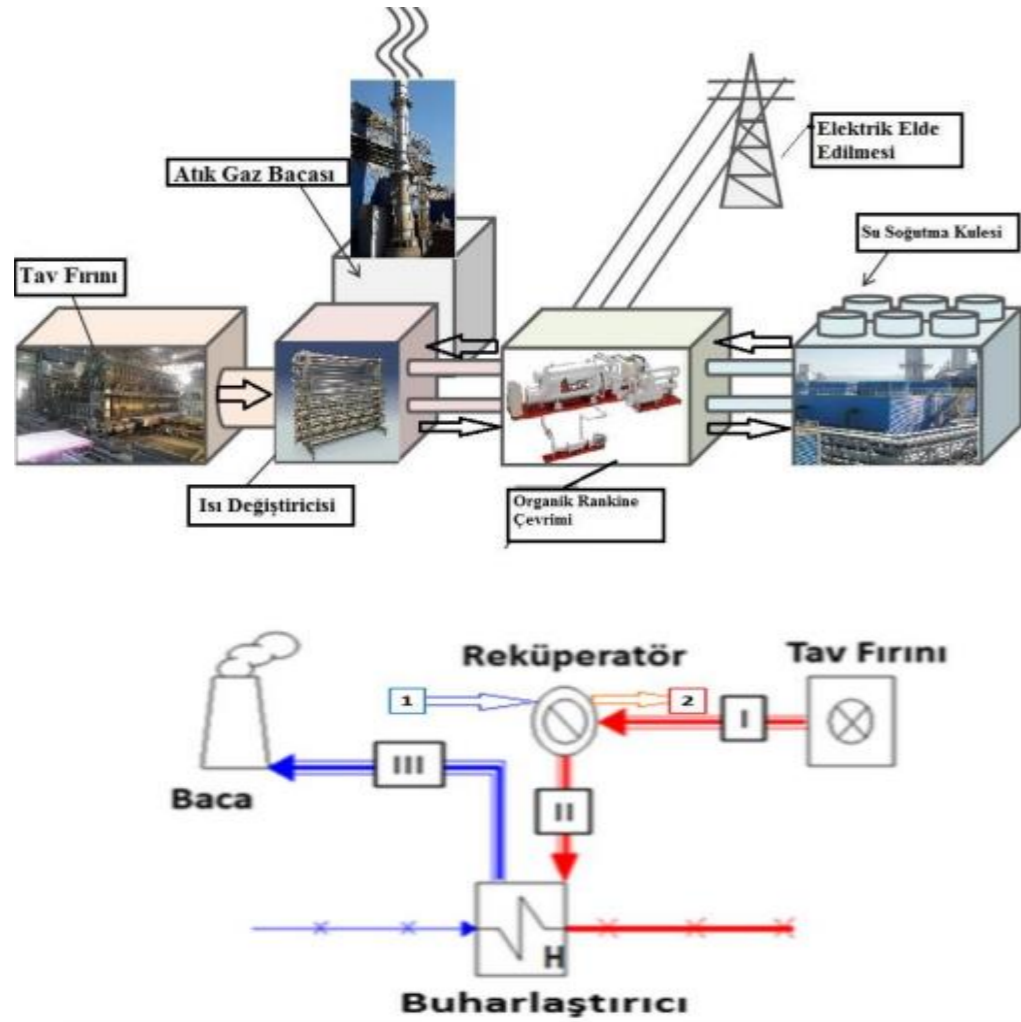
Şekil'de görüldüğü gibi;

- 1-2: Çalışma sıvısı düşük basınçtan yüksek basınca pompalanır ve ısıtıcıya doğru hareket eder.
- 2-3: Yüksek basınçlı sıvı, kuru, doymuş bir buhar haline gelmek için harici bir ısı kaynağı tarafından sabit basınçta ısıtıldığı kazana girer.
- 3-4: Kuru buhar, türbinde genişleyerek güç elde eder. Islak buhar yoğuşturucu 'ya doğru hareket eder.
- 4-1: Islak buhar daha sonra bir yoğuşturucuya girer ve burada sabit bir basınçta yoğunlaşarak doymuş bir sıvı haline gelir. Bu sıvı tekrar pompaya girerek çevrim tekrar edilir.

Rankine çevrimde, su buharının kullanıldığı sistemlerde, verimli çalışabilmesi ve suyun kızgın buhar haline dönüştürülebilmesi çok yüksek sıcaklıklarda ısı kaynaklarına ihtiyaç duyulur. Ancak düşük ve orta seviyedeki ısı kaynakları için yapılan araştırmalar sonucunda, hidrokarbon yapıları akışkanların kullanıldığı ORC (Organik Rankine Çevrimi) sistemleri geliştirilmiştir. ORC sistemlerinde, düşük sıcaklıkta buharlaşabilen, suya göre daha yüksek moleküler ağırlığa sahip olan organik çalışma sıvıları kullanılır. Gerçek manada bir ORC prototipi ise ilk olarak 1961 yılında Güneş Mühendisleri Tabor, H.,Z. ve Bronicki, L., tarafında geliştirilmiştir [13].

Enerji yoğun sektörlerde, ORÇ ile atık ısıdan güç elde etmek daha verimli ve mantıklıdır.

Şekil 3, şematik olarak demir çelik sektöründeki tav fırında atık ısıdan ORÇ ile elektrik elde edilmesini göstermektedir [10, 12].

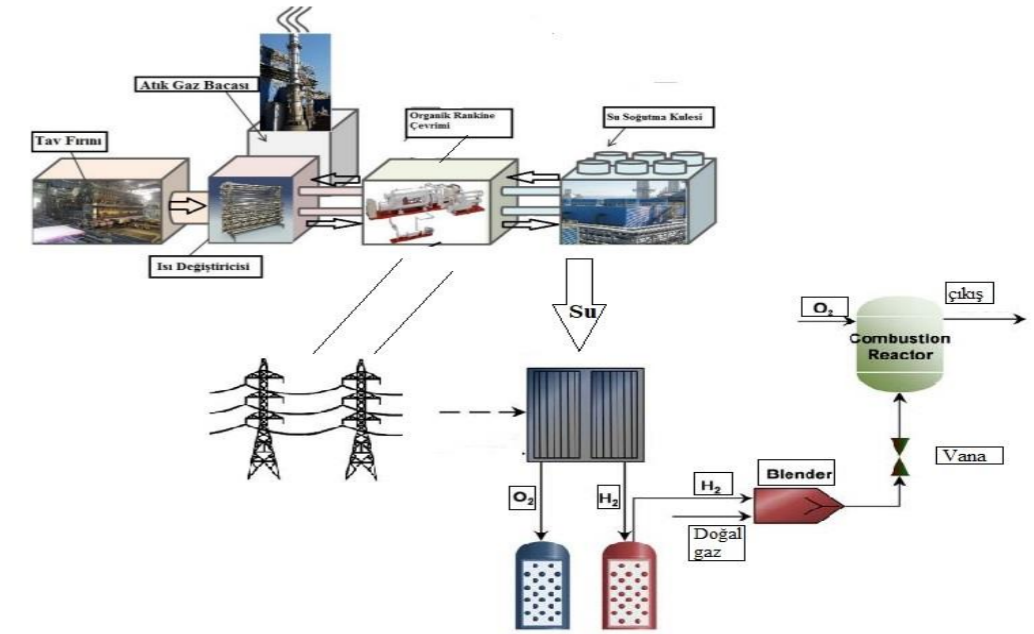


Şekil 3. Tav Fırınındaki atık ısıdan ORÇ sisteminin şematik görünümü [10, 14].

Şekilde gösterildiği gibi, tav fırınındaki ısıtma işlemi sonrasında, 700-800°C sıcaklıkları arasında sahip egzoz gazları yanma ürünleri olarak ortaya çıkmaktadır (I noktası). Bu yüksek sıcaklıktaki egzoz gazları, tav fırını baca davlumbazından çıktıktan sonra, reküperatörden geçerek taze yanma havasını ısıtmak için kullanılmaktadır (1→2). Egzoz gazı, ön ısıtma yapıldıktan sonra, yaklaşık 400°C sıcaklıkta buharlaştırıcıya girer (II noktası). Buharlaştırıcıya gelen orta sıcaklıktaki egzoz gazı (400°C), ORÇ 'deki akışkanı ısıtarak, egzoz gazının sıcaklığını 90-120°C aralığına kadar düşürür. Son olarak, egzoz gazı, çevrim akışkanına ısı vererek, bacadan atmosfere gönderilmek üzere ısıtılmıştır (III noktası). Bu işlem sonucunda egzoz gazları yüksek verimle kullanılmış olur. En son olarak buharı kullanarak güç elde edebiliriz.

2-3- Hidrojen üretme

Türbinlerden elde edilen güç, hem harici olarak şebekeye sağlanır, hem de iç işlemler için demir çelik tesisi içerisinde kullanılabilir. Gücün bir kısmı, alkalik elektrolizde suyun hidrojen ve oksijene ayrıştırılması için kullanılabilir. Elde edilen O₂ ve H₂, yüksek basınçlı depolama tanklarına gönderilir. Tanklarda depolanan H₂, belirli yanma işlemleri için yakıt gerektiği zaman, doğal gaz ile karıştırma işlemi için karıştırıcı ünitesine beslenebilir. Şekil 3 demir çelik endüstrisinde atık ısıyı kullanmak için tasarlanan sistemin şemasını göstermektedir.



Şekil 4. Demir çelik endüstrisinde atık ısıyı kullanmak için tasarlanan sistemin şematik gösterimi.

3- Sonuç

Sürekli döküm makinesi endüstrisi, fosil yakıt bazlı enerji kaynaklarının ORÇ yoluyla üretilen elektrikle değiştirilmesi ve hidrojen üretimi için kullanılmasıyla daha sürdürülebilir ve çevre dostu bir operasyon elde etme yolunda önemli adımlar atabilir. Sonuç olarak ORÇ teknolojisinin sera gazı emisyonlarını azaltmak, enerji tüketimini azaltmak ve çelik üretim süreçlerinin sürdürülebilirliğini geliştirmek için umut verici bir çözüm olduğunu göstermektedir. Ayrıca hidrojenin yüksek enerji yoğunluğu nedeniyle sürekli döküm makineleri endüstrisinde karbon ayak izini azaltmak, çevresel hedeflere ulaşmak ve sürdürülebilir bir gelecek sağlamak açısından büyük önem taşımaktadır. Bu teknolojilerin uygulanmasıyla, endüstri daha yeşil ve sürdürülebilir bir imalat sektörüne katkıda bulunurken aynı zamanda enerji maliyetlerinde azalma ve rekabetçilikte artış gibi ekonomik faydalar elde edebilir. Atık ısı geri kazanımı ve hidrojen üretiminin devamlı döküm makineleri endüstrisinde başarılı bir şekilde entegre edilmesi, sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak isteyen diğer enerji yoğun sektörler için bir model olarak hizmet edebilir.

Referanslar

- 1- Kim, Jinsoo, et al. "Decarbonizing the iron and steel industry: A systematic review of sociotechnical systems, technological innovations, and policy options." Energy Research & Social Science 89 (2022): 102565.
- 2- M. Papapetrou, G. Kosmadakis, A. Cipollina, U. La Commare, G. Micale, Applied Thermal Engineering 2018, 138, 207-216.
- 3- Chen, H., Wang, Y., An, L., Xu, G., Zhu, X., Liu, W., & Lei, J. (2022). Performance evaluation of a novel design for the waste heat recovery of a cement plant incorporating a coal-fired power plant. Energy, 246, 123420.

- 4- Sanaye, S., Khakpaay, N., Chitsaz, A., Yahyanejad, M. H., & Zolfaghari, M. (2020). A comprehensive approach for designing, modeling and optimizing of waste heat recovery cycle and power generation system in a cement plant: A thermo-economic and environmental assessment. *Energy Conversion and Management*, 205, 112353.
- 5- Rad, E. A., & Mohammadi, S. (2018). Energetic and exergetic optimized Rankine cycle for waste heat recovery in a cement factory. *Applied thermal engineering*, 132, 410-422.
- 6- Cipriani G, Di Dio V, Genduso F, La Cascia D, Liga R, Miceli R, et al. Perspective on hydrogen energy carrier and its automotive applications. *Int J Hydrogen Energy* 2014;39:8482e94.
- 7- Dincer I, Acar C. A review on clean energy solutions for better sustainability: a review on clean energy solutions for better sustainability. *Int J Energy Res* 2015;39:585e606.
- 8- Ates, F., & Ozcan, H. (2022). Turkey's industrial waste heat recovery potential with power and hydrogen conversion technologies: a techno-economic analysis. *International Journal of Hydrogen Energy*, 47(5), 3224-3236.
- 9- Si, M., Thompson, S., and Calder, K., 2011. Energy efficiency assessment by process heating assessment and survey tool (PHAST) and feasibility analysis of waste heat recovery in the reheat furnace at a steel company. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15 (6), 2904-2908.
- 10- Abdulkadir Kurbanoglu, 2016, thermodynamic analysis of an Organic Rankine Cycle (ORC) using waste heat from a reheat furnace in the iron and steel sector, Iskndrun University, Master thesis, pp13.
- 11- Kunche, V., 2013. Organic Rankine Cycle (ORC) Power Systems for Waste Heat Recovery Power Generation, 1st-Annual-International-Conference-of Emerging-Industry-SmartEnergy, 6-7 November, Shenzhen, China.
- 12- Scott; G. Cohen; R. Cable; D. Brosseau; H. Price (. "Parabolic Trough Organic Rankine Cycle Solar Power Plant" *Solar Energy Technologies*. Denver, Colorado: US Department of Energy NREL. 2009-03-17.
- 13- Anonim, 2014b. Cells. http://tr.wikipedia.org/wiki/Rankine_%C3%A7evrimi. Erişim Tarihi 15.05.2022.
- 14- Anonymous, 2017. Cells. <http://www.turboden.eu/> . Erişim tarihi:15.05.2022

Hidrolik Boru Hatlarında Pickling & Flushing Metodolojisi, Sürdürülebilirlik, Kararlılık ve Bakım Maliyetlerini Düşürmedeki Önemi

Pickling & Flushing Methodology in Hydraulic Pipelines and Their Importance in Sustainability, Stability and Reducing Maintenance Costs

N. Uğur EREN

HPS Hidrolik Sistem Teknolojileri
Türkiye

Abstract :

This statement; covers the correct Pickling and Flushing methodology in Hydraulic, Lubrication and Grease pipelines and the importance of these practices in reducing maintenance costs. The systems fed by the mentioned pipelines are sensitive systems that have very important roles in ensuring sustainability and stability in steel production facilities. Thanks to the Pickling and Flushing applications to be carried out with the correct methodology during the initial installation phase or in any other maintenance period when necessary, bringing the lines to a level of cleanliness suitable for this sensitivity, they contribute directly to sustainability by ensuring the correct and stable operation of these sensitive systems. These applications also contribute to the sustainability and profitability of plants by reducing maintenance costs by shortening maintenance and troubleshooting times and reducing part replacements.

Özet

Bu bildiri; Hidrolik, Sıvı Yağlama ve Gres boru hatlarında doğru Pickling ve Flushing metodolojisini ve bu uygulamaların bakım maliyetlerini düşürmedeki önemini ele almaktadır. Bahsedilen boru hatlarının beslediği sistemler, çelik üretim tesislerinde devamlılık ve kararlılığın sağlanmasında çok önemli rollere sahip olan hassas sistemlerdir. İlk kurulum aşamasında veya gerekli duyulduğu başka bir bakım periyodunda doğru bir metodolojiyle yapılacak Pickling ve Flushing uygulamaları sayesinde hatların bu hassasiyete uygun bir temizlik ölçüsüne getirilmesi, bu hassas sistemlerin doğru ve kararlı çalışmalarını sağlayarak, sürdürülebilirliğe doğrudan katkı sağlarlar. Bu uygulamalar aynı zamanda bakım ve arıza giderme sürelerini kısaltmak ve parça değişimlerini azaltmak suretiyle bakım maliyetlerini azaltarak, tesislerin sürdürülebilirliğine ve karlılığına katkıda bulunurlar.

1- Giriş

Hidrolik, Sıvı Yağlama ve Gres boru hatlarının doğru inşası ve montajı süreçleriyle başlayan ve montaj sonrası standartlar ve sistem içeriğine uygun şekilde yapılacak temizlik işlemleri doğrudan görünmese de dolaylı olarak üretim faaliyetlerinin kesintisiz devamı için gerekli olan en önemli unsurlardandır.

Çelik üretim tesislerinde kullanılan Hidrolik Güç ile çalışan makineler için gerekli Hidrolik Sistemlerde kullanılan Pompa, Servo Valf, Oransal Valf, Yön valfleri ve Kartıç Valfler, kararlılık ve doğru çalışmayı sağlayabilmek adına çok hassas üretim teknikleriyle üretilmiş, kirliliğe çok duyarlı hassas unsurlardır.

Aynı şekilde Sıvı Yağlama ve Gres Ünitelerinin beslediği sistem hareketlerinin sağlayıcısı konumundaki dişlilerin, rulmanların ve diğer tüm hareketli parçaların temizliği uzun çalışma ömürleri açısından direkt olarak etkilidir.

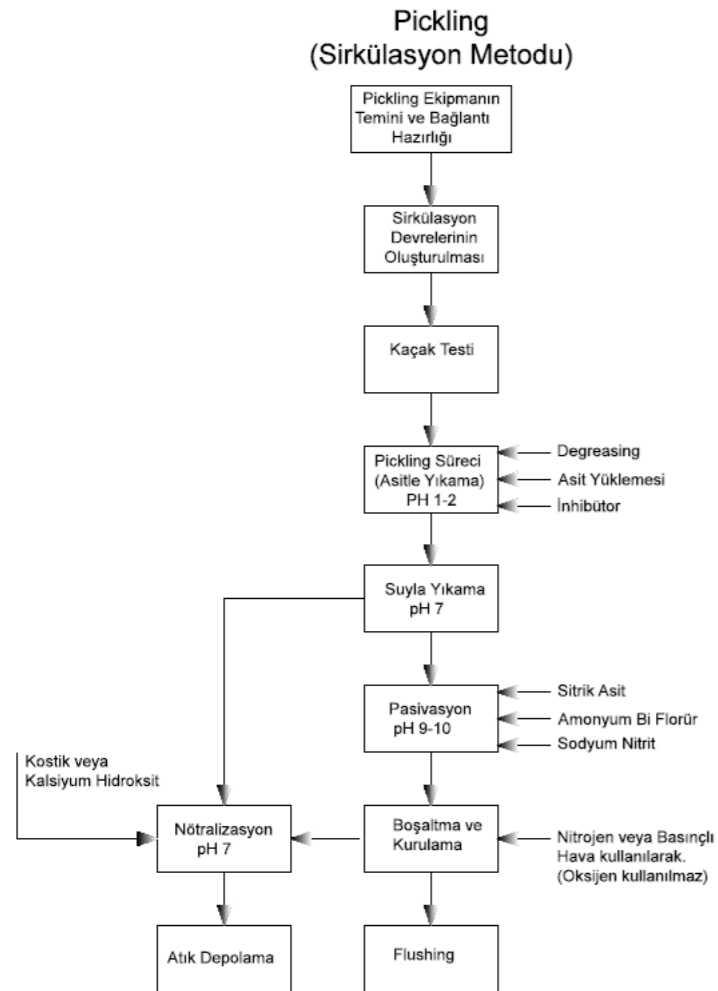
Sistemde kullanılan Hidrolik, Sıvı Yağlama ve Gres Güç Ünitelerinin kendi iç temizlikleri sonrasında, bu unsurları iş yapan makinelere taşıyan ara borulamaların temizliği standartlara uygun şekilde sağlanmalıdır.

Bu hatların temizliği iki aşamada yapılabilmektedir.

- 1) Pickling : Kimyasal kullanılarak boru yüzey temizliği
- 2) Flushing : Türbülanslı akış yardımıyla boru iç temizliği

Bu bildiriye, sirkülasyon metodu ile yapılan pickling ve flushing uygulamasının metodolojisi anlatılacaktır.

2- Pickling ve Flushing Metodolojisi



Şekil 1. Pickling & Flushing Aşamaları

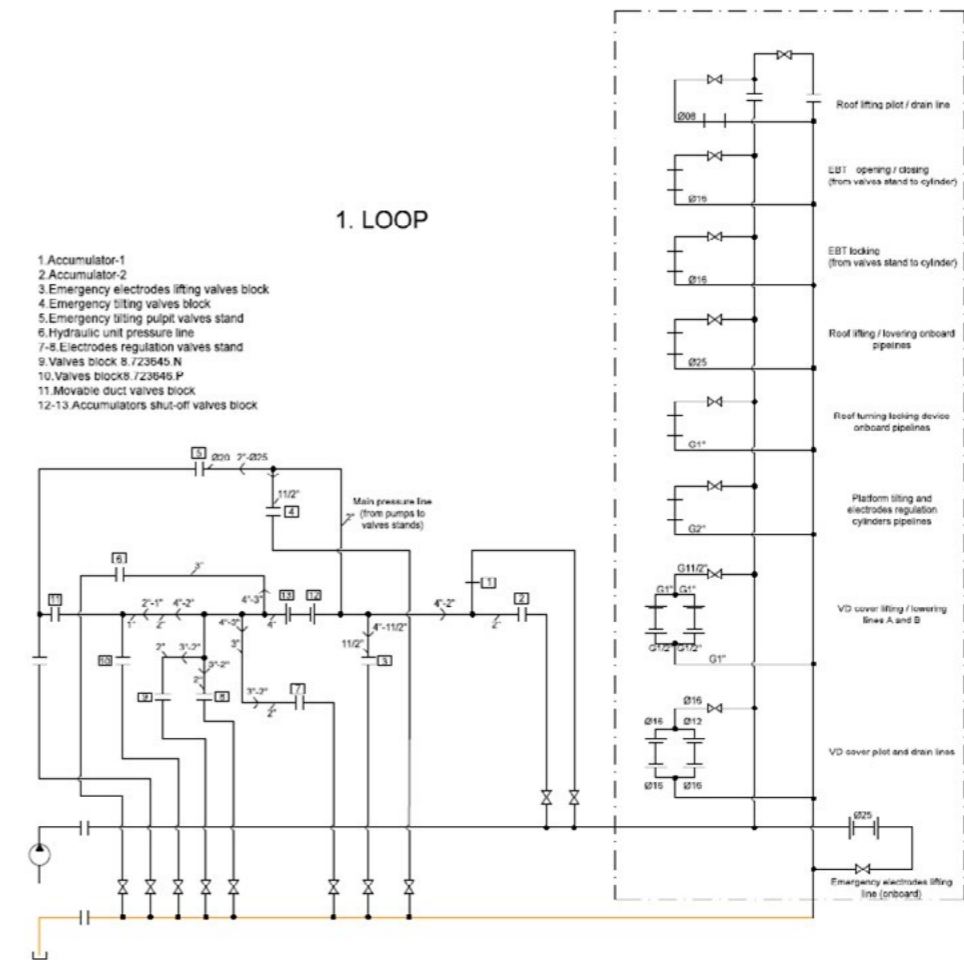
2.1 – Pickling (Asitle Boru Yüzeyi Temizleme)

Pickling, hidrolik boru hatlarındaki pas ve korozyonu gidermek için asidik bir çözelti kullanarak temizleme işlemidir. Bu işlem, hatlardaki tortu, pas ve diğer kirleticileri etkili bir şekilde giderir ve hatların temizlenmesini sağlar.

2.1.1 – Pickling Devrelerinin Oluşturulması

- Temizliği sağlanacak boru hatlarının kapalı bir devre oluşturacak şekilde geçici bağlantılarının nasıl yapılacağına dair hat P&ID'si çizilmelidir.
- Boru hatları üzerinde, kimyasallarla temas etmesi istenmeyen malzemeler sökülerek yerlerine geçici bağlantı parçaları takılmalıdır.
- Boru hatları sirkülasyon devresi oluşturacak şekilde uygun çapta boru, fittings ve/veya flexible hortumlar kullanılarak birleştirilmelidir.
- Ayrıca çeşitli bölümlerdeki sıvıların drenajını sağlamak için bölümlerin en düşük noktalarına drenaj valfleri bağlanmalıdır.
- Hazırlıkları biten sirkülasyon devrelerinin, pickling ünitesine bağlantıları yapılacaktır.

Not : Tüm bu süreçler gerçekleştirilirken ilgili koruyucu ekipmanların kullanılması sağlanmalıdır.



Şekil 2. Sirkülasyon devrelerinin oluşturulması



Şekil 3. Sirkülasyon devresi geçici bağlantıları

2.2.2 Alkalın Çözeltili Su ile Ön Yıkama

Bu işlemin amacı, boru tesisatında bulunan tüm yağları ve gresleri çıkarmak ve sonraki asit işleminin oksitlenmiş tabakaya karşı daha iyi tepki vermesini sağlamaktır. Bu tür bir yıkamayı sağlamak için devre, aynı Pickling ünitesi aracılığıyla durulanacak olan suyla doldurulacaktır. Daha sonra aşağıdaki reaktifler katılacaktır.

SODYUM HİDROKSİT (NaOH) 10 Kg/m³ su

TRISODYUM FOSFAT (Na₃PO₄) 5 Kg/m³ su

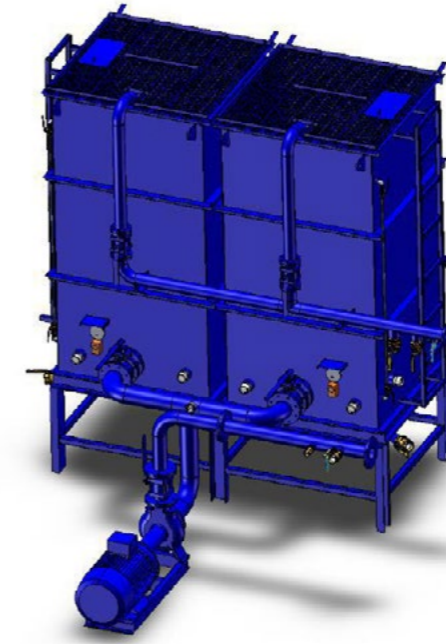
Reaktifler, konsantre bir çözelti elde etmek için asitleme ünitesinin hazırlama tankı içinde çözündürülecektir. Daha sonra devrede dolaşan suya bu solüsyon eklenir.

Asitleme ve pasivasyon işlemleri için öngörülen tüm kimyasal çözeltilerin hazırlanması için geri çağrılmamış olsa bile diğer reaktifler için de aynı prosedür uygulanacaktır. Yukarıda açıklanan ekleme, devridaim solüsyonunu aşağıdaki kimyasal konsantrasyonla yapacaktır:

Sodyum Hidroksit (NaOH) %1

Trisodyum Fosfat (Na₃PO₄) %0,5

Bu sirkülasyon solüsyonu, ısıtma sistemleri ile (en fazla 60-70 °C'ye kadar) ısıtılacak ve yaklaşık 2-3 saat sirkülasyonda tutulacaktır. Bu sürenin sonunda bu çözelti boşaltılacak ve devre, tüm alkali kalıntıları giderilene kadar su ile yıkanacak, yıkama suyunda herhangi bir gres veya yağ izi bulunmadığı kontrol edilecektir. Yağ veya gres kalıntıları varsa alkali yıkama tekrarlanmalıdır. Tahliye edilen tüm solüsyonlar bir raf tankında saklanacaktır.



Şekil 4. Pickling Ünitesi Görünümü

2.2.3 Pickling (Asitle Yıkama)

Alkalın çözelti ile yıkama işlemi tamamlandığında, aşağıdaki kimyasallar kullanılarak oluşan çözelti, pickling ünitesindeki pompalar vasıtasıyla hatta doldurularak sirkülasyon sağlanır.

Birçok farklı asit türüyle Pickling işlemi yapılabilir. Her asit türüne özel farklı konsantrasyonlar ve yıkama prosedürleri mevcuttur. Aşağıda Sitrik Asit (C₆H₈O₇) kullanılarak yapılacak bir uygulamanın bileşen değerleri verilmiştir.

Sitrik Asit (C ₆ H ₈ O ₇)	30 Kg/m ³ su
Korozyon inhibitörü	1 Kg/m ³ su
Amonyak (NH ₃)	%25, PH 3,5'a kadar.

Kimyasal malzeme ilave edilmeden önce su elektrikli ısıtıcılar yardımıyla min. 60 C'ye kadar ısıtılmalıdır. Çözelti PH 1-2 değerine gelene kadar, asit eklenmeye devam edilmelidir. Aşağıdaki analizler yapılarak Pickling işlemi neticelendirilecektir.

- Asit içeriği (PH analizi)



Şekil 5. Asit içeriği (PH analizi)

- Ferrous Iron Ferric Iron Analizi

Pickling işlemi, PH değerinin stabil kalması koşuluyla demir çözeltilsinin konsantrasyonu oksit bulunmadığını gösterecek şekilde stabilize olana dek sürdürülmelidir. İstenen tüm bu neticelerin sağlanması durumunda dahi asitle yıkama 4 saatten az yapılmamalıdır.

2.2.4 Pasivasyon

Boru tesisatının iç kısımlarında bulunan tüm oksitler, yukarıda tarif edilen asitle yıkama tamamlandıktan sonra boru tesisatının iç kısımlarını işlenmemiş halde bırakarak giderilmiştir. Boru tesisatını bu durumda bırakmak, boru tesisatının iç kısımlarının pas oluşumuyla birlikte oksidasyona maruz kalmasına izin vermek anlamına gelir. Pasivasyon aşamasının amacı, boruların iç duvarlarında oksidasyondan koruyan koruyucu bir tabaka oluşturmaktır.

Çözelti sıcaklığı düşürülecek (maksimum 40°C'ye kadar) ve sitrik asit (%0,5'e eşit veya 5 Kg/metreküp'e eşdeğer) ve amonyak veya sodyum karbonat eklenerek çözelti Ph'ı 9,2. Bu solüsyon veya eşdeğeri yaklaşık 1 (bir) saat bu sıcaklıkta sirkülasyonda tutulacaktır.

Daha sonra solüsyonun 5 Kg/metreküp oranında sodyum nitrit (NaNO₂) eklenir. Bu reaktifin konsantrasyonu %0,5'e eşdeğer olacaktır. Bu pasifleştirici solüsyon, sıcaklığı sabit tutarak 4 (dört) saat sirkülasyonda tutulacaktır. Bu süre karşılandığında devre boşalacaktır.

Devre bu solüsyondan boşaltıldıktan sonra, bu solüsyonun tamamen çıkarılması konusunda herhangi bir şüphe varsa (yani, eğer akışkan hala devrenin içindedir). Daha sonra devre bir kez daha boşaltılacaktır. Pasivasyon aşamasında uzaklaştırılan tüm solüsyonlar bir bertaraf tankında depolanacaktır.

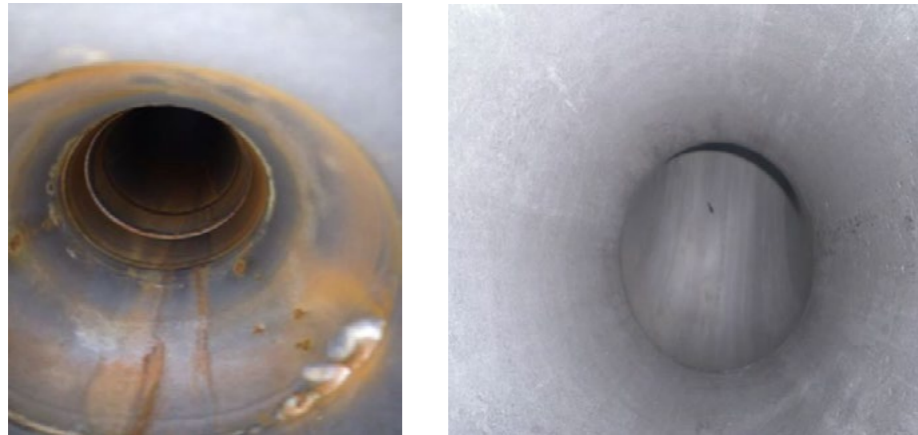
Devreyi tamamen boşaltmak için basınçlı nitrojen havalandırma borusundan üflenecek, tüm çeşitli devre kolları içinde gaz akışına izin vermek için tüm boşaltma valflerini alternatif olarak açıp kapatacaktır.

2.2.5 Kurulama

Devre tamamen boşaltıldıktan sonra, boru hatlarının kurulması için hatta basınçlı nitrojen verilmeli, tüm çeşitli devre kolları içinde gaz akışı konsantrasyonuna izin vermek için tüm boşaltma valflerini alternatif olarak açıp kapatılmalıdır.

2.2.6 Boru Hatlarının Görsel Kontrolü

Kurulama işleminin bitiminden sonra, hatların belirli uçları açılarak Pickling işleminin başarısı görsel olarak kontrol edilir. Bu kontrollerde boru iç yüzeylerinin tamamen oksidasyondan arındırıldığı gözlemlenmelidir ve bu gözlem sonucunda Pickling işleminin başarılı olduğu belirlenebilir.



Şekil 16 Pickling öncesi ve sonrası boru yüzeylerinin görsel kontrolü

Tüm kontrollerin sonucunun olumlu olması durumunda, bir sonraki aşama olan Flushing işlemi için hazırlıklar başlatılacaktır.

3. Flushing İşlemi

3.1. Flushing için Hazırlıklar

- Gerekli debiyi sağlayacak pompalara ve sirküle edilen yağın temizlenmesini sağlayacak Filtre sistemine sahip bir Flushing Ünitesi temin edilecektir.
- Uygun filtrasyon kapasitesine ve mesh ölçülerine sahip filtre elemanları. (10 Micron, 5 Micron and 3 Micron – $\beta_x \geq 200$)
- Münferit boru devrelerinin gerektiğinde izolasyonu için kürsel vanalar.
- Flushing Ünitesi ile devrenin bağlantısını sağlayacak uygun ölçülerde hidrolik hortumlar.
- Ölçüm numunesi almak için hat dönüşünde filtrasyon grubu öncesi numune alma noktası.
- Numune ölçümü için Hat tipi veya Hat dışı ölçüm özelliğine sahip ölçüm cihazları.



Şekil 7. Örnek bir Flushing Ünitesi ve Mobil Kirlilik Ölçüm Cihazı Görünümü

3.2. Flushing İşlemi

Flushing işlemi, Üretim, inşaat, bakım veya onarımlardan sonra sisteme girmiş olan partikülleri çıkarmak, taşımak ve filtrelemek için boru sistemi devreleri içinde yüksek hızlarda türbülanslı hidrolik sıvının sirkülasyonunu içeren bir hidrolik boru sistemini temizleme işlemidir. ¹

3.2.1 Standartlar, Teknik Parametreler ve Hesaplamalar

Hidrolik boru hatlarında flushing işlemi, ISO 23309 (Hydraulic fluid power systems — Assembled systems — Methods of cleaning lines by flushing) standardına göre düzenlenmektedir. Bu standart, flushing işlemi için gereken minimum temizlik seviyelerini ve prosedürlerini belirlemektedir.

Gerekli Temizlik Seviyesi (GTS) :

Gerekli temizlik seviyesi, Hidrolik sistemlerde kullanılan ekipmanlardan kirliliğe en duyarlı olanının üreticisi tarafından belirlenmiş temizlik seviyesidir. Bu temizlik seviyeleri aşağıdaki standartlara göre ölçülendirilir.

- 4406 ISO

- 1963 SAE

hydraulisch (gemessen mit HLP 32, $\vartheta_{01} = 40 \text{ °C} \pm 5 \text{ °C}$)

Betriebsdruck	Vorsteuerstufe, Steuerölauführung	bar	10 bis 210 bzw. 10 bis 315
	Hauptventil, Anschluss P, A, B	bar	bis 315
Rücklaufdruck	Anschluss T		
	Steuerölrückführung intern	bar	Druckspitzen < 100 zulässig, statisch < 10
	Steuerölrückführung extern	bar	bis 315
	Anschluss Y	bar	Druckspitzen < 100 zulässig, statisch < 10
Druckflüssigkeit			siehe Tabelle Seite 7
Druckflüssigkeitstemperaturbereich		°C	-15 bis +80, vorzugsweise +40 bis +50
Viskositätsbereich		mm ² /s	15 bis 380, vorzugsweise 30 bis 45
Maximal zulässiger Verschmutzungsgrad der Druckflüssigkeit			Klasse 18/16/13 ¹⁾
Reinheitsklasse nach ISO 4406 (c)			

Tablo 1. Bosch Rexroth 4WSE Servo Valf için GTS²

3.2.2 Flushing için Gerekli Yağ Hızı

ISO 23309:2020'e göre;

Partikül kirliliğini hidrolik hatlardan etkili bir şekilde yıkamak için, sistem aynı anda tüm ana yıkama elemanlarının (a, b ve c) bir kombinasyonuna tabi tutulmalıdır.

- Re (Reynolds Sayısı), işletme sırasında sistemde mevcut olandan büyük veya 4 000'den daha büyük olacaktır;
- Boru hatlarındaki debi, işletmedeki gerçek debinin en az 1,5 katı olmalıdır.
- Yağ sıcaklığı, hizmet sırasında yaşanması muhtemel sıcaklıktan daha yüksek, ancak en az 40 °C olmalıdır.

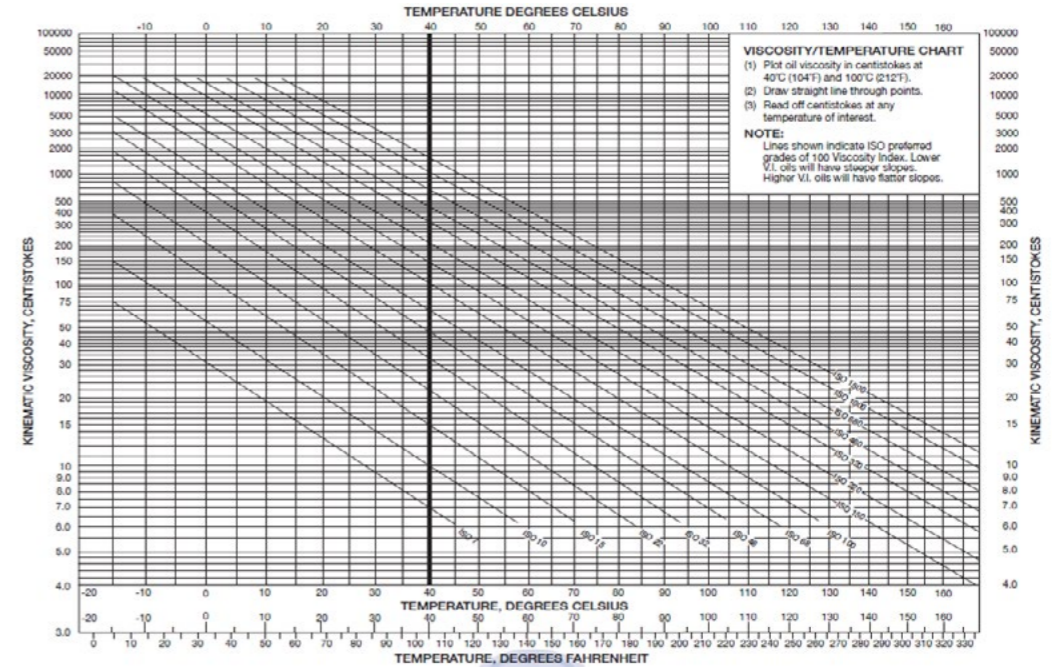
Uygulamada, bu parametrelerin tümüne ulaşmak her zaman mümkün değildir. Çatışma durumunda, örn. Re elde edilebilir ancak 1,5 kat akış hızı koşulu sağlanamaz ise mümkün olan en yüksek Re'ye ulaşılmasına öncelik verilmelidir.

Re ve gerekli yağ debisi (q_v) aşağıdaki Formül 1 ve Formül 2'ye göre hesaplanır.

$$Re = \frac{21220 \times q_v}{v \times d}$$

$$q_v = \frac{Re \times v \times d}{21220}$$

q_v	yağ debisi	Lt/dak
v	işlem sıcaklığındaki kinematik yağ viskozitesi	mm ² /s
d	Borunun iç çapı	mm



Tablo 2. Sıcaklığa göre Kinematik Viskozite Değişimi

3.2.3 Flushing Sürecinde Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar

- Flushing işleminde kullanılacak yağın esas operasyon sırasında kullanılacak yağ ile aynı tipte ve özelliklere sahip olması önemlidir.
- Flushing işlemi sürecinde yağın minimum 40 °C olması hatta viskoziteyi düşürerek Re sayısını, mümkün olduğunca arttırabilmek adına daha yüksek sıcaklıklarda yapılması operasyonu daha başarılı kılacak ve işlem süresini azaltabilecektir.
- Flushing işlemi sırasında boruların içindeki nihai kaynak cürufu kırmak için kaynak bağlantılarının çekiçlenmesi işlem süresini kısaltabilecektir.
- Flushing işlemi, GTS'ye ulaşılan dek devam edecektir. GTS'ye ulaşıldığı ilgili cihazlarla belirlendikten sonra sirkülasyon en az 1 saat daha devam ettirilmeli ve final bir ölçüm alınmalı, GTS'nin sağlandığı tekrar kanıtlanmalıdır.

3.2.4 Kirlilik Ölçümü

Devredeki yağın kirlilik durumunu ölçmek için 100 cc 'lik bir numune alınmalıdır.

İlk numune alma yıkama başlangıcından itibaren yaklaşık 8 saat sonra alınmalıdır.

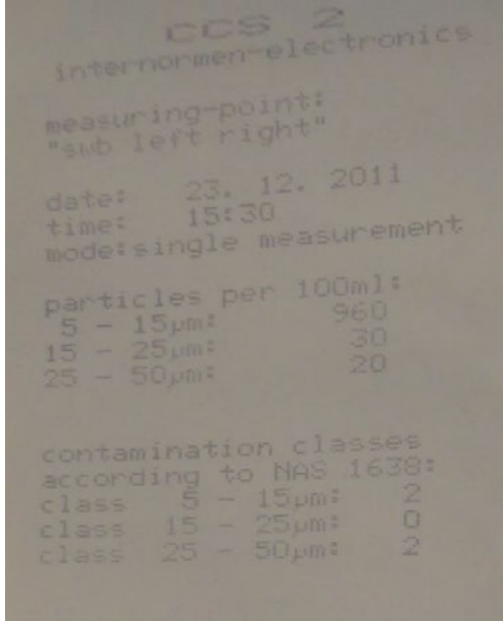
Yağ kirlilik analizi mobil kirlilik ölçüm cihazları ve geleneksel yöntemlerle (mikroskop incelemesi) yapılabilir.

Devre tiplerine göre Gerekli Temizlik Seviyeleri Tablo 3.'de verilmiştir.

Sistem Açıklaması	GTS ISO 4406-(HEDEF) 2µm – 5µm- 15µm	Gerekli Filtre Mesh Ölçüleri $\beta_{x \geq 100}$
Servo Valf içeren Hidrolik	15/13/10 (NAS 4)	1-2

Sistemler		
Servo Valf İçermeyen Hidrolik Sistemler	17/15/12 (NAS 6)	3-5
Sıvı Yağlama Hatları (Özellikli Yataklamalar için)	18/16/13 (NAS 7)	5-10
Gres Yağlama Hatları	18/16/13 (NAS 7)	5-10
Konvansiyonel Yağlama Hatları	21/19/16 (NAS 10)	10-20

Tablo 3. Devre Tiplerine Göre Gerekli Yağ Temizlik Seviyeleri



Şekil 8. Mobil Kirlilik Ölçüm Cihazı Rapor Örneği



Şekil 9. Mikroskopta incelenen yağ örnekleri

3.2.5 Esas Devrenin Yeniden Oluşturulması

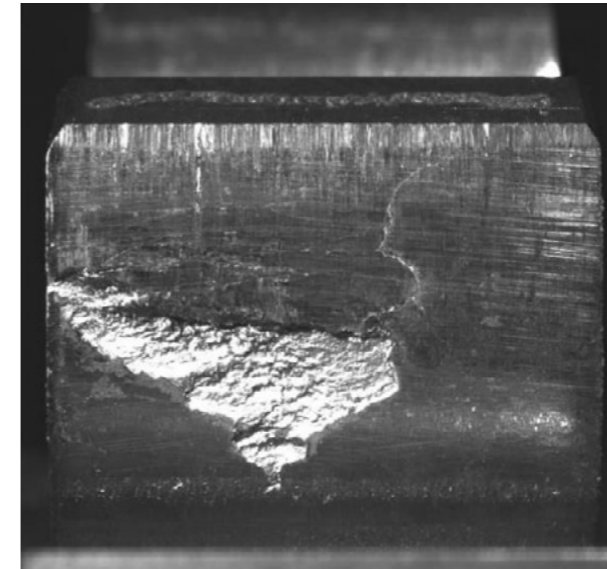
Uygun bir Flushing işlemi sonrası devre içinde, flushing için kullanılan yağlar depolanma amacıyla uygun depolama tanklarına boşaltılmalıdır. Bu yağın devreden boşaltılması sırasında azot veya kuru hava kullanılmalıdır. Boşaltma işlemi sonrası aşağıdaki işlemler yapılmalıdır.

- Flushing ünitesi bağlantılarının kaldırılması.
- Geçici by-pass malzemelerin kaldırılması.
- Aktüatörler ve hidrolik bloklardan sökölüp by-passlanan hatlar tekrar ilgili portlara bağlanmalıdır.
- Ana operasyon tankı, özel filtreleme ekipmanı kullanılarak nihai operasyon yağı ile doldurulmalıdır.

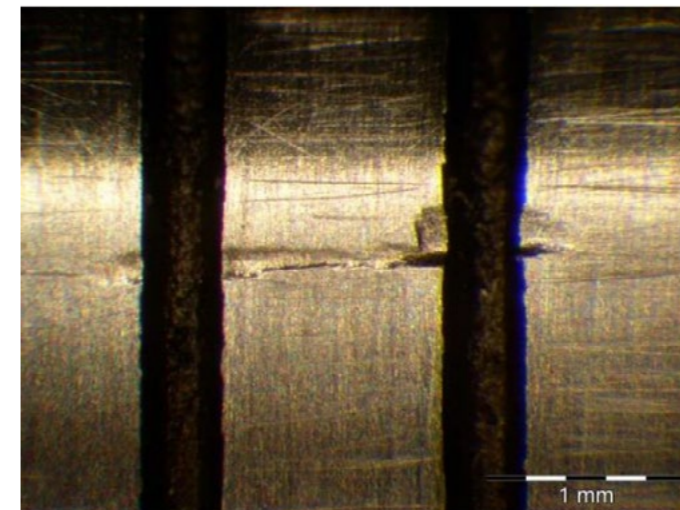
4. Pickling ve Flushing İşlemlerinin Bakım Sürecine Etkisi ve Maliyetler

Boru hatlarındagerekli temizlik seviyelerine ulaşamaması durumunda Münferit bileşenlerin ve tüm sistemin aşınması önemli ölçüde hızlanır. Yağ içindeki partiküller bu sistemleri oluşturan bileşenlerin çalışan parçalarının yüzeyinde aşınma ve erozyona sebep olur. Sonuç olarak, toleranslar değişir ve bu da sızıntıya neden olur. Ayrıca verimlilik azalır ve bileşenlerin hizmet ömrü önemli ölçüde kısalmır. Bileşen hasarı, fonksiyonel sistem arızalarına (tüm sistemin devre dışı kalması) ve hatta hidrolik kontrol sisteminin tehlikeli şekilde arızalanmasına (örn. sıkışmış valf) yol açabilir. Bu durumu Yağlama Hatları için de değerlendirmek gerekirse, yağlamaya ihtiyaç duyan hareketli parçaların yüzeyinde oluşan aşınmalar sistem devamlılığı ve kararlılığını etkiler süreç ilerledikçe kırılmalara sistemin devre dışı kalmasına sebep olur.

Bileşen hasarının boyutu, kirlenmenin malzemesine de bağlıdır. Parçacıklar ne kadar sertse, hasar o kadar kapsamlı olur. Parçacıkların boyutu ve sayısı da önemlidir. Çalışma basıncı ne kadar yüksek olursa, parçacıklar yağlama boşluğuna o kadar sert bastırılır ve o kadar fazla hasara neden olurlar. Şekil 10 ve 11, her ikisi de yağlayıcıdaki aşırı kirlenmeden kaynaklanan, bir dişli dişi yanağındaki ve hasarlı bir valf makarasındaki tipik hasar modellerini göstermektedir.



Şekil 10. Diş Yüzey Hasarı



Şekil 11. Valf Sürgü Hasarı

P295GH Kalite Basınçlı Kap Çeliğinin Yüksek Sıcaklıktaki Mukavemet Özelliklerinin İncelenmesi

Investigation of Mechanical Properties of P295GH Grade Vessel Steel at Elevated Temperature

Celal Erkal KAHRAMAN¹, Caner TUN¹, Hakan ERÇAY¹, Tuncay DİKİCİ²

¹Özkan Demir Çelik, ²Dokuz Eylül Üniversitesi
Türkiye

Hidrolik yağının aşırı derecede kirlenmesi, bileşenlerin daha fazla aşınmasına ve hizmet ömrünün kısalmasına neden olmakla kalmaz; yetersiz filtrasyon aynı zamanda yağın daha hızlı eskimesine ve verim kaybına neden olur. Bu nedenle, gerekli yağ temizliğinin sağlanması ve hidrolik sistemin güvenilir ve emniyetli bir şekilde çalıştırılması için etkili bir flushing işlemi şarttır. Hidrolik sıvıların yeterli şekilde filtrelenmesi, sistem ve hidrolik bakımı (yedek parça satın alma ve depolama ile bakım personelinin bekleme ve görevlendirmesi) için harcanan çabaları ve maliyetleri azaltır.

5. Sonuçlar ve Öneriler

Hidrolik boru hatlarında pickling ve flushing işlemlerinin uygun şekilde yapılmasıyla elde edilecek hat temizliği sistem performansını arttıracak, arızaları en aza indirecek ve böylece bakım ve arıza tamiri için gerekli süreleri en aza indirip sistem devamlılığını, kararlılığını arttırarak doğrudan karlılığa etki edecektir.

Bu nedenle, pickling ve flushing sürecinin doğru planlanması, uygun ekipman ve malzemelerin seçimi, tasarımın dikkatlice yapılması, güvenlik önlemlerinin alınması ve sonuçların doğru analiz edilmesi stratejik öneme sahip adımlardır.

Referanslar

- [1] ISO 23309:2020 Hydraulic fluid power systems — Assembled systems — Methods of cleaning lines by flushing
- [2] Filtration of Hydraulic Fluids in Hydraulic Control Systems, Fachbereich Holz und Metall der DGUV
- [3] ISO 4406:2021 Hydraulic fluid power — Fluids — Method for coding the level of contamination by solid particles.
- [4] Flushing/ Pressure Test/ Quality Control on Hydraulic and Lubrication Systems, Erection and Commissioning Manual, SMS Meer.
- [5] GS-H-01 General Specification – Hydraulic, Danieli Group.

Özet

Basınçlı kaplar, endüstrinin çeşitli alanlarında kullanılan önemli ekipmanlardan biridir. Bu kaplar çeşitli sıvı ve gazları kontrollü ortamda yüksek basınç içinde tutan özelliklere sahiptir. Basınçlı kapların malzemesi patlama riskine karşı doğru malzemeden seçilmesi güvenlik açısından oldukça önemlidir. Bu çalışmada; P295GH kalite basınçlı kap çeliği üretilmiştir. Üretim sonrası basınçlı kap malzemesinin mikroyapı ve mekanik özellikleri incelenmiştir. P295GH çeliğinin akma dayanımı ~ 394 N/mm², çekme dayanımı ~ 520 N/mm² ve 30 uzama değeri ölçülmüştür. Ayrıca 4 farklı sıcaklık değerinde basınçlı kap çeliğinin darbe dayanımı sonuçları bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: P295GH, basınçlı kap çeliği, mukavemet

Abstract

Pressure vessels are one of the important equipment used in various fields of industry. These vessels have features that keep various liquids and gases under high pressure in a controlled environment. Choosing the right material against the risk of explosion is very important in terms of safety. In this study; P295GH quality pressure vessel steel is produced. The microstructure and mechanical properties of the pressure vessel material after production were investigated. Yield strength of P295GH steel ~ 394 N/mm², tensile strength ~ 520 N/mm² and elongation of 30 were measured. In addition, the impact strength results of the pressure vessel steel at 4 different temperature values were found.

1. Giriş

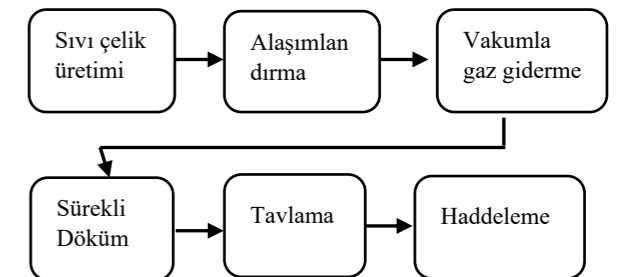
Basınçlı kaplar, 0,5 atü ve daha yüksek basınçtaki sıvı ve gazların depolanması ve taşınmasında kullanılan atmosfere kapalı kaplardır [1-3]. Otomobillerde kullanılan LPG tankları, evlerde kullanılan kazan ve ısı değiştiricileri, endüstriyel gazların depolanması (oksijen, hava, argon vb.) ve buhar kazanları gibi çok farklı yerlerde ve uygulamalarda basınçlı kaplar kullanılmaktadır. Basınçlı Ekipmanlar Yönetmeliği (Pressure Equipment Directive), Avrupa genelinde basınçlı ekipmanların piyasaya arzı ve serbest dolaşımı için

gereklilikleri belirten bir mevzuattır [4]. Bu yönetmelik, 2016 yılı sonrasında 2014/68/EU olarak devam etmektedir. Endüstriyel gaz tankları, gaz tüpleri, kompresörler, soğutma üniteleri, buhar kazanları, LPG tankları, hidrolik sistemler ve otoklavlar gibi ekipmanlar basınçlı kazanların alanına girerler [5]. Bu çalışmada P295GH kalite basınçlı kap çeliği üretimi ve karakterizasyonu hedeflenmiştir.

P295GH kalite malzeme, sıcak sıvı taşıyan kazanlar, basınçlı kaplar ve borular üretmek için kullanılan bir yüksek sıcaklık çeliğidir. Bu çeliklerin iyi soğuk ve sıcak şekillendirilme özelliklerinin yanı sıra kaynaklanabilirlik kabiliyetleri yüksektir. Bu çalışmada, P295GH çeliği üretilerek metalografik ve mekanik testler yapılmıştır.

2. Deneysel çalışmalar

P295GH çeliğine dair üretim akış şeması Şekil.1'de verilmiştir.



Şekil 1. P295GH çeliğinin üretim akış şeması

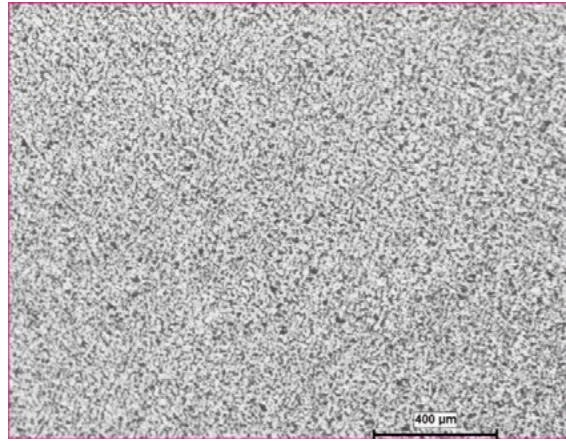
Üretim sonrası P295GH kalite çeliğe; mikro yapı incelemeleri, inklüzyon miktarı, tane boyutu tespiti yapılmış, yüksek sıcaklıkta akma/çekme dayanımı, sertlik ölçümü ve darbe dayanımı gibi bir dizi test uygulanarak mekanik özellikleri belirlenmiştir.

Üretim sonrası P295GH çeliğin kimyasal kompozisyonu optik emisyon spektrometresi (ARL 3460) ile belirlenmiştir. Metalografik incelemeler için zımparalama ve parlatma işlemlerinin ardından numuneler dağlanarak optik incelemeye hazır hale getirilmiştir. Optik incelemeler ve tane boyutu testi CLEMEX Vision Pro yazılımlı Nikon metal mikroskopu ile gerçekleştirilmiştir.

Malzemelerin mekanik özelliklerinin tespitinde; çekme testi INSTRON100 cihazında (ISO EN 6892-1), darbe çentik testi INSTRON 450 cihazında (ISO 148-1 /KV2) ve sertlik ölçümleri de Bulut Makine HB30 (ISO EN 6506-1) cihazında yapılmıştır.

3. Sonuçlar ve Tartışma

P295GH kalite basınçlı kap çeliğinin optik inceleme sonucu yapının, ince taneli ferrit+perlit mikroyapıdan oluştuğu gözlemlenmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Optik Mikroskop görüntüsü (P295GH)

P295GH kalite basınçlı kap çeliğinden mekanik özellik olarak oda sıcaklığında minimum 290MPa akma mukavemeti, 460-580MPa çekme mukavemeti, minimum %21 uzama, +20°C'de 40 joule/0°C'de 34 joule/-20°C'de 27 joule darbe tokluğu değerlerinin ve ayrıca basınçlı kap çeliklerine özel olarak 300°C'de minimum 189MPa akma mukavemetinin sağlanması beklenmektedir.

P295GH kalite basınçlı kap çeliğinin mekanik test sonuçları Çizelge 1 ve Çizelge 2'de özetlenmiştir.

Çizelge 1. P295GH çeliğin mekanik özellikleri

Akma Dayanımı (N/mm ²)	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Uzama (%)
389-398	556-569	30-31

Çizelge 2. P295GH çeliğin darbe dayanımı

Sıcaklıklar	+20°C	0°C	-20°C	-40°C
Darbe Dayanımı (Joule)	145-186	130-147	129-146	54-113

Çekme testi sonucu; P295GH kalite basınçlı kap çeliğinin oda sıcaklığında 389-398MPa akma mukavemeti, 556-569MPa çekme mukavemeti, %30-31 uzama gösterdiği tespit edilmiştir. Yüksek sıcaklıkta yapılan çekme testinde ise 312-413MPa akma mukavemeti değeri ölçülmüştür. Darbe testi deneyinde ise; +20°C'de 145-186 joule/0°C'de 130-

147 joule/-20°C'de 129-146 joule/-40°C'de 54-113 joule darbe tokluğu elde edilmiştir.

4. Sonuç

P295GH kalite basınçlı kap çeliğinin üretildiği çalışmada, hedeflenen mekanik değerlerinin üzerinde sonuçlara ulaşılarak başarılı bir çalışma gerçekleştirilmiştir. P295GH kalite çelik için beklenen akma, çekme dayanımı ve darbe dayanımı değerlerinin üzerine çıkmıştır. Bu sonuçlar, yüksek basıncın getirdiği riske karşı kapların emniyetle kullanımı açısından önemlidir.

Referanslar

- [1] Türk Standartları Enstitüsü, Basınçlı Kaplar Yönetmeliği, 2007, TSE, Ankara.
- [2] U. Sayılğan, Basınçlı Kapların Tanımı, Tasarımı, Standartları, 1993.
- [3] M.S. Akpolat, Türkiye'De Ve Avrupa'Da Kazanların Güvenli Çalışma Ve Periyodik Kontrol Kriterleri, Uzmanlık Tezi, Çalışma Ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, 2014, Ankara, Türkiye.
- [4] <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2018/03/20180303-1.htm > Tarih: 03.05.2018.
- [5] Balcı A, Basınçlı Kaplarda Malzeme Seçimi İçin Karar Destek Sistemi Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, 2014, Ankara, Türkiye

Çevre Dostu Isı Değişim Ortamı ile Çelik Tel Patentleme Yönteminin Araştırılması

Investigation of Steel Wire Patenting Method With Environmentally Friendly Heat Exchange Environment

Erkan KARAYİĞİT, Gönül COŞKUN

Güney Çelik Hasır Demir Mamulleri
Türkiye

Özet

Orta ve yüksek karbonlu çelik teller endüstride lastik tellerinde, halat tellerinde, hortum tellerinde, yay tellerinde, müzik aletlerinde ve daha birçok ürünlerin yapımında yaygın olarak kullanılmaktadır. İnce perlitik yapıya sahip bu çelik teller yüksek mukavemet, tokluk ve süneklik özellikleri gösterirler. Başlangıçta 5,5 - 7 mm çaplarda çelik filmaşın olarak alınan bu teller, daha sonra soğuk tel çekme prosesiyle daha düşük tel çaplarına getirildiklerinde aşırı strese (çekme gerilmesi) maruz kalırlar. Bu stres arttıkça tel kırılma eğilimi artar ve bunun sonucunda, tel daha küçük çaplara erişmeden kopar. Bu stresi azaltmak ve soğuk çekilmiş telin deformasyon kabiliyetini arttırmak için uygulanan ara ısı işlemi "patentleme ısı işlemi" denir. Patentleme ısı işlemi karbon-çelik tel bir ısıtma fırınında yaklaşık 900 ila 1000 °C'ye ısıtılarak östenit faza getirilir ve daha sonra bir soğutma tankında yaklaşık 500 ila 600°C'ye hızla soğutulmuş ince perlit formuna dönüştürülür. Bu işlem sonucunda, teldeki tüm birikmiş stresler giderilir ve ince perlit yapıları sayesinde telin mukavemet, tokluk ve süneklik özellikleri artar. Süneklik artarsa telin deformasyon kabiliyeti de artar ve daha küçük çaplara (≤1,5mm) erişebilmek kolaylaşır. Geleneksel patentleme yöntemlerinde soğutma ortamı olarak ergimiş kurşun, akışkan yatak, sıcak atmosfer, tuzlu su veya yağ banyoları kullanılır. Bu patentleme yöntemlerinde karşılaşılan problemler (kalite, maliyet, çevresel sorunlar vs.) kullanım alanını kısıtlamaktadır. Bu çalışmada bu tür problemleri ortadan kaldıracak, insan sağlığına ve çevreye olumsuz etkisi olmayan Mg-Al-Sr sıvı alaşımından oluşan yeni bir ısı değişim ortamı anlatılmaktadır. Yapılan deneysel çalışmalarda yüksek karbonlu çelik telin 950°C'de östenitlenmesinden sonra Mg-Al-Sr sıvı alaşımından geçirilerek hızlı soğutulması sonucunda ince perlitik yapıya dönüşümü ve dönüşüm sonrası değişen mukavemet, tokluk ve süneklik özellikleri incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Patentleme Isıl İşlemi, Magnezyum ve Magnezyum Alaşımaları, Patentli Çelik Teller, Perlit Mikroyapı

Abstract

Medium and high carbon steel wires are widely used in industry for tire wires, rope wires, hose wires, spring wires, musical instruments and many other products. These steel wires with

fine pearlitic structure show high strength, toughness and ductility. These wires, which are initially taken as steel wire rod with diameters of 5.5-7 mm, are then exposed to extreme stress (tensile stress) when they are brought to lower wire diameters by the cold wire drawing process. As this stress increases, the wire becomes brittle and as a result, the wire breaks before it can reach smaller diameters. The intermediate heat treatment applied to reduce this stress and increase the deformation ability of the cold drawn wire is called "patenting heat treatment". In the patenting heat treatment, the carbon-steel wire is brought to the austenite phase by heating in a heating furnace to about 900 to 1000°C and then rapidly cooled to about 500 to 600°C in a cooling tank to form fine pearlite. As a result of this process, all the accumulated stresses in the wire are removed and the strength, toughness and ductility properties of the wire are increased thanks to the fine pearlite structures. If the ductility increases, the deformation ability of the wire also increases and it becomes easier to reach smaller diameters (≤ 1.5 mm). In traditional patenting methods, molten lead, fluidized bed, hot atmosphere, brine or oil baths are used as cooling media. The problems encountered in these patenting methods (quality, cost, environmental problems, etc.) limit the usage area. In this study, a new heat exchange medium consisting of Mg-Al-Sr liquid alloy, which will eliminate these problems and have no negative effects on human health and the environment, is described. In experimental studies, after austenitization of high carbon steel wire at 950°C, it is passed through Mg-Al-Sr liquid alloy and converted to fine pearlitic structure as a result of rapid cooling, and its changing strength, toughness and ductility properties after transformation have been investigated.

Keywords: Patenting Heat Treatment, Magnesium and Magnesium Alloys, Patented Steel Wires, Pearlite Microstructure

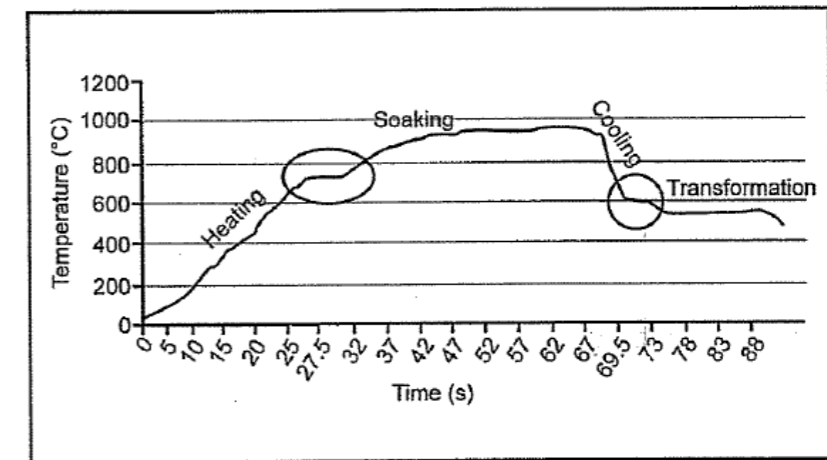
1. GİRİŞ (AMAÇ)

Yüksek mukavemetli patentli çelik teller; hızla gelişen bir pazara sahiptir. Endüstriyel olarak otomotiv lastik telleri, yay telleri halat telleri, müzik aletleri ve bu tür tellerin tel çekme prosesi yardımıyla çap küçültülmesi sonucunda üretilmektedir.

Patentleme ısı işlemi, orta ve yüksek karbona sahip ve de düşük alaşımlı çelik tellerin iç yapısında ince lamelli perlit yapısı elde etmek için uygulanan bir ısı işlemi prosesisidir [1].

Tel endüstrisinde kullanılan bir işlem olan patentleme, östenitlenmiş tel veya filmaşinin 510 ila 540 °C'de (950 ila 1000 °F) bir banyoda sürekli olarak soğutulduğu ve 10 s (küçük tel için) ile 90 s (filmaşin için) arasında değişen süreler boyunca banyo içinde tutulduğu, modifiye östemperlemenin önemli ve yararlı bir şeklidir. Patentleme, orta derecede yüksek mukavemet ve yüksek sünekliğin bir kombinasyonunu sağlar [2].

Patentleme orta karbonlu ve yüksek karbonlu çeliğe tel çekmeden önce veya çekme sırasında taslaklar arasında uygulanan bir ısı işlemidir. Patent alma dört aşamadan oluşur: (1) ısıtma, (2) bekletme (tutma), (3) soğutma ya da su verme, ve (4) (faz) dönüştürme (Şekil 1'e bkz). Filmaşini veya teli ısıtma işlemi, aşağıdakileri içeren açık ateşli bir fırında yapılabilir: fakir yanma karışımı veya inert atmosfer, erimiş kurşun veya tuz, akışkan yatak veya elektrik direnci veya indüksiyonla ısıtma. Filmaşin veya tel, malzemeyi homojenleştirmek için uygun bir süre boyunca sabit bir yüksek sıcaklıkta bekletilir. Bekletme sıcaklığından (östenitleme sıcaklığı, T_0) soğutma (su verme), hava, erimiş kurşun, akışkan yatak veya erimiş tuz ile dönüşüm sıcaklığına kadar yapılır¹. Optimum dönüştürme sıcaklığı (dönüşüm sıcaklığı, T_d), malzemenin kimyasal bileşimine ve tel çekme için veya nihai üründe ihtiyaç duyulan mekanik özelliklere bağlıdır [3].

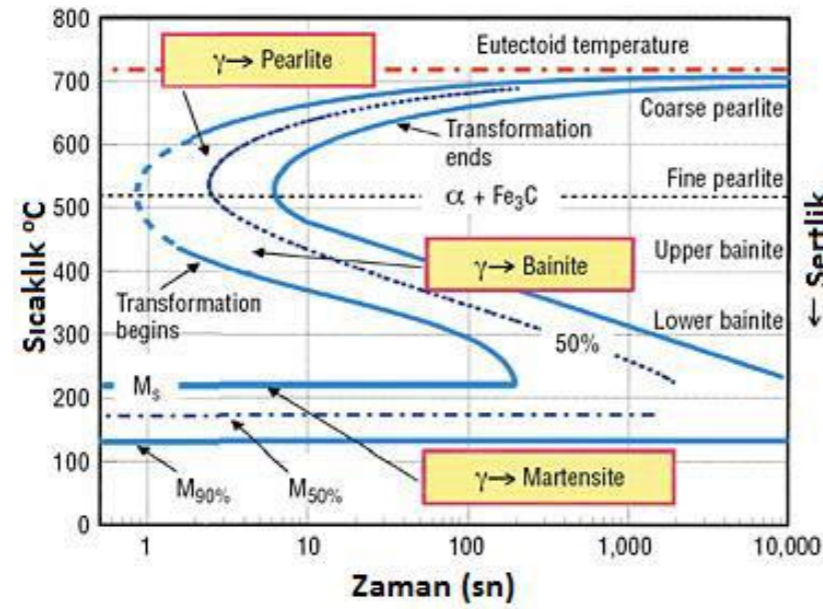


Şekil 1. Patentleme proses adımları [3]

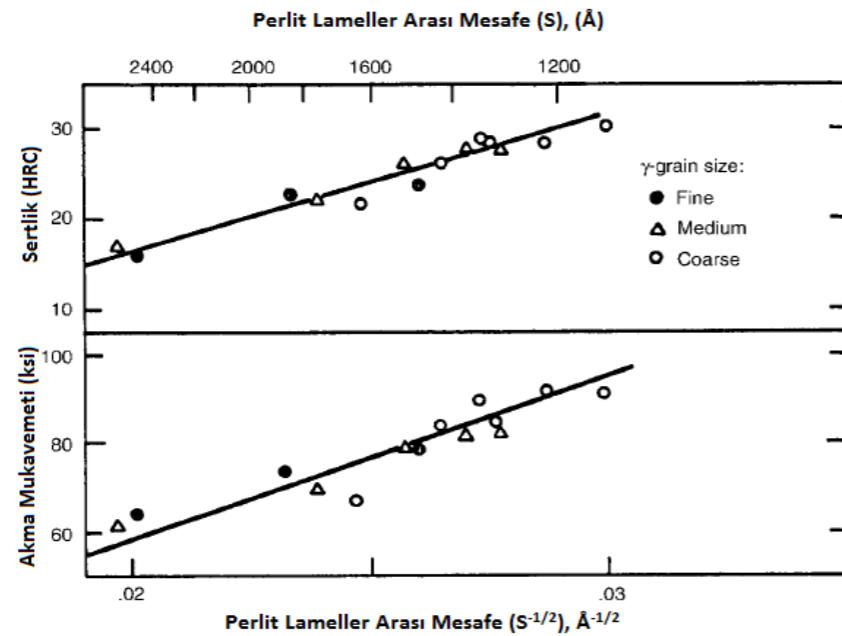
Metalurjik açıdan, patentleme süreci bir izotermal dönüşüm (TTT) ile kontrol edilir. Bu sırada, Şekil 2'deki östenit faz yapısının perlit dönüşüm zamanı ve oranını belirlemek için sıcaklık ve dönüşüm grafikleri kullanılır [1].

Perlit yapısı içerisindeki lameller arası mesafe azaldıkça (perlit inceldikçe) çeliğin mukavemeti artmaktadır (Grafik 1'e bkz). Bunun en önemli sebebi dislokasyonların tane içerisindeki hareketine karşı koyan engel sayısının artmasıdır [4].

¹ Soğutma ortamları hakkında daha detaylı bilgi için "Ferrous Wire Handbook, Chapter 21 – Patenting, pp. 533-564 bkz.



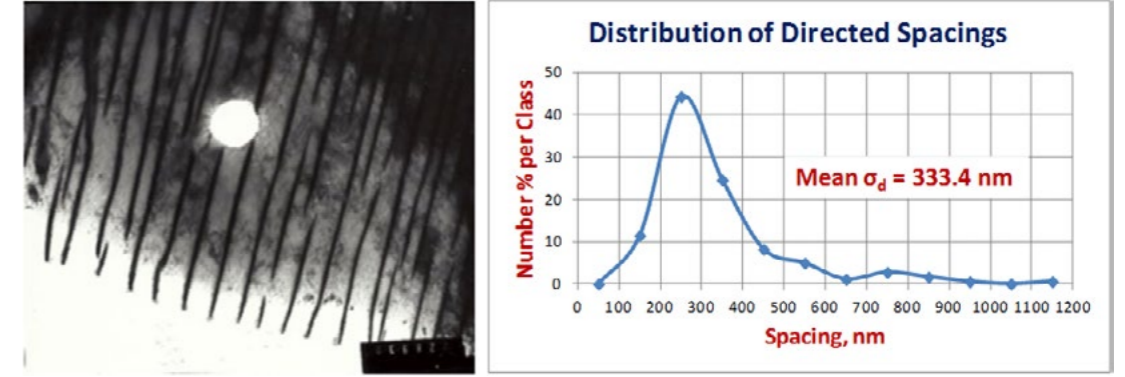
Şekil 2. TTT diyagramı [1]



Grafik 1. Perlit lamelleri arasındaki mesafenin çelikteki akma mukavemeti ve sertliğe etkisi [4].

George Vander Voort ve ark. yaptıkları deneysel çalışmalarda 1040 çeliğindeki ince perlitik adacıklarındaki lameller arası mesafeyi ölçmek için TEM'de görüntü almışlar (Şekil 3'e bkz). Farklı perlit adacıklarının her birinden 3'er tane olmak üzere, 183 ölçüm yapmışlar

ve ortalama lameller arası mesafeyi 333,4 nm olarak kaydetmişlerdir (Grafik 2'ye bkz). Bu ölçümde min lameller arası mesafe 123,7 nm ve max lameller arası mesafe 1130,2 nm olarak ölçülmüştür. Bu çalışmalarda şu sonuca varmışlardır: Ferritik-perlitik çeliklerde perlit miktarı arttıkça dayanım artar, ancak tokluk ve süneklik azalır. Oysaki tamamen perlitik bir çelik için, lameller arası boşluk daha ince hale geldikçe, mukavemet, tokluk ve süneklik artar [5].



Şekil 3. Sürekli soğutulan AISI 1040 karbon çeliğinde %4 pikral kullanılarak ortaya çıkarılan sementit lamellerinin 22000X'de TEM ince folyo görüntüsü [5].

Grafik 2. AISI 1040 karbon çeliğine ait ortalama lameller arası mesafeyi gösteren grafik [5].

Soğutma ortamının birincil işlevi, soğutma işlemi sırasında sıcak metalden daha soğuk olana ısı transfer hızlarına aracılık etmektir. Soğutma sürecini anlamak için en az üç faktör dikkate alınmalıdır:

1. Metalin doğası veya termal özellikleri
2. Sıcak metal ara yüzünde soğutma ortamının film oluşturma özellikleri
3. Soğutma ortamının kendi bulk özellikleri

Sıcak metal/soğutma ortamının ara yüzünün ısı transfer özellikleri, aşağıdaki denklemde gösterilen Grossman'ın soğutma şiddeti (H) ilişkisi kullanılarak açıklanabilir:

$$H = \frac{h}{2k}$$

h, film katsayısı (ısı transfer katsayısı) ve k, metalin termal iletkenliğidir. Grossmann değeri, büyük ölçüde soğutma ortamı tarafından kontrol edilir. İletkenlik, k, metalin bir özelliğidir ve h, metalden soğutma ortamına olan ısı transfer oranını tanımlar. Termal iletkenlik metale göre değişir ve sıcaklığa bağlıdır² [6].

Isı transferi termodinamikte bir vektördür ve iletimi, konveksiyon ve radyasyon yoluyla gerçekleşir. Alaşımlarda ısı iletimi, moleküler titreşim ve serbest elektronlar tarafından enerji taşınmasının bir karışımıdır. Malzemelerin termal özellikleri, genellikle termal iletkenlik, termal yayılma ve özgül ısı kapasitesi ile ilgilidir. Bir malzemenin termal iletkenliği, onun özgün karakteristiğini temsil eder ve birincil olarak Fourier Yasası açısından değerlendirilen bir yüzey üzerindeki birim alan başına ısı akış miktarıdır. Termal iletkenlik genellikle aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanabilen K veya λ ile belirtilir.

$$K = -Q \cdot L / (A \cdot \text{grad } T) = -q / \text{grad } T$$

Burada sırayla, Q ısı akışıdır (W), L uzunluk veya kalınlık (m), A numunenin enine kesit alanıdır (m²), q ısı akış yoğunluğudur (Wm⁻¹) ve grad T sıcaklık gradyanıdır (K). Bilindiği gibi, ısı transferi esas olarak kristalde hareket eden serbest elektronlar (elektron termal iletkenliği K_e olarak gösterilir) ve kafes konumlarında titreşen fononlar (fonon termal iletkenliği K_p olarak gösterilir) tarafından sağlanır. Toplam termal iletkenlik (K) iki katkının toplamıdır, yani,

$$K = K_e + K_p$$

Elektron termal iletkenliği K_e saf metaller için baskınken, fonon termal iletkenliği K_p alaşımlarda nispeten önemlidir.

Mg alaşımları, Al alaşımlarından daha küçük ısı kapasiteleri ve daha iyi ısı yayma etkileri nedeniyle ısı dağıtma malzemeleri olarak büyük bir potansiyel sergilerler [7].

Yüksek ısı iletkenliğe sahip olan kurşun (35,3 W.m⁻¹.K⁻¹), karbon çelik telin patentlenmesinde soğutma ortamı olarak uygun olmasına rağmen, toksisitesi nedeniyle kullanımının kısıtlandığı durumlar vardır. Örneğin, AB üye ülkelerinde yürürlükte olan

² Isı transferi hakkında daha detaylı bilgi için "ASM Handbook (1991), Volume 4 Heat Treating pp. 270 " bkz.

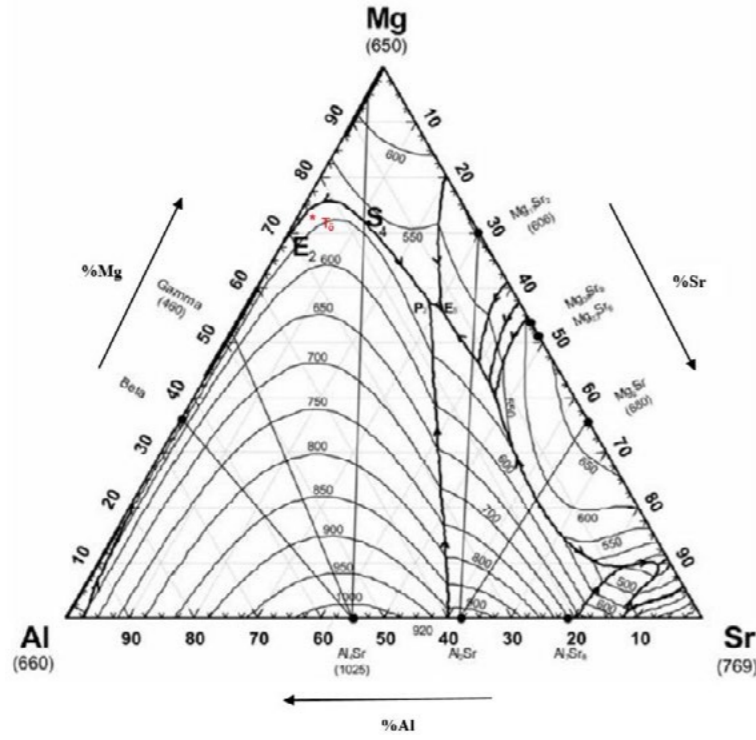
RoHS³ direktifine göre, 1.000 ppm'den fazla kurşun içeren elektronik ve elektrikli ekipmanların AB üye ülkelerinde pazarlanması kısıtlanmıştır. Bu çalışmada, toksit olmayan, kurşunun yerini alabilecek, hatta kurşundan çok daha iyi ısı transferi sağlayabilen⁴, yeni bir soğutma ortamı ve bu ortamı kullanan bir ısı değişim yöntemi anlatılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarda yüksek karbonlu çelik telin 950°C'de östenitlenmesinden sonra 580 °C'deki Mg-Al-Sr sıvı alaşımından geçirilerek hızlı soğutulması sonucunda ince perlitik yapıya dönüşümü ve dönüşüm sonrası değişen mukavemet, tokluk ve süneklik özellikleri incelenmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Deneysel çalışmalarda öncelikle patentleme ısı işlemi için, soğutma ortamı olarak kullanılması hedeflenen Mg-Al-Sr üçlü faz alaşımı oluşturulmuştur. Bu üçlü faz alaşımı oluşturulurken dikkate alınması gereken en önemli husus üçlü faz alaşımının erime noktasının perlit dönüşüm sıcaklığı aralığında (500-600 °C) olmasıdır. Bu şartı sağlaması için hesaplanan termodinamik modellemelere göre, bileşenler %77 Mg + %20 Al + %3 Sr olacak şekilde ayarlanmış ve alaşımının ötektik sıcaklık değeri (T_ö) 525 ±5 °C olarak belirlenmiştir (Şekil 4'e bkz).

³ RoHS, Tehlikeli Maddelerin Kısıtlanması Direktifi 2002/95/EC (RoHS 1), Elektrikli ve elektronik ekipmanlarda belirli tehlikeli maddelerin kullanımının kısıtlanmasına ilişkin Direktifin kısaltmasıdır. , Avrupa Birliği tarafından Şubat 2003'te kabul edilmiştir.

⁴ Saf magnezyumun ısı iletkenliği 156 W.m⁻¹.K⁻¹ 'dir. Magnezyum alaşımlarının ısı iletkenliği için kaynakçada belirtilen [7] nolu makaleye bkz.

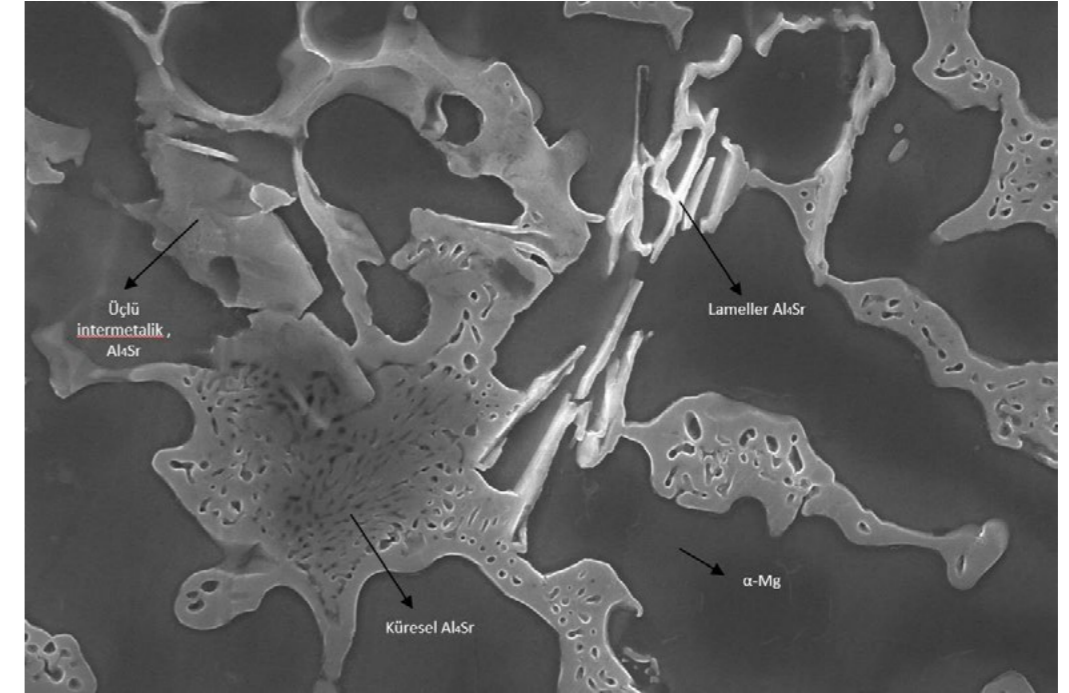


Şekil 4. Mg-Al-Sr üçlü faz diyagramı

Magnezyum alaşımlarının ergitilmesi sırasındaki en önemli husus ergimiş metalin hava ile temasının kesilmesidir. Herhangi bir koruyucu önlem alınmazsa, ergimiş magnezyum, etrafındaki havada bulunan oksijen ile ekzotermik bir reaksiyona girerek alev alır. Bu reaksiyon kontrol altında tutulamayacak kadar şiddetli olabilir. Bundan dolayı, alüminyum içeren magnezyum alaşımlarının 470°C'nin üzerindeki sıcaklıklardan itibaren, henüz ergime başlamadan SF₆, BF₃ and SO₂ gibi gazlarla korunması gerekli olmaktadır. Yapılan deneysel çalışmalarda sıvı fazlı Mg-Al-Sr alaşımının bulunduğu banyo sıcaklığı 500 °C'ye geldiğinde ortama CO₂ + SF₆ koruyucu gazı verilerek alaşımın doğrudan havayla teması kesilmiştir. Alaşımda kullanılan Al ve Sr ilaveleri sayesinde hem magnezyumun yanıcılığı azaltılmış hem de ötektik nokta düşürülmüştür.

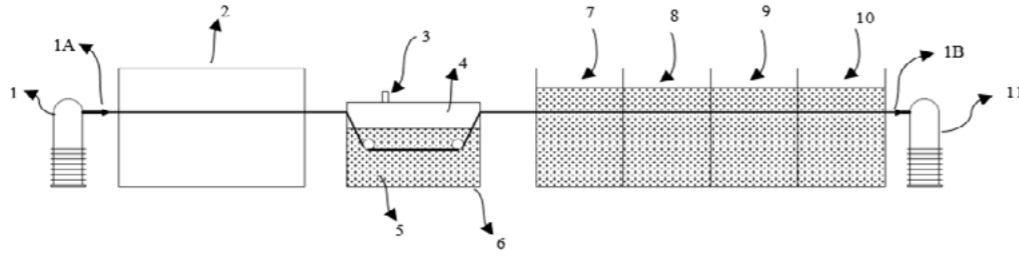
Yapılan deneysel çalışmalarda farklı sıcaklıklarda (530, 560, 580, 650, 750 °C'lerde) Mg-Al-Sr alaşım numuneleri alınmıştır. Mikro yapısal incelemeler için sıcak bakalite alma cihazında kalıplanarak 120-240-320-400-600-800-1000 ve 1200 nolu zımparalardan geçirildikten sonra 1µ ve 0,25µm elmas süspansiyon ile yüzeyleri parlatılmış sonrasında ASTM E 407 standardına göre %2 nitrik asit 100 mL ethanol (95 %) kullanılarak dağlama

işlemi gerçekleştirilmiştir. Mikroskobik çalışmalarda Nikon LV150 optik mikroskobu kullanılmıştır. SEM, EDS, Mapping ve XRD incelemeleri ise Çukurova Üniversitesi bünyesinde bulunan ÇÜMERLAB kurumunda gerçekleştirilmiştir. Faz görüntülerini belirlemek için analitik SEM ve faz tanımlamasını doğrulamak için EDS ve XRD analiz teknikleri kullanıldı. SEM-EDS ve XRD analizlerinde görülen fazlar, α-Mg matriksi içine yayılmış lameller ve küresel yapıdaki Al₄Sr intermetalik fazlar yoğunlukta olmak üzere, nadiren de Al₂Sr, Mg₂Sr, AlMg₃, Mg₂₃Sr₆, Al₁₂Mg₁₇ intermetalik fazları tespit edilmiştir (Şekil 5'e bkz.).



Şekil 5. %2 Nital ile dağlanan Mg-Al-Sr alaşım numunesinin 5000X büyütmedeki SEM görüntüsü

Yapılan deneysel çalışmalarda uygun soğutma ortamı (Mg-Al-Sr sıvı fazlı alaşım) hazırlandıktan sonra sıra yüksek karbonlu (0,72 – 0,82%C) ve 1,5 - 6,5 mm çaplı tellerin patentlenmesi adımına geçilmiştir. Bunun için tasarlanan deney düzeneği aşağıdaki gibidir.



Şekil 6. Karbon-çelik telin patentleme ısıl işlemini gösteren deney düzeneği

Şekil 6'deki referans numaraların açıklaması şöyledir;

1: Tel açıcı makara (pay off)

1A: Başlangıç karbon-çelik tel malzemesi

1B: Bitiş karbon-çelik tel malzemesi

2: Isıtma fırını

3: Koruyucu gaz ($\text{CO}_2 + \text{SF}_6$) girişi

4: Koruyucu gaz ($\text{CO}_2 + \text{SF}_6$) ortamı

5: Sıvı fazlı Mg-Al-Sr alaşımı

6: Patentleme banyosu (soğutma banyosu, Mg-Al-Sr alaşım banyosu)

7: Soğutma (su) tankı

8: Asit (HCl) tankı (tufal temizleme tankı)

9: Durulama (su) tankı

10: Çinko fosfat tankı

11: Sarıcı (take up)

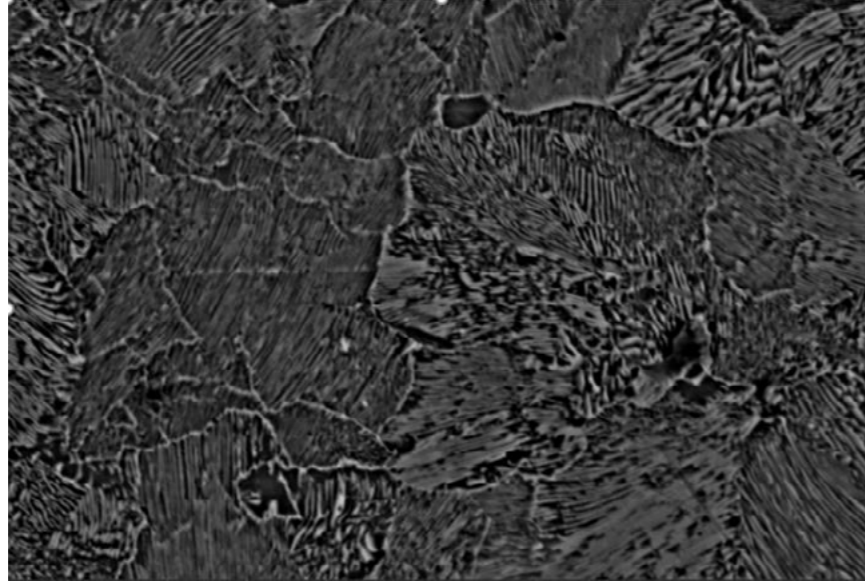
Şekil 6'de tel açıcı (pay off) ünitesinde (1) açılan tel (1A) östenitleme fazına getirilmesi için 950°C 'deki bir ısıtma fırınından (2) geçirilir. Daha sonra, ısıtılmış karbon-çelik tel (1A) bir soğutma banyosunda (patentleme banyosu) (6) ilerler. Bu soğutma banyosu (6) patentleme sıcaklığı 580°C olan sıvı fazlı bir Mg-Al-Sr alaşımı (5) ile doldurulmuştur. Sıvı fazlı Mg-Al-Sr alaşımının (5) 580°C 'de tutuşmasını önlemek için banyo ortamına (4) bir koruyucu gaz girişinden (3) $\text{CO}_2 + \text{SF}_6$ koruyucu gazı verilmiştir. Mg-Al-Sr sıvı fazlı

alaşımında patentleme ısıl işleminin uygulanabileceği sıcaklık aralığı 560°C ila 600°C arasında değişebilmektedir. Sıvı fazlı Mg-Al-Sr alaşımı (5) ile soğutulan karbon-çelik tel (1A) daha sonra su ile doldurulmuş bir banyo (7) içinde daha fazla soğutulur ve ardından hidroklorik asitle (HCl) doldurulmuş bir banyoya (8) ilerler. Asit banyosunda tufaller (demir oksit filmi ve/veya Mg'lu bileşikler) karbon-çelik telin (1A) yüzeyinden uzaklaştırılır. Tufallerin çıkarıldığı karbon-çelik tel (1A), su ile doldurulmuş bir banyoda (9) yıkanır ve son olarak, pas önleme ve yağlama amacıyla yüzeyin çinko fosfatla kaplandığı çinko fosfatla doldurulmuş bir banyoya (10) iletilir. Elde edilen çinko fosfatla kaplanmış karbon-çelik tel (1B), sarıcı makara (take up) (11) üzerine sarılır. Sarıcı makara (11) tarafından sarılan karbon-çelik tel (1B) daha küçük çaplara düşürülmek üzere, soğuk tel çekme işlemi için hazır hale getirilir.

3. BULGULAR VE YORUMLAR

3.1. Patentlenmiş Karbon-Çelik Tellerde Mikroyapı Karakterizasyonu

2,92 mm çaplı 0,8%C'lu çelik tel 950°C 'de açık alevli fırında 60 saniye östenitlenmiş ve hiç beklemeden hızlıca 580°C 'deki Mg-Al-Sr sıvı fazlı alaşım banyosunda 12 sn bekletilmiş ve açık havada soğumaya bırakılmıştır. Daha sonra mikroyapı incelemeleri için tellerden numuneler alınmıştır. Bu numuneler sıcak bakalit cihazında bakalitlendikten sonra 120-240-320-400-600-800-1000-1200-2000-2500 nolu zımparalardan geçirilmiş ve sonra 1µ ve 0,25µm elmas süspansiyon ile yüzeyleri parlatılmış ve ardından %2 nital ile 10 saniye dağlanmış. Hazırlanan numuneler Taramalı Elektron Mikroskobu'nda (SEM) cihazında incelenmiş ve tüm bölgelerin %100 ince perlit yapıda olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 7'e bkz). 30 farklı perlit adacıklarının her birinden en az üçer tane olmak üzere, lameller arası (ferrit+sementit) mesafelerden ölçümler alınmış ve ortalama lameller arası mesafe yaklaşık 180 nm olarak ölçülmüştür. Ayrıca, ticari olarak satılan filmaşınlar ile Mg-Al-Sr banyosunda patentlenen aynı gruptaki tellerin ince perlitik yapılarıdaki lameller arası mesafeleri (ferrit+sementit mesafesi) ölçüldüğünde, Mg-Al-Sr banyosunda patentlenen tellerin lameller arası mesafesi yaklaşık 2 kat daha küçük olduğu tespit edilmiş, yani daha ince perlitik yapıya sahip olduğu gözlemlenmiştir. Diğer bir deyişle Mg-Al-Sr banyosunda patentlenen tellerde ince perlitik yapılar daha sıkı paket dokusuna sahip ve perlit adacıkları daha küçük tane yapısıyla daha yüksek mekanik özelliklere sahiptir. Dönüşüm tam anlamıyla gerçekleşmiş olup, herhangi bir kaba perlit, beynit veya martensit yapılara rastlanılmamıştır.



Şekil 7. Mg-Al-Sr alaşım banyosunda patentlenmiş, %0,8 C'lu çelik tel, %2 Nital ile dağlanmış, 6000X büyütmede SEM'deki görüntüsü

3.2. Mg-Al-Sr ve Pb banyolarında patentlenmiş çelik tellerin mekanik özelliklerinin kıyaslanması

Aynı çaplı (2,92 mm) ve aynı kalitedeki çelik teller (0,8 %C), 3.1'de anlatılan aynı koşullarda, daha önce yapılan Ar-Ge çalışmalarında, ergimiş kurşun banyosunda da denenmiştir. Mg-Al-Sr sıvı fazlı alaşımın mükemmel termal iletkenliğinden dolayı bu alaşım ortamında ergimiş kurşuna göre çok daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Aşağıdaki tablo 1'de sonuçlar kıyaslanmıştır.

Tablo 1. Mg-Al-Sr ve Pb banyolarında patentlenmiş çelik tellerin mekanik özelliklerinin kıyaslanması

Malzeme	Tel Çapı (mm)	Östenitleme Sıcaklığı (°C)	Östenitleme Süresi (sn)	Dönüşüm Ortamı	Dönüşüm Sıcaklığı (°C)	Dönüşüm Süresi (sn)	Dönüşüm Sonrası Soğutma Ortamı	Akma Muk. (MPa)	Kopma Muk. (MPa)	% Kesit Daralması	% Uzama
1076	2,92	950	60	Pb	580	12	Hava	893	1190	38-43	10-12,5
1076	2,92	950	60	Mg-Al-Sr	580	12	Hava	984	1265	50-70	12,5-14

3.3. Farklı çaplarda ve farklı kalitelerde hammaddelerin ve Mg-Al-Sr banyosunda patentlenmiş çelik tellerin mekanik özelliklerinin kıyaslanması

Piyasada ticari olarak satılan farklı kalite ve çaplardaki ince perlitik yapıya sahip filmaşın çelik teller ile Mg-Al-Sr banyosunda patentlenmiş aynı kalite ve çaplardaki ince perlitik yapıya sahip çelik tellerin mekanik özellikleri kıyaslanmıştır. Mg-Al-Sr alaşımında soğutulan tellerin akma, çekme mukavemeti, % kesit daralması ve % uzaması daha yüksek değerlerde gelmiştir. Aşağıdaki tabloda sonuçlar kıyaslanmıştır.

Tablo 2. Farklı çaplarda ve farklı kalitelerde hammaddelerin ve Mg-Al-Sr banyosunda patentlenmiş çelik tellerin mekanik özelliklerinin kıyaslanması

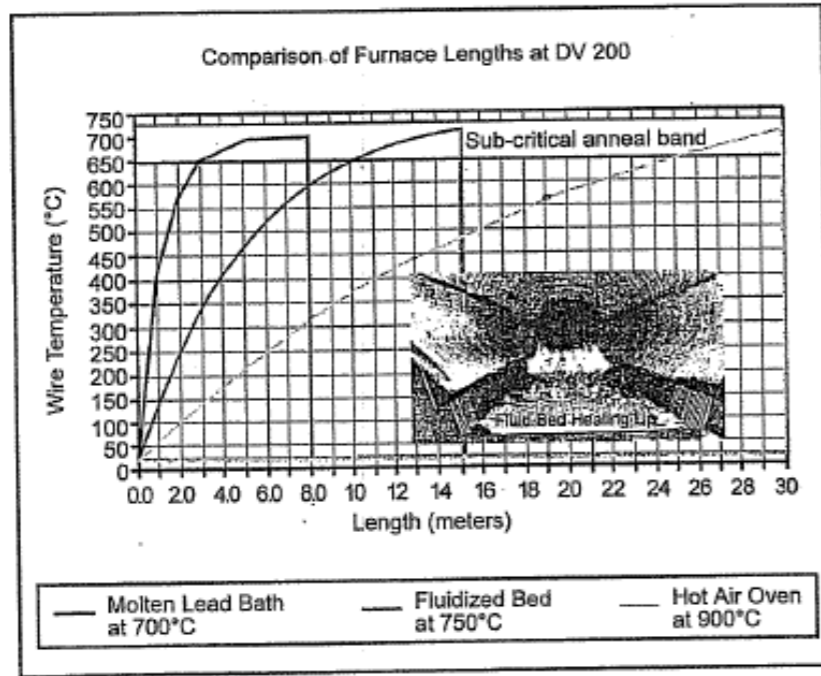
Malzeme	Filmaşın Çapı (mm)	TLC ⁵ sonrası Tel Çapı (mm)	Östenitleme Sıcaklığı (°C)	Östenitleme Süresi (sn)	Dönüşüm Ortamı	Dönüşüm Sıcaklığı (°C)	Dönüşüm Süresi (sn)	Filmaşın Akma Muk. (MPa)	Patentleme sonrası Akma Muk. (MPa)	Filmaşın Kopma Muk. (MPa)	Patentleme sonrası Kopma Muk. (MPa)	Filmaşın %Kesit Daralması	Patentleme sonrası % Kesit Daralması
1072	6	1,5	950	30	Mg-Al-Sr	580	10	708	951	1054	1203	47,95	52,74
1076	7	2,92	950	60	Mg-Al-Sr	580	10	693	955	1095	1213	39,82	52,33
1082	6,5	3,65	950	90	Mg-Al-Sr	580	10	883	989	1171	1250	23,00	42,51
1082	6,5	6,5	950	120	Mg-Al-Sr	580	20	883	920	1171	1248	23,00	33,84

3.4. Mg-Al-Sr alaşım banyo tasarımının geleneksel banyolarla kıyaslanması

Geleneksel patentleme yöntemlerinde soğutma ortamı olarak; kurşun banyoları, yağ banyoları, akışkan yataklı kum banyoları, tuz banyoları tercih edilmektedir. Bu patentleme ısı işlemlerinde en iyi sonuç her ne kadar ergimiş kurşun banyolarında yapılsa da toksik olması sebebiyle her geçen gün kullanım alanları kısıtlanmaktadır. Yapılan deneysel çalışmalarda literatürde bilinen en iyi kurşun banyosundan çok daha iyi bir ısı transferi sağlayan ve kurşun gibi çevre ve insan sağlığına da zararı olmayan yeni bir ısı değişim ortamıyla patentleme ısı işleminin uygulanabileceği gözlemlenmiştir. Dünyada ilk olacak, bu ısı değişim ortamı düşük ötektik sıcaklığa (525 °C) ve yüksek ısı transferine sahip Mg-Al-Sr alaşımından oluşmaktadır.

⁵ TLC, Tel Çekme adıdır. 5,5-6 mm olarak gelen tel çaplarının belli bir seviyeye kadar küçültülmesidir.

Bu mükemmel ısı transferi sayesinde daha küçük boyutlarda soğutma banyolarının tasarlanabileceği öngörülmüştür. Küçük soğutma banyoları sayesinde daha az alanda, daha düşük enerji ve kurulum maliyetleri ile daha yüksek verimde patentleme yapmak mümkündür. Şekil 8'de literatürde bilinen çeşitli geleneksel banyoların (ergimiş kurşun banyosu, akışkan yatak ve sıcak havalı fırınlar (açık alevli)), banyo sıcaklığına göre banyo uzunları kıyaslanmıştır.



Şekil 8. Şekilde soğutma banyolarının uzunluğuna bağlı olarak, telin sıcaklık grafiği gösterilmiştir [8].

4. SONUÇLAR

Sıvı fazlı Mg-Al-Sr alaşım banyosunda uygulanan patentleme ısıl işleminin yapıldığı bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir;

1. Mg-Al-Sr sıvı fazlı alaşımda yapılan patentlemede, kurşun banyosunda yapılan patentlemeye göre daha ince perlitik yapılar elde edilmiştir.
2. Mg-Al-Sr sıvı fazlı alaşımda yapılan patentlemede hem ergimiş kurşunda yapılan patentlemeye göre hem de piyasada ticari olarak satılan patentli karbon-çelik (1072, 1076, 1082) tellerden daha iyi mekanik sonuçlar elde edilmiştir.

3. Mg-Al-Sr sıvı fazlı alaşımın termal iletkenliği, kurşunun termal iletkenliğinden çok daha iyi olduğundan ısı transferi daha iyi sağlanmış ve faz dönüşümü daha verimli gerçekleşmiştir. Bunun sonucunda daha küçük perlit adacıkları içinde daha ince yapılı lameller (ferrit+sementit) elde edilmiştir. Bu ince tane yapısı sayesinde, mukavemet, tokluk ve deformasyon kabiliyetinde iyileşmeler gözlemlenmiştir.
4. Mg-Al-Sr sıvı fazlı alaşımın mükemmel termal iletkenliğe sahip olması daha düşük maliyetlerde patentleme banyolarının tasarımını mümkün kılmaktadır.
5. Mg-Al-Sr alaşımı kurşun gibi toksik olmadığından çevreye ve insan sağlığına herhangi bir olumsuz etkisi yoktur.
6. Mg-Al-Sr sıvı fazlı alaşımın kurşuna göre tek dezavantajı, magnezyumun yanıcı olması sebebiyle açık havada uygulanamamasıdır. Bunun önlenmesi için koruyucu gazlar kullanılabilir veya vakumlu ortamda (oksijensiz ortamlar) patentleme uygulanabilir.

Kaynakça

1. Karayiğit E., Ayman T., Gunay B., 2021. Geleneksel Üretim Yöntemlerine Alternatif Polimerik Sulu Çözelti Banyosunda Hortum Tellerinin Üretilebilirliğinin Araştırılması. Kocaeli Üni. Fen Bil. Der., 4(1): (2021) 32-37.
2. ASM Handbook (1991), Volume 4 Heat Treating, Modified Austempering, pp. 396
3. Ferrous Wire Handbook, Chapter 21 – Patenting, pp. 522, The Wire Association International, Inc., Guilford, Connecticut, USA, 1982
4. B.L. George, J.B. McDonald, and F.W. Kokoska, Residual Stresses in Off-Line Head Hardened Steels, in Ref 15.5, pp. 79–91
5. G. F. Vander Voort, The Interlamellar Spacing of Pearlite, 2015, doi: 10.3139/147.110357
6. ASM Handbook (1991), Volume 4 Heat Treating, Modified Austempering, pp. 270
7. S. Li, X. Yang and J. Hau et al., A review on thermal conductivity of magnesium and its alloys, ScienceDirect, Journal of Magnesium and Alloys 8 (2020) 78-90, doi:10.1016/j.jma.2019.08.002
8. Ferrous Wire Handbook, Chapter 21 – Patenting, pp. 597, fig.18, The Wire Association International, Inc., Guilford, Connecticut, USA, 1982.

Monitoring Technology for Downstream Processes on the Example of Hot Strip Camber, Strip Edge Inspection and Mechanical Properties Measurement

Yassı Haddeleri İçin İzleme Teknolojileri

Helmut HLOBIL, Serkan ÖZDEMİR

Primetals Technologies, Austria
Austria

Keywords: camber measurement, strip guidance control, strip edge inspection, side trimmer, roughing mill, finishing mill, material properties, tensile strength, yield strength, magnetic losses, polarization

Abstract

With worldwide experience and many installations Primetals Technologies is an experienced supplier for mechatronic products for checking parts in down-stream processes.

Original products from Primetals Technologies are the culmination of several years' experience in engineering, design, manufacturing, operations, and maintenance.

Specialization on specific measurement technologies is not enough to keep pace. So, the solution often is a combination of measurement technologies, measurement and control technologies of different physical fields. Optical measurement devices in the production area are valuable tools to further improve production reliability and product quality. Starting with hot strip mill strip guidance in the roughing mill as well as in the finishing mill is decisive in order to achieve constant and perfect product quality.

As well as the applications differ significantly the measurement technology used is related: Watching the measurement situation with cameras and let algorithm decide about quality of the seen – hot transfer bar in the hot rolling mill, identify the camber and strip alignment and automatically control the mill stands on the one hand – strip edge surface after side-trimming in order to speed-up set-up processes for side trimmers and avoid defects like knife breakouts and saw-tooth on the other hand.

In order to not only get an impression about the outer (visible) characteristics of an object other methods are necessary. This is shown at the example of electromagnetic measurement for characterizing the material properties.

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 heart of the plants.

Introduction

The paper describes the image processing technology of the applications and the opportunities that come out from that by use of these products. The focus lies on the plant status monitoring on the one hand – but not only, it is optimized technology for the operators and process engineers to either automatically control or derive improvement actions for process optimization easily.

Hot Strip Mill – ShapeMon

An optical measurement device is watching the material from the bird's view. It records the glowing strip and measures the camber and the alignment on the roller-table. The novelty in this case is the evaluation algorithm with a statistical and predictive approach that only allows reliable measurement in this harsh environment. This is the precondition for the Primetals Technologies Strip Steering Expert, a fully automatic control device.

This not only ensures better wedge and profile of the hot strip, it also reduces the cobble-rate caused by camber significantly.

Interesting are also applications on the billet and bloom caster for controlling the torch cutter with respect to length and weight of the final product.

Pickling, Annealing, Galvanizing – EdgeMon, PropertyMon

EdgeMon is installed closely after the side trimmer. An image processing sensor is watching the strip edge surface. The innovation of this product lies in the algorithm that do not only prepare the image for

visualization (magnification, elimination of strip vibrations, brightness scaling...) it also rates the image in order to provide high-level evaluation that makes it easy to identify wrong trimmer settings or defects like saw-tooth or knife breakouts.

The requirements on product quality increase steady. This makes it necessary to observe process steps that were of less interest a couple of years ago. So, material properties are becoming more and more interesting. Modern products request highest stability: tailor blanks and other small stamped part need homogeneous material for dimension stability, electrical elements (Si-steel for motors and generators) need best electromagnetic behaviour in combination with mechanical properties.

PropertyMon serves both. It is used for characterizing mechanical properties in steel plants. The new optimized sensor allows direction related measurement to characterize longitudinal and transversal behaviour. The small measurement spot also informs about variations across the strip width.

The same sensor can additionally be used to measure the magnetic losses and the polarization at the same time with the same characteristic. Again, the direction related measurement allows an important insight in GO and NGO materials where it is not necessary to renounce on the mechanical properties that are measured simultaneously.

1. ShapeMon for improvement of camber and strip guidance

For measuring the geometry of hot rolled slabs or transfer bars there are a lot of methods described in literature. All are very similar in its basic principle except some special ideas that allow focusing on special interests. What is common for most is that they cannot reach the requested reliability in the harsh environment between the mill stands of a hot strip mill.



Figure 1: HSM - finishing mill section

The huge water load on the surface (e.g. coming from the scale breaker) and the according vapor interfere with the measurement significantly. This may lead to missing measurements (best case) or wrong measurement (worst case).

The design requirements for the present technology was the capability for a usage in a control unit.

Arrangement of measurement device:

An optical sensor is placed to the top of the mill stand watching the area in between. The signal is transferred to an evaluation unit and processed.

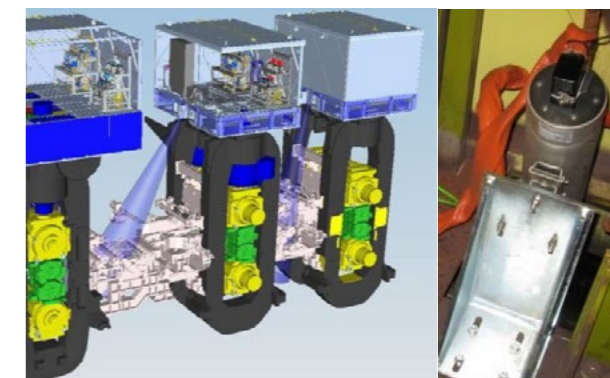


Figure 2: Installation in the FM, sensor

Due to the harsh environmental situation the core technology lies in the evaluation unit in order to achieve highest robustness. Therefore the first step of evaluation, the extraction of the strip edges from the raw images is crucial.



Figure 3: Scale breaker causes huge water and steam load

Advanced edge focused brightness control ensures a perfect contrast at the strip edges independent of the centre temperature. Based on that both edges operator side and drive side are isolated by improved edge filtering algorithm.

Due to the process, it cannot be avoided completely that measurement fails when isolated images are considered. To improve this the adapted edge filtering algorithm is also considering past images in combination with statistical methods for further improvement.

This development and the positive test results where the basis to proceed with the next step: the automatic integration of the device to a control unit called Strip Steering Expert in order to improve strip threading and -guidance.

Results from this technology:

Compared with standard edge filtering algorithm the implemented significantly improve the reliability and accuracy of edge identification.

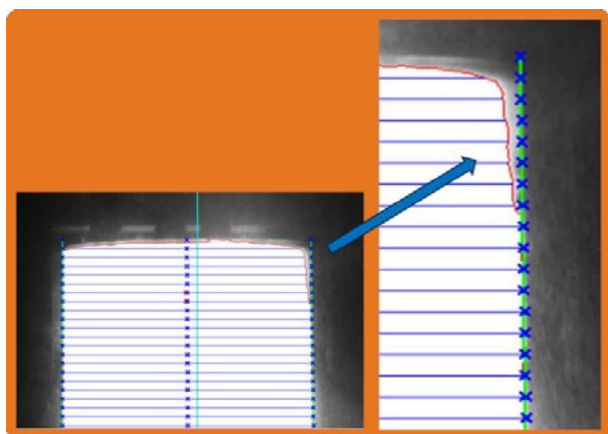


Figure 4: Improved edge filtering (blue) - standard (red)

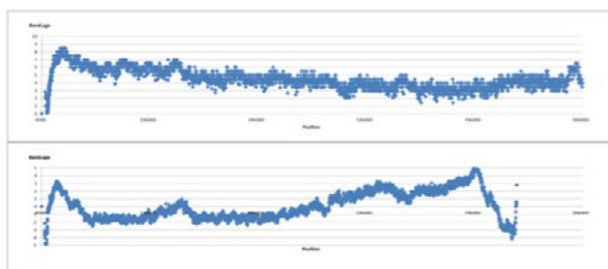


Figure 5: Measurement variance: classical (top) and new method (bottom)

In combination with the Strip Steering Expert tests showed a significant reduction of the cobble rate caused by head end camber as well as a reduction in wedge change.

2. EdgeMon for improved side trimming quality and reduced maintenance effort

Strip thickness in processing lines starts from 0.3 mm or even thinner. Therefore, inspecting the strip edge surface is a challenge. The inspection software of Primetals Technologies strip edge inspection device EdgeMon was now improved in order to be able to reliably inspect this product spectrum, too.

Best practice examples from existing EdgeMon installations will explain how to achieve process improvement in short time.

Strip Edge Inspection is already established in Pickling Line section where the strip thickness is typically between 1.5 and 6.5 mm. Automatic inspection algorithm ensure that operators can concentrate on the added value processes. The inspection device automatically flags up in case of quality issues.

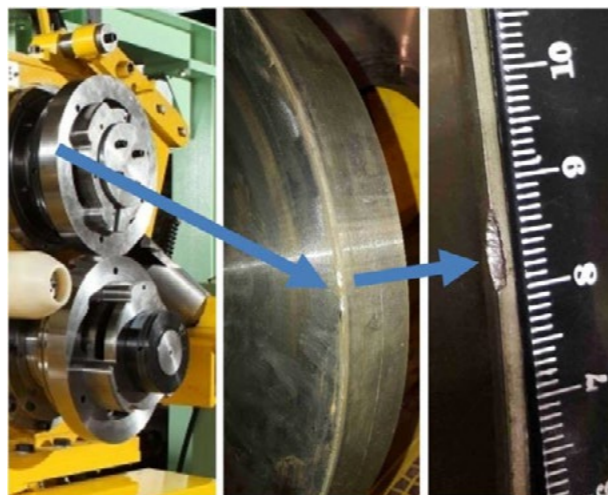


Figure 6: Knife chip

The device provides a **4-steps evaluation:**

1. The recorded image of the strip edge surface:

Due to sophisticated trigger technology the image length is always exactly one circumference of the knife. This is unavoidable as periodic quality issues related to the knife only can be seen clearly with this technology. Additionally, the software automatically eliminates the consequence of strip vibrations during recording.

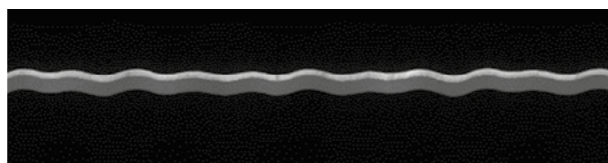


Figure 7: Original image



Figure 8: Compensation of strip vibrations

The compensated image according to Figure 2 is displayed to the operator.

2. The image is checked against irregularities:

This first check is already an important and informative information to the operator in order to get a general impression about side trimming process. Depending on the settings according to the needs (more or less sensitive thresholds) EdgeMon already provides a warning. This means that the operator does not have to have a look at

the screen all the time because he will get an information in case of a quality issue.

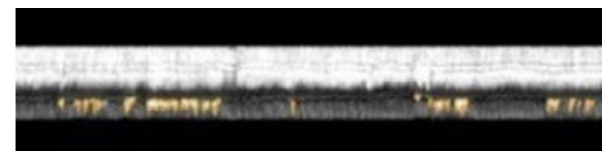


Figure 9: Irregularities in the breaking zone (yellow)

This evaluation for example provides characteristic images related to specific defects e.g. saw-tooth. So, these can be identified and troubles in cold rolling process avoided easily.

3. 2nd level evaluation:

Based on the quality issues mentioned under 2. All defects are analysed based on their shape on the one hand and based on the position in the image related to the previous image. Due to the synchronization to the knife circumference periodic defects (seen as marks in the image) always appear on nearly the same position in every displayed image during production.

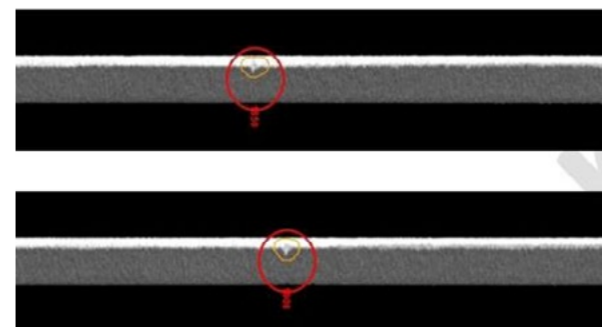


Figure 10: Automatic knife chip detection

A specially developed analysis algorithm prepares these marks related to geometrical properties and checks them against periodicity. If the same defect can be found periodically it can be assumed that this is a chip on the trimmers knife and a knife breakout alarm is provided.

4. Global coil evaluation:

As it can happen that defects are mixed up or frequent irregularities described in 2. are detected as a breakout when they are checked only locally at the currently produced strip position an additional evaluation step was implemented:

The identified defect information is collected in a so-called color-coded line which collects them over one complete coil length.

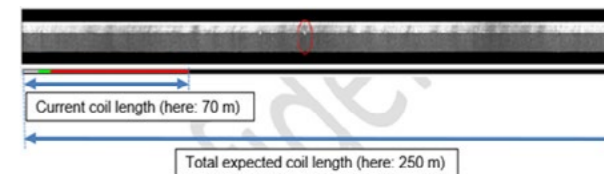


Figure 11: Colour-coded line

The information displayed is most possible simplified: good / warning / alarm. This makes it easy for the operator to derive decisions on how to proceed with this product and the side trimmer.

Additionally, the percentage along the strip length telling how likely an identified defect occurred is displayed.

Edge Quality ok	Edge Quality check	Knife ok	Knife Breakout
100% / 0%	56% / 44%	100% / 0%	11% / 89%

Figure 12: Defect percentage

Results from this technology

1. Identification of knife breakouts (knife chips):

Due to the color-coded line in combination with the resulting value of the percentage a simple classification could be implemented:

- If green percentage is between 70% and 100% no breakout is very likely
- If green percentage is between 60% and 70% no breakout is likely (watch the red circle for some evaluations is recommended)
- If the red to green percentage is 50% +/- 10% (40-60) it is unsure and a check of the images itself (watch the red circle for next 10 evaluations) is needed to give clarification.
- If red percentage is between 60% and 70% a breakout is likely (watch the red circle for some evaluations is recommended)
- If red is between 70% and 100% a breakout is very likely

The result of a performance test shows the reliability of this approach:

No breakout (70%-100%):	101,5
No breakout (60%-70%):	0
Uncertain (40-60%)	1,5
Breakout (60%-70%):	1
Breakout (70%-100%):	4

Comparison with the coil on stock showed that the 1st and the last group (70-100% for both – breakout and no breakout) was always correct.

Group 2 and 4 failed one time. For the evaluation resulted in group 3 EdgeMon could not find a clear decision (which typically is caused by an extremely poor general edge quality).

So, in this test 97,7% of the inspection results were correct.

2. Identification of knife saw-tooth:

An important defect type is the so-called saw-tooth. It causes troubles in the rolled edge, burr can lead to surface defects.

By evaluation of the stored EdgeMon data in coordination with the quality feedback from operators and quality engineers a relationship between image appearance and saw-tooth could be identified.

By providing a defect catalogue to the operator he can compare the present image with saw-tooth images and so it is easy for him to identify them and start the corrective measures.

Saw-tooth is characterized by a mixture of significantly increased cutting zone and massive local white spots in the break zone.

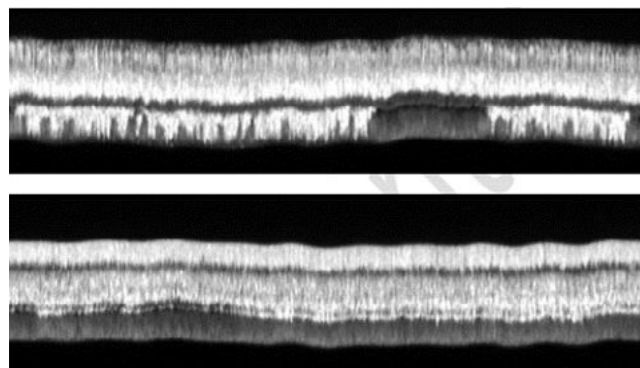


Figure 13: Typical saw-tooth image

3. PropertyMon for material characterization with focus on mechanical and electrical properties

The measurement is based on a sensor pair measuring from the bottom and the top.

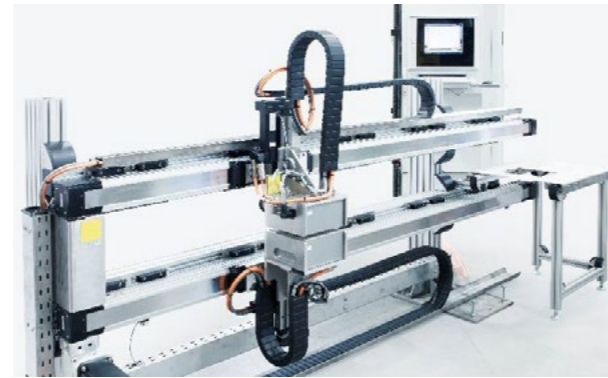


Figure 14: Sensor arrangement with traversing unit

The measurement is based on a coil system that primary magnetically excites the material to be measured and on the same time measures the reaction of the material on the magnetic field.

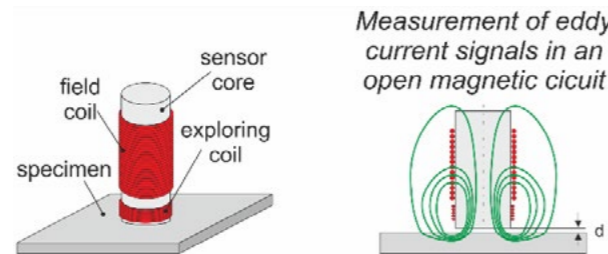


Figure 15: Measurement principle

The design of the coils allows a direction related measurement. For certain steel grades it is essential to distinguish between longitudinal and transversal behaviour.

The signal from the field coil is a hysteresis-loop equivalent. This signal is split to its characteristic frequencies and phases. With that a unique fingerprint of the material is already available. In order to be able to compare these fingerprints with process and product parameters known in literature it is necessary to transform these data to the well-known measurement values like polarization, remanence inductivity, tensile strength, yield point, hardness.

This is done by a calibration procedure. The raw data representing the fingerprint of the material are transformed to the interesting parameters.

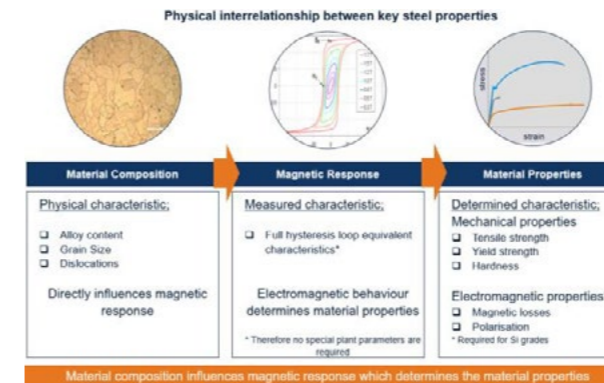


Figure 16: physical correlation between mechanical and electrical properties

Results from this technology

The following results focusses on Si-steel test series. The mechanical properties are well studied and published.

Several studies were carried out which in the meantime are confirmed by sensors in operation for more than two year.

The results of the comparison between the PropertyMon sensor results and the laboratory testing show an excellent correlation.

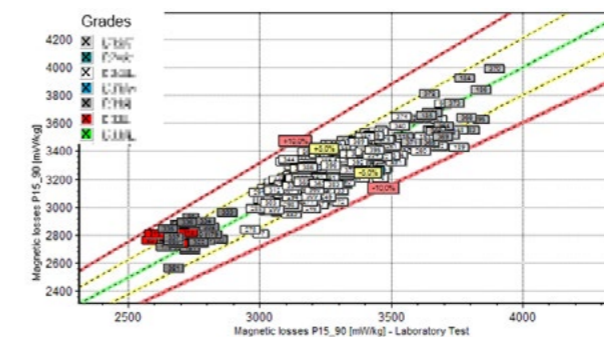


Figure 17: Correlation between online measurement and laboratory results

One of the conclusions is the direction related sensitivity of the sensor. This enables an important field of material and process examination.

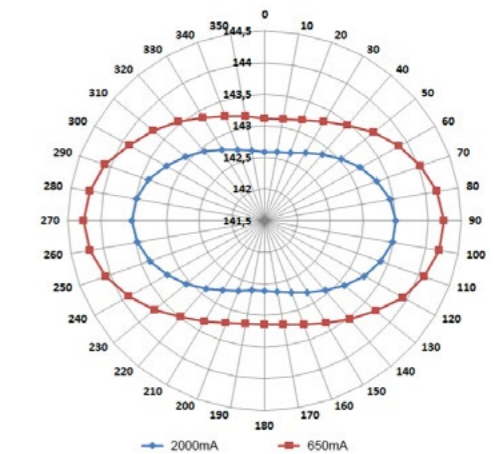


Figure 18: phase shift of the first harmonics related to the magnetization angle

Summary, conclusion and outlook

ShapeMon in combination with the Mill Steering Expert leads to a significant improvement of cobble and wedge situation. It is technically possible to operate optical measurement devices between finishing mill stands. Limitations cannot be avoided so they were considered in the design of the measurement algorithm as well as in the design of the controller.

This technology can also be implemented to the roughing mill section. This leads to a better transfer bar as a perfect precondition for finishing mill rolling.

Further development of this product family allows additional features and applications:

The technology can also be used to measure the speed of the strip and derived from that the length. This application is then also suitable for billet, bloom and strand casters. Regarding the billets and blooms section errors like rhombicity can also be measured. So, the torch cutting process can be optimized with respect to length and weight.

EdgeMon is available for hot band as well as for cold band with the same inspection quality.

This development now allows to inspect very thin products reliably. Further interesting aspects are edge cracks in Si-steel and stainless-steel lines to be detected automatically.

In order to meet different space situations in existing plants the device can be either provided as a so-called "standalone" variant that can be integrated to the plant a few meters after the side-trimmer or it can be directly attached to the side-trimmer itself – the so-called "integrated" variant. So, an instant feedback to the

operator is ensured and therefore side-trimmer parameters can be optimized immediately on the fly.

PropertyMon is the logical enhancement of present state-of-the-art measurement technologies. By use of least possible sensors and sensor technologies a wide range of material characteristics can be measured at once: mechanical parameters like tensile strength, yield strength and hardness as well as electrical parameters for Si-steel production like magnetic losses and polarization.

It can be used for several different needs:

1. End-product check after the last process step influencing the properties (e.g. skin pass mill)
2. Check of process steps (e.g. installation before and after annealing furnace)
3. Quality control of previous process steps (e.g. entry section of pickling line for hot band verification)

So, this is a typical example of an indispensable tool for operators and production for immediate feedback on present production on the one hand and process and quality engineers for process stabilisation and product development and optimization.

References

1. M. Kurz, K. Löhe, N. Petrasch: Feedback Control for Hook, Camber, Wedge and Strip Steering in a Hot Strip Mill, AISTech Conference, Proceedings, 2019
2. A. Koppler, K. L. Feiste, C. Wulfert, T. Boehm, H. Hlobil: Inline Measurement of Electromagnetic Parameters and their Importance for additional Mechanical and Electromagnetic Material Characteristics, AISTech Conference, Proceedings, 2019
3. H. Hlobil, W. Hackl, J. Traxler: An Appropriate Approach to Facilitate Decisions for Quality Improvements at Side Trimmers by use of Optical Inspection, 10th International Rolling Conference Graz Austria, Proceedings 2016

Superior Cold Rolling Solutions of Primetals Technologies for the production of NGO Electrical Steels - MQL NGO Elektrik Çeliği Üretimi için Yenilikçi Soğuk Hadde Çözümleri

Toru NAKAYAMA¹, Konrad KRIMPELSTAETTER²

¹Primetals Technologies Japan, ²Primetals Technologies Austria
Japan, Austria

Keywords: NGO, Silicon Steels, Electrical Steels, MQL, Minimum Quantity Lubrication, Edge drop

Abstract

Today's e-mobility trend calls for new generations of high-silicon electrical steels with superior magnetic properties, higher strength and thinner gauges. With this growing demand for electrical steels, steel producers are faced with the challenge in producing materials that strain or exceed the capabilities of existing mill equipment and automation originally designed to produce electrical steels with low to medium silicon content and strip thicknesses above and equal to 0.35 mm.

1. Introduction

In case of cold rolling, major levers to improve rolling mill capability are optimized work roll diameters, powerful flatness actuators, high-torque spindles and more effective and flexible roll-gap lubrication systems.

A novel roll-gap lubrication technology MQL® supports the implementation of a product-based lubrication by direct control of the in-bite oil film thickness independent of the rolling speed. This allows especially on the first rolling passes to significantly improve the friction and lubrication conditions compared to conventional recirculation emulsion lubrication.

In case of a strip induction heater in front of the cold rolling mill, which is beneficial especially for the production of edge-crack sensitive high-grade electrical steels, MQL® has a further decisive advantage because it does not reduce the strip temperature at tandem mill entry as observed for conventional roll-gap lubrication with emulsion. This may lead to reduced strip material deformation resistance, reduced strip breakage ratio and consequently to improved operational costs. Therefore, MQL® and a strip induction heater represent a congenial combination resulting in increased rolling stability and productivity as well as optimized energy consumption for the production of high-Si electrical steel.

2. Minimum Quantity Lubrication

Minimum Quantity Lubrication [3] is a new roll-gap lubrication technology for cold-rolling mills, applying neat rolling oil atomized with air directly onto the surfaces of the work rolls. This technology is beneficial for the production of silicon steels for electrical appliances or advanced high-strength steel grades (AHSS) for automotive applications.

Figure 8 shows that with MQL the entry side emulsion application is completely replaced by neat oil with low flow rates through the top and bottom MQL headers with quick-exchange oil/air mixing nozzles. The homogeneous oil film layer thickness on the work roll surface can be precisely controlled and the amount of oil supplied to the roll bite can be adjusted in a flexible and efficient way. Therefore, MQL allows for an intelligent control of the oil film thickness in the roll-gap, depending on the rolling process requirements. Based on actual process and product parameters, the innovative solution allows control over the optimum amount of oil to maximize rolling efficiency and to secure rolling stability (intelligent forward-slip control).

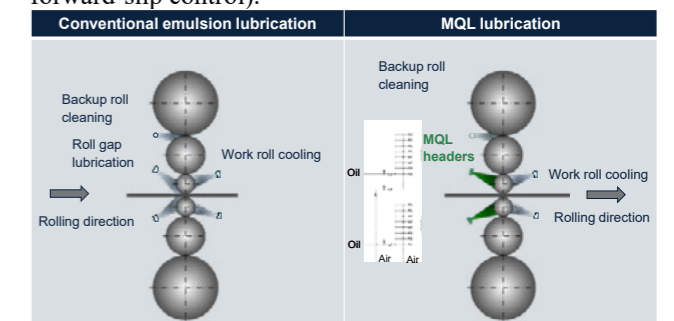


Figure 8. Typical MQL installation, oil/air schematic of spray headers

MQL not only ensures optimum product-specific lubrication, but the effortless and rapid change of lubrication settings lead to a much higher degree of flexibility than has been previously possible with classical emulsion systems.

Comprehensive tests at three different European steel producers proved its strength, and also showed

conclusively that MQL leads to considerably lower rolling forces and motor torques (electrical energy savings), as it maximizes the level of oil concentration in the roll bite. These savings can be converted into more reduction or a wider strip.

Another major advantage of the system is the ability to achieve better strip surface cleanliness by improved lubrication and friction. This results in less generated strip wear and hence reduced amount of iron fines on the strip surface after cold rolling.

MQL can be installed in one or more mill stands (cf. Figure 9). Each stand is equipped with two spray headers for the top and bottom sides of the strip. These spray bars feature several zones, with only those zones active that are required for a particular strip width. The oil flow, depending on the specific product and pass schedule, is controlled by a process unit that is coupled to the mill automation system through a defined interface. Product-specific lubrication strategies are configured in a presettable integrated into the existing Level 2 system.

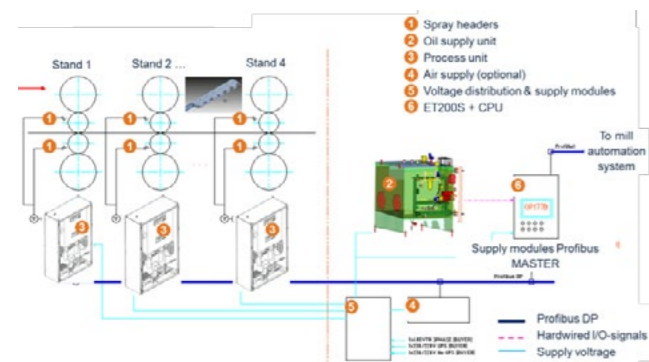


Figure 9. MQL system architecture

Figure 10 shows an example of a fully integrated emulsion and MQL header (top and bottom header) which allows maximum roll-gap lubrication flexibility for each rolling product and enables a supplement lubrication if required (e.g. at reduced weld rolling speed or for UHSS production).

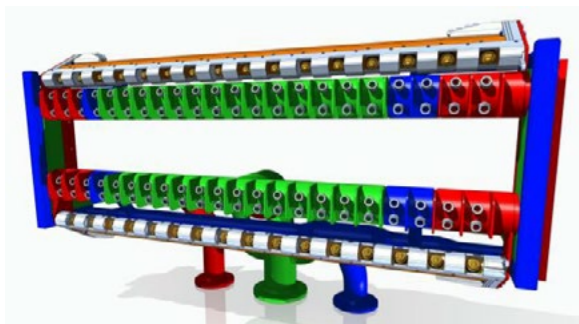


Figure 10. Combined spray header for emulsion and MQL

MQL supports the implementation of a product-based lubrication by direct control of the oil film thickness on the work roll independent of the rolling speed. Consequently, the friction conditions and therefore the rolling force can be flexibly adjusted even within one coil.

Figure 11 shows an example of an industrial installation where MQL was applied on stand 1 of a tandem cold rolling mill. The rolling force level is influenced by the amount of oil applied through MQL. In the first (left) part of the coil, the oil flow rate in ml/min was increased with rolling speed in order to maintain a constant oil application in mg/m^2 (work roll surface). In the second (right) part of the coil, the oil application in mg/m^2 was increased at constant rolling speed of app. 410 m/min. In both cases, the rolling force reacts instantly to oil flow rate and speed changes, and further decreases when the oil application is increased towards the coil tail end. Reduced rolling forces and lower friction levels lead to significant advantages for rolling high-strength materials in the first rolling stands (at low rolling speed and low thickness reduction levels) or during low rolling speeds (e.g. during weld rolling).

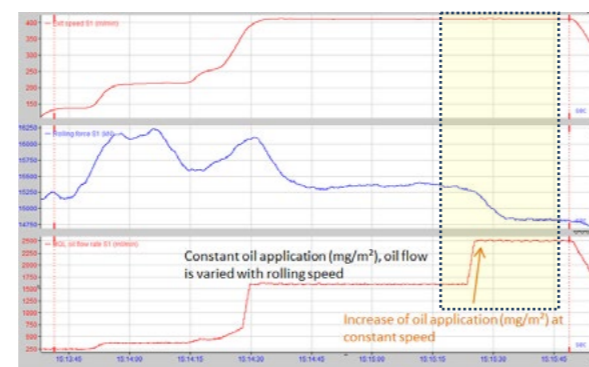


Figure 11. Instant rolling force adjustment by MQL oil application variation within a coil

Therefore, MQL allows higher reductions on early stands for high-strength steels compared to recirculation emulsion lubrication, because the oil film thickness is not limited by the low mill speed and insufficient film formation.

In case of a strip induction heater in front of the cold rolling mill, MQL has a further decisive advantage because it does not reduce the strip temperature at tandem mill entry as observed for conventional roll-gap lubrication with emulsion. Therefore, MQL and a strip induction heater represent a congenial combination resulting in increased rolling stability and productivity as well as optimized energy consumption for the production of high-Si electrical steel.

MQL is installed on two industrial tandem cold rolling mills in Europe. In the first installation the conventional

emulsion lubrication was completely replaced by MQL on mill stand 1 and 2 of a batch-type 4-stand tandem cold rolling mill. The system is now in permanent operation since January 2017. In the latest reference MQL is installed on mill stands 1, 2 and 4 of a continuous 5-stand tandem cold rolling mill of a leading European steel producer and uses a combined spray header as shown in Figure 10. MQL is in operation since mid-2019 and suitable for the entire product mix incl. UHSS and high-grade NGO silicon steels.

3. Conclusion

This paper introduces key technologies of Primetals Technologies to support steel producer for a successful, stable and high-quality production of NGO electrical steels.

A novel roll-gap lubrication technology MQL® supports the implementation of a product-based roll-gap lubrication by direct control of the in-bite oil film thickness independent of the rolling speed. This allows to significantly improve the friction and lubrication conditions compared to conventional recirculation emulsion lubrication, which leads to significant benefits in terms of lower rolling forces, increase reduction capability, reduced energy consumption and improved strip surface cleanliness of the final cold rolled product. MQL® in combination with a strip induction heater represents a congenial combination resulting in increased rolling stability and productivity as well as optimized energy consumption for the production of high-Si electrical steel.

References

- [1] M. Bergmann, K. Krimpelstaetter, B. Nilsson, S. Karakavaf, R. Leffers (2019), Intelligent roll-gap lubrication improves strip surface cleanliness in thyssenkrupp steel's tandem cold rolling mill, 4th European steel technology and application days ESTAD 2019, Duesseldorf, Germany, June 24-28, 2019.

Recent Hot Strip Mill Technology Highlights

Yeni Sıcak Sac Haddehanesi Teknolojileri

Konrad KRIMPELSTAETTER

Primetals Technologies Japan
Japan

Pair Cross Technology

It is a basic and common understanding that shape and crown control in hot strip mill are exceedingly important for both product quality and material yield. Primetals Technologies was the first in the world to develop a pair cross mill with high strip shape control capability. It achieves excellent crown controllability by crossing work roll and back-up roll in pair. Since 1984, Primetals Technologies has made numerous improvements to this system based on our extensive experience in the industry.

Features:

- High strip shape control capability
- Simplified mill mechanical structure
- Achievement of high rolling reduction
- Reduced mill vibration through the use of a mill stabilizing device (MSD)

SmartCrown® Technology

SmartCrown® work rolls feature a modified, sine-shaped contour. By selecting the correct contour coefficients and shifting the work rolls by the same amount in opposite directions, the resultant unloaded roll gap is always cosineshaped, regardless of the actual shifting position of the rolls.

Features:

- Significantly enhanced crown and flatness control range compared to work roll bending
- Higher adjustment range for narrow products
- Single work roll contour per stand for all products
- Facilitated production planning
- More flexible pass schedule design
- Thinner gauges can be achieved
- Contour control and higher-order flatness control in conjunction with work roll bending

Endless Rolling

Endless rolling involves the joining of the tail end of a preceding transfer bar with the head end of the following transfer bar after the roughing stands by Super Deformation Joining (SDJ) machine. Primetals Technologies, Ltd. is a pioneer in this innovated HSM, with most experience developing and implementing unique technologies.

Features:

- Expansion of product lineup. Production of thinner, wider and harder steel sheets; Stable rolling of thin and hard-to-roll materials
- Increase in productivity. Great reduction in mill idle time, and constant rolling speed with reduction of mill acceleration and deceleration time
- Improvement of product quality. Improvement in accuracy and uniformity of strip thickness, crown, and width
- Energy savings. Reduction of the mill acceleration and deceleration frequencies

- Smart and fully automated design (including crane handling)
- Increase of yield. Minimization of miss-rolling of thin and hard-to-roll materials; Application of tension at head and tail parts of bar

Mill stabilizing device (MSD)

At today's demanding condition, maintaining stable operation of rolling mill is becoming difficult. MSD is a hydraulic cylinder installed to mill housing window and press a roll chock against the opposite side with constant force. MSD eliminates gap between roll chocks and mill housing, keep rolls in proper position and stabilize rolls.

Features:

- Enables stable rolling at demanding rolling condition.
- Stabilizes threading.
- Reduces housing window gap control work. (Easier maintenance)
- Prevents problems occurring from roll skew between WR and BUR.
- Can be applied to existing mill

Online Roll Profiler (ORP)

Primetals Technologies have been a pioneer in the field ever since we developed the world's first system capable of roll grinding inside the mill stand (ORP) and have enhanced this technology based on our extensive experience in the industry.

Features:

- Extending the roll life
- Eliminating roll surface defects
- Extending the length of same-width rolling
- Permitting to widen out without roll change

Looper Shape Meter (LSM)

The measurement of strip shape between mill stands on a strip mill has previously been rather difficult and unreliable. Primetals Technologies has developed a looper shape meter (LSM) for continuous and accurate measurement of interstand shape.

Features:

- The load on the segment roll is measured by a torque meter without any influences of hysteresis of the mechanism, unlike when using a load cell
- Measurement by torque meter enables higher accuracy and increased measurement reliability without any influences caused by changing mechanical condition
- Easily interchangeable with existing loopers. Because LSM has low moment of inertia, existing looper drive system can be reused
- Easy replacement of segment roll for maintenance

Power cooling®

For cooling and advanced “in-line” metallurgical treatment of new materials, Primetals Technologies developed “Power Cooling®” technologies. This combines the advantages of normal laminar cooling or “low pressure cooling” and “high power cooling” with the highest cooling rates for flexible operation.

Features:

- Reducing alloying costs by substitution of hardening elements with hardening achieved by higher cooling rates
- Providing extremely high cooling rates (up to 40K/s @ 25.4mm)
- Providing extreme flexibility with an adjustment range from 10% to 100%
- Used for the complete product mix by operating in two modes, laminar and Power Cooling. Installed in running mills and new mills in combination with laminar cooling or as transfer bar cooling or as interstand cooling
- Perfect solution for two-step cooling patterns e.g. needed for DP-grades
- Perfect for de-bottlenecking of short cooling lines

Advanced Down Coiler

Primetals Technologies have developed an advanced down coiler, incorporating improvements in high speed coiling, heavy gauge steel coiling and easy maintenance, derived from our vast amount of experience.

Features:

- Wedge & link step less expanding type Mandrel for better coiling quality & reliability
- Plug-in design for quick mandrel replacement
- Automatic Jumping Control for preventing top-marks on inner wraps
- Accurately controlled side guide & pinch rolls for stable operation & coil quality

Modular Coil Shuttle System (MCS)

Primetals Technologies has developed an innovative modular coil-logistics system that relies on self-driving, remote-controlled shuttle cars traveling on dedicated rail tracks. The cars have built-in motors and are orchestrated by an automation system that ties in perfectly with existing plant automation and enables streamlined interaction between the coil-transport setup, the plant’s cranes, and all involved coil-treatment stations.

Features:

- Highly customizable coil logistics
- Low investment and operational costs
- Fast erection and commissioning
- “Plug & Play” type installation and removal of shuttle cars
- High operational flexibility
- Outstanding reliability
- Low maintenance with close-to-zero wear on the tracks and extended spare-part service life
- Simple integration into existing automation systems
- Reliable tracking of all active shuttle cars even in the event of a power outage
- No deterioration of the coils’ surface and edges during transport
- Easy and low-cost system extension
- Smart and fully automated design (including crane handling)

WP7V Çeliğinin Kullanım Alanına Göre Farklı Takım Çelikleri İle Karşılaştırmalı İncelemesi

Comparative Examination of WP7V Steel With Different Tool Steels According To the Usage Area

Orçun ZİĞİNDERE, Talip ÇİTRAK, Yasin ÇİÇEK, Onur YILMAZ

Sağlam Metal
Türkiye

Anahtar Kelimeler: WP7V, 1.2344, 1.2367, 1.2379, Aşınma

Abstract

Iron and steel production, one of our country’s locomotive sectors, increases its value every year in the world. According to 2022 data, world crude steel production is at the level of 1.87 billion tons. Türkiye's 2022 crude steel production is reported to be around 35.7 million tons. Today, the most important points of companies are energy efficiency and ensuring the continuity of production without downtime. In the steel production process, it is known that one of the biggest problems in casting and rolling mill facilities is the breakage and wear of hot shears, cold shears and flying shears. WP7V steel, developed and patented by the German company Dörrenberg Edelstahl, which is a partner of Sağlam Metal, has become an alternative material with high efficiency. This study investigated the performance of WP7V material, which is preferred instead of 1.2344, 1.2367 and 1.2379 steel grades used as shear knives in applications. The superior properties of WP7V steel, its room temperature and high temperature wear behavior in comparison with 1.2344 steel and the results are shared..

Özet

Ülkemizin de lokomotif sektörlerinden biri olan demir-çelik üretimi dünyada her geçen yıl değerini arttırmaktadır. 2022 verilerine göre dünya ham çelik üretimi 1,87 milyar ton seviyesindedir[1]. Türkiye'nin 2022 ham çelik üretimi ise 35,7 milyon ton civarında olduğu bildirilmiştir[2]. Üretim miktarlarının bu kadar yüksek olduğu günümüzde firmaların en önem verdiği noktalar enerji verimliliği, duruş yaşamadan üretimin sürekliliğini sağlamak gibi konulardır. Çelik üretim prosesinde, döküm ve haddehane tesislerindeki en büyük problemlerden birinin de sıcak makas, soğuk makas, uçar makaslardaki kırılma ve aşınmalar olduğu bilinmektedir. Sağlam Metal'in ortağı olan Alman Dörrenberg Edelstahl Firması tarafından geliştirilip patentlenen WP7V çeliği verimliliği yüksek bir alternatif olarak ortaya çıkmıştır. Bu çalışmada tüm bu alanlarda kullanılan 1.2344, 1.2367 ve 1.2379 çelik kalitelerinin yerine tercih edilen WP7V malzemenin uygulamalardaki

performansı incelenmiştir. WP7V çeliğini farklı kılın üstün özellikleri, 1.2344 çeliği ile karşılaştırmalı olarak oda sıcaklığı ve yüksek sıcaklık aşınma davranışı, sonuçları paylaşılmıştır.

1. Giriş

Ülkemizin de lokomotif sektörlerinden biri olan demir-çelik üretimi dünyada her geçen yıl değerini arttırmaktadır. 2022 verilerine göre dünya ham çelik üretimi 1,87 milyar ton seviyesindedir [1]. Türkiye'nin 2022 ham çelik üretiminin ise 35,7 milyon ton civarında olduğu bildirilmiştir [2]. Türkiye bu üretim miktarı ile 2022 yılında Dünyada 8. sırada kendine yer bulmuştur [1]. Üretim miktarları ile ihtiyacın karşılanması hedeflenirken yeşil mutabakat çerçevesinde karbon emisyon oranlarının düşürülmesi de günümüzde ilk sıralardaki hedefler arasına girmiştir. Bu kapsamda firmaların en önem verdiği noktalar enerji verimliliği, duruş yaşamadan üretimin sürekliliğini sağlamak gibi konulardır. Döküm yöntemlerinde bu çalışmalar yapılırken proses bütün halinde düşünüldüğünde her bir etken göz önüne alınmalıdır. Döküm sonrası işleme prosesleri de bu kapsamda değerlendirmeye alınmaktadır.

Demir çelik üretiminin her aşamasında pek çok sıcak iş takım çeliği, soğuk iş takım çeliği gibi farklı kalitelere çelikler kullanılmaktadır. Kesme makasları ise üretim prosesinin verimliliğinde önemli bir rol oynamaktadır. Aşınan, kırılan makaslar üretimde kesintiler yaratarak üretim tonajlarında azalmaya neden olmaktadır. Üretim yapan tesiste bir arıza olmaksızın sarf malzemelerinde oluşan bu hataların önlenmesi öncelikli çalışma alanlarından biridir.

Sıcak makas, soğuk makas ve uçar makas için piyasada genel olarak kullanılan çelik kaliteleri 1.2344, 1.2367 ve 1.2379 malzemeleridir. Ancak bu malzemelerle de zaman zaman hasarlar oluştuğu kaydedilmektedir. Bu malzemelere alternatif olarak Dörrenberg Edelstahl firması tarafından patentlenen WP7V özel çeliği geliştirilmiştir.

1.2344 (X40CrMoV5-1) çelik, yüksek sıcaklıklarda mekanik

özelliklerini ve dolayısıyla aşınma dayanımını yitirmeyen sıcak iş takım çeliğidir. 1.2344 çeliği çok iyi bir ısı kararlılığı ve tokluğa sahiptir. Sınırlı olarak soğutma mümkündür. Nitrasyon için uygundur. 1.2344 (X40CrMoV5-1) malzeme ayrıca güçlendirici alaşım elementleri olarak molibden ve vanadyum içerir. Krom içeriği, bu alaşımın yüksek sıcaklıklarda kullanıldığında yumuşamaya karşı direnmesine yardımcı olur [3].

1.2367 (X38CrMoV5-3) çelik, yüksek sıcaklık dayanımlarının gerekli olduğu imalatlarda tercih edilen bir sıcak iş takım çeliğidir. 1.2367 malzeme yüksek sertlik ve yüksek aşınma dayanımı sağlar. 1.2367 sıcak iş takım çeliğinin kullanım sertlik değeri 46-54 Rc arasındadır [3].

1.2379 (X153CrMoV12), soğuk iş çelikleri grubunda yer alan bir alaşımdır. Bu kategoride, yeterli karbon içeriği tam martenzit sertliği sağlar ve yapıda çözünmemiş karbon karbür formunda kalır. 1.2379 malzeme %12 krom içeren ledeburitik bir çeliktir. 1.2379 çelik malzeme özellikleri bakımından yüksek aşınma dayanımı ve yüksek tokluğa sahip olduğundan kesme ve ezme için çok uygundur. Nitrasyon veya tenifer yapılarak kullanılabilir. 1.2379 takım çeliğinin ikincil sertleşebilme özelliğinden dolayı PVD/CVD kaplamaya da uygundur ve yüzeyin ilave nitrülenmesi ve kaplanması kolaylıkla mümkündür [3].

WP7V malzeme; yüksek Cr, Mo, V alaşım elementleri içeren özel bir çeliktir. Bu malzemenin menevişlenmeye karşı direnci yüksektir. Basma-çekme mukavemeti ve sıcak aşınma dayanımı oldukça iyi bir özel çeliktir. CVD ve PVD kaplamaya da uygundur [3]. Hem kimyasal hem de mekanik özellikleri açısından, sıcak iş takım çelikleri ile %12 kromlu soğuk iş takım çeliklerinin ortasında yer alır. WP7V kalite malzeme, sıcak iş takım çeliğinin abrasif aşındığı, soğuk iş takım çeliğinin kırıldığı çalışma ortamlarında yüksek performans gösterir. 1.2379'a göre tokluğu ve menevişleme sıcaklığı daha yüksek olduğu için kullanıcıların daha çok tercih ettiği bir çeliktir. Darbe çeliklerine göre aşınma dayanımı daha yüksektir.

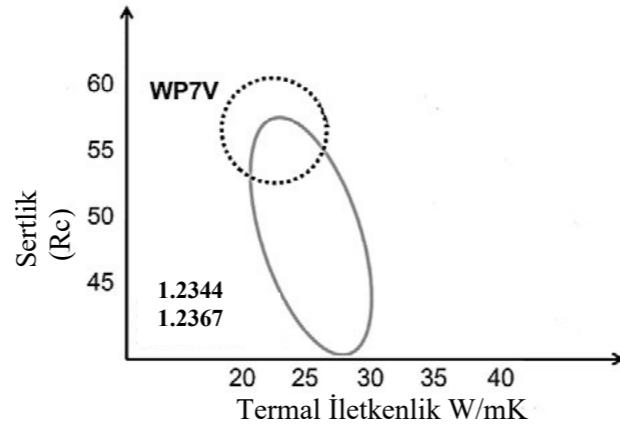
Özel takım çeliği WP7V, %8 kromlu çelikler grubunda yer alır. %0,50 (ağ)lik C içeriği ile orta karbonlu çelik grubundadır. Geliştirilmiş vanadyum ve molibden içeriği (her ikisi de ağırlıkça %1,50) nedeniyle söndürülebilir (su verilebilir) ve 58 Rc'ye temperlenebilir. Standart sıcak iş çeliklerine göre en büyük avantajı, daha iyi sertleşebilirlik, daha yüksek sertlik ve geliştirilmiş aşınma direncidir.

1.2344, 1.2367, 1.2379 ve WP7V malzemelerine ait kimyasal analiz verileri Çizelge 1'de paylaşılmıştır.

WP7V, 1.2367 ve 1.2344 çeliklerine ait sertlik termal iletkenlik diyagramı Şekil 1'de paylaşılmıştır.

Çizelge 1. 1.2344, 1.2367, 1.2379 ve WP7V kimyasal analiz verileri.

	WP7V	1.2344	1.2367	1.2379
C	0,5	0,4	0,38	1,55
Cr	7,8	5,3	5,0	12,0
Mo	1,5	1,4	3,0	0,8
V	1,5	1,0	0,5	0,9



Şekil 1. WP7V, 1.2367 ve 1.2344 çelikleri için Termal İletkenlik-Sertlik Diyagramı

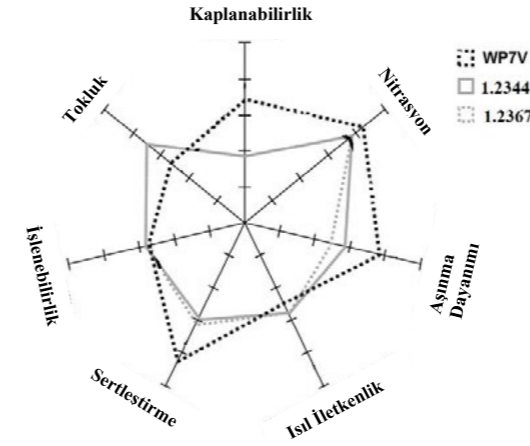
Standart sıcak iş çelikleri yüksek krom konsantrasyonu nedeniyle su verme ve temperlemeden sonra yüksek termal iletkenlik değerlerine ulaşamaz. Bununla birlikte, WP7V söndürülebilir (su verilebilir) ve daha sonra standart sıcak iş takım çeliklerinden daha iyi bir aşınma direnci sağlayan daha yüksek bir sertliğe temperlenebilir.

Sıcak haddeleme işlemi, ultra yüksek mukavemetli çelikleri şekillendirmek için yaygın olarak kullanılır. Şekillendirme işlemi sırasında ortaya çıkan yüksek sıcaklık nedeniyle, takımlar yüksek derecede termo-mekanik olarak gerilir ve bu da artan bir yüzey aşınmasına neden olur.

Gelişen hadde teknolojileri ile sanayicinin hadde proseslerinde daha yüksek üretim hızı ve daha düşük arıza durumu beklentisi her geçen gün artmaktadır. Bu da haddelerde yüksek mukavemet ve aşınma direncine sahip takım çeliklerinin kullanımına talebi arttırmaktadır.

Hadde prosesinde meydana gelen mekanik koşullara göre takım çeliğinin seçilmesi ve aynı zamanda seçilen takım çeliğinin üstün mekanik özellikler göstermesi hadde prosesi için önem arz etmektedir. WP7V takım çeliğinin, yukarıda da bahsedildiği gibi, diğer takım çeliklerine kıyasla daha üstün mekanik ve termal iletkenlik göstermesi nedeniyle hadde prosesinde meydana gelen aşınma kaynaklı arızaların minimuma indirilmesinde önemli bir rol oynayacağı ön görülmektedir.

Yapılan çalışmalar sonucu sıcak iş takım çeliklerinin kendi arasında özelliklerinin karşılaştırmalı olarak paylaşıldığı görsel Şekil 2'de verilmiştir. WP7V malzeme nitrasyon, kaplanabilirlik, aşınma dayanımı, sertleştirme özellikleri açısından çok daha üstün özelliklere sahiptir.



Şekil 2. Sıcak iş takım çelikleri özelliklerinin görsel karşılaştırması [5]

Bu çalışmada ayrıca firmamızın da ürün gamında yer alan Dörrenberg WP7V malzemesinin performansı ile en yaygın kullanım bulan 1.2344 kalite çelik performansının karşılaştırmalı deneysel sonuçları da verilecek ve değerlendirilecektir.

2. Deneysel Çalışmalar

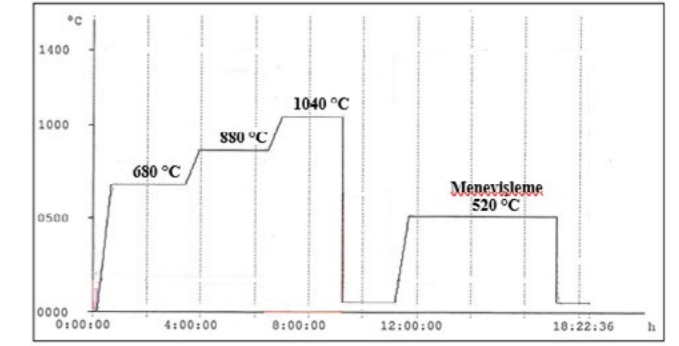
WP7V ve 1.2344 malzemenin aşınma davranışları karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. 1.2344 ve WP7V kalite sıcak iş takım çeliklerin ısı işlemleri Sağlam Metal bünyesinde bulunan Schmetz marka vakum altı ısı işlem fırınında yapılmıştır. Vakumlama işlemi ardından fırın ön tavlama ile birlikte proses sıcaklığına çıkarıldı (1040 °C). Östenit dönüşümü gerçekleştiikten sonra soğutma aşamasına geçilerek sıcak iş takım çeliklerinin martenzitik dönüşümü (sertleştirme) gerçekleşti. Soğutma ortamı olarak yüksek basınç altında azot kullanıldı. Ardından istenen sertliğin ve çeliklerdeki gerilimin alınması için menevişleme işlemi yapıldı. Isıl işlem prosesi Şekil 3'de özet olarak grafik üzerinden gösterilmiştir.

Aşınma testi için kare numuneler (30 mm*30 mm*30 mm) kullanıldı. 100Cr6 çelik bilya karşıt yüzeyine sahip Pin-On-Disc (POD) aşınma test cihazında testler yapıldı. Testler oda sıcaklığında (25 ° C- 77 ° F) ve yüksek sıcaklıklarda (400°C- 204,44°F) 300rpm kayma hızı ve 1000 m kayma mesafesi ile 20 N sabit yük ile yapıldı. Cihazdan sürtünme katsayıları verileri alındı. Test başlangıç ve bitişlerinde ağırlık kayıpları 0.001 gr hassas terazi ile ölçüldü. Sıcak iş takım çeliklerinin aşınma

hızları hassas terazi ile elde edilen ağırlık(gr) kayıpları verileri ile aşağıdaki formül kullanılarak hesaplandı.

$$Wa = \Delta G / d.M.S \quad (1)$$

Wa: Aşınma oranı (mm³/Nm), ΔG: Ağırlık kaybı (mg), M : Yükleme ağırlığı (FN) (N), S : Aşınma yolu (m), d : Yoğunluk (mg/mm³) olarak alınmıştır



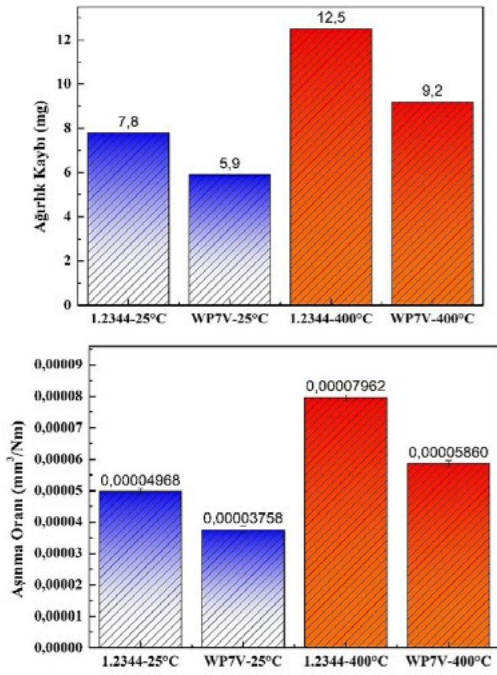
Şekil 3. 1.2344 ve WP7V kalite sıcak iş takım çeliklerinin sertleştirme ısıl işlemi proses grafiği

3. Sonuçlar ve Tartışma

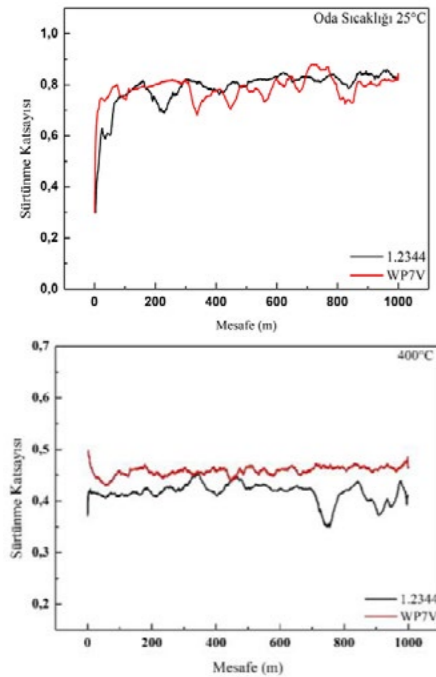
25-400°C sıcaklıklarda yapılan 1000 m aşınma test sonucunun ağırlık kayıpları ve aşınma hızları Şekil 4'te gösterilmektedir. Her iki sıcaklıkta yapılan aşınma testinde WP7V sıcak iş takım çeliğinin aşınma direncinin en yüksek olduğu görülmektedir.

25°C Oda sıcaklığında malzemelerin yüksek sertliklerinden kaynaklı aşınmaya karşı yüksek bir direnç gösterdiği belirlenmiştir. Her iki çelik içinde artan deney sıcaklığı ile aşınma hızının (aşınma oranı) arttığı gözlemlenmektedir. Nedeninin ise 400 °C'de yapılan aşınma testinde malzemenin düşük mukavemet göstermesinden kaynaklı olduğu değerlendirilmektedir. Deney sıcaklığı artırılması ile (~450-460°C) malzemenin ikincil sertleşmeye uğraması malzemelerin aşınma direncinin artacağı literatürde yapılan çalışmalar ile öngörülmektedir [6] .

Şekil 5'te malzemelerin sürtünme katsayısı değerleri verilmiştir. Oda sıcaklığında (25°C) 1.2344 malzemesinin ortalama sürtünme katsayısı 0.788 iken WP7V malzemesinin ise 0.768 olarak cihaz tarafından ölçülmüştür. 400°C'de yapılan aşınma testinde ölçülen 1.2344 malzemesinin ortalama sürtünme katsayısı 0.416 iken WP7V malzemesinin ise 0.458'dir. WP7V malzemesinin 400°C sürtünme katsayısının yüksek olması, sıcaklıkla oluşan oksit tabakasının yüzeye tutunamaması ve 400°C sertliğinin düşük olması nedeniyle olduğu değerlendirilmektedir.



Şekil 4. 1.2344 ve WP7V kalite sıcak iş takım çeliklerinin 25 °C Ve 400 °C'deki (a) Ağırlık kayıpları (b) Aşınma oranları değerleri



Şekil 5. 1.2344 ve WP7V kalite sıcak iş takım çeliklerinin (a) 25 °C Ve (b) 400 °C'deki sürtünme katsayısı değerleri

4. Sonuç

Yapılan karşılaştırma incelmeye göre elde edilen sonuçlar;

-WP7V Takım çeliğinin yüksek ısı iletkenliği ve aynı zamanda yüksek aşınma direnci diğer kullanılan takım çeliklerine üstün özellikler gösterdiği görülmüştür. Bu sonuç literatür verileriyle uyumludur.

- Hadde proseslerinde kullanılan alışagelmış takım çeliklerinin yerine ultra yüksek mukavemetli WP7V takım çeliğinin kullanılması hadde performansının artmasına ve daha az aşınma sorunları oluşması nedeniyle ekonomik avantaj sağlaması ön görülmektedir,

- Oda sıcaklığı ve 400°C'de sıcaklıklarında yapılan aşınma deneyleri sonucunda, her iki sıcaklıkta da WP7V sıcak iş takım çeliğinin aşınma direnci 1.2344'e göre daha yüksektir.

- Her iki çelik için de artan deney sıcaklığı ile aşınma direncinin düştüğü (aşınma oranının arttığı) gözlemlendi.

- Sürtünme katsayısı grafiklerine bakıldığında oda sıcaklığında WP7V sıcak iş takım çeliğinin düşük iken 400°C'de ise 1.2344 sıcak iş takım çeliğinin ortalama sürtünme katsayısının düşük olduğu tespit edildi.

- WP7V sıcak iş takım çeliğinde yüksek sıcaklıkla sürtünme katsayısının yüksek olması oluşan oksit tabakasının yüzeye tutunamaması ve 400°C sertliğinin düşük olması nedeniyle gerçekleştiği değerlendirildi.

- Yapılan çalışmalar sonucunda WP7V sıcak iş takım çeliğinin aşınma direncinin yüksek olduğu sektörde çokça bilinen 1.2344 malzemesinin aşınmaya maruz kaldığı yerlerde WP7V malzemesi tercih edilmesi önerilmektedir.

Referanslar

- [1] <<https://worldsteel.org/media-centre/press-releases/2023/december-2022-crude-steel-production-and-2022-global-totals/>> Tarih: 03.04.2023
- [2] <<https://celik.org.tr/turkiye-celik-ureticileri-dernegi-basin-bulteni-60/>> Tarih: 03.04.2023
- [3] <www.saglammetal.com> Tarih: 06.04.2023
- [4] H. Koçak, Takım Çelikleri, 2023, İstanbul, Türkiye.
- [5] J. Wilzer, C. Escher, Superior Tool Steels for Hot Stamping of AHSS, 4th International Conference on Advanced High Strength Steel and Press Hardening, Şubat 2019, Almanya.
- [6] Çalgın, M., Çimenoğlu, H., " Bazı sıcak iş takım çeliklerinin yüksek sıcaklık aşınma davranışı", Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü, Ocak, 199.

Karar Analizi ve Çözümü Kullanılarak Sıcak Haddeleme Çizelgelemesinde İki Farklı Sıralama Yöntemi Nasıl Karşılaştırılır?

How To Compare Two Different Sequencing Methods in Hot Rolling Scheduling Using Decision Analysis and Resolution?

Atilla ÖZGÜR

SMS Digital
Germany

Üçüncü olarak, iki aç gözlü algoritma önerilmiştir. Son olarak, DAR kullanılarak, iki farklı aç gözlü algoritma çözümü sentetik bir sıcak haddeleme veri seti üzerinde karşılaştırılmıştır.

Keywords: Hot rolling, scheduling, metrics, sequencing

1. Giriş

Çeşitli endüstrilerde yaygın olarak kullanılan bir malzeme olan çelik [3], ülkelerin ekonomik refahı ile yakından ilişkilidir [4]. Köklü ve önemli bir endüstri olmasına rağmen, çelik üretimi zorluklarla karşı karşıyadır. Çelik piyasasındaki gelişmelere ilişkin 2017 OECD raporunda [5] belirtildiği üzere, çelik şirketlerinin önemli bir kısmı sürdürülemez kar oranlarıyla çalışıyor olabilir.

Çelik şirketlerinin kar oranlarının iyileştirilmesi, çizelgeleme sistemlerinde matematiksel optimizasyon uygulanmasıyla sağlanabilir [1]. Sıcak haddeleme için geliştirilmiş bir çizelgeleme yaklaşımı [1], hammaddede ve enerjinin optimum kullanımını ve standart altı veya düşük kaliteli çıktı üretiminin azalmasını doğrudan etkileyecektir. Sonuç olarak, çelik üretiminde matematiksel optimizasyon yöntemlerinin kullanılması hem akademik hem de endüstriyel sektörlerde büyük ilgi görmüştür.

Literatürde sıcak haddeleme için birçok farklı çizelgeleme algoritması önerilmiştir [1]. Özgür ve diğerleri [1] sıcak haddehanelerin çizelgenmesi için önerilen 90 farklı makaleyi incelemiştir. Bu algoritmaların 80'den fazlası çizelgeleme için bir optimizasyon çözümü önermektedir. Ancak bu makalelerin tümü, bir karşılaştırma metodolojisi kullanmak yerine çözümlerini manuel planlayıcılarla veya hedef fonksiyonlarının değerleriyle karşılaştırmaktadır.

Buna karşın, alternatif çözümler arasında seçim metodolojileri çeşitli alanlarda kapsamlı olarak çalışılmıştır. Örneğin, üniversite personelinin seçimi için bulanık mantık tabanlı bir model Bacheleishvili ve diğerleri [6] tarafından ve tedarikçi seçimi için başka bir bulanık tabanlı model Çınar ve Uygun [7] tarafından önerilmiştir. Benzer bir şekilde, Faydalı ve Erkan [8] tarafından fabrika makinelerinin seçimi için bir model önerilmiştir. Son olarak, denetimli sınıflandırıcıları karşılaştırmak için bir karşılaştırma modeli Özgür [2] tarafından saldırı tespit sistemleri için önerilmiştir.

Bu makale, bir uygulayıcının algoritmalar veya manuel planlayıcılar tarafından bulunan sıralama çözümleri arasında bilinçli bir karar vermesi için karar kuramı tabanlı teorik bir yaklaşım önermektedir. Bu karar yardımcısının adı: DAR (Karar Analizi ve Çözümü) [9]. Yetenek Olgunluk Modeli Entegrasyonunun (CMMI) süreç alanlarından biridir ve ilk olarak yazılım mühendisliği alanında önerilmiştir. Sınıflandırıcı karşılaştırması için DAR kullanımını 2021 yılında Özgür [2] tarafından önerilmiştir.

Makalenin geri kalanı aşağıdaki gibidir. Bölüm 2'de, sıcak haddeleme sıralaması veya çizelgeleme problemi tanımlanmakta, farklı sıra karşılaştırma metrikleri verilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Sıcak haddeleme, planlama, metrikler, sıralama

Abstract

Most of the time planning and scheduling of production lines in the steel factories are done using sequencing of single production line. For example hot rolling scheduling is mostly solved by single sequencing according to Ozgür et al [1]. But how to compare two different sequencing solution given by different algorithms or different manual planners are not answered clearly in the scientific literature. In this study, a sequencing comparison technique suitable for sequencing of single production line is proposed. This technique, Decision Analysis and Resolution (DAR), is originated in the domain of Software Engineering and is previously proposed for the machine learning classifiers comparison by Özgür [2]. Firstly, hot rolling sequencing problem and most used hot rolling sequencing metrics are introduced. These are width, thickness and hardness transitions according to Özgür al [1]. Secondly, DAR is explained using an example of car buying scenario. Thirdly, two simple greedy algorithms are proposed. Lastly, using DAR, two different greedy algorithm solutions are compared on synthetic hot rolling data set.

Özet

Çelik fabrikalarındaki üretim hatlarının planlanması ve çizelgenmesi çoğu zaman tek bir üretim hattının sıralanması kullanılarak yapılır. Örneğin sıcak haddeleme çizelgenmesi Özgür ve arkadaşlarına göre çoğunlukla tek bir sıralama ile çözülmektedir [1]. Ancak, farklı algoritmalar veya farklı manuel planlayıcılar tarafından verilen iki farklı sıralama çözümünün nasıl karşılaştırılacağı bilimsel literatürde net bir şekilde cevaplanmamıştır. Bu çalışmada, tek bir üretim hattının sıralanması için uygun bir sıralama karşılaştırma tekniği önerilmiştir. Bu teknik, Karar Analizi ve Çözümü (DAR), Yazılım Mühendisliği alanında ortaya çıkmıştır ve daha önce Özgür [2] tarafından makine öğrenmesi sınıflandırıcılarının karşılaştırılması için önerilmiştir. İlk olarak, sıcak haddeleme sıralama problemi ve en çok kullanılan sıcak haddeleme sıralama ölçütleri tanımlanmıştır. Bunlar Özgür ve arkadaşlarına göre genişlik, kalınlık ve sertlik geçişleridir [1]. İkinci olarak, DAR bir araba satın alma senaryosu örneği kullanılarak açıklanmıştır.

Bölüm 3'te, tanıdık bir araba satın alma senaryosu kullanılarak DAR'a temel bir giriş yapılmıştır. Bölüm 4'te, sıcak haddeleme sıralamasını çözen iki ağırlıklı algoritma açıklanmıştır. Bölüm 5'te, iki ağırlıklı algoritma karşılaştırma metrikleri ve DAR kullanılarak karşılaştırılmıştır. Son olarak, bölüm 6 makaleyi sonlandırmaktadır.

2. Sıcak haddeleme sıralama problemi ve karşılaştırma metrikleri

2.1. Sıcak haddeleme sıralama problemi

Balas, 1989 yılında sıcak haddeleme sıralama problemini [10] bilimsel literatüre kazandıran ilk yazarlar arasındadır. Bir sıcak haddeleme, levhalardan çelik şeritler üretir. Merdanelerin aşınması ve yıpranması ve olası kusurlar gibi diğer faktörler nedeniyle, levhaların sıcak haddelemeye giriş sırası çok önemlidir.

Balas [10] sıcak haddeleme sıralamasının ilk matematiksel tanımını vermiş olsa da, sıralamayı etkileyen özellikleri açıkça tanımlamamıştır. 1992 yılında Kosiba ve Wright [11] sıralama problemini gezgin satıcı problemi kullanarak çözmeyi önermiş ve özellikler için genişlik, kalınlık ve sertlik kullanmıştır. Çelik için sertlik çoğunlukla çeliğin karbon içeriği kullanılarak yaklaşılmaktadır. Kosiba ve Wright önerdikleri çözümlerinde, ortak bir amaç fonksiyonu kullanarak bu özelliklerin geçişlerini en aza indirmeye çalışmışlardır.

2.2. Sıralama için karşılaştırma ölçütleri

Bu üç özellik (genişlik, kalınlık ve sertlik), Özgür ve diğerlerinin [1] incelemesine göre sıcak haddeleme sıralamasında kullanılan en yaygın özelliklerdir. Sıralamada kullanılan diğer en yaygın özellikler Çizelge 1'de görülebilir. Çizelge 1'in ikinci sütununda sert, özelliğin problemin fiziksel bir kısıtı olduğu anlamına gelirken yumuşak, özelliğin bir iş kısıtı olduğu anlamına gelmektedir.

Çizelge 1 Sıcak Haddeleme Sıralamasında kullanılan özellikler, Makale [1] Çizelge 5'in kısaltılmış versiyonudur

Özellik	Yumuşak/Katı Çalışma Sayısı	
Genişlik	Katı	60
Kalınlık	Katı	59
Sertlik	Katı	45
Aynı genişlikteki levhalar uzunluk sınırlaması	Katı	20
Son Teslim Tarihi	Yumuşak	14
Haddeleme Sıcaklığı	Katı	10
Öncelik	Yumuşak	10

3. Karar Analizi ve Çözümü (DAR) Araç Satın Alma Örneği

Karar Analizi ve Çözümü (DAR) tekniğinin kökleri yazılım mühendisliği alanına dayanmaktadır [9]. Bu teknik, yeni bir araç satın almak veya geliştirmek arasında seçim yapmak; taşeronluk veya şirket içinde yazılım geliştirmek arasında karar vermek gibi iyi bilgilendirilmiş kararlar vermeye yardımcı olur. Bu tekniği daha iyi anlamak için, yaygın bir örnek olan araba satın alma konusunu ele alalım.

Bir araba satın alması gereken ve bilinçli bir karar vermek isteyen bir şirket düşünelim. Bu kararı verirken çok sayıda ölçüt devreye girer ve bunlardan birkaçı aşağıda listelenmiştir.

1. Maliyet
2. İkinci El Değeri
3. Yakıt Tüketimi
4. Bagaj Kapasitesi

Bu listeye maksimum hız, servis olanakları vb. gibi farklı ölçütler de eklenebilir. Ancak örnek olarak bu dört metrik seçilmiştir.

Hangi araç markasının satın alınacağına karar verilmelidir, Marka M veya Marka B. Çizelge 2, bu iki markanın karar analizi ve çözümleme (DAR) süreci kullanılarak karşılaştırılmasını göstermektedir. Süreç, 100 puanın karşılaştırma ölçütlerine dağıtılmasıyla başlar. Çizelge 2'nin ağırlık sütunu bu puan dağılımlarını göstermektedir: İlk maliyete 30 puan, ikinci el değerine 20 puan, yakıt tüketimine 40 puan ve bagaj kapasitesine 10 puan verilmiştir. Elbette farklı bir alıcı bu özelliklere farklı ağırlıklar verebilir.

Özelliklerin karşılaştırılması: ilk maliyet, ikinci el değeri, yakıt tüketimi ve bagaj kapasitesi, farklı değer aralıkları nedeniyle imkânsızdır. İlk maliyet ve ikinci el değeri parasal değerlere sahiptir. Yakıt tüketimi 100 km başına litredir ve bagaj kapasitesi bir hacimdir. Matematiksel işlemleri anlamlı bir şekilde kullanmak için bunları aynı aralığa, örneğin (0-1) veya (0-100) aralığına ölçeklendirmemiz/normaleştirmemiz gerekir. Yüzdeleri kullanmak daha anlaşılır olduğundan, min-maks normalizasyonunu kullanarak (0-100) aralığını kullanmayı tercih ettik. Denklem 1 ve Denklem 2 min-maks normalizasyonun tanımlarıdır.

$$x_{norm} = \frac{x_i - \min(x)}{\max(x) - \min(x)} \quad (1)$$

$$x_{norm} = 1 - \frac{x_i - \min(x)}{\max(x) - \min(x)} \quad (2)$$

Daha yüksek değerler daha iyi olduğunda, Denklem 1 kullanılır. Daha yüksek değerler daha kötü olduğunda, Denklem 2 kullanılır. İkinci el değeri ve bagaj boyutu özellikleri için, daha yüksek değerler daha iyidir; dolayısıyla, bu iki özelliği normalleştirmek için Denklem 1 kullanılır. Maliyet ve yakıt tüketimi özellikleri için, daha yüksek değerler daha kötüdür; sonuç olarak, bu iki özelliği normalleştirmek için Denklem 2 kullanılır.

Çizelge 2, DAR otomobil satın alma senaryosunun bir versiyonunu sunmaktadır. Min-Maks sütunu diğer markalardan elde edilen değerleri kapsamaktadır. M ve B sütunları bu araçların gerçek değerlerini temsil ederken,

normalleştirilmiş M ve normalleştirilmiş B değerleri min-maks normalleştirme yoluyla elde edilmektedir (Denklem 1 ve Denklem 2'ye göre). Toplam sütunu, Denklem 1 ve Denklem 2'de özetlenen normalleştirme sürecini dikkate alarak otomobilin genel sıralamasını göstermektedir.

DAR sürecinin ardından, daha yüksek bir başlangıç maliyetine sahip olmasına rağmen, sağlanan ağırlıklara göre Marka B'nin daha üstün bir seçim olduğu belirlenir. Bu kararda, B markasının yakıt tüketimi ve bagaj kapasitesi ölçütlerindeki üstün değerlerinin, daha yüksek maliyetinin etkisinden daha ağır basması etkili olmuştur. Bu senaryo, özellikle birden fazla kriter içeren kararlarla karşı karşıya kaldığında DAR tekniğinin önemini vurgulamaktadır.

Çizelge 2 Otomobil Satın Alma Senaryosu için Karar Analizi ve Çözümü (DAR)									
	Ağırlık	Min.	Maksimu.	Marka M	Ölçek M	Ağırlık * Ölçek M	Marka B	Ölçek B	Ağırlık * Ölçek B
Maliyet	30	75000	100000	85000	0.6	18	95000	0.2	6
İkinci el değeri	20	20000	40000	35000	0.75	15	37000	0.85	17
Yakıt tüketim	40	4	6	5	0.5	20	4.4	0.8	32
Bagaj kapasitesi	10	350	500	400	0.33	3.33	500	1	10
Toplam	100					56.33			65

4. Ağırlıklı Algoritmalar

Ağırlıklı algoritma, her adımda yerel olarak en uygun seçimleri yapmak için ağırlıklı bir strateji izleyen bir problem çözme yaklaşımıdır. Başka bir deyişle, her karar noktasında, ağırlıklı bir algoritma, bu seçimin potansiyel sonuçlarını veya uzun vadeli etkilerini dikkate almadan mevcut en iyi seçeneği seçer. Ağırlıklı algoritmalar verimli ve hızlıdır ancak hiçbir zaman global optimum çözümü garanti etmez. Bununla birlikte, kıyaslamalar için çok kullanışlıdır. Önerilen bir optimizasyon algoritması buradaki ağırlıklı algoritmalarından daha iyi sonuçlar üretmelidir.

Sıralama algoritmaları için, bir ağırlıklı algoritma, oluşturulan ağırlıklı kurala göre sıralanacak bir sonraki levhayı seçer. Burada, iki farklı ağırlıklı algoritma öneriyoruz.

Birinci ağırlıklı algoritma, tabut şeklinin (coffin shape)

şağı inen kısmını uygulamaya çalışır; bu nedenle, levhaların genişliği genişten dara doğru gitmelidir. Sipariş listesi aşağıdaki özelliklere göre sıralanır: genişlik, sertlik, kalınlık.

İkinci ağırlıklı algoritma sertlik değerini en önemli kısım olarak kabul eder; bu nedenle bu algoritma sipariş listesini aşağıdaki özelliklere göre sıralar sertlik, genişlik, kalınlık.

Yukarıda da görülebileceği gibi, bu iki basit algoritma çok fazla özelliği dikkate almaz, sadece üç özellik ile çalışmaktadır. Ancak Merten ve diğerlerine göre [12], sürekli döküm (continuous casting) planlamasında manuel planlayıcılar çoğunlukla sadece karbon içeriğini kullanarak karar vermektedirler. Benzer şekilde, sıcak haddeleme manuel planlayıcıları, karar destek sistemleri olmadan çok sayıda farklı kısıtlamayı karşılayamaz. Bu nedenle, bu iki ağırlıklı algoritma her fabrika için uygun olmayabilir, ancak kıyaslama algoritmaları olarak kesinlikle uygundur. Manuel planlayıcılar, karar destek sistemleri, yapay zeka algoritmaları veya optimizasyon algoritmaları tarafından önerilen herhangi bir çözüm bu iki algoritmadan daha iyi

olmalıdır. Ancak önerilen farklı çözümler nasıl karşılaştırılır? Bir sonraki bölümde bu iki ağırlıklı algoritmayı karşılaştırmak için DAR yaklaşımı kullanılacaktır.

5. DAR kullanarak dizileme algoritmalarını karşılaştırmak

5.1. Sentetik veri seti

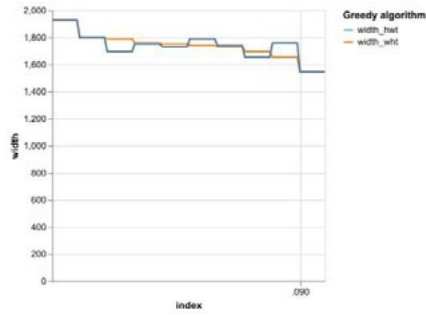
Sentetik veri kümesi Merten ve arkadaşları [13] tarafından önerilen yaklaşım kullanılarak oluşturulmuştur. Bu veri kümesinin özellikleri Çizelge 3'te görülebilir.

Çizelge 3 Veri seti özellikleri					
İstatistik	Uzunluk	Ağırlık	Genişlik	Kalınlık	Sertlik
Ortalama	544.83	31.14	1740.02	3.884	0.158
Std	106.77	2.81	95.07	1.721	0.071
Min	370.05	25.55	1544.63	1.272	0.030
%25	485.12	30.14	1695.74	2.852	0.150
%50	509.01	31.51	1747.67	3.630	0.170

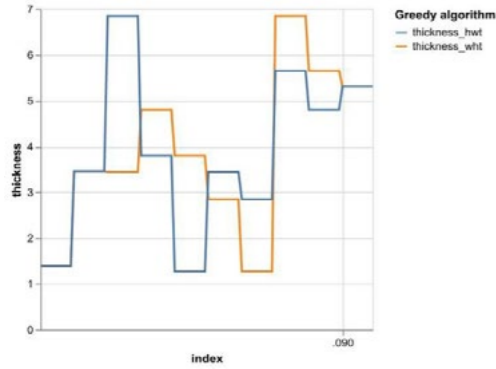
%75	661.53	33.27	1791.11	5.311	0.230
Maks	693.18	34.82	1928.22	6.855	0.230

5.2. Sentetik veri seti üzerinde açgözlü algoritmaların sonuçları

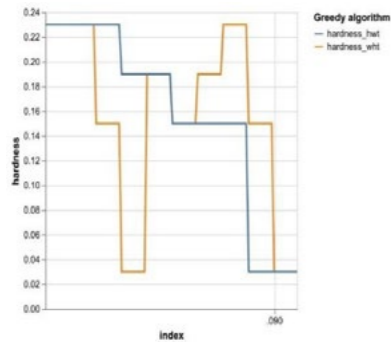
Bölüm 4'te önerilen iki açgözlü algoritma sentetik veri kümesine uygulanmıştır. Bu iki algoritma uygulandıktan sonra Şekil 1'de genişlik geçişleri, Şekil 2'de kalınlık geçişleri ve Şekil 3'te sertlik geçişleri görülmektedir.



Şekil 1. Genişlik geçişleri



Şekil 2. Kalınlık geçişleri



Şekil 3. Sertlik geçişleri

Şekil 1-3, üzerinde geçiş değerleri görebiliyoruz ancak bu iki algoritmanın nasıl karşılaştırılacağı hala açık bir sorudur. Bu iki algoritmaya DAR işlemini uygulayacağız. İlk olarak, bu

geçiş değerleri toplanarak hesaplanacaktır. Çizelge 4 üzerinde bu toplam değerler görülebilir.

Ne yazık ki, veri setinin sentetik doğası ve önerilen açgözlü algoritmaların belirleyici doğası nedeniyle, geçiş toplam değerleri aynıdır; bu nedenle, bu geçiş toplam değerleri karşılaştırma için kullanışsızdır. Sezgisel algoritmalar daha gerçekçi veri kümelerine uygulandığında, bu toplam değerlerin farklı olması gerekir.

Çizelge 4 Geçiş toplamları ve sayıları		
	Aç gözlü 1 (hwt)	Aç gözlü 2 (hwt)
Genişlik geçişleri toplamı	383.58	383.58
Kalınlık geçişleri toplamı	3.92	3.92
Sertlik geçişleri toplamı	0.2	0.2
Genişlik geçişleri sayısı	9	6
Kalınlık geçişleri sayısı	3	5
Sertlik geçişleri sayısı	5	5

Geçiş değerleri veya sayıları çelik alanında karşılaştırma ölçütü olarak eskiden beri çok kullanılmaktadır. Ama bu kullanımı ilk olarak yayınlayanlardan biri 2022 yılında yayınlanan Schmitz'in [14] yüksek lisans tezidir. Schmitz, geçişleri üç duruma ayırma fikrini önermiştir: normal, sorunlu ve kötü geçişler. Normal geçişler sıralamayı hiç etkilemeyecektir. Sorunlu geçişlerin kusurlu olma (defect-scrap) ihtimali vardır. Kötü geçişler neredeyse her zaman kusurlara neden olacaktır. Bu geçişlerin aralığı makine özelliklerine göre değişecektir. Örneğin, 12,5 mm'den küçük genişlik geçişleri normal, 12,5 mm ile 50 mm arasındaki genişlik geçişleri sorunlu ve 50 mm'den yüksek genişlik geçişleri kötü geçişler olarak sayılır Burada bu terminolojiyi kullanmıyoruz ancak tüm geçişleri sorunlu olarak sayıyoruz. Çizelge 4 üzerinde bu geçiş sayıları görülebilir.

DAR sürecini uygulayalım. Çizelge 5'i kullanıyoruz. Geçişler için daha yüksek değerler daha kötü olduğundan, normalleştirme için Denklem 2 kullanılır. levha sayımız 100 olduğundan, olası geçişler için min 0 ve maks 100 değerlerini kullanırız. Genişlik (%40), kalınlık (%40) ve sertlik (%20) için ağırlıklar verilmiştir.

DAR işlemini uyguladıktan sonra, şaşırtıcı bir şekilde levhaları sertlik, genişlik ve kalınlık değerlerine göre sıralayan ikinci açgözlü algoritmamız, levhaları genişlik, sertlik ve kalınlığa göre sıralayan ilk açgözlü algoritmadan daha iyidir.

6. Tartışma ve sonuçlar

Farklı sıralama sonuçları arasında seçim yapmak için Karar Analizi ve Çözümü (DAR) adı verilen bir yöntem önerilmiştir. Bu yöntem yazılım mühendisliği alanında ilk defa önerilmiştir. Verilen kısıtlamalara göre, bu yöntem

algoritmaları veya yöntemleri sıralar. Gösterim amacıyla sentetik bir veri kümesi seçilmiştir. Bu veri kümesi için, genişlik, kalınlık ve sertlik geçişleri, sıcak haddeleme çizelgelemesinde en çok kullanılan sert kısıtlar olduğu için karşılaştırma ölçütleri olarak seçilmiştir. İki basit açgözlü algoritma tanıtılmış ve bu sentetik veri kümesine uygulanmıştır. Sonuçlara göre, ikinci açgözlü algoritmalar daha iyidir. Sentetik bir veri kümesi kullanarak çok basit iki algoritmayı karşılaştırdığımız için, bu sonuç diğer veri kümelerine uygulanamayabilir. Bununla birlikte, Karar analizi ve çözümü (DAR) kullanma süreci, karar destek sistemleri, yapay zeka algoritmaları veya manuel planlayıcılar tarafından üretilmiş olsalar bile diğer sıralama sonuçlarına uygulanabilir.

Teşekkür

Can Yalçın'a makale sürecindeki yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

Highest Steel Surface Quality and Process Efficiency Powered By Smart Inspection Systems

Yüksek Çelik Yüzey Kalitesinin ve Proses Verimliliğinin Akıllı
Yüzey Görüntüleme Sistemleri İle Sağlanması

Volkan KOCAL

ISRA Vision
Türkiye

PAPER SUMMARY

The steel industry holds a strategic place in the worldwide economy, fostering innovation, growth, and employment, linked closely to many downstream industries such as automotive, construction, electronics or electrical and mechanical engineering.

The demand for high-grade steel is increasing and driven mainly by the automotive industry. However, superior surface quality of the end product is influenced by every single step of the production chain, from the very beginning during the casting. Next to the increasing demand for highest surface quality, another key challenge for the steel industry is to reduce the overall CO₂ footprint by increasing the efficiency and yield. Therefore, the need for reliable data, for further process optimization up- and downstream based on automated decisions, is continuously increasing.

To match increasing demands for highest steel quality, automatic surface inspection systems have become state of the art throughout the entire steel plant. The main motivation of automatic surface inspection in a coil producing line is to guarantee that all produced material matches the quality requirements of the subsequent processes and final customers. To achieve this, not only all defects have to be detected but also all detected defects have to be classified as accurately as possible. This is important for proper root cause analysis – the base for process optimization – and the distinction between critical and uncritical defects.

The appearance and the causes for surface defects in steel mills are manifold. Although an automatic surface inspection system might detect every occurring defect, the appearance of the defect might make it challenging to classify the defect correctly. This might result in classifying an uncritical defect as critical and vice versa. To reduce incorrect classification and thus, improve the inspection system performance, there are several ways. The following are identified as most important / as having the highest impact on performance:

- Enhanced / more field of views
- Additional / improved classification algorithms
- Consistent and continuous monitoring of the inspection system

The paper will show approaches for these three different key factors. It will show the new generation for automatic surface inspection systems, offering several field of views at highest resolution. It will show the future automatic defect classification by adding a deep learning, neural network classifier to the inspection system. Additionally, approaches to monitor all relevant aspects like hardware, detection, classification, and defect trends of the inspection system will be presented.

INTRODUCTION

The steel industry holds a strategic place in the worldwide economy, fostering innovation, growth, and employment, linked closely to many downstream industries such as automotive, construction, electronics or electrical and mechanical engineering.

The demand for high-grade steel is increasing and driven mainly by the automotive industry. However, superior surface quality of the end product is influenced by every single step of the production chain, from the very beginning during the casting.

Çizelge 5 Otomobil Satın alma Senaryosu için Karar Analizi ve Çözümü (DAR)

	Ağırlık	Min.	Maks	Aç gözlü 1 (wht)	Ölçek wht	Ağırlık *Ölçek wht	Aç gözlü 2 hwt	Ölçek hwt	Ağırlık *Ölçek hwt
Genişlik	40	0	100	9	0,91	36,4	6	0,94	37,6
Kalınlık	40	0	100	3	0,97	38,8	5	0,95	38
Sertlik	20	0	100	5	0,95	19	5	0,95	19
Toplam	100					36,4			37,6

Referanslar

- [1] Özgür, A., Uygun, Y., Hütt, M.-T.: A review of planning and scheduling methods for hot rolling mills in steel production. *Computers & Industrial Engineering*, 106606 (2020) <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106606>
- [2] Özgür, A.: Classifier selection in resource limited hardware: Decision analysis and resolution approach. *Journal of Intelligent Systems: Theory and Applications*, 37–42 (2021) <https://doi.org/10.38016/jista.755419>
- [3] Smil, V.: A century of advances, 1914–2014: Changing leadership in iron and steel industry. In: Smil, V. (ed.) *Still the Iron Age*, pp. 65–86. Butterworth-Heinemann, Boston (2016)
- [4] Dunham, J., Associates: The economic impact of the american iron and steel industry. Technical report (2018)
- [5] Mercier, F., Hotsuka, H., Silva, F.: Steel market developments q4 2017. Technical report (2017)
- [6] Basheleishvili, I., Bardavelidze, A., Tsiramua, S.: The development of a model for decision support system of assessment and selection of university academic staff. *Journal of Intelligent Systems: Theory and Applications* 2(2), 18–23 (2019)
- [7] Çınar, A., Uygun: Selecting green supplier using intuitionistic fuzzy AHP. *Journal of Intelligent Systems: Theory and Applications* 2(2), 24–31 (2019)
- [8] Faydalı, R., Erkan, E.F.: A fuzzy VIKOR method for machine selection. *Journal of Intelligent Systems: Theory and Applications* 3(1), 7–12 (2020) <https://doi.org/10.38016/jista.677785>
- [9] Team, C.P.: Cmmi for development, version 1.2. Technical report (2006)
- [10] Balas, E.: The prize collecting traveling salesman problem. *Networks* 19(6), 621–636 (1989) <https://doi.org/10.1002/net.3230190602>
- [11] Kosiba, E.D., Wright, J.R., Cobbs, A.E.: Discrete event sequencing as a traveling salesman problem. *Computers in Industry* 19(3), 317–327 (1992) [https://doi.org/10.1016/0166-3615\(92\)90069-Y](https://doi.org/10.1016/0166-3615(92)90069-Y)
- [12] Merten, D.C., Hütt, M.-T., Uygun, Y.: A network analysis of decision strategies of human experts in steel manufacturing. *Computers and Industrial Engineering* 168, 108120 (2022) <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108120>
- [13] Merten, D., Hütt, M.-T., Uygun, Y., Özgür, A., Klein, C.-A.: Novel genetic algorithm for simultaneous scheduling of two distinct steelproduction lines, (2023)
- [14] Schmitz, T.: Konzeptionierung und einföhrung von KPI (leistungskennzahlen) basierten produktionsplanungssystemen in der ganzheitlichen planung von aufträgen im stahlwerk. Master's thesis, Studiengang Technisches Projektmanagement (Master) an der Hochschule Ruhr West (2022)

Another key driver beside producing high-grade material is to reduce the overall CO₂ footprint by increasing the efficiency and yield. Reliable data are the key for further process optimization up- and downstream based on automated decisions.

IMPROVING THE PERFORMANCE OF AUTOMATIC SURFACE INSPECTION

The main motivation of automatic surface inspection is to be able to guarantee that all produced material matches the quality requirements of the subsequent processes / final customers. To achieve this, not only all defects have to be detected but also all detected defects have to be classified as accurately as possible. This is important for proper root cause analysis – the base for process optimization – and the distinction between critical and uncritical defects.

The appearance and the causes for surface defects in the various production steps are manifold. Although an automatic surface inspection system might detect every occurring defect, the appearance of the defect might make it challenging to classify the defect correctly. This might result in classifying an uncritical defect as critical and vice versa. To reduce incorrect classification and thus, improve the inspection system performance, there are several ways. The following are identified as most important / as having the highest impact on performance:

- Enhanced / more field of views
- Additional / improved classification algorithms
- Consistent and continuous monitoring of the inspection system

ADDING MORE FIELD OF VIEWS TO THE INSPECTION SYSTEM

The background of this approach can be compared to manual inspection by human eye. The human inspector usually inspects the surface by looking at it from different angles. Depending on their characteristics and the illumination, surface defects appear differently in different viewing angles. The different viewing angles provide crucial information to the inspector, helping them to correctly identify and classify the defect. Taking a galvanizing line for example: While at first sight a defect might look like a dross-streak, a different viewing angle might reveal that the surface defect is actually caused by a sliver, possibly resulting from previous process steps and not from the galvanizing process itself.

An automatic inspection system by nature does not have the possibility to freely adjust the inspection angle until enough information for classification is gathered, unlike the human inspector. As the inspection angle of the system is static, the system is equipped with several field of views, consisting of a separate camera bank and/or illumination beam. For galvanizing lines, two field of views are state of the art today. However, to improve the performance of the automatic inspection system more field of views are necessary. But the simple amount of inspection views alone is not enough by itself. The manual inspector keeps the defect in focus during changing angles. This gives him the opportunity to connect the different viewing angles and defect appearances to one defect. The automatic inspection system therefore, has to connect the images from different inspection channels to the same defect/detection event. In best case, the images of each view are recorded pixel-synchronously. Larger delays or if image recordings of the channels are not synchronized accurately, might result in less or even confusing information for the classifier.

The above-mentioned principle is shown in Figure 1, using two defect examples: Both defects (“shell” and “scale”) might appear very similar in some views. If only using one or two views, a clear distinction would not be possible and both defects might be classified as either “shell” or “scale”. Additional views provide more information and help classifying the two different defects. The fact that all images are recorded pixel-synchronously, ensures that the information can be processed adequately by the classifier. In this example, the pixel-synchronous recording is achieved by using a color camera and colored illumination. The camera records a color image which is then split into

different color channels. Each color channel represents a different field of view. Theoretically, it is possible to record one image and split it into three field of views.

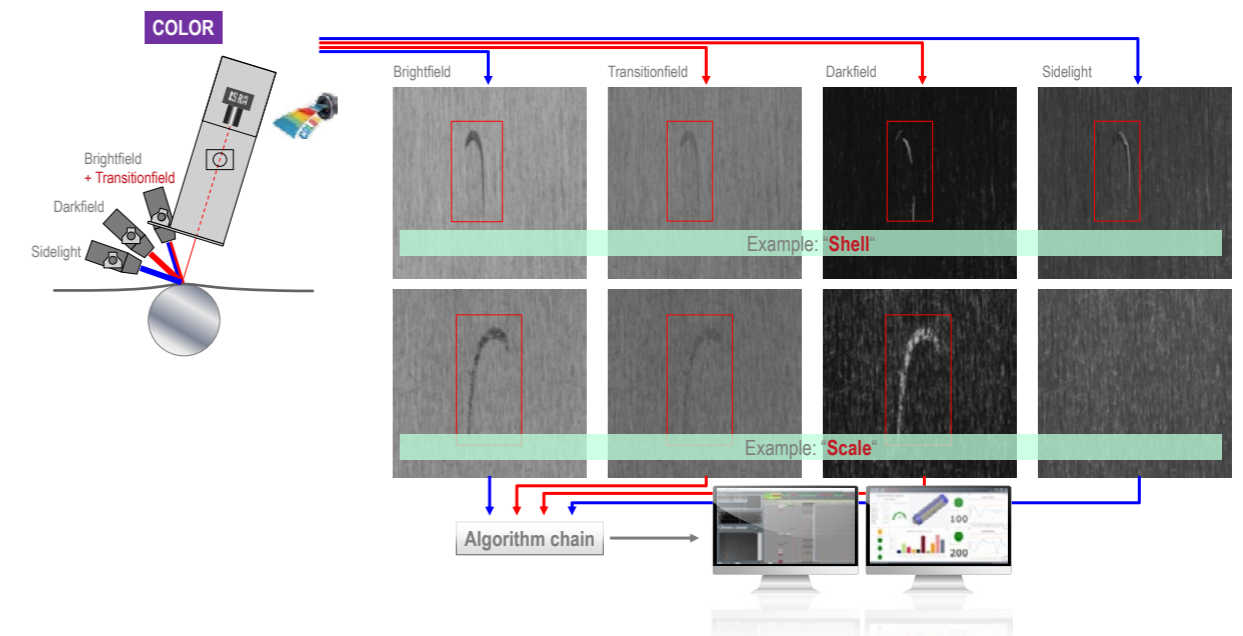


Figure 1: Pixel-synchronous image recording by using color cameras and color illumination.

IMPROVING DETECTION AND CLASSIFICATION

Other capabilities of a human inspector are, for example, the ability to select the optimal illumination intensity for the best possible contrast and to include additional information besides the actual defect image for the evaluation, both for judging whether there is a defect or not and what kind of defect is found. Imitating such abilities and transferring them to a machine is the core idea of artificial intelligence in general and IVAI-Technologies (ISRA VISION artificial intelligence) in particular.

DAISY – our Dynamically Adjusting Illumination System – continuously monitors the current lighting situation and independently reacts to changes to always maintain the optimal inspection conditions. In doing so, it is able to distinguish changes due to deterioration in material quality from other causes and to respond appropriately, either by adjusting the intensity of illumination or, if necessary, with a warning.

Instead of only looking at one-dimensional gray value profiles for detection and determining deviations, i.e. defects, solely by means of local threshold violations, we use additional information. In area-based detection, not only the pixels to the left and right of a potential defect are taken into account for comparison, but all pixels in the immediate vicinity – just as a human inspector would always look at a certain area and not at a single spot or line. Monitoring and evaluating the latest material structure with keeping in mind the *normal* structure of the currently produced material are even more information that is taken into account already for defect detection.

After defect detection, the even more important classification is done since acquiring a lot of images and finding suspicious regions alone is not enough. It is crucial for both the inspector and the inspection system to understand what is actually being seen and then to classify this correctly. This is ultimately the basic prerequisite for determining the root causes of defects and taking countermeasures accordingly.

There are various approaches from the field of machine learning and artificial intelligence to mimic human perception. One option is to use decision trees, which are created autonomously by the system. Multiple decision trees with subsequent weighting of the results for a condensed, final result provide even better classification accuracy and sureness. The basis for the decision tree creation of the trees is a set of predefined features, with the help of which each detected defect is described in the form of a multidimensional vector. Similarities between individual defect appearances as well as the limits between different defect classes will be automatically determined by the system. In this approach of classic Machine Learning the machine learns simply by providing example defect images.

Another approach is Deep Learning based on neural networks. Basically, Deep Learning is not new, but nowadays the required computer power is available and affordable. When using PEARL (Perceptual Artificial Learning), the heart or rather the brain of IVAI-Technologies, unlike in the approach described above, the features describing each defect are also learned autonomously by the system and afterwards used for sorting the defect images into the correct classes. In this way, it can adapt even more individually to the production line and the materials produced. Similar to an experienced inspector, it develops a *feeling* for the finest differences between certain defect classes, which can neither be expressed in words nor in mathematically definable features. Instant classifiers like a pre-trained neural network or a feature collection for decision tree generation accelerate the system's operational capability. Combining several classification methods (decision trees, neural networks, support vector machines etc.) offers further possibilities to increase the overall classification performance (Figure 2). Combinations can be implemented in parallel via voting of the individual classifier results or hierarchically having benefits in case of certain misclassifications between two specific defect classes, for example. Last but not least, context classification using additionally the data of surrounding defects can be helpful for assigning a defect to a certain defect class correctly.

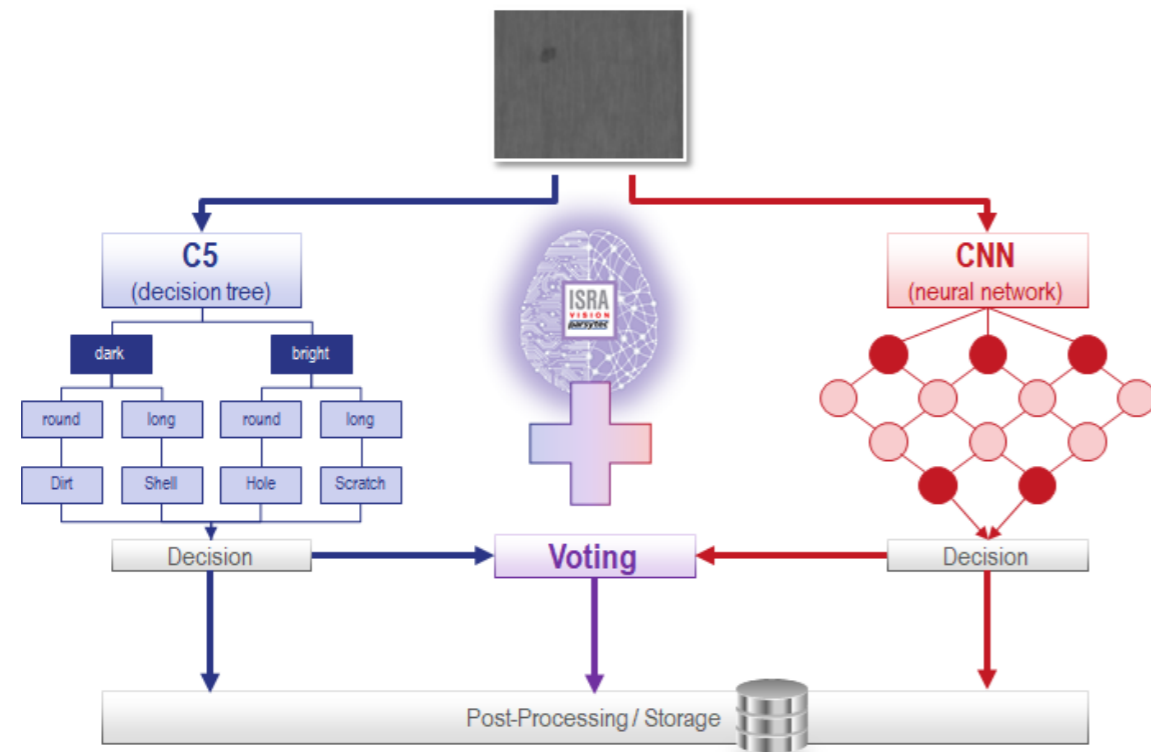


Figure 2: Combining classification methods to increase the overall classification performance.

MONITORING OF THE INSPECTION SYSTEM

Since surface inspection results are one important base of the quality decisions as well of process optimizations, it is necessary to make sure that the surface inspection systems (SIS) are in a good

condition and producing reliable inspection results. Therefore, each ISRA Parsytec SIS can be equipped with Condition Monitoring. It monitors all relevant aspects like hardware, detection, classification, and defect trends. In addition, it can also monitor the resulting product quality, evaluated by automatic or assisted quality decision, e.g. by using the EXPERT^{Si} CoilRelease. As a result, Condition Monitoring covers the inspection system itself, the inspection results, and the quality produced.



Figure 3: Condition Monitoring from everywhere with any web-capable device

Considering the condition of the inspection systems will also secure the reliability of the (automatic) quality decision. The Condition Monitoring calculates a Key Performance Indicator (KPI) for each measured item coil, characterizing the overall performance of the SIS. If the performance is too low, the decision module can indicate that a recheck of the reached quality is necessary.

All aspects of the Condition Monitoring can lead to an alarm. This can be highlighting of this aspect in the user interface or sending an email to the responsible person. This allows immediate action and fastest reaction on any deviation in inspection system performance or produced quality. It also creates the opportunity to drive the system remotely. This can be done by a central team, responsible for several inspection systems on different sites, or - for system performance - even by ISRA Parsytec. Service contracts start from periodical system checks, can include regular system tuning, and end with the "we drive your system" carefree service. In the latest case the customer benefits from the large worldwide experience covering hundreds of installations. The system tuning itself will be done on most performant machines, using the latest technology. Since the data collected by the Condition Monitoring is available long term, you can compare it to the diagnosis plug in your car. After connecting, the history of the inspection system performance is available for a quick and applicable diagnosis.

SIMULATE THE FUTURE. SAVE PROCESSING COSTS. MANAGE CO₂ FOOTPRINT.

Empowered with color camera technology, one camera bank enables multiple channels. ISRA Parsytec has taken the challenge here and developed a completely new multi-view inspection system powered by IVAI-Technologies to break the limits for trustful and reliable classification. Beside the self-teaching and self-learning PEARL classifier the new inspection system will be equipped with an automated condition monitoring system which enables a self-monitoring system giving an alarm in case of a necessary human intervention. At each mm of production, the system delivers reliable data based on the sureness of the inspection results. This is the basis for a reliable performance increase of the entire line. Furthermore, the system can be easily connected to the CloudExperience where the

hidden computing power is located up to a fully automatically controlled system – we drive your system service.

Producers are continuously informed on current machinery status via live surveillance in one central database and gain the ability to react immediately on upcoming problems – a precondition for reliable predictive maintenance and economic quality decisions.

Güvenlik Kültürünün Geliştirilmesinde “Amirimden ®” Çalışan Sağlık ve Güvenliği Eğitimleri

“Amirimden ®” Employee Health and Safety Trainings in Developing the Safety Culture

Müzeyyen GENCER¹, Elif SUNGUR²

¹GLC Eğitim, ²Maltepe Üniversitesi
Türkiye

çerçeve kullanılmış, eğitici eğitimini tamamlayan amirlerin aktif rol aldığı ve 506 çalışana ulaşılan “Amirimden® Tehlike Bilinci Eğitimleri” gerçekleştirilmiştir. Çalışmalar sırasında eğitici saha amirlerinin Kaptan Demir Çelik'te sağlık ve güvenlikte değişimi başlatan güçlü rol modeller olarak tasarlanan role girdikleri gözlenmiştir. Bu model ile kazandırılan eğitici saha amiri kimliklerinin Kaptan Demir Çelik sahasındaki güvenli çalışma iklimine katkıları olduğu gözlenmiştir.

1. Giriş

İşletmede sürdürülen etkili liderlik ve tepeden tırnağa yüksek katılımcılık, Nisan 2018'de Uluslararası Standart Kurumu (ISO) tarafından yayımlanan ISO 45001 “İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemi”nde daha önceki standartlardan farklı şekilde, öne çıkarılmakta ve vurgulanmaktadır. ISO 45001 standardı amacını “iş sağlığı ve güvenliği risk ve fırsatlarını yönetecek çerçeveyi sağlamaktır” olarak açıklar ve “örgütsel bağlam”dan söz ederek tüm çalışan sağlığı ve güvenliği (ÇSG) sonuçlarının işletme yönetimiyle ilgisini açıkça ortaya koyarken liderlik ve çalışan katılımını merkeze alır [1].

Bu iki unsurun dinamik bir ilişki içinde olmasının sağlanması, işletmelerde yerleştirilebilmesi / yaygınlaştırılması ve sürdürülebilir olması için; yönetim ve saha çalışanları arasında bağlantı sağlayan, kritik role sahip olan ilk kademe yöneticileri olarak vardiya amirleri ve formen gruplarının rolleri, güvenlik kültürü yazınında vurgulanmaktadır [2]. İlk kademe yöneticilerin çalışanlara örnek oluşturması, çalışanların güvenli davranışlarını desteklemesi, performansa odaklanmalarının sağlanması için, insan odaklı/ yönetilen (managed safety) güvenlik anlayışına uygun sağlık ve güvenlik nosyonları ile donatılmaları ve desteklenmeleri gereklidir.

2. “Çalışan İnsan”a Dair Özelliklerin Çalışan Sağlığı ve Güvenliği Eğitimlerindeki Yeri

Zohar [3] ilk güvenlik iklimi araştırmalarından biri olan çalışmasında örgütsel boyutlardan biri olarak ÇSG eğitimlerinin önemini ele almıştır. ÇSG eğitim çalışmaları önemli bir kurum içi iletişim fırsatı oluşturur. Bu eğitimlerin amaç ve hedefleri belirlenerek, eğitilenlere ve kuruma özgü farklılıklar dikkate alınarak yöntem ve malzemesinin geliştirilmesi gerekir. ÇSG eğitimleri uygulamaya dönük davranış değişikliği yaratmayı amaçlamalı, etkinliğinin ve işe yararlığının değerlendirilmesi sağlanarak planlı aktiviteler olarak düzenlenmelidir. Bu özelliklere sahip bir ÇSG eğitimi, güvenlik kültürün aktarılmasında ve dönüştürülmesinde önemli bir işlev kazanır [4]. İlk kademe yöneticiler olan formen, vardiya amirleri vb. sağlık ve güvenlik konularında genellikle “kurala bağlı güvenlik (rule based safety) anlayışının ürünü olan, ağırlıklı olarak mühendislik bakış açısıyla yapılandırılmış sağlık ve güvenlik eğitimlerinden yararlanabilmektedirler. Bu eğitimler çoğunlukla sınıflandırılmış tehlikeler, yasal mevzuat, işletmede uygulanan sağlık ve güvenlikle ilgili talimat ve prosedürlere ilişkindir, tehlike unsurlarıyla etkileşime girecek olan, kural ve yönergeleri uyması beklenen “insan” ve onun davranışsal özelliklerine bu tip eğitim programlarında pek de yer verilmemektedir. Bu eğitim programları teknik bilgiyi artırabilir ancak insan

Abstract

It is possible to talk about two main concepts as the basic rules for maintaining the working life in health, safety and well-being; these are effective leadership and high participation from the bottom up, sustained in the business environment. 40 shift supervisors, assistants and foremen who worked as field supervisors in the first stage of the studies initiated under the name of Positive Kaptan Employee Health and Safety Development Program in Kaptan Demir Çelik's businesses attended the "Employee Health and Safety Trainer Training" for two full days and received the title of "Trainer Field Supervisor". they have received. A framework using a behavior-oriented safety approach and safety culture literature was used in the program, and “Hazard Awareness Trainings from My Supervisor” were held, in which supervisors who completed the trainer training took an active role and reached 506 employees. During the studies, it was observed that the training field supervisors entered the role designed as strong role models that initiate the change in health and safety in Kaptan Demir Çelik. It has been observed that the trainer field supervisor identities gained with this model contribute to the safe working climate in the Kaptan Demir Çelik field.

Özet

Çalışma yaşamının sağlık, güvenlik ve esenlik içinde sürdürülebilmesinin temel kaideleri olarak iki ana kavramdan bahsetmek mümkündür; bunlar işletme ortamında sürdürülen etkili liderlik ve tepeden tırnağa yüksek katılımcılıktır. Kaptan Demir Çelik işletmelerinde Pozitif Kaptan Çalışan Sağlığı ve Güvenliği Gelişim Programı adıyla başlatılan çalışmalara ilk aşamada saha amiri olarak görev yapan 40 vardiya amiri, yardımcıları ve formenler iki tam gün süreli “Çalışan Sağlığı ve Güvenliği – ÇSG-Eğitici Eğitimi” ne katılmış ve “Eğitici Saha Amiri” ünvanı almışlardır. Programda davranış odaklı güvenlik yaklaşımı ve güvenlik kültürü yazınından yararlanan bir

yönetimi, örnek olucu liderlik, çalışan performansına odaklanma, geri bildirim verme vb. davranış bilimleri konularındaki bilgi ve becerileri içermediğinden bu konularda ilk kademe yöneticilerin donanımına katkı sağlamazlar.

Oysa işletmede yaşayan, günlük hayatın içinde harmanlandığı güvenlik kültürünün güçlendirilmesi, çalışan sağlığının ve esenliğinin geliştirilmesi, kazaların önlenmesi çalışanların sağlık ve güvenlikle ilgili sorumluluklarını içtenlikle benimsemelerine, gözetim altındayken ya da değilken, güvenli iş davranışları gerçekleştirmeleri halinde sağlanabilir. Kuşkusuz, güvenli ya da riskli, iş davranışları yönetim faktörlerinin, işletmeyi bir sistem olarak ele aldığımızda ortaya koyulabilen bir dizi karmaşık ve birbiriyle etkileşen parametrenin etkisi altında gerçekleşmektedir; teknolojik unsurlar, yapısal unsurlar, örgüt kültürü, liderlik ve yönetim biçimi gibi. Bu unsurlar arasında yer alan “çalışan insan”ı anlamaya ve yönetmeye yardımcı olabilecek konuların bilgi beceri ve davranış olarak tüm seviyelerde görev yapan yöneticilere kazandırılması, amaca yönelik hedefleri tanımlanmış, tutum değişimi yaratacak etkileşimli yöntemlerle katılımcılara sunulan, ilgili konularda sadece bilgi değil beceri de kazandırmayı garantileyen içerikte, işletmeye özgü düzenlenmiş, özgün eğitim programları yardımıyla gerçekleştirilebilir.

İlk kademe yöneticilerin eğitimi de bu kategoride ele alınmalıdır. Çalışanlarını “İnsan” olarak anlama, örnek olucu liderlik sergileyebilme, çalışanların performansına odaklanmaya odaklı, uygun eğitim programlarına dahil olmaları gereklidir. Böylelikle ilk amirlere yönetsel becerilerin geliştirilmesi ve çeşitli kimlikler kazandırmaya güçlendirmeleri sağlanabilir. Kazandıkları yeni kimlikler ve yetkinliklerle sahanın gözü-kulağı, ustası ve rol modeli olan amirlerin, çalışanlar üzerinde pozitif güvelik – esenlik kültürü oluşturulmasında süreçlere liderlik ederek hız, esneklik, katılımcılık oluşturmaları mümkündür.

Bu yaklaşımlarla metalürji sektöründe faaliyetlerini 60 yıldır sürdüren Kaptan grubuna özgü olarak hazırlanan ve uygulanan bir dizi eğitim programını tasarımından uygulamasına sahaya yansıyan sonuçları açısından bir örnek olay ve müdahale çalışması olarak incelemek sektöre değerli katkılar sunacaktır.

3. Güvenlik Liderliği ve Tepeden Tırnağa Katılım

Liderlerin işletmenin kültürü, performansı ve dayanıklılığı üzerinde derin bir etkisi vardır. Koivupalo ve arkadaşları [7] küresel bir çelik şirketine güvenlik yönetiminin tüm kazaları önlemeyi taahhüt ettiği, kurumsal güvenlik vizyonunun “Önce Güvenlik” teması etrafında tanıtıldığı ve hedefli tüm kazaların önenebilir olduğu bir güvenlik kültürü oluşturmak olduğunu belirttikleri çalışmada güvenlik sistemleri ve süreçlerine büyük önem verildiğini, çalışanların konuyu sahiplenmesi ve güvenlik liderliği, yönetim taahhüdünün sağlık ve güvenliğin iyileştirilme sürecinde önemli faktörler olarak görüldüğünü ortaya koymuşlardır. İşletmelerde çalışanlar için farklı seviyelerde liderler bulunmaktadır; ilk kademe amirler birlikte çalıştıkları liderlerdir. Orta kademe amirler ve üst yöneticiler de sağlıklı ve güvenli bir çalışma ortamını etkileyecek liderlerdir.

Güvenlik liderliği için lider ast etkileşimi kuramı açıklayıcı olabilir. (LMX-Leader-Member Exchange Theory) Kurama göre; her lider ekibiyle çalışandan çalışana değişen bir ilişki geliştirmekte, etkileşimin olumlu olduğu durumlarda güven, beğeni ve saygı artmaktadır [8], [9]. Güvenlik liderliğinde liderlik stili de oldukça önemlidir; verili hedef uğruna bürokratik, sistem evraklarına, rakamlara gömülmüş, güç mesafesi açılmış, iletişimi sınırlı, takımıyla mesafeli, yüzü gülmeyen, kimi zaman bildiği halde bilmezden gelebilen, işi insanlarla yaptığını ve insan yetiştirmeyi unutan liderlik tarzının terk edilerek; gözle görülür, sürekli pozitif, güven veren, destekleyici, motive edici yönetim tarzına sahip, güvenlik için açık bir vizyonu dile getiren, çalışanların motivasyonunu sağlayarak, örnek alınacak biçimde davranan, çalışanların refahını dert edinerek net hedefler koyan, standartları belirleyen, iletişim kurarak güvenlik sonuçları üzerinde olumlu bir etki yapabilen bir liderlik tarzı yararlı olacaktır. Eğitici eğitimi programında eğitici saha amirlerine ilgili içerik iletişim, geri bildirim, masa başında değil, üretim sahasında sürdürülen yöneticilik vb. konuları sunularak liderlikle ilgili bilgi ve becerileri artırılmıştır.

Tepeden tırnağa katılım, ancak liderlerin teşviki ve katılımı olanaklı hale getiren mekanizmaları çalıştırmaları halinde gerçekleşebilir. Üretim alanında çalışan sağlığı ve güvenliğinin öznesi olan saha çalışanlarının işin içine girmesi, sorumluluk alması, güvenliği çalışmasının doğal bir parçası olarak görmesi, ancak saha amirlerinin teşviki ve kolaylaştırıcılığı ile sağlanabilir.

Kaptan DÇ’te yürütülen eğitim programlarında eğitici kimliği kazandırılan saha amirlerine çalışanların performansına odaklanan, tehlikeleri ayırt etmelerini ve ortadan kaldırmalarını teşvik eden tutum ve davranışlar kazandırılmaya çalışılmıştır.

Bu çalışmaların en önemli yönü, çalışma sahasına özgü tehlike ve risklere odaklanırken teknik olarak tehlikelerin ne olduğundan ziyade "Neden güvenli biçimde yapılamıyor?" ve "Nasıl güvenli yapılabilir?" soruları olmuştur. Bu odaklanma yapılan eğitimlerin fark yaratan yönünü oluşturmuş, grup çalışmaları ve tüm katılımcı yöntemlerin yardımıyla eğitimlere katılan istisnasız her çalışan gerçekçi biçimde üretim sahasındaki tehlikeler, bunlarla ilişkili riskli uygulamalar hakkında açıkça konuşma olanağı bulmuşlardır. Bu konuşma ve çalışmalar, eğitime katılanların genel olarak eğitimden memnuniyetleriyle birlikte değerlendirildiğinde üretim sahasındaki tehlikelere karşı duyarlılıkların arttığı söylenebilir.

4. Kaptan Demir Çelik’e Özgü Eğitim Programının Tasarımı ve Uygulama Basamakları

“Pozitif Kaptan Çalışan Sağlığı Ve Güvenliği Gelişim Programı”na ilk aşamada saha amiri olarak görev yapan 40 vardiya amiri, yardımcıları ve formenlerden oluşan ekip iki tam gün süreli “Çalışan Sağlığı ve Güvenliği Eğitici Eğitimi” ne katılmıştır. Saha amirlerinin eğitici becerilerinin kazandırıldığı eğitim programının ardından, Kaptan Demir Çelik’e özgü uygulama sahasında tehlikelerin azaltılması amacıyla kurgulanan bir tam günlük Tehlike Bilinci eğitimlerini tüm çalışanlara yaygınlaştırmaları hedeflenmiştir. Bu eğitim programını tamamlayan ilk kademe yöneticilere “Eğitici Amir” ünvanı verilmiştir. Bu programı 506 saha çalışanına ulaşılan “Amirlerden®

Tehlike Bilinci Eğitimleri” izlemiştir. Eğitici eğitimine katılmak üzere seçilen 40 saha amiri, Kaptan Demir Çelik’te kanaat lideri konumunda bulunan, iletişim becerileri bakımından öne çıkan, kıdemli personel arasından seçilmiştir. İki günlük programı tamamlayan saha amirleri “Eğitici Saha Amiri” ünvanını almışlar, eğiticilik becerilerini projeyi tasarlayan uzmanlar eşliğinde pekiştirebilmeleri için prototip olarak hazırlanan ve formen, formen yardımcısı 211 kişiye 10 grup halinde sunulan “Tehlike Bilinci” eğitimlerine yardımcı eğitimci olarak katılarak sınıf yönetimi deneyimi kazanmışlardır. Ardından, eğitici saha amirleri ile ikili eğitim takımları oluşturularak toplam 506 Kaptan personelinin “Tehlike

Bilinci Eğitim” lerini bu kez uzman eğitimcilerin gözetiminde aynı anda 5 sınıf açılarak eğitici saha amirlerinin gerçekleştirmeleri sağlanmıştır. Bu çalışmalar, uzman eğitimciler tarafından izlenerek eğitici Amirlere mentorluk yapılmış, çalışma gününü sonunda tüm eğitim takımları ve mentorlar bir araya gelerek eğitim uygulamasını değerlendirmişlerdir. Proje, işletmede 2 ay gibi kısa bir süre de 776 çalışana ulaşmıştır.

4.1 Çalışan Sağlığı & Güvenliği

Eğitici Eğitimi Programı

Yönetsel eğitim müdahaleleri, iş güvenliği üzerinde olumlu bir etkiye sahip olabilir ve yöneticilerin, emniyet için elverişli liderlik becerileri geliştirmelerine olanak veren etkili bir araç olabilir [5]. Kaptan’da yürütülen uygulamada saha amirleri, iki günlük eğitim programının yetişkin eğitimi ilkeleriyle uyumlu tasarlanan programında tanışma, beklentilerinin alınması, programın amaç ve öğrenim hedeflerinin açıklanması ve grubun konuya ilişkin bilgi seviyesinin ölçülmesini amaçlayan grup performans değerlendirmesinin ardından “ON NUMARA Vardiya Amiri / Formen / Usta kimdir? Neler yapar? Nasıl yapar? Nasıl bir etki yaratır?” sorusuyla beyin fırtınası oluşturmaya davet edilmiştir. Saha amirlerinin önce Kaptan D.Ç’deki meslektaşları ardından kendi görev/sorumlulukları açısından bir değerlendirme yapmaları, 1-10 arasındaki puanlama cetvelinde puan vermelerini istenmiştir. Bu uygulama eğitim modelinin ana aksını oluşturmuştur. Beyin fırtınası ile amirlerin neyi geliştirmeleri, çalışan sağlığı ve güvenliğini odağa alarak işe nereden başlanmasının gerektiği belirlenmiştir. Yetişkinin öğrenmesi, olumlu eğitim ortamı yaratmak, eğitimin yapılandırılması, etkileşimli öğrenme yöntemleri [6] ve sahadan güncel unsurlara ait fotoğraflarla tehlike analizi metoduyla çalışılmıştır.



Şekil 2: Eğitici Eğitiminden; Katılımcı Sunumu



Şekil 1: Eğitici Eğitiminden; Gösterim Metodunun Deneyimlenmesi

Uygulamalar ve zengin eğitim materyali ile saha amirlerinin eğiticiliğe ilişkin becerileri kazanması desteklenmiştir. İkinci gün tehlike, risk kavramları, tehlike kaynakları, sahaya özgü tehlike analizleri grup çalışmalarıyla ele alınmış, riskli davranışın dinamikleri, saha risklerine karşı körleşme, değişim ve direnç, örnek olucu liderlik konuları sunulmuştur. Son olarak saha amirleri gruplara ayrılarak kişisel koruyucu donanımlardan kulak tıkacı, toz maskesi, yüksekte çalışmada kemer kullanımı, baret, sıcak çalışmada eldiven kullanımı vb. konularında eğitim oturumu hazırlayarak “gösterim” yapmışlardır.

4.2 Amirinden Tehlike Bilinci Eğitim Programı

Eğitici Eğitimi Programını tamamlayan ve uzman eğitimcilerin çalışanlarla yürüttüğü Tehlike Bilinci Eğitim programına gözlemci olarak katılan ve deneyimlerini pekiştiren “Amirler” eğitici rolüne büründükleri ve ilk defa sorumluluk olarak bir tam gün boyunca uygulamasını 15 ila 20 kişilik gruplarla sürdürdükleri “Amirinden Tehlike Bilinci” eğitimi deneyiminden önemli bir dönüşüm fırsatı yakalamışlardır.

Eğitici rolüyle tehlike ve risklerle nasıl baş edileceğine ilişkin doğru yol ve yöntemleri, işin güvenli yapılmasının önemini artık "dışarıdan" kişiler değil, bizzat kendileri söylemiş, eğitim uygulamalarında bu konuları derinlemesine irdelemiş oldukları için bu yaşantı ÇSG konusuna yönelik farkındalıklarını ve rol model olma sorumluluklarını onlara unutulmaz biçimde deneyimletmiştir.

İkişer kişilik takımlar halinde Amirinden Tehlike Bilinci eğitimlerini gerçekleştiren eğitici saha amirleri, eğitimlerin standartlarını gözetmek amacıyla çalışmaları izleyen uzman eğitimcilerle gün sonunda toplu halde değerlendirmeler yapmış, beş sınıfta aynı anda sürdürülen eğitimlerin standardizasyonu hakkında, kendi deneyimleri hakkında sözlü değerlendirmelerde bulunmuşlardır. Yönettikleri eğitimin olumlu, iyi giden, korunması gereken yönleriyle, geliştirilmesi gereken yönlerini, izlenimlerini ortaya koymuş, heyecanlarını meslektaşlarıyla paylaşmışlardır. Bu değerlendirmelerden bir örnek, Tablo 1’de sunulmaktadır.

Buna göre, katılımın sağlandığı, amirlerin eğitim yapmasının olumlu karşılandığı, pek çok ÇSG ile ilgili konuda odaklanılarak, işyerinden uzakta bir mekanda konuşulabildiği, amirlerin eğitimci rolü altında daha fazla ÇSG sorumluluğu hissettiği vb. konular eğitimin olumlu değerlendirmeleri olarak öne çıkmıştır.

Zaman planına uygun olmayan şekilde sürenin uzun gelmesi, eğitim konusu dışında farklı işyeri konularında konuşmaların toparlanarak tekrar eğitim konusuna dönülmesi gerektiği, salonda bulunan kalem sayısının eksik kaldığı vb. gibi unsurlar ise eğitimlerin geliştirilmesi gereken yönleri olarak ortaya çıkmıştır.

Tablo 1: Amirimden Tehlike Bilinci Eğitimi Gün Sonu Değerlendirmelerinden Örnekler Tablosu

OLUMLU, YOLUNDA GİDEN YÖNLERİ	EĞİTİMİNİ OLUMSUZ, GELİŞTİRİLMESİ GEREKEN YÖNLERİ
<ul style="list-style-type: none"> Katılım yüksek, olumlu dönüş oldu. Birçok şeye dikkat çekebildik Fabrikanın dışında, eğitim kurumunda yapılması, direkt ustalarından eğitimin alınması çok iyi oldu. Ustalarımızı her zaman göremiyoruz burada yapılandırılmış, odaklı bir çalışma oldu, operatör iş dışında ÇSG merkezli konuşulması faydalı oldu. Katılımı sağladıkça sorumluluk oluşuyor. Baştan çekinme oldu, on numara bölümünde özellikle ama sonra katılım çok iyiydi. 	<ul style="list-style-type: none"> Zaman uzun gibi oldu. Hemen sonuca ulaşmak istemelerini yönettik ama toparlamak gerekti. Her soruya cevap verme zorunluluğu yok. Fakat her söyleneni tahta kağıda görünür yazmak asmak gerek. Kalem sayısı atırılmalı Tahta kağıdına herşeyi görünür yazın, post-it az kullanın. Aynı zamanda konuşma yada kendi aralarında konuşmalarını kontrol etmek üzere; yanına gitme ama uyarmama, sessiz kalma gerek. Sınıflar en fazla 15 kişiyi alsın, fazlası diğer sınıflara yönlendirilsin. Sonradan gelen katılımcılar sınıflara sonrasında eşit yönlendirilsin.

Eğitimlerin tamamlanmasından yaklaşık 3 ay sonra, değerlendirme amacı da taşıyan odak grup görüşmelerinde özellikle amirlerin verdiği eğitimlerle birlikte, çalışanlar güvensiz iş taleplerinin azalacağını, eğitimlerin işe yaradığını değerlendiriş, eğitimleri veren amirler ise sahalarda riskli davranışların daha az görüldüğünü belirtmişlerdir.

5. Sonuçlar ve Tartışma

Otoritenin emri altındayken işi güvenli yapmak yetmez, çalışanların benimseyerek, bütüncül bir güvenlik kültürünü yaşaması sağlanmalıdır. Bu arayış, kural odaklı güvenlik (rule based safety) insan ya da davranış odaklı güvenliğe (managed safety) doğru bir eğilim yaratmıştır. Bu gereksinim ve anlayış çerçevesinde Kaptan DÇ’te başarıyla sürdürülen ÇSG çalışmalarının temellerini yeni yaklaşımlarla sağlamlaştıracak şekilde, birlikte yapılan, göstermelik olmayan, sahici bir eğitim yaklaşımı deneysel düzeyde tasarlanarak uygulanmış, Pozitif Kaptan Çalışan Sağlığı Ve Güvenliği Gelişim Programı adıyla uzmanlar tarafından Kaptan Demir Çelik’e özgü bir seferberlik olarak yürütülmüştür.

Uygulama sahasında tehlikelerin azaltılması nihai amacına yönelen tam günlük Tehlike Bilinci eğitimleri hazırlanmış ve

eğitimlerin sahada yaygınlaştırılması, ÇSG Eğitici Eğitimi becerilerinin kazandırıldığı 40 saha amiri tarafından 506 saha çalışanına ulaştırılmış, eğitimin saha amirleri tarafından verilmesi nedeniyle programın adı “Amirimden® Tehlike Bilinci Eğitimleri” olarak belirlenmiştir.

Uygulanan bu modelde demir çelik endüstrisinde çalışan saha amirlerinin güvenliğinin sağlanmasında oynadıkları kritik rol bir ön kabul olarak alınmıştır. Güvenlik liderliği ve çalışan katılımının öne çıkarıldığı Kaptan Demir Çelik üretim işletmelerinde başlatılan “Amirimden®” çalışan sağlığı ve güvenliği eğitimleri sahada çalışanların yüksek düzeyde kabulü ve beğenisiyle karşılaşmıştır.

Yetiştirilen Saha Amirlerine Yetişkin Eğitimi İlkelerinin beceri odaklı sunulduğu eğitici eğitimi programlarıyla “Eğitimci Saha Amiri” ünvanı kazanmaları sağlanmıştır. Saha amirlerinin eğitimci kimliğini kabul edip benimsedikleri, sahadaki rollerini zenginleştiren, kendi riskli davranışlarının farkına vararak öz denetim sağlamalarına ve riskli davranışlardan kaçınarak hem tehlikelerin kontrolüne hem de örnek davranışlarıyla çalışanlara ilham vermelerine yol açan bir etki ortaya çıkması amaçlanarak çalışılan “Amirimden” yaklaşımı, çalışanlardan sahada iş isterken güvenliği bir ön şart olarak daima iş sürecinin içinde tutmalarını sağlayan, destekleyen, rol model olan iş yapma biçimlerini sahaya aktarmaları daha kolay ve etkilidir.

Eğitimci Saha Amirleri sorumlu oldukları bölümlerin iç eğitim gereksinimlerine bağlı olarak profesyonel eğitimcilerle birlikte yapılandırılan çeşitli ÇSG eğitimlerini çalışanlara ulaştırmak, geri bildirimleri almak, katılımı sağlamak ve güvenlik-esenlik konularının içselleştirilmesi konusunda etkin rol almaktadırlar. Cooper [10] güvenlik kültürü iyileştirme çabalarının büyük oranda güvenlikle ilgili yönetsel davranışlara yoğunlaşması gerektiğini belirtmektedir. “Amirimden” yaklaşımıyla saha amirleri liderlik sitili bakımından; verili hedef uğruna bürokratik, sistem evraklarına, rakamlara gömülmüş, sahada pek görülmemeyen, güven/inancın kaybolduğu, güç mesafesi açılmış, iletişimi sınırlı, takımıyla mesafeli, yüzü gülmeyen, kimi zaman bildiği halde bilmezden gelebilen, işi insanlarla yaptığını ve insan yetiştirmeyi unutan liderlik tarzının terk edilmesi gerektiğini öğrenip sahada eğitici kimlikleriyle liderlik kimliklerini destekleyerek; gözle görülür, sürekli pozitif, güven veren, destekleyici, motive edici yönetim tarzına sahip, güvenlik için açık bir vizyonu dile getiren, çalışanların motivasyonunu sağlayarak, örnek alınacak biçimde davranan, çalışanların refahını dert edinerek net hedefler koyan, standartları belirleyen, iletişim kurarak güvenlik sonuçları üzerinde olumlu bir etki yapabilen liderler olarak başarılı çalışmalarını sürdürmektedirler.

Teşekkür

Amirimden® çalışan sağlığı ve güvenliği eğitim yaklaşımının tasarlanmasından uygulanmasına, halen devam eden süreç boyunca güvenlik kültürü açısından en önemli boyutlardan biri olarak tarif edilen “yönetimin taahhüdünü” her fırsatta görünür kıldıkları ve çalışmayı bilimsel araştırma yaklaşımıyla yürütmemizi tam anlamıyla destekledikleri için başta Sayın Arzu Efe olmak üzere tüm Kaptan Demir Çelik yöneticilerine teşekkür ederiz.

Referanslar

- [1] 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.
- [2] INSAG Report 20, “Stakeholder Involvement in Nuclear Issues, Nuclear Regulatory Commission”, 2006.
- [3] Zohar, D. (1980). Safety Climate İn Industrial Organizations: Theoretical And Applied Implications. Journal of Applied Psychology, 96-102.
- [4] Sungur, E., (2020). Çalışan Sağlığı ve Güvenliği Kültürünün Sürdürülebilirliği: Davranış Odaklı Yaklaşımın Rolü, Maltepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, yayınlanmamış doktora tezi.
- [5] Lekka, C. H. (2012). A review of the literature on effective leadership behaviours for safety. Derbyshire: Health and Safety Executive.
- [6] Sungur, E., Vatansver, Ç., Tiryaki, A.R., (2009). İş Sağlığı ve Güvenliği Eğitimi: Etkili Eğitim Tasarımı Ve Eğitim Etkinliğini Değerlendirme, Mühendis ve Makine Dergisi, sayı 592, s:10-22.
- [7] Koivupalo, M., Sulasalmi, S., Rodrigo, P., Väyriinen, S., (2015) “Health and safety management in a changing organisation: case study global steel company”, Safety Science, 74: 128–139.
- [8] Hughes, Ginnet, Curphy (2009). Leadership, Enhancing the Lessons of Experience, Boston, McGrawHill
- [9] Yukl (2010).
- [10] Cooper, D. (2016). Navigating the Safety Culture Construct : A Review of the Evidence.

Phase 1 of Plate Mill Upgrade at JSW Steel Texas Is Completed

JSW Steel Texas Plate Mill Güncellenmesinin 1. Fazı Tamamlandı

Matteo Remy BULFONE

Danieli & C. Officine Meccaniche S.P.A.
Italy

Keywords: Phase 1 modernization, plate quality, plate leveling, plate descaling

INTRODUCTION

Modernization of dated plate mills are key investments for established producers located in north America to keep up with both a pressing market requiring high value-added products and a strong competition from emerging countries. JSW Steel USA and Danieli completed Phase 1 upgrade of the 163-in. wide plate mill located in Baytown, TX. New L2 automation, new descaler, hot leveler, trimmer and dividing shear have been installed, targeting a product mix extension focused on pipe and offshore construction grades, together with a general optimization of the production process.

DISCUSSION

About JSW Steel, Baytown, USA

With one of the widest mills in North America, the JSW plate division mill rolls hot plate widths up to 156 in. (3,962 mm) and thicknesses up to 6 in. (152.4 mm). The pipe mill adjacent to the plate mill rolls DSAW (Double Submerged Arc Weld) pipe to order, with outside diameters up to 48 in. (1,209 mm) and wall thickness up to 1.250 in. (31.8 mm). JSW USA's products serve oil-and-gas installations, construction, building ships and other marine vessels, storage tanks, transportation, offshore platforms, machinery and heavy equipment, general fabrication, renewable energy, utility transmission, and distribution towers. The company has easy access for transportation to global markets. The mill is strategically located in Baytown, just outside of Houston, Texas. In proximity to the Port of Houston, JSW Steel USA owns and operates its own barge dock. Trucks and rail transport right through the facility.

JSW USA is part of the diversified US \$22 billion JSW Group. As affiliates of JSW Group, with more than 18 million tons of installed capacity worldwide, JSW Steel USA benefits from having access to team members with world-class expertise and product knowledge [1].

JSW Steel USA—Baytown—163" plate mill full-scale modernization project

The 163 in. (4,140 mm) plate mill has been operating for several decades based on its original design and configuration at JSW Steel USA's operation in Baytown. A full-scale modernization project is in progress at the site, with supplies from Danieli Corporation Inc., to convert the existing plate mill into an efficient and competitive production unit in North America. Modernization goals are:

- > Rework rate reduction
- > Yield losses reduction
- > Mill utilization rate improvement
- > Increase volume of added value products
- > Steel metallurgical improvements in terms of mechanical properties values and consistency with optimized alloy contents
- > Wider, Thinner, Longer and Tougher products in the mix
- > Plate geometry improvements (thickness control, flatness, shape) for pipe sector

As part of the manufacturing upgrade, all areas of the facility have undergone extensive modernization, including descaling, rolling, cooling, hot and cold levelling, and shearing.

In order to properly distribute efforts in terms of both material preparation and site preparation the project has been divided in two phases.

Phase one is presented in this paper, and focuses on plate geometry and surface quality, with the installation of a new descaler box, a new hot leveler, a new trimming shear, and a new dividing shear (Figure 0A/0B – yellow color).

Phase two, in progress and expected to be completed in 2023, is focused on the product mix extension with the removal of the old 2-Hi roughing mill, the installation of a new powerful 9,000 shton (80,000KN) 4-Hi Finishing Mill (in place of the old one), a new set of disk-type cooling beds (replacing the old do chain), of a new pre-leveler with quenching module and accelerate cooling, as well as a new cold leveler (Figure 0A/0B – blue color).

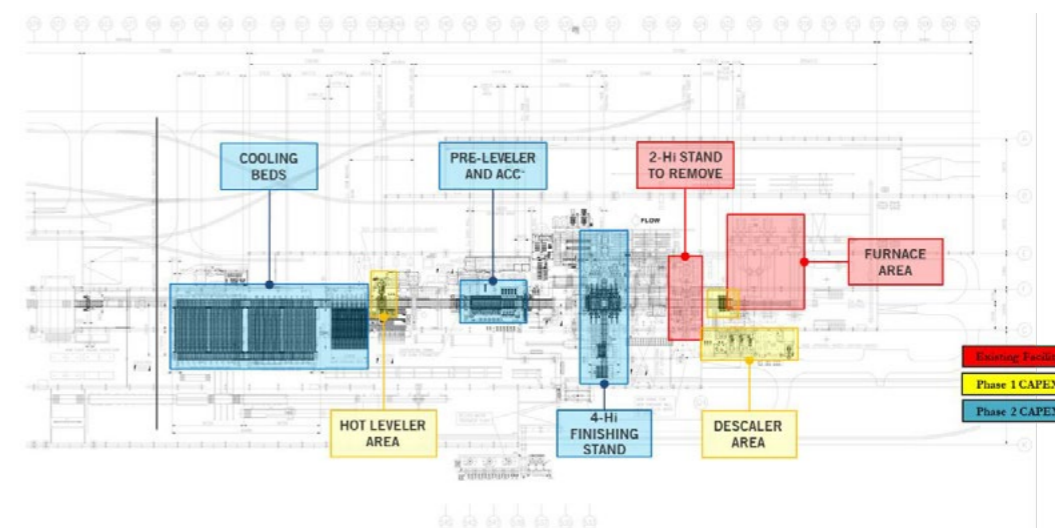


Figure 0A: JSW Steel USA – Baytown Layout – Hot rolling area

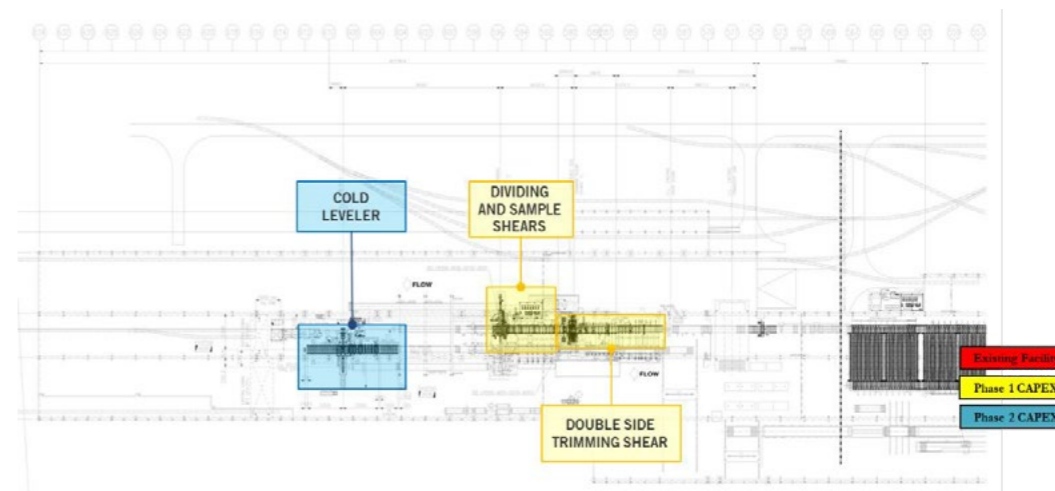


Figure 0B: JSW Steel USA – Baytown Layout – Plate finishing line

Modernization Phase 1 description and achievements

The first phase of the modernization project was completed earlier in 2022 with the goal to improve plates' surface quality, flatness, and final geometry.

A new primary descaler system, including the pump station, has helped elevate the rolled products' surface quality. The pump station is already powered for feeding the onboard entry and exit descaling headers of the new 4-Hi rolling mill that will be installed during phase two of this project.

A set of plates has been tested, including A36/A572-65, A516, X70, TC-128 grades. The material, after visual inspection, has been found free from primary scale and acceptable according to ASTM A20 and A6 standard table requirements.

A completely new and modern hot leveler has been installed downstream. This hot leveler belongs to the latest generation of fully hydraulic machines with a separating force of 40,000 kN. It is capable of processing plates with thicknesses ranging from 0.25 in. (6.35mm) to 6 in. (152.4 mm), and up to 160 in. (4,064 mm) width. A performance level of up to one-quarter ASTM standard has been achieved. (Table 2).

Category	Steel grade	Thickness inches (mm)	Width inches (mm)	No. of leveling passes used	% of plates	Max. No. of leveling passes	% of plates
1	ASTM-A572-50	0.25 (6.35)	96.0 (2438.4)	2	100%	Max 3 passes	0%
2	SA612	0.36 (9.22)	115.5 (2933.7)	1	100%	Max 2 passes	0%
3	X70	0.63 (15.88)	110.4 (2804.9)	1	100%	Max 2 passes	0%
4	ASTM-A572-60	1.00 (25.40)	120.0 (3048.0)	1	100%	Max 2 passes	0%
5	ASTM-A572-50	1.75 (44.45)	121.0 (3073.4)	1	100%	Max 2 passes	0%

Table 2 Number of levelling passes and percentage fulfilled for flatness guarantee.

The light-gauge shearing line no.1, rated for 0.75-in. (19-mm) plate thickness, has been replaced by a new one that features a rocking-type side trimming and dividing shear able to cut plates up to 2.0 in. (50.8 mm) thick, with 750 MPa tensile strength. One critical requirement for the side trimmer was the quality and precision of the cut. The rocking-type side trimmer operates the cut in steps of up to 1,300 mm and the machine must comply with overlapping of subsequent cuts (“a”) of maximum 0.4 mm. According to the achieved performances, the overlapping is always within 0.2 to 0.3 mm. (figure 1 and table 3)



Figure 1: Detail of the overlapping of two subsequent cuts of side trimming shear, showing a perfectly straight edge.



Plate ID (material grade)	Thickness (mm)	Side	Trimming shear overlapping cuts		
			Performance achieved (mm)	Tolerance (mm)	Result
1198852D (6: TC128)	9.8	East	0.3	0.4	OK
		West	0.27		OK
1198919B (5: X52)	26.11	East	0.3	0.4	OK
		West	0.3		OK
1198493B (2: A36_B)	38.85	East	0.3	0.4	OK
		West	0.3		OK
1198697B (1: A36_A)	32.77	East	0.2	0.4	OK
		West	0.2		OK

Table 3 Cut quality performance achieved by the trimming shear: overlapping of subsequent cuts (“a”) of max. 0.4mm

Another important quality parameter for both the side trimmer and divide shear is the sharpness with nearly zero burr on the bottom side of plate edge, with a max. tolerance of 0.07 mm. During all tests, the achieved values are in the range of half the tolerance for the side trimmer, and just 0.1 mm for the dividing shear (figure 4).

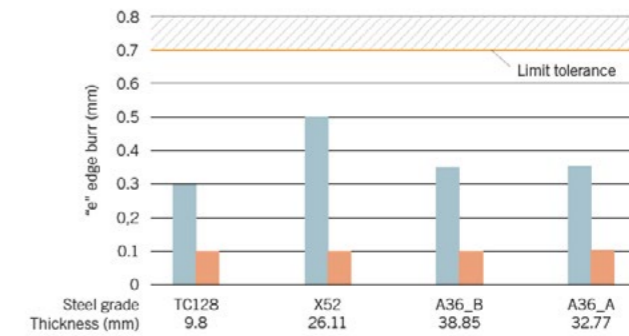
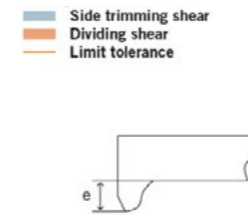


Figure 4: Plate edge burr tolerance (“e” = edge burr value)

In addition, an excellent width tolerance of 0 to 1.5 mm has been recorded, which is half of the contractual guarantee.

This has been possible by a new, L1 and L2 automation system supplied by Danieli Automation. The hot plate leveler is automatically controlled by an integrated process control system, featuring self-learning mathematical models for process setup, aiming to obtain the target flatness on the mother plate. The Level 2 automation of the new shearing line automatically sets up the side trimming shear, the cut-to-length dividing shear, and the sampling shear, based on the requirements for the final plates.



Geometrical quality is carefully monitored and recorded by a non-contact thickness, width and length gauge.

A high energy-efficiency approach is implemented at the new descaling station, using variable-speed drive technology for the high-pressure water pumps. The Danieli Automation variable-frequency MV Q-Drives control and continuously adjust the pumps’ motor power and speed to the load required by the process. Another benefit of this solution is the reduced maintenance requirements for the pumps, due to the reduction in speed and wear, and the reduction of pressure surges in the fluid system because of the continuous speed adjustment.

For all the new machinery, a strategy of off-line pre-assembling and in-line shifting via heavy lift-shift or hydraulic skidding was implemented, minimizing disruption to plant production. For the hot leveler, for instance, the complete machine was shifted in line in one piece during a plant outage, in just seven days, despite weighing more than 300 metric tons. [2]



While completing the commissioning of the phase one, Danieli has already designed, manufactured, and delivered all the equipment to site for phase two, which is planned to be installed in summer 2023.

Conclusions

Modernization of dated plate mills are key investments for established producers located in north America to keep up with a pressing market requiring high value-added products and a strong competition from emerging countries. JSW Steel USA and Danieli completed Phase 1 upgrade of the 163-in. wide plate mill located in Baytown, TX. A new descaler box, a new hot leveler, a new side trimmer and a new dividing shear has been installed as well as L1&L2 equipment and Danieli Automation frequency converters Q-Drives. During erection time off-line assembly and heavy lift strategies minimized production disruption and line downtime. Plate surface quality, plate flatness, burr, edge bending, edge squareness measured match and even overcome the contractual guarantees promised with a significant benefit compare the situation prior the upgrade. Modernization Phase 2 is in good progress and it's expected to be completed in 2023.

Tıg Kaynaklı SAF 2205 Paslanmaz Çelik Levhaların İyçapı ve Mekanik Özelliklerine Isı Girdisi Etkisi Effect of Heat Input on Microstructure and Mechanical Properties of TIG Welded SAF2205 Stainless Steel Plates

Muhammed M. ARSLAN, Gürel ÇAM

İskenderun Teknik Üniversitesi
Türkiye

Anahtar Kelimeler: SAF 2205, TIG, Dupleks Paslanmaz Çelik, Mikroyapı Oluşumu, Isı Girdisi, Kaynak Performansı
Keywords: SAF 2205, TIG, Duplex Stainless Steel, Microstructural Evolution, Heat Input, Weld Performance

Abstract

Duplex stainless steels are the type with the best corrosion resistance among all types of stainless steel. However, their cost is higher than other stainless steels. Therefore, it is more widely used in areas where the risk of corrosion is high. Therefore, the most common use of duplex stainless steels is in the petrochemical industry. In this sector, where chemicals with high abrasive power are used, duplex stainless steel is used for both the transport and storage of chemicals. Welding is an indispensable fabrication method in these applications. Therefore, there is a need for reliable welding procedures that will not adversely affect the mechanical properties and corrosion behavior of these steels in the weld zone.

In this study, the microstructural evolution and mechanical properties of the 3 mm thick SAF 2205 (AISI 318 LN) duplex stainless steel welded joints fabricated by the gas tungsten arc welding method using an ER2209 filler wire were investigated. The microstructures formed in the weld area were examined in detail with an optical microscope. The mechanical properties and welding performance values of the joints obtained were determined by tensile test and microhardness measurements. In addition, the effect of heat input on the microstructure and mechanical properties of welded joints was also investigated.

Özet

Dupleks paslanmaz çelikler tüm paslanmaz çelik türleri arasında en iyi korozyon direncine sahip olan türdür. Ancak, buna karşın maliyetleri diğer paslanmaz çeliklere nazaran daha yüksektir. Bu yüzden de korozyon riskinin yüksek olduğu alanlarda daha yaygın kullanılmaktadır. Dolayısıyla, dupleks paslanmaz çeliklerin en yaygın kullanıldığı alan petrokimya endüstrisidir. Aşındırma gücü yüksek kimyasalların kullanıldığı bu sektörde hem kimyasalların sevkiyatı hem de depolanması için dupleks paslanmaz çelikten yararlanılmaktadır. Kaynak, bu uygulamalarda vazgeçilmez bir imalat yöntemidir. Bu nedenle, bu çeliklerin kaynak bölgesinde mekanik özelliklerini ve korozyon

davranışını olumsuz etkilemeyecek güvenilir kaynak prosedürlerine ihtiyaç bulunmaktadır.

Bu çalışmada, ER2209 dolgu teli kullanılarak gaz tungsten ark kaynağı yapılmış 3 mm kalınlığında SAF 2205 (AISI 318LN) dupleks paslanmaz çelik kaynaklı bağlantıların kaynak bölgesinde iyçapıda meydana gelen değişimler ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Kaynak bölgesinde oluşan iyçapılar optik mikroskop ile detaylı olarak incelenmiştir. Elde edilen kaynaklı bağlantıların mekanik özellikleri ve kaynak performans değerleri çekme deneyi ve mikrosertlik ölçümleri belirlenmiştir. Ayrıca, kaynaklı bağlantıların iyçapı ve mekanik özelliklerine ısı girdisinin etkisi de incelenmiştir.

1. Giriş

Dupleks paslanmaz çelik levhalar genellikle son aşamada soğuk haddelenerek üretilmektedir. Dupleks paslanmaz çeliklerin mikro yapıdaki ferrit/östenit dengesi sayesinde bu malzemeler yüksek mekanik özellikler gösterirler [1-4]. Bu çeliklerin östenitik paslanmaz çeliklere nazaran en önemli üstünlükleri akma dayanımlarının iki kat kadar daha yüksek olmasıdır. Ayrıca bu çelikler östenitik paslanmaz çeliklerle karşılaştırıldığında daha üstün korozyon direncine (gerilmeli korozyon çatlaması ve oyuklanma korozyonuna karşı yüksek dirence) sahiptir [3,4]. Bu nedenle dupleks paslanmaz çelikler diğer paslanmaz çelikler gibi nükleer tesisler, petrol ve doğalgaz boru hatları (deniz altından geçen borular dahil), offshore platformları, kağıt endüstrisi, arındırma tesisleri, kimyasal tesisler ve denizcilik (gemi inşaatı) alanlarında yaygın olarak [5-18]. Bu uygulamaların çoğunda dupleks paslanmaz çeliklerin kaynağı kaçınılmazdır.

Dupleks paslanmaz çeliklerin kaynak kabiliyeti genellikle ferritik paslanmaz çeliklerden daha iyi, fakat östenitik paslanmaz çeliklerden daha kötüdür. Bu alaşımların kaynak dikişleri çoğu uygulamada herhangi bir ısıl işleme tabi tutulmadan dahi istenen düzeyde mekanik mukavemet ve korozyon direnci sağlarlar. Kaynak dikişi katılaştığı anda tamamen ferrittir ancak, soğuma sırasında ferritin bir kısmı

östenite dönüşür ve kaynak dikişi de dubleks olur. Isıdan etkilenen bölgede yeterli östenit oluşumu sağlayabilmek için çok hızlı soğumadan kaçınılmalıdır. Kaynak işleminde var olan yoğun ısı girdisi ve arkasından hızlı soğuma, kaynak dikişinin özelliklerini olumsuz etkileyen mikroyapısal değişikliklere ve/veya çökelmelere neden olabilir. Soğuma hızını etkileyen önemli faktörler; ısı girdisi, kaynak prosedüründe belirtilen minimum ve maksimum kaynak parametreleri, ön tav ve pasolar arası sıcaklıklardır. Normal bir kaynak uygulamasında sigma (σ) faz oluşum sıcaklıkları hızlı geçildiğinden 475°C kırılma eğiliminin oluşması da zordur.

Kaynak işleminde malzemenin maruz kaldığı ısı kaynak metalinin ve ısıdan etkilenen bölgenin içerdikleri ferrit ve östenit oranını değiştirebilir. Bu oranların değişmesi malzemenin mekanik özelliklerinin ve korozyon direncinin değişmesine neden olur. Dolayısıyla, kaynak yöntemi, kaynak prosedürü, ve ilave tel bu oranı dengeleyecek şekilde ve nitürler, karbürler ve intermetalikler gibi zararlı fazların oluşumunu önleyecek şekilde seçilmeli ve uygulanmalıdır [19]. Örneğin; yüksek sıcaklıklara çıkan ergime bölgesine komşu ısıdan etkilenen bölgede (IEB) östenitin kolay oluşumunu sağlayabilmek için ana malzemeye azot (N) ilave edilir. Kaynak metalinde gerekli sünekliği ve tokluğu sağlayan östeniti arttırabilmek için ise ilave tellere ana metalin nikel (Ni) içeriğinden % 2-3 oranında daha fazla nikel eklenir [20]. Dubleks paslanmaz çeliklerin kaynağında ve bu çeliklerin östenitik paslanmaz çeliklerle ve karbonlu veya düşük alaşımlı çeliklerle kaynağında ER2209 gibi dubleks paslanmaz çelik ilave tel kullanımı tercih edilir. Bazı uygulamalarda 309L ve 309LMO gibi östenitik paslanmaz çelik ilave teller önerilebilir ancak, bunlar yüksek sıcaklığa maruz kalan ısıdan etkilenen bölgede N azalmasına ve ferritik yapının artmasına yol açar [21]. Yapı çeliklerinde ve diğer paslanmaz çeliklerde olduğu gibi [7-17], dubleks paslanmaz çeliklerin birleştirme işlemlerinde de en çok kullanılan kaynak yöntemleri örtülü metal (elektrod) ark kaynağı (ÖMAK), gaz metal ark kaynağı (GMAK), gaz tungsten ark kaynağı (GTAK), tozaltı ark kaynağı (TAK) ve özlü tel ark kaynağı (ÖTAK) yöntemleridir. Bu yüksek ark enerjili yöntemleri, bu yöntemlerdeki daha düşük soğuma hızları nedeniyle kaynak dikişinde daha fazla östenit oluşumuna yol açarlar [22,23]. Diğer taraftan bu çeliklerin kaynağında yüksek enerji yoğunluklu dolayısıyla daha düşük ısı girdili plazma ark kaynağı (PAK), lazer kaynağı (LK) ve elektron kaynağı (EK) yöntemleri de kullanılmaktadır [24-27]. Ancak, bu yöntemlerde daha yüksek soğuma hızları sonucu daha düşük miktarlarda östenit çökmesi söz konusudur [28,29]. Ayrıca, son yıllarda iki katlı çelikleri, uygun ilave tel ve kaynak parametreleri kullanılarak birleştirmek için, yeni ve ileri kaynak teknolojileri kullanımı konusunda da yoğun çalışmalar yürütülmüştür. Bunlar arasında, Al-alaşımını gibi düşük ergime dereceli metal ve alaşımlarını birleştirmek için geliştirilen sürtünme karıştırma kaynağı (SKK) [30-40], aktif flakslı gaz tungsten ark kaynağı (A-TIG) ve hibrit kaynak (hibrit plazma ark-GMAK, hibrit plazma ark-

GTAK, hibrit lazer-GMAK ve hibrit lazer-GTAK gibi) teknikleri gelmektedir [12,22,41-51].

Isı girdisi, dubleks paslanmaz çelik kaynaklı bağlantıların kaynak bölgesindeki mikroyapıda meydana gelen değişimleri (östenit-ferrit dengesini) önemli ölçüde etkiler. Genel olarak, bu çeliklerde uygun östenit ve ferrit oranları elde etmek ve zararlı fazları kontrol etmek için 0.5-2.0 kJ/mm arasında ısı girdisi önerilmektedir [52]. Nitekim, Hertzman [53] 0.3-2.0 kJ/mm arasında ısı girdisi kullanıldığında veya kaynak dikişinde ferrit miktarının %23-53 arasında olduğu durumlarda SAF 2205 dubleks paslanmaz çelik bağlantıların mukavemetinin önemli oranda değişmediğini bildirmiştir. Ayrıca, ısı girdisi dikiş formu ile kaynaklı bağlantının metalürjik, mekanik ve korozyon özellikleri üzerinde önemli etkiye de sahiptir [45]. Dolayısıyla, ısı girdisi ve kaynak yöntemine bağlı olarak değişen soğuma hızı da kaynak bölgesindeki tane boyutu ve faz oluşumu üzerinde önemli bir rol oynamaktadır [54]. Literatürden açıkça görüleceği üzere, düşük ısı girdisi ve hızlı soğuma zararlı Cr₂N ve CrN fazlarının oluşumuna yol açmaktadır, o yüzden kaçınılmalıdır.

Dubleks paslanmaz çelikleri kaynağı için en popüler kaynak yöntemlerinin başında GTAK yöntemi gelmektedir. Ancak bu yöntemin düşük verimliliği bu yöntemin yaygın kullanımını sınırlamaktadır [20,55,56]. Örneğin, Zhang ve ark [54] 14 mm kalınlığındaki UNS S31803 dubleks paslanmaz çelik levhaları saf argon ve %2 azot içerikli argon olmak üzere iki farklı koruma gazı kullanarak GTAK hem de özlü tel ark kaynağı (ÖTAK) ile birleştirmişler ve sonuçları mukayese etmişlerdir. GTAK yöntemi ile hem saf argon hem de azot katkılı argon koruma gazı kullanılarak elde edilen birleştirmelerin kaynak dikişinde ferrit fazı, tane sınırı östeniti ve Widmanstatten östenitinden oluşan bir içyapı oluşmuştur. Ancak, azot katkılı koruma gazı ile elde edilen kaynak dikişinde ferrit fazı çok daha az orandadır. Diğer taraftan özlü tel ark kaynağı ile üretilen birleştirmelerin kaynak dikişinde ferrit fazı, taneleri içeren östenit ve tane sınırı östeniti içeren bir içyapı oluşmuştur. Ayrıca kaynak dikişinde bu fazlara ilaveten inklüzyonlar da tespit edilmiştir. İlaveten, GTAK işleminde koruma gazının azot eklenmesinin tokluğu artırdığı ve özlü tel ile elde edilen bağlantıların hem IEB'de hem de kaynak dikişinde daha düşük tokluk gösterdiği rapor edilmiştir.

Düşük ısı girdili kaynak yöntemleri (EK, PAK ve LK), tüm metalik malzemelerde olduğu gibi dubleks paslanmaz çeliklerin kaynağında da düşük distorsiyon ve kalıntı gerilme oluşumu, çok dar IEB oluşumu veya belirgin IEB oluşmaması, yüksek kaynak hızları, kalın levhaların kaynağının mümkün olması ve yüksek verimlilik gibi birçok avantaj sunmaktadır. Ancak, bu yöntemler doğaları gereği yüksek soğuma hızlarına yol açtığı için ve bu da önce katılan ferrit fazının östenite dönüşmesi için yeterli zaman olmaması nedeniyle kaynak dikişinde aşırı ferrit oluşumuna, dolayısıyla östenit-ferrit dengesinin bozulmasına neden

olmaktadır [27,57-61]. Bu da kaynak sonrası kaynak dikişinde ferrit/östenit dengesini sağlamak için ısı işlemleri zorunlu kılmaktadır. Kaynak dikişinde ferrit-östenit dengesini kısmen korumanın bir başka yolu da lazer kaynağı işleminde argon koruma gazı yerine saf azot koruma gazı kullanımıdır [61]. Ayrıca, elektron kaynağında vakum kullanıldığı için nitrojen kaybı da söz konusudur ve bu durum mekanik özelliklerle birlikte korozyon direncini olumsuz etkilemektedir [27]. Hem LK ve EK gibi yüksek enerji yoğunluklu yöntemler hem de hibrit kaynak uygulamaları dubleks paslanmaz çeliklerin kaynağında yaygın olarak kullanılan yöntemler değildir. Ayrıca bu yöntemler büyük yatırım maliyetleri gerektirmektedir. Benzer şekilde, SKK'nın da bazı dezavantajları bulunmaktadır. Bu yöntem, kaynaklanacak levhaların kaynak öncesi sıkı bir şekilde sabitlenmesini gerektirir ve geometrik sınırlamaları bulunmaktadır. Ayrıca, düşük soğuma hızları da içyapıda olumsuz değişimlere yol açabilir. İlaveten, bu yöntemdeki kaynak hızları geleneksel ergitme kaynaklarına göre daha düşüktür.

Kalın levhaların kaynağı için kullanılacak bir başka yöntem aktif flakslı GTAK (A-TIG) yöntemidir. Bu yöntem ile dubleks paslanmaz çeliklerde de derin nüfuziyetli kaynaklar elde edilebilmektedir. Örneğin, Zou ve ark [48] yaptıkları çalışmada, nispeten düşük ısı girdili aktif flakslı GTAK kaynağı ile SUS329J4L dubleks paslanmaz çelik levhaları başarılı bir şekilde birleştirmişlerdir. Kaynak dikişinde içyapı ferrit fazı, tane sınırı östeniti (grain boundary austenite) ve taneler içinde oluşan östenitten (intragranular austenite) oluştuğu rapor edilmiştir. Ancak, bu yöntem de dubleks paslanmaz çeliklerin kaynağında yaygın kullanılan bir kaynak yöntemi değildir. Ayrıca, Ravichandran ve ark. [62] GTAK yöntemi ile dubleks paslanmaz çeliklerin kaynağı için optimum kaynak parametrelerini (akım, gaz debisi ve kaynak hızı gibi) belirlemek için S/N oranı ve ANOVA tekniklerini kullanmışlardır. S/N analizleri sonuçları en yüksek darbe direnci ve sertlik değerlerinin 150 A akım, 14 L/min gaz debisi ve 210 mm/min kaynak hızında elde edildiğini raporlamışlardır. Naik ve Reddy [63] de ER316 tel kullanılarak 6 mm kalınlığındaki 2205 dubleks paslanmaz çelik levhaları TIG kaynağı yapmışlar ve en iyi sonuçların 250 amper akım ile elde edildiğini rapor etmişlerdir.

Yukarıdaki tartışmadan anlaşılacağı üzere, düşük maliyetli geleneksel ark kaynağı yöntemleri ile bu çeliklerin kaynağında ısı girdisi etkisi gibi hususların detaylı olarak anlaşılması ve bu çeliklerin birleştirilmesi için güvenilir geleneksel kaynak prosedürlerinin geliştirilmesine ihtiyaç bulunmaktadır. Dolayısıyla bu çalışmada, 3 mm kalınlığında SAF 2205 dubleks paslanmaz çelik levhalar 2 mm çapında ER2209 dubleks bir dolgu teli kullanılarak 2 pasoda GTAK yöntemi ile farklı ısı girdileri kullanılarak alın kaynağı yapılmıştır. Elde edilen kaynaklı bağlantının kaynak bölgesinde oluşan içyapıların karakterizasyonu için kaynaklı bağlantıdan çıkarılan metalografi numunesinde optik

mikroskop kullanılarak ayrıntılı mikro yapısal incelemeler ve mikrosertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Mekanik özelliklerin ve kaynak performansının belirlenmesi için ayrıca hem baz malzemeden hem de kaynaklı birleştirmeden çıkarılan numuneler çekme testine tabi tutulmuştur. Ek olarak, ısı girdisinin kaynak bölgesindeki mikro yapı oluşumuna ve çekme ve bükme şartlarında kaynaklı bağlantının performansına etkileri incelenmiştir.

2. Deneysel Çalışmalar

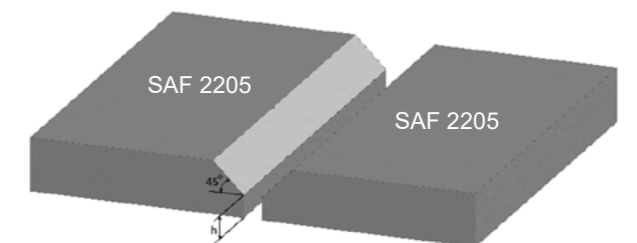
Bu çalışmada, 3 mm kalınlığındaki soğuk haddelenmiş AISI 318LN tipi (çift fazlı (dubleks) paslanmaz çelik (SAF 2205 - malzeme numarası 1.4462) levhaların GTAK yöntemi ile kaynak edilebilirliği ve ısı girdisinin kaynak performansına etkisi araştırılmıştır. Kullanılan levhanın ve ilave telin kimyasal bileşimleri Çizelge 1'de verilmektedir.

Çizelge 1. Baz metal (BM) ve ilave telin kimyasal (ağ.%)

Malzeme	Kimyasal kompozisyon (ağ.%)							
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Cu	N
BM*	0,016	0,37	1,49	22,2	5,7	3,1	0,25	0,185
İlave tel	0,01	0,45	1,45	23,0	8,5	--	--	0,15

*BM ayrıca % 0,017 Nb, % 0,18 Co, % 0,026 P ve % 0,001 S içermektedir.

Kaynak denemeleri için, piyasadan temin edilen plakadan hadde yönüne dik doğrultuda kaynak yapılacak şekilde 195x300 mm boyutlarında dikdörtgen şekilli parçalar çıkarılmış ve bu parçalarda Şekil 1'de gösterildiği gibi kaynak ağzı açılmıştır. Birleştirilecek yüzeyler birleştirme işleminden önce paslanmaz çelik metal fırça ile mekanik olarak temizlenmiştir. Kaynak işlemleri kök pasu ve dolgu pasosu olmak üzere iki pasoda 2 mm çapında dubleks bir dolgu teli (ER2209) kullanılarak farklı ısı girdilerinde gerçekleştirilmiştir. Kaynak işleminde her pasoda ilave tel 1,5 mm/s'lik bir hız ile beslenmiştir. Tüm kaynak denemelerinde koruyucu gaz olarak kaynak bölgesine %99,95 saflıkta argon gazı 16 L/min debide beslenmiştir. Tüm kaynak denemelerinde kaynak tabanından sıvı metal akması sonucu yetersiz doldurma hatası oluşmaması için seramik altlık kullanılmıştır. Ayrıca, kaynak işlemi süresince şase bağlantısı ve uzatma kablosu düz pozisyonda tutulmuştur. Kaynak işleminde kullanılan diğer kaynak parametreleri Çizelge 2'de verilmektedir.



Şekil 1. Kaynak denemeleri için plakaların hazırlanması (h: 1 mm, kaynak kökünde plakalar arası mesafe: 2 mm)

Kaynak bölgesinde meydana gelen mikro yapısal incelemeler ve mikrosertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Mekanik özelliklerin ve kaynak performansının belirlenmesi için ayrıca hem baz malzemeden hem de kaynaklı birleştirmeden çıkarılan numuneler çekme testine tabi tutulmuştur. Ek olarak, ısı girdisinin kaynak bölgesindeki mikro yapı oluşumuna ve çekme ve bükme şartlarında kaynaklı bağlantının performansına etkileri incelenmiştir.

mekanik özellikler üzerindeki etkisini değerlendirmek için elde edilen her bir kaynaklı bağlantıdan bir metalografi numunesi, iki eğme numunesi ve dört çekme numunesi çıkarılmıştır. Karşılaştırma amacıyla ve bağlantı performansını değerlendirmek için baz levhadan da ASTM A370 standardına göre en az üç çekme numunesi çıkarılmıştır. Zımparalama ve parlatmayı takiben kaynak kesitini incelemek için metalografi numuneleri 50 ml HCl ve 150 ml HNO₃'ten oluşan bir çözelti (kral suyu) kullanılarak 20 saniye süre ile dağlanmıştır. Metalografi numuneleri üzerinde mikrosertlik ölçümlerinin yanı sıra detaylı mikro yapı incelemeleri de yapılmıştır. Şekil 2'de şematik olarak gösterildiği gibi, metalografi numuneleri üzerinde kaynak kesiti merkezi civarında olacak şekilde bir çizgi üzerinde hem baz levha hem de IEB ve ergime bölgesinde, 980 N'luk (10 kg) bir yük kullanılarak mikrosertlik ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçüm değerleri ile her bir kaynaklı bağlantı için kaynak kesiti boyunca sertlik dağılımı (sertlik profili) belirlenmiştir.

Çizelge 2. Kaynak işlemlerinde kullanılan parametreleri

Kaynak işlemi	Akım (A)	Gerilim (V)	Kaynak hızı (mm/min)	Isı girdisi (kJ/mm)
Düşük ısı girdisi*	120	28	36	3,92
Orta ısı girdisi*	130	28	36	4,25
Yüksek ısı girdisi*	140	28	36	4,57

Isı girdisi şu formülle hesaplanmıştır: $q = \eta I U / 60 / 1000$ (q = ısı girdisi (kJ/mm), η = ark verimliliği (GTAK için 0,7), U = ark gerilimi (V), I = akım (A), ve v = kaynak hızı (mm/min)).

Ayrıca, kaynaklı bağlantıların mekanik özellikleri, mekanik performansları ve kaynak kalitelerini belirlemek için hem baz levha hem de kaynaklı bağlantılardan çıkarılan çekme test numuneleri, ISO 6892-1'e göre 0,0025 1/s'lik bir deformasyon hızı ile test edilmiştir. Elde edilen kaynaklı bağlantıların kaynak bölgesinde bükme şartlarında çatlama olup olmadığını belirlemek için her bir kaynaklı bağlantıdan iki adet de bükme numunesi de çıkarılmıştır. Bu bükme numunelerinden biri yüzey bükme durumunda, diğeri ise kök bükme konfigürasyonunda bükülmüştür. Bükme numuneleri kaynak merkezi orta konumda olacak şekilde yaklaşık 140-150 dereceye kadar bükülmüştür.

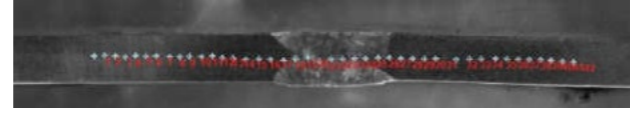
3. Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada elde edilen bulgular bu bölümde iki alt başlık altında tartışılacaktır.

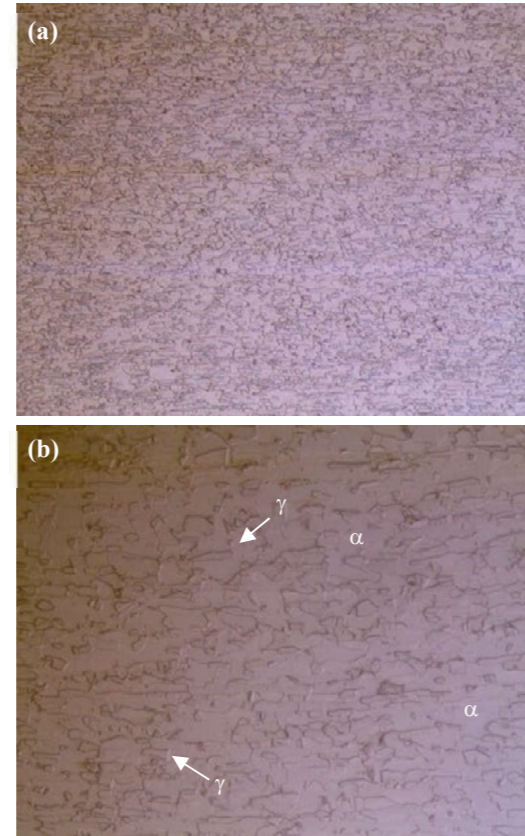
3.1. İyapı

Bu çalışmada kullanılan 3 mm kalınlığındaki SAF 2205 dubleks paslanmaz çelik baz levhanın iyapısı Şekil 3'te verilmektedir. Şekilden görüleceği üzere baz levha östenit (%50) ve delta ferritten (%50) oluşan bir iyapıya sahiptir. Bu mikro yapıdaki ferrit/östenit dengesi sayesinde bu çelikler yüksek mekanik özellikler ve aynı zamanda

östenitik paslanmaz çeliklerle karşılaştırıldığında daha üstün korozyon direnci (gerilmeli korozyon çatlama ve oyuklanma korozyonuna karşı yüksek direnci) sergilemektedir.



Şekil 2. Kaynak kesitinde mikrosertlik ölçümlerinin yapıldığı noktaları gösteren makro resim.

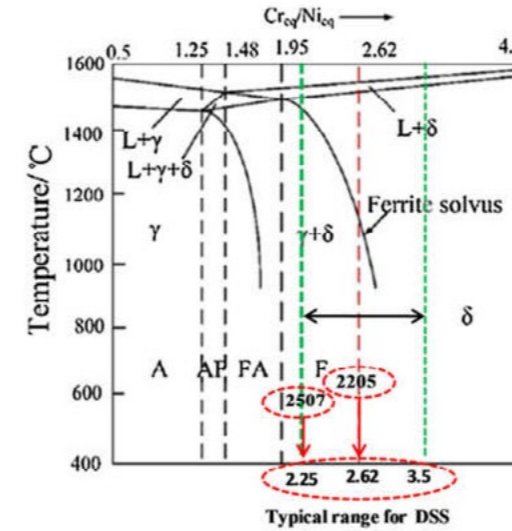


Şekil 3. Çalışmada kullanılan dubleks paslanmaz çelik baz levhanın iyapısı: (a) 200X ve (b) 500X büyütme.

Dubleks paslanmaz çelikler tamamen ferritik modda katılaşmakta ve ferrit katılaşma eğrisi altında ferrit fazı içerisinde östenit katı çekirdekleri oluşmakta (katılaşma silsilesi şu şekildedir: $S_{1v1} \rightarrow S_{1v1} + \delta \rightarrow \delta + \gamma$) ve bunun sonucu ferrit ve östenitten oluşan bir iyapı meydana gelmektedir. Bu katılaşma modu Cr_{eq}/Ni_{eq} (Cr_{eq}/Ni_{eq}) oranına bağlıdır ve Şekil 4'te verilen katılaşma modunun anlaşılması için çok iyi bir referans olan Fe-Cr-Ni faz diyagramından daha iyi anlaşılabilir [55,64,65].

Tipik dubleks paslanmaz çeliklerin kompozisyonu $\alpha + \gamma$ faz bölgesine tekabül etmektedir. Nitekim, bu şekilde SAF 2205 ve SAF 2507 gibi dubleks paslanmaz çelikler işaretlenmiştir. Yine bu şekilden görüleceği üzere ferrit fazı katılaşmadan oda sıcaklığına kadar sürekli bulunmaktadır ve bu nedenle

aynı kimyasal kompozisyon ile dönüştüğü için delta (δ) ferrit olmasına rağmen alfa (α) ferrit olarak adlandırılmaktadır [66].

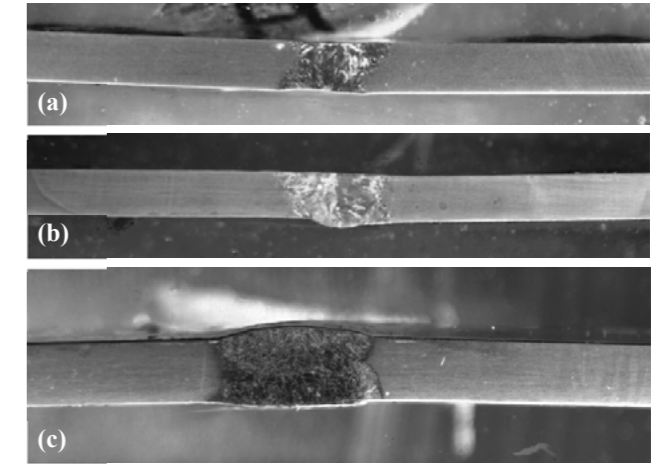


Şekil 4. Cr_{eq}/Ni_{eq} oranına bağlı olarak paslanmaz çeliklerde meydana gelen katılaşma tiplerini gösteren Fe-Cr-Ni diyagramı (SAF 2205 dubleks paslanmaz çeliği katılaşması da diyagramda işaretlenmiştir).

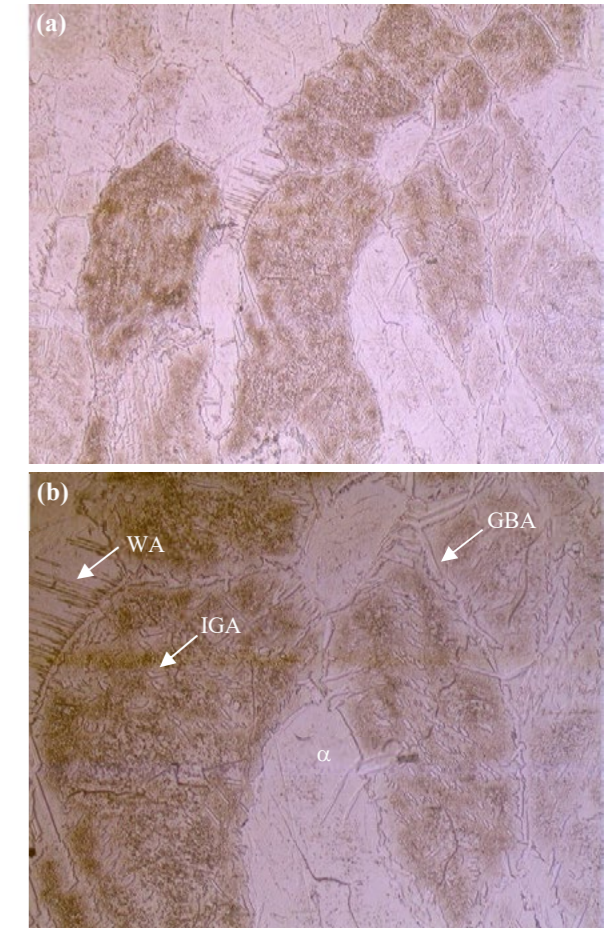
Pratikte, dubleks paslanmaz çelikler düşük empürite içerdikleri için katılaşma çatlama dirençlidirler. Eğer, Cr_{eq}/Ni_{eq} oranı 1,95 ten büyük olan paslanmaz çeliklerde katılaşma tamamen ferritiktir. Ancak, bu oran 2,25-3,5 arasında ise (SAF 2205 için bu oran 2,62'dir) 4katılaşma çift fazlıdır (ferrit + östenit). Genel olarak, dubleks paslanmaz çeliklerin kaynak dikişinde (ergime bölgesinde) ferrit matris ile ferrit matris içerisinde çekirdeklenen tane sınırı östeniti (grain boundary austenite - GBA) ve tane sınırı östenitinden oluşan Widmanstatten östenitinden (Widmanstatten austenite - WA) ibaret bir iyapı gözlenmektedir [67]. Daha sonra soğuma hızı etkisiyle, daha düşük sıcaklıklarda daha fazla itici güç gerektiren ve oyuklanma korozyona duyarlı tane içi östenit fazı (intragranular austenite - IGA) da oluşmaktadır.

Şekil 5'te de bu çalışmada elde edilen kaynaklı bağlantıların kaynak kesitlerini gösteren makro resimler verilmektedir. Bu makro resimlerden açıkça görüleceği üzere kaynaklı bağlantıların düşük ısı girdili bağlantı hariç kaynak profili oldukça iyidir ve kaynak bölgesinde porozite, çatlak vb. herhangi bir kaynak hatası gözlenmemiştir. Bu da kaynaklı bağlantıların kaynak kalitesinin tatminkâr olduğunu göstermektedir. Ancak, düşük ısı girdisi ile elde edilen bağlantıda yetersiz doldurma sonucu kesitte bir azalma gözlenmiştir. Düşük ısı girdisi (3,92 kJ/mm) ile üretilen bağlantının kaynak dikişinde (ergime bölgesinde) oluşan iyapı Şekil 6'da gösterilmektedir. Şekilden görüleceği üzere, iyapının ferrit fazı ile tane sınırı östeniti, az miktarda Widmanstatten östeniti ve tane içi östeniti ihtiva ettiği görülmektedir. Ayrıca, dikkat çeken bir başka husus bu

bağlantının kaynak dikişinde ferrit miktarı östenit miktarından daha fazladır.

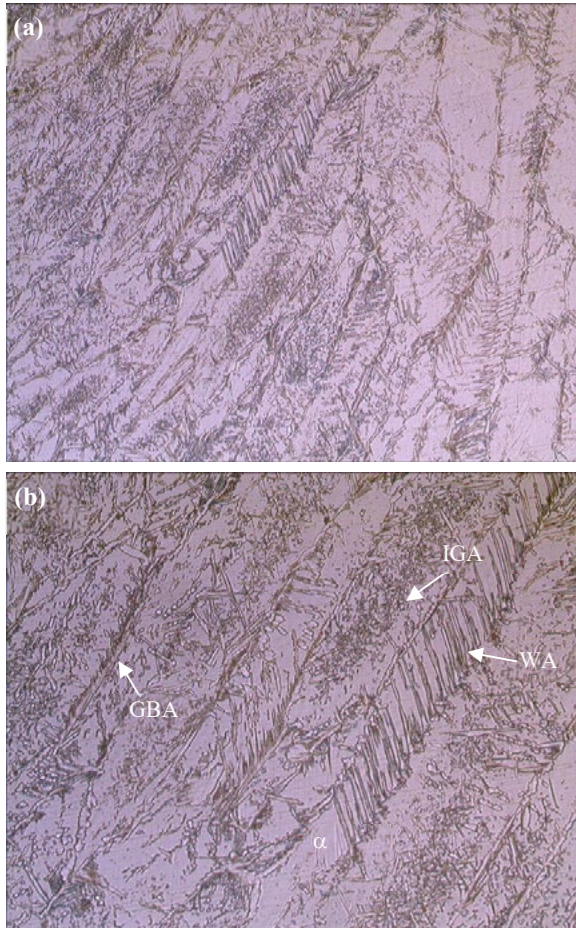


Şekil 5. Elde edilen kaynaklı bağlantıların kesitini gösteren makro resimler: (a) 3,92, (b) 4,25 ve (c) 4,57 kJ/mm ısı girdisi ile üretilen kaynaklı bağlantı. (kalınlık: 3 mm)



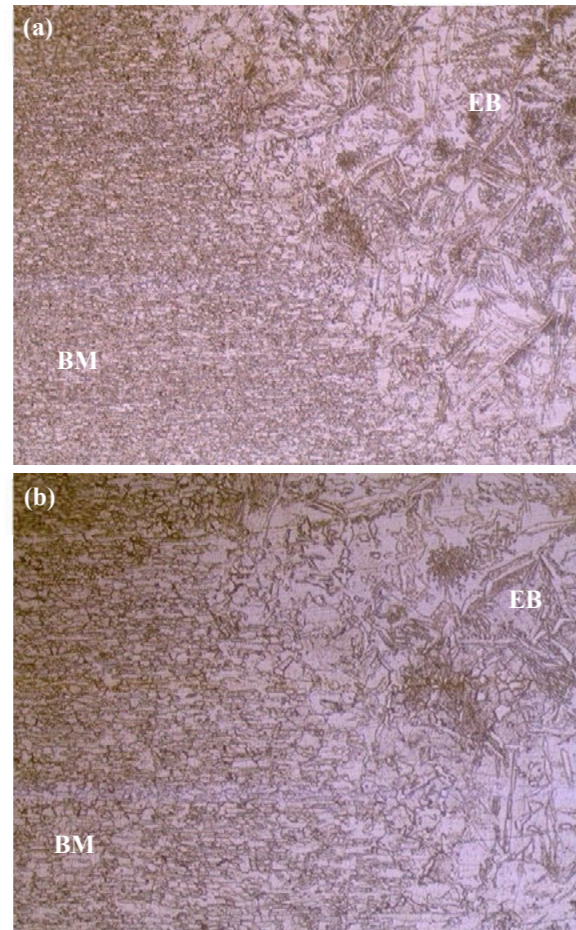
Şekil 6. Düşük ısı girdili (3,92 kJ/mm) bağlantının kaynak dikişindeki iyapısı: (a) X100 ve (b) X200 büyütme. (GBA: Tane sınırı östeniti, IGA: Tane içi östeniti ve WA: Widmanstatten östeniti).

Orta (4,25 kJ/mm) ve yüksek (4,57 kJ/mm) ısı girdileri ile yapılan bağlantıların kaynak dikişi içyapılarına örnek olarak yüksek ısı girdili bağlantının kaynak dikişi içyapısı Şekil 7'de verilmektedir. Şekilden görüleceği üzere bu bağlantıların kaynak dikişi içyapıları da düşük ısı girdisi ile üretilen bağlantıya benzer şekilde ferrit fazı ile tane sınırı östeniti, az miktarda Widmanstatten östeniti ve tane içi östeniti içermektedir. Ancak, Widmanstatten östeniti ve tane içi östeniti miktarı daha fazladır. Ayrıca, düşük ısı girdisi ile üretilen bağlantıların ergime bölgesinde daha ince taneli eş eksenli bir yapı oluşurken, orta ve yüksek ısı girdisi ile elde edilen bağlantıların kaynak dikişinde iri taneli uzun sütunsal bir tane yapısı oluştuğu gözlenmektedir. Bu uzun sütunsal tane yapısı yüksek ısı girdisi (4,57 kJ/mm) ile gerçekleştirilen bağlantıda daha belirgindir (Şekil 7b). Ayrıca, orta ve yüksek ısı girdisi ile elde edilen bağlantıların kaynak dikişinde, özellikle de yüksek ısı girdili bağlantının kaynak dikişinde, östenit miktarı düşük ısı girdisi ile üretilen bağlantıya nazaran çok daha fazla olup, ferrit-östenit dengesi daha iyidir.

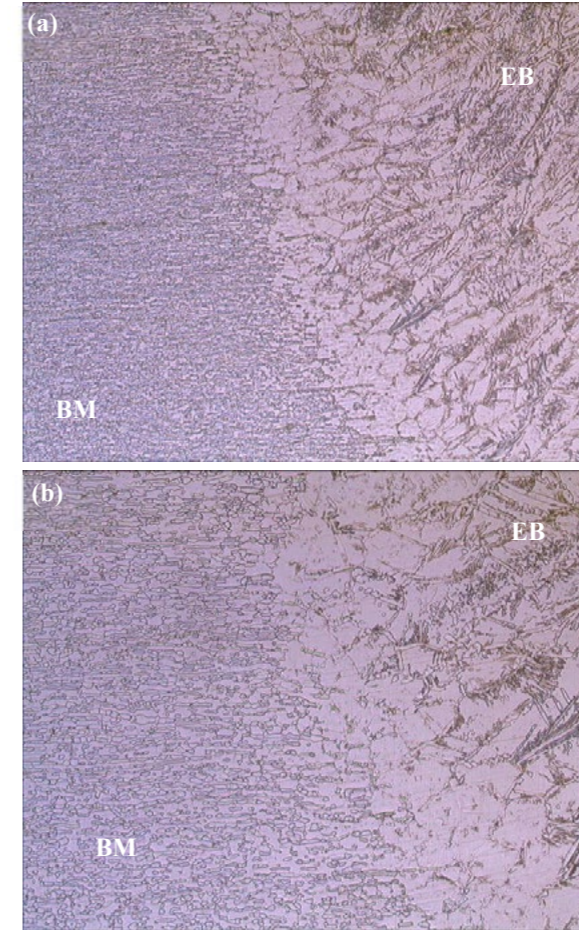


Şekil 7. Yüksek ısı girdili (4,57 kJ/mm) bağlantıların ergime bölgesindeki içyapı: (a) X100 büyütme ve (b) X200 büyütme. (GBA: Tane sınırı östeniti, IGA: Tane içi östeniti ve WA: Widmanstatten östeniti).

3,92 ve 4,25 kJ/mm ısı girdisi ile üretilen kaynaklı bağlantılara örnek olarak orta ısı girdili (4,25 kJ/mm) bağlantının ısıdan etkilenmiş bölgesini (IEB) gösteren optik mikro resimler Şekil 8'de verilmektedir. Şekilden görüleceği üzere her iki kaynaklı bağlantıda da belirgin bir IEB gözlenmemiştir. Diğer taraftan yüksek ısı girdisi (4,57 kJ/mm) ile elde edilen kaynaklı bağlantıda belirgin bir IEB oluştuğu gözlenmiştir. Bu bağlantının IEB'sinde Şekil 9'dan açıkça görüleceği üzere yeniden kristalleşme gerçekleşmiştir. Bu bölgedeki kaynak esnasındaki ulaşılan sıcaklıklar ferrit fazı oluşumuna yol açacak düzeydedir. Dolayısıyla, bu bağlantının IEB'de yeniden kristalleşme sonucu nispeten yüksek ısı girdisi nedeniyle göreceli kaba taneli ferritik bir yapı oluşmuş olup, kaynak sonrası soğumanın nispeten hızlı olması sonucu ferrit fazı içerisinde östenit fazı oluşumu sınırlı kalmıştır. Bunun sonucu, bu bölgedeki içyapı iri ferrit taneleri ve az miktarda tane sınırı östeniti ve tane içlerinde oluşan östenit (tane içi östeniti) fazından ibarettir. Ayrıca, bu bağlantının IEB'de içyapıda mevcut ferrit fazı, kaynak sonrası soğumanın nispeten hızlı olması sonucu ferrit fazı içerisinde östenit fazı oluşumunun sınırlı olması sonucu, östenit fazından daha fazladır.



Şekil 8. Orta ısı girdili (4,25 kJ/mm) bağlantının IEB'sini gösteren mikro resimler: (a) X100 büyütme ve (b) X200 büyütme (BM: Baz metal ve EB: Ergime bölgesi)



Şekil 9. Yüksek ısı girdili (4,57 kJ/mm) bağlantının IEB'sini gösteren mikro resimler: (a) 100X ve (b) 200X büyütme. (BM: Baz metal ve EB: Ergime bölgesi)

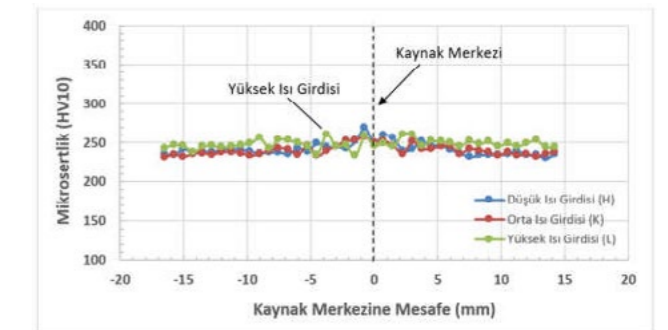
3.2. Mekanik özellikler

Mikrosertlik

Şekil 2'de gösterilen noktalarda yapılan mikrosertlik ölçümleri ile edilen sertlik değerleri ve bu sertlik değerleri kullanılarak her bir bağlantı için elde edilen kaynak kesiti boyunca sertlik dağılımını gösteren sertlik profilleri Şekil 10'da verilmektedir. Şekilden de görüleceği üzere, düşük ısı girdili (3,92 kJ/mm) bağlantının sertlik profili diğer bağlantılardan (orta ve yüksek ısı girdili) farklı olup, kaynak bölgesinde sertlik artışı gözlenmiştir. Bu da bu bağlantının kaynak dikişinde ferrit-östenit oranının olumsuz etkilendiğini ve hızlı soğumadan dolayı daha az östenit oluşması sonucu ferrit miktarının artışı ile alakalı olduğunu göstermekte olup, içyapı sonuçları ile uyumludur.

Diğer taraftan, orta ve yüksek ısı girdisi (4,25 ve 4,57 kJ/mm) kullanılarak üretilen bağlantılarda kaynak bölgesinde herhangi bir sertlik artışı gözlenmemiş olup, baz malzeme sertlik değerine benzer sertlik değerleri ölçülmüştür. Dolayısıyla, düşük ısı girdili kaynaklı bağlantı gösterirken iken, orta ve yüksek ısı girdili bağlantıların

kaynak kesiti boyunca homojen bir sertlik dağılımı (strength evenmatching) sergilemiştir. Bu sonuçlar da bu iki bağlantıda, özellikle de yüksek ısı girdili bağlantıda ferrit-östenit dengesinin korunması sonucu olup, içyapı incelemeleri ile uyumludur. Ek olarak, yüksek ısı girdisi ile elde edilen bağlantının kaynak dikişine komşu çok dar yüksek ısıya maruz kalmış IEB'de iri ferrit taneleri ve tane sınırı östeniti oluşmasına rağmen sertlik profilinde IEB'de herhangi bir değişim (sertlik düşüşü) tespit edilememesi bu bölgenin çok dar olması nedeniyle bu bölgede sertlik ölçümü yapılamamış olmasının bir sonucu olduğu düşünülmektedir.



Şekil 10. Farklı ısı girdileri ile elde edilen bağlantıların sertlik profilleri

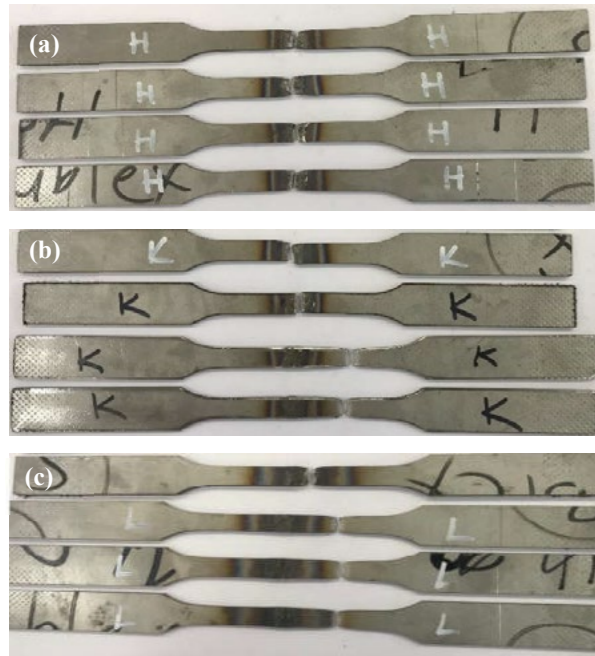
Çekme ve bükme davranışı

Baz levha ve kaynaklı bağlantılardan kaynağa dik yönde çıkarılan çekme numunelerinden elde edilen çekme deneyi sonuçları Çizelge 3'te özetlenmektedir. Şekil 11'den görüleceği üzere, düşük ısı girdisi ile yapılan kaynaklı bağlantıdan çıkarılan tüm çekme deneyi numuneleri kaynak bölgesinden kopmuştur. Diğer taraftan, orta ısı girdili bağlantıdan çıkarılan çekme numunelerinden ikisi kaynak dikişi içerisinde ve diğer ikisi IEB'ye belirli bir mesafede baz levha içerisinde kırılmıştır. Yüksek ısı girdisi ile elde edilen bağlantıdan çıkarılan numunelerden sadece biri kaynak dikişinden koparken, diğer üç numune baz malzemenin IEB'ye yakın kısmından kopmuştur. Bu sonuçlar, içyapı incelemeleri ile de uyumlu olup, düşük ısı girdili bağlantının kaynak dikişinde ferrit-östenit faz dengesinin bozulmasından ve kaynak kesit makro resimlerden görüleceği üzere düşük ısı girdili bağlantıda yetersiz doldurma sonucu kaynak kesitinde belirgin bir incelleme olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca, çizelgeden görüleceği üzere düşük ısı girdisi ile üretilen kaynaklı levhadan çıkarılan numunelerin çekme mukavemeti baz levha numunelerinin gösterdiği çekme mukavemetinden düşük olup, mukavemet cinsinden kaynak mukavemeti değerleri %96'dır. Orta ve yüksek ısı girdisi kullanılarak elde edilen bağlantılardan çıkarılan numunelerin mukavemeti düşük ısı girdili bağlantıdan daha yüksek olup, özellikle yüksek ısı girdili bağlantının mukavemet performansı %102 civarındadır. Bu durum, Şekil 12'de verilen baz levha ve kaynaklı bağlantı numunelerinden elde edilen gerilme-% uzama eğrilerinden

de açıkça görülmektedir. Yüksek ısı girdili bağlantının yüksek mukavemet performansı göstermesinin nedeni bu bağlantının kaynak dikişinde ferrit-östenit dengesinin daha iyi korunmasının (Şekil 7b) bir sonucudur.

Çizelge 3. Çekme deneyi sonuçları (parantez içerisinde ortalama değerler verilmektedir)

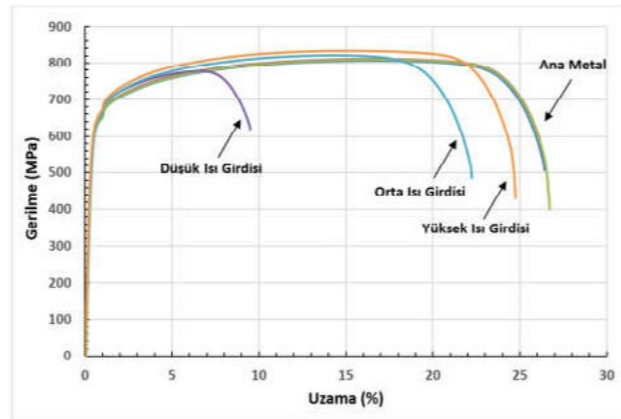
Numune	R _m (MPa)	Uzama (%)	Mukavemet performansı (%)	Süneklik performansı (%)
Baz metal	807; 811; 809; 806 (808)	26; 26; 26; 25 (26)	--	--
Düşük ısı	757; 760; 777; 799 (773)	9; 7; 9; 13 (10)	96	38
Orta ısı	826; 821; 745; 759 (788)	22; 22; 7; 9 (15)	98	58
Yüksek ısı	833; 831; 816; 831 (828)	25; 21; 22; 23 (23)	102	88



Şekil 11. Kaynaklı bağlantıdan çıkarılan çekme numunelerinde kırılma lokasyonları:
(a) Düşük, (b) orta ve (c) yüksek ısı girdili bağlantı

Diğer taraftan, Çizelge 3'ten görüleceği üzere kaynaklı bağlantı numunelerinin %uzama değerleri baz levhadan belirgin bir şekilde düşüktür. Bu kaynaklı bağlantı numunelerinin homojen olmamasından kaynaklanmaktadır. Bu durum, özellikle düşük ısı girdili bağlantıda daha belirgin olup, süneklik performansı oldukça düşüktür (%38). Bunun nedeni kırılmanın kaynak dikişinde gerçekleştiği bu numunelerde baz levhada uzama meydana gelmemesi ve dolayısıyla plastik şekil değiştirmenin kaynak bölgesiyle sınırlı olmasıdır. En yüksek süneklik performansı ise yüksek ısı girdisi ile üretilen bağlantı numuneleri tarafından gösterilmiştir (%88). Bu sonuç, yine kaynak dikişinde ferrit-östenit dengesinin daha iyi korunması sonucu numunelerin biri hariç diğerlerinin baz levhadan kırılması ile uyumludur.

Benzer sonuçlar, kaynak bölgesinde mukavemet artışı olan kaynaklı bağlantılarda da gözlenmektedir [68-71]. Ayrıca, sadece kaynak bölgesinin plastik şekil değiştirdiği kaynak dikişinde aşırı mukavemet kaybı olan yüksek mukavemetli Al-alışımı kaynaklı bağlantılarda [72-76] ve difüzyon kaynaklı farklı malzemelerin kaynağında [77,78] genellikle çok daha düşük süneklik performansı değerleri rapor edilmiştir.



Şekil 12. Baz levha ve kaynaklı numunelerden elde edilen gerilme-% uzama eğrileri

Bunlara ilaveten, tüm kaynaklı bağlantılardan çıkarılan hem yüzey bükme hem de kök bükme deneyinde hiçbir numunede herhangi bir çatlama gözlenmemiş olup, bu durum da kaynak kalitesinin tatminkar olduğunu göstermektedir. Bu sonuçlar kaynak bölgesinde çatlak ve porozite gibi süreksizlik tespiti yapılmayan içyapı incelemeleri ile uyumludur.

4. Sonuç

Bu çalışmada, 3 mm kalınlığındaki soğuk haddelenmiş SAF 2205 dubleks paslanmaz çelik levhalar GTAK yöntemi ile 2 mm çapında ER 2209 ilave tel kullanılarak iki pasoda başarılı bir şekilde kaynak edilmiştir. Bu çalışma sonucu elde edilen sonuçlar şu şekilde özetlenebilir:

- Elde edilen kaynaklı bağlantılarda porozite veya çatlak oluşumu gibi herhangi bir kaynak süreksizliği tespit edilmemiştir.
- Kaynaklı bağlantıların ergime bölgesinde (EB) ferrit fazı ile tane sınırı östeniti, az miktarda Widmanstatten östeniti ve tane içi östenitinden oluşan bir mikro yapı oluşmuştur. Düşük ısı girdili bağlantıyı kaynak dikişinde eş eksenli bir yapı oluşurken, orta ve yüksek ısı girdisi ile elde edilen bağlantılarda iri taneli uzun sütunsal taneler gözlenmiştir. Ayrıca, orta ve yüksek ısı girdisi ile elde edilen bağlantıların, özellikle de yüksek ısı girdili bağlantının, kaynak dikişinde östenit miktarı daha fazladır.
- Düşük ve orta ısı girdili bağlantılarda belirgin bir IEB gözlenmezken yüksek ısı girdisi ile elde edilen

bağlantıda yeniden kristalleşme sonucu belirgin bir IEB oluşmuştur.

- Düşük ısı girdili (3,92 kJ/mm) bağlantının sertlik profili diğer bağlantılardan (orta ve yüksek ısı girdili) farklı olup, bu bağlantının kaynak dikişinde sertlik artışı gözlenirken orta ve yüksek ısı girdili bağlantılar (4,25 ve 4,57 kJ/mm) daha homojen bir sertlik dağılımı sergilemiştir.
- Düşük ısı girdili bağlantıdan çıkarılan tüm enine çekme test numuneleri kaynak dikişi içerisinde kopmuştur. Diğer taraftan, orta ısı girdili bağlantı numunelerinden ikisi ve yüksek ısı girdili bağlantı numunelerinden sadece biri kaynak dikişinden diğer numuneler baz malzemeden kırılmıştır. En yüksek mukavemet performansı değerini yüksek ısı girdisi ile elde edilen bağlantı göstermiştir (%102). Bu da ferrit-östenit dengesinin bu bağlantıda daha iyi korunmasının sonucudur. Diğer taraftan, çekme numunelerinin homojen olmaması nedeniyle tüm bağlantıların süneklik performansı düşük olup, en yüksek süneklik performansı (%88) da yüksek ısı girdisi ile üretilen bağlantıda elde edilmiştir.
- Bağlantılardan çıkarılan hem yüzey hem de kök bükme numunelerinde çatlama gerçekleşmemiştir. Bu da çalışmada kullanılan ısı girdisi aralığının bağlantıların bükme şartlarındaki performansına belirgin bir etkisi olmadığını göstermektedir.

Teşekkür

Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen metalografi çalışmaları, mikrosertlik ölçümleri ve mekanik testlerin (çekme ve bükme deneyleri) yapılmasındaki desteklerinden dolayı NOKSEL Çelik Boru Sanayi A.Ş., İskenderun'dan Sedat UYSAL (Fabrika Müdürü), Tuğrul YAZGAN (Kalite ve Mekanik Laboratuvar Sorumlusu) ile Mekanik Laboratuvar çalışanları Erhan Zeytun ve Ferhat Gürler'e teşekkür ederiz.

Referanslar

- [1] T. Oshima, Y. Habara ve K. Kuroda, Efforts to save nickel in austenitic stainless steels, *ISIJ Int.*, 47 (2007) 359-364.
- [2] P. Boillot P ve J. Peultier, Use of stainless steels in the industry: recent and future developments, *Procedia Eng.*, 83 (2014) 309-321.
- [3] S.K. Ghosh ve S. Mondal, High temperature ageing behaviour of a duplex stainless steel, *Mater. Charact.*, 59 (2008) 1776-1783.
- [4] B. Gideon, L. Ward ve G. Biddle, Duplex stainless steel welds and their susceptibility to intergranular corrosion, *J. Miner. Mater. Charact. Eng.*, 7(3)(2008) 247-263.
- [5] J. Verma ve R.V. Taiwade, Dissimilar welding behavior of 22% Cr series stainless steel with 316L and its corrosion resistance in modified aggressive environment, *J. Manuf. Process.*, 24 (2016) 1-10.
- [6] K.D. Ramkumar ve ark., Studies on the structure-property relationships and corrosion behaviour of the

activated flux TIG welding of UNS S32750, *J. Manuf. Process.*, 23 (2016) 231-241.

- [7] M. Şenol ve G. Çam, Investigation into microstructures and properties of AISI 430 ferritic steel butt joints fabricated by GMAW, *Int. J. Press. Ves. Pip.*, 202 (2023) 104926.
- [8] A. Günen ve ark., A new approach to improve some properties of wire arc additively manufactured stainless steel components: Simultaneous homogenization and boriding, *Surface & Coating Technology*, 460 (2023) 129395.
- [9] H.T. Serindağ ve G. Çam, Characterizations of microstructure and properties of dissimilar AISI 316L/9Ni low alloy cryogenic steel joints fabricated by GTAW, *J. Mater. Eng. Perform.*, 2023, (DOI: <https://doi.org/10.1007/s11665-022-07601-x>).
- [10] H.T. Serindağ ve G. Çam, Multi-pass butt welding of thick AISI 316L plates by gas tungsten arc welding: Microstructural and mechanical characterization, *Int. J. Press. Ves. Pip.*, 200 (2022) 104842.
- [11] M. Ezer ve G. Çam, A Study on microstructure and mechanical performance of gas metal arc welded AISI 304L joints, *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik*, 53 (9) (2022) 1043-1052.
- [12] T. Küçükömeroğlu ve ark., Investigation of mechanical and microstructural properties of friction stir welded dual phase (DP) steel, *IOP Conf. Series: Mater. Sci. Eng.*, 629 (2019) 012010.
- [13] H.T. Serindağ ve G. Çam, Microstructural and mechanical characterization of gas tungsten arc welded 10 mm thick AISI 316L joints, *Düzce University Journal of Science & Technology*, 10 (4) (2022) 1873-1889.
- [14] H.T. Serindağ ve G. Çam, Microstructure and mechanical properties of gas metal arc welded AISI 430/AISI 304 dissimilar stainless steels butt joints, *Journal of Physics: Conference Series*, 1777 (2021) 012047.
- [15] M. Şenol ve G. Çam, Microstructural and mechanical characterization of gas metal arc welded AISI 430 ferritic stainless steel joints, *European J. Eng. and Natural Sciences (EJENS)*, 5 (1) (2020) 52-60.
- [16] M. Ezer ve G. Çam, Investigation of the microstructure and mechanical properties of gas metal arc welded AISI 304 austenitic stainless steel butt joints, *European J. Eng. and Natural Sciences (EJENS)*, 5 (1) (2020) 43-51.
- [17] J.C. Lippold ve D.J. Kotecki, 'Welding metallurgy and weldability of stainless steels', John Wiley and Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA, (2005) 141-200.
- [18] G. Çam, 'Kaynak Bilimi ve Teknolojisi', Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara, (2020) 205-209.
- [19] L. Karlsson, Welding duplex stainless steels - A review of current recommendations, *Weld. World*, 56 (2012) 65-76.
- [20] S. Geng ve ark., Evolution of microstructure and corrosion behavior in 2205 duplex stainless steel GTA-welding joint, *J. Manuf. Process.*, 19 (2015) 32-37.
- [21] H. Doluş ve M. Cavcar, 'Dupleks Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı', Oerlikon Kaynak Elektrodları ve Sanayi A.Ş., Ankara, (2001) 7-11.
- [22] J. Verma ve R.V. Taiwade, Effect of welding processes and conditions on the microstructure, mechanical properties

- and corrosion resistance of duplex stainless steel weldments - A review, *J. Manuf. Process.*, 25 (2017) 134-152.
- [23] S.H. Wang ve ark., Gamma phase transformation in pulsed GTAW weld metal of duplex stainless steel, *Mater. Sci. Eng. A*, 420 (2006) 26-33.
- [24] A.-H.I. Mourad, A. Khouirid ve T. Sharef, Gas tungsten arc and laser beam welding processes effects on duplex stainless steel 2205 properties, *Mater. Sci. Eng. A*, 549 (2012) 105-113.
- [25] E. Taban ve E. Kaluc, Welding behaviour of duplex and super-duplex stainless steels using laser and plasma arc welding processes, *Weld. World*, 55 (2011) 48-57.
- [26] S. Krasnorutskiy, D. Keil, S. Schmigalla, M. Zinke, A. Heyn ve H. Pries, Metallurgical investigations on electron beam welded duplex stainless steels, *Weld. World*, 56 (2012) 34-40.
- [27] J.S. Ku, N.J. Ho ve S.C. Tjong, Properties of electron beam welded SAF 2205 duplex stainless steel, *J. Mater. Process. Technol.*, 63 (1997) 770-775.
- [28] T. Kannan ve N. Murugan, Effect of flux cored arc welding process parameters on duplex stainless steel clad quality, *J. Mater. Process. Technol.*, 176 (2006) 230-239.
- [29] J. Nowacki, Ferritic-austenitic steel and its weldability in large size constructions, *J. Achiev. Mater. Manuf. Eng.*, 32 (2) (2009) 115-141.
- [30] M.M.Z. Ahmed, M.M. El-Sayed Seleman, D. Fydrych ve G. Çam, Friction stir welding in the aerospace industry: The current progress and state-of-the-art review, *Materials*, 16 (2023) 2971.
- [31] G. Çam, V. Javaheri ve A. Heidarzadeh, Advances in FSW and FSSW of dissimilar Al-alloy plates, *Journal of Adhesion Science and Technology*, 37 (2) (2023) 162-194.
- [32] N. Kashaev, V. Ventzke ve G. Çam G, Prospects of laser beam welding and friction stir welding processes for aluminum airframe structural applications, *J. Manuf. Process.*, 36 (2018) 571-600.
- [33] G. Çam ve G. İpekoğlu, Recent developments in joining of aluminium alloys, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 91 (5-8) (2017) 1851-1866.
- [34] G. İpekoğlu ve ark., Investigation into the effect of temper condition on friction stir weldability of AA6061 Al-alloy plates, *Kovove Mater.*, 51 (3) (2013) 155-163.
- [35] G. Çam, Friction stir welded structural materials: Beyond Al-alloys, *Int. Mater. Rev.*, 56 (1) (2011) 1-48.
- [36] G. İpekoğlu, Ö. Akçam ve G. Çam, Determination of the suitable weld parameters for friction stir welding of AA6061-T6 plates with different thicknesses, *Afyon Kocatepe Univ. J. of Sci. and Eng.*, 18 (1) (2018) 324-335.
- [37] G. Çam, Friction stir welding: A novel welding technique developed for Al-alloys, *Mühendis ve Makine*, 46 (541) (2005) 30-39.
- [38] G. İpekoğlu, Ö. Akçam ve G. Çam, Effect of plate thickness on weld speed in friction stir welding of AA6061-T6 Al-alloys plates, *TMMOB Chamber of Mech. Engineers, Proc. of Welding Technology 10th National Congress & Exhibition*, 17-18 Nov. 2017, Ankara, 63-75.
- [39] G. İpekoglu ve G. Çam, The effect of temper condition on friction stir welding of dissimilar Al-alloys (AA6061/AA7075) plates, *Müh. & Makine*, 53 (629) (2012) 40-47.
- [40] A. Günen ve ark., Microstructural and mechanical properties of friction stir welded pure lead, *Indian J. of Eng. & Mater. Sciences*, 25 (1) (2018) 26-32.
- [41] H.S. Wang, Effect of welding variables on cooling rate and pitting corrosion resistance in super duplex stainless weldments, *Mater Trans.*, 46 (2005) 593-601.
- [42] M.C. Theodoro ve ark., Dissimilar friction stir welding between UNS S31603 austenitic stainless steel and UNS S32750 superduplex stainless steel, *Metall. Mater. Trans. B*, 46 (2015) 1440-1447.
- [43] T. Saedi ve ark., Effect of friction stir welding speed on the microstructure and mechanical properties of a duplex stainless steel, *Mater. Sci. Eng. A*, 496 (2008) 262-268.
- [44] R.I. Hsieh, H.Y. Liou ve Y.T. Pan, Effects of cooling time and alloying elements on the microstructure of the gleeble-simulated heat-affected zone of 22% Cr duplex stainless Steels, *J. Mater. Eng. Perform.*, 10 (2001) 526-536.
- [45] P.K. Giridharan ve N. Murugan, Optimization of pulsed GTA welding process parameters for the welding of AISI 304L stainless steel sheets, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 40 (2009) 478-489.
- [46] K. Nanda Naik ve ark., Finite element simulation of A-TIG welding of duplex stainless steel 2205 using SYSWELD, *Appl. Mech. Mater.*, 592-594 (2014) 374-379.
- [47] A. Berthier, P. Paillard ve F. Christien, Structural and chemical evolution of super duplex stainless steel on activated tungsten inert gas welding process, *Sci. Technol. Weld. Join.*, 14 (2009) 681-690.
- [48] Y. Zou, R. Ueji ve H. Fujii, Mechanical properties of advanced active-TIG welded duplex stainless steel and ferrite steel, *Mater. Sci. Eng. A*, 620 (2015) 140-148.
- [49] E.M. Westin, K. Stelling ve A. Gumenyuk, Single-pass laser-GMA hybrid welding of 13.5 mm thick duplex stainless steel, *Weld. World*, 55 (2011) 39-49.
- [50] E. Taban, Joining of duplex stainless steel by plasma arc, TIG, and plasma Arc + TIG welding processes, *Mater. Manuf. Process.*, 23 (2008) 871-878.
- [51] K. Yurtisik ve ark., Characterization of duplex stainless steel weld metals obtained by hybrid plasma-gas metal arc welding, *Soldag Insp.*, 18 (2013) 207-216.
- [52] M. Sadeghian ve ark., Effect of heat input on microstructure and mechanical properties of dissimilar joints between super duplex stainless steel and high strength low alloy steel, *Mater. Des.*, 60 (2014) 678-684.
- [53] S. Hertzman, The influence of nitrogen on microstructure and properties of highly alloyed stainless steel welds, *ISIJ Int.*, 41 (6) (2001) 580-589.
- [54] N. Karunakaran, Effect of pulsed current on temperature distribution, weld bead profiles and characteristics of GTA welded stainless steel joints, *Int. J. Eng. Technol.*, 2 (2012) 908-1916.
- [55] Z. Zhang ve ark., Investigation on microstructure evolution and properties of duplex stainless steel joint multi-pass welded by using different methods, *Mater. Des.*, 109 (2016) 670-685.
- [56] K. Devendranath ve ark., Effect of optimal weld parameters in the microstructure and mechanical properties of autogeneous gas tungsten arc weldments of super-duplex stainless steel UNS S32750, *Mater. Des.*, 66 (2015) 356-365.
- [57] S. Saravanan ve ark., Pulsed Nd: YAG laser welding and subsequent post-weld heat treatment on super duplex stainless steel, *J. Manuf. Process.*, 25 (2017) 284-289.
- [58] A. Pramanik, G. Littlefair ve A.K. Basak, Weldability of duplex stainless steel, *Mater. Manuf. Process.*, 30 (9) (2015) 1053-1068.
- [59] E. Capello ve ark., Laser welding and surface treatment of a 22Cr-5Ni-3Mo duplex stainless steel, *Mater. Sci. Eng. A*, 351 (1-2) (2003) 334-343.
- [60] H.C. Wu, L.W. Tsay ve C. Chen, Laser beam welding of 2205 duplex stainless steel with metal powder additions, *ISIJ Int.*, 44 (10) (2004) 1720-1726.
- [61] R. Lai ve ark., Influence of absorbed nitrogen on microstructure and corrosion resistance of 2205 duplex stainless steel joint processed by fiber laser welding, *J. Mater. Process. Technol.*, 231 (2016) 397-405.
- [62] M. Ravichandran ve ark., Investigation on TIG welding parameters of 2205 duplex stainless steel, *Int. J. of Automotive and Mech. Eng.*, 14 (2017) 4518-4530.
- [63] A.B. Naik ve A.C. Reddy, Experimental analysis of TIG welding and comparison between activated-TIG and TIG on duplex stainless steel (2205), *Int. J. of Scientific & Eng. Res.*, 7 (6) (2016) 115-122.
- [64] Z. Sun ve ark., Effect of dual torch technique on duplex stainless steel welds, *Mater. Sci. Eng. A*, 356 (2003) 274-282.
- [65] G.L. Leone ve H.W. Kerr, The ferrite to austenite transformation in stainless steels, *Weld. J.*, 61 (1982) 13s-22s.
- [66] J.W. Fourie ve F.P.A. Robinson, Literature review on the influence of weld-heat inputs on the mechanical and corrosion properties of duplex stainless steels, *J. S. Afr. Inst. Min. Metall.*, 90 (1990) 59-65.
- [67] H. Sieurin ve R. Sandstrom, Austenite reformation in the heat-affected zone of duplex stainless steel 2205, *Mater. Sci. Eng. A*, 418 (2006) 250-256.
- [68] T. Küçükömeroğlu ve ark., Microstructure and mechanical properties of friction stir welded St52 steel joints, *Int. J. Miner. Metall. Mater.*, 25 (12) (2018) 1457-1464.
- [69] G. Çam ve ark., Investigation into properties of laser welded similar and dissimilar steel joints, *Sci. Technol. Weld. Join.*, 3 (4) (1998) 177-189.
- [70] G. Çam ve ark., Microstructural and mechanical characterization of friction stir butt joint welded 63%Cu-37%Zn brass plate, *Weld. J.*, 88 (11) (2009) 225s-232s.
- [71] J. Dos Santos ve ark., Properties of power beam welded steels, Al- and Ti-alloys: Significance of strength mismatch, *Welding in the World*, 44 (6) (2000) 42-64.
- [72] G. İpekoğlu ve G. Çam, Formation of weld defects in cold metal transfer arc welded 7075-T6 plates and its effect on joint performance, *IOP Conf. Series: Mater. Sci. Eng.*, 629 (2019) 012007.
- [73] G. İpekoğlu ve ark., Investigation of the effect of temper condition friction stir weldability of AA7075 Al-alloy plates, *Mater. Tehnol.*, 46 (6) (2012) 627-632.
- [74] G. Çam ve ark., Mechanical properties of friction stir butt-welded Al-5086 H32 plate, *Mat.-wiss. u. Werkstofftech.*, 40 (8) (2009) 638-642.
- [75] G. Çam, Prospects of producing aluminum parts by wire arc additive manufacturing (WAAM), *Materials Today: Proceedings*, 62 (1) (2022) 77-85.
- [76] G. Çam ve ark., Characterization of laser and electron beam welded Al-alloys, *Prakt. Metallogr.*, 36 (2) (1999) 59-89.
- [77] G. Çam ve ark., Fracture behaviour of diffusion bonded bimaterial Ti-Al joints, *Sci. Technol. Weld. Join.*, 2 (3) (1997) 95-101.
- [78] M. Koçak, M. Pakdil ve G. Çam, Fracture behaviour of diffusion bonded Ti-alloys with strength mismatch, *Sci. Technol. Weld. Join.*, 7 (4) (2002) 187-196.

Kangal Taşıma Vinci C-Kanca Halat Uç Bağlantı Tasarımı C-Hook Rope End Connection Design of Wire Coil Handling Crane

Veysel ÇELİK, Önder Armağan YALIMKILINÇ, Hasan ÖZTÜRK, Hüseyin ALBAY

Erdemir Mühendislik
Türkiye

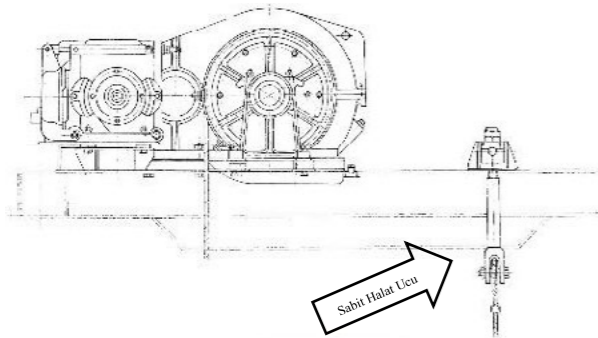
Anahtar Kelimeler: Kangal vinci, C-kanca, Halat Uç Bağlantısı,

Abstract

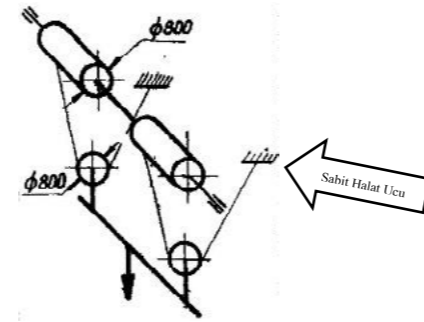
In this study, the fork stud to which the C-hook rope end of the 20 ton capacity wire coil handling cranes H-32, H-30, H-33, H-34 in the stockyard of İsdemir shipment warehouses is connected (Figure 1) is deformed and broken due to the movement restriction. A new rope end connection system was designed to replace this rope connection stud. The new design contributed to occupational safety and continuity of production as a result of eliminating movement constraints and preventing damage by changing the connection system of the rope.

Özet

Bu çalışmada, İsdemir sevkiyat ambarları stok sahasında H-32, H-30, H-33, H-34 numaralı 20 ton kapasiteli kangal taşıma vinçlerinin C-kanca sabit halat ucunun bağlı olduğu (Şekil 1) çatal saplamanın hareket kısıdından kaynaklı olarak deforme olup kopmaktadır. Bu halat bağlantı saplamanın yerine kullanılmak üzere yeni halat uç bağlantı sistem tasarımı yapılmıştır. Yeni tasarımla halatın bağlantı sistemi değiştirilerek hareket kısıtlarının ortadan kaldırılması ve hasarlanmanın önlenmesi sonucu iş güvenliği ve üretimin sürekliliğine katkı sağlanmıştır.



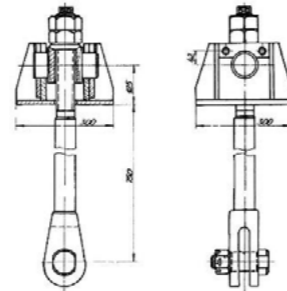
Şekil 1. C-Kanca uç bağlantıları.



Şekil 2. C-Kanca Halat Donanımı.

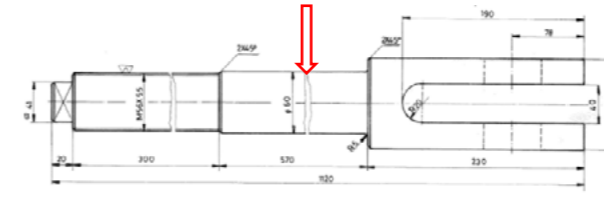
1. Giriş

İşletmemizde İsdemir sevkiyat ambarları kangal stok sahasında H-32, H-30, H-33, H-34 numaralı 20 ton kapasiteli kangal taşıma vinçlerinin C-kanca halat donanımı şekil 2'de görüldüğü gibidir. Sabit halat ucu istavroz ve çatal saplama (Şekil 3) ile vinç kirisine bağlantısı yapılmaktadır.



Şekil 3. İstavroz ve Çatal Saplama Bağlantısı.

C-kancanın çalışması esnasında hareket alanı yeterli gelmeyen çatal saplama zorlanmakta ve belirli bir süre sonra şekil 4'te ok ile gösterilen yerden, şekil 5'te fotoğrafında görüldüğü gibi kopma yaşanmaktadır. Bu kopma iş sağlığı ve güvenliği, üretimin sürekliliği açısından olumsuzluklar yaratmaktadır. Bu durumun giderilmesi için sistem incelenmiş ve yeni bir tasarım yapılmıştır.



Şekil 4. Çatal Saplama Kopma Bölgesi.



Şekil 5. Çatal Saplama Kopma Bölge Fotoğrafi.

20 ton kapasiteli kangal taşıma vinci çalışma esnasında araba yürütme, köprü yürütme ve dönme hareketini birlikte yapması sırasında halattaki salınım ve yüklerle birlikte saplama rijit kalmakta ve deformasyona uğrayarak kopmaktadır. Hareketi sağlayacak halat uç bağlantı sisteminin yeniden tasarımı için Erdemir mühendislik mekanik tasarım başmühendisliği ve İsdemir vinç bakım ekipleri bir araya gelmiştir. Birlikte çalışarak sorunun kaynağının halat uç bağlantısının salınıma yeterli düzeyde eşlik edemediğini tespit etmiştir. Mevcut vinç üzerinde C-kanca ve halat uç bağlantısını gösterir fotoğraflar şekil 6 ve 7'de verilmiştir.



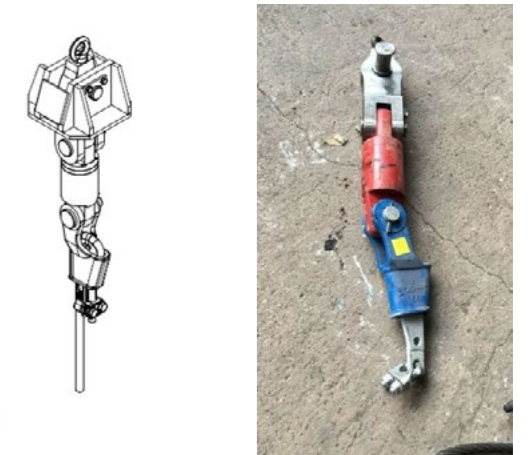
Şekil 6. 20 Ton Kapasiteli Kangal Taşıma Vinç Fotoğrafi.



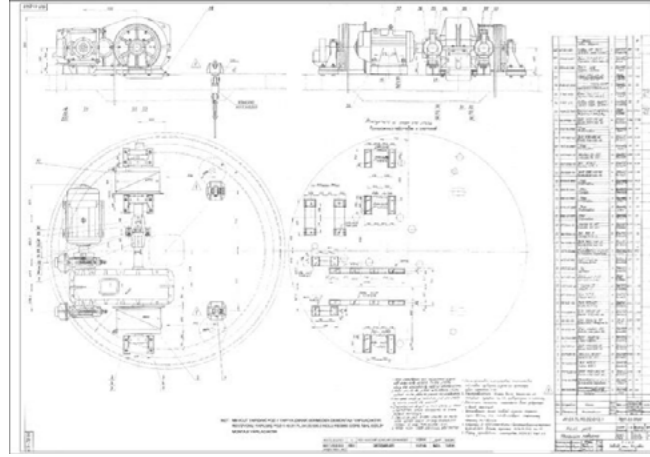
Şekil 7. C-Kanca Sabit Halat Ucu Bağlantısı.

2. Uygulama

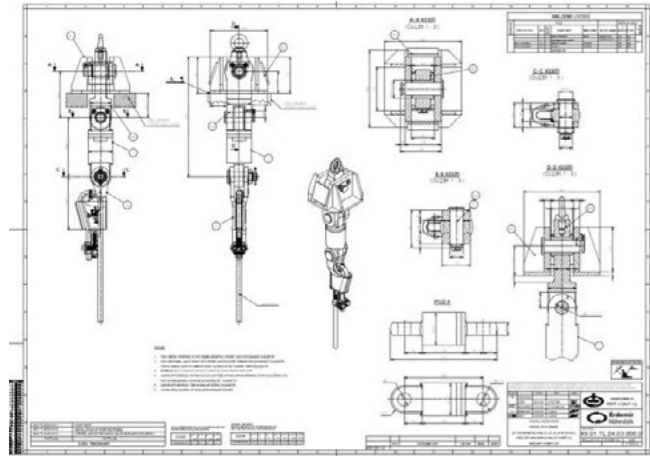
İsdemir sevkiyat ambarları stok sahasında H-32, H-30, H-33, H-34 numaralı 20 ton kapasiteli kangal taşıma vinçlerinin C-kanca sabit halat ucu bağlantısının üç boyutlu tasarımı (Şekil 8) yapılarak mapalı firdöndü, kamalı halat soketi seti, bağlantı şasesi ve istavroz pozlarının montaj ve detay imalat resimleri hazırlanmıştır. İmal edildikten sonra işletmede vinç üzerinde montaj ve uygulaması yapılmıştır. Yapılan imalat resmi hazırlama çalışmaları (Şekil 9 ve 10) ve vinç üzerindeki uygulama fotoğrafları Şekil 11'de verilmiştir.



Şekil 8. C-Kanca Yeni Halat Uç Bağlantısı 3D Modeli ve Gerçekleştirilmiş Tasarım.



Şekil 9. C-Kanca Yeni Halat Uç Bağlantısı Montaj Resmi.



Şekil 10. C-Kanca Yeni Halat Uç Bağlantısı 3D Modeli Resmi.



Şekil 11. C-Kanca Yeni Halat Uç Bağlantısı Gerçekleştirilmiş Montaj.

3. Sonuç

İşletmemizde İsdemir Sevkiyat Ambarları kangal stok sahasında 30, 32, 33, 34 numaralı 20 ton kapasiteli kangal taşıma vinçleri C-kanca sabit halat uç bağlantısında meydana gelen kopmalar yeni tasarım ile engellenmiştir.

Yeni bir tasarım oluşturulmuştur. Bu tasarıma istinaden imalat resim hazırlanmıştır. Parçalar temin ve imal edilmiştir. Montaj sonrası yeni tasarım uç bağlantı sistemi uygulaması takip edilmiş ve başarılı olduğu görülmüştür.

Başarıya ulaşan tasarım diğer vinçler içinde yaygınlaştırılmıştır.

Bu uygulama ile hasarlanma kaynaklı,

- İş Sağlığı Güvenliği sağlanmıştır.
- İşgücü ve üretim kaybı giderilmiştir.
- Prosesin sürekliliği sağlanmıştır.
- Bakım kolaylığı sağlanmıştır.

Demir Çelik Sektörüne Özel Rulman Bakımı ve Yönetimi Örnek Çalışmaları Maintenance and Management of Bearing Special For Iron and Steel Industry Case Studies

Mustafa CEYHUN, Barış KÜPELİ, Osman ÇELİK, Bulut İN, Yalçın TEKİN, Mehmet TEHÇİ

İskenderun Demir ve Çelik
Türkiye

Özet

Endüstride üretimin performansı, tesislerinde kullanılan ekipman ve makinaların performansına bağlıdır. Performansa etki eden, en kritik parçalardan biri olan rulmanların, seçimi, bakımı ve yönetimi yönüyle, üretim sürekliliğine, proses güvenliğine etki eden öneme sahiptir. Demir çelik sektöründe kullanılan özel rulmanların da yönetimi bu yönüyle ayrı bir öneme sahiptir. Sektöre özel, sürekli dökümler taret sistemi rulmanları, sıcak maden taşıyan vinç redüktör ve travers rulmanları ve kok batarya havuzu kepçe rulmanı mevcut olup, bunlar için farklı çalışmalar yapılmıştır. Bu özel çalışmalardan seçme örnekler paylaşılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Demir çelik, çelikhane, konverter, rulman, taret, sürekli dökümler, vinç, travers, makara, sıvı çelik, kok batarya havuzu, kepçe

Abstract

The performance of production in the industry depends on the performance of the equipment and machinery used in its facilities. Bearings, which are one of the most critical parts affecting performance, have an important effect on production continuity and process safety in terms of selection, maintenance and management. The management of special bearings used in the iron and steel industry has a special importance in this respect. There are industry-specific, continuous castings turret system bearings, mineral-carrying crane gear box and traverse bearings, and coke sink pool dipper dredger bearings, with different decorations for them. Selected examples from these special studies will be shared.

Keywords: Iron and steel, steel mill, converter, bearing, turret, continuous castings, crane, traverse, pulley, liquid steel, coke battery pool, dipper dredger

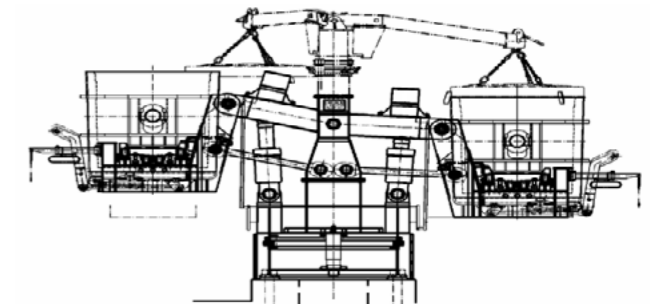
1. Giriş

Demir çelik sektöründe kullanılan rulmanlardan beklentiler; yüksek yük taşıma kapasitesi, yüksek sıcaklıkta çalışabilme özelliği, sızdırmazlığın optimum düzeyde olmasıdır. Ayrıca tercih edilen rulmanların sürekliliği önemlidir. Üretim anında rulman arızasından kaynaklanan plansız duruşların yaşanması, büyük maddi kayıplara neden olabileceğinden rulmanların seçimi, bakımı ve yönetimi büyük öneme sahiptir. Bu kapsamda fabrikamızda sektöre özel çözümler geliştirilmiştir.

2. Demir Çelik Sektörüne Özel Rulman Bakımı ve Yönetimi Örnek Çalışmalar

İSDEMİR üretim sahasında bulunan sürekli dökümler taret sistemi, sıcak maden taşıyan vinç kanca redüktörü ve travers, kok batarya havuzu kepçe rulmanlarında farklı çalışmalar yapılmıştır.

2.1. Slap Taret Rulman Bakımı, Kontrolü ve Değişimi



Şekil 1 Taret Genel Görünüşü

Taretin Görevi

Pota istasyonlarında hazırlanan sıvı çelik dolu pota slab döküm makinelerinde bulunan tarete konular, taretin dönmesi ile sıvı çelik dolu pota döküm pozisyonuna alınır. Potadaki sıvı çelik boşaltıldıktan sonra taretin dönmesi ile boş pota arka pozisyona alınır ve bu şekilde taretin 360 derece dönebilmesi sayesinde dökümün sürekliliği sağlanmış olur.

Taret Rulmanı

Taretin dönmesi gövdesinde bulunan 4260 mm çapında dıştan dişli makaralı döner tabla rulmanı ile sağlanmaktadır. Yüksek sıcaklıkta çalışma koşullarına sahip olan rulman; - 7 yıl ve üzeri kullanım süresine sahip ise 3 ayda bir - 7 yıldan daha az kullanım süresine sahip ise 6 aylık periyotlarda kontrol ve bakımları yapılmaktadır.



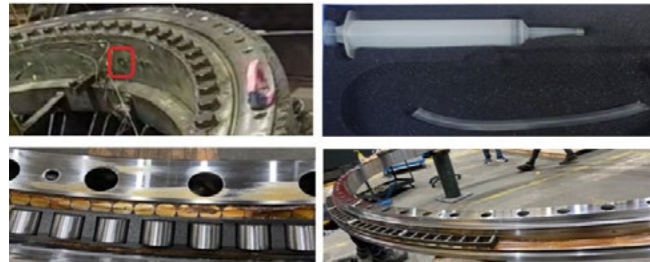
Şekil 2 Taret Rulmanı

Taret Rulman Kontrolü

Rulman kontrolü için iki aşamalı method takip edilmektedir; - Gres yağ kontrolü - Aşınma kontrolü

Taret Rulman Gres Yağı Kontrolü

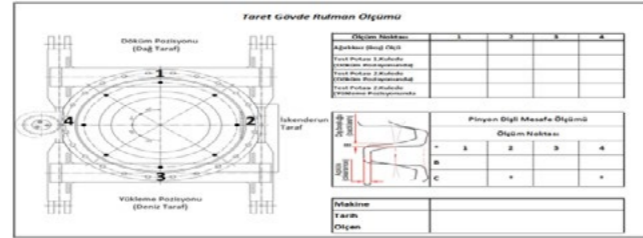
Taret rulmanı içerisinde bulunan numune noktalarından gres yağı örnekleri alınarak analize gönderilmektedir. Analiz esnasında gres içerisinde bulunabilecek metal yüzdesi kontrol edilir.



Şekil 3 Taret Rulmanı Gres Yağı Kontrolü

Taret Rulmanı Aşınma Kontrolü

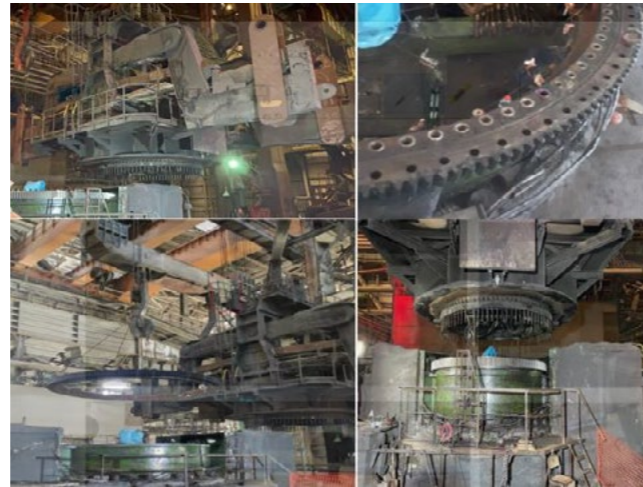
Taret gövdesi iç kısmında, sabit ve hareketli gövde üzerlerinde yer alan 4 adet ölçüm noktasından boş ve ağırlıklı pota ile ölçümler alınır. Yeni rulman montajı yapıldığında alınan ölçümlerle arasında 1.01 mm'den daha büyük değere sahipse rulman değişimine gidilir.



Şekil 4 Taret Rulmanı Aşınma Kontrolü

Taret Rulman Değişimi

Özel kaldırma ekipmanları ile taret kolları sabitlenerek, taret rulmanının bağlantı elemanları demonte edilir. Demontajı yapılan üst bölgedeki kollar vinç yardımıyla askıya kaldırılır. Rulman demontajı ve montajı tamamlandığında askıdan alınan üst kolların montajı tamamlanır.



Şekil 5 Taret Rulmanı Değişim

2.2. Vinç Kanca Redüktör Rulman Revizyonu

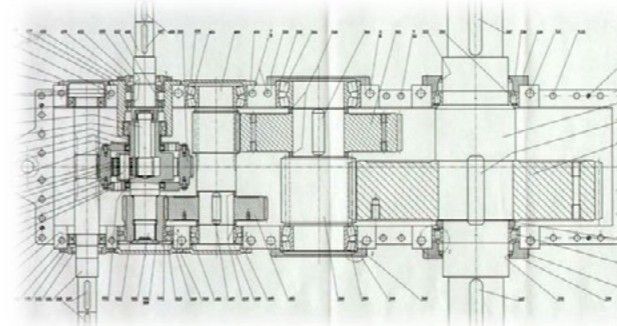
Redüktör Rulman Arızası

Çelikhane ve Sürekli dökümlerde çalışan 320/75/10 M.T. Kapasiteli CH-3, CH-4, SD-2, SD-3, SD-4 ve SD-5 nolu vinçlerin ana kaldırma sistemi redüktörü çıkış kademesinde kronikleşen rulman arızaları meydana gelmektedir. Rulman

dağıtmasına bağlı olarak redüktör gövdesinde ve dişli milde de hasarlanma meydana gelmektedir.

Arıza Kök Nedeni

Arızanın kök nedeni redüktörün çalışma sınıfının vincin çalışma kapasitesi ve şartlarına göre düşük değerde seçilmiş olmasıdır. Buna ek olarak işletme şartları nedeniyle redüktör üzerinde oluşan dinamik kuvvetlere karşı, rulmanın ve redüktör gövdesinin mukavemeti yetersiz kalmakta ve arıza meydana gelmektedir.



Şekil 6 Kanca Redüktör Çıkış Kademesi Rulmanı



Şekil 7 Redüktör Genel Görünüm



Şekil 8 Dişliler ve Rulmanlar Görünüm



Şekil 9 Hasarlı Rulman



Şekil 10 Hasarlı Redüktör Mili

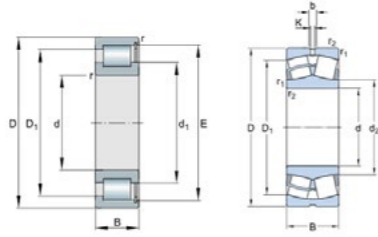


Şekil 11 Hasarlı Redüktör Gövdesi

Redüktör Çıkış Kademesi Rulmanı Revizyonu

Redüktörün tamir sürecinde güvenilirliği artıracak, kullanım ömrünü uzatarak sürdürülebilirliği sağlayacak şekilde çeşitli revizyonlar yapıldı.

- Proje dışına çıkılarak rulman tipi değiştirildi. SL182972 tip rulman yerine 23972 tip rulman kullanıldı.



Rulman Tipi	SL 182972	23972
Rulman Ölçüleri (mm)	360X480X72	360X480X90
Temel dinamik yük oranı (kN)	1280	1456
Temel statik yük oranı (kN)	2600	2750

Şekil 12 Rulman Teknik Özellikleri



SL182972

23972

Şekil 13 Rulman Genel Görünümler

- Gövde tamirinin kaynaklı tamir yöntemiyle yapılması esnasında oluşan gerilim ve çarpılmalar redüktör gövde ömrünü olumsuz etkileyeceğinden burçlu tamir yöntemine gidildi. Yeni rulman ölçülerine göre gövdeye ve rulmana oturacak şekilde hassas burç imalatı yapıldı.



Şekil 14 Hassas Burç İmalatı



Şekil 15 Burcun Oturacağı Kanalin Açılması

- Redüktör milinde yeni rulman ölçülerine göre revizyon yapıldı. Yeni rulmanın kalınlığının fazla olması nedeniyle milde bu ölçülere uygun fatura işlendi. Ayrıca hasarlanan rulman karşısının sabitlenip kilitlenmesi için rulman iç bileziğine basan sıkı geçme burç yapıp mile montajı yapıldı.



Şekil 16 Çıkış Kademe Milinin Rulmana Göre İşlenmesi

- Redüktör gövdesinde çıkış kademesini kilitlemesi için 2 parçalı flanş imal edilmiştir. Redüktör gövdesinde flanşın oturacağı yer işlenmiş ve delikler delinerek flanş redüktör gövdesine civatalar ile sabitlenmiştir.



Şekil 17 Flanş İmalatı



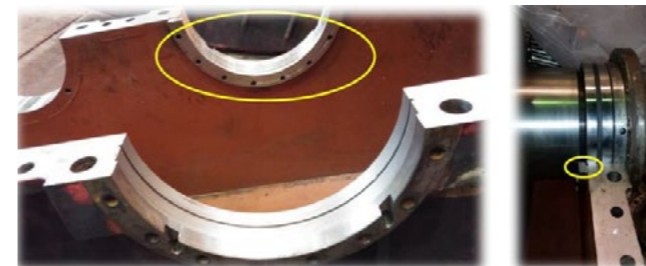
Şekil 18 Gövdede Flanşın Oturacağı Yerin İşlenmesi

- Redüktör gövdesinin rulman yatağı yeni tip rulmanın ölçülerine uygun şekilde segmanlı burçlu hale dönüştürülmüştür.



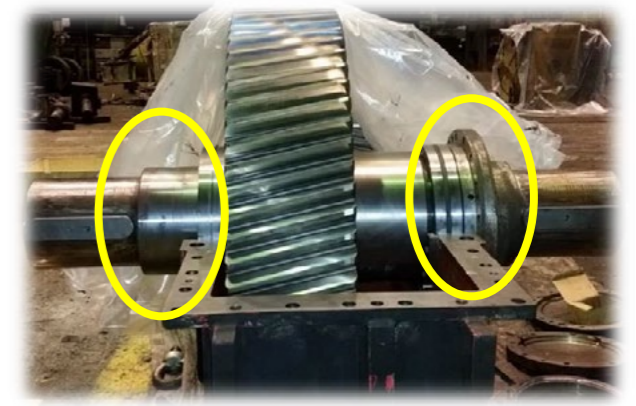
Şekil 19 Gövdede Flanşın Oturacağı Yerin İşlenmesi

- Yeni tip rulman redüktör gövdesine 2 parçalı flanşla sabitlenmiştir.



Şekil 20 Flanşların Sabitlenmesi

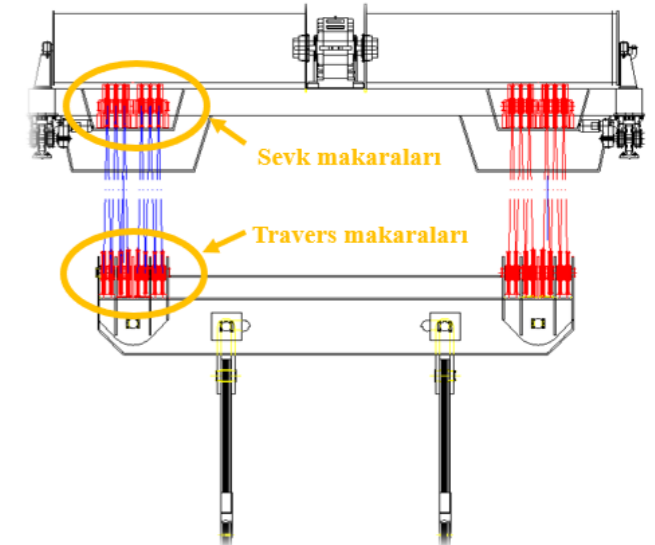
- Redüktör yeni sisteme göre toplandı ve kullanıma hazır duruma getirildi.



Şekil 21 Revize Edilmiş Redüktör

2.3. Vinç Travers ve Sevk Makarası Rulman Revizyonu

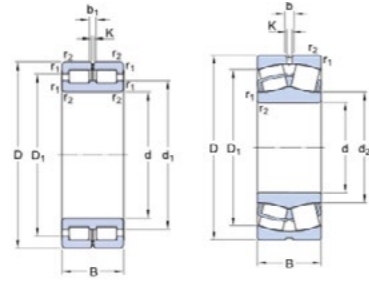
Çelikhane ve Sürekli dökümlerde çalışan 320/75/10 M.T. Kapasiteli CH-3, CH-4, SD-2, SD-3, SD-4 ve SD-5 nolu vinçlerin ana kaldırma sistemi travers ve sevk makaralarında kronikleşen rulman arızaları meydana gelmektedir. Rulman dağıtmasına bağlı olarak redüktör gövdesinde ve dişli milde de hasarlanma meydana gelmektedir.



Şekil 22 Travers Genel Görünüm

Arıza Kök Nedeni

Arızanın kök nedeni incelendiğinde, 1000 mm çapındaki halat makarası için seçilen NNC4836 tip çift sıra iğne makaralı rulmanın boyutsal ölçülerinin küçük olduğu ve buna bağlı olarak mukavemetinin yetersiz kaldığı öngörülmüştür.



Rulman Tipi	NNC4836	23938
Rulman Ölçüleri (mm)	180X225X45	190X260X52
Temel dinamik yük oranı (kN)	297	499
Temel statik yük oranı (kN)	695	800
Yorulma yük limiti (kN)	69,5	76,5
Çalışma Ömrü (saat)	43000	207000

Şekil 23 Rulman Teknik Özellikleri

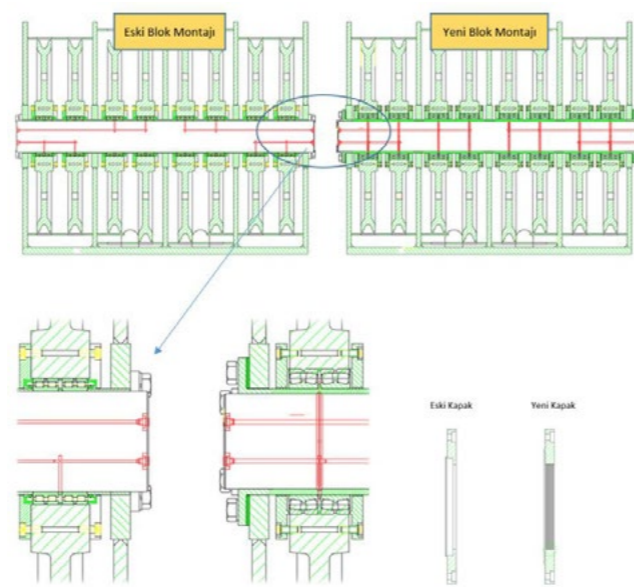


Şekil 24 Rulman Genel Görünümler

Travers ve Sevk Makarası Rulman Revizyonu

Problemi çözmek için çift sıra iğne makaralı rulman (NNC4836) yerine, çift sıra silindirik makaralı rulmana (23938) geçildi.

Travers ve denge makaralarında kullanılacak yeni rulmanın boyutları gereği imalat malzemelerinde (mil, kapak, burç vb.) değişiklik yapıldı. Ayrıca imalat malzemelerde demontaj-montaj kolaylığı sağlayacak ve yağlama kalitesini artıracak iyileştirmeler yapıldı.



Şekil 25 Revize Edilmiş Travers

2.3. Keççe Makara ve Dişli Rulman Revizyonu

Arızalan keççe tamir için Ç.K. atölyesine götürülür. Keççe tamiri uzun zaman gerektirir ve maliyetli bir süreçtir. Keççedeki hasarlı ekipmanlarının demontajı yapıldıktan sonra;

- Ç.K. atölyesinde keççenin çelik konstrüksiyon yapısında meydana gelen çatlak vb. hasarlanmaların tamir işleri yapılır.
- İmalat atölyesinde makara, mil, dişli vb. ekipmanların aşınan yüzeyleri torna tezgâhlarında tekrar işlenir. Eğer malzeme çok hasar görmüş ise yenisi ile değiştirilir.
- Montaj atölyesinde tüm rulman ve keççelerin değişimi yapılır.

Tüm süreçler aksamadan devam etmesi durumunda keççenin tamiri yaklaşık olarak 15 gün sürmektedir.



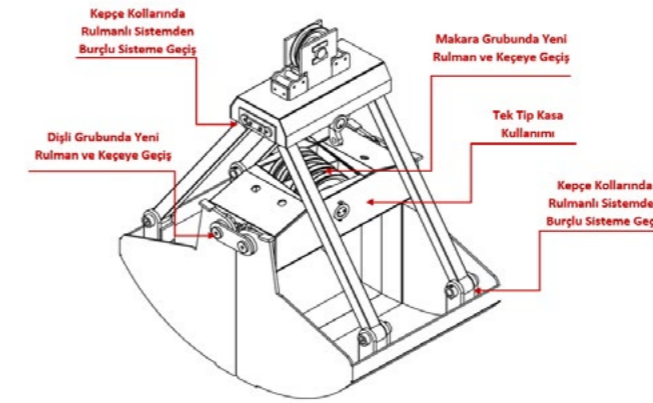
Şekil 26 Keççe Tamir Süreci

Arıza Kök Nedeni

Keççenin çalışma ömrünü uzatabilmek için öncelikle keççenin hasarlanma nedeni ve hasarlanma şekli incelendi. Buna göre; kok bataryası havuzundaki suyun çok sıcak (100°C civarları) olması sebebiyle keççeler kısa sürede deforme olmaktadır ve sıcak çamurlu su rulmanlara girmektedir. Bunun sonucunda rulmanlar hasarlanarak kullanılamaz duruma gelmektedir. Rulmanların hasarlanması nedeniyle mil, makara, dişli vb. imalat malzemeleri de hasarlanmaktadır. Keççe bu durumda işlevini yitirdiği için yedeği ile değiştirilmektedir.

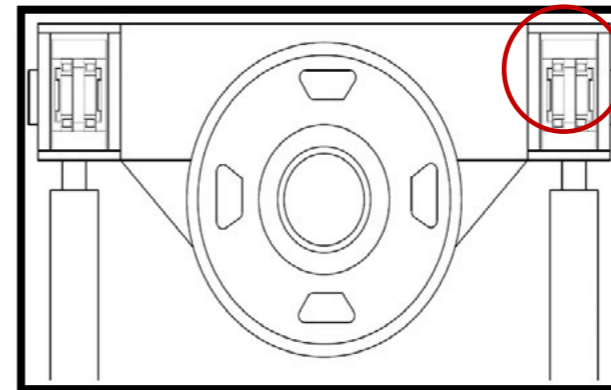
Keççe tasarımında yapılan revizyon ile;

- ✓ keççenin çalışma süresini uzatmak
- ✓ hazır ve imalat malzeme sarfiyatını azaltmak
- ✓ keççe bakım-onarım maliyetini azaltmak

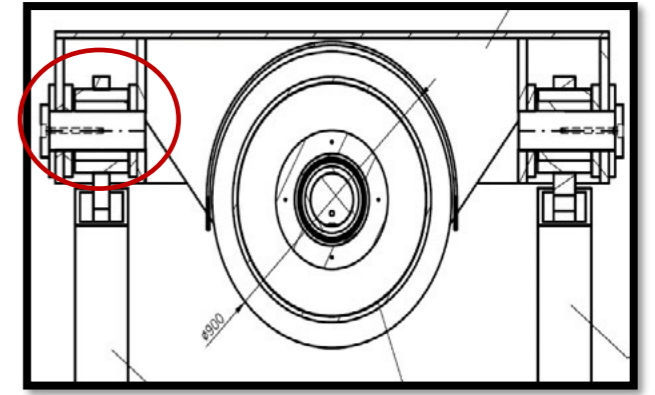


Şekil 27 Keççe Revizyon Süreci

Keççe Kollarında Rulmanlı Sistemden Burçlu Sisteme Geçiş



Şekil 28 Rulman ve Keççe Kullanılan Sistem



Şekil 29 Burç Kullanılan Sistem

Makara ve Dişli Sistemlerinde Güçlendirilmiş ve Büyütülmüş Rulman ve Keççeye Geçiş:

Orijinal Tasarım:

- Orijinal tasarımında; polyamid kafesli ve kapaksız rulman (NJ 214 ECP ve NJ 212 ECP) kullanılmıştır
- Yağ keççelerinin malzemesi nitril kauçuk olarak seçilmiştir

Yeni Tasarım:

- Yeni tasarımda çelik kafesli ve plastik kapaklı rulman (6214 2RS1-C3-WT ve 6216 2RS1-C3-WT) kullanılmıştır
- Yağ keççelerinin malzemesi flourel kauçuk (Viton) olarak seçilmiştir



Şekil 29 Rulman ve Keççe Genel Görünümler

Yeni tip rulmanın avantajları

- Sıcığa Dayanıklı Gres
- Kafes İle Bilya Arası Boşluk
- NBR Malzeme Rulman Kapağı
- Çelik Kafes Tek Sıra Bilyalı

Yeni tip keççenin avantajları

- 225°C Sıcaklıkta Çalışabilme

6216 2RS1 C3 WT

Şekil 30 Rulman ve Keççe Genel Özellikler

Yeni tip rulman kullanımında sağlanan avantajlar

1- İşletme sıcaklığının sürekli olarak 100°C ve üzerinde olması durumunda, polyamid kafesli rulmanların kullanılması uygun değildir. Rulmanlar bu sıcaklıkta çalıştığında kafes malzemesinin ömrü kısalmaktadır ve aşırı sıcaklıkta kalma süresi uzadıkça kafesteki yaşlanma hızlanmaktadır.

Çelik kafesler ise 300°C 'ye kadar olan işletme sıcaklıklarında kullanıma uygundur.

2- (2RS1) NBR kapaklar, rulman haznesi içindeki gres yağını içerde tutar, çamurun ve sıcak suyun rulman içerisine girmesini önler. Bu şekilde rulmanın korozyona uğraması engellenir ve rulmanın çalışma ömrü artar.

Table 2 Selection guidelines for SKF sealing solutions					
Requirement	Shields	Non-contact seals	Low-friction seals	Contact seals	
	Z, ZS	RZ	RSL	RSH	RS1
Low friction	+++	+++	++	○	○
High speed	+++	+++	+++	○	○
Grease retention	○	+	+++	+++	++
Dust exclusion	○	+	++	+++	+++
Water exclusion static	-	-	○	+++	++
Water exclusion dynamic	-	-	○	+	+
Water exclusion high pressure	-	-	○	+++	○

Symbols: +++ = best ++ = very good + = good ○ = fair - = not recommended

Şekil 31 Keçe Teknik Özellik Tablosu

3- Yaklaşık 100 °C sıcaklığındaki çamur havuzunda çalışan rulmanlarda meydana gelen genleşme nedeniyle rulman yuvasına dışarıdan girebilen partiküller, rulmanın dönme performansını olumsuz yönde etkilemektedir. Rulmandaki C3 radyal boşluk bu problemi azaltmaktadır.

4- Rulmanın fabrikada standarttan farklı yüksek performanslı gresle (WT) doldurulmuş olması sıcak suda çalışan rulman için ekstra bir bariyer sağlamaktadır. Bu sayede rulmanın dayanımını artırılmaktadır.

5- Rulmanların boyutları büyütülmüştür, bu şekilde rulmanların dinamik ve statik dayanımları artırılmıştır. Rulmanların büyütülebilmesi için makara ve dişli göbek çapları büyütülmüştür.

	Dişli Eski Rulman	Dişli Yeni Rulman	Makara Eski Rulman	Makara Yeni Rulman
Boyut (mm)	60X110X22	70X125X24	70X125X24	80X140X26
Dinamik Yük Dayanımı (kN)	55,3	63,7	63,7	72,8
Statik Yük Dayanımı (kN)	36	45	45	55

Şekil 32 Rulman Teknik Özellik Tablosu

SONUÇLAR

Yapılan iyileştirme çalışmaları neticesinde, üretim sürekliliğinde olumlu yönde etkiler görülmüş ve bu sayede rulman arızalarından kaynaklanan büyük maddi kayıplar önemli ölçüde önlenmiştir.

Haddeleme Süreçlerinde Kalite Ölçüm Sistemleri ile Büyük Veri Oluşturma, Yapay Zeka Algoritmaları ile Arıza Tahmini ve Kalite Performanslarının Raporlanması

Generating Big Data with Quality Measurement Systems, Fault Prediction with Artificial Intelligence Algorithms and Reporting Quality Performances in Rolling Processes

Mehmet Emin CÜR MEN, Burak ÖZBEK, Burak CANBAZ, Görkem AYMELEK, Mustafa Ozan YILDIRIM, Serim GENÇASLAN, Denizcan BAĞDATLIOĞLU

SpechtLab
Türkiye

Özet

Endüstride üretimin performansı, tesislerinde kullanılan ekipman ve makinaların performansına bağlıdır. Performansa etki eden, en kritik parçalardan biri olan rulmanların, seçimi, bakımı ve yönetimi yönüyle, üretim sürekliliğine, proses güvenliğine etki eden öneme sahiptir. Demir çelik sektöründe kullanılan özel rulmanların da yönetimi bu yönüyle ayrı bir öneme sahiptir. Sektöre özel, sürekli dökümler taret sistemi rulmanları, sıcak maden taşıyan vinç redüktör ve travers rulmanları ve kok batarya taşıyan keçe rulmanı mevcut olup, bunlar için farklı çalışmalar yapılmıştır. Bu özel çalışmalardan seçme örnekler paylaşılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Demir çelik, çelikhane, konverter, rulman, taret, sürekli dökümler, vinç, travers, makara, sıvı çelik, kok batarya havuzu, keçe

Abstract

The performance of production in the industry depends on the performance of the equipment and machinery used in its facilities. Bearings, which are one of the most critical parts affecting performance, have an important effect on production continuity and process safety in terms of selection, maintenance and management. The management of special bearings used in the iron and steel industry has a special importance in this respect. There are industry-specific, continuous castings taret system bearings, mineral-carrying crane gear box and traverse bearings, and coke sink pool dipper dredger bearings, with different decorations for them. Selected examples from these special studies will be shared.

Keywords: Iron and steel, steel mill, converter, bearing, taret, continuous castings, crane, traverse, pulley, liquid steel, coke battery pool, dipper dredger

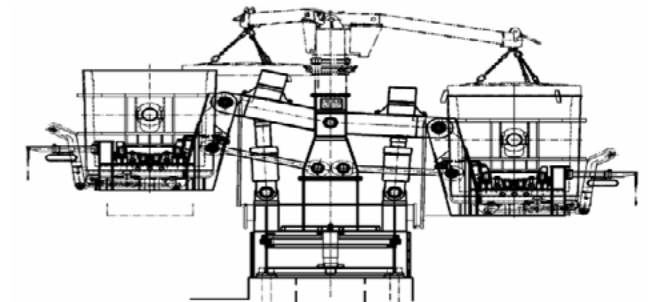
1. Giriş

Demir çelik sektöründe kullanılan rulmanlardan beklentiler; yüksek yük taşıma kapasitesi, yüksek sıcaklıkta çalışabilme özelliği, sızdırmazlığın optimum düzeyde olmasıdır. Ayrıca tercih edilen rulmanların sürekliliği önemlidir. Üretim anında rulman arızasından kaynaklanan plansız duruşların yaşanması, büyük maddi kayıplara neden olabileceğinden rulmanların seçimi, bakımı ve yönetimi büyük öneme sahiptir. Bu kapsamda fabrikamızda sektöre özel çözümler geliştirilmiştir.

2. Demir Çelik Sektörüne Özel Rulman Bakımı ve Yönetimi Örnek Çalışmalar

İSDEMİR üretim sahasında bulunan sürekli dökümler taret sistemi, sıcak maden taşıyan vinç kanca redüktörü ve travers, kok batarya havuzu keçe rulmanlarında farklı çalışmalar yapılmıştır.

2.1. Slap Taret Rulman Bakımı, Kontrolü ve Değişimi



Şekil 1 Taret Genel Görünüşü

Taretin Görevi

Pota istasyonlarında hazırlanan sıvı çelik dolu pota slab döküm makinelerinde bulunan tarete konular, taretin dönmesi ile sıvı çelik dolu pota döküm pozisyonuna alınır. Potadaki sıvı çelik boşaltıldıktan sonra taretin dönmesi ile boş pota arka pozisyona alınır ve bu şekilde taretin 360 derece dönebilmesi sayesinde dökümün sürekliliği sağlanmış olur.

Taret Rulmanı

Taretin dönmesi gövdesinde bulunan 4260 mm çapında dıştan dişli makaralı döner tabla rulmanı ile sağlanmaktadır. Yüksek sıcaklıkta çalışma koşullarına sahip olan rulman; - 7 yıl ve üzeri kullanım süresine sahip ise 3 ayda bir - 7 yıldan daha az kullanım süresine sahip ise 6 aylık periyotlarda kontrol ve bakımları yapılmaktadır.



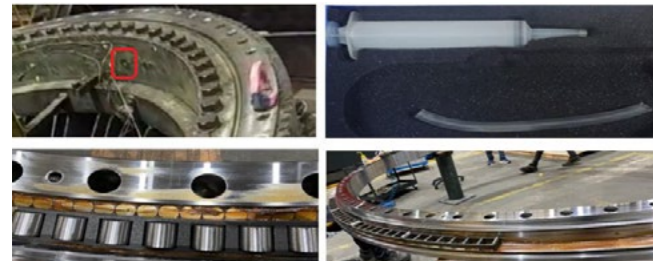
Şekil 2 Taret Rulmanı

Taret Rulman Kontrolü

Rulman kontrolü için iki aşamalı method takip edilmektedir; - Gres yağ kontrolü - Aşınma kontrolü

Taret Rulman Gres Yağı Kontrolü

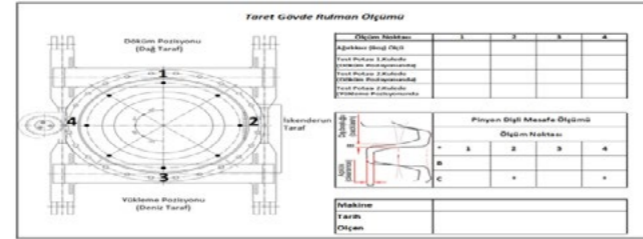
Taret rulmanı içerisinde bulunan numune noktalarından gres yağı örnekleri alınarak analize gönderilmektedir. Analiz esnasında gres içerisinde bulunabilecek metal yüzdesi kontrol edilir.



Şekil 3 Taret Rulmanı Gres Yağı Kontrolü

Taret Rulmanı Aşınma Kontrolü

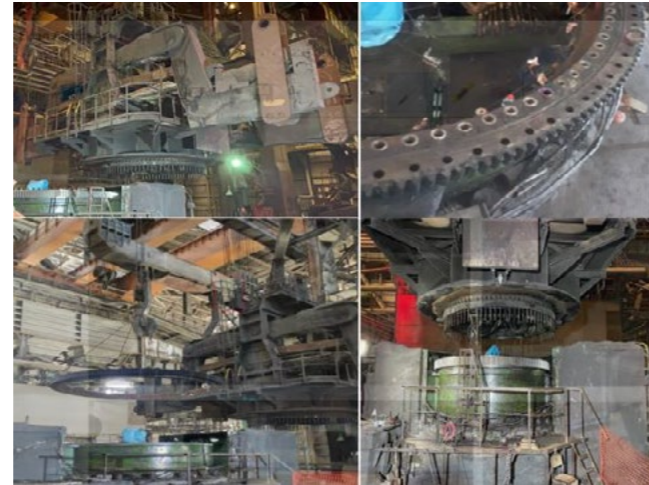
Taret gövdesi iç kısmında, sabit ve hareketli gövde üzerlerinde yer alan 4 adet ölçüm noktasından boş ve ağırlıklı pota ile ölçümler alınır. Yeni rulman montajı yapıldığında alınan ölçümlerle arasında 1.01 mm'den daha büyük değere sahipse rulman değişimine gidilir.



Şekil 4 Taret Rulmanı Aşınma Kontrolü

Taret Rulman Değişimi

Özel kaldırma ekipmanları ile taret kolları sabitlenerek, taret rulmanının bağlantı elemanları demonte edilir. Demontajı yapılan üst bölgedeki kollar vinç yardımıyla askıya kaldırılır. Rulman demontajı ve montajı tamamlandığında askıdan alınan üst kolların montajı tamamlanır.



Şekil 5 Taret Rulmanı Değişim

2.2. Vinç Kanca Redüktör Rulman Revizyonu

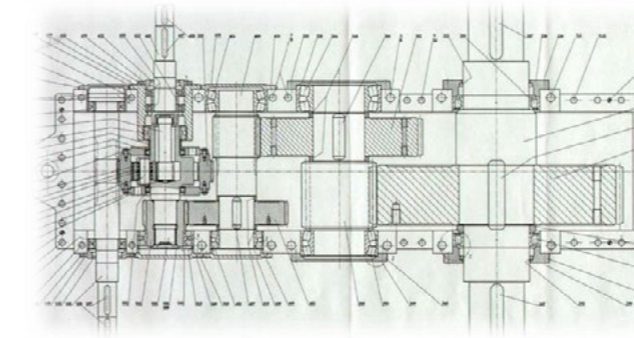
Redüktör Rulman Arızası

Çelikhane ve Sürekli dökümlerde çalışan 320/75/10 M.T. Kapasiteli CH-3, CH-4, SD-2, SD-3, SD-4 ve SD-5 nolu vinçlerin ana kaldırma sistemi redüktörü çıkış kademesinde kronikleşen rulman arızaları meydana gelmektedir. Rulman

dağıtmasına bağlı olarak redüktör gövdesinde ve dişli milde de hasarlanma meydana gelmektedir.

Arıza Kök Nedeni

Arızanın kök nedeni redüktörün çalışma sınıfının vincin çalışma kapasitesi ve şartlarına göre düşük değerde seçilmiş olmasıdır. Buna ek olarak işletme şartları nedeniyle redüktör üzerinde oluşan dinamik kuvvetlere karşı, rulmanın ve redüktör gövdesinin mukavemeti yetersiz kalmakta ve arıza meydana gelmektedir.



Şekil 6 Kanca Redüktör Çıkış Kademesi Rulmanı



Şekil 7 Redüktör Genel Görünüm



Şekil 8 Dişliler ve Rulmanlar Görünüm



Şekil 9 Hasarlı Rulman



Şekil 10 Hasarlı Redüktör Mili

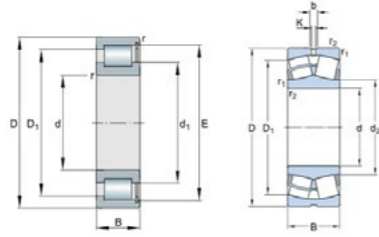


Şekil 11 Hasarlı Redüktör Gövdesi

Redüktör Çıkış Kademesi Rulmanı Revizyonu

Redüktörün tamir sürecinde güvenilirliği artıracak, kullanım ömrünü uzatarak sürdürülebilirliği sağlayacak şekilde çeşitli revizyonlar yapıldı.

- Proje dışına çıkılarak rulman tipi değiştirildi. SL182972 tip rulman yerine 23972 tip rulman kullanıldı.



Rulman Tipi	SL 182972	23972
Rulman Ölçüleri (mm)	360X480X72	360X480X90
Temel dinamik yük oranı (kN)	1280	1456
Temel statik yük oranı (kN)	2600	2750

Şekil 12 Rulman Teknik Özellikleri



SL182972

23972

Şekil 13 Rulman Genel Görünümler

- Gövde tamirinin kaynaklı tamir yöntemiyle yapılması esnasında oluşan gerilim ve çarpılmalar redüktör gövde ömrünü olumsuz etkileyeceğinden burçlu tamir yöntemine gidildi. Yeni rulman ölçülerine göre gövdeye ve rulmana oturacak şekilde hassas burç imalatı yapıldı.



Şekil 14 Hassas Burç İmalatı



Şekil 15 Burcun Oturacağı Kanalin Açılması

- Redüktör milinde yeni rulman ölçülerine göre revizyon yapıldı. Yeni rulmanın kalınlığının fazla olması nedeniyle milde bu ölçülere uygun fatura işlendi. Ayrıca hasarlanan rulman karşısının sabitlenip kilitlemesi için rulman iç bileziğine basan sıkı geçme burç yapıp mile montajı yapıldı.



Şekil 16 Çıkış Kademe Milinin Rulmana Göre İşlenmesi

- Redüktör gövdesinde çıkış kademesini kilitlemesi için 2 parçalı flanş imal edilmiştir. Redüktör gövdesinde flanşın oturacağı yer işlenmiş ve delikler delinerek flanş redüktör gövdesine civatalar ile sabitlenmiştir.

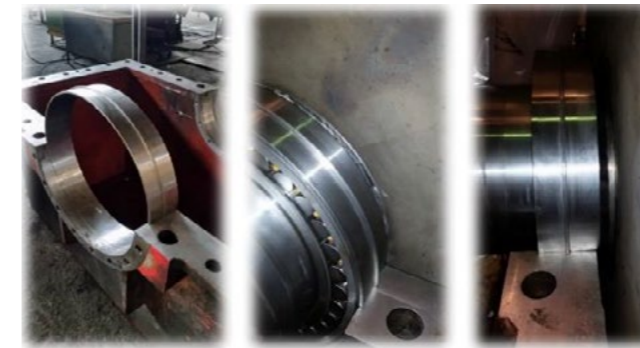


Şekil 17 Flanş İmalatı



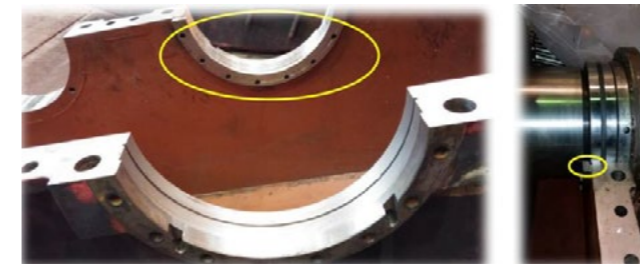
Şekil 18 Gövdede Flanşın Oturacağı Yerin İşlenmesi

- Redüktör gövdesinin rulman yatağı yeni tip rulmanın ölçülerine uygun şekilde segmanlı burçlu hale dönüştürülmüştür.



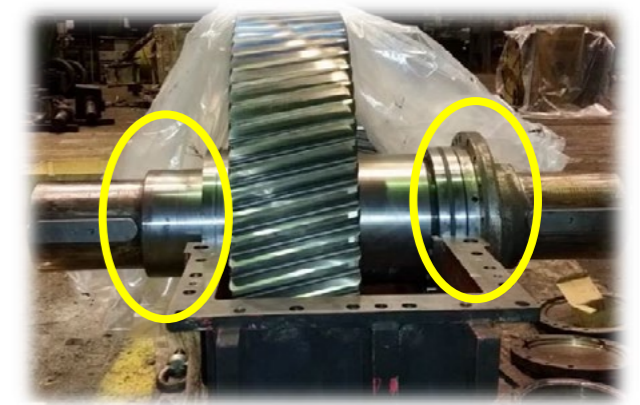
Şekil 19 Gövdede Flanşın Oturacağı Yerin İşlenmesi

- Yeni tip rulman redüktör gövdesine 2 parçalı flanşla sabitlenmiştir.



Şekil 20 Flanşların Sabitlenmesi

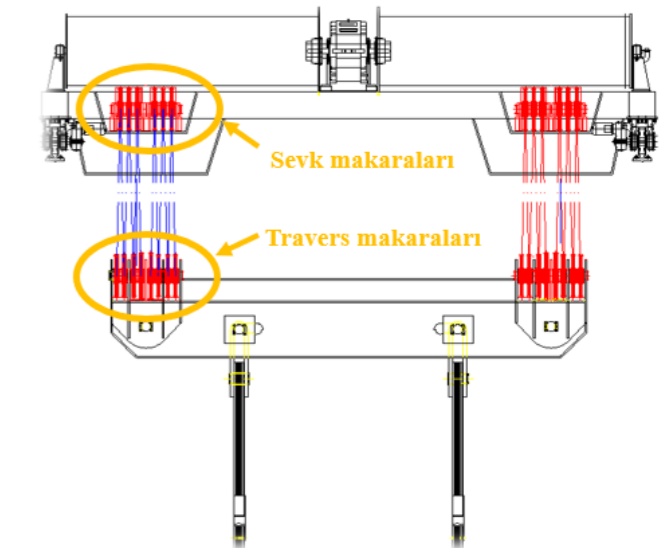
- Redüktör yeni sisteme göre toplandı ve kullanıma hazır duruma getirildi.



Şekil 21 Revize Edilmiş Redüktör

2.3. Vinç Travers ve Sevk Makarası Rulman Revizyonu

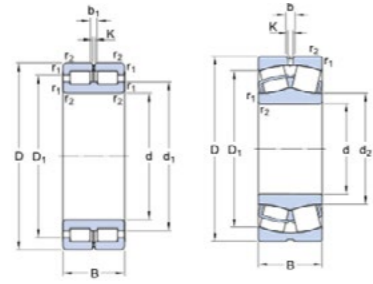
Çelikhane ve Sürekli dökümlerde çalışan 320/75/10 M.T. Kapasiteli CH-3, CH-4, SD-2, SD-3, SD-4 ve SD-5 nolu vinçlerin ana kaldırma sistemi travers ve sevk makaralarında kronikleşen rulman arızaları meydana gelmektedir. Rulman dağıtmasına bağlı olarak redüktör gövdesinde ve dişli milde de hasarlanma meydana gelmektedir.



Şekil 22 Travers Genel Görünüm

Arıza Kök Nedeni

Arızanın kök nedeni incelendiğinde, 1000 mm çapındaki halat makarası için seçilen NNC4836 tip çift sıra iğne makaralı rulmanın boyutsal ölçülerinin küçük olduğu ve buna bağlı olarak mukavemetinin yetersiz kaldığı görülmüştür.



Rulman Tipi	NNC4836	23938
Rulman Ölçüleri (mm)	180X225X45	190X260X52
Temel dinamik yük oranı (kN)	297	499
Temel statik yük oranı (kN)	695	800
Yorulma yük limiti (kN)	69,5	76,5
Çalışma Ömrü (saat)	43000	207000

Şekil 23 Rulman Teknik Özellikleri

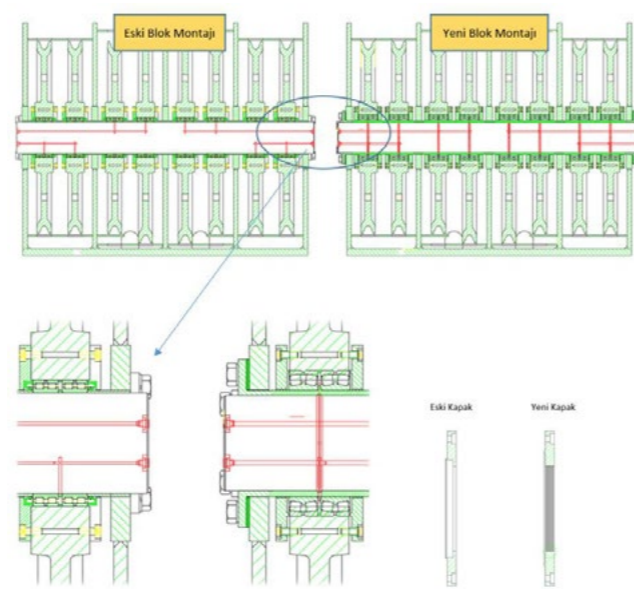


Şekil 24 Rulman Genel Görünümler

Travers ve Sevk Makarası Rulman Revizyonu

Problemi çözmek için çift sıra iğne makaralı rulman (NNC4836) yerine, çift sıra silindirik makaralı rulmana (23938) geçildi.

Travers ve denge makaralarında kullanılacak yeni rulmanın boyutları gereği imalat malzemelerinde (mil, kapak, burç vb.) değişiklik yapıldı. Ayrıca imalat malzemelerde demontaj-montaj kolaylığı sağlayacak ve yağlama kalitesini artıracak iyileştirmeler yapıldı.



Şekil 25 Revize Edilmiş Travers

2.3. Kepçe Makara ve Dişli Rulman Revizyonu

Arızalan keçe tamir için Ç.K. atölyesine götürülür. Keçe tamiri uzun zaman gerektirir ve maliyetli bir süreçtir. Keçedeki hasarlı ekipmanlarının demontajı yapıldıktan sonra;

- Ç.K. atölyesinde keçenin çelik konstrüksiyon yapısında meydana gelen çatlak vb. hasarlanmaların tamir işleri yapılır.
- İmalat atölyesinde makara, mil, dişli vb. ekipmanların aşınan yüzeyleri torna tezgâhlarında tekrar işlenir. Eğer malzeme çok hasar görmüş ise yenisi ile değiştirilir.
- Montaj atölyesinde tüm rulman ve keçelerin değişimi yapılır.

Tüm süreçler aksamadan devam etmesi durumunda keçenin tamiri yaklaşık olarak 15 gün sürmektedir.



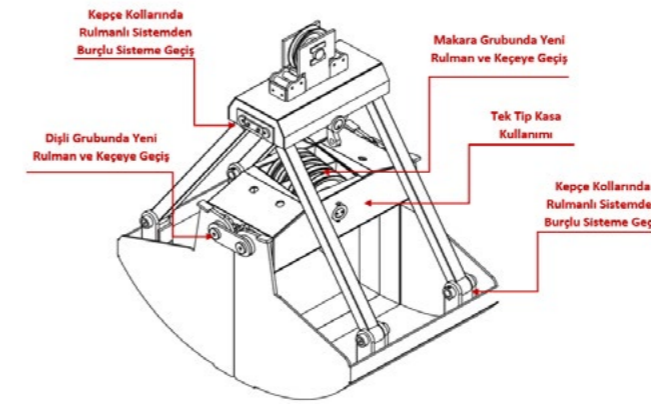
Şekil 26 Kepçe Tamir Süreci

Arıza Kök Nedeni

Keçenin çalışma ömrünü uzatabilmek için öncelikle keçenin hasarlanma nedeni ve hasarlanma şekli incelendi. Buna göre; kok bataryası havuzundaki suyun çok sıcak (100°C civarları) olması sebebiyle keçeler kısa sürede deforme olmaktadır ve sıcak çamurlu su rulmanlara girmektedir. Bunun sonucunda rulmanlar hasarlanarak kullanılamaz duruma gelmektedir. Rulmanların hasarlanması nedeniyle mil, makara, dişli vb. imalat malzemeleri de hasarlanmaktadır. Keçe bu durumda işlevini yitirdiği için yedeği ile değiştirilmektedir.

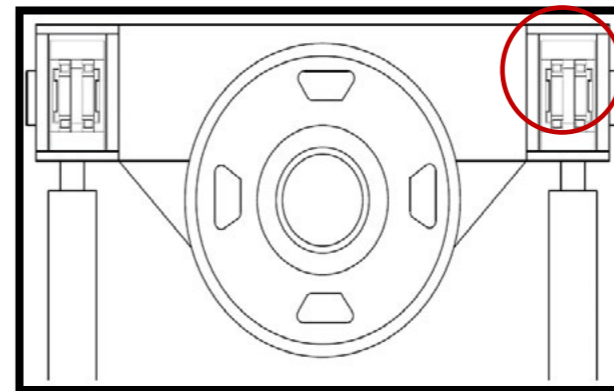
Keçe tasarımında yapılan revizyon ile;

- ✓ keçenin çalışma süresini uzatmak
- ✓ hazır ve imalat malzeme sarfiyatını azaltmak
- ✓ keçe bakım-onarım maliyetini azaltmak

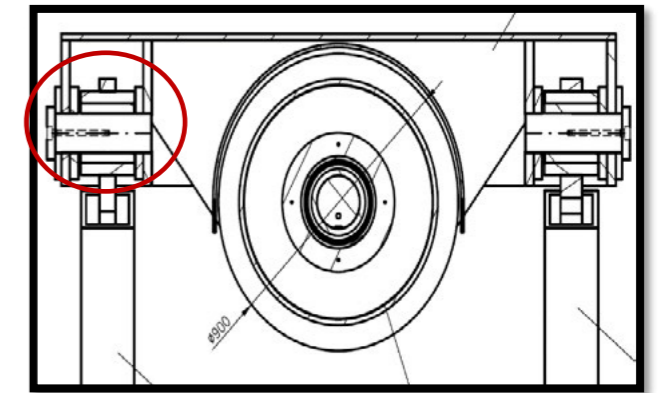


Şekil 27 Kepçe Revizyon Süreci

Keçe Kollarında Rulmanlı Sistemden Burçlu Sisteme Geçiş



Şekil 28 Rulman ve Keçe Kullanılan Sistem



Şekil 29 Burç Kullanılan Sistem

Makara ve Dişli Sistemlerinde Güçlendirilmiş ve Büyütülmüş Rulman ve Keçeye Geçiş:

Orijinal Tasarım:

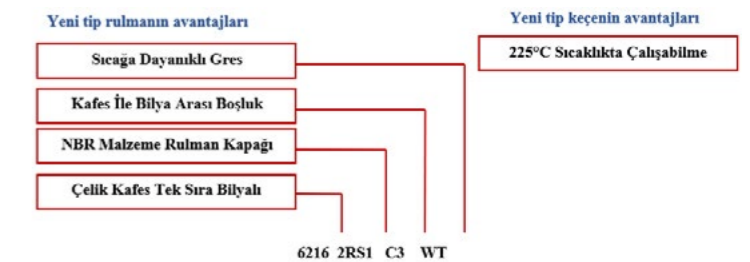
- Orijinal tasarımında; polyamid kafesli ve kapaksız rulman (NJ 214 ECP ve NJ 212 ECP) kullanılmıştır
- Yağ keçelerinin malzemesi nitril kauçuk olarak seçilmiştir

Yeni Tasarım:

- Yeni tasarımda çelik kafesli ve plastik kapaklı rulman (6214 2RS1-C3-WT ve 6216 2RS1-C3-WT) kullanılmıştır
- Yağ keçelerinin malzemesi flourel kauçuk (Viton) olarak seçilmiştir



Şekil 29 Rulman ve Keçe Genel Görünümler



Şekil 30 Rulman ve Keçe Genel Özellikler

ADVERTISEMENTS

REKLAMLAR

*bağımız
sağlam*

bastugmetalurji.com.tr

BAŞTUÇ
METALURJİ SANAYİ A.Ş.



78 YILDIR GURURLA

78 yıllık grup geçmişimizle Çolakoğlu Metalurji olarak ülkemizin geleceğine yatırım yapıyor, yerel katma değer artırılması için var gücümüzle çalışıyoruz. Yenilikçi yaklaşımımız, nitelikli çalışanlarımız ve fark yaratan çalışmalarımız ile Türk ekonomisine katkıda bulunmanın gururunu yaşıyoruz. Dün olduğu gibi yarın da aynı cesaret ve sorumlulukla sürdürülebilir bir gelecek için çalışmaya devam edeceğiz.



 **Çolakoğlu Metalurji**

www.colakoglu.com.tr

 [colakoglumetalurjias](https://www.instagram.com/colakoglumetalurjias) [colakoglumetalurji.as](https://www.facebook.com/colakoglumetalurji.as) [ColakogluGroup](https://twitter.com/ColakogluGroup) [Çolakoğlu Metalurji A.Ş.](https://www.linkedin.com/company/colakoglu-metalurji-a-s)

B500C DEPREME DAYANIKLI ÇELİKLERLE HAYATA GÜLÜMSEYİN!



EKİNCİLER DEMİR VE ÇELİK SANAYİ A.Ş.

YENİ DEPREM YÖNETMELİĞİ İLE
KULLANIMI RESMİ OLARAK ONAYLANMIŞ OLAN

B500C KALİTE = EKİSİMİK®

DEPREME DAYANIKLI ÇELİKLERLE
DAHA GÜVENLİ YAŞAM ORTAMLARI

SUNAR...



EKİNCİLER DEMİR VE ÇELİK SANAYİ A.Ş.

Organize Sanayi Bölgesi Orhan Ekinci Bulvarı No: 3

Sarıseki İskenderun / HATAY

Tel: 0326 656 22 00 / Fax: 0326 656 33 55

E-Posta: info@ekinciler.com Web: www.ekinciler.com



Dünyayı döndüren,
**ÇELİĞİN
GÜCÜ**



Sağlam ve aydınlık bir gelecek için daima daha iyisini üretiyor,
ülkemizin büyümesine güç katmaya devam ediyoruz.

 **İÇDAŞ®**
www.icdas.com.tr



**TECRÜBEDEN
GELEN GÜÇLE
GELECEĞE**





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.

www.kaptangrupturkiye.com

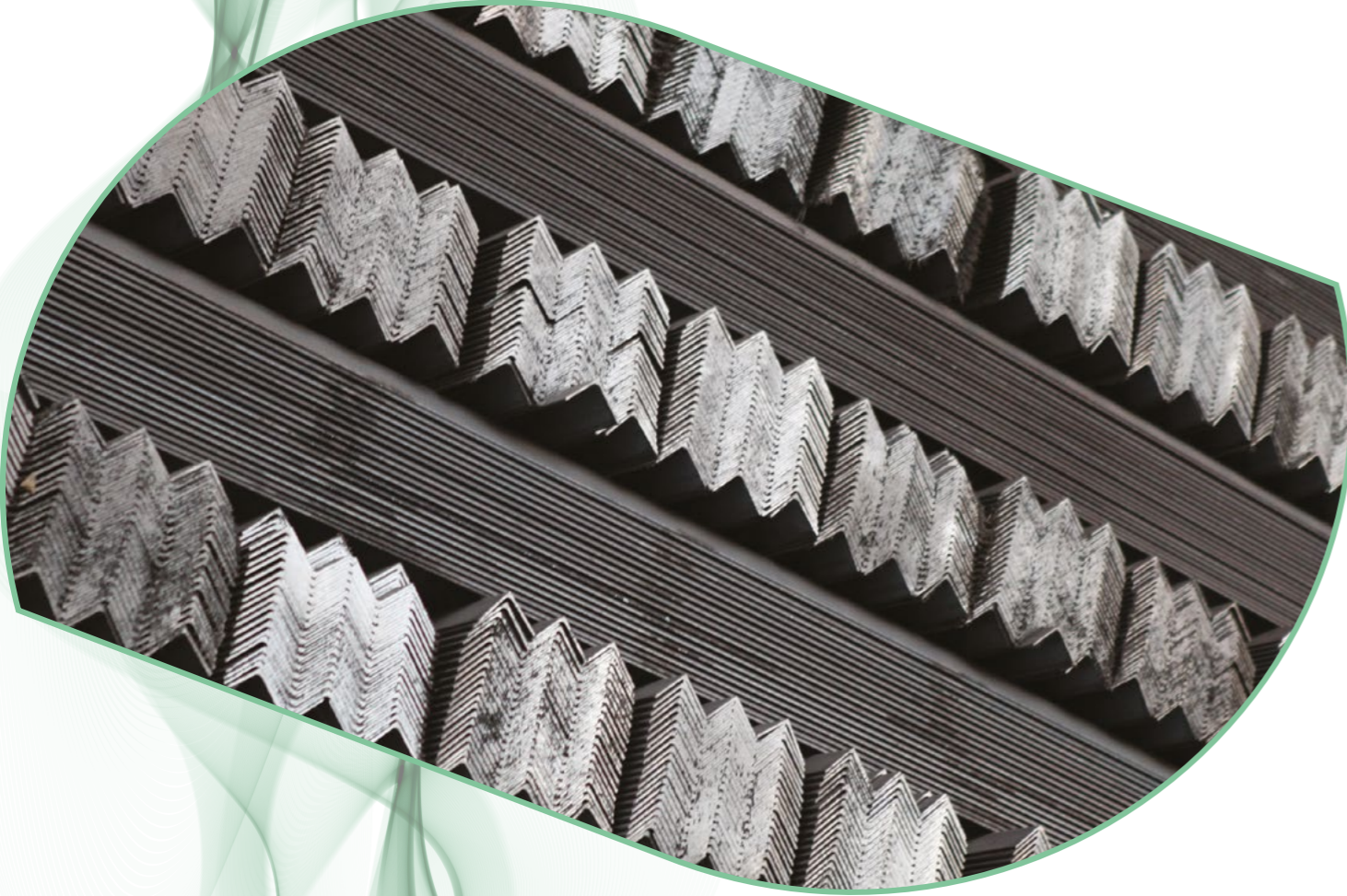
**WE ARE BUILDING
THE FUTURE
OF STEEL
BY COMBINING ITS
QUALITY AND STRENGTH.**

 STEEL
MMK METALURJİ

mmkturkey.com.tr |     /mmkmetalurji

SÜRDÜRÜLEBİLİR YAŞAM İÇİN TOSYALI

Türkiye Çelik Sektöründe Yeşil Dönüşümün Lideri Olarak
Yaşam İçin Önce Çeliği Dönüştürmek En Büyük Hedefimiz
'Çelik Dönüşürse Hayat Dönüşür'



- Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Hidrojen Kullanımı
- Yüksek Teknoloji Yatırımları
- Karbonsuzlaşmaya Yönelik Ar&Ge Çalışmaları
- Döngüsel Ekonomi ve Atık Yönetimi



YAZICI DEMİR ÇELİK VE TURZ. TİC A.Ş.

Sarşeki Mahallesi Organize Sanayi Bölgesi İskenderun/Hatay

Tel: (0326) 656 2300 - 14

Fax: (0326) 656 2315 - 16

EN GÜÇLÜ

GRES SERİMİZ İLE TANIŞIN



Not just any rebar
it's CARES
certified
rebar



UZUN YATAK
ÖMRÜ



OPTİMUM
YAĞLAMA SÜRESİ



YÜKSEK YÜK
DAYANIMI



DAHA UZUN
SERVİS ÖMRÜ



DAHA DÜŞÜK
SÜRTÜNME ETKİSİ



DAHA DÜŞÜK
VİBRASYON



DAHA DÜŞÜK
SICAKLIK



MÜKEMMEL
SÜRTÜNME ÖNLEME

Your **Guides**

Guides



Specification
Guide



That is why you should specify CARES certified - not just any rebar

Castrol MOLUB-ALLOY

carescertification.com

Assured Steel Certification

Independent | Impartial | Trusted

Mobil Vacuoline™ 500 Serisi Yatak yağlaması için mükemmel seçim!

Mobil Vacuoline™ 500 Serisi, mükemmel sudan ayrılma özelliği ve korozyondan koruma performansı ile yataklarda yaşanan arızaları azaltmanıza yardımcı olur.

Avantajları ve sağlayabileceği faydalar

- Daha az plansız duruş ve daha düşük bakım maliyetleri
- Kritik yataklar ve dişliler için mükemmel koruma
- Sudan hızlı ayrışma, daha az duruş zamanı ve sürekli aşınma koruması
- Uzun yağ değişim aralıkları ve beklenmeyen üretim kesintilerinden kaynaklanan maliyetlerin önüne geçilmesi

Şartnameler ve Onaylar

Bu ürün aşağıdaki onaylara sahiptir:

DANIELI Tip 21-0.597654.F BGV No Twist Stand
Block-TMB/TFS Rev 15

Bu ürün aşağıdaki şartnameleri karşılar veya aşar:

Morgan No-Twist® Mill Oil Quality Specification

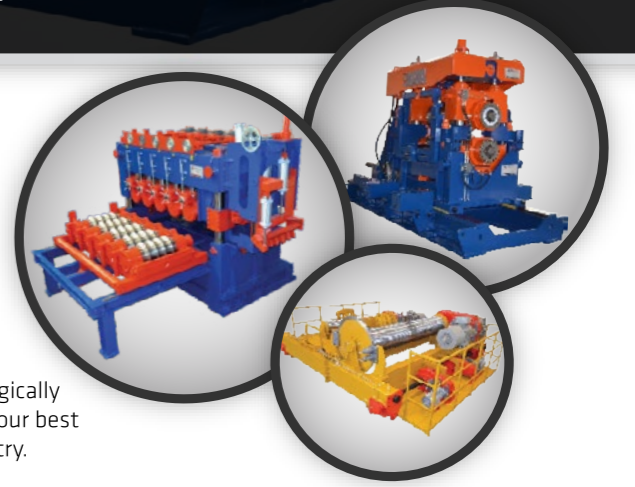
www.mobiloil.com.tr

GERMAKSAN
GERMÜHENDİSLİK
YOUR INDUSTRIAL SOLUTIONS PARTNER

TURN-KEY ROLLING MILL PLANT - MELTSHOP - CRANE - GEAR - GEARBOX
COOLING PLATFORM - SHEARS - SHAFTS - LOOPER - TERMEX

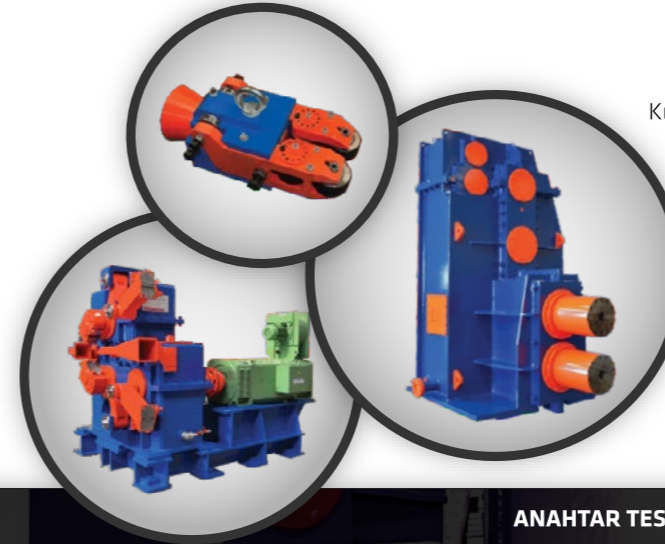
“Valuable Industrialists and entrepreneurs of Iron & Steel Sector”

The Global iron and steel manufacturing is an ever growing industry easily benefiting every technological development. We have been committed to maximize the efficiency and minimize the production costs. For over 35 years, we have been working with a growing enthusiasm and constantly innovating ourselves to supply the top quality machinery and excellent engineering services for our clients. Thanks to our R & D department it is no surprise to see the positive results of our hard work to minimize the energy consumption while keeping production at optimal levels for our clients. We are honoured to present you our products that are technologically well advanced and optimised by our experience. We strive to provide you with our best in order to support your competition in this intense global iron and steel industry.



“Demir Çelik Sektörünün Değerli Sanayicileri ve Girişimcileri”

Küresel demir ve çelik üretimi, sürekli büyüyen bir endüstridir. Her teknolojik gelişmeden yararlanarak verimliliği en üst düzeye çıkarmayı ve üretim maliyetlerini en aza indirmeyi taahhüt ettik. 35 yılı aşkın bir süredir, müşterilerimiz için en kaliteli makine ve mükemmel mühendislik hizmetlerini sağlamak için artan bir coşkuyla çalışıyoruz ve kendimizi sürekli yeniliyoruz. Ar-Ge departmanımız sayesinde, müşterilerimiz için üretimi optimum seviyelerde tutarken enerji tüketimini en aza indirmek için yoğun çalışmalarımızın olumlu sonuçlarını görmekten mutluluk duyuyoruz. Teknolojik olarak gelişmiş ve tecrübemizle optimize edilmiş ürünlerimizi sizlere sunmaktan onur duyuyoruz. Bu yoğun küresel demir-çelik endüstrisinde rekabetinizi desteklemek için elimizden gelenin en iyisini yapmaya çalışıyoruz.



ANAHTAR TESLİM HADDEHANE - ÇELİKHANE - VİNÇLER - DİŞLİLER - DİŞLİ KUTULARI
SOĞUTMA PLATFORMU - MAKASLAR - ŞAFTLAR - LOOPER - TERMEX



Acidere OSB, Anafartalar Cd.
No:8/A, Sarıçam/Adana/Turkey

+90 322 394 54 20

info@germaksan.com.tr
info@germuhendislik.com.tr

www.germaksan.com.tr
www.germuhendislik.com.tr

GREEN ENERGY ONLY
100% SOLAR POWERED
PRODUCTION

Mobil™





Rexroth
Bosch Group
ANA BAYII

hhidropar güney

Tahrik ve Kontrol Teknolojileri

Firmamız, Bosch Rexroth Hidrolik, Pnömatik, Doğrusal Hareket, Montaj Teknolojisi, Elektrik Tahrik ve Kontrol Sistemleri ile bunlardan oluşan mekatronik alanında, proje ve sistem mühendisliği çalışmalarını yoğunlaştırmış olup, bölgesindeki tüm müşterilerine güçlü stokları ve bayilik organizasyonu ile yedek parça, proje ve servis hizmeti sunmaktadır.

Adres: Kurtuluş Mah. Atatürk Cad. Vilayet Apt.
No:123/A Seyhan/ADANA

E-posta: info@guneyhidropar.com
Telefon: 0 (322) 351 51 00

www.hidroparguney.com

Yüksek kalite refrakter tuğla, monolitik ve prekast ürünler, tozları, tandış örtü tozları, bentonit, kömür tozu karışımları ve yüksek fırın dökümhanesi, yüksek fırın, yanma odası, vakum kazanı ve tav fırını projeleri ile demir-çelik ve metalurji sektörünün en güçlü çözüm ortağı

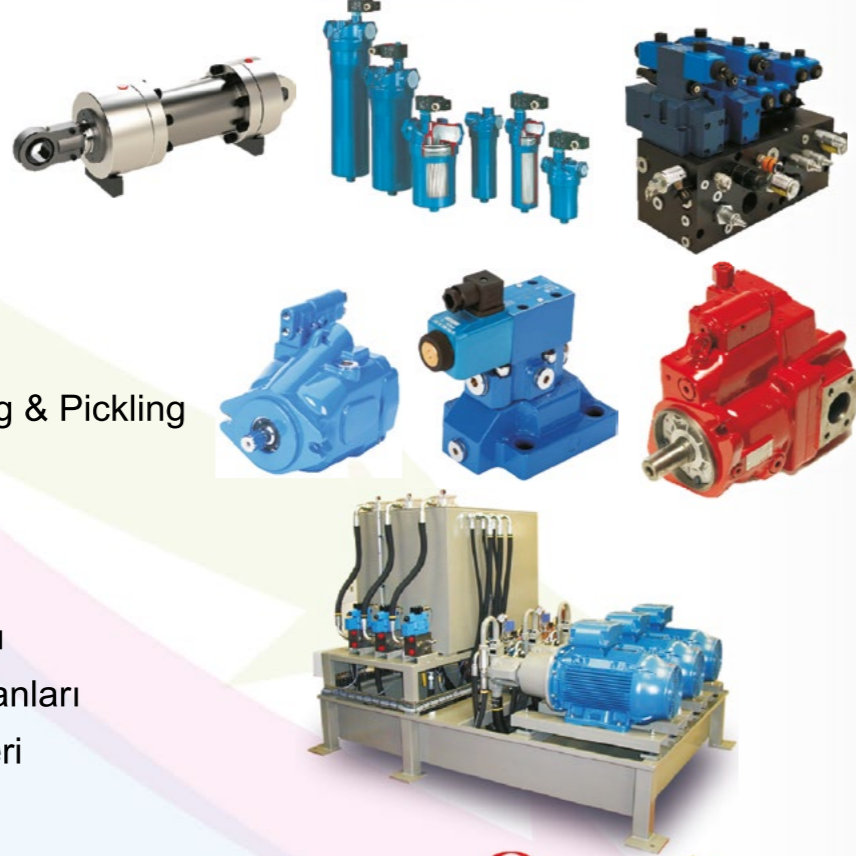


Büyükcavuşlu Mah. Çerkezköy Cad. No:587 Silivri, İSTANBUL / TÜRKİYE
T: +90 212 7453505 F: +90 212 7453515
www.haznedardurer.com

HAZNEDAR DURER
REFRACTORIES
a member of Calders



- ✓ Hidrolik Sistem Tasarımı
- ✓ Hidrolik Ünite İmalatı
- ✓ Hidrolik Silindir İmalatı
- ✓ Hidrolik Blok İmalatı
- ✓ Hidrolik Borulama Flushing & Pickling
- ✓ Hidrolik Ekipmanlar
- ✓ Pnömatik Ekipmanlar
- ✓ 700 Bar Ürün Grubu
- ✓ Döner Bağlantı Elemanları
- ✓ Hidrolik Filtre&Filtre Elemanları
- ✓ Toz Toplama Torba Filtreleri



İDÇ hayatın değerini bilir...

Çeliği daha verimli üretmeyi amaçlayan İDÇ, sürdürülebilir ürünlerle çevreye ve doğaya sahip çıkıyor, çünkü geleceği önemsiyor. İDÇ, aldığı uluslararası sertifikalar ile kaliteye, çevreye, iş sağlığı ve güvenliğine, etik ve sosyal haklara gösterdiği duyarlılığı tescillenen, Sürdürülebilir Çelik sertifikasını alan ilk Türk firmasıdır.



Sürdürülebilir inşaat çeliği sertifikası, inşaat çeliği üretimi için hammadde satın alınmasından son ürüne kadar; sıvı çelik üretimi, döküm ve haddeleme dahil tüm üretim süreçlerini kapsamaktadır. Bu sertifikanın amacı, inşaat firması olan müşterilerimize kaliteli ürün sağlanmasının yanı sıra, sürdürülebilirlik prensiplerine uyularak üretim yapıldığı konusunda teminat verilmesi, sürdürülebilirlik performansı ve seviyesinin belirlenmiş olan kriterlere göre düzenli aralıklarla raporlandığının, bağımsız olarak denetlendiğinin ve değerlendirildiğinin beyan edilmesidir.





Türk Refrakter Sanayi'nin öncü kuruluşu Kiltaş olarak 45. kuruluş yılımızı kutlamanın haklı gururunu yaşıyoruz.
Bizi bu günlere getiren müşterimiz ve çözüm ortaklarımıza şükran duygularımızla..



Plastikler Betonlar İzoleler Düşük Çimentolu Beton Çok Düşük Çimentolu Beton	Çimentosuz Beton Akışkan Beton Püskürtmeler Tamir Harçları Asidik Astarlar	Nötr Astarlar Seramik Elyaf Malzemeleri Seramik Boyalar Tuğlalar
--	--	---

Fevzipaşa Mahallesi Yürek Sokak No:10
Değirmenköy/Silivri/İSTANBUL

444 3 012
+90 212 332 30 20 (pbx)
+90 212 332 08 15

www.kiltas.com.tr
444 3 012

GREEN STEEL FOR A ZERO-CARBON WORLD

Our vision for sustainable metals production is one of net-zero carbon emissions. So we are forging ahead to bring the metals sector closer to this ultimate goal. Green solutions from Primetals Technologies have helped metals producers minimize their CO₂ footprints for years. But delivering net-zero 2050 will take a true game changer. This is why we focus on plants that run on green hydrogen. For a bright future in a more sustainable world.

primetals.com



SAGLAM METAL

İŞİNİ SAĞLAM AL

ÇELİK

Ortağımız Alman takım çeliği şirketi Dörrenberg Edelstahl ile kaliteli ürünler ve müşteri odaklı hizmet.

BAKIR

Bakır alışimlarında 30 yılı aşkın tecrübeyle sektörde güvenin adresi.

BRONZ

Müşteri taleplerine uygun olarak döküm, dövme, ısıl işlem ve teknik resme göre talaşlı imalat.

ISIL İŞLEM

Türkiye'nin en modern ekipmanlarıyla donatılan Dünya standardında bir tesis.

GERİ DÖNÜŞÜM

"Sürdürülebilir Kalkınma" amaçlarına hizmet eden uygulamalar ile doğaya katkı.

LOJİSTİK

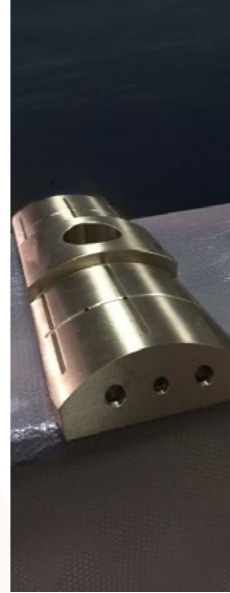
Sağlam Lojistik ile hızlı, güvenilir ve takip edilebilir lojistik sistemi.

Daha fazla bilgi için...

0850 205 20 95

INFO@SAGLAMMETAL.COM

WWW.SAGLAMMETAL.COM



DAHA VERİMLİ BİR GELECEK BİZİMLE MÜMKÜN

Shell Madeni Yağ Çözümleri olarak, operasyonel ihtiyaçlarınıza uygun olan geniş ürün portföyümüz ile yanınızdayız.

100 YIL
SHELL TÜRKİYE
1923 - 2023





SMS  group

INTEGRATED LIFECYCLE PARTNERSHIP

Integrated solutions boosting plant performance

To be the leading partner for our customers in this transformation, SMS group bundles all competencies from electrics/automation, digitalization, and technical service. Our goal is to maintain and expand the performance of our customers' plants throughout their entire lifecycle. Together with our customers, we develop integrated solutions specifically geared to the customer's use case. In doing so, we focus on crucial KPIs such as plant availability, product quality, productivity, or delivery reliability but also on increasingly relevant topics such as sustainability and safety.



50 YILLIK TECRÜBE

SÜPERREF

ÇELİĞİNİZ BUNA DEĞER