



ISRS'2025

3rd INTERNATIONAL
STEEL ROLLING
SYMPOSIUM
29 - 30 MAYIS 2025
İSKENDERUN

3. ULUSLARARASI
H A D D E
SEMPOZYUMU



PROCEEDINGS
e-BOOK
BİLDİRİLER e-KİTABI

ROLLING STEEL WITH TECHNOLOGY AND FUTURE ON TRUST
ÇELİĞİ TEKNOLOJİYLE, GELECEĞİ GÜVENLE ŞEKİLLENDİRİYORUZ





ROLLING STEEL WITH TECHNOLOGY AND FUTURE ON TRUST
ÇELİĞİ TEKNOLOJİYLE, GELECEĞİ GÜVENLE ŞEKİLLENDİRİYORUZ



Coordinator of the Symposium / Sempozyum Koordinatörlüğü
UCTEA Chamber of Metallurgical and Materials Engineers' Training Center
TMMOB Metalurji ve Malzeme Mühendisleri Odası Eğitim Merkezi
Kültür Mahallesi, Çaldıran Sokak Nida Apt. No: 14 / 13 Kızılay Çankaya ANKARA
Mobile: +90 533 690 87 82 / Phone: +90 312 425 41 60
E-mail: isrs@isrs-mtm.com



**STEEL
ROLLING**

ISRS'2025

3rd INTERNATIONAL
STEEL ROLLING
SYMPOSIUM
29 - 30 MAYIS 2025
İSKENDERUN

3. ULUSLARARASI
H A D D E
SEMPOZYUMU

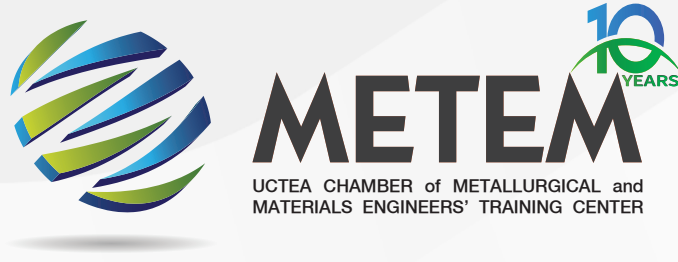
**PROCEEDINGS e-BOOK
BİLDİRİLER e-KİTABI**



METEM
TMMOB METALURJİ VE MALZEME
MÜHENDİSLERİ ODASI EĞİTİM MERKEZİ

www.isrs-mtm.com | isrs@isrs-mtm.com | [f isrs.mtm](https://www.facebook.com/isrs.mtm) | [X isrs_mtm](https://www.x.com/isrs_mtm) | [isrs_mtm](https://www.instagram.com/isrs_mtm) | [in isrs-mtm](https://www.linkedin.com/company/isrs-mtm)

UCTEA CHAMBER OF METALLURGICAL AND MATERIALS ENGINEERS
TMMOB METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLERİ ODASI



UCTEA CHAMBER OF METALLURGICAL AND MATERIAL ENGINEERS' TRAINING CENTER

METEM (UCTEA Chamber of Metallurgical and Materials Engineers' Training Center), celebrating its 10th anniversary this year, 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 congress and symposium organizations such as the ALUS International Aluminum Symposium, BHTS Bosphorus International Heat Treatment Symposium, EFRS International Iron and Steel Symposium, ESWS Employee Safety and Wellbeing Symposium in Metallurgy Sector, IMMC International Metallurgy and Materials Congress and ISRS International Steel Rolling Symposium, 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

Bu sene 10. yaşını kutlayan 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.

ALUS Uluslararası Alüminyum Sempozyumu, BHTS Boğaziçi Uluslararası Isıl İşlem Sempozyumu, EFRS Uluslararası Demir Çelik Sempozyumu, ESWS Metalurji Sektöründe Çalışan Güvenliği ve Esenliği Sempozyumu, IMMC Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, ISRS Uluslararası Hadde Sempozyumu gibi birçok kongre ve sempozyum organizasyonlarını gerçekleştirmektedir.

Bunun yanı sıra genel katılıma açık, şirket içi 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.



EXECUTIVE BOARD YÜRÜTME KURULU

ROLLING STEEL WITH TECHNOLOGY AND FUTURE ON TRUST
ÇELİĞİ TEKNOLOJİYLE, GELECEĞİ GÜVENLE ŞEKİLLENDİRİYORUZ

www.isrs-mtm.com | isrs@isrs-mtm.com | isrs.mtm | isrs_mtm | isrs_mtm | isrs-mtm



Kadir KARA (Chairman)
Ekinciler Demir Çelik



Alper AKÜN
SSAB



Ayhan AYDIN
İskenderun Demir Çelik



Tuna BEYDOĞAN
Habaş



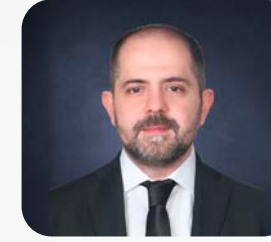
Andaç BİRİŞÇİ
Cares



S. Baran BURAT
Repkon Makine



Nuri GÜRKAN
İzmir Demir Çelik



Osman IŞIKGÜL
Karabük Demir Çelik



Bahri İKİZ
Tosyalı Demir Çelik



Saygın KAÇAR
Borçelik



Mahmut KESKİNCİ
Çolakoğlu Metalurji



Ceyhun KOZAK
Kardemir Çelik



Cevdet ÖZDURMUŞ
Diler Demir Çelik



Melih SAÇAN



Metin YERLİGÜL
Yazıcı Demir Çelik

SUPPORTING MANUFACTURERS DESTEKLEYEN ÜRETİCİ FİRMALAR



GALA DINNER SPONSOR GALA YEMEĞİ SPONSORU



COFFEE BREAK SPONSOR COFFEE BREAK SPONSORU



PLATINUM SPONSORS PLATİN SPONSORLAR



SILVER SPONSORS GÜMÜŞ SPONSORLAR



EXHIBITORS SERGİ KATILIMCILARI

Firm // Firma	Hall // Salon	Stand No
3-S TEKNİK	SEA SIDE 1 / DENİZ TERASI 1	DT-15
AC TEKNOMAK	POOL / HAVUZ	H-03
ACAR TEKNOLOJİK SİSTEMLER	SEA SIDE 1 / DENİZ TERASI 1	DT-13
AKM METALURJİ	DOWN GARDEN / ALT BAHÇE	B-03
ALAÇAM RULMAN	POOL / HAVUZ	H-13
AQUA-GT SU ARITMA	SEA SIDE 1 / DENİZ TERASI 1	DT-02
ARC SU ENERJİ	SEA SIDE 1 / DENİZ TERASI 1	DT-04
ARDÖKÜM MERDANE	SEA SIDE 1 / DENİZ TERASI 1	DT-19
AYDINLAR REFRAKTER	TERRACE / TERAS	T-02
BEİSCO MÜHENDİSLİK	POOL / HAVUZ	H-11
BELGİN MADENİ YAĞLAR	POOL / HAVUZ	H-07
BIBUS	SEA SIDE 2 / DENİZ TERASI 2	D-01
BİSA ENDÜSTRİ	POOL / HAVUZ	H-12
CASTROL	TERRACE / TERAS	T-04
CEFİP MAKİNA	SEA SIDE 1 / DENİZ TERASI 1	DT-10
CIMM GROUP	SEA SIDE 1 / DENİZ TERASI 1	DT-24
CORFIN LUBRICATION	SEA SIDE 1 / DENİZ TERASI 1	DT-20
ÇUKUROVA MÜHENDİSLİK	SEA SIDE 1 / DENİZ TERASI 1	DT-22
ÇUKUROVA POMPA	POOL / HAVUZ	H-01
ECOSTAR	POOL / HAVUZ	H-06
EFES METALURJİ	SEA SIDE 2 / DENİZ TERASI 2	D-04
FLENDER	POOL / HAVUZ	H-04
FRENZELIT	SEA SIDE 1 / DENİZ TERASI 1	DT-09
GERMAKSAN	SEA SIDE 1 / DENİZ TERASI 1	DT-03
GÜNEY ATEŞ REFRAKTER	SEA SIDE 1 / DENİZ TERASI 1	DT-01
GÜNEY HİDROPAR	CENTRO HALL / CENTRO SALONU	C-06
HERKULES	SEA SIDE 2 / DENİZ TERASI 2	D-05
HİDROHAN HİDROLİK	SEA SIDE 1 / DENİZ TERASI 1	DT-06
HKTM	SEA SIDE 1 / DENİZ TERASI 1	DT-14
HPS HİDROLİK	POOL / HAVUZ	H-08
INDUCTOTHERM	SEA SIDE 1 / DENİZ TERASI 1	DT-21

EXHIBITORS SERGİ KATILIMCILARI

Firm // Firma	Hall // Salon	Stand No
İNTEKNO	SEA SIDE 1 / DENİZ TERASI 1	DT-17
İSDEMİR	LOBBY / LOBİ	L-02
İZMİR DEMİR ÇELİK	LOBBY / LOBİ	L-01
KILTAŞ REFRAKTER	CENTRO HALL / CENTRO SALONU	C-02
KOCAER ÇELİK	CENTRO HALL / CENTRO SALONU	C-01
MARMACOR	TERRACE / TERAS	T-01
MEKSAN ATEŞ TUĞLA	SEA SIDE 2 / DENİZ TERASI 2	D-06
METALFORM METAL	TERRACE / TERAS	T-05
METEM	DOWN GARDEN / ALT BAHÇE	B-01
NİMSAN DIŞLI	SEA SIDE 2 / DENİZ TERASI 2	D-02
ORTATEPE	SEA SIDE 1 / DENİZ TERASI 1	DT-08
ÖNDER MÜHENDİSLİK	SEA SIDE 1 / DENİZ TERASI 1	DT-11
ÖZEVREN RULMAN	SEA SIDE 1 / DENİZ TERASI 1	DT-05
ÖZEVREN TEKNİK MAKİNA	SEA SIDE 1 / DENİZ TERASI 1	DT-07
PERT	SEA SIDE 2 / DENİZ TERASI 2	D-03
PETRO YAĞ	SEA SIDE 1 / DENİZ TERASI 1	DT-16
PETROFER	TERRACE / TERAS	T-03
PETROL OFİSİ	CENTRO HALL / CENTRO SALONU	C-03
QUAKER HOUGHTON	SEA SIDE 1 / DENİZ TERASI 1	DT-23
RISE MÜHENDİSLİK	SEA SIDE 1 / DENİZ TERASI 1	DT-18
RKB RULMAN	TERRACE / TERAS	T-06
SASPG	CENTRO HALL / CENTRO SALONU	C-05
SHELL	POOL / HAVUZ	H-15
SÜPERREF	POOL / HAVUZ	H-10
TEKBEM	POOL / HAVUZ	H-02
TEKNOLUBE	POOL / HAVUZ	H-14
TENUTE	POOL / HAVUZ	H-05
TOTAL ENERGIES	CENTRO HALL / CENTRO SALONU	C-04
ÜNLÜ TEKNİK	TERRACE / TERAS	T-07
VİNÇSAN	POOL / HAVUZ	H-09
WIMAC VİNÇ	SEA SIDE 1 / DENİZ TERASI 1	DT-12
ZWZ	DOWN GARDEN / ALT BAHÇE	B-02



29 May / Mayıs 2025

TIME // SAAT	"Alper Gürbüz" Hall // Salonu
09:00	Registration Kayıt
09:55 - 10:30	Opening Statements Açılış Konuşmaları
10:30 - 11:00	Plaque Ceremony Plaket Töreni
11:15 - 12:30	Planery Panel Açılış Paneli
12:30 - 13:00	Exhibition Opening Stand Açılışı
13:00 - 14:00	Lunch Öğle Yemeği
14:00 - 14:40	Keynote Speaker Davetli Konuşmacı
14:40 - 15:10	Coffee Break with Danieli Çay -Kahve Arası
15:10 - 16:10	Session 1 / 1. Oturum DIGITALIZATION AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE 1 Dijitalizasyon ve Yapay Zeka 1
16:10 - 16:40	Coffee Break with Danieli Çay-Kahve Arası
16:40 - 18:00	Session 2 / 2. Oturum PREDICTIVE MAINTENANCE Kestirimci Bakım
18:30	Stand Closing Stand Kapanışı
19:00 - 24:00	Gala Dinner with Castrol Gala Yemeği Castrol Sponsorluğunda



30 May / Mayıs 2025

TIME // SAAT	"Alper Gürbüz" Hall // Salonu
09:30 - 10:50	Session 3 / 3. Oturum INNOVATIVE TECHNOLOGIES Yenilikçi Teknolojiler
10:50 - 11:20	Coffee Break with Danieli Çay-Kahve Arası
11:20 - 12:20	Session 4 / 4. Oturum DIGITALIZATION AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE 2 Dijitalizasyon ve Yapay Zeka 2
12:20 - 13:20	Lunch Öğle Yemeği
13:20 - 14:40	Session 5 / 5. Oturum REHEATING TECHNOLOGIES Tavlama Teknolojileri
14:40 - 15:10	Coffee Break with Danieli Çay-Kahve Arası
15:10 - 16:10	Session 6 / 6. Oturum BEST PRACTICES İyi Uygulamalar
16:10 - 16:40	Coffee Break with Danieli Çay-Kahve Arası
16:40 - 17:40	Session 7 / 7. Oturum SURFACE SENSITIVITY Yüzey Hassasiyeti
18:00	Symposium Closing and Coctail Prolonge Sempozyum Kapanışı ve Kokteyl Prolonge



SYMPOSIUM PROGRAMME SEMPOZYUM PROGRAMI

ROLLING STEEL WITH TECHNOLOGY AND FUTURE ON TRUST
ÇELİĞİ TEKNOLOJİYLE, GELECEĞİ GÜVENLE ŞEKİLLENDİRİYORUZ

www.isrs-mtm.com | isrs@isrs-mtm.com | [f isrs.mtm](https://www.facebook.com/isrs.mtm) | [X isrs_mtm](https://www.x.com/isrs_mtm) | [isrs_mtm](https://www.instagram.com/isrs_mtm) | [in isrs-mtm](https://www.linkedin.com/company/isrs-mtm)

29 May / Mayıs 2025

"Alper Gürbüz"
Hall/Salonu

OPENING CEREMONY AÇILIŞ TÖRENİ

10:00 - 10:30

Ahmet İrfan TÜRK KOLU
UCTEA Chamber of Metallurgical and Materials
Engineers Chairman of the Board
TMMOB Metalurji ve Malzeme Mühendisleri Odası
Yönetim Kurulu Başkanı

Kadir KARA
ISRS'2025 Executive Board, Chair
ISRS'2025 Yürütme Kurulu Başkanı

10:30 - 11:00

Plaque Ceremony / Plaket Töreni

12:30 - 13:00

Exhibition Opening / Sergi Açılışı

29 May / Mayıs 2025

PLENARY PANEL / AÇILIŞ PANELİ

11:15 - 12:30

"Alper Gürbüz" Hall // Salonu

Comprehensive Overview of the Current State of the Steel Industry

Çelik Sektörünün Mevcut Durumuna Kapsamlı Bir Bakış



Moderator
Moderatör

Çetin KAYA
Koç Metalurji

Panelists / Panelistler



Mehmet ÇAKMUR
Kocaer Çelik



Uğur DALBELER
Çolakoğlu Metalurji



Salih Cem ORAL
İsdemir



Güvenç TEMİZEL
Borçelik

KEYNOTE SPEAKER / DAVETLİ KONUŞMACI

14:00 - 14:40

"Alper Gürbüz" Hall // Salonu



Uğur YILMAZ
Kocaer Çelik

Snapshots from a Career Journey
Bir Kariyer Yolculuğundan Kesitler

29 May / Mayıs 2025

Session
Oturum **1**

"Alper Gürbüz"
Hall/Salonu

DIGITALIZATION and ARTIFICIAL INTELLIGENCE 1

Dijitalizasyon ve Yapay Zeka 1

Session Chairman / Oturum Başkanı

Tayfun KOCABAŞ / Erdemir

15:10 - 15:30

The Autonomous Rolling Mill – Digitalization for the Learning Steel Plant

Franck K. ADJOGBLE, Mahesh KONDAVEETI, Jan HEIMANN, Can YALCIN

SMS Group
USA, Germany

15:30 - 15:50

Q3-DYMS Simplifies Complex Management of Stockyards in A Guided or Fully Automatic Mode

Ivan D'ONGHIA
Danieli Automation
Italy

15:50 - 16:10

Endüstriyel Çözümler İçin OpenAI GPT Modellerinin Karşılaştırmalı Performans İncelemesi

A Comparative Performance Study of OpenAI GPT Models for Industrial Solutions

Merve ÖPER^{1,2}, Yasin AKBAŞ^{1,3}, Saygın KAÇAR¹

¹Borçelik Çelik Sanayii, ²Kadir Has Üniversitesi, ³Bursa Teknik Üniversitesi
Türkiye

29 May / Mayıs 2025

Session
Oturum **2**

"Alper Gürbüz"
Hall/Salonu

PREDICTIVE MAINTENANCE Kestirimci Bakım

Session Chairman / Oturum Başkanı

Murat DURUKAN / Ekinciler Demir Çelik

16:40 - 17:00

Kestirimci Bakımda Etiketlenmemiş Verilerle Arıza Tahmini

Failure Prediction with Unlabeled Data for
Predictive Maintenance

**Merve ÖPER^{1,2}, Saygın KAÇAR¹, Tuğçe BALLI²,
E. Fatih YETKİN²**

¹Borçelik Çelik Sanayii, ²Kadir Has Üniversitesi
Türkiye

17:00 - 17:20

Sıcak Haddehane Anlık Durum Bazlı İzleme Sistemi

Online Condition-Based Monitoring System of Hot
Rolling Mill

Şener KÜTÜKÖZÜ, Murat IŞIK

İskenderun Demir ve Çelik
Türkiye

17:20 - 17:40

Çubuk ve Kangal Haddehanesi Kestirimci Bakım Uygulamaları Online İzleme ve Yapay Zeka Tabanlı Analiz Sistemi Kurulumu

Installation of An Online Monitoring and AI-Based
Analysis System for Predictive Maintenance in the Bar
and Wire Rod Mill

**Aysun IŞIKGÜL, Ali Yağız ŞAHİN, Bengü AKIN, Aytaç
AYDIN, Vedat ÜSTÜNDAĞ, Osman IŞIKGÜL,
S. Tuğrul İMER**

Karabük Demir Çelik
Türkiye

17:40 - 18:00

Comprehensive Condition Monitoring for Rolling Mills

Haddehaneler için Kapsamlı Öngörücü Bakım

Klaus STOHL, Marvin ZEMNI, Gerald HOHENBICHLER

Primetals Technologies
Austria

30 May / Mayıs 2025

Session
Oturum **3**

"Alper Gürbüz"
Hall/Salonu

INNOVATIVE TECHNOLOGIES Yenilikçi Teknolojiler

Session Chairman / Oturum Başkanı

Ö. Devrim ÖZSOY / İzmir Demir Çelik

09:30 - 09:50

The Most Competitive Billet Welding-Rolling and Bar Spooling

Simone CONCINA

Danieli & C. Officine Meccaniche
Italy

09:50 - 10:10

Current Trends in SBQ Production

SBQ Üretiminde Güncel Eğilimler

Amar BHANDARI, Günther SCHNELL

Friedrich Kocks
Germany

10:10 - 10:30

Modern Rebar Processing Routes to Meet New Market Demands

Uzun Mamül Pazarının Taleplerine Yönelik Modern
Haddeleme Prosesleri

Richard STANARD, Shane MARLIN

Primetals Technologies
USA

10:30 - 10:50

Pert Grinding Ball Rolling Mill

Nicola TOMBA

PERT srl
Italy

30 May / Mayıs 2025

Session
Oturum **4**

"Alper Gürbüz"
Hall/Salonu

DIGITALIZATION and ARTIFICIAL INTELLIGENCE 2

Dijitalizasyon ve Yapay Zeka 2

Session Chairman / Oturum Başkanı

Sefa ÇETİNKAYA / Karabük Demir Çelik

11:20 - 11:40

Makine Öğrenimi ile Yassı Çeliklerde Malzeme İsrafının Azaltılması ve Üretimde Kapasite Artışı

Reducing Material Waste in Flat Steels and Increasing Production Capacity with Machine Learning

Merve ÖPER^{1,2}, Didem BAKİLER İLME¹, E. Fatih YETKİN²

¹Borçelik Çelik Sanayii, ²Kadir Has Üniversitesi
Türkiye

11:40 - 12:00

Görüntü İşleme ve Anomali Tespit Yöntemleriyle İsdemir Sıcak Haddehane Üretim Hattında Genişlik ve Doğrusal İlerleme Tespiti

Detection of Width and Linear Progress in Isdemir Hot Rolling Mill Production Line Using Image Processing and Anomaly Detection Methods

Ahmet BEŞKARDEŞ, Rahmi ÜLKER

İskenderun Demir ve Çelik
Türkiye

12:00 - 12:20

Enhancing Quality Control for Long Products With Robotics and Computer Vision

Ion RUSU

Polytec
Italy

30 May / Mayıs 2025

Session
Oturum **5**

"Alper Gürbüz"
Hall/Salonu

REHEATING TECHNOLOGIES Tavlama Teknolojileri

Session Chairman / Oturum Başkanı

Murat DÜZGÖREN / İÇDAŞ

13:20 - 13:40

Fuel Flexibility for High-Performance and Low NOx Emissions Burners for Steel Reheating Furnaces

Marco RIZZI¹, Umberto ZANUSSO¹, Irene LUZZO², Tommaso BORTOLUSSI¹, Andrea TUROLO¹, Jimmy FABRO¹

¹SMS Group, ²RINA Consulting CSM
Italy

13:40 - 14:00

Demir Çelik Sektöründe Self-Rekuperatif Brülörler ile Enerji Tasarrufu

Energy Savings with Self-Recuperative Burners in the Iron and Steel Industry

Furkan OKAN, Mustafa ALTINTAŞ

Önder Mühendislik
Türkiye

14:00 - 14:20

The Danieli-Patented, Scale-Free Reheating Furnace for Long Products

Davide SENESI

Danieli Centro Combustion
Italy

30 May / Mayıs 2025

Session
Oturum **6**

"Alper Gürbüz"
Hall/Salonu

BEST PRACTICES İyi Uygulamalar

Session Chairman / Oturum Başkanı

Murat BAYRAM / Yeşilyurt Demir Çelik

15:10 - 15:30

Kangal Üretiminde Sıcaklık Takip Sistemi Kullanılarak Malzeme Özelliklerinin Doğrulanması

Verification of Material Properties Using
Temperature Monitoring System in Wire Rod
Production

**Aysun IŞIKGÜL, Ali Yağız ŞAHİN, Bengü AKIN, Yusuf
KALEMOĞLU, Ramazan GÜNEŞ, Vedat ÜSTÜNDAĞ,
Osman IŞIKGÜL, S. Tuğrul İMER**

Karabük Demir Çelik
Türkiye

15:30 - 15:50

Borçelik İç Lojistik Optimizasyonu

Borçelik Internal Logistic Optimization

Ali PEKER, Serkan ÜRKMEZ

Borçelik Çelik Sanayii
Türkiye

15:50 - 16:10

Soğutma Suyunun Temizlenmesinde Otomatik Filtre Kullanımının Avantajları

Advantages of Automatic Filter for Cooling Water

Rocco CAFARO¹, Onur BULUT², Hüseyin KISACIK³

¹Filtration Group, ²Guard Endüstriyel Ürünler,

³Hidrohan Hidrolik Pnömatik

USA, Türkiye

30 May / Mayıs 2025

Session
Oturum **7**

"Alper Gürbüz"
Hall/Salonu

SURFACE SENSITIVITY Yüzey Hassasiyeti

Session Chairman / Oturum Başkanı

Uğur PAMUK / Çolakoğlu Metalurji

16:40 - 17:00

Innovative Surface Engineering for New Surface Finishes in Cold Rolling Mills

Petar ROKIC, Claudio TREVISAN, Andrea GARIANO

Pomini Digital Texturing
Italy

17:00 - 17:20

Çeliklerin Soğuk Haddeleme İşlemi Sırasında Merdane Yüzey Pürüzlülüğünün Önemi ve Uygun Taşlama Taşlarının Geliştirilmesi

Importance of the Roll Surface Roughness During
Cold Rolling Process of Steel and Development of
Suitable Grinding Wheels

**C. GASPARD¹, D. CAVALIER¹, S. NATALICCHIO²,
A. COLLIN², B. OZEN²**

¹Rolling Process Consulting (RPC)

²Saint-Gobain Surface Solutions Abrasives
Türkiye, Belgium, Italy

17:20 - 17:40

Enhancing Hot Rolling Efficiency with Roll Gap Lubrication Technology

Profil Haddehaneleri için Sıcak Hadde Yağlama
(RGL) Teknolojisi ile Üretim Verimliliğini Artırma

Elliot BURNS

Total Energies
England



POSTERS POSTER SUNUMLAR

ROLLING STEEL WITH TECHNOLOGY AND FUTURE ON TRUST
ÇELİĞİ TEKNOLOJİYLE, GELECEĞİ GÜVENLE ŞEKİLLENDİRİYORUZ

www.isrs-mtm.com | isrs@isrs-mtm.com | isrs.mtm | isrs_mtm | isrs_mtm | isrs-mtm

Posters / Poster Sunumlar

ISRS-P01

Haddeleme İşleminde Tavlama Sırasında Tufal ve Dekarbürizasyon Oluşumunu Önlemek Amacı ile Slab ve Kütüğün Seramik ile Kaplama Uygulamaları ve Haddelemede Davranışlarının İncelenmesi

Ceramic Coating Applications of Slab and Billet with the Purpose of Preventing Scale and Decarburization During Annealing in the Rolling Process and Investigation of Their Behavior in Rolling

Çetin BAĞLAN, Oğuz IŞIK, Serdar KORKMAZ, Ülkü ELMALI, Sinan ARAS

MATİL Malzeme Test ve İnovasyon Laboratuvarları
Türkiye

ISRS-P02

Demir Çelik Sektöründe Katı Atıkların Geri Dönüştürülmesi ve Ekonomiye Kazandırılması

Recycling of Solid Wastes in the Iron and Steel Industry and Their Use in the Economy

Oğuz IŞIK, Çetin BAĞLAN, Sinan ARAS

MATİL Malzeme Test ve İnovasyon Laboratuvarları
Türkiye

ISRS-P03

Türkiye Demir & Çelik İşletmelerinin Enerji Tasarrufu Potansiyeli

Energy Conservation Model for Türkiye's Iron & Steel Industry

Oğuzhan SAKARYA, Uğur CENGİZ

Bilecik Demir Çelik
Türkiye

ISRS-P04

Isıl İşlem Parametrelerinin Muhtelif Silah Üretiminde Kullanılan AISI 4140 Çeliğinin Tribolojik ve Mekanik Özellikler Üzerindeki Etkisi

Effect of Heat Treatment Parameters on Tribological and Mechanical Properties of AISI 4140 Steel Used in Various Weapon Production

Nurullah ŞAHİN, Furkan Umut ÖZEN, Mehmet ÜSTÜN, İrem Nur SARIKAYA, Berkay ÖZÜPEK, Abdulkadir DÖNMEZ, S.Tuğrul İMER

Karabük Demir Çelik
Türkiye

Posters / Poster Sunumlar

ISRS-P05

51CrV4 Çeliğe Uygulanan Farklı Tavlama Sıcaklıklarının Sertliğe Olan Etkisinin İncelenmesi

Investigation of the Effect of Different Annealing Temperatures Applied to 51CrV4 Steel on Hardness

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

¹Özkan Demir Çelik, ²Dokuz Eylül Üniversitesi
Türkiye

ISRS-P06

Döngüsel Ekonomi Yaklaşımı ile Atık Suyun Geri Kazanımı

Recovery of Wastewater with Circular Economy Approach

Ayça ÇAKIN¹, Engin KILINÇPINAR¹, Celal Erkal KAHRAMAN¹, Hakan ERÇAY¹, Tuncay DİKİCİ²

¹Özkan Demir Çelik, ²Dokuz Eylül Üniversitesi
Türkiye

ISRS-P07

Sıcak Haddeleme Prosesinde Su Ayak İzinin Azaltılması

Reduction of Water Footprint in Hot Rolling Process

Erdinç EREK¹, Caner TUNA¹, Hakan ERÇAY¹, Tuncay DİKİCİ²

¹Özkan Demir Çelik, ²Dokuz Eylül Üniversitesi
Türkiye

ISRS-P08

Kesici Takım Uçlarına Kriyojenik İşlem Uygulayarak Performansının Arttırılması

Improving Performance by Applying Cryogenic Treatment to Cutting Tools

Semih DOĞAN¹, Aysun IŞIKGÜL¹, Ali Yağız ŞAHİN¹, Bengü AKIN¹, S. Tuğrul İMER¹, Gökhan SUR², Hasan GÖKKAYA²

¹Karabük Demir Çelik, ²Karabük Üniversitesi
Türkiye

Posters / Poster Sunumlar

ISRS-P09

Çelik Haddeleme Endüstrisinde Sürdürülebilirlik: Yağlama Yağları ve IoT Teknolojilerinin Rolü

Sustainability in the Steel Rolling Industry: The Role of Lubricating Oils and IoT Technologies

Hüseyin HACIKADİROĞLU

Mobil Oil Türk
Türkiye

ISRS-P10

Endless Hot Rolled Coil (eHRC) From Arvedi ESP – A New Standard in Rolled Materials

Arvedi ESP Sıcak Yassı Haddelemede Yeni Standartlarda Üretim

J. SCHOLLER, C. PIEMONTE

Primetals Technologies
Austria

ISRS-P11

Farklı PTFE Mikro Tozlarının Çeşitli Gres Tiplerinin Tribolojik ve Reolojik Özellikleri Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi

Investigation of Effects of Different PTFE Micro Powders on Tribological and Rheological Properties of Different Types of Greases

Sevda ATAR¹, Samed ERGENEKON^{1,2}, Semih KOÇ¹, Kerim Arda DİKİCİ¹

¹Petrol Ofisi, ²Ankara Üniversitesi
Türkiye

ISRS-P12

Borçelik Dijital Bakım Platformu ile Bakım Süreçlerinin Verimliliğinin Arttırılması

Increasing the Efficiency of Maintenance Processes with Borçelik Digital Maintenance Platform

Merve ÖPER^{1,2}, Yasin AKBAŞ^{1,3}, Saygın KAÇAR¹

¹Borçelik Çelik Sanayii, ²Kadir Has Üniversitesi,
³Bursa Teknik Üniversitesi
Türkiye

Posters / Poster Sunumlar

ISRS-P13

Bakım Sürecinde Arıza Kök Neden Analiz Sistematiği
Failure Root Cause Analysis Systematics in Maintenance Process
Hasan BULUT, Sururi KARAÇORLU, Gökçe ARSLAN
İskenderun Demir ve Çelik
Türkiye

ISRS-P14

Güvenilirlik Merkezli Bakım Yaklaşımıyla Monoblok Redüktör Yağlama Sistemlerinin Online İzlenmesi
Online Monitoring of Monoblock Reducer Lubrication Systems with A Reliability-Centered Maintenance Approach
H. Ozan TEMİZ, Savaş ÇELEN, M. Özden ÖZDEMİR, Erdal GÜLENÇ
İskenderun Demir ve Çelik
Türkiye

ISRS-P15

Kaba Hadde Housing Liner Yüzey İşlemesi
Roughing Mill Housing Liner Surface Turning Operation
Selçuk DİNÇ, Murat IŞIK, Mustafa CEYHUN, Ali Arda ÜNAL, Hüseyin OLGÜN
İskenderun Demir ve Çelik
Türkiye

ISRS-P16

Looper Roll Rulman Yatağı Keçe Revizyonu (Şerit Hadde, Sıcak Haddehane)
Updated Sealing Design of Looper Roll Bearing Supports (Finishing Mill, Hot Strip Mill)
Şener KÜTÜKÖZÜ, İsmet GÖKÇE
İskenderun Demir ve Çelik
Türkiye

ISRS-P17

Serme Kafa Malzeme Takılmalarına Önlem Amaçlı Serme Kafa Yolluk Tasarımı
Layer Head Guide Design for Preventing Material Blockages in the Layer Head
Hasan KAHRAMAN, Muhammed Ali YILMAZ, Hikmet SALLAR, Onur DOĞDU, Mehmet Canberk YILMAZ, İsmail REÇBER
İskenderun Demir ve Çelik
Türkiye

Posters / Poster Sunumlar

ISRS-P18

Dual Fazlı Galvanizli Çeliğin Sünek Hasar Davranışının Sonlu Elemanlar ile Modellenmesi
Finite Element Modeling of Ductile Fracture Behavior of Dual Phase Galvanized Steel
İbrahim YELEK^{1,2}, Refiye ARDALI^{1,2}
¹Borçelik Çelik Sanayii, ²Bursa Teknik Üniversitesi
Türkiye

ISRS-P19

Next-Generation Quality Execution: Integrating Surface Inspection Data for Smarter Manufacturing
Helga EVERS, Sevda SAROVA
QuinLogic
Germany

ISRS-P20

Green Transformation with Hydrogen and Regenerative Burner Technologies: CFD Performance and Efficiency Analysis
Hidrojen ve Rejeneratif Teknolojilerle Yeşil Dönüşüm: CFD Performans ve Verimlilik Analizi
Ömer TÜRKAY, Sadık DOĞAN, Onur SALCI, Furkan HAMZAOĞLU
Termo Isı Sistemleri
Türkiye



CONTENTS

İÇİNDEKİLER

ROLLING STEEL WITH TECHNOLOGY AND FUTURE ON TRUST
ÇELİĞİ TEKNOLOJİYLE, GELECEĞİ GÜVENLE ŞEKİLLENDİRİYORUZ

www.isrs-mtm.com | isrs@isrs-mtm.com | isrs.mtm | isrs_mtm | isrs_mtm | isrs-mtm

The Autonomous Rolling Mill – Digitalization for the Learning Steel Plant 39

Franck K. ADJOGLE, Mahesh KONDAVEETI, Jan HEIMANN, Can YALCIN

SMS Group / USA, Germany

Q3-DYMS Simplifies Complex Management of Stockyards in A Guided or Fully Automatic Mode 47

Ivan D'ONGHIA

Danieli Automation / Italy

Endüstriyel Çözümler İçin OpenAI GPT Modellerinin Karşılaştırmalı Performans İncelemesi 50

A Comparative Performance Study of OpenAI GPT Models for Industrial Solutions

Merve ÖPER^{1,2}, Yasin AKBAŞ^{1,3}, Saygın KAÇAR¹

¹Borçelik Çelik Sanayii, ²Kadir Has Üniversitesi, ³Bursa Teknik Üniversitesi / Türkiye

Kestirimci Bakımda Etiketlenmemiş Verilerle Arıza Tahmini 57

Failure Prediction with Unlabeled Data for Predictive Maintenance

Merve ÖPER^{1,2}, Saygın KAÇAR¹, Tuğçe BALLI², E. Fatih YETKİN²

¹Borçelik Çelik Sanayii, ²Kadir Has Üniversitesi / Türkiye

Sıcak Haddehane Anlık Durum Bazlı İzleme Sistemi 61

Online Condition-Based Monitoring System of Hot Rolling Mill

Şener KÜTÜKÖZÜ, Murat IŞIK

İskenderun Demir ve Çelik / Türkiye

Çubuk ve Kangal Haddehanesi Kestirimci Bakım Uygulamaları Online İzleme ve Yapay Zeka Tabanlı Analiz Sistemi Kurulumu 65

Installation of An Online Monitoring and AI-Based Analysis System for Predictive Maintenance in the Bar and Wire Rod Mill

Aysun IŞIKGÜL, Ali Yağız ŞAHİN, Bengü AKIN, Aytaç AYDIN, Vedat ÜSTÜNDAĞ,

Osman IŞIKGÜL, S. Tuğrul İMER

Karabük Demir Çelik / Türkiye

Comprehensive Condition Monitoring for Rolling Mills 69

Haddehaneler için Kapsamlı Öngörücü Bakım

Klaus STOHL, Marvin ZEMNI, Gerald HOHENBICHLER

Primetals Technologies / Austria

The Most Competitive Billet Welding-Rolling and Bar Spooling 76

Simone CONCINA

Danieli & C. Officine Meccaniche / Italy

Current Trends in SBQ Production 80

SBQ Üretiminde Güncel Eğilimler

Amar BHANDARI, Günther SCHNELL

Friedrich Kocks / Germany

Modern Rebar Processing Routes to Meet New Market Demands 86

Uzun Mamül Pazarının Taleplerine Yönelik Modern Haddeleme Prosesleri

Richard STANARD, Shane MARLIN

Primetals Technologies / USA

Pert Grinding Ball Rolling Mill 89**Nicola TOMBA**

PERT srl / Italy

Makine Öğrenimi ile Yassı Çeliklerde Malzeme İsrafının Azaltılması ve Üretimde Kapasite Artışı 94

Reducing Material Waste in Flat Steels and Increasing Production Capacity with Machine Learning

Merve ÖPER^{1,2}, Didem BAKİLER İLME¹, E. Fatih YETKİN²¹Borçelik Çelik Sanayii, ²Kadir Has Üniversitesi / Türkiye**Görüntü İşleme ve Anomali Tespit Yöntemleriyle İsdemir Sıcak Haddehane Üretim Hattında Genişlik ve Doğrusal İlerleme Tespiti 97**

Detection of Width and Linear Progress in Isdemir Hot Rolling Mill Production Line Using Image

Processing and Anomaly Detection Methods

Ahmet BEŞKARDEŞ, Rahmi ÜLKER

İskenderun Demir ve Çelik / Türkiye

Enhancing Quality Control for Long Products With Robotics and Computer Vision104**Ion RUSU**

Polytec / Italy

Fuel Flexibility for High-Performance and Low NOx Emissions Burners for Steel Reheating Furnaces109**Marco RIZZI¹, Umberto ZANUSSO¹, Irene LUZZO², Tommaso BORTOLUSSI¹, Andrea TUROLO¹, Jimmy FABRO¹**¹SMS Group, ²RINA Consulting CSM / Italy**Demir Çelik Sektöründe Self-Rekuperatif Brülörler ile Enerji Tasarrufu117**

Energy Savings with Self-Recuperative Burners in the Iron and Steel Industry

Furkan OKAN, Mustafa ALTINTAŞ

Önder Mühendislik / Türkiye

The Danieli-Patented, Scale-Free Reheating Furnace for Long Products121**Davide SENESI**

Danieli Centro Combustion / Italy

Kangal Üretiminde Sıcaklık Takip Sistemi Kullanılarak Malzeme Özelliklerinin Doğrulanması125

Verification of Material Properties Using Temperature Monitoring System in Wire Rod Production

Aysun IŞIKGÜL, Ali Yağız ŞAHİN, Bengü AKIN, Yusuf KALEMOĞLU, Ramazan GÜNEŞ, Vedat ÜSTÜNDAĞ, Osman IŞIKGÜL, S. Tuğrul İMER

Karabük Demir Çelik / Türkiye

Borçelik İç Lojistik Optimizasyonu129

Borçelik Internal Logistic Optimization

Ali PEKER, Serkan ÜRKMEZ

Borçelik Çelik Sanayii / Türkiye

Soğutma Suyunun Temizlenmesinde Otomatik Filtre Kullanımının Avantajları133

Advantages of Automatic Filter for Cooling Water

Rocco CAFARO¹, Onur BULUT², Hüseyin KISACIK³¹Filtration Group, ²Guard Endüstriyel Ürünler, ³Hidrohan Hidrolik Pnömatik / USA, Türkiye**Innovative Surface Engineering for New Surface Finishes in Cold Rolling Mills138****Petar ROKIC, Claudio TREVISAN, Andrea GARIANO**

Pomini Digital Texturing / Italy

Çeliklerin Soğuk Haddeleme İşlemi Sırasında Merdane Yüzey Pürüzlülüğünün Önemi ve Uygun Taşlama Taşlarının Geliştirilmesi159

Importance of the Roll Surface Roughness During Cold Rolling Process of Steel and Development of Suitable Grinding Wheels

C. GASPARD¹, D. CAVALIER¹, S. NATALICCHIO², A. COLLIN², B. OZEN²¹Rolling Process Consulting (RPC) ²Saint-Gobain Surface Solutions Abrasives / Türkiye, Belgium, Italy**Enhancing Hot Rolling Efficiency with Roll Gap Lubrication Technology168**

Profil Haddehaneleri için Sıcak Hadde Yağlama (RGL) Teknolojisi ile Üretim Verimliliğini Artırma

Elliot BURNS

Total Energies / England

Haddeleme İşleminde Tavlama Sırasında Tufal ve Dekarbürizasyon Oluşumunun Önlemek Amacı ile Slab ve Kütüğün Seramik ile Kaplama Uygulamaları ve Haddelemede Davranışlarının İncelenmesi173

Ceramic Coating Applications of Slab and Billet with the Purpose of Preventing Scale and Decarburization During Annealing in the Rolling Process and Investigation of Their Behavior in Rolling

Çetin BAĞLAN, Oğuz IŞIK, Serdar KORKMAZ, Ülkü ELMALI, Sinan ARAS

MATİL Malzeme Test ve İnovasyon Laboratuvarları / Türkiye

Demir Çelik Sektöründe Katı Atıkların Geri Dönüştürülmesi ve Ekonomiye Kazandırılması182

Recycling of Solid Wastes in the Iron and Steel Industry and Their Use in the Economy

Oğuz IŞIK, Çetin BAĞLAN, Sinan ARAS

MATİL Malzeme Test ve İnovasyon Laboratuvarları / Türkiye

Türkiye Demir & Çelik İşletmelerinin Enerji Tasarrufu Potansiyeli187

Energy Conservation Model for Türkiye's Iron & Steel Industry

Oğuzhan SAKARYA, Uğur CENGİZ

Bilecik Demir Çelik / Türkiye

Isıl İşlem Parametrelerinin Muhtelif Silah Üretiminde Kullanılan AISI 4140 Çeliğinin Tribolojik ve Mekanik Özellikler Üzerindeki Etkisi194

Effect of Heat Treatment Parameters on Tribological and Mechanical Properties of AISI 4140 Steel Used in Various Weapon Production

Nurullah ŞAHİN, Furkan Umut ÖZEN, Mehmet ÜSTÜN, İrem Nur SARIKAYA, Berkay ÖZÜPEK, Abdulkadir DÖNMEZ, S.Tuğrul İMER

Karabük Demir Çelik / Türkiye

51CrV4 Çeliğe Uygulanan Farklı Tavlama Sıcaklıklarının Sertliğe Olan Etkisinin İncelenmesi199

Investigation of the Effect of Different Annealing Temperatures Applied to 51CrV4 Steel on Hardness

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

¹Özkan Demir Çelik, ²Dokuz Eylül Üniversitesi / Türkiye

Döngüsel Ekonomi Yaklaşımı ile Atık Suyun Geri Kazanımı.....203

Recovery of Wastewater with Circular Economy Approach

Ayça ÇAKIN¹, Engin KILINÇPINAR¹, Celal Erkal KAHRAMAN¹, Hakan ERÇAY¹, Tuncay DİKİCİ²

¹Özkan Demir Çelik, ²Dokuz Eylül Üniversitesi / Türkiye

Sıcak Haddeleme Prosesinde Su Ayak İzinin Azaltılması.....207

Reduction of Water Footprint in Hot Rolling Process

Erdinç EREK¹, Caner TUNA¹, Hakan ERÇAY¹, Tuncay DİKİCİ²

¹Özkan Demir Çelik, ²Dokuz Eylül Üniversitesi / Türkiye

Kesici Takım Uçlarına Kriyojenik İşlem Uygulayarak Performansının Arttırılması.....211

Improving Performance by Applying Cryogenic Treatment to Cutting Tools

Semih DOĞAN¹, Aysun IŞIKGÜL¹, Ali Yağız ŞAHİN¹, Bengü AKIN¹, S. Tuğrul İMER¹, Gökhan SUR², Hasan GÖKKAYA²

¹Karabük Demir Çelik, ²Karabük Üniversitesi / Türkiye

Çelik Haddeleme Endüstrisinde Sürdürülebilirlik: Yağlama Yağları ve IoT Teknolojilerinin Rolü216

Sustainability in the Steel Rolling Industry: The Role of Lubricating Oils and IoT Technologies

Hüseyin HACIKADİROĞLU

Mobil Oil Türk / Türkiye

Endless Hot Rolled Coil (eHRC) From Arvedi ESP – A New Standard in Rolled Materials..217

Arvedi ESP Sıcak Yassı Haddelemede Yeni Standartlarda Üretim

J. SCHOLLER, C. PIEMONTE

Primetals Technologies / Austria

Farklı PTFE Mikro Tozlarının Çeşitli Gres Tiplerinin Tribolojik ve Reolojik Özellikleri Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi.....225

Investigation of Effects of Different PTFE Micro Powders on Tribological and Rheological Properties of Different Types of Greases

Sevda ATAR¹, Samed ERGENEKON^{1,2}, Semih KOÇ¹, Kerim Arda DİKİCİ¹

¹Petrol Ofisi, ²Ankara Üniversitesi / Türkiye

Borçelik Dijital Bakım Platformu ile Bakım Süreçlerinin Verimliliğinin Arttırılması230

Increasing the Efficiency of Maintenance Processes with Borçelik Digital Maintenance Platform

Merve ÖPER^{1,2}, Yasin AKBAŞ^{1,3}, Saygın KAÇAR¹

¹Borçelik Çelik Sanayii, ²Kadir Has Üniversitesi, ³Bursa Teknik Üniversitesi / Türkiye

Bakım Sürecinde Arıza Kök Neden Analiz Sistematiği235

Failure Root Cause Analysis Systematics in Maintenance Process

Hasan BULUT, Sururi KARAÇORLU, Gökçe ARSLAN

İskenderun Demir ve Çelik / Türkiye

Güvenilirlik Merkezli Bakım Yaklaşımıyla Monoblok Redüktör Yağlama Sistemlerinin Online İzlenmesi.....239

Online Monitoring of Monoblock Reducer Lubrication Systems with A Reliability-Centered Maintenance Approach

H. Ozan TEMİZ, Savaş ÇELEN, M. Özden ÖZDEMİR, Erdal GÜLENÇ

İskenderun Demir ve Çelik / Türkiye

Kaba Hadde Housing Liner Yüzey İşlemesi.....242

Roughing Mill Housing Liner Surface Turning Operation

Selçuk DİNÇ, Murat IŞIK, Mustafa CEYHUN, Ali Arda ÜNAL, Hüseyin OLĞUN

İskenderun Demir ve Çelik / Türkiye

Looper Roll Rulman Yatağı Keçe Revizyonu (Şerit Hadde, Sıcak Haddehane).....248

Updated Sealing Design of Looper Roll Bearing Supports (Finishing Mill, Hot Strip Mill)

Şener KÜTÜKÖZÜ, İsmet GÖKÇE

İskenderun Demir ve Çelik / Türkiye

Serme Kafa Malzeme Takılmalarına Önlem Amaçlı Serme Kafa Yolluk Tasarımı252

Layer Head Guide Design for Preventing Material Blockages in the Layer Head

Hasan KAHRAMAN, Muhammed Ali YILMAZ, Hikmet SALLAR, Onur DOĞDU, Mehmet Canberk YILMAZ, İsmail REÇBER

İskenderun Demir ve Çelik / Türkiye

Dual Fazlı Galvanizli Çeliğin Sünek Hasar Davranışının Sonlu Elemanlar ile Modellenmesi255

Finite Element Modeling of Ductile Fracture Behavior of Dual Phase Galvanized Steel

İbrahim YELEK^{1,2}, Refiye ARDALI^{1,2}

¹Borçelik Çelik Sanayii, ²Bursa Teknik Üniversitesi / Türkiye

Next-Generation Quality Execution: Integrating Surface Inspection Data for Smarter Manufacturing.....260

Helga EVERS, Sevda SAROVA

QuinLogic / Germany

Green Transformation with Hydrogen and Regenerative Burner Technologies: CFD Performance and Efficiency Analysis264

Hidrojen ve Rejeneratif Teknolojilerle Yeşil Dönüşüm: CFD Performans ve Verimlilik Analizi

Ömer TÜRKAY, Sadık DOĞAN, Onur SALCI, Furkan HAMZAOĞLU

Termo Isı Sistemleri / Türkiye



DIGITALIZATION and ARTIFICIAL INTELLIGENCE 1

Dijitalizasyon ve Yapay Zeka 1

ROLLING STEEL WITH TECHNOLOGY AND FUTURE ON TRUST
ÇELİĞİ TEKNOLOJİYLE, GELECEĞİ GÜVENLE ŞEKİLLENDİRİYORUZ

The Autonomous Rolling Mill – Digitalization for the Learning Steel Plant

Franck K. ADJOGLE, Mahesh KONDAVEETI, Jan HEIMANN, Can YALCIN

SMS Group

USA, Germany

Keywords: Steel Manufacturing, Autonomous, Learning steel plant, Efficiency

Abstract

The steel manufacturing industry is increasingly confronted with escalating production challenges, including the demand for superior surface quality, enhanced material strength, and a reduced carbon footprint. At the same time, sourcing experienced operators and engineers who can navigate these complex challenges while reducing production costs has become a significant concern. Digitalization has emerged as a promising solution to address these issues. The integration of artificial intelligence (AI) has enabled optimization processes that were once considered unfeasible. However, the initial enthusiasm for AI, around 5–6 years ago, revealed that when AI was implemented as a standalone solution, it did not deliver the expected outcomes. It became clear that successful optimization efforts must be grounded in comprehensive process knowledge and advanced automation systems. Physical models and expert knowledge remain essential to effective operations.

At SMS group, we have enhanced traditional plant automation and digitalization strategies by refining physical models alongside mechanical hardware, such as those used for profile and flatness optimization. Additionally, we have successfully reduced sequence times in production, leading to increased production tonnage and improved product quality. Digital tools, including SMS group's "HSMxpert," have further supported digitalization, enabling continuous improvements in plant operations. These advancements, coupled with state-of-the-art Level 2 and Level 3 systems, have resulted in significant gains in rolling mills worldwide.

These strategies have proven valuable not only in new plant installations but also in brownfield modernizations. SMS group can upgrade existing automation systems to current standards, making digitalization accessible with relatively modest investments. This paper will explore the latest advancements in rolling mill technology, with a focus on progressing towards autonomous plant operations in collaboration with our customers.

1. Introduction

Manufacturing is a cornerstone of the global economy, serving as a key driver of sustained economic growth and supporting national economies worldwide. Within the manufacturing sector, process industries such as metallurgy, building materials, and energy are of particular importance. These industries present unique characteristics that make

both operation and digitalization inherently more complex. Unlike discrete manufacturing, process industries often involve frequent fluctuations in raw materials, intricate physical, chemical, and thermo-mechanical reactions within production processes, and continuous production operations that cannot be easily halted. These features introduce challenges in areas like measurement, modeling, control, optimization, and decision-making.

In addition to operational complexities, process industries also face significant obstacles, such as high energy consumption, resource inefficiency, lower-value-added products, excessive maintenance costs, product quality issues, and environmental pollution. To overcome these challenges and increase overall efficiency, manufacturing processes must be made more transparent. This requires the integration of high-performance monitoring systems that support decision-making both during production and in post-process analysis, identifying root causes of inefficiencies while ensuring high production rates and optimal product quality.

A critical enabler of this transformation is intelligent manufacturing, which leverages Artificial Intelligence (AI) technologies to enhance competitiveness and operational performance within the manufacturing sector [7]. AI has demonstrated substantial effectiveness in diagnosing issues and making predictions in complex industrial scenarios, and it has the potential to significantly accelerate the development of intelligent manufacturing systems [5]. In the context of steel production, various incidents such as product breakage, process abnormalities, and quality defects have hindered manufacturing performance. These anomalies often stem from process conditions, production operations, equipment maintenance, and inaccuracies in process model calculations.

Addressing these challenges requires a comprehensive analysis of all process parameters across the production line. This paper proposes an approach that combines continuous improvement practices, artificial intelligence, machine learning techniques, and domain expertise to develop a system capable of real-time monitoring of process parameters, establishing performance baselines, and providing event forensics. This system aims to transform raw production data into actionable insights, ensuring equipment safety, efficiency, and reliability through predictive and prescriptive optimization strategies.

Specifically, the paper will present a use case of an expert system for real-time event monitoring and process condition assessment, detailing how digitalized know-how [10], augmented by machine learning and AI, can enable prescriptive process and maintenance strategies[7]. The integration of automated process models, smart sensors, and control systems will provide the interconnection necessary to link asset availability, product quality, and production planning—fostering a new era of efficient, high-quality steel production.

2. Literature Review

The steel production industry is a complex and highly dynamic process involving numerous variables that can significantly affect the quality of the final product. Anomalies such as process abnormalities, product breakage, and quality defects can substantially impact manufacturing efficiency. Therefore, effective monitoring and control of the production process are essential to ensure product quality and reduce production costs.

In recent years, the integration of expert systems and artificial intelligence (AI) techniques has gained prominence in the steel production industry to enhance process monitoring, diagnosis, and maintenance decision support. These technologies offer advanced capabilities for real-time data analysis, predictive maintenance, and process optimization. A study by [1] discusses the application of sensor-based monitoring and control in friction stir welding, highlighting the role of AI in improving manufacturing processes. Similarly, [2] explore how industrial AI can elevate steel quality management, emphasizing the importance of data analysis tools in processing quality data. In another study, [3] present an example of Industry 4.0 in real-time quality control for steel-based mass production using machine learning on non-invasive sensor data. This approach demonstrates the potential of AI in enhancing quality control processes. Additionally, [4] provide a survey on AI approaches for predictive maintenance in the steel industry, highlighting the significance of AI in improving operational efficiency and equipment reliability. Based on the literature review, it is evident that various research works have been conducted on the application of expert systems, machine learning, and AI techniques for monitoring and improving the steel production process. However, there remains a gap in the literature regarding the integration of these techniques into a comprehensive system capable of monitoring process parameters, providing real-time event forensics, and achieving prescriptive process and maintenance strategies. The proposed paper aims to address this gap by presenting an approach that combines artificial intelligence, machine learning techniques, and domain knowledge to implement a system capable of monitoring process parameters, building baselines, and providing real-time event forensics.

In this chapter, we present the development of the proposed method, including the system architecture, data collection and preprocessing, machine learning algorithms employed, and the implementation of prescriptive process and maintenance strategies. We also discuss the integration of the system with automated process models, and control systems, which provide interconnection between asset availability, product quality, and production planning. The method development chapter provides a detailed description of the proposed approach's technical implementation, which is critical to understanding the system's effectiveness in monitoring the steel production process.

3. Concept and Procedure

The hot strip mill (HSM) production process is a sophisticated and highly dynamic operation, consisting of numerous interrelated stages such as the roughing mill stands, hot mill, cooling section, and down coiler. As with any manufacturing system, maintaining consistent quality while optimizing operational efficiency is critical. The advent of digitalization and data science techniques provides an opportunity to address the persistent challenges of monitoring and optimizing mill performance. This paper proposes a system design that integrates expert domain knowledge with data science tools, enabling more reliable monitoring and forensics analysis of the mill's operational data.

The system design aims to isolate key units of the mill to perform detailed analysis of their operations. Each unit—roughing mill stands, hot mill, cooling section, and down coiler—is monitored by a set of sensors that track relevant process parameters. Baseline values for these parameters are established using historical data, providing benchmarks that are used to detect anomalies and deviations in real-time. By comparing current measurements against these baselines, the system is able to identify events such as cobbles, product defects, or unexplained system behaviors.

3.1 Vertical Event Forensics (VEF)

At the core of the system is the concept of **Vertical Event Forensics (VEF)**. VEF focuses on isolating anomalies within individual mill units and correlating them with operational data. For example, in the roughing mill stands, VEF can highlight issues like process instabilities that lead to product defects or decreased throughput. Each anomaly is carefully examined to determine its root cause, whether it stems from equipment malfunction, process parameter drift, or external influences. Through VEF, engineers and operators are able to pinpoint the specific conditions that lead to system deviations, thereby allowing for optimized corrective actions within each unit of the mill.

3.2 Horizontal Event Forensics (HEF)

In addition to vertical analysis, the system also employs **Horizontal Event Forensics (HEF)** to examine cross-unit interactions. HEF provides a holistic view of the entire mill's performance by correlating VEF data from each unit and tracking their combined impact on overall mill output. By analyzing multiple VEFs across the production process, HEF identifies trends or recurring problems that may affect multiple units simultaneously [9].

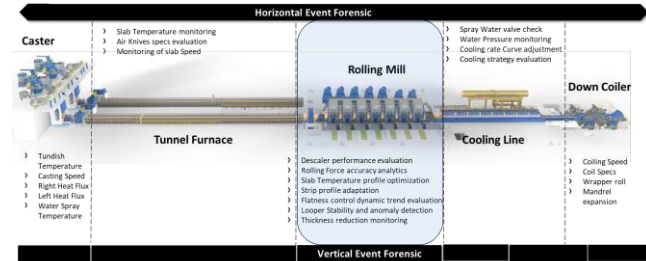


Figure 1. Concept of Vertical and Horizontal Mill Event Forensics.

instance, if anomalies are detected in the roughing mill and the hot mill, HEF can reveal potential interconnected issues, such as upstream process disruptions affecting downstream units. This comprehensive approach enables the identification of root causes that might not be visible when examining individual mill units in isolation.

3.3 Real-Time Monitoring and Data Integration

Central to the proposed system is its ability to provide **real-time monitoring** of the mill's performance. The HSM Xpert system integrates **smart sensors [8]** and **measuring devices data** with **automated process models** and **controls** to gather data from various stages of the production process. These devices measure critical parameters such as temperature, pressure, speed, and material characteristics in real-time. The system's data provider component collects data from Level 1 to Level 4 sources, including automation systems, process models, and ERP/customer order information, which is then processed and analyzed using advanced analytics and machine learning models [6]. The data provider allows for rapid ingestion and analysis of both streaming data of automation control systems and batch data from process model setups. It ensures that relevant data is easily accessible to operators and maintenance teams via a **generic API**, supporting real-time decision-making and predictive interventions. The integration of all components of the system ensures that anomalies are quickly identified and addressed before they escalate into more severe issues.

3.4 Predictive and Prescriptive Optimization

Building on its diagnostic capabilities, the HSMXpert system employs both **predictive** and **prescriptive optimization strategies**. Predictive optimization utilizes

machine learning algorithms to forecast potential failures based on historical sensor data and operational patterns. By analyzing these trends, the system can identify failing equipment or processes before they result in unplanned downtime, allowing maintenance teams to take proactive actions, such as scheduling repairs or replacements during planned maintenance windows [10].

Prescriptive optimization goes one-step further, providing recommendations for improving mill operations based on data-driven insights [7]. For instance, the system might suggest adjustments to process parameters, such as cooling rates or roll speeds, in order to maximize throughput and product quality. These adjustments are based on a comprehensive understanding of how different process parameters interact and influence overall mill performance, ensuring that operators and maintenance teams have the tools necessary to make informed decisions.

3.5 System Architecture and Integration

The HSMXpert system is designed to be **modular and flexible**, allowing it to be easily integrated into existing mill IT infrastructure. The system includes various components,

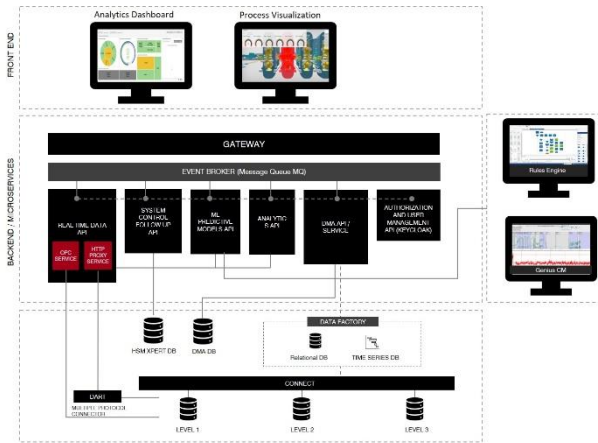


Figure 2. Holistic system architecture.

such as the **data provider**, **AI-driven analytics**, and **web-based visualization tools [9]**, which can be connected via secure APIs. These components work together to provide a comprehensive, real-time view of the mill's performance, from individual units to the overall production process. The web visualization component offers operators and engineers a user-friendly interface that allows them to quickly review performance data, detect anomalies, and take corrective actions. The system's modularity allows for additional features to be added over time, enabling continuous improvements and customization based on evolving operational needs.



Figure 3. Models and Process visualization.

Furthermore, the system's ability to handle a wide range of data sources—from real-time sensor data to historical maintenance records—ensures that all relevant information is available to support decision-making.

3.6 Integration with Process Models and Control Systems

To achieve a seamless integration of all system components, the HSMXpert integrates data from **automated process controls** and **process models**. These models use real-time data to continuously adjust and optimize mill operations, while control systems ensure that any changes made to the process are executed in a safe and efficient manner. The integration of these elements ensures that the entire production process is interconnected, with each part of the system influencing the others to maintain optimal performance.

The system's **event forensics** capabilities combining VEF and HEF—provide a comprehensive understanding of both individual unit operations and overall mill performance. By identifying root causes of anomalies and offering optimization suggestions, the HSMXpert empowers operators to make data-driven decisions that improve product quality, enhance efficiency, and reduce downtime.

The HSMXpert system provides a comprehensive approach to improving the reliability, efficiency, and quality of hot strip mills. Through advanced event forensics, predictive and prescriptive optimization, and real-time monitoring, the system empowers engineers and operators to detect and address issues proactively. The integration of smart sensors, AI-driven analytics, and automated process models enables the system to provide valuable insights that improve overall mill performance. By leveraging these tools, hot strip mills can achieve higher levels of production efficiency, reduced downtime, and improved product quality, ensuring that they remain competitive in an increasingly digital manufacturing landscape.

4. Results and discussion

This chapter presents the results and benefits of a key use case implemented within the HSMXpert system:

The **Looper Asset & Process Condition Monitoring** use case is an essential component of the HSMXpert system,

designed to ensure consistent and efficient performance of the looper within a hot strip mill (HSM). The looper plays a pivotal role in controlling the tension of the steel strip as it moves through the mill, and its condition directly impacts product quality and operational stability and efficiency. This chapter outlines the various monitoring mechanisms incorporated within the system to assess looper performance, identify anomalies, and optimize operational settings. The use case involves continuous monitoring of critical parameters, such as tension, positioning, servo valve performance, and friction, among others. The goal of the use case is to provide actionable insights that help operators make informed decisions to enhance production stability, minimize downtime, and maintain product quality and demonstrates the ability of the HSMXpert system to integrate advanced analytics and machine learning to predict equipment failures, optimize operational parameters, and ultimately improve the overall reliability and efficiency of the mill. The results discussed in this chapter illustrate how these systems contribute to enhanced production performance and product quality while reducing maintenance costs and downtime.

4.1 Looper Process Condition Monitoring Use Case

Use Case Definition

The **Looper Asset & Process Condition Monitoring** use case is structured to evaluate the operational state of the looper for each product, taking into account key parameters like steel grade, strip width, and thickness. These parameters are used to classify the looper's performance into operational status categories. The classification includes:

- **Looper Threading Status:** Loose, Ok, Tight
- **Looper Tension Control Status:** Ok, Warning, Alarm
- **Looper Asset Condition Status:** Ok, Warning, Alarm

These evaluations are based on statistical and machine learning methods, and the results are consolidated into a comprehensive alarm structure that provides operators with a clear understanding of the looper's operational health.

Sub-Component Analysis and Discussion

Looper Servo Valve Condition Monitoring

This sub-component of asset condition monitoring that monitors the performance of the looper's servo valve, which is critical for maintaining position control. The monitoring methods include:

- **Control Deviation Monitoring:** Detects deviations in servo valve responses.
- **Valve Spool Drift Monitoring:** Detects the deviation in servo valve spool position which indicate the issues like contamination, wear or

misalignment that demands valve service/maintenance to clean or rectify or replace parts.

- **Valve Leak Oil Monitoring:** Identifies oil leaks, which may indicate valve damage or wear.
- **Valve Response (Dead Zone Percentage) Monitoring:** Measures the inactive range where no control action occurs.

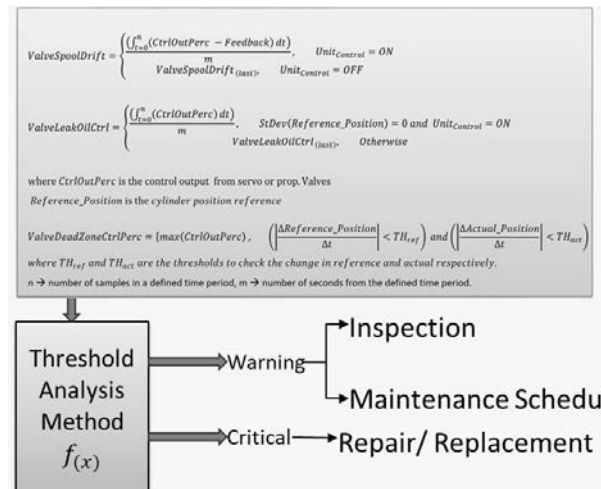


Figure 4. Looper Servo Valve Condition Monitoring.

By continuously monitoring the servo valve, the system enables **predictive and condition-based maintenance**, allowing for precise scheduling of repairs and preventing unplanned downtime. This enhances overall operational efficiency and looper reliability.

Looper Friction Monitoring

This sub-component tracks the friction between the looper and the rolled material. It assesses two key conditions:

- **Looper Idle Control Friction Monitoring:** Monitors friction when the looper is idle.
- **Looper Friction Using Calibration Data:** Compares friction levels during active operations against calibration data.

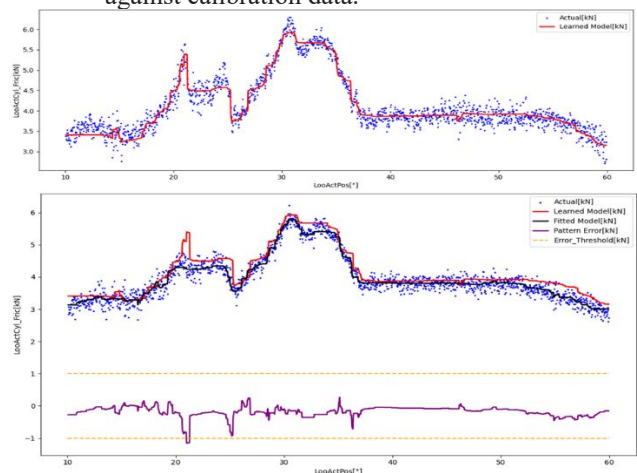


Figure 5. AI driven Looper Friction Monitoring.

Continuous friction monitoring provides valuable insights into looper performance, allowing the maintenance team to identify calibration needs and detect potential issues early. This minimizes unexpected disturbances and optimizes looper operation.

Cylinder Pressure Transducers Anomaly Detection

Cylinder pressure transducers measure hydraulic pressure within the looper's hydraulic cylinders. This sub-component evaluates anomalies based on:

- **Noise Detection:** Identifies irregularities or unusual noise levels in pressure readings.
- **Zero Value Drift:** Detects any drift from the expected zero values, signaling potential sensor malfunctions.
- **Anomaly Score:** Calculate the anomaly score of Pressure transducers (rod & piston side) using advanced statistical / ML method.

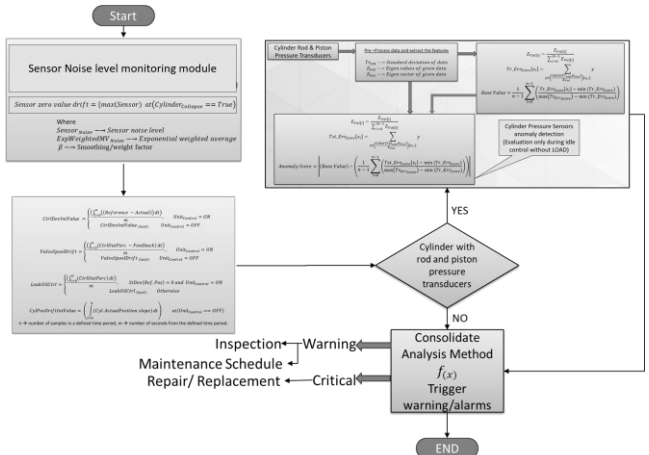


Figure 6. Cylinder Pressure Transducers Anomaly Detection.

By continuously monitoring pressure transducers, operators can identify malfunctions or abnormal behavior early, enabling proactive maintenance and reducing downtime. This contributes to overall system reliability.



Figure 7. ML driven looper pressure transducer performance monitoring.

Looper Force at Idle Position Control

The Looper Force at Idle Position Control monitors the force exerted by the looper when in the idle position. This parameter is critical for maintaining proper alignment before the rolling process begins. Monitoring the looper's force during idle ensures proper positioning, preventing potential misalignments that could disrupt subsequent operations.

Looper Position Control Deviation at Idle Position

This method tracks the deviation of the looper's position during idle states. Any significant deviation could affect the alignment during rolling, leading to quality defects. Early detection of position deviations enables timely adjustments to ensure optimal looper alignment, thereby preventing defects such as material misalignment or improper strip thickness.

Looper Position Sensor Monitoring

This monitoring detects the position sensor anomalies using signal processing, statistical and machine learning method that clearly differentiate the influence of servo control anomalies from position sensor anomalies by consolidating servo condition monitoring in this module as sub-component.

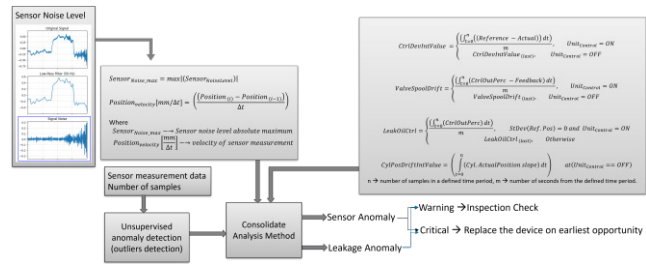


Figure 8. Advanced Statistical Based Condition Monitoring to Detect Anomalies.

Looper position sensor monitoring using complex machine learning and deep learning solution based on availability of historical failure event data. In this solution method also integrated with statistical leak anomaly detection to enhance the solution precision.

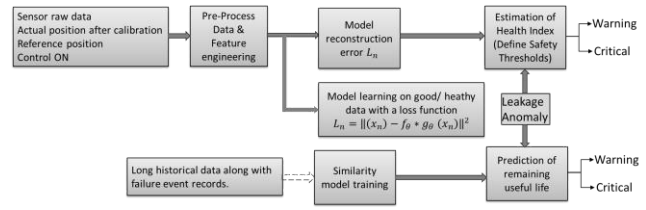


Figure 9. Machine learning solution to estimate sensor health index.

Looper Angle Noise and Spikes

Looper angle noise and spikes refer to unexpected variations in the angle of the looper during operation, which can result in process instability. Monitoring angle noise helps identify potential issues in looper control, allowing for adjustments to ensure a stable and accurate looper position.

Looper Threading Tension Evaluation

This evaluation monitors the tension during looper threading, ensuring smooth operation and avoiding issues such as material slippage or breakage. Monitoring the threading tension helps to ensure smooth material handling, preventing stoppages or defects related to improper tension.

Looper Tension Control Stability Monitoring

This method monitors the stability of the tension control system, which is crucial for maintaining uniform strip tension during rolling. Ensuring tension stability prevents product defects like waviness or edge cracks, ensuring consistent product quality.

Looper Angle Stability Monitoring During Tension Control

This method tracks the looper's angle stability during tension control, a key factor in ensuring uniform material processing. By maintaining stable looper angles, this monitoring system prevents deviations that could lead to product quality issues, such as inconsistent strip thickness.

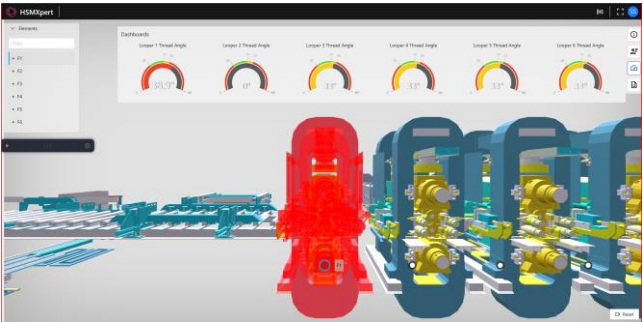


Figure 10. Looper Angle Stability Monitoring During Tension Control visualization.

Combination and Correlation of Sub-Modules

The sub-components of the **Looper Process Condition Monitoring** use case work in tandem to provide a comprehensive view of looper performance. By correlating the results from the different monitoring modules, the system can pinpoint the root causes of anomalies and optimize the entire production process.

- **Entry and Exit Speed Fluctuations:** Variations in entry and exit speeds can affect tension control, looper position stability, and product quality. By

correlating speed fluctuations with data from the **servo valve condition monitoring**, **tension control stability**, and **friction monitoring**, the system can identify whether speed variations are a result of looper control issues or process disturbances.

- **Temperature Fluctuations:** Fluctuations in entry and exit temperatures can cause material inconsistencies that affect product quality. By correlating temperature variations with **tension control stability**, **servo valve behavior**, and **Looper friction data**, the system can determine if thermal instability is impacting looper performance.
- **Historical Data Correlation:** Historical data such as **steel grade**, **width**, and **thickness** are integrated with real-time monitoring results. By analyzing these data correlations, the system can predict potential quality issues, such as surface defects or thickness variations, before they occur, thus enabling proactive adjustments.
- **Product Quality Defects and Anomalies:** The combination of insights from various sub-modules, including **tension control**, **position control**, **servo valve performance**, and **friction monitoring**, allows the system to identify early indicators of quality defects. By correlating operational data with product characteristics, the system ensures that any deviations are corrected before they lead to quality issues like cracking, waviness, or dimensional inconsistencies.



Figure 11. Looper use case consolidated alarm structure visualization.

The **Looper Process Condition Monitoring** use case within the HSMXpert system provides a holistic and real-time monitoring framework for one of the most critical components in a hot strip mill. By continuously tracking parameters such as tension, servo valve performance, friction, and looper positioning, the system allows for the identification of anomalies and provides actionable insights for optimization. The integration and correlation of these sub-components ensure that operational disturbances are minimized, product quality is maintained, and maintenance strategies are optimized. This use case exemplifies how

advanced analytics, machine learning, and expert systems can be combined to enhance the performance of complex manufacturing systems like the hot strip mill.

5. The Fishbone Concept for Anomaly Detection: Generalizing the Assessment of Cobble Probability

In addition to the detailed monitoring provided by the **Looper Process Condition Monitoring** use case, the **HSM Xpert** system utilizes the **Fishbone Concept for Anomaly Detection** to systematically assess the root causes of cobble events and generalize the probability of their occurrence. The Fishbone diagram, also known as the cause-and-effect diagram, is a valuable tool for visually mapping out and categorizing potential causes of anomalies. It provides a structured approach to identifying how multiple factors interact and contribute to production disruptions such as cobble events, helping operators make more informed decisions to mitigate risks.

The Fishbone diagram places the **effect**—in this case, the **cobble event**—at the head of the diagram, with various branches representing different categories of potential causes. These branches, or "bones," are derived from data collected across multiple use cases, including **Looper Process Condition Monitoring**, **Descale Damming Roll Force Control Stability**, **Pyro Condition Monitoring**, and **Roll Force Measurement Anomalies**. By correlating the data from these different use cases, the Fishbone diagram allows engineers to visually connect factors that could lead to a cobble event and assess the likelihood of each cause contributing to the issue.

For example, in the case of a **cobble event**, data from **Looper Process Condition Monitoring** might indicate **tension instability** or **servo valve malfunctions** as potential contributing factors. Similarly, **Descale Damming Roll Force Control Stability** may reveal fluctuations in roll force, which could lead to uneven material deformation and increase the risk of material jamming between the rolls. **Pyro Condition Monitoring** could highlight **temperature fluctuations** affecting the material's consistency, making it more prone to wedging. Additionally, **Roll Force Measurement Anomalies** could point to issues with inaccurate measurements, potentially leading to improper force distribution and material instability.

By integrating data from these various sources, the Fishbone Concept enables a holistic view of the factors contributing to cobbling events. The HSMXpert system allows operators to systematically explore these interconnected causes, helping to identify the root issues and prioritize corrective actions. By continuously monitoring and analyzing real-time data, the system provides an early warning mechanism for operators, allowing them to take preventive measures before a cobble event occurs.

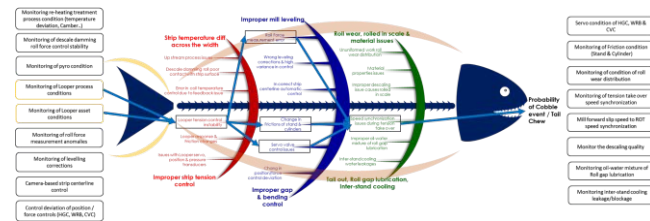


Figure 12. The Fishbone Concept diagram for Anomaly Detection.

Furthermore, the Fishbone Concept allows for the **probabilistic assessment** of cobbling risks. By evaluating the combined impact of these various factors, the system can generate a probability score indicating the likelihood of a cobbler event occurring under current operating conditions. This approach generalizes the assessment of cobbling risk, enabling operators to adjust process parameters proactively and improve the overall stability of the rolling process. Through the Fishbone method, the HSM Xpert system offers a powerful tool for predictive maintenance and process optimization, minimizing downtime and enhancing product quality.

5. Conclusion

In conclusion, this paper has explored the integration of advanced monitoring systems and the Fishbone Concept for anomaly detection within the **HSM Xpert** system to optimize hot strip mill operations. By leveraging use cases such as **Looper Process Condition Monitoring**, **Descaler Damming Roll Force Control Stability**, **Pyro Condition Monitoring**, and **Roll Force Measurement Anomalies**, the system enables a comprehensive understanding of the operational factors that contribute to cobble events and other anomalies. The application of the Fishbone Concept allows for a structured, visual approach to root cause analysis, helping to identify and correlate various potential causes, such as tension instability, roll force fluctuations, and temperature variations.

By combining these insights, **HSM Xpert** not only provides predictive maintenance capabilities but also generates a **probabilistic assessment** of cobble risk, allowing operators to proactively address issues before they escalate into significant disruptions. This holistic approach to process optimization enhances the mill's performance, reduces downtime, and ensures consistent product quality. The integration of these advanced monitoring techniques into the HSM Xpert system demonstrates the power of combining domain knowledge with cutting-edge data science and machine learning tools, pushing the boundaries of digitalization in the steel manufacturing industry.

Acknowledgment

We would like to thank the SMS R&D and Flat Rolling Department for their essential contributions to the HSM Xpert system. Their expertise and support have been key to

the success of this project. We also appreciate the support from management throughout the development process.

Additionally, we are grateful for the valuable feedback from our steel producer partners, which has helped improve the system and make it more effective in real-world use.

References

- [1] . Mishra, D., Basu Roy, R., Dutta, S., Pal, S. K., & Chakravarty, D. (2018). A review on sensor-based monitoring and control of friction stir welding process and a roadmap to Industry 4.0. *Journal of Manufacturing Processes*, 35, 1-15.
<https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2018.07.001>
- [2]. Binder, R., Riedel, M., & Wenzel, S. (2020). How industrial AI takes steel quality management to a new level. *PSI Trends*, 1, 1-4.
<https://www.psi.de/en/trends/article/how-industrial-ai-takes-steel-quality-management-to-a-new-level>
- [3]. Straat, M., Koster, K., Goet, N., & Bunte, K. (2022). An Industry 4.0 example: real-time quality control for steel-based mass production using machine learning on non-invasive sensor data. *arXiv preprint arXiv:2206.05818*.
<https://doi.org/10.48550/arXiv.2206.05818>
- [4]. Jakubowski, J., Wojak-Strzelecka, N., Ribeiro, R. P., Pashami, S., Bobek, S., Gama, J., & Nalepa, G. J. (2024). Artificial intelligence approaches for predictive maintenance in the steel industry: A survey. *arXiv preprint arXiv:2405.12785*.
<https://doi.org/10.48550/arXiv.2405.12785>
- [5]. ME-01.3 Adjogble, F, at al• Advanced Intelligent Manufacturing in Process Industry Using Industrial Artificial Intelligence. PICMET 2023, July 24, Monterrey, Mexico, <https://ieeexplore.ieee.org/document/10216797>
- [6]. Adjogble, F, at al. Digital transformation: System and Data architecture as backbone for AI/ML in the Metals Industry, ASSOCIATION FOR IRON & STEEL TECHNOLOGY AISTech 2023 Conference paper.
- [7]. Adjogble, F. Using Advanced Machine Learning and AI in the Steel Industry, ArcelorMittal Process Research Innovation, Detroit, USA 2021.
- [8]. Adjogble, F. Industrial Internet of Things, Article AIST Journal, ASSOCIATION FOR IRON & STEEL TECHNOLOGY I AIST.ORG
- [9]. Adjogble. F., Expert System Process Monitoring and real time Event forensic. ASSOCIATION FOR IRON & STEEL TECHNOLOGY AISTech 2023 Conference paper.
- [10]. Adjogble F., AI ML Modelling using Metals industry Domaine Knowledge, ASSOCIATION FOR IRON & STEEL TECHNOLOGY AISTech 2023 Conference paper.

Q3-DYMS Simplifies Complex Management of Stockyards in A Guided or Fully Automatic Mode

Ivan D'ONGHIA

Danieli Automation

Italy

INTRODUCTION

Leading companies are increasingly adopting fully automatic material handling systems to enhance safety and reduce the number of operators required on cranes or the production floor. This innovative approach not only minimizes the risk of accidents but also improves tracking accuracy for both moving and in-stock materials. As a result, organizations gain comprehensive insights into their stockyard inventory.

Additionally, the optimization of crane movements contributes to increased plant efficiency, streamlining operations and maximizing productivity.

The Danieli Q3-DYMS system revolutionizes yards management by enabling a small team of operators to monitor the entire facility from a centralized control station. This is achieved through the strategic deployment of dedicated video cameras and an online Digital Twin, which provides real-time visualizations of material and equipment positions across the facility.

Q3-DYMS dynamically organizes tasks for each piece of handling equipment based on its operational status, priority missions, location, and concurrent usage at specific sites. This intelligent task management optimizes performance and maximizes efficiency, ensuring streamlined operations.

A key objective of the Q3-DYMS system is to enhance safety in material handling, marking a significant step towards the realization of intelligent, high-tech manufacturing plants. By integrating advanced digital technologies, Danieli Q3-DYMS sets a new standard for modern industrial facilities. Q3-DYMS also serves as a powerful offline simulator, allowing users to analyze alternative scenarios for material distribution and equipment utilization. This capability enables efficient "what-if" analyses, empowering decision-makers to evaluate potential strategies before implementing changes aimed at enhancing yard efficiency or planning future production and maintenance activities.

By simulating different scenarios, users can make informed, strategic decisions that optimize operations and drive long-term success.

DISCUSSION

The entire yard is efficiently managed by a small team of operators from a centralized control station, where they oversee crane movements and monitor product tracking. This is facilitated by dedicated video camera systems and an online Digital Twin of the facility, which provides real-time visualizations of the positions of both materials and equipment. Additionally, the system allows operators to drill down into detailed information about each represented object, offering a granular level of insight and control.

A recent deployment of this technology at a slab yard in Mexico serves as a compelling example of its capabilities and potential achievements. Notably, the system's ambitious objectives were successfully met through the strategic use of configurable rules and advanced heuristic optimization algorithms.

This combination allowed for tailored solutions that effectively addressed specific operational challenges, demonstrating the technology's adaptability and effectiveness in real-world applications.

The concept of a fully automatic management system is driven by the need to maximize productivity and efficiency in yard operations.

For years, the Danieli Automation Digi&Met team has been developing and implementing an advanced system known as Q3-DYMS, or the Q3 Danieli Yard Management System. This sophisticated technology can manage various types of warehouses and establishing fully automated yard management processes.

A recent notable implementation of Q3-DYMS was at a slab yard serving a hot-strip mill for a major plant in Mexico. This slab yard is strategically divided into three arrival bays, where slabs are unloaded from trains, and two charging bays where slabs are prepared before being loaded into the hot-strip mill furnace. Each arrival bay is equipped with two automated cranes, while each charging bay features two transfer cars and two depilers that feed the furnace.

The material flow begins with the arrival of train convoys and their unloading. Slabs are then transported from the arrival bays to the charging bays to meet the rolling schedule. In the charging bays, slabs are rearranged and stacked so that the depilers can load them onto the roller table in the precise order required by the hot rolling mill.

This streamlined process ensures efficient and precise material handling, optimizing the overall production workflow.

Project Objectives and Achievements

The primary goals of the project were to implement a system capable of achieving several key objectives:

- **Minimize Unloading Time:** Reduce the time required to unload train convoys.
- **Enhance Material Homogeneity:** Increase the uniformity of materials in each pile while adhering to the "material rotation" map and ensuring safety.
- **Increase Yard Throughput:** Boost the overall efficiency of the yard.
- **Ensure Continuous Furnace Feeding:** Maintain a steady supply of materials to the furnace.
- **Eliminate Manual Material Reconciliation:** Remove the need for human intervention in reconciling materials.
- **Reduce Operator Presence:** Minimize the physical presence of operators in the yard.

However, some of these objectives present conflicting demands. For instance, minimizing unloading time can compromise material homogeneity, while high throughput may conflict with optimal material compatibility. To address these challenges, the project utilized a set of configurable rules and heuristic optimization algorithms, which were fine-tuned during the commissioning phase.

Benefits of Q3-DYMS Adoption

Implementing Q3-DYMS in a yard can lead to significant cost reductions due to several key benefits:

- **Yard Organization:** Materials are organized within the yard according to customized configurations tailored to the end-user's needs. The high degree of configurability and availability of rules for accommodating materials in proper stocks make Q3-DYMS flexible, allowing for easy adaptation to future changes. The application of configured piling rules helps resolve safety issues in material piling and creates consistent material aggregates with

similar characteristics, reducing the percentage of de-stacking when selecting compatible pieces.

- **Real-Time Yard Inventory:** To effectively manage daily yard activities, it is crucial to have a comprehensive view of the entire yard inventory. Q3-DYMS tracks each crane movement, enabling the tracing of every material's movement in the yard. This provides a real-time and reliable inventory with access to detailed data for each piece.
- **Tracking Accuracy:** Materials are mapped from arrival to usage, with positioning retrieved from crane and machine sensors in real-time, ensuring zero-error tracking. Q3-DYMS offers an advanced 3D map of the entire yard, visually representing the real-time positions of materials and equipment. This map allows users to delve into detailed information about each represented object. The elimination of manual material reconciliation increases yard accuracy and provides a reliable inventory of material throughout all processes.
- **Multistage Optimization:** Given the concurrent project goals, Q3-DYMS iteratively invokes heuristic optimizers to determine optimal targets. These include the best positioning of materials in piles, considering piling rules alongside real-time crane positions to reduce interference and increase crane utilization. The system optimizes schedule fulfillment by balancing bay space usage, maximizing transfer car utilization, and minimizing de-stacking. It assigns the best priority list of missions to each piece of equipment, reducing overall procurement time and increasing crane usage. To calculate the best feasible solution, the optimizer leverages a real-time overview of the yard status. This includes the configuration and status of each box, the status of each means of transport in the yard, the location of each piece, and the updated status of material characteristics.
- **Improved Crane Utilization:** In the fully automatic system, handling equipment is designed to perform tasks autonomously. The optimizer in Q3-DYMS has enhanced crane utilization in several ways, including reducing crane interference to below 1% and minimizing unnecessary movements. Additionally, parallelizing cranes in the same bay allows for anticipating movements when possible.
- **Reduced Staff and Enhanced Safety:** The fully automatic application and the ability to operate all equipment from a remote pulpit using a Digital Twin and Eye-On cameras reduce the number of operators needed. Operators are assigned to highly specialized tasks to manage the yard. Furthermore, eliminating human presence in the field aligns with a zero-accident philosophy, increasing safety by avoiding hazards related to human presence on the floor and isolating machine operations within a fenced unit.

CONCLUSIONS

Q3-DYMS represents a groundbreaking technology for controlling manual and automatic yards, seamlessly integrating into a plant's digitalization strategy.

In the real case presented in the article about the installation in Mexico, in 5 months only, over 160,000 slabs with an estimated weight of 3.6 million tons were successfully moved. This included procurement, wagon unloading, de-stacking, and mill feeding. Initially handling 700 movements per day, the implementation of optimization rules, movement parallelization, and piling rule adjustments led to significant improvements.

Various yard management solutions have been designed and implemented for different production types till today, including pipes, slabs, flat coils, and billets. Each solution is tailored to specific product characteristics, crane availability, and layout.

A modern, automated, and digital plant features a sophisticated yard management system. Danieli Q3-DYMS enhances material tracking, operational safety, and efficiency while reducing operational expenses (OpEx).

Endüstriyel Çözümler İçin OpenAI GPT Modellerinin Karşılaştırmalı Performans İncelemesi

A Comparative Performance Study of OpenAI GPT Models for Industrial Solutions

Merve ÖPER^{1,2}, Yasin AKBAŞ^{1,3}, Saygın KAÇAR¹

¹Borçelik Çelik Sanayii, ²Kadir Has Üniversitesi, ³Bursa Teknik Üniversitesi

Türkiye

Anahtar Sözcükler : Doğal Dil İşleme, Üretken Yapay Zeka, OpenAI, ChatGPT

Abstract

In recent years, the use of chatbot applications has rapidly expanded and begun to play a significant role across various industries. These developments are also important in industrial environments, as efficient and accurate data processing can significantly enhance operational efficiency. This study aims to compare the performance of different GPT models developed by OpenAI (GPT-3.5 Turbo, GPT-4 32k, GPT-4 Turbo, and GPT-4 Omni) in an industrial application scenario focused on tracking automation maintenance processes. The study involves extracting data from a specific file, processing user-generated prompts, and generating responses using the selected GPT models. The models were compared based on token consumption and response time metrics. The results demonstrate how effectively each model can handle real-world industrial tasks and provide insights into which models may suit different scenarios. This analysis aims to guide the selection of the most appropriate GPT model for industrial applications.

Özet

Son yıllarda, chatbot uygulamalarının kullanımı hızla yaygınlaşmakta ve çeşitli endüstrilerde önemli bir rol oynamaya başlamaktadır. Bu gelişmeler, endüstriyel ortamlarda da büyük önem taşımaktadır; çünkü verimli ve doğru veri işleme, operasyonel verimliliği önemli ölçüde artırabilir. Bu çalışma kapsamında OpenAI tarafından geliştirilen farklı GPT modellerinin (GPT-3.5 Turbo, GPT-4 32k, GPT-4 Turbo ve GPT-4 Omni) otomasyon bakım süreçlerinin takibi endüstriyel uygulama senaryosundaki performansını karşılaştırmayı hedeflemektedir. Çalışma kapsamında belirli bir dosyadan veri çekme, kullanıcıdan gelen prompt'ları işleme ve seçilen GPT modelleri aracılığıyla yanıt üretme süreçleri gerçekleştirilmiştir. Modeller tüketilen token miktarı ve yanıt verme süresi metrikleri ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar her bir modelin gerçek dünya endüstriyel görevlerini ne derece başarıyla yerine getirdiğini net bir şekilde ortaya koymakta ve farklı senaryolarda hangi modellerin daha uygun olabileceğine dair öngörüler sunmaktadır. Bu analiz, endüstriyel uygulamalar için en uygun GPT modelinin seçilmesinde rehberlik etmeyi amaçlamaktadır.

1. Giriş

Doğal dil işleme (NLP) alanı, son birkaç on yılda dikkate değer bir büyüme göstererek, basit kural tabanlı sistemlerden insan dilini anlama ve üretme konusunda neredeyse insan seviyesinde yetkinliğe sahip sofistike modellere evrilmiştir. 1960'larda geliştirilen ELIZA gibi erken dönem sohbet botları, yalnızca temel kalıp eşleştirme ve önceden programlanmış yanıtlarla sınırlı olarak sohbeti simüle edebilmiştir [1]. O dönemde devrim niteliğinde olan bu sistemler, karmaşık ve bağlama duyarlı diyaloglar kurma yetenekleri açısından ciddi sınırlamalar taşımaktaydı. Zamanla, kural tabanlı sistemlerin bu sınırlamaları belirginleşmiş ve daha gelişmiş doğal dil işleme yaklaşımları ortaya çıkmıştır. Bu gelişmeler, günümüzde chatbot uygulamalarının geniş bir yelpazede, özellikle de endüstriyel bağlamlarda, önemli bir rol oynamasına zemin hazırlamıştır.

Endüstriyel sektörlerde, hızlı ve doğru bilgi işleme yeteneği, operasyonel verimlilik açısından kritik bir öneme sahiptir. Bu bağlamda, GPT (Generative Pretrained Transformer) modelleri, dil işleme kapasitesi ve doğal diyaloglar oluşturabilme yetenekleriyle dikkat çekmektedir [2]. Ancak, farklı GPT modellerinin endüstriyel uygulamalardaki etkinliği ve bu modellerin güçlü ve zayıf yönlerinin belirlenmesi, bu teknolojilerin pratik kullanımları açısından önemli bir araştırma konusudur.

Bu çalışmada, OpenAI tarafından geliştirilen çeşitli GPT modellerinin, özellikle otomasyon bakım süreçleri gibi endüstriyel senaryolardaki performansları karşılaştırmalı olarak analiz edilmektedir. Çalışmanın temel amacı, bu modellerin gerçek dünya koşullarında nasıl performans gösterdiğini değerlendirmek ve her bir modelin güçlü ve zayıf yönlerini ortaya koyarak, endüstriyel uygulamalarda GPT tabanlı çözümlerin etkin bir şekilde kullanılmasına yönelik stratejik öngörüler sağlamaktır.

2. İlgili Çalışmalar

Doğal dil işlemenin gelişim süreci, basit kural tabanlı sistemlerden daha karmaşık ve esnek modellere geçişle şekillenmiştir. Kural tabanlı sistemlerin sınırlamaları belirginleştikçe, 1990'larda doğal dil işleme alanında istatistiksel yöntemler ön plana çıkmış ve Gizli Markov modelleri gibi teknikler ile erken dönem makine öğrenimi algoritmaları benimsenmiştir [3]. Bu yaklaşımlar, sohbet botlarının daha esnek ve dinamik yanıtlar üretmesine olanak

sağlamış, ancak insan dilinin karmaşıklığı, özellikle de uzun süreli diyaloglarda bağlamı anlama ve sürdürme konularında, hala önemli zorluklar barındırmıştır. NLP'deki asıl dönüm noktası, 2010'larda derin öğrenmenin ortaya çıkmasıyla, özellikle de ardışık verileri işleyebilen tekrarlayan sinir ağları (RNN) ve uzun kısa süreli bellek (LSTM) ağları gibi modellerin geliştirilmesiyle gerçekleşmiştir [3]. Her ne kadar bu model dil görevleri için uygun hale getirilmiş olsalar da uzun vadeli bağımlılıkları etkili bir şekilde yakalayamama sınırlılıkları nedeniyle, daha gelişmiş mimarilere ihtiyaç duyulmuştur [4]. Bu ihtiyaç, 2017 yılında Vaswani ve arkadaşları tarafından tanıtılan Transformer modeli ile karşılanmış ve bu model NLP alanında devrim yaratmıştır [5]. Transformer modeli, bir cümledeki farklı kelimelerin önemini aynı anda değerlendirmeye olanak tanıyan dikkat tabanlı bir mekanizmayı (attention mechanism) tanıtmış, bu sayede modeli sıralı işleme zorunluluğundan kurtarmıştır. Bu dikkat mekanizması, modelin bağlamsal ilişkileri daha etkili bir şekilde yakalamasını sağlayarak dil anlama ve üretiminde önemli iyileştirmeler sağlamıştır. Ayrıca, öğrenme sürecinin paralel hale getirilebilmesi, bu modellerin benzeri görülmemiş ölçeklerde eğitilmesini mümkün kılarak yeteneklerini daha da artırmıştır.

Transformer mimarisi üzerine inşa edilen Generative Pretrained Transformers modelleri, günümüzde NLP alanındaki en güçlü ve çok yönlü modelleri temsil etmektedir [6]. Bu modeller, dikkat mekanizmasından yararlanarak insan benzeri metinler üretir ve tutarlı, bağlama uygun sohbetler sürdürebilir. OpenAI'nin GPT tabanlı bir sohbet botu olan ChatGPT, insan konuşmasını simüle etme ve kullanıcılarla doğal bir şekilde etkileşim kurma konusunda yüksek performans sergilemektedir. 100 milyon kullanıcıya en hızlı ulaşan platform olarak dikkat çeken bu başarısı, dikkat tabanlı modellerin diyalog bazlı yapay zeka alanındaki dönüştürücü etkisini göstermektedir [7].

Diyalog bazlı yapay zekanın evrimi, basit kural tabanlı sistemlerden, GPT gibi gelişmiş dikkat tabanlı modellere geçiş yaparak, insan-makine etkileşimlerinin doğallığını ve faydasını önemli ölçüde artırmıştır [2]. Bu sistemler, müşteri hizmetlerinden sağlık hizmetlerine ve sanal asistanlara kadar geniş bir yelpazede yer alarak daha sezgisel ve kişiselleştirilmiş kullanıcı deneyimleri sunmaktadır [8]. Bu çalışmada, her biri farklı avantajlar sunan GPT-3.5 Turbo, GPT-4 32k, GPT-4 Turbo ve GPT-4o (“omni”) OpenAI dil modelleri kullanılmıştır. Mart 2023'te piyasaya sürülen GPT-3.5 Turbo, yaklaşık 175 milyar parametreye ve 4.096 token sınırına sahiptir [9]. Daha düşük gecikme süresiyle genel amaçlı görevler için optimize edilmiştir ve hızın kritik olduğu gerçek zamanlı uygulamalar için idealdir. Yine Mart 2023'te tanıtılan GPT-4 32k, daha karmaşık, uzun metinli görevleri yerine getirebilmesini sağlayan 32.768 tokenlık daha büyük bir bağlam penceresiyle donatılmıştır. Tahmini 220-280 milyar parametreye sahip olan bu model, daha yüksek hesaplama kaynaklarına ihtiyaç duyarken, geniş metinlerin işlenmesinde artan bir yetenek sunmaktadır [10], [11]. Mart 2023'te piyasaya sürülen başka bir varyant olan GPT-4 Turbo, performans ve verimlilik arasında bir denge sunmaktadır. Model yaklaşık 220-280 milyar parametre ile GPT-4'ün yeteneklerini korurken, gecikmeyi azaltacak şekilde optimize edilmiştir, bu da onu yüksek verimlilik gerektiren ortamlarda hem hız hem de doğruluğun önemli olduğu durumlar için

uygun hale getirmektedir [12]. GPT-4o insan-bilgisayar etkileşimi açısından önemli bir adımdır. Metin, ses, görüntü ve video gibi herhangi bir kombinasyonu girdi olarak kabul edebilmektedir. Ayrıca çıktı olarak da metin, ses ve görüntü kombinasyonları üretebilmektedir. Model ortalama 320 milisaniyelik yanıt süresiyle insan yanıt sürelerine benzer bir performans göstermektedir. İngilizce metin ve kod konularında GPT-4 Turbo'nun performansını yakalarken, diğer modellere kıyasla İngilizce dışı metin işleme, görme ve ses anlama konularında önemli iyileştirmeler sunmaktadır [13].

GPT modellerinin etkileyici yeteneklerine rağmen, endüstriyel bağlamlarda uygulanmaları benzersiz zorluklar ve fırsatlar sunmaktadır. Bu çalışmada, çeşitli GPT modellerinin performansı örnek bir endüstriyel uygulamada karşılaştırmalı olarak analiz edilmektedir. Çalışma sonunda bu modellerin gerçek dünya senaryolarındaki güçlü ve zayıf yönlerini inceleyerek, GPT tabanlı çözümlerin endüstriyel uygulamalarda etkin bir şekilde kullanılmasını yönlendirecek öngörüler sağlanması amaçlanmaktadır.

3. Deney Sistemi

3.1. Kullanılan Veri Seti

Bu çalışmada kullanılan veri seti, Otomasyon ekibi tarafından 25 Aralık 2023 ile 17 Mayıs 2024 tarihleri arasında kaydedilmiş toplam 384 girişi içermektedir. Bu kayıtlar, tarih, vardiya, personel ismi ve yapılan işlemler gibi sütunlardan oluşmaktadır. Veriler, Excel formatında günlük olarak girilmekte ve her bir vardiya boyunca yapılan çalışmalar detaylı bir şekilde kaydedilmektedir. Olaysız geçen günlerde ise "Hat vardiya boyunca duruşsuz çalıştı" notu eklenmektedir.

3.2. Kullanılan GPT Modelleri

Bu çalışmada, çeşitli GPT modellerinin performansını karşılaştırmak amacıyla OpenAI tarafından geliştirilen dört farklı model kullanılmıştır: GPT-3.5 Turbo: Daha hızlı yanıt süreleri ve optimize edilmiş performans sunan bir model. GPT-4 32k: Geniş bağlam penceresiyle daha karmaşık ve uzun metinleri işleyebilen bir model. GPT-4 Turbo: Yüksek verimlilik ve düşük gecikme süresi ile optimize edilmiş bir versiyon. GPT-4 Omni: Çok yönlü kullanım ve genişletilmiş yeteneklerle donatılmış en gelişmiş model.

3.3. Soru Şablonlarının Belirlenmesi

Deneyde kullanılacak sorguların belirlenmesi amacıyla, otomasyon ekiplerinde çalışan uzmanların görüşleri alınmıştır. Bu uzmanlar, sahada en sık karşılaşılan ve sorgulanacak konulara dayalı olarak aşağıdaki cümleleri önermiştir:

- "Profibus kök nedenli arızalar hakkında bilgi verebilir misiniz?"
- "Motor arızalarıyla ilgili durumu değerlendirebilir misiniz?"
- "Enkoder sorunlarıyla ilgili detaylı bilgi verebilir misiniz?"

- "300ACM01 cihazının geçmişi hakkında bir özet sunabilir misiniz?"
- "Mart 2024 dönemi duruşları hakkında bilgi verebilir misiniz?"

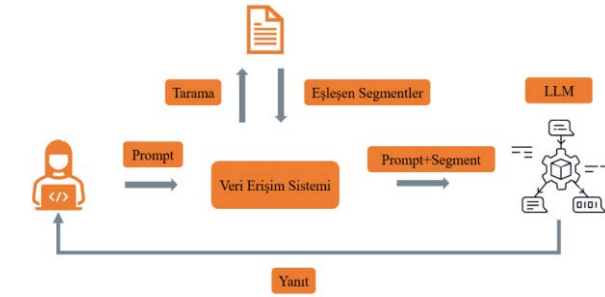
Seçilen soru şablonları, üç farklı tipte tasarlanmıştır:

Genel Sorunlar: Profibus kök nedenli arızalar gibi genel sistem hataları hakkında bilgi almak amacıyla tasarlanmıştır. Ekipman Özelindeki Arızalar: Motor veya enkoder gibi spesifik cihaz arızalarına odaklanmaktadır. Zaman Aralığı ve Sorun Kombinasyonu: Mart 2024 gibi belirli bir dönem için duruşlar hakkında bilgi talep edilmiştir.

Bu farklı soru şablonları, GPT modellerinin hem genel bilgi talebinde hem de belirli teknik sorunlar üzerinde ne kadar başarılı olduğunu değerlendirmek amacıyla kullanılmıştır.

3.4. Sistem Mimarisi

Bu çalışmada kullanılan sistem mimarisi, veri erişim sistemi ile entegre edilen GPT modelleri ve kullanıcıdan gelen prompt'lar üzerine yapılandırılmıştır. Sistem, bir kullanıcının belirlediği sorguya dayalı olarak, kaynak dosyadaki ilgili verileri tarar ve eşleşen segmentleri tespit eder. Tespit edilen segmentler, kullanıcı promptu ile birleştirilerek GPT modellerine iletilir ve bu modeller tarafından yanıt üretilir (Şekil 1).



Şekil 1. Sistem Mimarisi

Sistem, yanıt üretme sürecinde System Prompt ve User Prompt olmak üzere iki ana prompt yapısı kullanılmaktadır. System Prompt modelin genel görevini belirleyip, yanıtların nasıl yapılandırılması gerektiğine dair modele rehberlik etmektedir. Bu nedenle modelin çalışması için temel yönergeler içermektedir. User Prompt ise kullanıcı tarafından belirlenen spesifik soruyu içermektedir. Bu prompt modelin kullanıcı tarafından belirlenen konuya odaklanmasını sağlamaktadır (Şekil 2).

```
system_prompt = (
    "Endüstriyel veriler içeren bir Excel dosyasına erişimi olan zeki bir asistansınız. "
    "Göreviniz, sağlanan verileri analiz ederek en önemli detaylara odaklanmak ve Türkçe olarak net, anlaşılır cevaplar üretmektir. "
    "Gereksiz bilgileri kullanmaktan kaçının ve sadece kullanıcının sorusuna odaklanın."
)

user_prompt = (
    "Kullanıcı sorusu: {soru}"
    "Aşağıda ilgili veriler verilmiştir. Lütfen sadece gerekli ve önemli olan bilgileri kullanarak soruya yanıt verin:"
    "{ilgili_metin}"
)
```

Şekil 2. Örnek Prompt Yapıları

Bunlara ek olarak çalışma kapsamında, farklı GPT modellerini kolaylıkla deneyebilmek ve yanıt süresi,

kullanılan token sayısı gibi parametreleri tespit edebilmek amacıyla özel bir arayüz tasarlanmıştır. Bu arayüz, kullanıcıların prompt girmesine ve kullanmak istedikleri dil modelini seçmelerine olanak tanımaktadır. Arayüz, kullanıcının sorgusuna yanıt olarak hem sorunun cevabını hem de bu cevabın oluşturulmasında kullanılan metinleri sunmaktadır. Bu sayede, dil modellerinin olası halüsinasyon problemlerine karşı önlem alınması hedeflenmiştir. Ayrıca, model, kaynak dosyada bulunmayan veya sistem tarafından tanınmayan bir soru ile karşılaştığında yanıt üretmeyecek şekilde yapılandırılmıştır. Bu tasarım, modelin doğruluğunu artırmak ve yanlış bilgi üretimini minimize etmek amacıyla uygulanmıştır.



Şekil 3. Kullanıcı Arayüzü

4. DeneySEL Sonuçlar

Bu çalışmada, farklı GPT modellerinin performansını karşılaştırmak için token sayısı ve yanıt süresi olmak üzere iki temel metrik kullanılmıştır. Token, bir dil modelinin metni işleme sürecinde kullandığı en küçük birimdir ve genellikle bir kelime, kelime parçası veya noktalama işareti olabilir. API, bir sorguyu işlemeye başlamadan önce girdiyi bu küçük birimlere, yani token'lara bölmektedir. Token sayısı, modelin bir soruya yanıt verirken ne kadar bilgi işlediğini gösteren kritik bir ölçüttür ve modelin verimliliği ile bilgi işleme kapasitesi hakkında önemli ipuçları sunmaktadır.

Token sayısının dil ve karakterlere göre nasıl farklılık gösterebileceğini anlamak için Türkçe ve İngilizce ifadelerle ilgili bir karşılaştırma yapılmıştır. OpenAI'nin online tokenizer aracıyla yapılan analizler, dilin ve kullanılan karakterlerin token sayısını doğrudan etkileyebileceğini göstermektedir. Örneğin, "Merhaba Dünya" ifadesi 13 karakter içermesine rağmen Türkçe karakterler nedeniyle 6 token olarak hesaplanırken, aynı ifade Türkçe karakterler olmadan "Merhaba Dunya" şeklinde yazıldığında token sayısı 5'e düşmektedir. Karşılaştırma amacıyla incelenen "Hello World" ifadesi ise, 11 karakter içermesine rağmen yalnızca 2 token ile temsil edilmektedir. Bu örnekler, İngilizce ifadelerin genellikle daha az token ile temsil edilebildiğini ve bu durumun dil modellerinin farklı dillerdeki verimliliğini etkileyebileceğini göstermektedir.

Diğer bir karşılaştırma metriği olan yanıt süresi ise, modelin bir soruya ne kadar sürede yanıt verdiğini ölçmektedir. Bu çalışmada, yanıt süresini değerlendirmek için her bir modele aynı soru üç kez sorulmuş, ardından bu üç denemenin ortalama yanıt süresi ve standart sapması hesaplanmıştır. Ortalama yanıt süresi, modelin hız performansını ortaya

Çizelge 1. GPT Modellerinin Performans Karşılaştırması

Soru	Model	Girdi Tokenleri	Çıktı Tokenleri	Yanıt Süresi (sn)
Profibus kök nedenli arızalar hakkında bilgi verebilir misiniz?	GPT-3.5-turbo	701	386	3,20 ± 1,67
	GPT-4-32k	701	337	29,78 ± 1,32
	GPT-4-turbo	701	509	17,42 ± 2,69
	GPT-4o	566	290	4,36 ± 0,39
Motor arızalarıyla ilgili durumu değerlendirebilir misiniz?	GPT-3.5-turbo	6338	234	3,70 ± 1,28
	GPT-4-32k	6338	642	30,47 ± 16,60
	GPT-4-turbo	6338	445	18,56 ± 4,08
	GPT-4o	4959	299	6,26 ± 0,98
Enkoder sorunlarıyla ilgili detaylı bilgi verebilir misiniz?	GPT-3.5-turbo	746	274	2,40 ± 0,35
	GPT-4-32k	746	329	22,46 ± 5,41
	GPT-4-turbo	746	490	13,96 ± 0,93
	GPT-4o	599	235	5,95 ± 1,70
300ACM01 cihazının geçmişi hakkında bir özet sunabilir misiniz?	GPT-3.5-turbo	591	141	1,94 ± 0,74
	GPT-4-32k	591	278	23,78 ± 6,92
	GPT-4-turbo	591	303	9,86 ± 0,55
	GPT-4o	455	138	2,94 ± 0,84
Mart 2024 dönemi duruşları hakkında bilgi verebilir misiniz?	GPT-3.5-turbo	1111	447	2,72 ± 1,00
	GPT-4-32k	1111	375	20,43 ± 3,72
	GPT-4-turbo	1111	380	12,29 ± 3,01
	GPT-4o	929	174	3,17 ± 0,42

koyarken, standart sapma, bu sürenin tutarlılığını değerlendirmektedir.

Girdi token sayıları incelendiğinde (Çizelge 1), tüm modellerin aynı sorular için genellikle benzer sayıda girdi token kullandığı görülmektedir. Bununla birlikte, GPT-4o modelinin bazı sorularda diğer modellere kıyasla daha az girdi tokeni kullandığı dikkat çekmektedir. Örneğin, "Motor arızalarıyla ilgili durumu değerlendirebilir misiniz?" sorusunda, GPT-4o modeli 4959 token kullanırken, diğer modeller 6338 token kullanmıştır. Bu durum, GPT-4o'nun belirli bilgileri daha verimli işleyebilme potansiyelini ortaya koymaktadır.

Çıktı tokenleri açısından değerlendirildiğinde ise, Çizelge 1'de görüldüğü gibi, GPT-4-32k ve GPT-4-turbo modellerinin diğer modellere kıyasla daha fazla çıktı tokeni ürettiği, dolayısıyla daha ayrıntılı ve uzun yanıtlar sunduğu anlaşılmaktadır. Örneğin, "Profibus kök nedenli arızalar hakkında bilgi verebilir misiniz?" sorusunda, GPT-4-turbo 509 token kullanarak kapsamlı bir yanıt sunarken, GPT-3.5-turbo modeli 386 token ile daha kısa bir yanıt sağlamıştır. Bu farklılık, GPT-4-turbo'nun daha derinlemesine bilgi sağlama eğiliminde olduğunu gösterebilir.

Yanıt süreleri incelendiğinde (Çizelge 1), GPT-4-32k modelinin tüm sorular için en uzun yanıt sürelerine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Özellikle "Motor arızalarıyla ilgili durumu değerlendirebilir misiniz?" sorusunda 30,47 ± 16,60 saniye ile en yavaş model olmuştur. Buna karşılık, GPT-3.5-turbo modeli genel olarak en kısa yanıt sürelerini sunmuş, "300ACM01 cihazının geçmişi hakkında bir özet sunabilir misiniz?" sorusunda 1,94 ± 0,74 saniye ile en hızlı yanıtı vermiştir. Bu sonuçlar, GPT-3.5-turbo'nun hız açısından daha verimli bir model olduğunu ortaya koymaktadır.

Tablo 1'de yer alan yanıt sürelerindeki tutarlılık da modeller arasında farklılık göstermektedir. GPT-4o modeli, yanıt sürelerinde en düşük standart sapmaya sahip olup, en tutarlı sonuçları sunmuştur. Örneğin, "Profibus kök nedenli arızalar hakkında bilgi verebilir misiniz?" sorusunda GPT-4o'nun yanıt süresi 4,36 ± 0,39 saniye olarak ölçülmüştür. Buna karşın, GPT-3.5-turbo modeli yanıt süresi açısından daha hızlı olmakla birlikte, aynı soruya farklı formatlarda yanıt verebilmektedir. Örneğin, bir yanıtı liste formatında sunarken, başka bir yanıtı paragraf formatında sunmuştur. Bu esneklik bazı durumlarda avantaj sağlasa da tutarlılık gerektiren senaryolarda zorluklar yaratabilir.

Verilen yanıtların doğruluğu ve tatmin ediciliği açısından uzmanlar tarafından değerlendirildiğinde tüm modellerin genellikle doğru yanıtlar ürettiği ve herhangi bir halüsinasyon belirtisi göstermediği gözlemlenmiştir. Şekil 4'te örnek bir test ekranı sunulmuştur. Ancak, yanıtların doğruluğunun yanı sıra, modellerin verilen kuralları uygulama konusundaki yetkinlikleri de önemli bir değerlendirme kriteri olmuştur. Bu bağlamda, GPT-4o modeli, kullanıcı tarafından belirlenen kuralları en tutarlı şekilde uygulayan model olarak öne çıkmaktadır. Özellikle, karmaşık ve bağlama duyarlı senaryolarda, GPT-4o'nun kurallara uygun, güvenilir ve tatmin edici yanıtlar sunduğu gözlemlenmiştir. Bu durum, GPT-4o modelinin endüstriyel uygulamalarda sadece hız ve tutarlılık değil, aynı zamanda kurallara uygunluk açısından da dengeli bir performans sergileme potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir.

Genel olarak, Çizelge 1'deki veriler ışığında, GPT-3.5-turbo modeli düşük yanıt süresi ve verimli token kullanımı ile öne çıkarken, GPT-4-turbo ve GPT-4-32k modelleri daha ayrıntılı yanıtlar sunmaktadır. GPT-4o modeli ise hem tutarlılık hem de hızlı yanıt süreleri ile dengeli bir performans sergilemektedir. Bu sonuçlar, farklı kullanım senaryolarında

BORÇELİK

Model Seçimi

GPT-4 O

Sorunuz:

300ACM01 cihazının geçmişi hakkında bir özet sunabilir misiniz?

Zaman Dönemi (YYYY-AA):

Özet: 2024-03

Sor

Token Kullanımı: Gidiş: 455, Dönüş: 146, Toplam: 601

Yanıt Süresi: 3.78 saniye

Cevap:

300ACM01 cihazının geçmişi ile ilgili özet:

-**Tarih: 2024-01-07** 300ACM01 motor enerjisi açıldı.

-**Tarih: 2024-02-28** NOF combustion FAN 300ACM01 fan motor tarafında vibrasyon sensöründen düzgün veri gelmediği tespit edildi. Sorunun kaynağının başka bir motora (300ACM02) ait sensör olduğu anlaşıldı. Sensör soketi çıkarıldığında değerler normale döndü. Sorunun sensörden kaynaklandığı ve sensör değişiminin gerektiği belirlendi. Sensör değişimi talep edilecektir.

Şekil 4. Prompt Yanıt Ekranı

belirli modellerin avantaj sağlayabileceğini göstermektedir. Örneğin, hızlı yanıt gerektiren durumlarda GPT-3.5-turbo, detaylı bilgi gerektiren senaryolarda ise GPT-4-turbo veya GPT-4-32k modelleri tercih edilebilir.

5. Sonuçlar

Bu çalışma, OpenAI tarafından geliştirilen farklı GPT modellerinin endüstriyel uygulamalardaki performansının karşılaştırılmasını hedeflemektedir. Çalışma kapsamında GPT-3.5 Turbo, GPT-4 32k, GPT-4 Turbo ve GPT-4 Omni modelleri, token sayısı ve yanıt süresi gibi temel metrikler üzerinden analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular, bu modellerin otomasyon bakım süreçlerinin takibi gibi örnek bir kullanım senaryosunda nasıl performans gösterdiğini açıkça ortaya koymaktadır. Çalışmada kullanıcıdan gelen prompt'ları işleme ve GPT modelleri aracılığıyla yanıt üretme süreçleri entegre bir şekilde yönetilmiştir. Bu yapı, kullanıcının belirlediği sorgulara dayalı olarak kaynak dosyadaki ilgili verileri taramakta ve bu verileri GPT modellerine ileterek hızlı ve bağlama uygun yanıtlar üretmektedir. Sistemin, verilerin doğru bir şekilde birleştirilip modele sunulmasıyla yanıtların doğruluğunu ve güvenilirliğini artırdığı gözlemlenmiştir. Performans metriklerinin karşılaştırılmasında GPT-3.5 Turbo, düşük yanıt süresi ve verimli token kullanımıyla hızın kritik olduğu senaryolarda en etkili model olarak öne çıkmıştır. Ancak, aynı soruya farklı formatlarda yanıt verme eğilimi, tutarlılık gerektiren uygulamalarda bir dezavantaj oluşturabilir. Öte yandan, GPT-4 32k ve GPT-4 Turbo modelleri, daha fazla çıktı tokeni üreterek kapsamlı ve ayrıntılı yanıtlar sunma yetenekleri ile dikkat çekmektedir. Bu modeller, derinlemesine bilgi gerektiren senaryolar için daha uygun görünmekle birlikte, daha uzun yanıt süreleri nedeniyle hızın önemli olduğu durumlarda dezavantaj yaratabilir. GPT-4o modeli ise, yanıt sürelerinde tutarlılık ve geniş veri türlerini işleyebilme yeteneği ile dengeli bir performans sergilemiştir. Bu model hem hızlı hem de güvenilir yanıtlar sunabilmesi nedeniyle çok yönlü endüstriyel uygulamalar için uygun bir seçenek olarak öne çıkmaktadır.

Sonuç olarak, bu çalışma, farklı GPT modellerinin güçlü ve zayıf yönlerini belirleyerek endüstriyel uygulamalarda hangi modellerin hangi senaryolar için daha uygun olabileceğini göstermektedir. Gelecekteki araştırmalar, bu modellerin farklı dil ve uygulama senaryolarındaki performanslarını daha ayrıntılı bir şekilde inceleyerek, GPT tabanlı çözümlerin endüstriyel bağlamlarda daha etkili bir şekilde kullanılmasını destekleyecek öngörüler sağlayabilir. Ayrıca, halüsinasyon gibi potansiyel sorunlara karşı geliştirilecek stratejiler, bu modellerin güvenilirliğini daha da artıracaktır.

Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK (Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu) tarafından 119C164 ve 119C074 proje numaraları kapsamında desteklenmektedir.

Referanslar

- [1] J. Weizenbaum, “ELIZA—a computer program for the study of natural language communication between man and machine,” Commun ACM, vol. 9, no. 1, pp. 36–45, 1966.
- [2] L. Floridi and M. Chiriatti, “GPT-3: Its nature, scope, limits, and consequences,” Minds Mach (Dordr), vol. 30, pp. 681–694, 2020.
- [3] S. Kshirsagar and N. Magnenat-Thalmann, ““Multimedia Communication with Virtual Humans”,” in Proceedings of Euromedia, 2000.
- [4] K. M. Tarwani and S. Edem, “Survey on recurrent neural network in natural language processing,” Int. J. Eng. Trends Technol, vol. 48, no. 6, pp. 301–304, 2017.
- [5] A. Vaswani, “Attention is All You Need,” arXiv preprint arXiv:1706.03762, 2017.
- [6] A. Radford, K. Narasimhan, T. Salimans, and I. Sutskever, “Improving language understanding by generative pre-training,” 2018.
- [7] C. Yuyang, “Study of ChatGPT and its Comparison with Other Mainstream Large Language Models”.
- [8] T. M. Al-Hasan, A. N. Sayed, F. Bensaali, Y. Himeur, I. Varlamis, and G. Dimitrakopoulos, “From Traditional Recommender Systems to GPT-Based Chatbots: A Survey of Recent Developments and Future Directions,” Big Data and Cognitive Computing, vol. 8, no. 4, p. 36, 2024.

[9] T. Brown et al., “Language models are few-shot learners,” Adv Neural Inf Process Syst, vol. 33, pp. 1877–1901, 2020.

[10] J. Achiam et al., “Gpt-4 technical report,” arXiv preprint arXiv:2303.08774, 2023.

[11] O. Caelen and M.-A. Blete, Developing Apps with GPT-4 and ChatGPT. “O'Reilly Media, Inc.,” 2024.

[12] OpenAI, “GPT-4 Turbo and GPT-4.” Accessed: Aug. 10, 2024. [Online]. Available: <https://platform.openai.com/docs/models/gpt-4-turbo>

[13] OpenAI, “Hello, GPT-4o.” Accessed: Aug. 10, 2024. [Online]. Available: <https://openai.com/index/hello-gpt-4o/>



PREDICTIVE MAINTENANCE

Kestirimci Bakım

ROLLING STEEL WITH TECHNOLOGY AND FUTURE ON TRUST
ÇELİĞİ TEKNOLOJİYLE, GELECEĞİ GÜVENLE ŞEKİLLENDİRİYORUZ

www.isrs-mtm.com | isrs@isrs-mtm.com | isrs.mtm | isrs_mtm | isrs_mtm | isrs-mtm

Kestirimci Bakımda Etiketlenmemiş Verilerle Arıza Tahmini

Failure Prediction with Unlabeled Data for Predictive Maintenance

Merve ÖPER^{1,2}, Saygın KAÇAR¹, Tuğçe BALLI², E. Fatih YETKİN²

¹Borçelik Çelik Sanayii, ²Kadir Has Üniversitesi

Türkiye

Anahtar Kelimeler: Kestirimci Bakım, Endüstri 4.0, Makine Öğrenmesi, Denetimsiz Öğrenme

Abstract

Predictive maintenance is a data-driven approach that improves maintenance processes and reduces costs by predicting equipment failures in advance. This study focuses on leveraging sensor data recorded by the condition monitoring system at Borçelik for this purpose. Sensor data is crucial for monitoring the condition of equipment and identifying potential failures at an early stage. However, a common challenge in the industry is the lack of labeled data and the presence of noise from sensors or production processes, which complicates predictive maintenance analysis. For instance, sudden drops in vibration data—normally characterized by a steady increase—may result from technician interventions or unexpected events. These occurrences undermine data reliability and constrain the effectiveness of supervised learning methods. To address this, the study investigates unsupervised learning methods designed to work with unlabeled and noisy data, aligning with the characteristics of the dataset. This approach aims to facilitate early failure detection and proactively optimize maintenance processes.

Özet

Kestirimci bakım, ekipman arızalarını önceden tahmin ederek işletmelerin bakım süreçlerini daha verimli hale getiren ve bakım maliyetlerini düşüren veriye dayalı bir yaklaşımdır. Bu çalışmada, Borçelik'te durum izleme sisteminde kaydedilen sensör verilerinin bu amaçla kullanımı ele alınmıştır. Sensör verileri, ekipmanın mevcut durumunu izlemek ve olası arızaları erkenden tespit etmek için oldukça değerlidir; ancak, endüstride yaygın bir sorun olarak, bu tür verilerin etiketlenmemiş olması ve sensör ya da üretim süreci kaynaklı gürültüler, kestirimci bakım analizlerini zorlaştırmaktadır. Örneğin, düzenli bir artış gösteren titreşim verilerinde meydana gelen ani düşüşler, tekniker müdahaleleri veya beklenmedik olaylarla ilişkili olup bu tür durumlar verilerin güvenilirliğini azaltarak denetimli öğrenme yöntemlerinin uygulanabilirliğini sınırlamaktadır. Bu bağlamda, çalışma kapsamında veri yapısına uygun olarak, etiketlenmemiş ve gürültülü verilerle çalışabilen denetimsiz öğrenme yöntemleri incelenmiştir. Böylece arızaların erken aşamada tespiti ve bakım süreçlerinin proaktif olarak optimize edilmesi amaçlanmıştır.

1. Giriş

Kestirimci bakım, ekipman arızalarını önceden tahmin ederek bakım süreçlerini optimize etmeyi ve operasyonel maliyetleri düşürmeyi hedefleyen veri odaklı bir yaklaşımdır [1]. Sensör verileri, ekipmanların mevcut durumunu izlemek ve potansiyel arızaları erken aşamada tespit etmek için kritik bir rol oynamaktadır [2]. Ancak, endüstriyel ortamda yaygın bir sorun olarak, bu verilerin çoğu zaman etiketlenmemiş olması ve sensör ya da üretim süreçlerinden kaynaklanan gürültüler, kestirimci bakım analizlerini zorlaştırmaktadır. Geleneksel denetimli öğrenme yöntemleri, arıza tahmini yapabilmek için büyük miktarda etiketli veriye ihtiyaç duysa da pratikte bu verileri elde etmek maliyetli ve zaman alıcıdır [3]. Bu nedenle, denetimsiz öğrenme teknikleri, etiketlenmemiş verilerden anlamlı desenler çıkararak kestirimci bakım süreçlerinde giderek daha fazla kullanılmaktadır [4].

Temel bileşen analizi, kümeleme yöntemleri ve Gaussian karışım modelleri gibi teknikler sensör verilerindeki anormallikleri belirleyerek erken arıza tespitine katkı sağlamaktadır [5], [6]. Ayrıca, uzun kısa süreli bellek ağları (LSTM) gibi derin öğrenme yöntemleri, karmaşık zaman serisi verilerini analiz etmede önemli avantajlar sunmaktadır. Ancak, uzun vadeli bağımlılıkları öğrenmede karşılaştığı zorluklar nedeniyle, özellikle kademeli bozulmaların tespitinde ve uzun süreli eğilimleri yakalamada performansı sınırlı kalmaktadır [7].

Değişim noktası tespiti zaman serisi verilerinde meydana gelen ani değişimleri belirleyerek ekipmanın çalışma durumundaki kritik geçişleri tespit etmeye yardımcı olmaktadır. Pruned Exact Linear Time (PELT) algoritması, sensör verilerindeki ani değişimleri saptayarak olağan dışı durumların belirlenmesini sağlamaktadır [8], [9]. Bayesçi değişim noktası tespiti yaklaşımları geleneksel güvenilirlik mühendisliği yöntemlerine alternatif olarak arıza olasılıklarını tahmin edebilen modeller sunmaktadır [10].

Son yıllarda, değişim noktası tespiti ile makine öğrenimi modellerinin birlikte kullanımı, kestirimci bakım uygulamalarında giderek daha fazla tercih edilmektedir. Örneğin, "Tahmin et ve Karşılaştır (Predict and Compare)" yöntemi, değişim noktası tespiti ile tahmine dayalı öğrenme modellerini birleştirerek yanlış alarm oranlarını düşürmekte ve anormal durumların daha güvenilir bir şekilde belirlenmesine katkı sağlamaktadır [11]. Bununla birlikte, seq2seq (sequence-

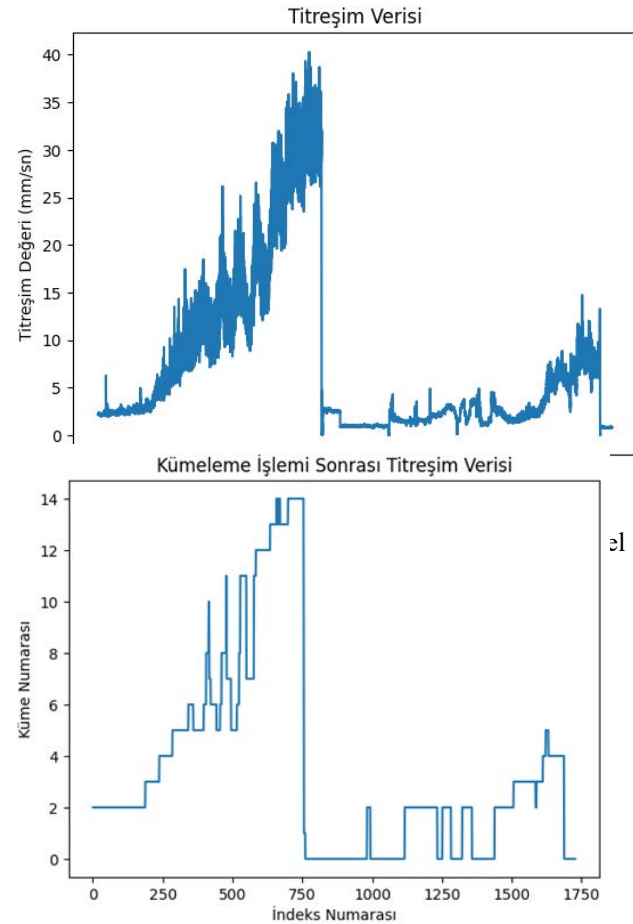
to-sequence) modelleri de kestirimci bakımda giderek daha fazla kullanılmaktadır. Seq2seq yaklaşımları, uzun vadeli bağımlılıkları modelleyerek zaman serisi içindeki desenleri öğrenmekte oldukça etkilidir. Transformer tabanlı seq2seq modelleri, anomali tespitini güçlendirmek ve bakım süreçlerinde erken uyarı sistemleri geliştirmek için başarılı sonuçlar vermektedir [12], [13]. Denetimsiz öğrenme, değişim noktası tespiti ve seq2seq yaklaşımlarının birleşimi, kestirimci bakım süreçlerinde daha hassas tahminler yaparak erken arıza tespitinde önemli avantajlar sunmaktadır [14], [15], [16].

Bu çalışmada, Borçelik'teki durum izleme sisteminden elde edilen sensör verileri kullanarak ekipman arızalarının tahmini amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında, etiketlenmemiş ve gürültülü verilerden anlamlı paternler çıkaran yöntemler incelenmiş ve değişim noktası tespiti algoritmalarının erken arıza tespitine katkıları değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, bakım süreçlerinin daha proaktif yönetilmesine ve operasyonel verimliliğin artırılmasına katkı sağlamaktadır.

2. Deneysel Çalışmalar

2.1. Veri Seti

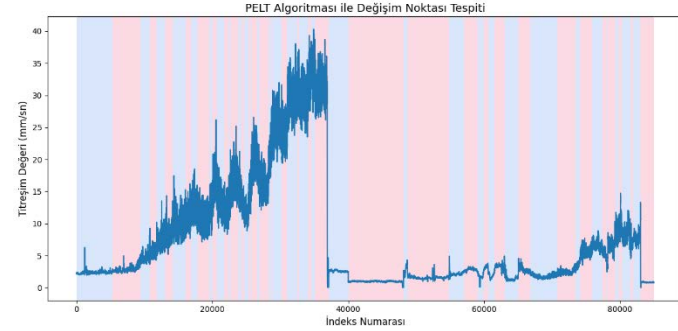
Çalışmada Borçelik ekipmanından toplanan titreşim verisi kullanılmıştır. Veri seti 85000 veri noktası içermektedir. Sensör ortalama 30 saniyede bir veri toplamaktadır. Çalışmada bir aylık titreşim verisi kullanılmıştır. Verinin genel görünümü Şekil 1'de verilmiştir.



2.2. Kullanılan Yöntem

Bu çalışmada, zaman serisi verilerinin segmentlere ayrılması, özellik çıkarımı ve kümeleme yöntemiyle elde edilen diziler üzerinden ileriye dönük tahminlerin gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Önerilen yöntem, veri ön işleme ve segmentasyon, segmentlerin kümelenmesi ve zaman serisi dizisinin oluşturulması ve LSTM tabanlı tahmin modelleri ile iteratif tahmin ve düzeltme mekanizmasının uygulanması olmak üzere üç temel aşamadan oluşmaktadır.

Çalışmanın ilk adımında, zaman serisi verileri tslearn kütüphanesinden faydalanılarak belirli bir ortalama (μ) ve standart sapma (σ) değerine göre normleştirilmiştir. Bu sayede, verilerin ölçeklenmesi sağlanarak sonraki analiz aşamalarının kararlılığı artırılmıştır. Segmentasyon aşamasında, Ruptures kütüphanesi ile sağlanan PELT (Pruned Exact Linear Time) algoritması kullanılmıştır. Belirlenen ceza ve minimum segment boyutu parametrelerine göre, verideki değişim noktaları tespit edilmiş ve veri, bu noktalara göre ardışık segmentlere bölünmüştür. Bu işlem sonrasında veri setinde 68 adet değişim noktası tespit edilmiştir. Tespit edilen değişim noktaları Şekil 2'de gösterilmiştir. Her segment için, ortalama, standart sapma, minimum, maksimum, medyan ve segment uzunluğu gibi istatistiksel özellikler hesaplanarak, segmentlere ait özellikler elde edilmiştir.



Şekil 2. Tespit Edilen Değişim Noktalarının Titreşim Verisi Üzerinde Görünümü

Segmentlere ait çıkarılan özellikler, StandardScaler kullanılarak standartlaştırılmış ve KMeans algoritması ile 15 kümeye ayrıştırılmıştır. Segmentlerin uzunluklarına bağlı olarak, her segmentin içerdiği veri noktaları belirli bir parça uzunluğuna bölünmüş ve her parça için ilgili küme etiketi tekrarlanarak tek boyutlu bir dizi oluşturulmuştur. Bu dizi, LSTM modeline giriş verisi olarak kullanılmıştır. Veri setinin hazırlanması sonrasında LSTM modeli eğitilmiş ve parametreleri optimize edilmiştir.

Şekil 3. Kümeleme İşlemi Sonrasında Titreşim Verisinin Genel Görünümü

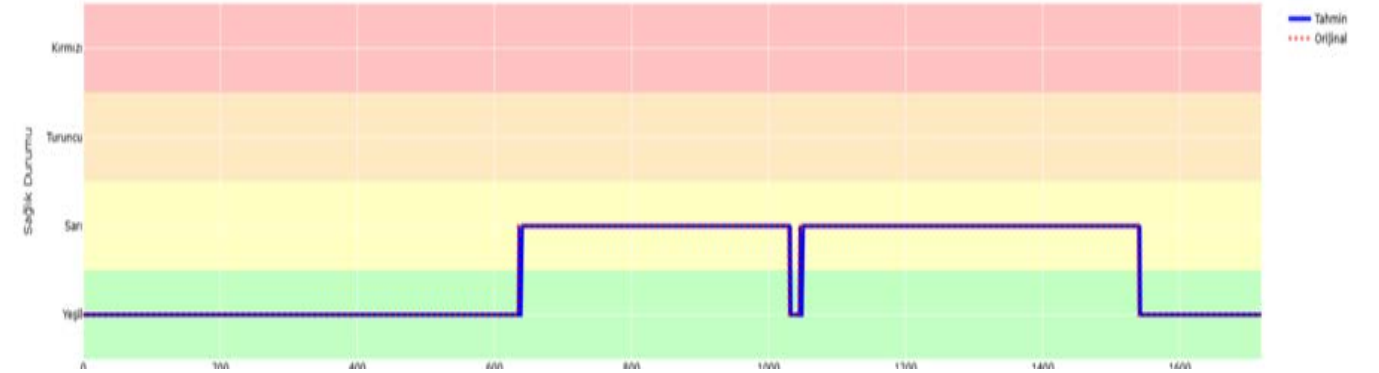
Tahmin performansı, elde edilen tahminlerin gerçek test verileriyle karşılaştırılması yoluyla değerlendirilmiştir. Bu amaçla, tahmin ve gerçek değerler arasındaki farkların ortalama mutlak hata (MAE), hata kareler ortalaması (MSE), hata kareler ortalamasının karekökü (RMSE) ve R-kare (R^2) gibi metrikler kullanılarak hesaplanması sağlanmıştır. Buna ek olarak, tahminlerin yönsel doğruluğunu ölçmek amacıyla ortalama yön doğruluğu (MDA) metriği de performans değerlendirmesine dahil edilmiştir. MDA, modelin yalnızca hata büyüklüğü açısından değil, aynı zamanda artış/azalış yönündeki tahmin doğruluğunu da ölçerek, tahmin edilen ve gerçek değerler arasındaki yön değişiminin uyum oranını ortaya koymaktadır.

3. Sonuçlar ve Tartışma

Araştırmada, zaman serisi tahmin modellerinin 5, 10 ve 20 adım gibi farklı tahmin aralıklarında performansları değerlendirilmiştir. 5 adımlık tahminlerde model, R^2 değerini 0,98, RMSE değerini 0,18, MAE değerini 0,02 ve MDA değerini 0,99 olarak elde edilmiştir. Bu durum modelin kısa vadeli tahminlerde oldukça yüksek doğruluk sağladığını göstermektedir. 10 adımlık tahminlerde ise, R^2 değeri 0,94, RMSE değeri 0,39, MAE değeri 0,06 ve MDA değeri 0,97 olarak kaydedilmiştir. Hata metriklerinde hafif bir artışa rağmen yönsel doğrulukta modelin isabet oranı korunduğu gözlemlenmiştir. 20 adımlık tahminlerde ise R^2 0,80, RMSE

Şekil 3. Orijinal Değer ve Tahmin Edilen Değerlerin Karşılaştırılması

0,67, MAE 0,18 ve MDA 0,93 olarak belirlenmiştir; bu sonuçlar, tahmin aralığının uzamasıyla birlikte hata değerlerinde beklenen artışın meydana geldiğini, ancak



modelin genel eğilimleri doğru yakalayabildiğini ortaya koymaktadır. Genel olarak, elde edilen metrikler, modelin kısa vadeli tahminlerde üstün performans sergilediğini ve uzun vadeli tahminlerde hata artışına rağmen yönsel doğruluğunu koruduğunu göstermektedir.

Çizelge 1. Performans Metriklerinin Tahmin Aralığına Göre

Değişimi

Tahmin Aralığı	R2	RMSE	MAE	MDA
5	0,98	0,18	0,02	0,99
10	0,94	0,39	0,06	0,97
20	0,8	0,67	0,18	0,93

Şekil 4'te modelin tahmin aralığı 5 dizi olduğundaki genel performans görünümü verilmiştir. Grafik renklendirmeleri ISO10816 standardının titreşim değer aralıklarına göre gerçekleştirilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi tahmin edilen değerler ve gerçek değerler birbiri ile uyumludur.

Sonuç olarak, elde edilen sonuçlar modelin karmaşık zaman serisi verilerinde genel eğilimleri tutarlı bir şekilde yakalayabilme kapasitesine sahip olduğunu ve farklı senaryolarda uygulanabilirliğini göstermektedir. Tahmin aralığının artmasıyla hata metriklerinde gözlemlenen düşüş, her bir adımda ortaya çıkan küçük hata paylarının kümülatif olarak birikmesi, geleceğe yönelik belirsizliğin artması ve modelin özellikle kısa vadede optimize edilmiş yapısının uzun dönemli bağımlılıkları yakalamadaki sınırlılıkları ile açıklanabilir. Buna rağmen, modelin özellikle yönsel doğruluğu yüksek tutması

tahmin aralığı uzasa dahi genel eğilimlerin başarılı bir şekilde yakalanabildiğini ve pratik uygulamalarda güvenilir sonuçlar üretebileceğini ortaya koymaktadır.

4. Sonuç

Bu çalışma, etiketlenmemiş ve gürültülü sensör verileriyle arıza tahmini yapmaya yönelik bir yaklaşım sunmaktadır. Önerilen zaman serisi tahmin modelleri, güvenilir sonuçlar elde edilmesine olanak tanımış; elde edilen bulgular, özellikle kısa vadeli tahminlerde yüksek uyum ve yönsel doğruluk göstermiştir. Bu durum, yöntemin ekipman arızalarının erken tespiti ve kestirimci bakım süreçlerinin proaktif yönetimi için etkili bir araç olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca, verilerin etiketlenmemiş olmasından kaynaklanan geleneksel denetimli

yöntemlerin karşılaştığı sınırlamaların aşılması, endüstride bakım süreçlerinin optimize edilmesi ve operasyonel maliyetlerin azaltılmasında bu yaklaşımın önemli bir rol oynayabileceğini göstermektedir.

Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK (Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu) tarafından 119C164 proje numarası ile desteklenmektedir.

Referanslar

- [1] T. P. Carvalho, F. A. Soares, R. Vita, R. da P. Francisco, J. P. Basto, and S. G. S. Alcalá, “A systematic literature review of machine learning methods applied to predictive maintenance,” *Comput Ind Eng*, vol. 137, p. 106024, 2019.
- [2] A. Kanawaday and A. Sane, “Machine learning for predictive maintenance of industrial machines using IoT sensor data,” in 2017 8th IEEE international conference on software engineering and service science (ICSESS), IEEE, 2017, pp. 87–90.
- [3] A. Hakami, “Strategies for overcoming data scarcity, imbalance, and feature selection challenges in machine learning models for predictive maintenance,” *Sci Rep*, vol. 14, no. 1, p. 9645, 2024.
- [4] J. da Silva Arantes, M. da Silva Arantes, H. B. Fröhlich, L. Siret, and R. Bonnard, “A novel unsupervised method for anomaly detection in time series based on statistical features for industrial predictive maintenance,” *Int J Data Sci Anal*, vol. 12, no. 4, pp. 383–404, 2021.
- [5] K. Sarita, R. Devarapalli, S. Kumar, H. Malik, F. P. Garcia Marquez, and P. Rai, “Principal component analysis technique for early fault detection,” *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, vol. 42, no. 2, pp. 861–872, 2022.
- [6] J. Diaz-Rozo, C. Bielza, and P. Larrañaga, “Clustering of data streams with dynamic Gaussian mixture models: An IoT application in industrial processes,” *IEEE Internet Things J*, vol. 5, no. 5, pp. 3533–3547, 2018.
- [7] S. M. Al-Selwi, M. F. Hassan, S. J. Abdulkadir, and A. Muneer, “LSTM inefficiency in long-term dependencies regression problems,” *Journal of Advanced Research in Applied Sciences and Engineering Technology*, vol. 30, no. 3, pp. 16–31, 2023.
- [8] R. Killick, P. Fearnhead, and I. A. Eckley, “Optimal detection of changepoints with a linear computational cost,” *J Am Stat Assoc*, vol. 107, no. 500, pp. 1590–1598, 2012.
- [9] S. Kaçar, T. Balli, and E. F. Yetkin, “Automatic Segmentation of Time Series Data with PELT Algorithm for Predictive Maintenance in the Flat Steel Industry,” in 2024 9th International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK), IEEE, 2024, pp. 1–6.

- [10] R. Wu, C. Liu, and D. Jiang, “Unsupervised Bayesian change-point detection approach for reliable prognostics and health management of complex mechanical systems,” *Reliab Eng Syst Saf*, vol. 245, p. 110037, 2024.
- [11] A.-C. Glock, F. Sobieczky, J. Färnkranz, P. Filzmoser, and M. Jech, “Predictive change point detection for heterogeneous data,” *Neural Comput Appl*, pp. 1–26, 2024.
- [12] C. Peng, W. ShangGuan, B. Cai, and Y. Xing, “Fault prediction method for on-board equipment of CTCs based on Seq2Seq model using LSTM,” in 2021 Global Reliability and Prognostics and Health Management (PHM-Nanjing), IEEE, 2021, pp. 1–5.
- [13] K. Zhan et al., “Seq2Seq-based GRU autoencoder for anomaly detection and failure identification in coal mining hydraulic support systems,” *Sci Rep*, vol. 15, no. 1, p. 542, 2025.
- [14] R. Zhang et al., “Real-time prediction of logging parameters during the drilling process using an attention-based Seq2Seq model,” *Geoenergy Science and Engineering*, vol. 233, p. 212279, 2024.
- [15] E. Karapalidou, N. Alexandris, E. Antoniou, S. Vologiannidis, J. Kalomiros, and D. Varsamis, “Implementation of a Sequence-to-Sequence Stacked Sparse Long Short-Term Memory Autoencoder for Anomaly Detection on Multivariate Timeseries Data of Industrial Blower Ball Bearing Units,” *Sensors*, vol. 23, no. 14, p. 6502, 2023.
- [16] G. Wang and F. Zhang, “A sequence-to-sequence model with attention and monotonicity loss for tool wear monitoring and prediction,” *IEEE Trans Instrum Meas*, vol. 70, pp. 1–11, 2021.

Sıcak Haddehane Anlık Durum Bazlı İzleme Sistemi

Online Condition-Based Monitoring System of Hot Rolling Mill

Şener KÜTÜKÖZÜ, Murat IŞIK

İskenderun Demir ve Çelik

Türkiye

Anahtar Kelimeler: Demir, Çelik, Sıcak Haddehane, Durum bazlı izleme, Vibrasyon,

Özet

İsdemir, sıcak haddehane tesisinde bulunan; elektrik motorları, descale pompalar, dişli sistemleri ve fırın yakma hava fanlarına gerçek zamanlı durum izleme sistem kurulmuştur.

Kestirimci veya koşula dayalı bakım, makinelerimizin performansını ve durumunu gerçek zamanlı olarak izlememize olanak tanıyan proaktif bir bakım stratejisidir. Bunu yapmak, makine güvenilirliğini artırmamıza ve ekipmanlarımızın ne zaman bakıma ihtiyacı olduğunu doğru bir şekilde tahmin etmemize olanak tanımaktadır. Varlıklarımızın arızalanmasını beklemek yerine kablolu veya kablosuz sensörler ile makine öğrenimi ve veri analitiğinin bir kombinasyonunu kullanarak kestirimci bakım araçları portföyü ile işletmemizin sorunlarını oluşmadan önce tahmin etmemize yardımcı olmaktadır. Bakım faaliyetlerini doğru zamanda planlayarak olası sorunlar için belirli bir kesinlik derecesiyle uyarılar alınmakta ve endüstriyel üretkenliğimizi arttırmak amacıyla durum izleme sistemini kullanılmaktadır.

Abstract

A real-time condition monitoring system has been installed in the Isdemir hot rolling mill facility, including electric motors, descale pumps and gear systems, as well as furnace combustion air fans.

Predictive or condition-based maintenance is a proactive maintenance strategy that allows us to monitor the performance and condition of our machines in real time. It allows us to improve machine reliability and accurately predict when our equipment needs maintenance; Instead of waiting for it to fail, it will help us predict our business's problems before they occur with a portfolio of predictive maintenance tools using a combination of wired or wireless sensors and machine learning and data analytics. By planning maintenance activities at the right time, warnings are received with a certain degree of precision for possible problems and a condition monitoring system has been established in order to increase our industrial productivity.

1.Giriş

Günümüzde yaşanan teknolojik gelişmeler, artan enerji ihtiyacı, değişen ve gelişen rekabet şartları, işletmelerin

önemli gider kalemlerinden birini oluşturan bakım ve onarım faaliyetlerini daha da önemli hale getirmektedir. Teknoloji geliştikçe, işçilik giderleri azalmakta, buna bağlı olarak yatırım giderleri ve otomasyon ağırlıklı tesislerin sayısı artmaktadır. Artan yatırım, oranlı olarak bakım giderleri de artmaktadır. Üretim esnasında oluşan beklenmedik arızalar neticesinde yaşanan üretim kayıpları, üretim planlarının uygulanmasını aksatabilmektedir. Günümüzde mevcut üretimin kesintiye uğraması, dakikalarla bile olsa büyük maliyetlere sebep olmaktadır. Arıza yapan makinelerin bakım ve onarımı hem zahmetli hem de maliyetli olmaktadır. İşletme içerisinde beklenmeyen, ani olarak oluşan arızalarda bakım ve onarım hem uzun sürer hem de yedek parça bulmak, arızanın çıktığı yere bağlı olarak zorlaşabilir. Bu arada üretim kayıpları ve maliyetler artar [1] Her ne kadar arıza oluştuğundan sonra arızaya müdahale, bir çeşit bakım yöntemi olsa da günümüz şartları göz önüne alındığında, arıza oluşmadan makineye müdahale etme anlayışı daha öncelikli olmaktadır ve bu husus gitgide önem kazanmaktadır. Makinelere arıza meydana çıkmadan müdahale etme anlayışı, bir makineden en yüksek verimi almak ve arızı bir duruştan veya bakımdan kaynaklanan üretim kayıplarını en aza indirmek için geliştirilmiş bir anlayıştır. Çalışan makinelerde durum izlemeye yönelik bu anlayışa; kestirimci bakım anlayışı denir. Mevcut kestirimci bakım yöntemleri ile çalışan makine durdurulmadan toplanan veriler incelenerek yorumlar yapılmaktadır. Bu yorumlar neticesinde söz konusu makinelerde arıza oluşumu tahmin edilip uygun duruşlar uygun zamanlarda planlanarak makineye müdahale edilir. Böylece arızı durum oluşmadan makinedeki arızalı olan bölgeye müdahale edilerek gereksiz duruş ve maliyetlerin önüne geçilir. Bu çalışmada da kestirimci bakım anlayışını inceleyerek, bu bakım anlayışı içinde %45 ile diğer kestirimci bakım yöntemleri içinde de en önemli paya sahip olan titreşim analizi yöntemi kullanılacaktır [2]

2. Kestirimci Bakım (Titreşim Analizi)

2.1 Kestirimci Bakım Yaklaşımı; Kestirimci bakım yaklaşımında, çalışan durumdaki makinelerin durumlarını izleyerek, oluşabilecek muhtemel arızaları, analizler neticesinde tahmin ederek uygun bakım zamanını ve uygun stokları planlayarak arızaya müdahale etme amacı vardır.

Kestirimci bakımı gerçekleştirmek için çeşitli yöntemler uygulanır. Bu yöntemlerle, periyodik olarak, çalışan makinelerden veriler toplanarak, üretimi durdurmadan kontrol ve ölçümler yapılır. Elde edilen bu verilerin analiz edilmesiyle oluşan sorunlar önceden yakalanır. En uygun zamanda da bakımı yaparak kestirimci bakım yaklaşımının amacına ulaşılır.

2.2. Titreşim Analizi Titreşim Analizi Yöntemi

Kestirimci bakım yöntemleri arasında en çok uygulanan ve en

hızlı sonuç alınabilen yöntemdir. Bu yöntemde, titreşimleri bir elektrik sinyaline dönüştüren bir alıcı yardımıyla makine üzerinden ölçüm alınır ve bu ölçüm sonucunda oluşan elektrik sinyalini işleyen bir cihaza aktarılır. Bu bilgiler bilgisayara aktarılarak, bir analiz yazılımı yardımıyla analiz edilerek, makineler hakkında bir sonuca varılır. Dönen parçaları bulunan tüm makinelere uygulanabilir. Makinenin mekanik durumu hakkında bilgi sahibi olmamızı sağlar [3]. Makinelerin sürekli olarak, önem durumlarına göre belirli aralıklarla titreşim ölçümlerinin yapılması ve verilerin analizi ile yapılır. İzleme işlemi neticesinde çok fazla sayıda arızayı yakalama şansımız vardır. Bunlar arasında balanssızlık problemleri, mekanik gevşeklik problemleri, eksenel ayarsızlık problemleri, rulman arızaları, kayış-kasnak problemleri, dişli hasarları, kaplin hasarları, mil eğrilikleri, yatak aşınmaları, kavitasyon, yağlama problemleri, şase ve ankraj zayıflıkları bulunur.

2.3. Online İzleme Sistemlerimizin Takip Ettiği Ekipmanlar

Sıcak haddehanenin dönen ve döndürülen ekipmanları 7 ana başlık altında gruplanmıştır. Çalışma şartları birbirinden tamamen farklı olan ve entegre tesisimizin birbirini takip eden esas ekipmanlarıdır. Toplam 350 adet ivme sensörü ile 78 adet varlık (motor, redüktör, pompa, fan) kontrol edilmektedir.

- 1) Fırın yakma hava fanları
- 2) Kaba hadde motorları
- 3) Edger motor ve dişli sistemleri
- 4) Coil box motor ve dişli sistemleri
- 5) Şerit hadde motor ve dişli sistemleri
- 6) Bobin sarma motor ve dişli sistemleri
- 7) Descale motor ve pompa sistemleri

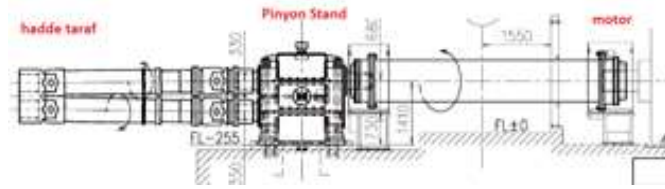
2.4. Saha Çalışmaları ve Vaka Analizi

2.4.1 FM Pinion Stand Vaka Analizi



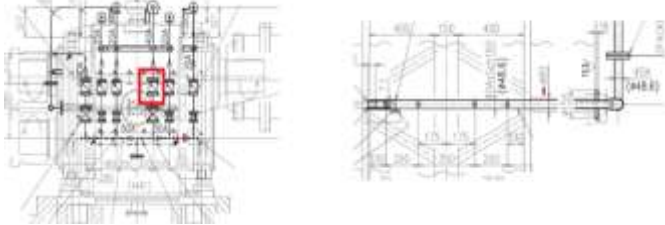
Şekil-1: FM (Finishing Mill) Tahrik Sistemi

Şerit hadde bölgesi 6 tezgâh ve her biri 10 MW değişken devirli motorlar ile sürülmektedir. F5-6 tezgâhları doğrudan haddeyi çevirmekte olup ara bölgede 1 adet dişli kutusu giriş şaft dönüşünü ikiye bölünerek spindlle yardımıyla alt ve üst haddeyi çevirerek çalışır, haddelenen malzemenin kalınlık, genişlik ve kalitesine göre hız değişimleri olur.



Şekil-2: FM, Motor-Pinion Stand-Spindle Görüntüsü

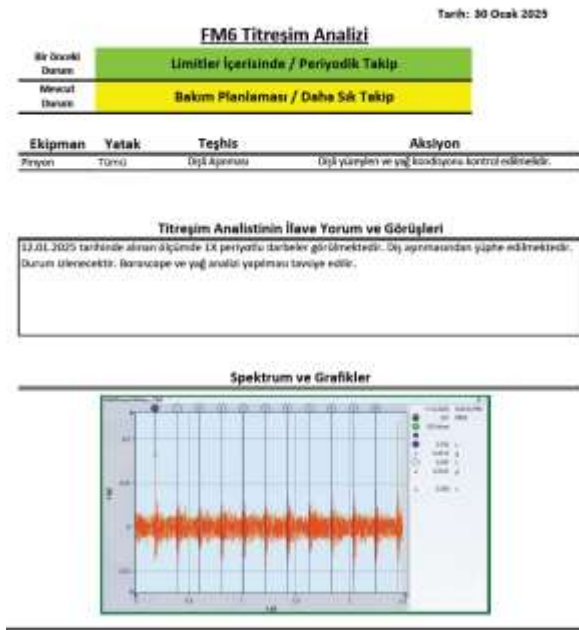
Pinyon dişli sistemi merkezi olarak yağlanır ve dakikada 25 litre ile 4 noktadan spray nozullar ile 4 noktadan dişli kavrama noktaları sürekli yağlaması yapılır.



Şekil-3: Yağ Akış Flow Metre ve Nozul Yerleşimi

2.4.1 Teşhis ve Analiz

30.01.2025 tarihinde yapılan analiz çalışmalarında dişli kavrama noktalarına gelen sinyal üzerine 03.02.2025 tarihli bakım duruşunda bakım kapakları açılarak yağ akışlarının kontrolü sağlanmıştır.



Şekil-3: Dişli Spektrum Grafiği

Bakım duruşunda yapılan incelemede yağ kanalında ciddi bir tıkanıklık görülmüştür ve düzeltmenin ardından periyodik vuruntular ortadan kalkmıştır.

4 adet spreiden 2 adedi tamamen tıkanmış olup yapılan çalışma ile tıkanmaya sebep olan parçalar çıkarılmıştır.

Çıkarılan parçaların çok esnek olan bir çeşit sızdırmazlık elmanı olduğu görülmüştür. Tespit üzerine diğer 5 dişli kutusunun yağlama akışları kontrol edilmiş olup herhangi bir tıkanıklık görülmemiştir.

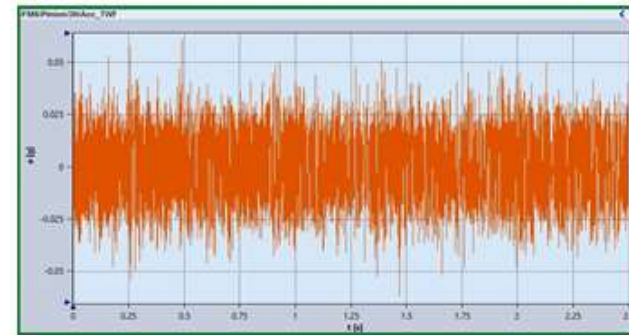


Şekil-4: Çıkan Parçalar

Yapılan temizlik sonrası yağ akışının ve spektrum değerlerinin gayet normal olduğu gözlemlenmiştir.



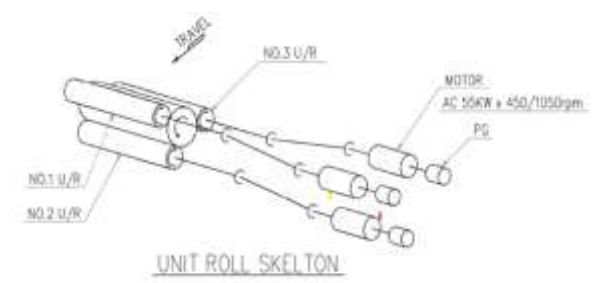
Şekil-5: Temizlik Sonrası Yağ Akışı



Şekil-6: Temizlik Sonrası Spektrum Grafiği

2.4.2 DC Unit Roller Vaka Analizi

İsdeir' de sıcak haddehane bölümünde DC1, DC2, Coil Box ve fırında bulunan döner ekipmanlarda online titreşim izleme sistemi 02.08.2024 tarihinde devreye alınmıştır. Bu sistemin sahip olduğu teknoloji, arızaları erkenden teşhis edilmesini sağlayarak bakım maliyetlerini ve arıza süresini azaltmayı amaçlamaktadır. Bu gerçekleştirerek tesislerin güvenilirliğini ve emre amadeliğini artırmaktadır. Bobin sarma bölgesinden her bir sarıcıda 3 adet olmak üzere 55 Kw elektrik motoru bulunmaktadır. Sarıcı mandrel çevresinde değişken yük ve devirlerde çalışan unit roller isimli ekipmanlar sıcak malzemeyi çevreleyerek konumlanmış olup sarım işlemi için önemlidirler.



Şekil-4: DC Unit Roll Şematik Diyagramı

DC1 ve DC2 de bulunan unit roll adlı ekipmanların motor tarafındaki rulman yatağından alınan ölçümlerde rulman dış bilezik arızası durumu görülmüştür. Bu durumun nedeni araştırıldığında, değişken devirli ekipmanlarda oluşan elektriksel akımların rulmanların üzerinden geçerken gerçekleşen ark atlamalarından kaynaklanan çizgiler olduğu görülmüştür.

Başlıca Sebepler;

Elektriksel Boşalmalar

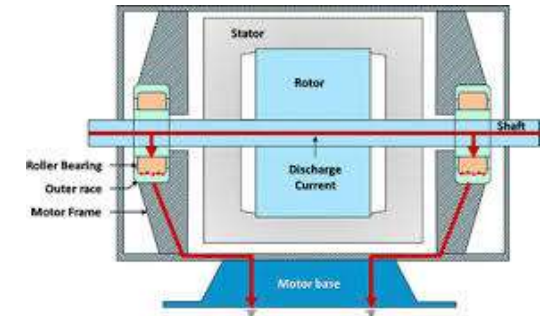
Elektriksel akımlar, rulmanların iç ve dış bilezikleri ile bilyeler arasında, mikro kıvılcım oluşturarak aşınmaya ve oluk benzeri izlerin oluşmasına neden olur. Frekans İnvertörleri motorun hızını kontrol etmek için kullanılır ve bu cihazların oluşturduğu yüksek frekanslı akımlar rulmanlar üzerinden geçerek fluting arızasına neden olabilir.

Topraklama Problemleri

Yetersiz yahut hatalı topraklama, elektrik akımını rulmanlar üzerinden geçirebilir.

Elektromanyetik Etkiler

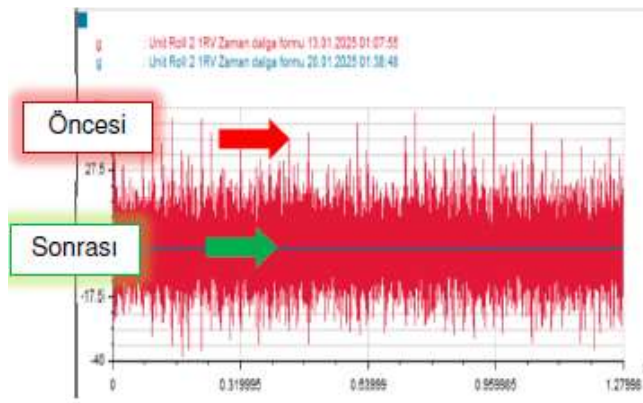
Elektrik motorları ve jeneratörlerden oluşan manyetik alanlar da rulman yüzeylerine zarar verebilir.



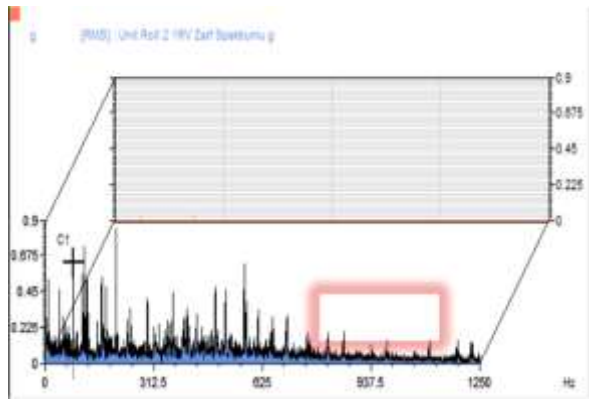
<https://www.youtube.com/watch?v=hGrb2ZeeFr8>

Video-1: Örnek Fluting Oluşumu

Bakımda sırasında önce sistemde rulman dış bilezik arızası durumu görülmüştür. Bakım duruşu esnasında motorlar değiştirilmiştir. Değiştirilen motorlara ait rulmanların durumu kontrol edildiğinde rulmanın dış bileziğinde periyodik çizgiler görüldüğü ve bu durumun ark atlamalarından kaynaklanan fluting arızası olduğu sonucuna varılmıştır.

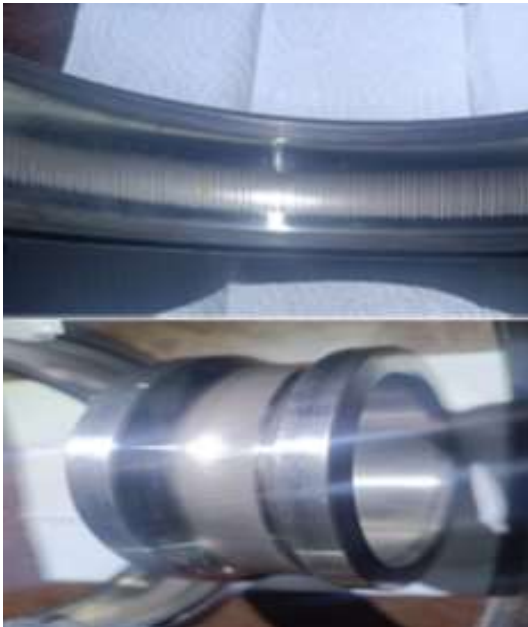


Şekil-5: Spektrum Grafiği (Öncesi-Sonrası)



Şekil-6:

Ağustos ayında devreye giren ve sistem konfigürasyonlarının tamamlanması ile tam olarak verimli ölçümleri Eylül sonun da almaya başladığımız DC-1 unit roller motorlarında ilk tespit Ekim ayında yapılmış ve raporlanmıştır. Ocak 2025 4 günlük büyük planlı bakım duruşunda 3 motor sökülüş ve bobinaj atölyesinde incelemelerde bulunulmuş ve motor rulmanları alınarak sıcak haddehaneye getirilmiştir. Yapılan incelemede iç ve dış bilezikte fluting izlerine rastlanmıştır.



Resim-7: Hasarlı Rulmana Ait Resimler

3. Sonuç ve Değerlendirmeler

Haddeleme için çok önemli bir ekipmanda yaşanan yağlama sistemi arızasının başlangıç aşamasında tespit edilmesi ile çok ciddi bir dişli arızası önlenmiştir.

Pinyon sisteminde oluşabilecek olan bir dişli arızası sonucu plansız ekipman değişimi yaklaşık olarak 40 saat süreceği daha önce yaptığımız dişli değişimlerinden tecrübe ile sabittir.

Online izleme yardımıyla vibrasyon analiz sisteminden gelen uyarı yapılan tespit sonuçları itibarıyla çok önemli bir sorunu çözmüştür.

Normal şartlarda yılda birkaç kez kontrol edilen kapalı bir sistemin yağ akışının kontrol kapaklarının açılmadan görülmesi mümkün değildir. 40 saatlik plansız duruşun maliyeti ile birlikte dişli setinin arıza sonucu hurdaya ayrılması önlenmiştir.

DC unit rollerde online izleme sistemi sayesinde kapalı yatak içerisinde çalışan ve dışarıdan hiçbir şekilde gözükmesi mümkün olmayan rulmanın fluting arızası tespit edilerek çok ciddi bir üretim duruşunun önüne geçilmiştir.

Teşekkür

Online izleme sisteminin hayata geçirilmesi konusunda sonsuz desteklerini esirgemeyen başta Sn. Genel Müdür Yardımcımız Sn. Buğra ŞENER, Haddehaneler Direktörümüz Sn. Gıyas YAZICI, Sıcak Haddehane Müdürümüz Sn. Ayhan AYDIN, ayrıca kurulum esnasında ve devamında sistemin sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesinde özverili çalışmalarından dolayı çalışma arkadaşlarımız Sn. Yüksel BİLİR, Sn. Murat YAVUZ ile emeği geçen tüm çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Referanslar

- 1- Kalyoncu, M., “Titreşim analizi ile makina elemanları arızalarının belirlenmesi”, Mühendis ve Makina Dergisi, Ankara, Cilt no 47, Sayı 552, (2006). [2]
- 2- <http://www.lindsayengineering.com/services/vibration-analysis-and-testing-services/>, (31.01.2011)
- 3- Orhan, S., Aktürk, N. ve Çelik, V., “Bir santrifüj pompa rulmanlarının çalışabilirliğinin titreşim analizi ile belirlenmesi”, G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi, Ankara, Cilt 16, Sayı 3, Sayfa 543–552., (2003).
- 4- <https://www.youtube.com/watch?v=hGrb2Zeefr8>

Çubuk ve Kargal Haddehanesi Kestirimci Bakım Uygulamaları Online İzleme ve Yapay Zeka Tabanlı Analiz Sistemi Kurulumu

Installation of An Online Monitoring and AI-Based Analysis System for Predictive Maintenance in the Bar and Wire Rod Mill

Aysun IŞIKGÜL, Ali Yağız ŞAHİN, Bengü AKIN, Aytaç AYDIN, Vedat ÜSTÜNDAĞ,
Osman IŞIKGÜL, S. Tuğrul İMER

Karabük Demir Çelik

Türkiye

Anahtar Kelimeler: Online izleme, Kestirimci bakım, Vibrasyon, Sıcaklık, Yapay zeka

Abstract

Kardemir A.Ş., in its Bar and Wire Rod Mill established in 2016 with a capacity of 700,000 tons, can produce Ø5.5-Ø25 mm in the Wire Rod Line, R20-R100 mm in the Bar Line, G20-G56 mm in the Bar in Coil Line, Re8-Re20 mm in the Rebar in Coil Line, and Re8-Re40 mm in the Rebar Line. An online monitoring and artificial intelligence-based analysis system was installed for the rolling mill group, consisting of 18 stand and motors, and the Monoblock rolling mill group, consisting of 10 stand and motors. 102 online vibration and temperature monitoring sensors were installed and commissioned for the equipment in question. The system operates by monitoring the stages of data collection, data processing and analysis, anomaly detection, prediction, and decision making. Vibration and temperature data are continuously collected from 102 sensors, with the raw data then passed through filtering and processing stages. Artificial intelligence algorithms analyze the data and compare it with normal operating conditions. The artificial intelligence model creates anomaly detection and warning by identifying sudden changes in vibration or temperature or abnormal behavior. Algorithms can predict the probability of future failure based on current vibration spectra and historical data, and provide maintenance recommendations. With this system installed and in use, the safer, more efficient, and longer-lasting operation of the motors and reducers in the rolling mill and monoblock rolling mill is ensured. Significant reductions in unplanned downtime and decreases in inventory costs have been observed.

Özet

Kardemir A.Ş., 2016 yılında kurulan Çubuk ve Kargal Haddehanesinde 700.000 ton kapasitesiyle İnce Kargal hattında Ø5,5- Ø25 mm, Kaliteli yuvarlak Çubuk hattında R20-R100mm, Kalın Kargal hattında G20-G56mm, Nervürlü Kargal hattında Re8-Re20mm, Nervürlü Çubuk hattında Re8-Re40mm ebatlarında üretim yapılabilmektedir. Online izleme ve yapay zekâ tabanlı analiz sistemi kurulumu 18 tezgah ve motordan oluşan hadde grubu ile 10 tezgah ve

motordan oluşan Monoblok hadde grubuna yapılmıştır. Söz konusu ekipmanlar için 102 adet online vibrasyon ve sıcaklık izleme sensörü montajı yapılarak devreye alınmıştır. Sistem; veri toplama, veri işleme ve analiz, anomali tespiti, tahmin ve karar verme aşamalarını izleyerek çalışmaktadır. 102 adet sensörden sürekli olarak titreşim ve sıcaklık verisi toplanmakta, toplanan ham veriler filtreleme ve işleme aşamalarından geçirilmektedir. Yapay zekâ algoritmaları, verileri analiz ederek normal çalışma koşulları ile karşılaştırmalar yapmaktadır. Yapay zekâ modeli, titreşim veya sıcaklıkta gerçekleşen ani değişiklikleri veya normal dışı davranışları belirleyerek anomali algılama ve uyarı oluşturmaktadır. Algoritmalar, mevcut titreşim spektrumlarına ve geçmiş verilere göre gelecekteki arıza olasılığını tahmin edebilmekte ve bakım önerileri sunmaktadır. Kurulan ve kullanılan bu sistemle hadde ve monoblok haddede yer alan motor ve redüktörlerin daha güvenli, verimli ve uzun ömürlü çalışmaları sağlanmaktadır. Plansız arıza duruşlarında belirgin azalmalar, stok maliyetlerinde düşüşler gözlemlenmiştir.

1. Giriş

Demir-çelik endüstrisi, küresel ölçekte rekabetçiliği artırmak ve üretim süreçlerini optimize etmek adına dijitalleşme süreçlerine önem vermektedir. Özellikle haddehanelerde verimlilik, kalite ve güvenilirlik açısından kestirimci bakım uygulamalarının önemi giderek artmaktadır. Geleneksel bakım stratejileri genellikle zamana dayalı veya reaktif bakım yöntemlerine dayanmakta olup, bu yaklaşımlar plansız duruş sürelerine ve yüksek bakım maliyetlerine yol açmaktadır [1]. Bunun yerine, kestirimci bakım uygulamaları, ekipmanlardan gerçek zamanlı veriler toplayarak arızaları önceden tespit etmeye ve bakım süreçlerini daha etkin planlamaya olanak tanımaktadır.

Haddeleme prosesi ekipmanları arasında olan kaba, orta ve finiş hadde grupları, aşırı sıcaklık, yüksek hızlar ve sürekli mekanik zorlanmalar altında çalışmaktadır. Bu nedenle, ekipmanların sağlıklı çalışmasını sağlamak ve beklenmedik arızaların önüne geçmek için gelişmiş durum izleme

sistemleri gereklidir. Özellikle online izleme sistemleri ve yapay zeka tabanlı analizler, kestirimci bakım stratejilerinde önemli bir yer tutmaktadır. Bu sistemler, sensörler aracılığıyla sürekli veri toplayarak, titreşim, sıcaklık ve diğer kritik parametreleri analiz etmekte ve olası arıza durumlarını belirleyerek operatörlere erken uyarılar sağlamaktadır [2].

Yapay zeka ve makine öğrenimi teknikleri, kestirimci bakım sistemlerinin doğruluğunu ve etkinliğini artırmada önemli bir rol oynamaktadır. Sensörlerden elde edilen büyük veri setleri, gelişmiş analiz yöntemleri ile işlenerek arıza tahmini ve bakım planlaması süreçlerinde kullanılmaktadır. Bu bağlamda, Kardemir A.Ş. Çubuk ve Kangal Haddehanesi'nde online izleme ve yapay zeka tabanlı analiz sisteminin kurulumu, ekipman güvenilirliğini artırmayı, bakım maliyetlerini düşürmeyi ve üretim süreçlerinde sürdürülebilirliği sağlamayı amaçlamaktadır.

Bu çalışmada, Kardemir A.Ş. Çubuk ve Kangal Haddehanesi'nde kestirimci bakım uygulamalarının online izleme ve yapay zeka tabanlı analiz sistemleri ile nasıl desteklendiği ele alınarak, bu sistemlerin ekipman güvenilirliği üzerindeki etkileri incelenmiştir.

2. Online İzleme Sistemi

Demir çelik sektöründe hadde motorları, yüksek yükler ve zorlu çalışma koşulları altında çalışan kritik ekipmanlar arasında yer almaktadır. Bu motorların ani arızaları, üretim süreçlerinde aksamalara ve yüksek bakım maliyetlerine yol açabilmektedir. Bu nedenle, online veya mobile izleme sistemleri kullanılarak motorların durumu sürekli takip edilmeli ve olası arızalar önceden tespit edilmelidir.

Çubuk ve Kangal Haddehanesinde ise 18 tezgah ve motordan oluşan hadde grubu, 10 tezgah ve motordan oluşan Monoblok hadde grubuna online izleme sistemi ekipmanları yerleştirilmiş ve takibi sağlanmıştır. 18 adet hadde grubunda, 1'er adet motorda, 3'er adet ise redüktör bölgesinde, Monoblok hadde grubunda ise 2'şer adet motorda, 1'er adet redüktör bölgesinde sensör kullanılmıştır. Şekil 1 ve Şekil 2'de sensör montaj uygulama örnekleri gösterilmektedir.

Sensörler, titreşim ivme, titreşim hız, sıcaklık, Crest Factor, Manyetik Akı, Ultrasound ölçümlerini yapabilmektedir. Özellikle motor bölgesinde kullanılan sensörler manyetik akı ölçümü yapabilmektedir. Manyetik akı, elektrik motorlarının performans ve sağlık durumunu izlemek için kritik bir parametredir. Manyetik akı değişimleri, motor içerisindeki elektriksel ve mekanik arızaların erken tespit edilmesine olanak tanımaktadır.

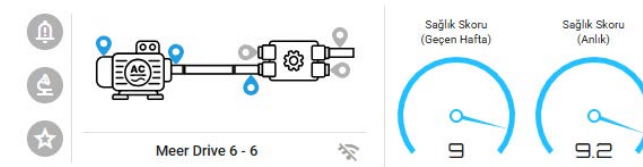


Şekil 1. Motor Bölgesi



Şekil 2. Redüktör Bölgesi

Ekipman güvenliğini sağlayabilmek için motor, redüktör ve yataklar gibi kritik bileşenlerin titreşim, sıcaklık ve ultrasonik gürültü ölçümlerinin gerçekleştirilmesi arızalarının erken tespit edilmesini sağlamaktadır. Ölçüm noktalarından elde edilen titreşim, akustik emisyon ve manyetik akı verileri, yalnızca mekanik bileşenlerin durum takibi için değil, arka planda geliştirilen algoritmalar aracılığı ile meydana gelen değişimlerin izlenmesi için olanak sağlamaktadır. Haddeleme işlemi sırasında kaydedilen üç eksenli titreşim ve ultrasonik gürültü verilerinin yanı sıra manyetik akı ölçümleri, Şekil 3'de gösterildiği gibi ekipman sağlığının izlenmesine olanak sağlar.



Şekil 3. Sağlık Skoru

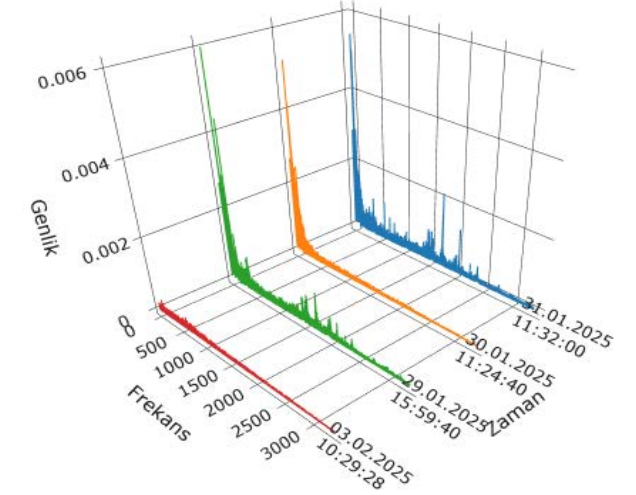
Bununla birlikte, makine sağlığına yönelik veriler, üretim sürecinde toplanan diğer parametreler akıllı makine izleme platformuna aktarılmaktadır. Bu sayede, haddehane özelinde malzeme kalitesine ve kesit değişimlerine bağlı olarak üretim sürecinde ortaya çıkan farklılıkların detaylı bir şekilde analiz edilmesi mümkün hale gelmektedir.

Anlık değişimler veya belirli bir eğilim gösteren titreşim artışları, aşınma, yanlış hizalama veya gevşeme gibi arızaların erken tespiti için veri kaynağı olarak kullanılmaktadır. Şekil 4'te belirli bir zaman aralığında ekipmanın titreşim hız RMS verilerini gösterilmektedir. Farklı eksenlerde meydana gelen titreşim değişimlerinin analizi, kestirimci bakım algoritmaları ile entegre edilerek arıza tahmin süreçlerinin yorumlanması için kullanılmaktadır.



Şekil 4. Titreşim Hız RMS

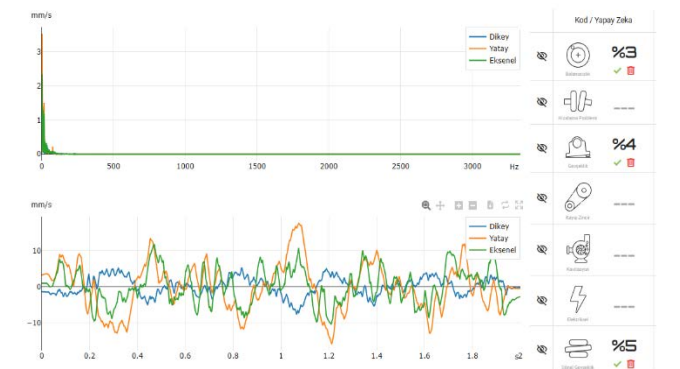
Titreşim ivmesinin belirli günler arasındaki frekans bazında değişimi Şekil 5'te gösterilmektedir. Yatay eksenlerde frekans (Hz) ve zaman (gün-saat) bilgileri yer alırken, dikey eksen genlik değerlerini temsil etmektedir. Farklı renklerle gösterilen eğriler, ölçüm yapılan farklı zaman noktalarına karşılık gelmektedir. Özellikle belirli frekans aralıklarında ortaya çıkan keskin genlik değişimleri, rulman, dişli veya motor bileşenlerinde oluşan erken aşınma, dengesizlik ya da gevşeme gibi arızaları tanımlamaktadır.



Şekil 5. Titreşim İvme RMS Şelale Grafik

3. Vaka Analizi

Çubuk ve Kangal Haddehanesi monoblok hadde grubunda yapılan titreşim analizi sonucunda Meer Drive 7 motor ön yatağında balanssızlık ve gevşeklik arızalarının meydana geldiği sistem tarafından tespit edilmiştir. Yapay zeka destekli teşhis sistemi, balanssızlık oranını %3, gevşeklik oranını %4, dönel gevşeklik oranını %5 olarak tespit etmiş ve sistem işletme personellerinin ilgili bakım ekibine uyarı mailleri göndermiştir.

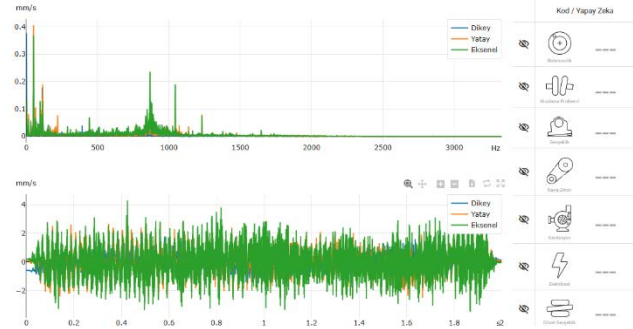


Şekil 6. Meer Drive 7 Arıza Teşhisi

Bu teşhisin ardından bakım personelleri, öncelikle kaplin bağlantılarını detaylı bir şekilde incelemiş ve bağlantı elemanlarında gevşemeler olduğunu tespit etmiştir. Yapılan gözlemler ve ölçümler sonucunda, kaplinin mevcut hizasının bozulduğu ve bu durumun titreşim seviyelerinin artmasına neden olduğu anlaşılmıştır.

Bakım ekibi tarafından kaplin bağlantıları sıkılmış, hizalama işlemi gerçekleştirilmiş ve ardından sistem yeniden devreye alınmıştır. Yapılan düzenleme sonrası balanssızlık ve gevşeklik değerlerinde belirgin bir düşüş gözlemlenmiş,

sistem daha stabil çalışmaya başlamıştır. Titreşim analizinde iyileşme sağlandığı doğrulanmış ve böylece Meer Drive 7 motoru güvenli ve verimli bir şekilde çalışması tekrar sağlanmıştır.



Şekil 7. Meer Drive 7 Arıza Sonrası

4. Sonuç

Bu çalışmada, çubuk ve kangal haddehanesi için kestirimci bakım uygulamaları, online izleme sistemleri ve yapay zeka tabanlı analiz yöntemleri ele alınmıştır. Kestirimci bakımın, geleneksel bakım yaklaşımlarına kıyasla operasyonel verimliliği artırdığı, plansız duruş sürelerini azalttığı ve bakım maliyetlerini optimize ettiği gösterilmiştir.

Online izleme sistemleri, haddehane ekipmanlarının gerçek zamanlı olarak izlenmesini sağlayarak erken uyarı mekanizmaları sunmuş ve arızaların öngörülmesini mümkün kılmıştır. Sensör tabanlı veri toplama süreçleriyle entegre edilen yapay zeka algoritmaları, ekipmanların durumunu analiz ederek bakım süreçlerini daha akıllı ve öngörülebilir hale getirmiştir.

Sonuç olarak, geliştirilen sistemin haddehane süreçlerinde etkin bir kestirimci bakım stratejisi sunduğu ve üretim verimliliğine önemli katkılar sağladığı görülmüştür. Gelecekte, daha geniş veri setleri ve gelişmiş makine öğrenimi modelleriyle sistemin doğruluğu ve etkinliği artırılabilir. Ayrıca, farklı üretim hatlarında benzer sistemlerin uygulanması, endüstriyel dijitalleşme sürecinde önemli bir adım olacaktır.

Referanslar

- [1] J. Lee, B. Bagheri, H. Kao, A Cyber-Physical Systems Architecture For Industry 4.0-Based Manufacturing Systems, Elsevier, Manufacturing Letters, Volume 3, January 2015, Pages 18-23,
- [2] G. A. Susto, A. Schirru, S. Pampuri, S. McLoone, A. Beghi, Machine Learning for Predictive Maintenance: A Multiple Classifier Approach, IEEE Transactions on Industrial Informatics (Volume: 11, Issue: 3, June 2015)

Comprehensive Condition Monitoring for Rolling Mills

Haddehaneler için Kapsamlı Öngörücü Bakım

Klaus STOHL, Marvin ZEMNI, Gerald HOHENBICHLER

Primetals Technologies

Austria

Keywords: Condition Monitoring, Digitalization, Industry 4.0, Predictive Maintenance

Abstract

Since many years predictive maintenance is the preferred method of maintenance, because - on the long run - it is the most cost efficient way to keep all assets in good shape. Condition monitoring was and is the foundation of this maintenance strategy.

Comprehensive condition monitoring integrates of course vibration monitoring, but also includes other measured data, typically available in automation systems, because they are needed for process control anyway. Additionally, there is data from other systems, model calculations, etc that also can provide valuable information to conclude an asset's condition. Artificial intelligence can also help to analyse this enormous amount of data and convert it into useful (at best actionable) information.

This paper describes Primetals Technologies' solution for such comprehensive condition monitoring and gives some real life examples. To round up, the paper will also touch on some very special topics related to condition monitoring: how to diagnose very slow rotating bearings (e.g. 1 rpm), how to detect of internally leaking valves, and finally crane- and especially rope monitoring.

1. Introduction

The cost of steel plant downtimes is expected to increase due to several factors, including inflation, higher energy prices, and a shortage of available specialists. Using condition monitoring as the foundation for predictive maintenance can help minimize downtimes and lead to substantial cost savings.

The traditional condition monitoring systems and services like oil analysis, thermography and vibration analysis are proven industry standards and play a vital role in assessing asset health. However, the landscape of monitoring technologies has expanded significantly, introducing a multitude of individual monitoring tools such as leakage detectors, video analyses and motor current signature analyses. While these tools offer valuable insights, they often operate as standalone systems with their own dedicated applications, resulting in a complex and fragmented monitoring environment. To maximize the effectiveness of condition monitoring, a paradigm shift is required, moving

from isolated individual monitoring approaches to a more integrated and combining approach.

2. Asset Life Expert (ALEX)

The use of as many machine data as possible for plant and process brings considerable advantages. Based on more information, better decisions can be made. But effort and benefit must always be in the right balance. Not only in the selection of the right systems for monitoring, but also in the later use by the users. The later usage by users can be complemented with messages describing status of the monitored equipment and related recommendations to prompt action either through an external service contract or by the web HMI of the associated app.

Further added value is achieved by merging the information in a central Condition Monitoring System (CMS). This is demonstrated using the example of monitoring a drive train of a hot rolling stand. Figure 1 shows the user interface of the Asset Life Expert (ALEX) from Primetals Technologies where the available monitors, so called Evaluation Packages (EPs), for the asset "Drive Train" are displayed.

Status	Asset	Evaluation Package	Message	Creation Time
Green	Motor	Motor Operation		01.02.2025, 11:05:21
Green	Spindle	Dynamic Torque		30.01.2025, 12:10:00
Green	Gearbox	Online Vibration		19.01.2025, 07:34:46
Green	Pinion Gearbox	Online Vibration		01.01.2025, 05:41:21
Green	Motor	Motor Current Signature		25.12.2023, 09:34:18

Figure 1: Consolidation of information in a central Condition Monitoring System

The EPs listed in figure 1 monitor the measured and calculated parameters (Condition Indicator, CI) and provide information on various states:

- EP Motor Operation: Amplitudes of motor current, speed ripple, motor temperatures
- EP Dynamic Torque: Real torque behavior by direct measurement with strain gauges on the spindles
- EP Online Vibration: Vibrations of gearboxes by measurement with acceleration sensors
- EP Motor Current Signature: Electrical and mechanical vibrations of the medium-voltage motor by measuring phase currents and voltages.

If there is a warning or alarm related to a certain asset, the most important results of ALEX are:

- Description of the condition of the asset
- Explanation / root cause of the alarm
- Recommended actions for the maintenance team

This information is given in textual form and is supported by charts explaining why the system came to its conclusion.



Figure 2: Information for further analysis and to evaluate the course of events (Note: other charts that have generated additional messages in the history are not displayed in the image)

Processes in the steel industry are typically very complex. Operating conditions (speeds, product types and qualities, temperatures, etc.) are constantly changing. This makes it challenging to distinguish between desired changes in the process and changing asset conditions. To avoid false alarms but at the same time to avoid any missed alarms it is essential to build the trust of the maintenance personnel into the condition monitoring system.

In ALEX, a combination of multiple analytical functions is used, which can be adapted very well to the requirements of monitoring and the evolution of the trend curves.

Figure 3 shows the example of the slip of a bending roll over the strip at the entry side of a coil box that occurs during threading and acceleration of the strip to production speed.

Since the slip is very unstable, there are considerable fluctuations from strip to strip. The concept of alarm formation works well and only the two expected messages are issued until the problem is resolved. At the same time, no information about the behavior during the acceleration process is lost.



Figure 3: Alarm formation during ramp-up to production speed of a coil box

3. Special Condition Monitoring Functions

3.1. Vibration Monitoring and Analysis

Vibration monitoring is a since decades well established method to evaluate the condition of an asset. Sometimes, people use condition monitoring even as a synonym for vibration monitoring, but as shown in the previous chapter, much more data can and shall be used as basis for predictive maintenance.

However, vibration monitoring and analysis still is the cornerstone of most predictive maintenance programs, because it allows a very good accuracy in its findings.

It all started with so called route-based vibration monitoring systems, which means that a field technician takes vibration measurements – ideally with a precision triaxial accelerometer – following a preconfigured measuring route. Hence the name. The data are later analyzed by a vibration analyst.

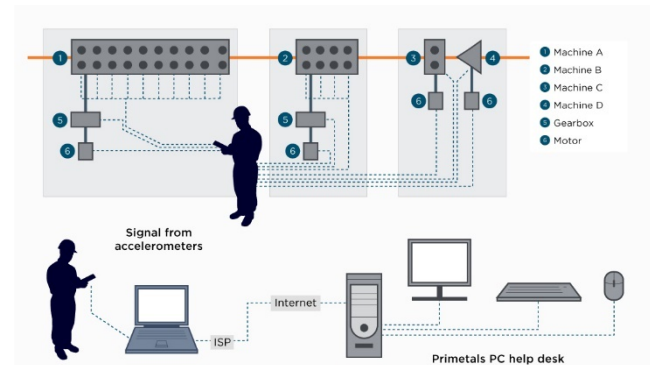


Figure 3: Route-based monitoring

This method is still widely used because of its ease of implementation, generation of very rich data sets allowing precise analysis and especially because of its very low price.

Nowadays however, online installations, with partly hundreds of accelerometers permanently installed, are used more and more. The advantages are obvious.

- 24/7 monitoring
- very convenient (nobody has to take measurements manually)
- assets can be monitored, which are inaccessible for field technicians during operation.
- analysis of the measurements can be done (partly) fully automatically enhanced by use of AI algorithms.

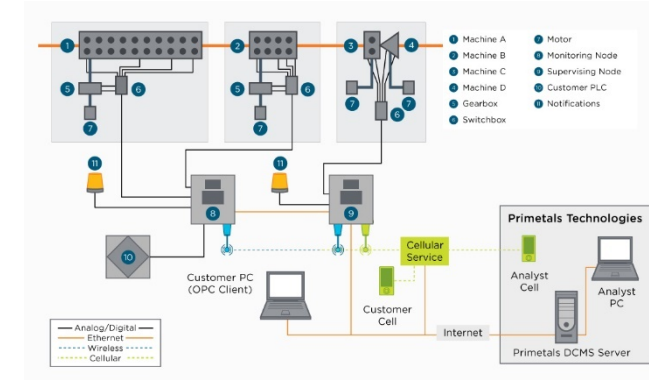


Figure 4: Online monitoring

Two big disadvantages are the high installation effort (hundreds of sensors must be installed) and especially the high cost. Therefore, a hybrid approach between online and route-based monitoring makes the most sense.

- Highly critical machines are monitored and analyzed online e.g. using triaxial accelerometers.
- Lesser critical machines are monitored with fewer accelerometers and in case of an alarm dedicated route-based measurements are taken at the problematic assets.
- Even lesser critical machines are monitored solely with route-based measurements.

Over the last years wireless monitoring is becoming more and more popular. They are very well suited for assets running at constant speed and constant load but are not the right choice for assets that experience constantly changing operating conditions. Also, a compromise is to be found between battery life and taking and sending detailed measurements.

Ideally the above-described hybrid approach is extended with wireless vibration monitoring.

Concluding this chapter some clarifications about vibration monitoring / condition monitoring:

- **Machine protection** is not part of condition monitoring. Although it is typically implemented with accelerometers it has a different focus, namely measure vibration levels (RMS or peak value) continuously and trip a machine in case a certain level is reached.
- **Vibration monitoring** (following ISO 10816-3) aims at detecting mechanical wear or potential failure long before the machine really fails. It identifies deviation from normal behavior (anomaly detection), but typically does not allow to draw detailed conclusions about underlying cause of the potential failure and therefore cannot provide any recommendations for the maintenance team. Basis for vibration monitoring are typically so-called feature values like RMS, peak, peak-to-peak, or Crest factor.
- **Vibration monitoring and analysis** also aims at detecting mechanical wear or potential faults but can do this with higher accuracy and much longer prewarning times. Also, the number of identifiable failure modes is longer but most importantly it allows to identify the root cause of the potential fault and based on that it can provide recommendations for the maintenance team. Basis for vibration monitoring and analysis are typically the same feature values as above but most importantly time waveforms, FFT spectrums and phase analyses.

In summary, **vibration monitoring** is about ongoing observation to catch early signs of trouble, while **vibration analysis** dives deeper into the data to understand and diagnose the root causes of those issues.

3.2. Monitoring of Slow and Very Slow Rotating Bearings

Slow and very slow rotating bearings are difficult to monitor with vibration monitoring because any defects in the raceway or the roller elements do not create enough energy when the rollers roll along the raceway leading to asset vibrations. However, they create impacts, and these impacts can be picked up by dedicated sensors and interpreted with specialized software.

Slow and very slow rotating bearings are more often seen in upstream processes like the slewing bearing of a ladle turret in front of a continuous casting machine or the trunnion ring bearings of a BOF or AOD converter. Rope drum bearings on cranes are also of this category, rotating only with a few rpm.

Typically, such bearings have a long lifetime but even if failures are quite unlikely, if such a bearing fails it has very serious consequences.

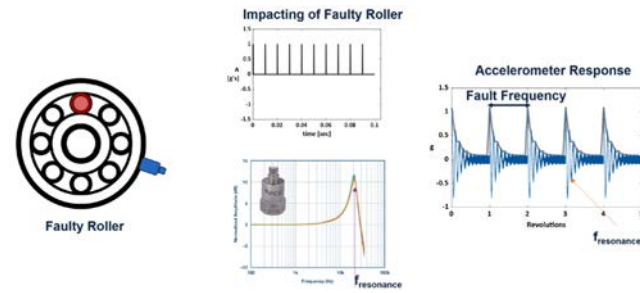


Figure 5: Monitoring of slow speed bearings

Figure 5 shows how the method works. A special accelerometer is used as a mechanical amplifier of the small signals created by any impacts (metal-to-metal contacts) during the rotation of the bearing. Knowing the geometry of the bearing and the speed of the rotation, conclusions about the condition of the bearing are made.

3.3. Detection of Internally Leaking Valves

Thousands of different kinds of valves are installed in any steel producing or processing facilities. According to literature 5-10% of them are leaking. Depending on the leak size and the type of medium (Ar, steam, compressed air, waiver, ...) the accumulated loss per year can become significant.

Acoustic Emission (AE) is used to detect even tiny leaks in different kinds of valves. The basis for this kind of measurement is shown below.

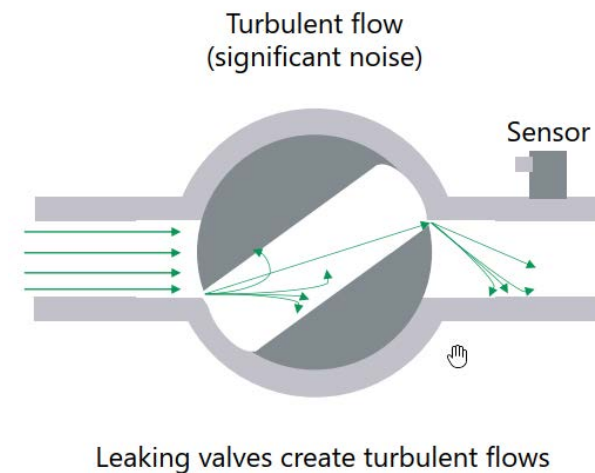


Figure 6: Monitoring of internally leaking valves

The measuring principle is straight forward. One or two measurements are taken upstream of the valve, one at the valve and one or two are taken downstream of the valve. The system consists of a smartphone, a sleeve-on electronics device and an ultrasonic sensor. The evaluation software, which was trained on hundreds of different valves and mediums using Machine Learning, is running directly on the

phone. Therefore, results are available immediately after the measurement.



Figure 7: Taking a measurement to detect a leaking valve.

3.4. Crane and Rope Monitoring

Cranes are used in all parts of a steel making facility. Especially the large cranes are not redundant and therefore an unplanned outage of a crane causes huge and costly problems.

Besides the influence on loss of production and repair costs there is also a significant safety concern. A breaking rope can lead to severe injuries of employees or even fatalities.

A complete crane monitoring package should consider of the following parts.

- Monitoring of drives
- Monitoring of hoists
- Monitoring of wheels
- Monitoring of drum bearings
- Monitoring of ropes

3.4.1 Crane Drives and Hoists

Let us start with the first two. This is standard application for vibration monitoring and analysis. The main difficulty is how to take the measurements.

Standard route-based is challenging because normally it is prohibited to stand outside of the crane pulpit during operation. These challenges can be overcome in different ways:

- Route-based with permanently installed accelerometers and long cables leading to control cabin. This has the advantage that the timing of the measurement can be exactly controlled by the field technician.
- Route-based with permanently installed wireless sensors. This offers the same advantage as

described above but eliminates the need for cabling. Battery life is not an issue, because measurements are only taken from time to time.

- Online monitoring with wired or wireless accelerometers. This of course is the most convenient solution but also the most cost intensive. The challenge of finding the right time to start a measurement can be solved by implementing a special crane operation mode just for the measurements.

3.4.2 Crane Wheels

To monitor the wheels of a crane is very challenging and is still under development. For this application one faces a collection of problems to be solved.

- The wheels are turning quite slowly, which requires special monitoring and analysis methods as described earlier.
- The signals that the sensors catch originate from the bearings but also from the wheels themselves and also from any rail issues that might occur. To distinguish these and this be able to provide the right analysis and to give the proper maintenance advice is difficult.
- The also the now the position of the crane is mandatory to detect rail issues.

3.4.3 Crane Drum Bearings

This application is another example of monitoring of slow rotating bearings. As discussed earlier, a failure of such a bearing, which typically rotates only with a few rpm, is very unlikely, but the consequences of a failure are dramatic.

One or better two sensors are placed on each bearing and whenever the drum rotates a measurement is taken. As before, it might be necessary to implement a special operation mode to ensure long enough measuring times at constant speed.

3.4.3 Crane Ropes

Visual inspections are typically carried out in regular intervals to determine the number of wire breaks. To identify such wire breaks in this way requires a lot of experience because wire breaks are small and are often hidden under a layer of grease. Also, only part of the rope can be visually inspected and of course only external wire breaks can be identified.



Figure 8: Wire breaks (rope was cleaned before taking pictures!)

Another method to detect wire breaks is based on electromagnetic induction. A strong magnet is used to fully magnetize the part of the wire rope that is inside of the sensor. Any wire breaks, or more generally any change in the metallic cross section of the wire rope, influences the magnetic field which is sensed by a measuring coil.

This method has several advantages over the visual inspection.

- It is possible to detect also wire breaks that are covered by grease.
- It is possible to detect internal wire breaks, which are completely invisible to the inspector's eye.
- The system is available 24/7 and is never tired.
- Data are collected and evaluated fully automatically.

Because of these advantages the relevant norm allows more wire breaks before a rope is to be replaced.



Figure 9: Wire rope sensor

In the picture above the sensor is shown. The sensor is typically placed underneath the drum and the rope is guided through the sensor. Data are collected whenever the drum is

rotating (and the rope is therefore moving). Processing of the data takes place in the cloud and automatically a report is generated showing the number and position of wire breaks. Additionally, an evaluation counting wire breaks within a certain distance according to the norm is carried out. This report then forms the basis to decide when the rope shall be changed. It goes without saying that visual inspections still are carried out. Therefore, the presented system is not a full replacement of the human inspector but a complement to his findings.

Justification of this system is twofold:

- 24/7 monitoring of the condition of the rope compared to intermittent visual inspections and therefore a much better information about the current wire rope condition and its evolution.
- Increase of the useable lifetime of the rope. Because of safety concerns wire ropes are often replaced prematurely if decision is based solely on age of the rope and the visual inspection results.
- Increased safety. A rope break is a major catastrophe in a steel making facility.

4. Conclusion

This paper showed how a comprehensive condition monitoring and analysis system can be implemented and generates benefits. The here presented condition monitoring system is scalable; one can start small and grow it over time.

The special solutions discussed in chapter 3 can be run stand alone, but they can be seamlessly integrated into a sophisticated online condition monitoring system like ALEX at any time.



INNOVATIVE TECHNOLOGIES Yenilikçi Teknolojiler

ROLLING STEEL WITH TECHNOLOGY AND FUTURE ON TRUST
ÇELİĞİ TEKNOLOJİYLE, GELECEĞİ GÜVENLE ŞEKİLLENDİRİYORUZ

www.isrs-mtm.com | isrs@isrs-mtm.com | [f isrs.mtm](https://www.facebook.com/isrs.mtm) | [X isrs_mtm](https://www.x.com/isrs_mtm) | [isrs_mtm](https://www.instagram.com/isrs_mtm) | [in isrs-mtm](https://www.linkedin.com/company/isrs-mtm)

The Most Competitive Billet Welding-Rolling and Bar Spooling

Simone CONCINA

Danieli & C. Officine Meccaniche

Italy

INTRODUCTION

Endless rolling by sixth-generation Danieli billet welders combined with bar spooling for coils up to 8 tons raise the level of torsion-free, quality bar production. Endless welding rolling process –welding heads and tails of the billets feeding the mill– is the ideal and flexible solution to substantially increase plant productivity up to 12% and improve material yield. The Danieli spooling process is well proven for twist-free bar winding high quality production of ultra-compact customized coils. When paired with Endless process it allows savings in downstream operations compared with alternative processes.

DISCUSSION

The Danieli billet welder

Endless rolling is a goal that has always been pursued by steel producers, to increase output capacity while decreasing production costs and maintaining product quality. The Danieli EWR® Endless Welding Rolling process, by automatic continuous on-line welding of billets at the reheating furnace delivery side, makes it possible to roll an endless bar, eliminating billet-gap time and the related front/back ends, for uninterrupted production of straight bars, wirerod and bar-in-coils.

The process has become more than reliable thanks to over 35 worldwide references and significant experience gained side-by-side with steel producers that have been convinced only on the basis of the performances and results achieved, especially where this process is necessary and a perfect combination with K-Spool Technology, another technology where Danieli remains leader and pioneer:

- Spooler up to 5-ton coil (today)
- Spooler up to 8-ton coil (Q1 2054)

The Danieli EWR® Endless Welding Rolling process is the ideal solution to substantially increase plant productivity by improving material yield and obtaining consistent product quality. Key features include:

Increase in mill efficiency

- > Elimination of billet-gap time;
- > Very high finishing speed can be safely set and maintained on wirerod and bar mills;
- > Reduction of mill downtimes for cobbles;
- > Longer life of rolling and guiding equipment;
- > Homogeneous and consistent material quality maintained throughout the whole endlessly rolled stock length.

Increase in material yield (up to 99% material yield)

- > Elimination of head and tail cropping on the mill;
- > Elimination of short bar/short ends on the cooling bed for bar mills;
- > Elimination of coil head and tail trimming for wirerod mills;

- > Customized coil supply thanks to the possibility of selecting and producing different coil weights according to customer needs;
- > No more cobbles.

The EWR process eliminates billet-gap time by flash-welding the billet tail end to the head of the next billet coming from the reheating furnace. The wheeled car-mounted welding unit moves along the run-in table from a pre-set position until it reaches the same speed as the second billet coming from the reheating furnace. Billet ends are then clamped and flash welding takes place. The two extremities are first heated to melting and then welded together by pressing them with high force. Impurities or inclusions are expelled during this operation.

A patented, “self-centering” clamping system (by 45°-axis, V-shaped dies) provides optimal contact on the four billet sides, for better and more uniform current transmission compared to other systems. In addition, this simplifies billet adjustment, with centering always referred to billet center, avoiding misalignment. Immediately after welding, a hydraulically driven Joint Cleaning Device removes all burrs in the welded area.

This equipment ensures that the operation is done precisely at the welded joint, so that only strictly necessary material is removed. Cleaning is carried out on-line, immediately after welding. Other machine features are the disappearing, self-lowering roller table; the efficient washing/flushing and burr collecting system; and a newly designed spark-killer system to minimize the sparkling effect during the welding stage.

The latest showcase of K-Weld technology 6th generation: the route to perfection

After more than 30 years of experience, starting from the first EWR® prototypes, Danieli has made giant steps in fine-tuning the process of this technology, asserting itself over the years as the undisputed leader in reliability, able to provide its customers with high productivity and reduced product costs.

During the presentation will be described the advantages of the Endless Welding Rolling machine along with latest improvements released in the revolutionary design, 6th Generation (Horizontal Billet Welder), studied and developed based on direct feedback received from operating personnel who shall handle this EWR process day-by-day because essential part of its production process.

The recent overhaul of the welding machine involved significant improvements to both its electrical and automation control systems. These updates have made the machine more efficient and reliable, with tangible benefits for production.

The Danieli spooler

The spooling process consists of twist-free winding of hot-rolled bars. The unbeatable compactness, showing a filling factor up to 0.7, and unique cobble-free-de-coiling feature is the result of “intelligent” distribution of the hot-rolled and in-line control-cooled bar into subsequent, homogeneous layers on the Spooler’s rotating drum.

Thanks to the horizontal spooling technology, Danieli K-Spool delivers unbeatable performances for uniform technological properties, due to the symmetrical thermal profile maintained while winding (when metallurgical transformations are completed).

The process is the following:

- > The bar is conveyed from the finishing mill to the spooling area thanks to a conveying system equipped with on-line bar temperature control, made up of water boxes. According to specific standards (e.g., JIS, ASTM, EN) and the steel grade, as well as to specific customer demands, the water-cooling

line layout is designed both to ensure the necessary yield, tensile, elongation and stress ratios; and to minimize the spread of technological properties and the occurrence of undesired scale inside the coil (e.g., “red scale” occurrence).

> In the latest generation spooler line, a multifunction shear is located at the entry side of the spooler for head and tail trimming and units are cut-to-length.

> Smart pinch-roll loopers are set to enable under-tension winding and regular step-up at every new bar layer formed on the drum. A bar feeding system is implemented for regular and homogeneous rolled-stock distribution on the spooler drum, for perfect coil formation.

> Two spooling units operate in alternation, one for bar winding, the other for coil unloading and vice-versa.

> Each unit is made up of a rotating drum and a bar head-guiding device to start the winding cycle.

> The finished product is then handled by a robotized manipulator with the aim of extracting the coil from the drum and depositing it on the coil carrier at delivery side.

Furthermore, an innovative and patented solution is foreseen: The Q-VID SPOOL developed by Danieli Automation with one camera and two parallel lasers lines. This sensor is positioned on the top of the spooler mandrel and orthogonal to the distributor operating plane (in the free space between the spindle and the horizontal distributor) in order to allow a wide and unbiased view of the final part of spooling process.

The camera continuously registers the scene, and the computing unit to which it is interfaced captures digital images, processes it through proprietary video processing algorithms, and calculates the exact angle between the distributor axis position and the real position of the material wound on the rotor. The system provides the feedback to the control automation of the spooler, allowing a perfect placement of layers and an optimal form of the coils for the subsequent machining.

The latest showcase of K-Spool technology

Today, the term “spooler” is synonymous with “Danieli Technology” thanks to the unbeatable performances proven by an impressive list of installations, demonstrating Danieli’s leadership in this technology that sprang from an innovation developed with world’s first Spooler installed in 2002 at Ferriere Nord, Italy. With K-Spool, bar-in-coil production reached the ultimate level of quality and innovation, leading to twist-free winding of round, flat and square bars into ultra-compact, heavyweight coils.

CONCLUSIONS

The combined welder and spooler technologies is the answer for all steel producers that aim to implement effective long-term strategies for plant modernization, convert more profitable products through continuous process improvement and reduce operating costs.

The technology mastered by Danieli for more than two decades is in continuous evolution and has reached the state-of-the-art in HBW & K-Spool, allowing custom-weight coil production regardless of the weight of the starting billet. The coil dimensions feature a fixed standard height and inner diameter, leaving the outer diameter as the only variable parameter, maximizing the stock capability.

With drastically reduced maintenance operations, gap time elimination, increase of plant productivity, and drastic cobbling reduction thanks to the higher stability of the rolling process, the HBW & K-Spool process raises rolling mill yield.

The K-Spool solution answers market demand, supporting the local cut-and-bend industry with top-quality products. The quality of hot-rolled coil produced with Danieli K-Spool technology 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.

Wherever it has been installed in the last 20 years, the Spooler line has put customers in the ideal position to break through the market and to take the lead in supporting the local cut-and-bend industry with top-quality products.

Current Trends in SBQ Production

SBQ Üretiminde Güncel Eğilimler

Amar BHANDARI, Günther SCHNELL

Friedrich Kocks

Germany

Keywords: 3-roll Block, SBQ, Intermediate Mill, iRSB®, Finishing Mill, RSB®, 3-roll Technology, Kocks, Sizing, Free Sizing, Sizing Block, Thermo-Mechanical Rolling

Abstract

Current trends in Special Bar Quality (SBQ) production for modernization projects integrating Kocks RSB® (Reducing and Sizing Block), reflect significant advancements aimed at enhancing productivity, flexibility, and product quality in long products rolling mill operations.

The modular design also allows for layouts with compact footprint, enabling rolling mills to meet highest requirements for SBQ products.

While most of the Kocks 3-roll blocks for special bar quality production are popular as (pre-) finishing blocks in long product rolling mills, there are also applications, where a Reducing & Sizing Block (RSB®) can contribute as an alternative and/or partly as a complement to conventional 2-high stands.

SBQ mills are increasingly incorporating tailored solutions from Kocks to optimize production lines for straight bar, bar in coil but also wire rod lines, reflecting their versatility and adaptability.

This paper examines the key drivers and motivations behind these investments within the evolving industrial landscapes from the technical perspective. It highlights exemplary applications of intermediate and finishing blocks, either individually or in combination, in rolling mills across Europe and USA, showcasing their respective advantages.

1. Introduction

Kocks is globally recognized as a leading specialist in sizing blocks, featuring its 3-roll technology to produce bars, wire rod, and seamless tubes. Particularly rolling mills with limited longitudinal space are a significant challenge for modernization projects.

The highly compact and modular design, combined with a flexible stand-changing system, enables the seamless integration of a Kocks block within even the most space-constrained rolling mills. This implementation enhances

operational flexibility far beyond what is achievable with traditional 2-high H/V design. In particular, the intermediate Reducing & Sizing Block (iRSB®) unlocks new possibilities for optimizing existing rolling mills.

Kocks iRSB® are being adopted to replace traditional 2-high stands, offering benefits due reduced space requirements. By elimination of loopers and a very compact 3-roll stand arrangement substantial process length for example thermo-mechanical rolling applications can be gained.

The seamless integration of an intermediate Reducing & Sizing Block (iRSB®) offers new possibilities especially in existing rolling mills which tends to be short on longitudinal space. An upgrade can come along with adding reduction capacities, but it also improves safety, and efficiency.

The iRSB® significantly enhances overall rolling mill flexibility, allowing seamless adjustments for feeder and finished size changes. It also improves mill availability and operation while offering additional reduction capacity. This advancement enables the rolling of larger billet sizes (new) and high-strength steel grades with more flexible distribution of the reduction along the rolling mill.

2. Typical Application of RSB®

The most common application, illustrated in Figure 1, showcases the RSB® as a Reducing & Sizing Block utilizing 3-roll technology. In this setup, it functions as a finishing block for straight and coiled bars while also serving as a pre-finishing block for wire rod production.

In these applications, the RSB® plays a pivotal role in enhancing the flexibility of the entire rolling mill setup, allowing seamlessly changing sizes. Finished product size changes can be executed either during the billet gap, thanks to its free-sizing capability, or through a 3-roll stand change, which takes no more than five minutes.

The rolling mill upstream RSB® operates on the principle that any necessary feeder changes remain within a single

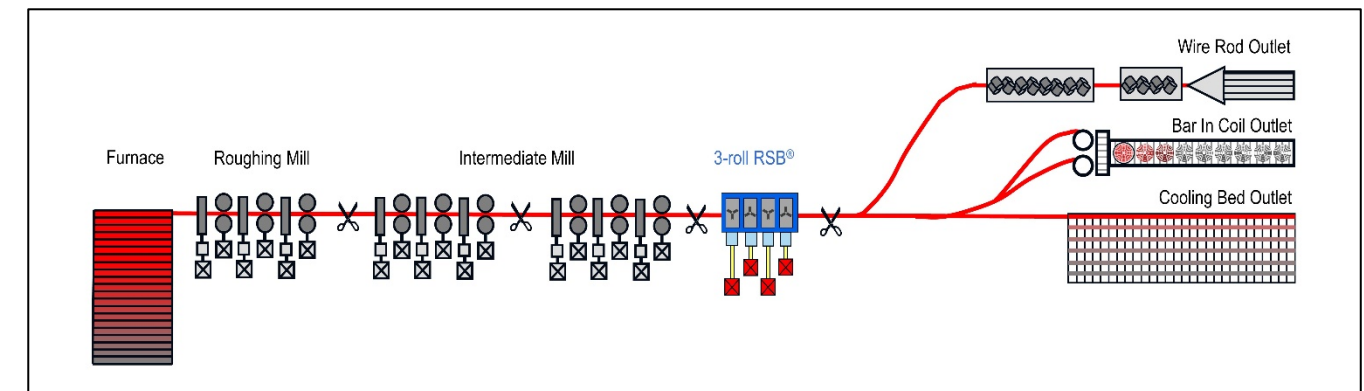


Figure 1: Typical RSB® Application as finishing / pre-finishing unit

pass family. As illustrated in Figure 2, this setup supports a finished size range of 16–90 mm for round bars, with all required feeders for the wire rod line also being rolled out of the RSB®.

This configuration enables immediate size changes with exceptional flexibility, making changes between the cooling bed, BIC line, and wire rod line effortless.

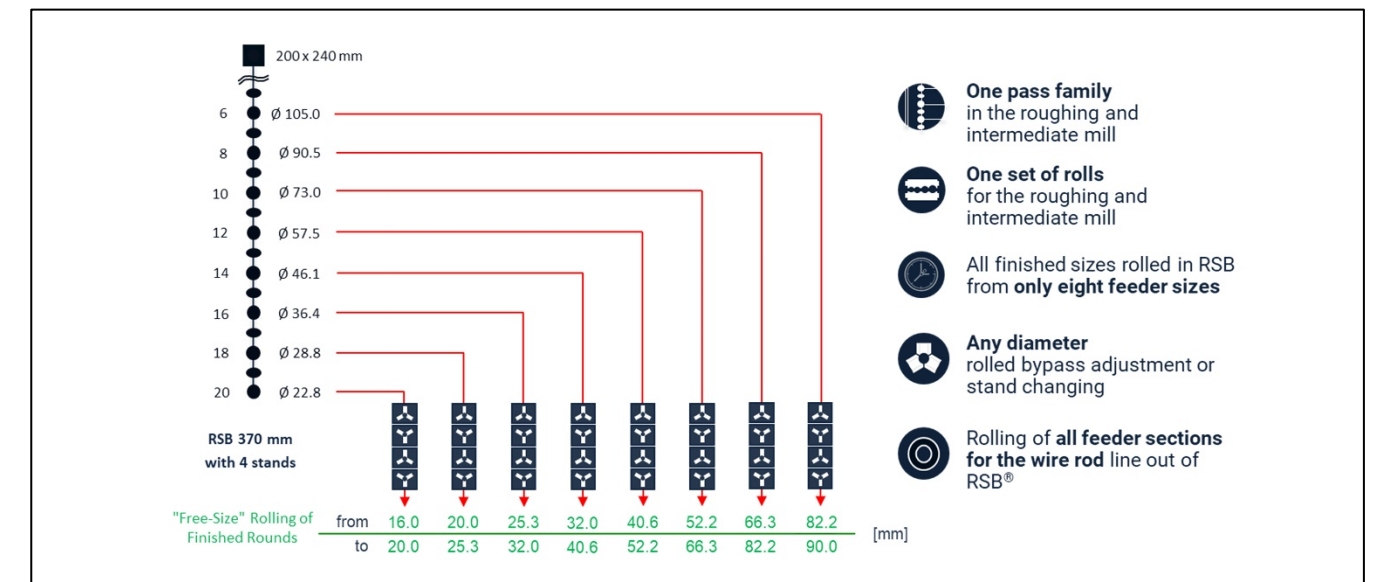


Figure 2: Exemplary single pass family concept

3. New RSB® (5.0) at Sidenor Basauri, Spain

Since its commissioned in 1972, the rolling mill has undergone several modernizations over the decades. The most recent modernization project in Figure 3 initiated in 2017, aimed primarily enhancing the product and process quality while expanding the product size range.

The first phase of the modernization replaced the walking hearth furnace with a new walking beam furnace with the same capacity of 80 tph, with provisions for future expansion. Additionally, the 3-high reversing mill was substituted with a 6-stand continuous roughing mill featuring compact H/V stands. Two compact H/V stands

were incorporated after the roughing mill, alongside two new shears.

During the second phase of the modernization, the furnace capacity increased to 130 tph. Furthermore, all equipment downstream roughing mill, were replaced or upgraded.

A key highlight of the modernization was the introduction of the RSB® 435⁺⁺ with five stand positions, serving as the new finishing sizing mill. The RSB® 435⁺⁺/5 installed at Sidenor is the largest in the 5.0 portfolio in Europe, capable of producing finished sizes ranging from Ø 20 – 120 (130) mm.

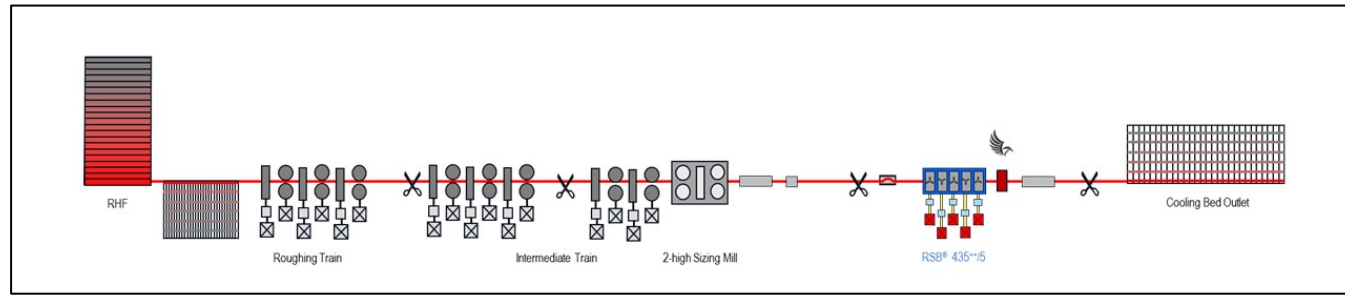


Figure 3: Rolling mill for SBQ production at Sidenor, Spain

For Sidenor, the implementation of RSB® 435^{+/5} meant a single-pass family concept, where all H/V stands in the roughing and intermediate mills operate with a single pass/groove geometry. This eliminated the need for pass changes through stand replacements or roll gap adjustments. Instead, all required changes are efficiently made by the highly flexible RSB®.

The original mill configuration required 29 individual pass setups. However, with the integration of the RSB®, the upstream mill now requires only six setups: four for standard operations and two additional setups to extend the finished sizes smaller than Ø 29 mm and larger than Ø 100 mm.

The new size ranges from Ø 20 mm to Ø 120 mm, extending both the smaller and larger diameter ranges, which were previously limited to Ø 29–100 mm. At the same time, the rolling speed was increased for the complete size range, with a maximum speed of 10 m/s from previously 4.4 m/s.

These advancements contributed to a productivity boost of up to 50%, driven by increased furnace capacity, an extended size range, higher rolling speeds, and an optimized rolling setup. Additionally, operational costs were reduced by improving mill availability, maximizing furnace utilization, and minimizing the need for stand-by equipment.

4. Tandem RSB® at Charter Steel Cleveland, USA

A multi flexible rolling mill at Charter Steel Cleveland in USA Figure 4, where three Kocks RSB® are installed. This rolling mill was built in 1978 and undergone several upgrades thereafter. Since 1996, an RSB® 300/5 has been in operation by simplifying the rolling mill setup and providing advanced sizing capacity for the BIC production of coils from diameter 17.85 up to 40.00 mm and to serve the wire rod line with perfect feeders for smooth finished wire rod of diameter 9.00 – 17.00 mm on 10-stand wire rod block.

In 2017, the concept emerged to expand the existing rolling mill by adding a parallel rolling train dedicated to finishing straight bars ranging from 25.40 mm to 82.55 mm, with the potential for even larger diameters, onto a new cooling bed. During that last upgrade of the rolling mill, the SBQ producer installed two RSB® with each six stand positions. The big advantage of such a “Kocks block tandem” is the possibility of extremely fast size changes. It brings flexibility to choose whether finish sizes should be rolled out of the intermediate block RSB® 435^{+/6} or out of the finishing block RSB® 370^{+/6}. Any size can be produced with a maximum size changing time of 5 minutes for the Kocks blocks, which provides unlimited flexibility.

Through this multi-flexible rolling mill system, which enables seamless transitions between rolling mills, finishing outlets, and product sizes within seconds. The goal was to achieve greater flexibility, to produce any grade and size at any time, at any rolling mill outlet.

To maximize mill availability, all 3-roll stands, and 3-roller guides are fully prepared offline in a dedicated roll shop, ensuring efficient and uninterrupted operations

The multi flexible rolling mill concept of Charter Steel was proved and confirmed during the operation of the new parallel rolling mill. Analyzing in detail, this extremely successful project with its requirements and tasks for an intermediate block resulted in the idea of today's intermediate Reducing & Sizing Block (iRSB®) which was further optimized based on the RSB® (5.0) generation regarding CAPEX and OPEX. Subsequently, the concept of iRSB® was further developed and adapted regarding the drive system and regarding the media systems in order to fulfill its tasks to an optimum and minimize overall investment.

This led subsequently to the first installation of an iRSB® at Nucor Nebraska in USA

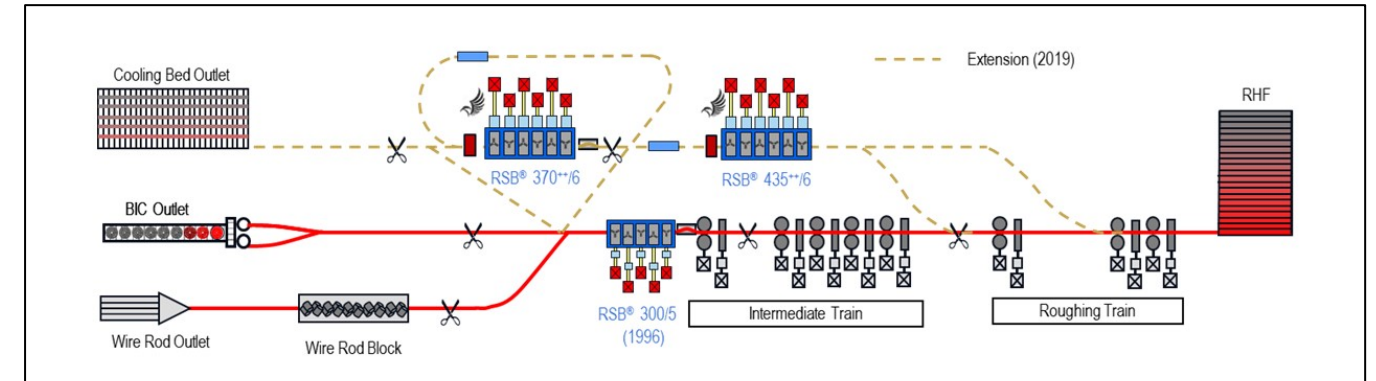


Figure 4: Multi flexible rolling mill for SBQ production at Charter Steel, USA

5. New iRSB® at Nucor Steel Nebraska, USA

An exciting modernization initiative emerged at Nucor Steel Nebraska in USA, during the evaluation of a major rolling mill upgrade. The existing rolling mill Figure 5 has been operational since 1972 and includes a Kocks RSB® 370/5, which was installed in 2004. In 2011, this RSB® was

upgraded to a heavy-duty design to accommodate larger round sizes. Alongside these improvements, several modernization projects were considered, including the installation of a new reheating furnace and a new coil inspection and trimming station. Additionally, an investigation was carried out to replace the outdated intermediate twisting rolling mill train with a new conventional 2-high stand system in an H/V arrangement.

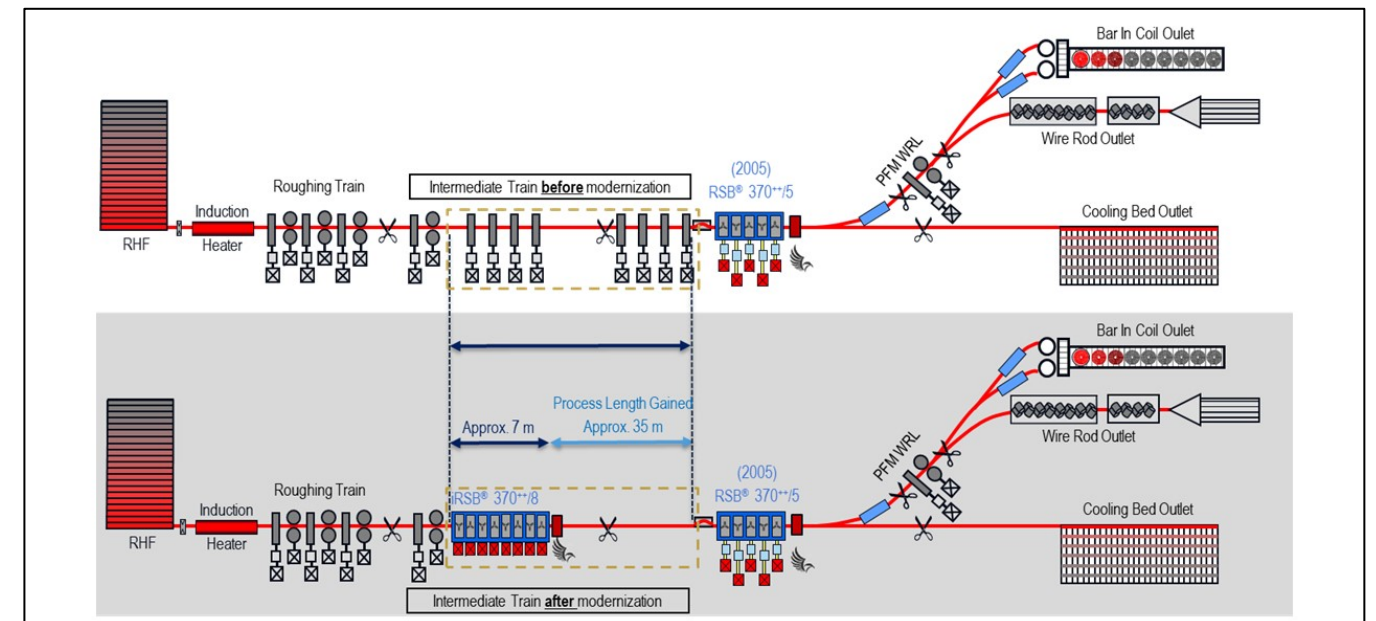


Figure 5: SBQ production at Nucor Steel Nebraska, USA

However, a detailed feasibility study of the intermediate train replacement revealed significant challenges from dismantling of the existing equipment, foundation work for horizontal and vertical stands, and the installation of mechanical equipment, including piping, flushing, as well as electrical equipment, cold test, commissioning, and integration efforts would result in prolonged shutdown period. The complexity of implementing a new 2-high train

system, including shears and loopers, would demand multiple shutdown phases and an extended installation timeline.

While replacing old 2-high stands with new ones may offer a more modern design and stronger stands, it does not address the operational complexities of traditional 2-high

mills. Challenges such as looper management, groove and stand changes, guide adjustments, and test bar handling would persist. Loopers were identified as a critical trouble spot, raising concerns about operator safety on the mill floor.

The selection of the iRSB® was based on easy and fast installation, substantial operational improvement of the whole rolling mill regarding quality, flexibility, productivity and safety. The iRSB® has been in operation since June 2023.

Grade changes with varying spreading behavior are mostly compensated by the smooth and gentle deformation⁴⁾ of the 3-roll geometry, which provides a perfect feeder or a perfect finished size with excellent surface and perfect quality.

Operational flexibility and fully automatic quick feeder and size changes without any operators on the mill floor.

Fast size changes within the free size ranges or fully automatic stand change with down times of maximum 5 minutes, this provides a higher productivity.

The safety cover incorporating the remote control protects the operators from potential cobbles or bar breakouts in the block area and remote adjustments of the stands and guides are possible from the pulpit.

Easy foundation work and easy field piping; thanks to the small and very compact footprint of the iRSB®. Only a few mini shutdowns were required for foundation work. Quick installation of the pre-assembled and tested iRSB® during a typical annual major shut down.

The iRSB® 370⁺⁺/8 requires approximately 6.5 m in longitudinal length– by removing the eight 2-high stands, approx. 35 m metallurgical process length along the mill

line is gained, which could be used for installation of water cooling boxes if required.

6. New tRSB® in Germany

The particular rolling mill Figure 6 has two rolling lines, small bar mill and big bar mill. Over the years, several upgrades in the rolling mill have been implemented to enhance performance. In 1987, Kocks Precision Sizing Block (PSB®) with three stands was incorporated to produce finished sizes across both rolling lines. This was followed in 1991 by the addition of Kocks Reducing Block (RB®) with two stands to enhance reduction capacity in the intermediate train of the small bar mill. In 2001, Kocks RSB® with five stands has been integrated in the small bar mill, which was later extended with a sixth stand position in 2011.

After extensive analysis between the customer and Kocks, a strategy was developed to simplify the single-pass family in the small bar mill by reducing feeder requirements while simultaneously expanding the finished size range in the big bar mill. This led to the decision to replace the existing RB® 500/2 and the PSB® 500/3 by means of a traversing (t)RSB.

An tRSB® with four stands was determined, which will enable the big bar mill to roll a bigger finished size range from Ø 100 mm to Ø 142 mm than its current capability to Ø 126 mm, additionally only three feeders are required

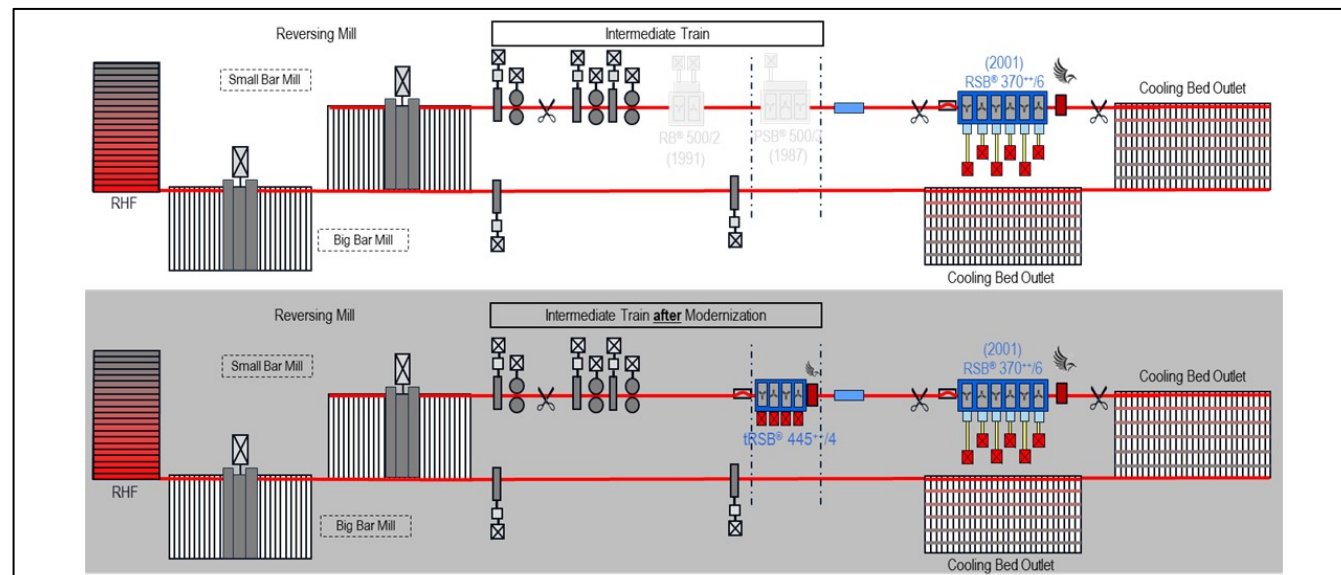


Figure 6: Rolling mill for SBQ production in Germany

compared to seven feeders. Simultaneously, the same tRSB® will serve as an intermediate block for the small bar mill by replacing the RB®500/2 and reducing the number of feeders required by 50% to four from former eight feeders.

The application of the same tRSB® on both the rolling lines is made possible through an innovative traversing Reducing & Sizing Block (tRSB®) concept, allowing the tRSB® 445⁺⁺/4 to shift between the two rolling mill lines, which are approximately 20 meters apart. This approach optimizes equipment utilization, ensuring that the RSB® is rolling continuously, regardless of whether the small or big bar mill is in operation.

With this traversing block concept and its minimal transition time between the two rolling lines, the mill will gain significantly enhanced flexibility in finished size range production at the same time increasing yield, improving productivity, and reducing downtime after the completion of this modernization project.

6. Conclusion

The RSB® with its modular and compact design enhances operational flexibility, along with optimizing the rolling process and substantially improving product quality. Ultimately, every rolling mill benefits from the Kocks 3-roll technology, achieving maximum reduction on the shortest rolling mill length.

The Kocks 3-roll concept is the state-of-the-art technology for SBQ rolling mills. Not only as a finishing block RSB®, but also as an intermediate block iRSB® and/or the combination of both RSB® and iRSB® in tandem. Any of its RSB type brings benefit to any rolling mill in the world and as a combination it can be even more than just an alternative to traditional 2-high stands due to its unique advantages.

Especially in existing rolling mills with limited longitudinal space, an installation of a very compact intermediate block iRSB® allows much more flexibility and offers the possibility to roll better quality, higher productivity and safety and stability in the process.

The combination of RSB® and iRSB®, as a tandem provides the perfect and most flexible rolling mill concept, sustainability and the basis to adapt for the next decades for the ever-changing market demands.

References

- [1] Amar Bhandari: Advanced rolling mill concepts with a Kocks block at AIKW 2023 Slovenia.
- [2] Günther Schnell: Applications of Kocks 3-roll block's for SBQ production; presented at METEC & ESTAD 2023 Germany.
- [3] Michael Kruse, Doris Wehage: AI-Supported Material Simulation of Forming Processes; presented at AIST Conference 2023 USA.
- [4] Christoph Klebba, Günther Schnell: Biggest 5.0 Reducing & sizing block (RSB®) in Europe, presented at SEAISI 2022 Malaysia
- [5] Michael Kruse, Ahmad Fakih, Matthias Schuck; Advances in equipment design for temperature-controlled rolling and comparison of operational with simulated results through thermo-mechanical processing of long products presented at AIKW Conference 2022 Germany.

Modern Rebar Processing Routes to Meet New Market Demands

Uzun Mamül Pazarının Taleplerine Yönelik Modern Haddeleme Prosesleri

Richard STANARD, Shane MARLIN

Primetals Technologies

USA

Keywords: Rebar, High-Speed Rebar, Fine Grain

Abstract

With stricter building codes and regulations throughout the world, the increased strength requirements for rebar have pushed production technologies forward. New plants from Primetals Technologies are now configured to allow the ultimate flexibility to produce conventional hot-rolled, quenched & tempered, and low temperature rolled rebar – providing the lowest conversion costs to serve all market demands. Modern high-speed rebar production configures the finishing stands and water-cooling zones to provide these multiple processing routes with optimized mechanical properties. The challenge is to avoid driving a wide range of billet chemistries with the use of high-cost alloying elements.

Introduction

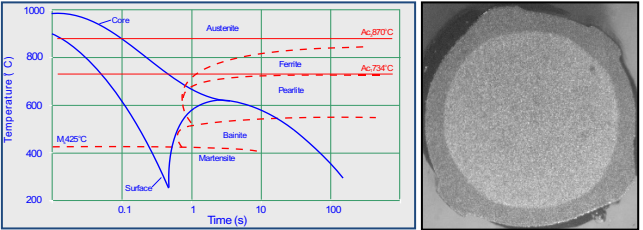
Consolidating billet chemistries with the equipment layout can synchronize the steel plant with the rolling mill. This sychronization reduces billet inventory and maximizes utilization operation time in both plants. This paper will discuss three different processing route considerations to meet new market demands.

Route 1 – HYQST (High Yield Quench and Self-Tempered)

The HYQST processing route is extensively used for “General” and “Welding” grade applications where the Tensile Strength/Yield Strength (TS/YS) ratio range is 1.08 to 1.15. Standard yield strengths for these grades can typically range from 300 – 690 mPa.

The HYQST process utilizes rapid surface quenching (surface ≤ 250°C) to create a martensitic layer which is self-tempered as the remaining heat in the core dissipates through equalization onto the cooling bed.

The martensite transformation occurs on the outer perimeter only. This allows the hot core to transform to ferrite/pearlite structure and temper the brittle martensite structure to tempered martensite. By adjusting the target temperature at the cooling bed entry, the thickness of the martensite ring can be controlled to meet the desired mechanical properties within a given chemistry Target temperatures are adjusted by a balance of rolling speed and water-cooling quench length.



Time/Temperature curve for surface to core and resultant tempered martensite surface with pearlite and ferrite core

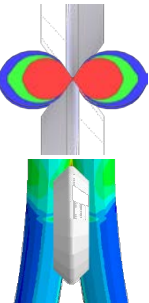
This process creates a finished product composed of a ferrite and pearlite core with a tempered martensitic surface layer that provides high yield strength, as well as good weldability, bendability, and ductility with limited or no costly micro-alloying (Mn, V & Nb). Before quenching and tempering was a tested and accepted processing route by worldwide standards, micro-alloying was the only option for producing higher strength rebar.

The rapid cooling of the bar surface uses special HYQST cooling nozzles in a series of water boxes after final rolling. Water box configurations for the range of rebars from 6mm to 50mm operate between 5-14.5bar pressure to achieve the proper cooling at the different rolling speeds and routes to the cooling bed. High speed rolling through two Primetals Technologies No-Twist® Mills is achieved via 2-way slitting through a powered slitting machine for the long production cycles and high speeds needed for the modern high production rebar mill.

Mounted directly on the powered slitting machine, a roller entry guide is used to centre the slitting dob-bone section to the powered slitter. This, in conjunction with the reduced clearances in the discs, increases accuracy of the slit section to reduce the area variation between the two strands.



Powered Slitting Machine with Guides



Powered slitting as opposed to traditional stand mounted slitting delivery guides can provide extended rolling campaigns, regularly exceeding 15,000 tons with consistent weight balance. The use of this machine can be applied to all hot-rolled rebar production and is only limited by the small space required in a revamped rolling mill.

Route 2 – Fine Grain (Thermomechanically-Rolled)

A thermo-mechanical rolling (TMR) processing route is now utilized by Primetals Technologies for the “Special Seismic Performance” grade applications to achieve a minimum 1.25 TS/YS ratio for similar billet chemistries as the “General” and “Weldable” grades without the formation of a martensitic ring.

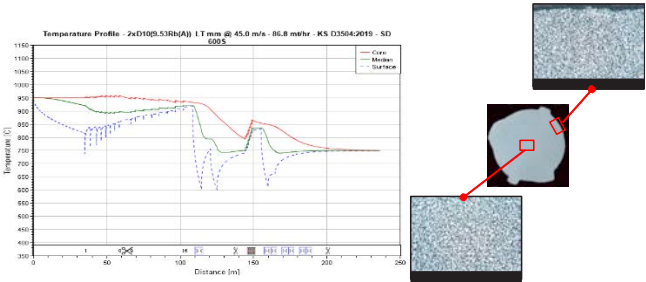
The Hall–Petch effect is a direct relationship between grain size and strength of a metal or alloy, and is described by:

$$\sigma_y = \sigma_i + k d^{-1/2}$$

Yield strength is equal to the starting stress for dislocation movement plus the material strengthening coefficient divided by the square root of the average grain diameter.

The fine grain process utilizes distributed cooling to provide lower finishing stand entry temperature creating a fine grain structure. As grain sizes become smaller the yield strength increases. Immediately followed by low pressure water box cooling after the finishing stands to boost the tensile strength, all without quenching or forming a martensitic ring, to achieve the required 1.25 TS/YS ratio.

The key to successful TMR processing of rebar is to provide a uniform grain structure from core to surface (≤ 1 ASTM number) and to restrict the heat generation to prevent static recrystallization after rolling. As a result, the entry temperature into the finishing stands should have a center to surface temperature differential of ≤ 50°C.



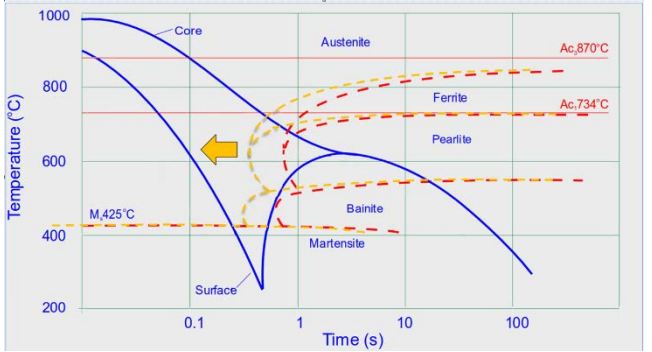
For the high-speed sizes, proper water box control after Primetals Technologies’ Morgan No-Twist® Mill is critical to avoid red scale dust from forming on the surface of the rebar on the cooling bed, which typically occurs at 820~880°C. Red scale (Fe₂O₃) formation comes from non-uniform cooling, often related to improper water cooling from lack of pressure, followed by poor stripping where the surface water boils away leaving behind red scale. This is often problematic in the post processing rebar coating or painting that often requires cleaning the rebar. To prevent

the scale formation, it is important that an optimized closed-loop temperature and pressure-controlled water box system be designed and utilized for consistent production for all rolling campaigns.

As Primetals Technologies has enhanced these processing routes over the years, another processing route has been introduced to the market...

Route 3 – Hybrid Rolling (Fine Grain HYQST)

Bringing together the higher strength produced via the HYQST route and the toughness produced via the TMR fine grain route the seismic grades with the required TS/YS ≥ 1.25 can be achieved with optimized minimized chemistries. With the rapid cooling immediately after the finishing stand, the fine grain structure is locked, shifting the time temperature transformation curve to the left maintaining the pearlite and ferrite structure through quenching and tempering as the bar approaches the cooling bed.



Hybrid rolling has yielded results with carbon equivalent below 0.50 and under half the maximum allowable manganese without the addition of high-cost alloying elements. The fine grains developed through the process allows for reduced manganese in all cases. Experience has shown that as few as four optimized billet chemistries can produce General Use-300Mpa through to Seismic-700Mpa grades.

Optimized billet chemistries, adjusted for each Countries standard for allowable Carbon (C), Manganese (Mn), Chromium (Cr) and Nickle (Ni) while minimizing alloying elements. A focus is for residual, from scrap, or no required Vanadium (V) addition to minimize billet costs. Carbon equivalents (Ceq) can then vary from <0.40 - <0.61 max depending on the countries standards as well as size of the finished rebar from 8 to 50mm.

Ceq is calculated considering this formula:

$$\%C + (\%Mn/6) + ((Cr+Mo+V)/5) + ((Cu+Ni)/15)$$

Grade	Route	YS [Mpa]	TS [Mpa]	TS/YS	C%	Mn%	V%	Ceq
500	HYQST	550.0	665.5	1.21	0.212	0.98	0	0.438
Fe 550	HYQST	566.4	668.8	1.18	0.206	0.96	0	0.370
HRBF 500E	Fine Grain	554.0	697.5	1.26	0.245	1.38	0.039	0.485
500	Hybrid	565.5	733.6	1.30	0.307	0.70	0.0039	0.471

By balancing the chemistry allowances per each Countries standards, the chemistries can be optimized considering the key elements and their impact to the final products.

Carbon - C% impacts hardness and weldability. The higher the carbon percentage the tensile strength increases, but not in a linear path. Lower carbon is desirable and often required in certain markets to improve weldability and ductility.

Manganese - Mn% impacts yield and tensile strength. The higher manganese percentage increases yield and tensile strength but can be expensive depending on market conditions.

Sulphur - S% impact brittleness during twisting and bending, requiring minimum levels for consistent quality.

Phosphorus - P% impacts strength and corrosion resistance but increases brittleness.

Copper - Cu% impacts strength and corrosion resistance as a pearlite stabilizer but elevated levels of copper are detrimental to the rolling process and can cause hot shortness.

Chromium - Cr% impacts weldability and corrosion resistance

Vanadium or Niobium - V% or Nb% impacts tensile and yield strength through precipitation of vanadium carbides and nitrides. These are high cost alloys that greatly influence billet costs

Country	Specification	Grade	YS [Mpa]	TS [Mpa]	TS/YS Ratio	C% Max	Mn% Max	Ceq Max
Korea	KS D 3504:2016	400S	400~520	N/A	> 1.25	0.29	1.50	0.55
		500S	500~620	N/A	> 1.25	0.32	1.80	0.60
		600S	600~720	N/A	> 1.25	0.37	1.80	0.67
USA	ASTM 706	60	420	550	> 1.25	0.33	1.56	0.55
		80	550	690	> 1.25	0.33	1.56	0.55
India	IS:1786	FE 415D	415	485	> 1.12	0.25	N/A	0.53
		FE 500D	500	545	> 1.10	0.25	N/A	0.53
		FE 550D	550	585	> 1.08	0.25	N/A	0.53
China	GB 1499.2	HRBF400E	400	540	> 1.25	0.25%	1.60%	Max. 0.55
		HRBF500E	500	675	> 1.25	0.25%	1.60%	Max. 0.55

The overall target with the defining a rolling mill to take advantage of the different processing route, maximum profitability via the most cost-effective combination of melt shop and rolling mill utilization with minimized inventory. Applying these same principles to a combination rod and bar mill enables coiled rebar to also be produced via the same processing routes for further cost savings and value-added advantages. Modern rolling mills with coiled and straight bar outlets can provide the most economic advantage for the customer base with the opportunity to control conversion costs, weathering the most challenging market demands.

References

[1] Advanced mechanical properties Sergey Zharebtsov,Maciej Motyka, in Nanocrystalline Titanium, 2019

[2] The Influence of Grain Size on the Mechanical Properties of Steel J.W. Morris, Jr.

[3] Thermomechanical Processing For Quality Products in High Speed Rod Rolling Mills B. V. Kiefer and W. P. Krejdovsky Metals Technologies, Siemens Industry, Inc

Pert Grinding Ball Rolling Mill

Nicola TOMBA
PERT srl
Italy

Nowadays grinding balls production process is mainly done by casting or by pressing, processes which involves anyway low productivity and poor quality on finished products.

PERT has developed a new revolutionary rolling mill to produce high quality grinding balls by rolling process, starting from a round bar coming from upstream bar mill rolling.

Round bars are heated up by a traditional gas/oil fired or by induction furnace and then rolled by means of a single stand which rolls the round bars into grinding balls of different sizes, ranging from diameters 20 mm up to 150 mm.

Rolls grooves design is the technological core of the process, in fact helicoidal groove has been designed for this particular application, guaranteeing a perfect ball shape and roundness.

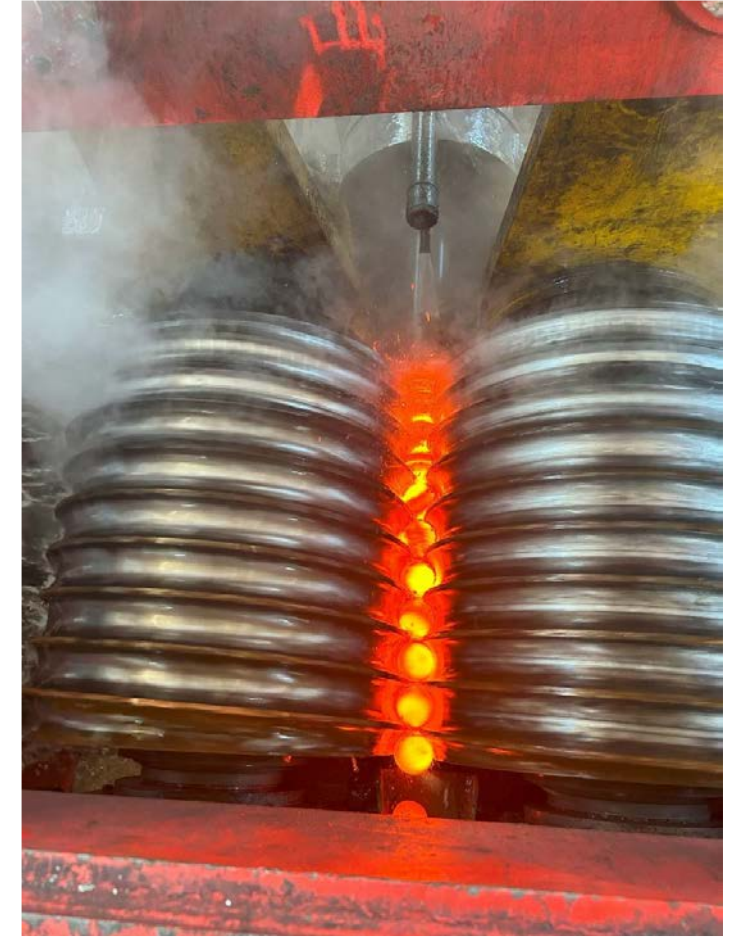
Rolling line is composed by a discharging roller table, equipped with heat retaining covers, a set of pinch rolls which transfer the bar along the line, a set of fixed and rotating guides and a rotating pinch roll which push and rotate the bar before stand entering.

An inline heat treatment is foreseen to achieve the required surface and volumetric hardness, followed by an equalizing horizontal cooling bed and final balls storage and automatic packaging equipment.

Rolling process can guarantee a very high productivity rates, starting from 2 tph for smaller sizes up to more than 30 tph for bigger sizes.

Real cases of grinding balls rolling mills will be showed, mainly regarding plants supplied in India (Customer : JSW Steel) and Turkey (Customer : ETI BAKIR).







DIGITALIZATION and ARTIFICIAL INTELLIGENCE 2

Dijitalizasyon ve Yapay Zeka 2

ROLLING STEEL WITH TECHNOLOGY AND FUTURE ON TRUST

ÇELİĞİ TEKNOLOJİYLE, GELECEĞİ GÜVENLE ŞEKİLLENDİRİYORUZ

www.isrs-mtm.com | isrs@isrs-mtm.com | [f isrs.mtm](https://www.facebook.com/isrs.mtm) | [X isrs_mtm](https://www.x.com/isrs_mtm) | [isrs_mtm](https://www.instagram.com/isrs_mtm) | [in isrs-mtm](https://www.linkedin.com/company/isrs-mtm)

Makine Öğrenimi ile Yassı Çeliklerde Malzeme İsrafının Azaltılması ve Üretimde Kapasite Artışı

Reducing Material Waste in Flat Steels and Increasing Production Capacity with Machine Learning

Merve ÖPER^{1,2}, Didem BAKİLER İLME¹, E. Fatih YETKİN²

¹Borçelik Çelik Sanayii, ²Kadir Has Üniversitesi

Türkiye

Anahtar Kelimeler: Makine Öğrenmesi, Özellik Seçimi, Yassı Çelik, Mekanik Özellik

Abstract

This study focuses on predicting the mechanical properties (yield/tensile strength) of flat steel products using machine learning methods. The aim is to focus on materials produced on the Temper Mill line to reduce material waste, increase production capacity, and decrease the workload of the testing team. To achieve this, various machine learning models were trained using historical mechanical test data and compared in terms of explainability, prediction performance, and computational cost. The models with the best results were integrated into the production management system following validation. Reducing physical tests contributes to conserving natural resources while also improving operational efficiency and cost-effectiveness. By implementing the model-based prediction method, a 10% reduction in scrap per coil was achieved, along with approximately a 0.5-ton increase in capacity per coil. Furthermore, eliminating the need for test samples from each coil has saved approximately 1 to 1.5 minutes of testing time per coil.

Özet

Bu çalışma kapsamında, yassı çeliklerin mekanik özelliklerinin (akma/çekme mukavemeti) makine öğrenimi yöntemleriyle tahmini gerçekleştirilmiştir. Temper Hadde hattında üretilen malzemelere odaklanarak, malzeme israfını azaltmak, üretim kapasitesini artırmak ve test ekibinin iş yükünü hafifletmek amaçlanmıştır. Bu doğrultuda, geçmiş mekanik test verileri kullanılarak çeşitli makine öğrenimi modelleri eğitilmiş; bu modeller açıklanabilirlik, tahmin performansı ve hesaplama maliyetleri açısından karşılaştırılmıştır. En iyi performansı gösteren modeller, doğrulama işlemlerinin ardından üretim yönetim sistemine (MES) entegre edilmiştir. Fiziksel testlerin azaltılması, doğal kaynakların korunmasına katkı sağlarken, aynı zamanda operasyonel verimlilik ve maliyet etkinliğini de artırmaktadır. Model tabanlı tahmin yönteminin uygulanmasıyla, bobin başına %10 oranında hurda azaltımı sağlanmış, her bobin için yaklaşık 0.5 ton kapasite artışı elde edilmiştir. Ayrıca, her bobinden alınması gereken test numunelerinin ortadan kalkmasıyla yaklaşık 1-1.5 dakikalık test süresi kaybının önüne geçilmiştir.

1. Giriş

Yassı çelikler, çeşitli mühendislik ve endüstriyel uygulamalarında kritik öneme sahiptir ve mekanik özellikleri mikro yapı, alaşım bileşimi ve ısıtma işlem parametreleri gibi çeşitli faktörlerden etkilenmektedir [1]. Geleneksel olarak, çeliklerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi tahribatlı testler yoluyla gerçekleştirilmektedir. Ancak bu süreçler hem zaman alıcı hem de maliyetli olup, üretim verimliliğini olumsuz etkileyebilmektedir [2]. Bu nedenle son yıllarda, veri odaklı yaklaşımlar ve makine öğrenimi algoritmalarının gelişimi, bu alanda önemli bir alternatif olarak öne çıkmıştır [3].

Makine öğrenimi teknikleri, özellikle çekme ve akma mukavemeti gibi kritik mekanik özelliklerin tahmin edilmesinde giderek daha fazla kullanılmaktadır [4]. Bu bağlamda, farklı makine öğrenimi algoritmalarının performansı literatürde çeşitli çalışmalarda değerlendirilmiştir. 2020 yılında yapılan çalışmada Xiong ve arkadaşları rastgele orman regresyonunun mekanik özellik tahmininde güçlü bir performans sergilediğini gözlemiştir [5]. Yapay sinir ağları gibi daha gelişmiş yöntemler ise interatomik etkileşim parametrelerini kullanarak çekme mukavemeti tahmininde umut vadeden sonuçlar sunmuştur [6]. Son çalışmalarda, derin öğrenme yöntemlerinin çeliklerin sertlik ve mukavemet özelliklerini tahmin etmede başarılı olduğunu göstermektedir ve özellikle konvolüsyonel veri tabanlı analizlerde güçlü performans sergilediği bildirilmiştir [7].

Bununla birlikte, makine öğrenimi tabanlı yaklaşımların doğruluğunu artırmak için veri kalitesi, model optimizasyonu ve özellik mühendisliği büyük önem taşımaktadır [8]. Özellik seçimi algoritmaları, mekanik özellikler üzerinde doğrudan etkili olan fiziksel parametreleri belirleyerek model performansını iyileştirmede katkı sağlamaktadırlar [9].

Bu çalışmada, yassı çeliklerin mekanik özelliklerini tahmin etmek amacıyla dört farklı makine öğrenimi algoritması karşılaştırılmış ve en yüksek performans gösteren model, üretim yönetim sistemine entegre edilmiştir. Çalışmanın temel amacı, makine öğrenimi tekniklerini kullanarak çeliklerin mekanik özelliklerini hassas bir şekilde öngörmek ve üretim süreçlerini iyileştirmektir. Bu tür modellerin

uygulanması, hurda oluşumunu azaltarak üretim verimliliğini artırma ve yassı çelik endüstrisinde kalite kontrol süreçlerini güçlendirme potansiyeline sahiptir.

2. Deneyisel Çalışmalar

2.1. Veri Seti

Bu çalışmada, tavlama sıcaklığı ve süresi gibi üretim proses verileri ile Al, B, Ca gibi kimyasal bileşenleri içeren malzeme özellikleri kullanılarak, yassı çeliklerin akma ve çekme mukavemetleri tahmin edilmiştir. Geçmiş yıllara ait 10.000 veri analiz edilerek, mekanik özelliklerin tahmininde makine öğrenimi tabanlı modeller uygulanmıştır.

Mekanik testlerin gerçekleştirilmesi için standart bir test yöntemi kullanılmıştır. Tüm test numuneleri 25 mm genişliğinde ve 80 mm uzunluğunda olup, yüzeyleri zımparalandıktan sonra Zwick Z 850 test cihazına yerleştirilmiştir. Şekil 1, bir metal numunenin test öncesi ve test sonrası görüntülerini göstermektedir.



(a) Testten Önce



(b) Testten Sonra

Şekil 1. Örnek Mekanik Test Numuneleri

2.2. Kullanılan Yöntem

Bu çalışmada, veri ön işleme adımında sayısal değişkenler için standart ölçeklendirme (Standard Scaling), kategorik değişkenler için etiket kodlama (Label Encoding) yöntemleri uygulanmıştır. Bu işlemler, farklı ölçeklerdeki değişkenleri dengeleyerek makine öğrenimi modellerinin daha doğru tahminler yapmasını sağlamak amacıyla gerçekleştirilmiştir.

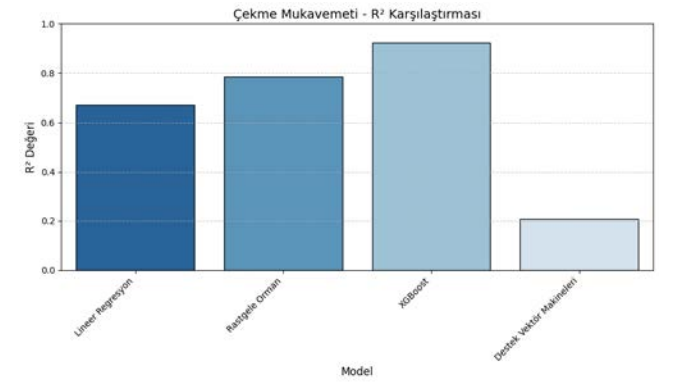
Veri ön işleme sonrası, çeliklerin mekanik özelliklerini tahmin etmek için lineer regresyon, rastgele orman, destek vektör makineleri ve XGBoost algoritmaları kullanılmıştır. Model performansını artırmak için GridSearchCV yöntemi ile parametre ayarlamaları yapılmıştır.

3. Sonuçlar ve Tartışma

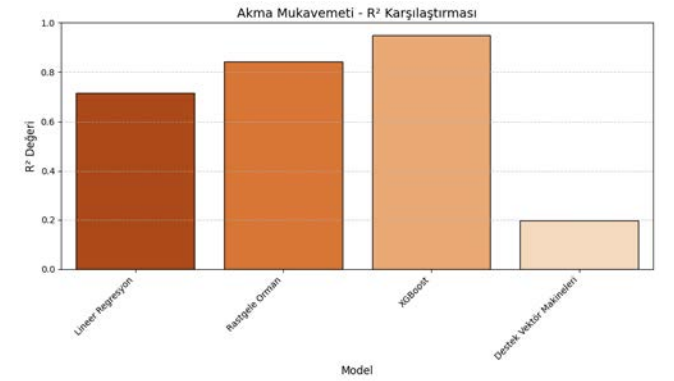
Elde edilen en iyi parametreler kullanılarak modeller yeniden eğitilmiş ve performansları karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma, kök ortalama kare hatası (RMSE), ortalama mutlak yüzdelik hatası (MAPE) ve R^2 değeri ile yapılmıştır. RMSE ve MAPE, yaygın olarak kullanılan hata ölçütleridir. Daha düşük değerler tahminlerin gerçek değerlere daha yakın

olduğunu gösterir. R^2 değeri ise modelin veri setini açıklayıcılık gücünü ifade etmektedir.

Elde edilen sonuçlar, XGBoost modelinin hem çekme hem de akma mukavemeti tahmininde en iyi performansı sergilediğini göstermektedir (Şekil 2, 3). Modelin yüksek R^2 değerleri (0,93 ve 0,95) ve düşük hata oranları (MAPE: 0,92 ve 1,34; RMSE: 4,50 ve 4,79), tahminlerin gerçek değerlere oldukça yakın olduğunu ortaya koymaktadır (Tablo 1). Rastgele Orman modeli, XGBoost'a kıyasla daha düşük doğruluk sunsa da tatmin edici sonuçlar elde edilmiştir. Lineer regresyon modeli, belirli bir açıklayıcılık sağlasa da hata oranları nispeten yüksektir. Destek vektör makineleri ise en düşük performansı göstererek yüksek hata değerleri ve düşük R^2 ile güvenilir tahminler üretememiştir. Genel olarak, XGBoost modeli en başarılı tahminleri yaparken, Rastgele Orman uygun bir alternatif olarak öne çıkmaktadır.



Şekil 2. Çekme Mukavemeti Model Karşılaştırması



Şekil 3. Akma Mukavemeti Model Performansı Karşılaştırması

Çizelge 1. Performans Karşılaştırmaları

Hedef Parametre	Model	R2	MAPE	RMSE
Çekme Mukavemeti	Lineer Regresyon	0,7	2,4	10,4
	Rastgele Orman	0,8	1,9	8,4
	XGBoost	0,9	0,9	4,5
	Destek Vektör Makineleri	0,2	3,7	16,1
Akma Mukavemeti	Lineer Regresyon	0,7	4,0	11,4
	Rastgele Orman	0,8	2,8	8,5
	XGBoost	0,9	1,3	4,8
	Destek Vektör Makineleri	0,2	6,6	19,1

Yüksek performansı nedeniyle XGBoost modeli, üretim yönetim sistemine entegre edilerek tahmin süreçlerinde aktif olarak kullanılmaya başlanmıştır.

4. Sonuç

Bu çalışmada, yassı çeliklerin mekanik özelliklerinin (akma/çekme mukavemeti) makine öğrenimi yöntemleriyle tahmin edilmesi üzerine bir analiz gerçekleştirilmiştir. Özellikle Temper Hadde hattında üretilen malzemelere odaklanılarak, malzeme israfını azaltmak, üretim kapasitesini artırmak ve test ekibinin iş yükünü hafifletmek amaçlanmıştır. Geçmiş mekanik test verileri kullanılarak eğitilen farklı makine öğrenimi modelleri tahmin doğruluğu açısından karşılaştırılmıştır. Model karşılaştırmaları sonucunda, XGBoost modelinin akma ve çekme mukavemeti tahmininde en iyi performansı sergilediği belirlenmiş ve bu model üretim yönetim sistemine entegre edilmiştir. Doğrulama işlemlerinin ardından, fiziksel test gereksiniminin azaltılması sayesinde hem doğal kaynak tüketimi azalmış hem de operasyonel verimlilik ve maliyet etkinliği sağlanmıştır. Veri tabanlı tahmin yönteminin uygulanmasıyla, bobin başına %10 oranında hurda azaltımı sağlanmış, her bobin için yaklaşık 0,5 ton kapasite artışı elde edilmiştir. Ayrıca, her bobinden alınması gereken test numunelerinin ortadan kalkmasıyla yaklaşık 1-1,5 dakikalık test süresi kaybının önüne geçilmiştir. Bu sonuçlar, makine öğrenimi tabanlı tahmin sistemlerinin üretim süreçlerine entegre edilerek hem sürdürülebilirliği artırabileceğini hem de verimlilik üzerinde doğrudan olumlu etkiler yaratabileceğini göstermektedir.

Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK (Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu) tarafından 119C164 proje numarası ile desteklenmektedir.

Referanslar

- [1] W. D. Callister Jr and D. G. Rethwisch, Callister's materials science and engineering. John Wiley & Sons, 2020.
- [2] J. R. Davis, Tensile testing. ASM international, 2004.
- [3] R. Ramprasad, R. Batra, G. Pilania, A. Mannodi-Kanakkithodi, and C. Kim, "Machine learning in materials informatics: recent applications and prospects," NPJ Comput Mater, vol. 3, no. 1, p. 54, 2017.
- [4] A. Agrawal, P. D. Deshpande, A. Cecen, G. P. Basavarsu, A. N. Choudhary, and S. R. Kalidindi, "Exploration of data science techniques to predict fatigue strength of steel from composition and processing parameters," Integr Mater Manuf Innov, vol. 3, no. 1, pp. 90–108, 2014.
- [5] J. Xiong, T. Zhang, and S. Shi, "Machine learning of mechanical properties of steels," Sci China Technol Sci, vol. 63, no. 7, pp. 1247–1255, 2020.
- [6] N. Togobytska, "Artificial neural network model for prediction of mechanical properties of steel," in International scientific and technical conference Information technologies in metallurgy and machine building, 2022, pp. 74–78.
- [7] Q. Zhang, W. Wu, X. Tang, and M. Jin, "Prediction of mechanical properties of rolled steel based on dual-attention multiscale convolutional neural network," Mater Today Commun, vol. 41, p. 110432, 2024.
- [8] L. Ward, A. Agrawal, A. Choudhary, and C. Wolverton, "A general-purpose machine learning framework for predicting properties of inorganic materials," NPJ Comput Mater, vol. 2, no. 1, pp. 1–7, 2016.
- [9] D. B. Ilme, M. Oper, and E. F. Yetkin, "Comparison of Feature Selection Methods for Mechanical Properties of Cold Rolled Products in Flat Steel Manufacturing," in 2024 9th International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK), IEEE, 2024, pp. 1–5.

Görüntü İşleme ve Anomali Tespit Yöntemleriyle İsdemir Sıcak Haddehane Üretim Hattında Genişlik ve Doğrusal İlerleme Tespiti

Detection of Width and Linear Progress in Isdemir Hot Rolling Mill Production Line Using Image Processing and Anomaly Detection Methods

Ahmet BEŞKARDEŞ, Rahmi ÜLKER

İskenderun Demir ve Çelik

Türkiye

Anahtar Kelimeler: Sıcak haddehane, görüntü işleme, anomali tespiti, topluluk algoritması

Abstract

This study addresses the tracking of the width and linear progress of the material in the section of the hot rolling mill process from the roughing mill to the strip mill. Since small changes in the width of the material may lead to coil defects in the future, it is important to track these changes. In addition, if the material does not progress smoothly on the line, it may hit the side runners and damage the production line. This deviation may grow as it progresses on the line and destroy the strip mill rolls. In order to prevent these negativities, the transition images of the material are taken with a camera and the coordinates of the edges of the material and the material width are calculated using image processing techniques. The obtained data are evaluated to determine whether the material is progressing in the right direction and whether there are any defects in its width. Abnormalities in the material width are analyzed with various scientific methods and combined with the ensemble learning method to determine the anomaly status of the material.

Özet

Bu çalışma, sıcak haddehane prosesinde kaba haddeden çıkan malzemenin şerit haddeye gelene kadar geçen bölümünde malzemenin genişlik ve doğrusal ilerleme takibini ele almaktadır. Malzemenin genişliğinde meydana gelebilecek küçük değişiklikler, ileride bobin kusurlarına yol açabileceğinden, bu değişikliklerin izlenmesi önemlidir. Ayrıca, malzemenin hat üzerinde düzgün ilerlememesi, yan yolluklara çarparak üretim hattına zarar verebilir. Bu sapma hat üzerinde ilerledikçe daha da büyüyerek şerit hadde

merdanelerini tahrip edebilir. Bu olumsuzlukları önlemek amacıyla, malzemenin geçiş görüntüleri bir kamera ile alınmakta ve görüntü işleme teknikleri kullanılarak malzemenin kenarlarına ait koordinatlar ve malzeme genişliği hesaplanmaktadır. Elde edilen bu veriler, malzemenin doğru yönde ilerleyip ilerlemediğini ve genişliğinde herhangi bir kusur olup olmadığını tespit etmek için değerlendirilmektedir. Malzeme genişliğindeki anormallikler, çeşitli bilimsel yöntemlerle analiz edilmekte ve topluluk öğrenmesi yöntemi ile birleştirilerek malzemenin anomali durumu belirlenmektedir.

1. Giriş

Demir çelik endüstrisinin nihai birimlerinden biri olan sıcak haddehanelerde gerçekleşen sıcak haddeleme işi, metal şekillendirme süreçlerinin en önemlilerinden biridir. Sürekli dökümler tesislerinde üretilen slablar bu süreçte yüksek sıcaklıklarda haddelenerek istenen şekil ve boyutlara getirilir ve soğutulur [1]. Bu sayede istenilen kaliteye göre malzemenin kristal yapısı ve mekanik özellikleri sağlanmış olur [2]. Ayrıca, malzemenin kalınlığı azaltılarak daha ince ve daha uzun ürünler elde edilir [3].

Sıcak haddeleme sırasında malzeme genişliğinde ve doğrusal ilerlemesinde meydana gelebilecek küçük değişiklikler, üretim sürecinde ciddi sorunlara yol açabilir. Malzeme genişliğindeki değişiklikler, bobin kusurlarına neden olabilirken, doğrusal ilerlemedeki sapmalar üretim hattına zarar verebilir. Bu nedenle, malzemenin genişlik ve doğrusal ilerleme takibinin yapılması, üretim kalitesini ve verimliliğini artırmak için kritik öneme sahiptir [4].

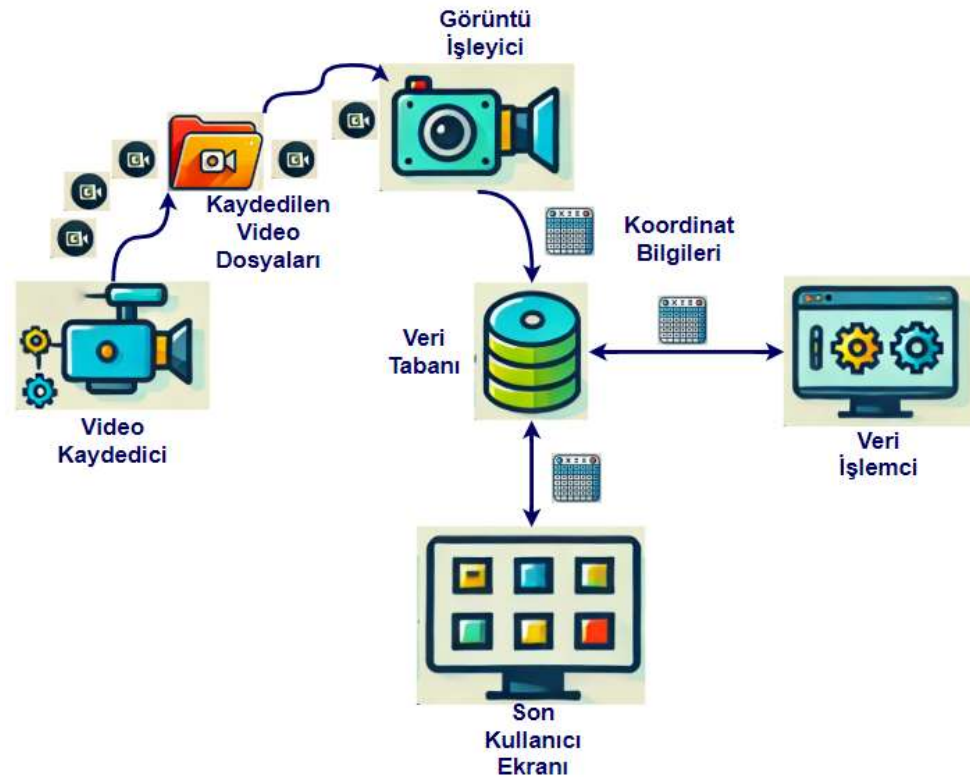
Haddehanelerde görüntü işleme tekniklerinin kullanımı, proses verimliliğini ve ürün kalitesini artırmak amacıyla giderek yaygınlaşmaktadır. Görüntü işleme teknikleri, malzeme genişliği, yüzey kusurları ve doğrusal ilerleme gibi kritik parametrelerin izlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Stratinskiy ve arkadaşları, uzun mamul üretiminde görüntü işleme teknikleri kullanarak, bir kütüğün genişliğini ve kenar koordinatlarını hesaplamış ve bu verileri, malzemenin doğru yönde ilerleyip ilerlemediğini tespit etmek için değerlendirmiştir [5]. Çelik levhalarda haddeleme işlemi sırasında meydana gelen yüzey kusurları, ticari ve güvenlik açısından büyük önem taşır. Laptev ve diğerleri bu tür kusurların hızlı ve yüksek doğrulukta tespiti için görüntü işleme yöntemlerini kullanmış, kamera görüntüleri üzerinden yüzey hatalarını tespit ederek, üretim sürecinde erken müdahale imkânı sunmuşlardır [6]. Bu sayede, üretim hattında meydana gelebilecek olumsuzluklar minimize edilmiş ve ürün kalitesi artırılmıştır.

Önerdiğimiz bu çalışma, sıcak haddehane prosesinde malzemenin genişlik ve doğrusal ilerleme takibini ele alarak, bu parametrelerin izlemek ve kontrol etmek için görüntü işleme tekniklerinin kullanımını araştırmaktadır. Çalışmamızın amacı, malzeme genişliğindeki ve doğrusal ilerlemedeki anormalliklerin tespit edilmesi ve bu

anormalliklerin üretim sürecine etkilerinin minimize edilmesidir. Bu kapsamda, kaba hadde ile coilbox arasındaki bölgeden malzemenin geçiş görüntüleri bir kamera ile alınmakta ve görüntü işleme teknikleri kullanılarak malzemenin kenarlarına ait koordinatlar ve malzeme genişliği hesaplanmaktadır. Bu koordinat bilgileri kullanılarak malzemenin doğrultusu ve kenarlardaki eğrilikler tespit edilmektedir.

2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada hattan geçen malzemenin doğrultu ve genişlik takibi için Şekil 1'de gösterilen bir yazılım mimarisi tasarlanmıştır. Bu mimaride, video kaydedici uygulama ile geçen malzemelerin video kayıtları oluşturulmakta, ikinci uygulama ile bu video kayıtlarından görüntü işleme teknikleri kullanılarak malzemeye ait koordinatlar çıkarılmakta ve veri tabanına kaydedilmektedir. Üçüncü uygulamada veri tabanından alınan koordinatlar üzerinde veri ön işleme yapıldıktan sonra doğrultu ve kenar eğrilik metrikleri hesaplanmakta ve bunlara ait çıkarımlar üretilmektedir. Son uygulama ise işletme ve kalite çalışanlarının her malzemeye ait nihai durumu inceleyebilmeleri için geliştirilmiş bir kullanıcı ara yüzüdür.



Şekil 1. Geliştirilen yazılımın mimarisi.

2.1. Video kaydetme

Fırından çıkan her slab kaba haddeden son geçişini tamamladıktan sonra alınan sinyal ile video kaydedici uygulaması yeni bir video kaydetmeye hazır hale gelir. Arka plan çıkarma yöntemi ile malzemenin bölgeye girişini algılar ve kamera görüntülerini kaydetmeye başlar. Malzemenin geçişi bittiğinde ise kaydı sonlandırır. Bu video kaydını Windows ortamında belirlenen bir dizinde saklar.

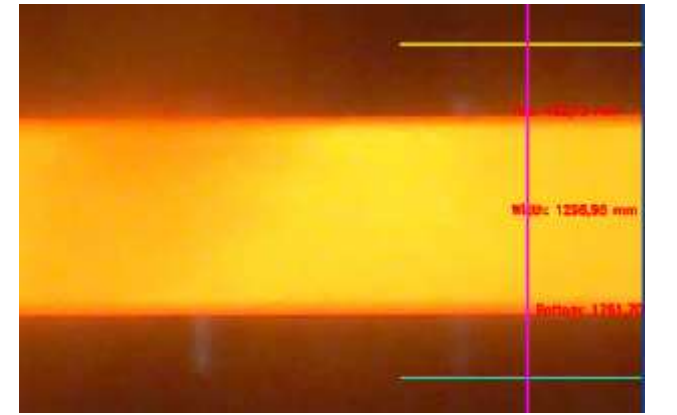
2.2. Görüntü işleme

Görüntü işleyici, kayıtlı videoları ilgili dizinden alarak ağır çekimde oynatır ve bu sayede görüntü işlemeyi daha detaylı ve yüksek kalitede yapar. Hattan geçen dikdörtgen şeklindeki malzemenin yukarıdan bakıldığında alt ve üst kenarlarına ait koordinatları tespit eder ve bu bilgileri veri tabanında bir tabloya kaydeder. Bu süreç, malzemenin genişlik ve doğrusal ilerleme takibini sağlamak için kritik öneme sahiptir.

Bu çalışmada, sıcak haddehane prosesinde malzemenin genişlik ve doğrusal ilerleme takibi için kenar tespiti şu aşamalarla yapılmıştır: İlk olarak, renkli görüntüler gri tonlamaya dönüştürülmüştür. Bu işlem, görüntüdeki renk bilgilerini kaldırarak sadece parlaklık bilgilerini bırakır ve kenar tespiti işlemlerini basitleştirir. Çünkü, renk bilgisi kenar tespiti için genellikle gereksizdir ve işlem yükünü artırır. İkinci aşamada yüksek sıcaklığın ve ısımanın neden olduğu gürültüyü azaltmak amacıyla, gri tonlamalı görüntülere Gaussian bulanıklığı uygulanmıştır. Gaussian bulanıklığı, görüntüdeki yüksek frekanslı gürültüyü azaltarak kenar tespitini kolaylaştırır. Üçüncü bir ön işlem ile görüntüdeki kontrastı artırmak için CLAHE (Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization) yöntemi kullanılmıştır. CLAHE, görüntüyü küçük bölgelere ayırarak her bölgenin histogramını ayrı ayrı eşitler ve bu sayede yerel kontrastı artırır. Sonrasında görüntüdeki kenarları daha belirgin hale getirmek için Otsu eşikleme yöntemi kullanılmıştır. Otsu yöntemi, görüntünün histogramını analiz ederek en uygun eşik değerini otomatik olarak belirler.

Görüntü üzerindeki ön işleme faaliyetlerinden sonra kontrastı artırılmış ve eşiklenmiş görüntüler üzerinde Canny kenar algılama algoritması uygulanmıştır. Canny algoritması, görüntüdeki kenarları belirlemek için gradyan büyüklüğünü ve yönünü hesaplar. Kenar tespiti yapılırken gürültüleri ve diğer bozucu etkenleri elimine etmek için sabit bölge seçimi (Region of Interest - ROI) yapılmıştır.

ROI, ekran üzerinde işaretlenen ve sabit kalan bir bölgedir. ROI üzerinde kenarları oluşturan noktalar tespit edilmiştir. Bu noktalar, kenar tespiti sonucunda elde edilen görüntüdeki beyaz piksellerdir. Bu noktaların koordinatları kullanılarak, malzemenin üst ve alt kenarlarının piksel ve milimetre cinsinden koordinatları hesaplanmıştır. Piksel koordinatları doğrudan görüntüden alınırken, milimetre cinsinden koordinatlar, kullanılan kamera ve lensin kalibrasyon faktörü olan bir ölçekleme değeri ile piksel koordinatlarının çarpılmasıyla elde edilir. Bu koordinat bilgileri, üzerinde hiçbir düzenleme yapılmadan veri tabanında bir tabloya ham veri olarak kaydedilmiştir. Şekil 2'de malzemenin geçişi sırasında alınan ölçümlerin uygulama ekranındaki görüntüsü gösterilmiştir.



Şekil 2. Görüntü işleme uygulamasında geçen malzemeye ait koordinat ve genişlik bilgileri

2.3. Veri işleme

Veri işleme aşamasında sırayla şu işlemler gerçekleştirilir: Veri işlemci uygulaması belirli aralıklarla veri tabanına bakarak yeni kayıtların olup olmadığını kontrol eder. Yeni bir kayıt bulduğunda, bu kayda ait malzemenin genişlik ve doğrusal ilerleme takibi için gerekli olan koordinatları içeren ham verileri veri tabanından çeker. Ham veriler alındıktan sonra, bu veriler üzerinde ön işleme yapılır. Ön işleme aşamasında, eksik, gürültülü ve aykırı veriler temizlenir veya uygun değerlerle doldurulur. Ön işlemede, verilerin analiz için uygun hale getirilmesini sağlar. Ön işleme yapılan veriler, veri tabanında güncellenir. Eski kayıtlar silinir ve yerine yeni, düzenlenmiş kayıtlar eklenir. Güncellenen koordinatlar kullanılarak, malzemenin doğrultusu (x eksenini ile yaptığı açı veya eğim) ve kenarların iç bükey veya dış bükey olma durumu belirlenir. Tüm işlemler bittikten sonra malzemenin durumu veri tabanında güncellenir, malzeme ile ilgili hesaplanan tüm metrikler ve yapılan çıkarım bir e-posta ile ilgili kişilere gönderilir.

Veri ön işleme

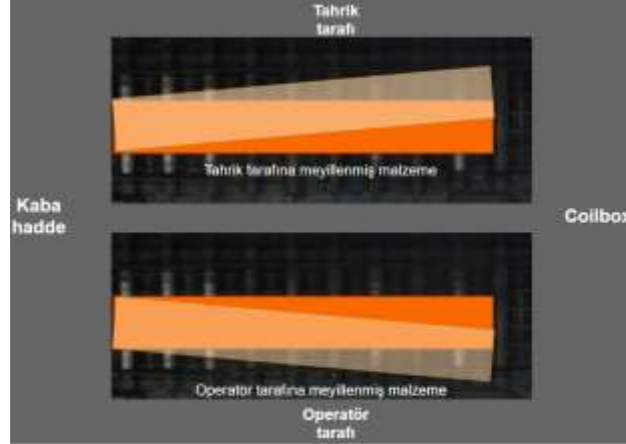
Veri tabanına hiçbir ön işlem yapılmadan kaydedilmiş ham verileri kullanmadan önce eksik, gürültülü ve aykırı verilerin temizlenmesi ya da değiştirilmesi gerekmektedir. Bu aşamada ilk adım, tekrarlı kayıtların silinmesidir. 'Pairwise deletion' olarak bilinen bu işlem ile gereksiz tekrarlar ortadan kaldırılarak veri kalitesi artırılır. İkinci adım, üst kenar, alt kenar ve genişlik değerlerinin ortalama değerlerin çok altında ya da üstünde olduğu durumlarda malzemenin ekranda olmadığı var sayılarak bu değerlerin silinmesi işlemidir. 'Listwise deletion' olarak bilinen bu işlem ile kusurlu kayıtlar temizlenir. Üçüncü adımda üst kenar ve alt kenar koordinatlarında bazı noktalara ait veri olmadığından bu noktalar kendisine en yakın noktaların ortalamalarıyla değiştirilir. 'Mean imputation' adındaki bu yöntem ile veri setindeki dalgalanmalar azaltılarak daha tutarlı bir veri seti oluşturulur.

Doğrultu tayini

Veri üzerinde ön işleme yapıp eksik, hatalı ve aykırı veriler temizlendikten sonra ölçüm alınan her x noktası için malzemenin üst ve alt kenarına ait milimetre cinsinden $y_{üst}$ ve y_{alt} değerleri atanır. Ayrıca, bu iki kenar değerlerine bakarak orta nokta değeri hesaplanır. Aykırı noktaların eğim değerini bozmasını önlemek için bu ikili nokta veri kümelerinden $y=mx + b$ şeklinde ifade edilebilecek basit doğrusal regresyon modeli oluşturulur. Üst, alt ve orta nokta değerleri için doğrusal regresyon gerçekleştirilir. Doğrusal regresyon sonuçlarına göre, üst, alt ve orta nokta eğimleri Eşitlik 1'de gösterildiği gibi hesaplanır.

$$m = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (1)$$

Burada m modellenmiş eğrinin eğimi, n örnek sayısı, $\bar{x}$ ve $\bar{y}$ ortalama değerlerdir. Hesaplanan bu eğimler, malzemenin doğrultusunu ve paralellliğini belirlemek için kullanılır. Eğim değerlerinin belirlenen sınırlar içinde olması beklenir. Hesaplanan eğim değerleri bu malzeme için veri tabanına kaydedilir. Şekil 3'te bir malzemenin doğrultusunun farklı yönlerdeki eğimi görselleştirilmiştir.



Şekil 3. Doğrultu tayininde malzemenin farklı yönlere doğru eğimi.

Kenar eğriliği tayini

Hattan geçen malzemenin üst ve alt kenarlarının eğriliği için ölçüm noktalarının x ve y eksenindeki koordinatları hazırlandıktan sonra üç farklı yöntemle eğrilik metrikleri hesaplanmış, hesaplanan bu değerler normalize edilmiş ve bu üç yöntemin ürettiği çıkarımlar bir oylamaya sunulurken eğrilik konusunda nihai karar üretilmiştir.

Eğrilik tayini için kullandığımız ilk yöntem kübik spline interpolasyon yöntemidir. Kübik spline interpolasyonu, x ve y noktalarından oluşan bir dizide noktalar arasında yumuşak bir eğri oluşturmak için kullanılan matematiksel bir yöntemdir. Bu yöntemde her bir veri noktası çifti arasında kübik yani üçüncü dereceden bir polinom tanımlanır. Bu polinomlar veri noktalarından geçmek zorundadır. Ayrıca düğüm noktalarında yani ilk ve son noktanın dışındaki tüm noktalarda bu polinomların birinci ve ikinci türevlerinin komşu polinomların birinci ve ikinci türevine eşit olması gerekir. Bu sayede ani değişimlerden kaçınılır ve eğrinin eğimi tüm noktalarda sürekli olur. Bu şartlara göre tanımlanan tüm polinomlar birleştirilerek veri noktalarını birbirine bağlayan sürekli bir eğri elde edilir. İki noktayı birleştirmek için tanımlanan polinom Eşitlik 2'de gösterilmiştir.

$$S(x) = a_i + b_i(x - x_i) + c_i(x - x_i)^2 + d_i(x - x_i)^3 \quad (2)$$

Burada a_i, b_i, c_i, d_i belirlenmesi gereken katsayılardır.

Eğrilik, bir eğrinin herhangi bir noktasındaki kıvrılmayı yani eğrinin eğiminin değişimini temsil eder. Kübik interpolasyon ile modellenen eğri $y=f(x)$ ise bu eğrinin eğriliğini veren $k(x)$ Eşitlik 3'teki gibi tanımlanır.

$$K(x) = \frac{f''(x)}{(1 + (f'(x))^2)^{3/2}} \quad (3)$$

Burada $f'(x)$, eğimi veren eğrinin birinci türevi, $f''(x)$ konveks ya da konkavlık durumuna işaret eden eğrinin ikinci türevidir. Eşitlik 3'te $K>0$ ise eğri yukarı doğru dışbükeydir yani konveks bir formdadır, malzemenin dışa doğru bombeleştiğini gösterir. $K<0$ ise eğri aşağı doğru içbükeydir yani konkav bir formdadır, bir malzemenin üst kenarının içe doğru çökmüş olduğunu gösterir. $K=0$ olması ise eğrinin tamamen düz olduğunu ve malzemenin yüzeyinin ideal durumda olduğunu ifade eder.

Eğrilik tayini için önerdiğimiz ikinci yöntem doğrusal sapma analizidir. Bu yöntemde doğrultu tayininde olduğu gibi ölçüm noktalarından doğrusal regresyon eğrisi oluşturularak, verilerin modelden olan artıkları (sapmaları) incelenir. Ölçüm numaraları x , üst kenar ölçümleri $y_{üst}$, alt kenar ölçümleri y_{alt} olacak şekilde veriler düzenlendikten sonra $y=mx + b$ formunda bir regresyon modeli oluşturulur. Modelin tahmin ettiği değerler Eşitlik 4'te, artıklar ise Eşitlik 5'te gösterildiği gibi hesaplanır.

$$\hat{y} = mx + b \quad (4)$$

$$r = y - \hat{y} \quad (5)$$

Eşitlik 5'te hesaplanan artık değerlerin işaretine göre $r>0$ ise konveks, $r<0$ ise konkav demek olan artıkların ortalamaları hesaplanır. Eşitlik 6'da pozitif ve negatif işaretli artıkların ortalama değerine göre eğrilik metriğinin değerinin nasıl hesaplandığı, Eşitlik 7'de ise eğriliğin baskın yönünün nasıl belirlendiği gösterilmektedir.

$$K_{konveks} = Average(r > 0), \quad K_{konkav} = Average(r < 0) \quad (6)$$

$$K = \begin{cases} K_{konveks} & \text{eğer } |K_{konveks}| > |K_{konkav}| \\ K_{konkav} & \text{eğer } |K_{konveks}| < |K_{konkav}| \end{cases} \quad (7)$$

Eğrilik tayininde kullandığımız üçüncü yöntem zaman serisi analizinde sıklıkla kullanılan ve tahmin başarısı yüksek olan ARIMA (AutoRegressive Integrated Moving Average) modelidir. Bu model üç temel bileşenden oluşur:

- Oto-regresif (AR) bileşeni, yeni verinin geçmiş değerlere bağlılığını ifade eder ve p parametresi ile gösterilir.

- Fark alma (I) bileşeni zaman serisini durağan hale getirmek için kaç kez fark alınması gerektiğini belirtir ve d parametresi ile gösterilir. Fark alma işlemi ön işleme aşamasında yapıldığı için d parametresi doğrudan model denkleminde yer almaz.
- Hareketli ortalama (MA) bileşeni ise modelin geçmiş hata terimlerini ne kadar dikkate alacağını belirler ve q parametresi ile gösterilir.

ARIMA modeli Eşitlik 8'de gösterildiği gibi ifade edilir:

$$Y_t = c + \sum_{i=1}^p \phi_i Y_{t-i} + \sum_{j=1}^q \theta_j \varepsilon_{t-j} + \varepsilon_t \quad (8)$$

Burada Y_t tahmin edilen zaman serisi değeridir, ϕ_i oto-regresif katsayılarıdır, θ_j hareketli ortalama katsayılarıdır ve ε_t gürültü terimidir.

ARIMA modelimizde aşırı karmaşıklıktan kaçınmak için p,d,q parametreleri 1 seçilmiştir. Bu değerlerin anlamı kısaca şöyle açıklanabilir:

- $p=1$: Zaman serisinde yalnızca bir önceki veri noktasının anlamlı bir etkide bulunduğu değerlendirilmiştir.
- $d=1$: Zaman serisi bir trend içerdiği için birinci fark alma işlemi ile durağanlaştırılmıştır.
- $q=1$: Hata terimleri arasında yalnızca bir önceki hatanın anlamlı bir etkisi olduğu görüldüğü için bu şekilde seçilmiştir.

Bu üç farklı yöntemde hesaplanan metrikler farklı büyüklüklerde olduğundan daha iyi kıyaslama ve yorumlama için elde edilen sonuçlar Eşitlik 9'da gösterildiği gibi normalize edilmiştir. Buna göre üç yöntem için hesaplanan nihai değerler -100 ile +100 arasında olacaktır.

$$K_{normalize} = \frac{K - K_{min}}{K_{mak} - K_{min}} \times 200 - 100 \quad (9)$$

Bu yöntemlerin ürettiği değerlerin işletme ve kalite ekiplerimizle birlikte belirlediğimiz alt ve üst sınırların dışında kalması durumunda malzemenin eğri olduğu çıkarımı yapılmaktadır. Sınır değerlerini tuttuğumuz konfigürasyon tablosu Şekil 4'te gösterilmiştir.

[illegible]

Şekil 4. Konfigürasyon tablosunda tutulan alt ve üst sınır değerleri

Makine öğrenmesi projelerinde doğruluğu artırmak için sıklıkla uygulanan yöntemlerden biri de çoğunluk oylamasıdır. Uygulaması gayet kolay olan çoğunluk oylaması, birden fazla modelin tahminlerini birleştirerek daha doğru sonuçlar elde etmek için kullanılır. Birden fazla model aynı veri seti üzerinde eğitilir, her modelin ürettiği çıktılar bir araya getirilir ve en çok üretilen sınıf ya da değer nihai tahmin olarak kabul edilir. Bu sayede doğruluğun ve genelleme kabiliyetinin artması, aşırı öğrenmenin azalması beklenir. Bu çalışmamızda da eğrilik durumu üç farklı yöntemle hesaplanıp bulunan üç sonuç oylamaya tabi tutularak en çok tekrar eden sonuç nihai tahmin olarak sunulmaktadır.

Geliştirdiğimiz veri işleme uygulaması, verileri düzenledikten, doğrultu ve eğrilik metriklerini hesapladıktan sonra Şekil 5'te gösterildiği gibi bir çıkarım üreterek e-posta yoluyla ilgili kişileri bilgilendirmektedir.



Şekil 6. Son kullanıcı uygulaması.

Sorunlu Geçen Malzeme Raporu

29.01.2025 18:27:33 tarihinde alınan 533177110400 numaralı mazeret ile ilgili bilgileri aşağıdadır:
533177110400 numaralı mazeret doğrudan bakımından sonuçlandır.
Çevreler tarih: 01.01.2025 itibarıyla hesaplandı, bu durum mazeretlerin 0000 tarihinde olduğu görülmüştür.



Şekil 5. Malzemenin doğrultu ve eğrilik durumunu bildiren otomatik e-posta gövdesi

Şekil 5'te malzemenin doğrultu bakımından sorunlu olduğu belirtilmiştir. Eğrilikle ilgili bir sorun saptanmadığı için bu durumdan söz edilmemiştir.

2.4. Son kullanıcı uygulaması

İşletme ve kalite çalışanlarının üretim sürecini izleyebilmesi, yapılan analizleri ve üretilen yorumları görüntüleyebilmesi için geliştirilen son kullanıcı uygulaması ile üretilen tüm malzemelerin doğrultu ve eğrilik bilgilerine erişmek mümkündür. Kullanıcı dostu ve görselliğin ön planda olduğu bu uygulama, hem sistemi yakından takip etmesi gereken kumanda operatörlerine hem de geçmişi analiz etmek isteyen mühendislere önemli faydalar sağlamaktadır. Şekil 6'da bu uygulamanın ekran görüntüsü verilmiştir.

4. Sonuç

Bu çalışma, sıcak haddehane prosesinde malzemenin genişlik ve doğrusal ilerleme takibinin görüntü işleme teknikleri kullanılarak nasıl iyileştirilebileceğini göstermiştir. Geliştirilen uygulamalar, üretim sürecinde meydana gelebilecek anormalliklerin erken tespit edilmesine olanak tanımakta ve bu sayede üretim kalitesi ve verimliliği artırmaktadır. Katman mimarisine uygun olarak tasarlanan ve yüksek performansla çalışan bu uygulamalar, işletme ve kalite ekiplerine önemli katkılar sunmaktadır.

Geliştirdiğimiz sistemde, hatta üretilen her malzeme için doğrultu ve üç farklı eğrilik hesabı yapılmıştır. Kusurlu malzemenin tayini için dikkate alınması gereken tüm alt ve üst sınırlar konfigüre edilebilir şekilde tasarlanmıştır. İşletme ve kalite çalışanlarına otomatik e-posta gönderimi ile her malzeme için bilgilendirme yapılmış ve kullanıcı dostu bir arayüz uygulaması ile tüm malzemelerin doğrultu ve eğrilik durumlarına ulaşabilmeleri sağlanmıştır. Bu çalışmada, görüntü işleme teknikleri, veri ön işleme ve hazırlama aşamaları, zaman serisi analizi için kullanılan lineer regresyon, kübik interpolasyon ve ARIMA gibi istatistiksel ve makine öğrenmesi yöntemleri başarıyla entegre edilmiştir.

Gelecekte, görüntüleme sistemlerinin iyileştirilmesi, termal kameraların kullanımı ve GPU'ya sahip sunucularda işlem yapılması gibi geliştirmelerle, sistemin hassasiyeti ve doğruluğu daha da artırılabilir. Bu tür iyileştirmeler, sıcak haddehane proseslerinde daha yüksek verimlilik ve kalite elde edilmesini sağlayacaktır. Bu çalışma, demir çelik endüstrisinde sıcak haddehane proseslerinde görüntü işleme tekniklerinin kullanımının yaygınlaşmasına katkı sağlayabilir ve bu alanda yapılacak gelecekteki araştırmalara ışık tutabilir.

Referanslar

1. Biondi M, Saliba S, Harjunkoski I (2011) Production Optimization and Scheduling in a Steel Plant: Hot Rolling Mill. IFAC Proc Vol 18.: <https://doi.org/10.3182/20110828-6-IT-1002.01157>
2. Saito Y, Utsunomiya H, Kaneko S, et al (2002) Novel Method to Spread the Width of Strip. Isij Int - ISIJ INT 42:1000–1004. <https://doi.org/10.2355/isijinternational.42.1000>
3. Idzik C, Krämer A, Hirt G, Lohmar J (2024) Coupling of an analytical rolling model and reinforcement learning to design pass schedules: towards properties controlled hot rolling. J Intell

Manuf 35:1469–1490.
<https://doi.org/10.1007/s10845-023-02115-2>

4. Ray S (2016) Principles and Applications of Metal Rolling
5. STRATINSKIY N, LAPTEV A, PETRACHI C, et al (2022)
6. LAPTEV A, PETRACHI C, MINARČÍK J, et al (2021) Heavy rolling mill automation proposal with utilization of digital image processing

Enhancing Quality Control for Long Products With Robotics and Computer Vision

Ion RUSU
Polytec
Italy

Keywords: cooling bed, sample cutting, robotics, artificial vision, rolling mill, quality control

Abstract

Steel production requires continuous quality monitoring throughout the process. Historically, the steel industry has lagged in adopting certain technological advancements due to its harsh production environment, resulting in lower efficiency and higher risks for workers who even nowadays perform many operations manually. This study shows the latest developments in the long products quality control, with the implementation of a patent pending automated system for some operations, which currently exposes operators to significant danger, like cutting and removing material samples from rods and long products on the cooling bed or measuring laminated surface quality in the rolling mill. By automating this task, we aim to enhance production efficiency and improve worker safety.

1. Introduction

As material moves along the cooling bed immediately following the rolling process, it is essential to take product samples for qualitative and dimensional inspections. The traditional method requires halting the process mechanisms such as transition chains, rollers, or the cooling bed while a human operator enters the hazardous area to manually cut and retrieve the steel sample from the desired product. This approach presents significant drawbacks, impacting both safety and production efficiency.

The process is inherently risky for operators, exposing them to dangerous conditions near hot and moving materials. Furthermore, the criticality of the operation often results in extended downtime, as the line must remain stopped until all sampling activities are completed. Another recurring issue relates to the quality of the sample

extracted. The difficulty of accessing the material frequently leads to imprecise cuts, necessitating additional processing once the sample reaches the testing area, further delaying quality control workflows. Integrating an automated cutting-edge sampling system can address these challenges. The robot not only eliminates the need for human intervention in dangerous zones but also ensures consistent, high-quality sample cuts, reducing rework and minimizing process interruptions. This advancement represents a significant step toward safer and more efficient steel production practices.



Figure 1: Manual handling of steel bars on cooling bed

Even in optimal conditions, when proper safety logic is integrated into automation, the area is still considered critical due to the hot material and other residual risks that remain. A robotic integration allows for this operation to be carried out without production stops, while no human

has to enter the cooling bed area. The sample can be cut and removed by the robot that would dispose of it in a proper area where the operator can pick it up safely.

1.1 Project goal

In order to eliminate the above drawbacks, the current project aims at realizing a fully automated system for complete cutting/sampling of steel samples from bars positioned on a cooling bed. Such a system would allow for an automatic operation that removes the necessity of an operator accessing a dangerous area while at the same time greatly improving production efficiency by reducing process stops.

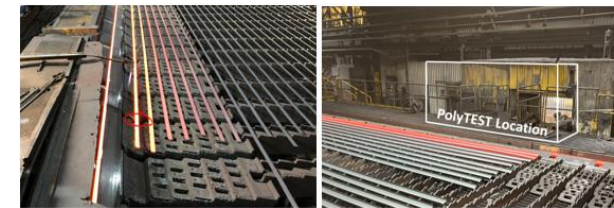


Figure 2: PolyTEST location

2. System description

2.1 Robot

The main component of the system is the 6-axis industrial robot, which allows handling procedures to be done in any layout configuration thanks to its flexibility in terms of reachability. The example in the following figure shows a typical example of an application in its simplest form, where a robot (for this example, an ABB 6700 – 3.05 175kg model) is fixed in the operating position next to the cooling bed. The degrees of freedom of the robot allow it to cover a length of about 150-200cm along the cooling plate.

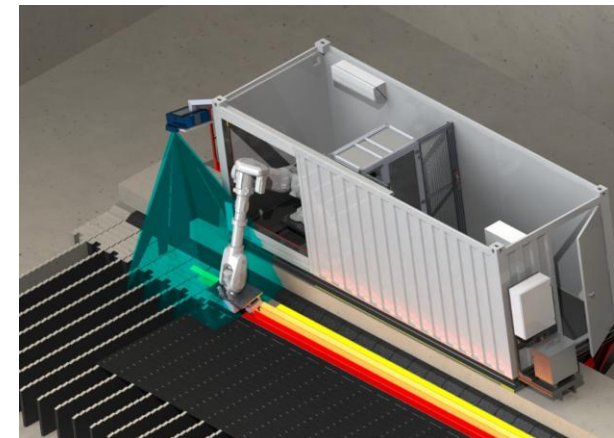


Figure 3: Render example with an integrated container housing

2.2 Vision system

The third key component of the device is the artificial vision system. The arrival position of the material to be cut can be identified using 2D/3D scanning systems. The artificial vision system can be physically static and independent from the robot movements or mounted directly on the robot tool.

In either case, the camera is calibrated with both the type of material to be identified as well as with the robot itself. After the image acquisition, the algorithm determines the best position and communicates it to the robot that executes the movement.

The specific type of 3D scanner and/or 2D camera depends on the material to be detected and the required performance.

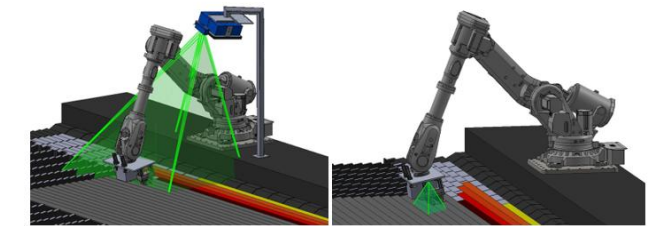


Figure 4: Vision system comparison between fixed and tool mounted

2.3 Additional axis and AMR integration

The evolution of the system would be the integration of a smaller-size robot on an automatically guided vehicle. This approach would not only enhance flexibility but also significantly improve the precision of sample collection and transport. By eliminating the constraints of a fixed external rail or axis system, the positioning of the robot can be even further enhanced, allowing it to access multiple points across the production area with greater ease and efficiency. Additionally, this mobile system could be programmed to follow optimized routes, reducing downtime and increasing productivity.



Figure 5: AMR with robot integration

Another key advantage of this advancement would be the automatic disposal of the sample. Instead of requiring human intervention, the robot would autonomously deliver the collected samples to the designated test facility, ensuring a seamless and efficient transfer process. This automation completely removes the need for an operator to access the production floor, significantly improving workplace safety and minimizing contamination risks. Furthermore, integrating real-time monitoring and data transmission capabilities into the system would allow for immediate quality assessment and process optimization, enhancing overall operational efficiency.

3. Case studies

After the initial concepts, Polytec designed and successfully commissioned three variations of the automatic sampling robot.

The working principle is the one described previously. In all systems, the main tasks are the following:

1. Bar recognition with vision system and lance preparation
2. Cutting of a complete section
3. Bar transportation on a sampling table
4. Sample cut and bar disposal

The following is an example of the cutting steps on a system in the test phase.

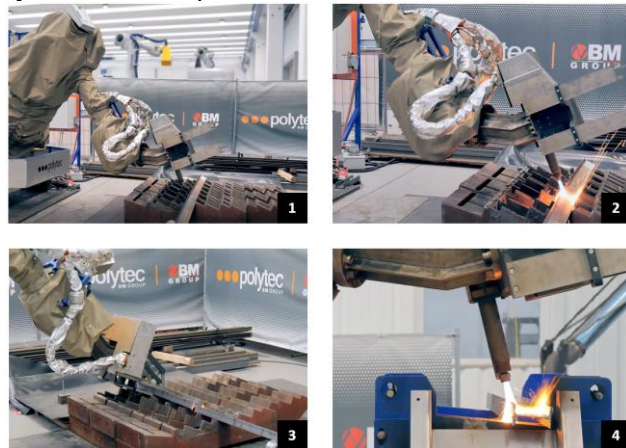


Figure 6: Sampling steps of a test unit

The cycle time varies depending on the profiles shape and size. An average sampling time is around 20seconds, with no production or cooling bed interruption. Thanks to its flexibility, the robot can be further equipped with motion tracking, to perform the cutting and the pickup from the bed while it's doing the movement sequence.

The system below is equipped with an external axis to allow movement of several meters alongside the cooling bed.



Figure 7: Sampling process in a steel plant

3.1 System supervision and Industry 4.0 integration

Given the high technology level of the devices used for the system, it is possible to integrate advanced communication nodes that connect with both plant-level 1 for coordinating the robotic arm with the cooling bed automation, as well as higher levels for seamless production interfacing. This interconnected structure ensures precise synchronization between different automation components, enhancing efficiency and reducing operational bottlenecks. Additionally, these communication nodes can be designed to support adaptive responses, allowing the system to automatically adjust based on production demands and real-time feedback.

The control of the robotic cell is managed through a custom HMI (Human-Machine Interface) page, which provides an intuitive and user-friendly interface for operators. This page can be strategically positioned either next to the action zone for direct intervention or inside the control room of the cooling bed for centralized supervision. Furthermore, an auxiliary page is specifically dedicated to the cutting system, allowing operators to oversee and fine-tune the cutting process without disrupting the main interface. This level of control ensures greater precision, operational efficiency, and ease of use.

In addition to these features, the system is equipped with a connection to IoT (Internet of Things) services, enabling real-time monitoring of the machine's performance, diagnostics, and predictive maintenance. This connectivity allows for continuous data collection and analysis, providing insights into efficiency trends, potential failures, and overall impact on the production

cycle. By integrating these digital solutions, manufacturers can optimize workflows, minimize downtime, and improve overall production reliability.

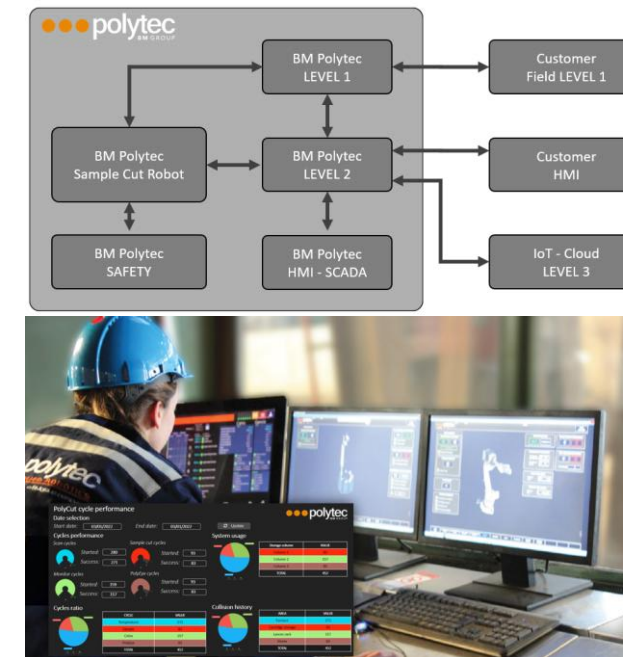


Figure 7: Network integration and system supervision

4. Conclusion

This last addition is proof of the advantages that robotic arms can introduce even in areas where automation was not considered up until today. The integration of the latest technologies in robotics, vision system, and artificial intelligence helps design new systems, further enhancing operator safety and productivity improvement in the harshest areas of the steel production process.



REHEATING TECHNOLOGIES

Tavlama Teknolojileri

ROLLING STEEL WITH TECHNOLOGY AND FUTURE ON TRUST
ÇELİĞİ TEKNOLOJİYLE, GELECEĞİ GÜVENLE ŞEKİLLENDİRİYORUZ

www.isrs-mtm.com | isrs@isrs-mtm.com | isrs.mtm | isrs_mtm | isrs_mtm | isrs-mtm

Fuel Flexibility for High-Performance and Low NOx Emissions Burners for Steel Reheating Furnaces

Marco RIZZI¹, Umberto ZANUSSO¹, Irene LUZZO²,
Tommaso BORTOLUSSI¹, Andrea TUROLO¹, Jimmy FABRO¹

¹SMS Group, ²RINA Consulting CSM

Italy

Keywords: Steel, Reheating, Furnace, Burner, NOx, Regenerative, Flat-flame

Abstract

Research and Development at SMS group focuses significantly on the development of high-performance combustion solutions for Steel Reheating Furnaces. The main targets of the studies and experimental campaigns regards the fuel flexibility (e.g. hydrogen, lean gases usage), the energy efficiency's maximization by optimizing the heat recovery and the heat transfer in the furnace chamber, and the commitment to the near-net-zero pollutant emissions of the furnace. This work covers the key outcomes of the latest R&D campaign about the CFD simulations, development and testing of the SMS ZEROFlame REGEN HY2, lateral burner enabled with the regenerative technology for heat recovery, and the SMS RADFlame HY2, flat-flame roof burner.

SMS ZEROFlame REGEN HY2

The SMS ZEROFlame REGEN HY2 represents a unique combustion solution, able to optimally combine the SMS ZEROFlame technology (consisting of three working mode: FLAME, FLAMELESS and BOOSTER for extra heating power required from the reheating furnace), with the possibility of optimally work with different fuels (natural gas-hydrogen blends up to 100%vol. H₂ content, COG), and the regenerative technology for maximizing the heat recovery from the flue gases (consumption reduction for combustion air preheating, of approximately 15% compared to the recuperator solution). CFD simulations were performed to optimize the burner design, especially for granting an efficient combustion with different fuel compositions, overcoming the constraints dictated by the chemical reactivity of hydrogen and the other components of the blends. The SMS ZEROFlame REGEN HY2 in its 1.5 MW and 2.5 MW configurations was tested at RINA-CSM Combustion Lab in Dalmine, Italy: the testing factors'

influence (fuel composition, working mode, turn-down, flue gas recirculation ratio and furnace temperature) exhibited variable relevance of the burner performance. The flame temperature pattern and development, the heat recovery and pollutant emissions were investigated, with NOx results below 75 mg/Nm³ at 3%vol. O₂ @DFG (*) with all the fuel blends tested. In particular, NOx results of 40 mg/Nm³ at 3%vol. O₂ @DFG (*) were measured at full hydrogen as a fuel.

SMS RADFlame HY2

In order to comply with the current and prospective more stringent NOx and carbon oxides emission limits for reheating furnaces, many existing plants need to be revamped. The SMS RADFlame HY2 has been developed and optimized to grant a high-performance plug-and-play hydrogen-ready flat-flame combustion solution, especially for revamping projects with the minimum modifications required for the furnace chamber itself, and the automation and combustion systems for existing furnaces. CFD simulations allowed to develop an optimized design of the burner, for producing an anchored flat flame ideal for roof installation, and reducing the consumption related to the gases supply. The experimental campaign at RINA-CSM Combustion Lab proved the SMS RADFlame HY2 to be able to obtain NOx emissions between 90 and 120 mg/Nm³ at 3%vol. O₂ @DFG (**) when working with a natural gas-hydrogen fuel blend with up to 75%vol. H₂ content.

(*) flameless mode, O₂ excess at DFG= 1%vol.

(**) furnace temperature= 1150 °C, air preheating temperature= 450 °C, rating by fuel= 750 kW, O₂ excess at DFG= 1%vol.

1. Decarbonisation and Consumption reduction in Reheating Furnaces for Steel

Reducing the air pollution is one of the main targets of the EU Action Plan: “2050: a healthy planet for all”, adopted by the European Commission on May 2021. Steel industry is responsible for approximately 5% of global greenhouse gas (abbreviated as “GHG”) emissions.^[1, 2] Considering the rolling mill, reheating furnaces represent the main responsible for CO₂ (approximately 80%) and NOx emissions in air.^[3] Current European Best Available Techniques (abbreviated as “BAT”) for NOx and CO emissions related to reheating furnaces for hot rolling, are shown in Figure 1.^[4, 5] However, in the future local laws and guidelines could refer to lower limits, and also potential modifications and adaptations of EU BAT due to the progress of the “Action Plan” in the next years, could lead to reductions of the current limits to comply with more stringent requirements.

Parameter	Type of fuel	Specific process	Unit	BAT-AEL (Study average or average over the sampling period)	Indicative emission level (Daily average or average over the sampling period)
NO _x	100 % natural gas	Reheating	mg/ton ¹	New plants: 80–200 Existing plants: 100–350	No indicative level
		Intermedi- ate heating	mg/ton ¹	100–250	
		Post- heating	mg/ton ¹	100–200	
	Other fuels	Reheating, intermedi- ate heating, post- heating	mg/ton ¹	100–350 (*)	
CO	100 % natural gas	Reheating	mg/ton ¹	No BAT-AEL	10–50
		Intermedi- ate heating	mg/ton ¹		10–100
		Post- heating	mg/ton ¹		10–100
	Other fuels	Reheating, intermedi- ate heating, post- heating	mg/ton ¹		10–50

(*) The higher end of the BAT-AEL range may be higher and up to 350 mg/ton¹ when using a high share of coke oven gas or of CO-rich gas from blastfurnace production (> 50 % of energy input).

Figure 1: BAT-associated emission levels (BAT-AELs) for channelled NOx and CO emissions to air from feedstock heating in hot rolling. Reproduced from [5]

Combustion is the dominant method used for heating generation in reheating furnaces for steelmaking ^[6] and several options are available and continuously topic of research, to reduce their significant impact on emissions of the “steel production chain”: for example, optimization of the combustion process (e.g. development of air and/or fuel staging ^[7]), and digital control of the process. “Fuel shift“ is one of the most common and followed trends, consisting of using “by-product gases”, result of steel production (e.g. Coke Oven Gas, Blast Furnace Gas, Basic Oxygen Furnace gas), as fuels ^[8], or “green fuels” for combustion processes. Hydrogen usage represents the cutting-edge technology in this field: “green H₂” molecules can be obtained with electrolysis processes supplied with energy from renewable resources ^[9]. Some of hydrogen’s key physical and chemical properties are reported in Figure 2. Comparing it with other common

fuels, on the one hand the low minimum ignition energy and wide flammability limits range in air suggest hydrogen as a valid candidate for combustion processes. On the other hand, its significantly high laminar flame speed and maximum flame temperature in air values allow to identify the main challenges associated to its use, especially in case of low-NOx requirements for the process.

Property	Hydrogen	Gasoline	Ethanol	Methane	Propane	Acetylene
Molar mass (kg/kmol)	2.016	58.12	46.07	16.043	44.097	26.038
Density (kg/m ³)	0.09	740-800	0.79	0.65	2.51	1.09
Lower heating value (MJ/kg)	120.9	42.83	30	50	50.4	33.9
Upper heating value (MJ/kg)	141.86	49.06	36.5	55.5	58.5	39.5
Flammability limits in air (vol%)	4-75	1.4-7.6	3.6-19.5	5-15	2.1-9.5	2.5-80
Flammability limits in air (m ³ /m ³)	1.6-24	0.6-3.0	1.1-6.5	1.1-2.3	1.1-2.3	1.1-2.3
Detonation speed in air (m/s)	2035	21	36	36	46.5	7.3
Laminar flame speed in air (m/s)	275	0.25	0.24	0.29	-	8
Minimum ignition energy (mJ)	0.02	200-475	200	140	-	400
Ignition temperature (°C)	500	280	280	540	450	1000
Maximum flame temperature in air (°C)	2045	2107	2027	1927	1980	1980
Adiabatic flame temperature (°C)	2045	2107	2027	1927	1980	1980
Self-ignition A/F ratio (ratio)	34.4	14.5	14.5	17.2	-	6.05
Explosion limit (L/L)	450	200-400	275	100	628	23.37
Quenching distance (mm)	0.68	2	-	2.5	-	7
Research octane number	130	90-98	-	-	-	130

Figure 2: Hydrogen and other gases’ chemical and physical properties at room temperature and 1 bar. Reproduced from [10]

One concurrent pathway for reducing the reheating furnace’s impact on the rolling mill, consists of preheating the combustion air used in burners for reducing the fuel consumption, to increase the heat transferred to the stock and enhance the combustion chemical chain.^[11] One of the possible methods to fulfil this task is the regenerative technology, consisting of recovering the sensible heat of the flue gases (produced by the combustion process and usually discharged at the stack of the furnace itself), by a heat exchanger embedded in the burner proper. Burners enabled with the regenerative technology are commonly equipped with a section containing small ceramic parts, like spheres, or honeycomb, that act as a heat storage media. The burners are installed in pairs on the opposite walls of the furnace, and work alternatively according to the scheme shown in Figure 3: one of the burners works in “combustion” mode with the combustion cold air flowing through the regenerative section previously heated by the exhaust flue gases, for preheating; at the same time, the other burner works in “suction” mode, forcing the flue gases produced by the combustion, to flow through its regenerative section. Due to the flue gases at high temperature and the high thermal capacity of the bodies contained in the regenerative section, these last mentioned are subjected to a temperature increase during the “suction” phase, which is maintained for a sufficiently long time. After a variable time interval, typically in the 20-120 seconds range (i.e. the inversion time, which depends on the regenerative media) the working mode is inverted for the burner couple. Comparing the regenerative solution with the recuperative technology (i.e. preheating method based on a centralized continuous heat exchanger, where air and discharged flue gases counter-flow), the first mentioned is more efficient and can be used for obtaining higher combustion air temperatures, providing an overall higher furnace thermal efficiency.

As a result, the regenerative solution allows to obtain a reduction of the fuel consumption, typically higher than the one obtained with a traditional recuperator solution.

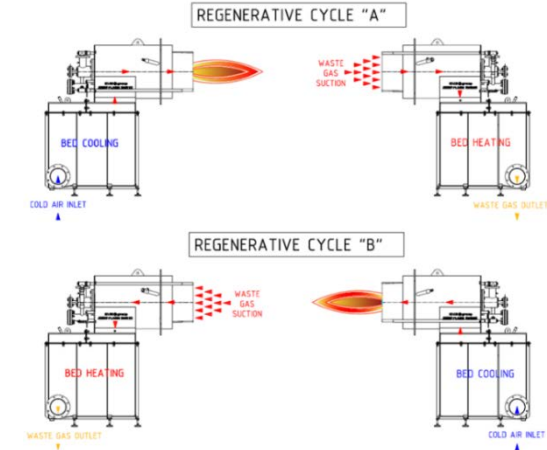


Figure 3: SMS ZEROFlame REGEN HY2 burner working cycle: (a) left burner working in “suction” mode, right in “combustion” mode; (b) opposite situation of (a).

1. SMS ZEROFlame REGEN HY2

The SMS ZEROFlame REGEN HY2 (shown in Figure 4) is a regenerative diffusive-flame lateral burner, able to work with several fuels: natural gas, Coke Oven Gas (abbreviated as “COG” in the following paragraphs, with the following average composition: hydrogen H₂ (55.80 %vol.), carbon monoxide CO (6.04 %vol.), carbon dioxide CO₂ (2.53 %vol.), methane CH₄ (28.64 %vol.), nitrogen N₂ (balance)), and natural gas-H₂ blends with up to 100%vol. H₂. The SMS ZEROFlame technology is fully combined with the REGEN solution in this burner: two integrated burners, an inner one able to produce a stable, anchored and short flame, and the outer one, that realizes a diluted flame, compose the burner. This staging solution, together with the high degree of combustion air preheating, allows the SMS ZEROFlame REGEN HY2 to be a flexible solution for low NOx combustion in all the operational mode required for the specific reheating furnace’s productivity and requirements.

The operational modes of the burner are the “FLAME” (stable and anchored flame, attached to the burner), the “FLAMELESS” (strongly diluted combustion, which develops in the whole furnace chamber) and the “BOOSTER” (possibility to provide a heating power up to +30-50% higher than the nominal one, thanks to the simultaneous multiple combustion air and fuel supply). Depending on the specific power request, the rating by fuel of the burner can also be turned down (up to about 50% of the nominal power), without causing significant variations of the performance.

About the regenerative section, it is characterized by a packed-bed of ceramic aluminium oxide (“corundum”) spheres (the loaded amount depends on the nominal power of the burner).



Figure 4: SMS ZEROFlame REGEN HY2

2.1 Results and discussion of the experimental campaign

The SMS ZEROFlame REGEN HY2 was developed with an initial optimization of the burner design at the CAD stage, by using the commercial software ANSYS® Fluent® for studying the performance with Computational Fluid-Dynamics (CFD) simulations. The optimized prototypes (1 MW, 1.5 MW and 2.5 MW burners) were manufactured and tested at the RINA-CSM Combustion Laboratory facilities in Dalmine, Italy.

The CAD flameless configuration of the burner is shown in Figure 5: two regenerative burners (one operating in “combustion” mode and the other in “suction” mode) are assembled on the opposite walls of a furnace chamber. The dimensions of this last mentioned (2000 mm x 2000 mm x 6000 mm, in agreement with the real dimensions used for the modular testing furnace box of RINA-CSM). The burner operating in “combustion” mode involves a preheated air supply through the central diffuser, and the fuel supply provided with lateral lances; the other burner sucks the exhausted flue gases from the furnace chamber, through the central diffuser (the same component used in “combustion” mode for supplying air).

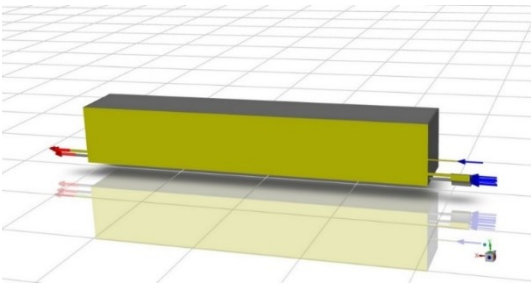


Figure 5: CAD configuration used for the SMS ZEROFlame REGEN HY2 CFD flameless simulation

The models used¹ for the CFD simulations setup in ANSYS® Fluent® can be summarized as below:

- radiation model: discrete ordinates (DO);
- viscous model: k- ω , with SST and compressibility effects enabled;
- species model: species transport;
- mixture properties: kee-58;^[12]
- turbulence-chemistry interaction: Eddy Dissipation Concept;
- absorption coefficient calculation model: WSSGM domain based;
- nitrogen oxide calculation: Fluent post-processing, using the thermal, prompt, “Via N₂O”, reburning mechanisms (selected depending on the specific fuel used for the simulation).

The temperature distributions computed with ANSYS® Fluent® are shown in Figure 6. Any significant peak temperature can be observed in the contour plots. Also, with changing the fuel composition, the computed maximum temperature values increase only up to +90 °C, with the highest level reached with the full-hydrogen combustion. The results are in agreement with the different chemical reactivity of the fuels.

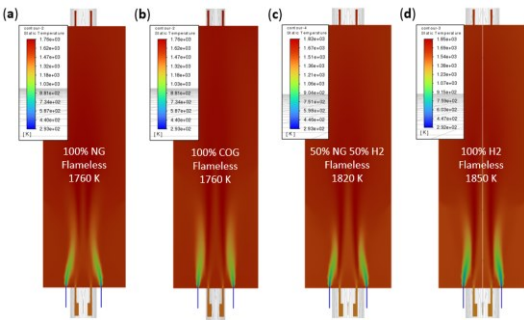


Figure 6: CFD simulated temperature distribution in the furnace chamber on the symmetry plane, of SMS ZEROFlame REGEN HY2 (1.5 MW) in flameless mode, with (a) NG, (b) COG, (c) 50 %vol. NG-50 %vol. H₂, (d) H₂ used as fuels

¹ Specific details for the abovementioned models can be found in the ANSYS® Fluent® User Guide ([Ansys Product Help](#))

The computed OH- radicals distributions are shown in Figure 7. The flame extension (approximately equal to the furnace length, 6 m) is not influenced by the fuel’s chemical composition, and the dilution is coherent with the expected values for flameless combustion in reheating applications.^[13]

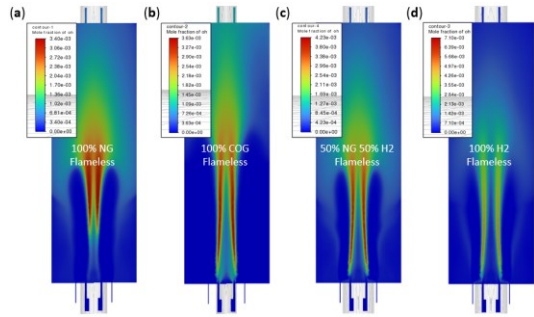


Figure 7: CFD simulated OH- radicals distribution in the furnace chamber on the symmetry plane, of SMS ZEROFlame REGEN HY2 (1.5 MW) in flameless mode, with (a) NG, (b) COG, (c) 50 %vol. NG-50 %vol. H₂, (d) H₂ used as fuels

The NO_x concentration measured at the head of the burner working in “suction mode” are reported in Table 1. The partial or full introduction of hydrogen in the fuel blend, lead to a significant NO_x production’s increase, higher than the expected values for flameless combustion.^[14] These results can be explained with the kinetic scheme’s suitability to hydrocarbon fuels, rather than to hydrogen combustion.^[12]

Table 1: NO_x emissions computed at the head of the SMS ZEROFlame HY2 1.5 MW burner working in suction mode, with different fuels

	Fuel			
	NG	COG	50%vol. NG - 50%vol. H ₂	H ₂
NO _x [mg/Nm ³ @3%vol. O ₂ DFG]	86	70	106	698

The SMS ZEROFlame REGEN HY2 burner prototypes were tested at the RINA-CSM Combustion Station in Dalmine, Italy. The experimental test rig is shown in Figure 8. For each experimental campaign (1 MW, 1.5 MW and 2.5 MW prototypes) two identical burners were installed at the opposite sides of the furnace chamber, alternatively working in “combustion” and “suction” mode. The 1.5 MW and 2.5 MW burners were tested with NG and COG as fuels, while NG-H₂ mixtures (with up to 100%vol. H₂) were used for the 1 MW burner.



Figure 8: SMS ZEROFlame REGEN HY2 installed at the RINA-CSM testing furnace in Dalmine, Italy

The furnace chamber continuous video monitoring allowed collecting evidence mainly depending on the fuel used, as shown in Figure 9. In case of NG use as a fuel, the flame appeared stable inside the quarl (granting a constant and high current measurement of the UV sensor used for flame detection in flameless mode) and with various degrees of instability in the chamber in flame mode. The main difference between the observations collected with the 1.5 MW and 2.5 MW burners with NG, is the invisibility of the flame with decreasing the nominal heating power (in agreement with the observations on the 1 MW burner). Regarding COG, the flame appeared to be invisible and stable in all the tested conditions. The observed instabilities are partially related to the dimensions of the furnace chamber, limiting the flame development and leading to the creation of combustion air and fuels localized zones, igniting randomly detached from the burner.

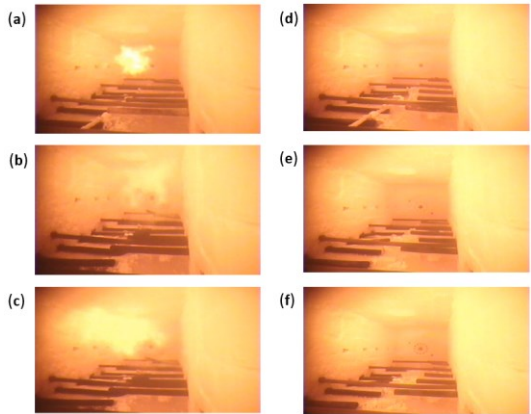


Figure 9: Flame development in the furnace chamber in different conditions of the SMS ZEROFlame REGEN HY2 2.5 MW (NG: a. flame, b. flameless, c. booster; COG: d. flame, e. flameless, f. booster)

The regenerator efficiency (i.e. the efficiency in converting the available sensible heat of the sucked flue gases, in the preheated combustion air enthalpy) exhibited minimum correlation with the fuel used and

the combustion mode. By maintaining the exhaust gases recirculation ratio between 80% and 85%, an average regenerator efficiency of 85% can be obtained. An example for the 2.5 MW burner operating at a furnace temperature of 1250 °C, is shown in Figure 10: in this case, the combustion air can be preheated at 1150 °C (100 °C of difference compared to the furnace temperature), and exhaust gases are discharged at 90 °C. Particular attention was paid to optimize the trade-off between maximizing the heat recovery from the flue gases, and granting their discharging temperature to be sufficiently high to prevent the condensation of potentially harmful substances in the regenerative section. This could be done by regulating the recirculation ratio.

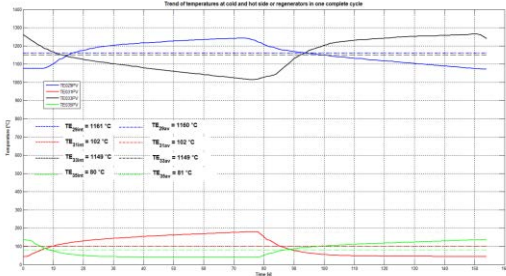


Figure 10: Temperature profiles at hot (collected with two thermocouples, displayed in blue and black lines) and cold side (collected with two thermocouples, displayed in green and red lines) of the regenerators, at 85% recirculation ratio and furnace temperature of 1250 °C (SMS ZEROFlame REGEN HY2, 2.5 MW)

The temperature patterns measured with the 2.5 MW SMS ZEROFlame REGEN HY2 burner operating at furnace temperature of 1250 °C in flameless mode, at different rating-recirculation ratio combinations, are reported in Figure 11. The recirculation ratio’s influence on the measurements is limited both with NG and COG, while different rating levels lead to different temperature distributions in the chamber. The combustion mode’s influence on the temperature pattern was inspected as well: in particular, the “booster” mode appeared to cause a “flame-shortening” both with NG and COG. This condition is particularly useful to prevent “flame-impingement” phenomena on the stock to be reheated. Also, the temperature peaks tend to be farther from the burner, comparing COG with NG. The introduction of hydrogen in the NG-H₂ fuel blend (1 MW burner) allowed to improve the temperature and heat exchange homogeneity in the furnace chamber, accomplished with all the range of the chemical compositions inspected.

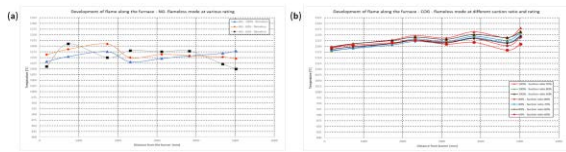


Figure 11: Temperature profiles along the furnace chamber length, of the SMS ZEROFlame REGEN HY2 2.5 MW (furnace temperature: 1250 °C, 1% O₂ at DFG) in flameless mode with (a) NG at different ratings and (b) COG at different rating and suction ratio

NOx emissions are reported in Figure 12 for the SMS ZEROFlame REGEN HY2 2.5 MW burner at furnace temperature of 1250 °C, 1% O₂ at DFG, flameless mode. The measured values are below 75 mg/Nm³ ² for NG (60, for COG), below 190 mg/Nm³ ² for NG and 145 mg/Nm³ for COG in “flame mode”, and 130 mg/Nm³ ² for both the fuels operating in “booster” mode. The results exhibited minimum correlation with the air preheating temperature (which strictly depends on the regeneration efficiency of the burner).

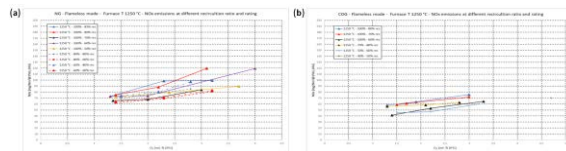


Figure 12: NOx emissions of the SMS ZEROFlame REGEN HY2 2.5 MW (flameless mode, furnace temperature: 1250 °C) with (a) NG at and (b) COG, at different rating, suction ratio at O₂ at DFG

NOx emission trends of the SMS ZEROFlame REGEN HY2 1 MW working with various NG-H₂ content, are shown in Figure 13. In “flame” mode hydrogen addition in the fuel mixture leads to a non-monotonic trend with values below 170 mg/Nm³ ², with a minimum at about 15%vol. H₂ added. Results in flameless mode exhibited a decrease with increasing the hydrogen content, suggesting a strong interaction between the NG and H₂ roles in NOx formation. The values are the result of a trade-off between the high hydrogen reactivity and the optimized gas jets mixing in flameless mode. Air preheating (related to recirculation ratio) and burner rating exhibited minimum influence on NOx emissions in all the combustion modes.

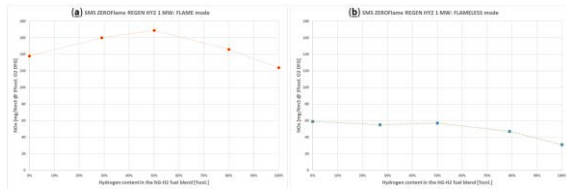


Figure 13: NOx emissions of the SMS ZEROFlame REGEN HY2 1 MW (full rating, furnace temperature: 1250 °C, 1% O₂ at DFG, 85% recirculation ratio), operating with NG-H₂ fuel blend (with different hydrogen content, up to 100%vol.) in (a) flame and (b) flameless mode

2. SMS RADFlame HY2

The SMS RADFlame HY2 burner (shown in Figure 14) is a roof burner for reheating furnaces, able to work with a NG-H₂ fuel blend up to 75%vol. H₂. Its optimized gas swirling design allows to produce a flat flame in the chamber, with a uniform heat release, providing a valuable solution for furnace zones with reduced distance between the roof and the stock to be reheated. Due to the existing and upcoming stringent NOx and carbon emissions limits, a significant number of existing furnaces equipped with roof burners will need to be revamped. Research and Developments in SMS group focused on adapting the existing SMS RADFlame burner, by taking into consideration and complying with multiple industry needs:

- providing a flexible solution, able to work with a wide range of fuel compositions, particularly interesting considering the variability of hydrogen availability of the customers;
- reducing the NOx and carbon emissions associated with the burner working;
- in case of no change of the furnace productivity and/or fuel compositions, the novel SMS RADFlame HY2 burner can be installed in existing furnaces without the need of modifying the roof, the combustion or the automation system. These changes would represent “substantial changes” of the plant, with the necessity of issuing a new CE certification of the furnace itself, therefore additional costs to be added for the revamping projects.



Figure 14: SMS RADFlame HY2 burner

3.1 Results and discussion of the experimental campaign

To optimize the burner geometry and enable the hydrogen usage in the fuel, a preliminary CFD activity was performed by means ANSYS® Fluent®. Once found an optimal configuration, the burner was tested in the modular furnace of the RINA-CSM Experimental Station for Combustion Studies in Dalmine. The simulation was performed on the test configuration, in which the furnace chamber has a 2 m x 2 m section and length 6 m, as visible in Figure 15. Simulation results show that the introduction of hydrogen in fuel causes an anticipation of the combustion process respect to natural gas, with a consequent flame temperature increase, justified by the reduction of the flame volume. These outcomes are represented in Figure 16 and Figure 17.

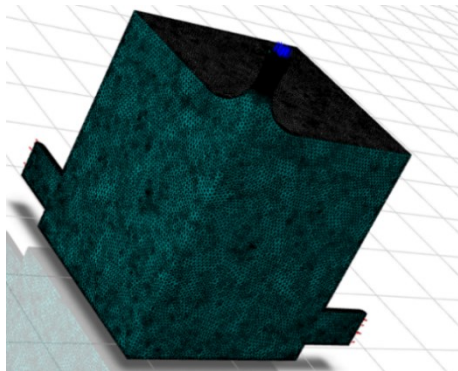


Figure 15: SMS RADFlame HY2 CFD mesh

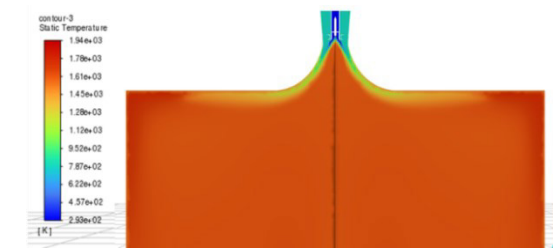


Figure 16: CFD simulated temperature distribution in the furnace chamber on the symmetry planes, of SMS RADFlame HY2 in flame mode with NG as fuel

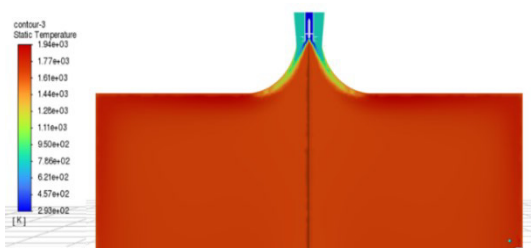


Figure 17: CFD simulated temperature distribution in the furnace chamber on the symmetry planes, of SMS RADFlame HY2 in flame mode with 50%vol. NG-50%vol. H₂ as fuel

This result is expected: in fact the high reactivity of the hydrogen combines with the high stability of the flat flame produced by burner, enhancing reaction kinetics. This can represent a negative effect for NOx emissions, especially for thermal mechanism that strongly depends on flame temperature. CFD calculates an NOx increase of approx. 10 times with NG/H₂ blend (50%vol.-50%vol.) compared to full NG. Experimental tests allowed to measure the NOx emissions shown in Figure 18. The introduction of hydrogen in the fuel causes an increase of emissions of about 30 mg/Nm³ ² comparing 100% NG to 30%vol. NG – 70%vol. H₂. With a furnace temperature of 1150 °C, and air preheating temperature 450 °C, the emissions ranged between 90 and 121 mg/Nm³ ².

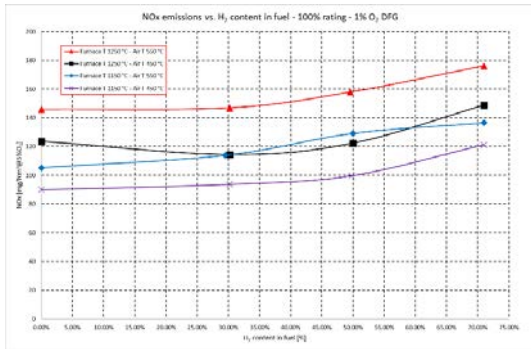


Figure 18: NOx emissions of the SMS RADFlame HY2 2.5 MW (flame mode, furnace temperature: 1150 °C, air preheating temperature: 450 °C) with different hydrogen content in the NG-H₂ fuel blend

These results are obtained by delaying the mixing of fuel and combustion air with a special geometry of the fuel lance. The delay causes a micro-instability of the flame that does not affect the ignition or the flame detection but generates a continuous oscillation if the ignition point that helps for preventing a complete structured high temperature flame. The flames produced by burner are visible in Figure 19: when hydrogen concentration in the fuel overcomes 30%vol., some dark strips appears on the ceramic diffuser. The origin of these lines is still unknown but no effect has been detected on thermal release in

² Normalized at 3% O₂ at DFG, with 1% O₂ excess in the combustion air

combustion chamber and no damage occurred to the ceramic diffuser.

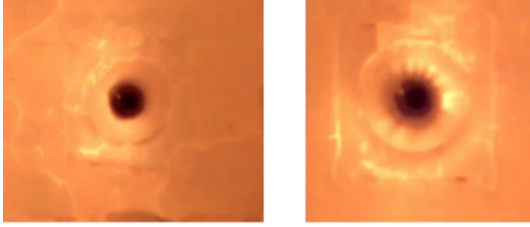


Figure 19: Video-monitoring of the flame appearance of the SMS RADFlame HY2 at full rating (flame mode, furnace temperature: 1150 °C, air preheating temperature: 450 °C): 100%vol. NG on the left; 30%vol. NG – 70%vol. H₂ on the right

4. Conclusions

The SMS ZEROFlame REGEN HY2 represents the most recent and advanced innovative solution for steel reheating with a lateral burner solution, able to grant a unique combination between the regenerative technology for maximizing the heat recovery and minimizing the fuel consumptions, the possibility to grant a wide operational efficiency thanks to the “flame”, “flameless” and “booster” modes, and the outstanding fuel flexibility. With a furnace temperature at 1250 °C the SMS-ZEROFlame REGEN HY2 can recover 80-85% of total waste gases enthalpy, thus reducing of approximately 20% the fuel consumption compared to a traditional preheating at 400°C. The same burner design guarantees good performances with extra low NO_x emissions and uniform flame pattern with COG at low pressure and with NG/H₂ blend. The high level of air preheating (1150 °C) does not affect the NO_x emissions and stabilizes the flameless.

The SMS RADFlame HY2 is developed with the aims of providing a low emission hydrogen-ready combustion solution, optimised especially for revamping projects of furnaces with minimum modifications of the chamber. Its reduced consumptions required for air supply, and minimised NO_x production over a wide range of hydrogen content in the fuel blend, provide full flexibility for reheating solutions.

References

1. Conejo, A. N., Birat, J., Dutta, A. (2019). A review of the current environmental challenges of the steel industry and its value chain. *Journal of Environmental Management*, 259, 109782.
2. IEA. (2020). *Iron and Steel Technology Roadmap*. International Energy Agency.

3. Khalid, Y., Wu, M., Silaen, A., Martinez, F., Okosun, T., Worl, B., Low, J., Johnson, K., White, D. (2021). Oxygen enrichment combustion to reduce fossil energy consumption and emissions in hot rolling steel production. *Journal of Cleaner Production*.

4. Aries, E., Gómez, B. J., Mavromattis, S., Klein, G., Chronopoulos, G., & Roudier, S. (2022). Best available techniques (BAT) reference document for the ferrous metals processing industry. JRC Publications Repository.

5. European Union (2022, October). COMMISSION IMPLEMENTING DECISION (EU) 2022/2110. Best available techniques (BAT) conclusions, under Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council on industrial emissions, for the ferrous metals processing industry. European Union.

6. Zhao, J., Ma, L., Zayed, M., Elsheikh, A., Li, W., Yan, Q., Wang, J. (2021). Industrial reheating furnaces: A review of energy efficiency assessments, waste heat recovery potentials, heating process characteristics and perspectives for steel industry. *Process Safety and Environmental Protection*, 1209-1128.

7. Wang, Q., Chen, Z., Wang, J., Zeng, L., Zhang, X., Li, X., Li, Z. (2018). Effects of secondary air distribution in primary combustion zone on combustion and NO_x emissions of a large-scale down-fired boiler with air staging. *Energy*, 399-410.

8. Caillat, S. (2017). Burners in the steel industry: utilization of by-product combustion gases in reheating furnaces and annealing lines. *Energy Procedia*, 20-27.

9. Kumar, S., Lim, H. (2022). An overview of water electrolysis technologies for green hydrogen production. *Energy Reports*, 13793-13813.

10. Habib, M., Abdulrahman, G., Alquaity, A., Qasem, N. (2024). Hydrogen combustion, production, and applications: A review. *Alexandria Engineering Journal*, 182-207.

11. Baukal, C. (2000). Introduction. In C. E. Baukal, *Heat Transfer in Industrial Combustion* (p. 1-28). Boca Raton: CRC Press LLC.

12. Bilger, R., Stårner, S., Kee, R. (1990). On reduced mechanisms for methane air combustion in nonpremixed flames. *Combustion and Flame*, 135-149.

13. Plessing, T., Peters, N., Wünnig, J. (1998). Laseroptical investigation of highly preheated combustion with strong exhaust gas recirculation. *Symposium (International) on Combustion*, 3197-3204.

14. Abuelnuor, A., Wahid, M., Mohammed, H., Saat, A. (2014). Flameless combustion role in the mitigation of NO_x emission: a review. *International Journal of Energy Research*.

Demir Çelik Sektöründe Self-Rekuperatif Brülörler ile Enerji Tasarrufu Energy Savings with Self-Recuperative Burners in the Iron and Steel Industry

Furkan OKAN, Mustafa ALTINTAŞ

Önder Mühendislik

Türkiye

Anahtar Kelimeler: Demir, Çelik, Yakıcı, Self-Rekuperatif, Enerji, Verimlilik

Abstract

In conventional combustion systems, exhaust gases are directly released into the atmosphere, whereas self-recuperative burners recover the heat from these gases to preheat the combustion air. This process reduces fuel consumption and significantly enhances combustion efficiency. These burners, primarily used in indirect heating applications such as radiant heating tubes, minimize heat losses by directing exhaust gases through integrated heat exchangers.

Self-recuperative burners improve energy efficiency by managing exhaust gases through specially designed ejectors, which extract 80–90% of the gases directly from the furnace chamber. Unlike traditional centralized recuperators, these burners eliminate the need for large hot air ducts, further reducing heat losses. By preheating combustion air, fuel savings of up to 33% have been achieved.

This study focuses on modernizing a continuous annealing furnace in the iron and steel industry to improve energy efficiency and production capacity. Before modernization, the existing system suffered from high exhaust and cooling losses, an inefficient control system, and a low overall heating efficiency of 15%. Heat recovery was optimized by replacing the centralized recuperator with self-recuperative burners, and production efficiency increased by over 70%. Additionally, improvements in insulation and furnace structure contributed to further efficiency gains. With a furnace temperature of 1000 °C, fuel savings of up to 33% were recorded, demonstrating the effectiveness of self-recuperative burner technology in industrial applications.

Özet

Geleneksel yakma sistemlerinde egzoz gazları doğrudan atmosfere salınırken, self-rekuperatif brülörler bu gazlardan geri kazanılan ısıyı kullanarak yanma havasını önceden ısıtır. Bu süreç, yakıt tüketimini azaltırken yanma verimini önemli ölçüde artırır. Özellikle radyant ısıtma tüpleri gibi dolaylı ısıtma uygulamalarında kullanılan bu brülörler, egzoz gazlarını entegre ısı değiştiriciler aracılığıyla yönlendirerek ısı kayıplarını minimize eder.

Self-rekuperatif brülörler, özel ejektörler yardımıyla egzoz gazlarının %80-90'ını doğrudan fırın içinden çekerek enerji verimliliğini artırır. Geleneksel merkezi rekuperatörlerden

farklı olarak, büyük hacimli sıcak hava kanallarına ihtiyaç duymazlar, böylece ısı kayıplarını azaltarak toplam verimi artırır. Yanma havasının ön ısıtılması sayesinde %33'e varan yakıt tasarrufu sağlanabilmektedir.

Bu çalışmada, demir-çelik sektöründe yaygın olarak kullanılan tav fırınının modernizasyonu ele alınmıştır. Modernizasyon öncesinde sistem, yüksek egzoz ve soğutma kayıpları, verimsiz kontrol mekanizmaları ve yalnızca %15'lik düşük genel ısıtma verimi gibi sorunlarla karşı karşıyaydı. Merkezi rekuperatör yerine self-rekuperatif brülörlerin kullanılmasıyla ısı geri kazanımı optimize edilmiş, üretim verimliliği %70'in üzerinde artırılmıştır. Ayrıca, yalıtım ve fırın yapısındaki iyileştirmelerle enerji kayıpları önemli ölçüde azaltılmıştır. 1000°C fırın sıcaklığında yapılan ölçümler, self-rekuperatif brülörlerin yakıt tüketimini %33'e kadar düşürebildiğini göstermiştir. Bu sonuçlar, endüstriyel uygulamalarda self-rekuperatif brülörlerin enerji verimliliği açısından büyük bir avantaj sağladığını ortaya koymaktadır.

1. Giriş

Sanayinin en yüksek enerji tüketimine sahip sektörlerinden biri olan demir-çelik endüstrisi, üretim süreçlerinde büyük miktarda yakıt kullanmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda gerçekleşen ısı işlemler, enerji verimliliğini artırmaya yönelik çözümleri zorunlu kılmaktadır. Bu noktada, self-rekuperatif brülörler, geleneksel yakma sistemlerine kıyasla önemli ölçüde yakıt tasarrufu ve verimlilik artışı sağlayarak öne çıkmaktadır.

Geleneksel yakma sistemlerinde egzoz gazları doğrudan atmosfere atılırken, self-rekuperatif brülörler bu gazların içerdiği ısıyı geri kazanarak yanma havasını önceden ısıtır. Böylece yakıt tüketimi azalırken yanma verimi ve prosesin genel enerji verimliliği artar. Özellikle yüksek sıcaklık fırınlarının modernizasyonu, enerji maliyetlerini düşürmek ve sürdürülebilir üretim hedeflerine ulaşmak için kritik bir adımdır.

Bu çalışmada, demir-çelik sektöründe yaygın olarak kullanılan tav fırınlarında self-rekuperatif brülörlerin uygulanması incelenecek, bu sistemin yakıt tasarrufu, egzoz gazı yönetimi ve üretim verimliliği üzerindeki etkileri detaylandırılacaktır. Ayrıca, geleneksel sistemlerle karşılaştırılmalı olarak self-rekuperatif brülörlerin sağladığı avantajlar ele alınarak, modernizasyon sonrası elde edilen verimlilik artışları değerlendirilecektir.

2. Demir Çelik Sektöründe Kullanılan Brülörler

Sanayide farklı brülör tipleri kullanılmaktadır. Demir-çelik sektöründe ise yüksek sıcaklıklara dayanıklı ve kesintisiz çalışabilen brülörler tercih edilmektedir.

Kullanılan brülörlerde enerji verimliliğini artırmak ve yakıt tüketimini optimize etmek hedeflenmektedir. Üretim koşulları ve proses gerekliliklerine bağlı olarak çeşitli brülör türleri tercih edilir. Yaygın olarak kullanılan brülörler ise şu şekildedir:

2.1. Soğuk Hava Yakıcıları

Soğuk hava yakıcıları brülörler, sanayide yaygın olarak kullanılan genel amaçlı yakıcılardır. Bu brülörler, gaz yakıtı soğuk hava ile karıştırarak yanmasını sağlayan bir sistemle çalışır. Farklı boyut ve kapasitelerde üretilen bu brülörler, demir-çelik üretim süreçlerinde sıkça tercih edilir. Basit bir yanma prensibiyle çalışan ve genellikle düşük maliyetli olan bu brülörler, kolay kullanım avantajı sunar. Ancak, enerji verimliliği açısından daha az etkili olup herhangi bir yakıt tasarrufu sağlamazlar. Bunun yanı sıra, sera gazı emisyonlarının daha yüksek olması çevresel etkilerini artırmaktadır.



Şekil 1. Standard soğuk hava yakıcısı.

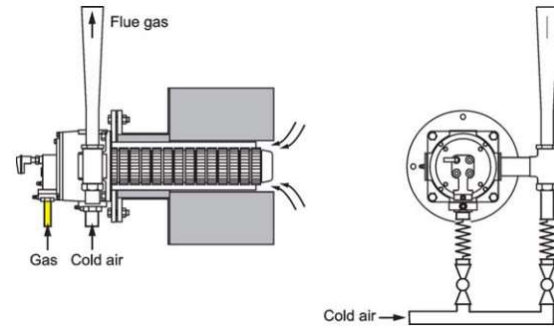
2.2. Self Reküperatif Brülörler

Rekuperatif brülörler, atık gazlardan ısı geri kazanımı sağlayarak yanma havasını önceden ısıtan özel tasarlanmış brülörlerdir. Bu özellikleri sayesinde brülörün genel verimliliği artırılır ve yakıt tüketimi azaltılır. Yanma sürecinde oluşan sıcak atık gazların bir bölümü, ısı eşanjörleri aracılığıyla yanma havasına aktarılır ve böylece yakıt tüketimi optimize edilir.

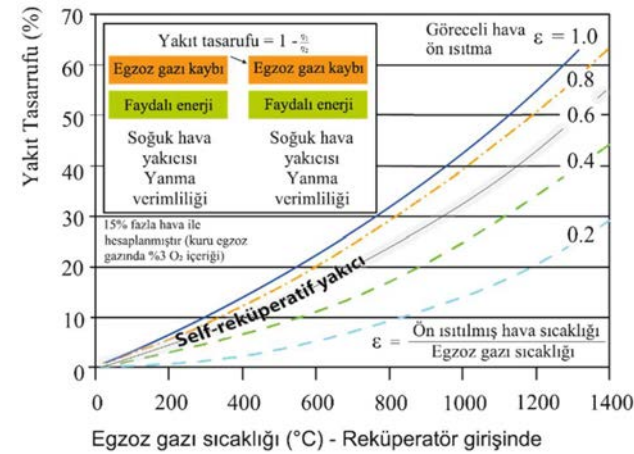
Bu sistem, atık gazların enerjisinden faydalanarak fırının daha verimli çalışmasını sağlar. Yapılan uygulamalar sonucunda yaklaşık %30 oranında yakıt tasarrufu elde edilebilmektedir. Rekuperatif brülörler, enerji tasarrufu sağlarken, verimliliği artıran sistemler arasında yer almaktadır.



Şekil 2. Self-rekuperatif yakıcı görseli.



Şekil 3. Self-rekuperatif yakıcı çalışma prensibi.



Şekil 4. Self-rekuperatif brülörler ile soğuk hava brülörlerine kıyasla yakıt tasarrufu

2.3. Merkezi Reküperatörlü Brülörler

Demir-çelik üretiminde kullanılan merkezi reküperatörler, fırınlardan çıkan sıcak gazların enerjisini geri kazanarak yanma sürecinde tekrar kullanmayı sağlayan sistemlerdir. Genellikle fırınlardan çıkan atık gazlar, kanal sistemiyle reküperatörlere yönlendirilir ve burada ısı transferi gerçekleştirilerek yanma havası önceden ısıtılır.

Bu sistemler, enerji kullanımını optimize eder ve %20'ye kadar yakıt tasarrufu sağlayabilir. Ayrıca, enerji geri kazanım oranı arttıkça işletme maliyetlerini düşürmeye yardımcı olur. Verimliliğin artırılması, sistemin daha ekonomik ve çevre dostu hale gelmesini sağlar.

2.4. Rejeneratif Brülörler

Rejeneratif brülörler, yüksek verimlilikleri nedeniyle demir-çelik sanayisinde kullanılmaktadır. Bu sistemde, yüksek sıcaklıktaki gazlardan maksimum düzeyde enerji geri kazanımı sağlanır. Yanma sırasında açığa çıkan ısının büyük bir kısmı, ısı tutucu malzemeler sayesinde depolanarak yanma havasına geri aktarılır.

Bu brülörler, gaz sıcaklığı arttıkça daha verimli çalışır. Yapılan araştırmalar, belirli sıcaklık aralıklarında %50'ye varan yakıt tasarrufu sağlanabileceğini göstermektedir. Ancak, rejeneratif brülörlerin kurulumu ve işletimi daha maliyetlidir ve sistemin düzenli bakım gereksinimi vardır.

Bu tür brülörler, özellikle enerji geri kazanımı ve düşük yakıt tüketimi gerektiren süreçlerde tercih edilir. Gaz sıcaklıklarının yüksek olduğu uygulamalarda daha etkili çalışarak yakıt tüketimini azaltır ve çevresel etkileri minimize eder.

3. Yüksek Sıcaklık Tav Fırınının Modernizasyonu

Bu çalışmada, demir-çelik sektöründe yaygın olarak kullanılan tav fırınının modernizasyonu hedeflenmiştir. Yenileme işlemi, enerji verimliliğini artırmak ve üretim kapasitesini yükseltmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Bu tür fırınlarda, çelik levhalar izole edilmiş, kızaklar üzerinden fırına yüklenir. Fırın, levhaların hem alt hem de üst kısmında bulunan yakıt bazlı brülörlerle donatılmış olup, bu brülörler merkezi bir reküperatör aracılığıyla sıcak hava ile beslenmektedir.

Eski Sistemle İlgili Verimlilik Sorunları

- Modernizasyon öncesinde mevcut sistemde bazı ciddi verimlilik sorunları yaşanmaktaydı:
- Yüksek egzoz gazı kayıpları,
- Arızalara yatkın bir kontrol sistemi,
- Yüksek ısı kayıpları nedeniyle toplam (genel) ısıtma veriminin sadece %15 olması,
- Merkezi reküperatörün, fırın sıcaklığı 880°C olmasına rağmen yalnızca 105°C hava ön ısıtması sağlaması.



Şekil 5. Self-rekuperatif yakma sistemli fırın görseli.

3.1. Eski Sistemdeki İlgili Verimlilik Sorunları

Modernizasyon öncesinde mevcut sistemde bazı ciddi verimlilik sorunları yaşanmaktaydı:

- Yüksek egzoz gazı kayıpları,
- Arızalara yatkın bir kontrol sistemi,
- Yüksek ısı kayıpları nedeniyle toplam (genel) ısıtma veriminin sadece %15 olması,
- Merkezi reküperatörün, fırın sıcaklığı 880°C olmasına rağmen yalnızca 105°C hava ön ısıtması sağlaması.

3.2. Modernizasyon Çalışmaları ve Kazanımlar

Modernizasyon sürecinde, merkezi reküperatör sistemi yerine self-rekuperatif brülörler kullanılarak ısı geri kazanımı optimize edilmiştir. Yeni sistem sayesinde, egzoz gazlarının daha verimli bir şekilde değerlendirilmesi sağlanmıştır. Bununla birlikte egzoz gazlarının merkezi olmayan bir noktadan tahliye edilmesi için yeni bir manifold fırına entegre edilmiştir. Bu manifold, egzoz gazlarını fırın içerisindeki mevcut egzoz sistemine yönlendirdiğinden ek bir yalıtıma gerek kalmamıştır. Brülörlerin modifikasyonuna ek olarak, fırın duvarındaki refrakter yapı güçlendirilmiştir. Modernizasyon sonrası fırının çalışması önemli ölçüde iyileşme göstermiştir.

4. Üretimde Verimlilik Artışı

Modernizasyonun en dikkat çekici sonuçlarından biri, üretkenliğin %70'ten fazla artış göstermesidir. Bu artışın temel sebebi, mamulün artık yalıtımı güçlendirilmiş kızak rayları üzerinde hareket etmesi nedeniyle ısı kaybının önemli ölçüde azalmasıdır.

Self-rekuperatif brülörler kullanıldığında, soğuk hava brülörlerine kıyasla 1000 °C fırın sıcaklığında %33'e varan yakıt tasarrufu sağlanabilmektedir. Bununla birlikte hava ön ısıtma oranı yaklaşık 0,6 olarak hesaplanmıştır. Fırın sıcaklığı arttıkça sağlanabilecek yakıt tasarrufu da artmaktadır.

Çizelge 1. Modernizasyon Öncesi ve Sonrası Önemli Fırın Verilerinin Karşılaştırması

Parametre	Önce	Sonra
Fırın sıcaklığı	880°C	880°C
Üretim Kapasiyesi	5.56 ton/saat	9.64 ton/saat
Doğalgaz tüketimi	351 m³/saat	304 m³/saat
Yakma Havaşı ön ısıtma sıcaklığı	110°C	420°C
Ateşleme verimliliği (*)	%60.6	%73.4
(*) Karşılaştırma için: Soğuk hava brülörlerinde ateşleme verimliliği = %57,3		
Parametre	Önce	Sonra
Kullanışlı ısı	%15.0	%45.0
Egzoz gazı kaybı	%39.4	%26.6
Duvar kayıpları	%11.0	%6.5
İtme mekanizması vb. kayıplar	%5.2	%2.8

5. Sonuç

Modern kendinden rejeneratif brülörler, geleneksel sistemlere kıyasla daha yüksek verimlilik, düşük yakıt tüketimi ve artırılmış operasyonel güvenlik sağlamaktadır.

Bu teknolojinin avantajları:

1. Egzoz gazı kayıpları azaldı, hava ön ısıtma sıcaklığı 420°C'ye çıktı.
2. Isıtma verimliliği %15’ten %45’e yükseldi (üç kat artış).
3. Doğalgaz tüketiminde %14 mutlak tasarruf sağlandı.
4. Özgül doğal gaz tüketimi yarıdan fazla düştü.
5. Teorik olarak ateşleme verimliliği %17,5 iyileşti.

Özellikle eski sistemleri kullanan endüstriyel fırınlarda, bu tür modernizasyon çalışmaları, enerji tasarrufu sağlamanın yanı sıra, çevresel sürdürülebilirlik açısından da büyük önem taşımaktadır.

Referanslar

[1] M. Rozpondek, M. Wnęk, The Application Aspects of Self-Recuperative and Self-Regenerative Burners in Thermal Devices, Polonya, 2013.

[2] Hallett, A G; Hay, A C; Sheridon, A T, Application of self-recuperative and regenerative burners in the steel industry, Mart 01, 1987, Birleşik Krallık.

[3] Thekdi, Arvind, Nimbalkar, Sachin U., Sundaramoorthy, Senthil, Armstrong, Kristina O., Taylor, Anthony, Gritton, Jack E., Wenning, Thomas, Cresko, Joe, Technology Assessment on Low-Temperature Waste Heat Recovery in Industry, 01 Eylül 2021, Amerika Birleşik Devletleri

[4] S. Tangjitsitharoen, S. Ratanakuakangwan, M. Khonmeak, N. Fuangworawong, Investigation of Regenerative and Recuperative Burners for Different Sizes of Reheating Furnaces, International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering Vol:7, No:10, 2013 Ocak 2007.

The Danieli-Patented, Scale-Free Reheating Furnace for Long Products

Davide SENESI
Danieli Centro Combustion
Italy

Introduction

The scale formation in reheating furnaces, depends on various factors as: permanence time, high temperature and oxygen content in the furnace chamber. As the permanence time and high temperature are parameters influenced by the process (steel grade, dimension etc.) the only way to reduce scale formation is through the reduction of the O2 content in high temperature zones, that is to say in those zones, where the scale formations happens.

Danieli Centro Combustion, the division of Danieli which deals in combustion technologies for industrial furnaces, is investing in innovative technologies and processes, such as so-called Scale-Free Furnaces that not only help improve yield on finish products, but also help reduce emissions and improve the thermal efficiency of industrial furnaces.

Discussion

Scale Free Furnace description

The Scale Free Furnace is a type of walking-beam furnace for billets, blooms, beam blanks and light slabs with the aim to halve the scale formation and to reduce both fuel and CO2 emissions. Here below measures are applied:

1. Physical separation of combustion zones;
2. Combustion in under-stoichiometric condition, in heating and soaking zones;
3. Post-combustion in preheating zone;
4. Danieli Centro Combustion burners properly designed to work in excess of gas;
5. Furnace material (refractories, riders, etc.) suitable to work in a gas excess;
6. To avoid entrance of false air in normal process conditions and exit of unburned gas during the transitory conditions, the furnace is completely sealed, inspection doors replaced by TVCC, hood corresponding to the discharging door;
7. Additional instrumentation to control better the combustion and avoid exit of unburned gas from the chimney

Technical approach

A Scale-Free Furnace is of paramount importance in the steel industry for several reasons:

1. Efficiency and product quality: Scale buildup on furnace surfaces can reduce heat-transfer efficiency, leading to higher energy consumption and decreased productivity. A Scale-Free Furnace ensures optimal heat transfer, allowing for efficient heating and improved product quality.
2. Operational reliability: Scale accumulation can cause damage to furnace components over time, leading to increased maintenance requirements and downtime. A Scale-Free Furnace minimizes the risk of equipment failure and ensures reliable operation, thereby enhancing production uptime and reducing maintenance costs.

3. Environmental impact: Scale formation in furnaces often requires aggressive descaling methods, which can result in increased water and chemical usage, as well as wastewater generation. A Scale-Free Furnace reduces the need for descaling operations, leading to lower resource consumption and reduced environmental impact.

4. Consistent performance: Scale buildup can disrupt temperature uniformity within the furnace, leading to variations in heating rates and product quality. A Scale-Free Furnace maintains consistent performance, ensuring uniform heating and consistent product properties, which is crucial for meeting customer specifications and regulatory requirements.

5. Cost savings: By eliminating the need for frequent descaling and maintenance activities, a Scale-Free Furnace can lead to significant cost savings for steel manufacturers. Additionally, improved energy efficiency and productivity can further enhance cost-effectiveness and competitiveness in the market.

Danieli Centro Combustion has established a working reference for this new generation of Scale-Free Furnaces, complete with the latest state-of-the-art technology and a few installations planned worldwide in next few years. The approach is suited for walking-beam furnaces that are capable of reheating round blooms/billets with a diameter ranging from 170 to 230 mm and square billets ranging from 150 to 250 mm, with a productivity of 80 – 220 tph. The furnace is typically equipped with several combustion-control zones, which include a single type of burner designed using Ultra Low-NOx technology with different heating capacities according to zone requirements.

The furnace is designed to minimize the oxidation phenomena, hence reducing OpEx through the combination of a perfect tightness furnace chamber and highly accurate combustion control in sub-stoichiometric condition.

Scale formation is affected not only by the duration steel spends at high temperatures, but also by O₂, CO₂ and H₂O content. The furnace profile is designed to ensure the charge reaches a temperature below the oxidation temperature (Figure 3), allowing excess oxygen to be pumped to manage the excess CO. This approach serves a dual purpose: not only does it heat the charge at a temperature that has no impact on material oxidation, but it also addresses the harmful CO generated in the combustion zone with under-stoichiometric atmosphere.

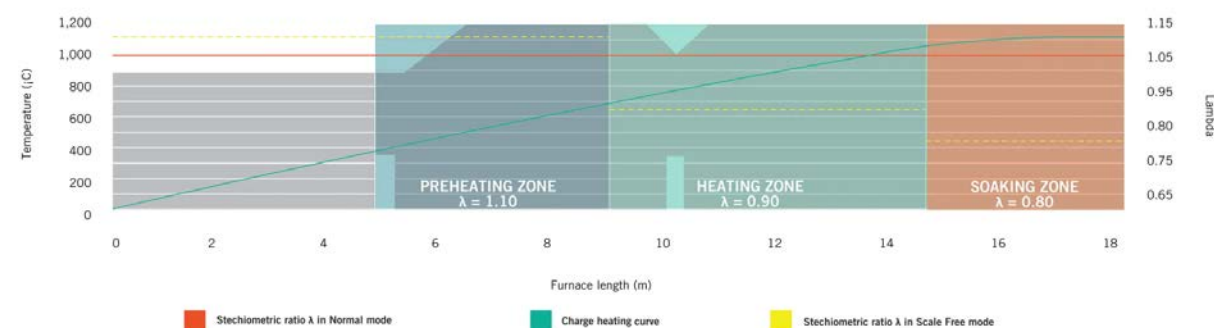


Figure 3. Reheating furnace micro chambers with separation walls

Accurate and specific instrumentation continuously detects the oxygen percentage in the recuperative zone before the waste gases leave the furnace. This parameter is inserted in a control loop that acts on post-combustion air in order to achieve the desired oxygen at the fumes' exit.

The oxygen presence in the furnace is then reduced thanks to a new mechanical solution aimed at guaranteeing the chamber tightness and customized for this project, just like the nitrogen/water sealed kick-off machine, the discharging door with nitrogen barrier, the closed roof insulated with ceramic fiber, and all the inspection visors at perfect tightness.

The furnace is patented for all the above-mentioned innovations.

Results

While the target for Scale-Free Furnaces is to reduce the scale loss of heated steel, they also help reduce fuel consumption and therefore CO₂. The following results show the amount of savings that can be achieved by Scale-Free Furnaces.

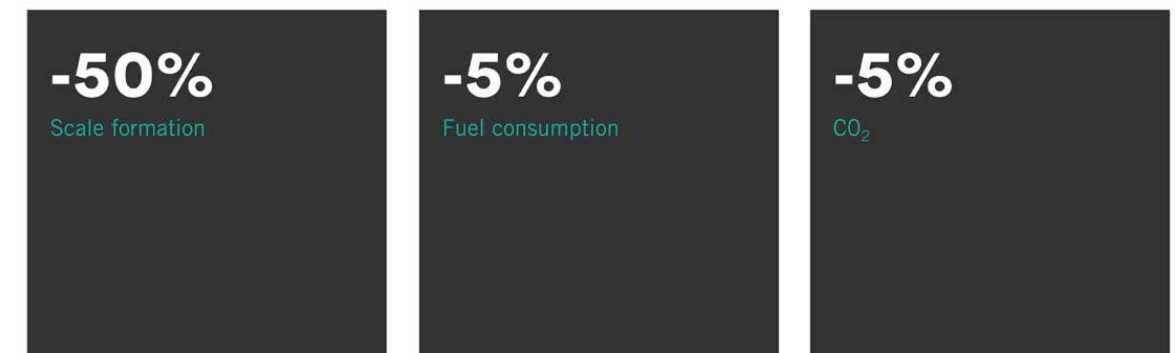


Figure 9. Savings with Scale Free Furnaces

Conclusions

Overall, a Scale-Free Furnace is essential for maximizing efficiency, reliability, and environmental sustainability in the steel industry. By reducing scale buildup and ensuring optimal furnace performance, steel manufacturers can achieve higher productivity, lower operating costs, and reduced environmental impact, ultimately driving long-term success and competitiveness.

Danieli Centro Combustion has installed the first Scale-Free reheating furnace in the state-of-the-art, ABS QWR 4.0 rolling mill plant, achieving performances exceeding the guaranteed ones. This result has been possible thanks to sub-stoichiometric combustion in heating and soaking zones.

The success at ABS helped Danieli Centro Combustion to secure two more Scale-Free Furnace projects in North and South America.



BEST PRACTICES İyi Uygulamalar

ROLLING STEEL WITH TECHNOLOGY AND FUTURE ON TRUST
ÇELİĞİ TEKNOLOJİYLE, GELECEĞİ GÜVENLE ŞEKİLLENDİRİYORUZ

www.isrs-mtm.com | isrs@isrs-mtm.com | isrs.mtm | isrs_mtm | isrs_mtm | isrs-mtm

Kangal Üretiminde Sıcaklık Takip Sistemi Kullanılarak Malzeme Özelliklerinin Doğrulanması

Verification of Material Properties Using Temperature Monitoring System in Wire Rod Production

Aysun IŞIKGÜL, Ali Yağız ŞAHİN, Bengü AKIN, Yusuf KALEMOĞLU, Ramazan GÜNEŞ, Vedat ÜSTÜNDAĞ, Osman IŞIKGÜL, S. Tuğrul İMER

Karabük Demir Çelik

Türkiye

Anahtar Kelimeler: Kangal, JMatPro, Termal Kamera, Pyrometre, Mekanik Özellikler

Abstract

Established in 2016, the Bar and Wire Rod Mill produces Ø 5.5-25 mm wire rods, Ø 20-56 mm bar in coil, Ø 20-100 mm SBQ, Ø 8-40 mm rebar for many sectors such as automotive, machinery manufacturing, and fasteners. After the wire rod production rolling, there is a 105-meter-long cooling roller path that ensures suitable mechanical and metallurgical properties. Temperature measurements on the line are taken using the laying head temperature and, if necessary, a handheld pyrometer at the end of the line. In some productions, the covers are closed on the cooling line, and in this case, temperature measurements cannot be taken. Monitoring critical transformation temperatures is important for determining the mechanical and metallurgical properties of the material. For this reason, this study planned to build a system that can monitor the temperature on the line. First, research was conducted on a temperature monitoring system suitable for the existing system. It was decided to use both the thermal camera and the pyrometer together in the system. The most efficient settlement areas on the line have been determined. After the installation of the thermal camera, pyrometer, and communication system, performance monitoring is conducted. The obtained temperatures are monitored and interpreted. Through the established system, optimum temperature values will be achieved in wire rod production, and the most efficient mechanical and metallurgical properties will be provided to the material.

Özet

2016 yılında kurulumu yapılan Çubuk ve Kangal Haddehanesinde Otomotiv, makine imalat, bağlantı elemanları gibi birçok sektöre hitap eden Ø 5,5-25 mm arası kangal, Ø 20-56 mm kalın kangal, Ø 20-100 mm SBQ, Ø 8-40 mm nervürlü çubuk üretimleri yapılmaktadır. İnce Kangal üretim haddeleme sonrasında, uygun mekanik ve metalürjik özellik sağlanan 105 metre uzunluğunda soğutma role yolu bulunmaktadır. Hat üzerinde sıcaklık ölçümü

serme kafa giriş sıcaklığı ve gerekli ise hat sonunda el pirometreler ile ölçülmektedir. Bazı üretimlerde soğutma hattında kapaklar kapalı üretim yapılmakta ve bu durumda sıcaklık ölçümü yapılamamaktadır. Malzemede mekanik ve metalürjik özelliklerin belirlenebilmesi için kritik dönüşüm sıcaklıklarının takip edilmesi önem arz etmektedir. Bu sebeple bu çalışmada hat üzerinde sıcaklığın takip edilebileceği bir sistem yapılması planlanmıştır. İlk olarak mevcut sisteme uygun sıcaklık takip sistemi araştırması yapılmıştır. Sistem de termal kamera ve pirometre birlikte kullanılmasına karar verilmiştir. Hat üzerine en verim alınacak yerleşim bölgeleri belirlenmiştir. Termal kamera, pirometre ve haberleşme sisteminin kurulumu sonrası performans takibi yapılmaktadır. Elde edilen sıcaklıklar takip edilerek yorumlaması yapılmaktadır. Kurulan sistem aracılığı ile kangal üretiminde optimum sıcaklık değerleri elde edilerek malzemeye en verimli mekanik ve metalürjik özellikler kazandırılacaktır.

1. Giriş

Haddeleme işlemi, çelik malzemelerin mekanik ve metalürjik özelliklerini belirleyen en kritik üretim süreçlerinden biridir. Sıcaklık ise metalürji endüstrisindeki teknolojik süreçlerin ve üretim ekipmanlarında meydana gelen olayların doğru bir şekilde değerlendirilmesi için kritik bir parametre olarak öne çıkmaktadır. Süreçlerin doğruluğunu belirlemekle kalmaz, aynı zamanda birçok ürünün kullanılabilir özelliklerini doğrudan etkileyen en önemli faktörlerden biridir.

Sektörde kullanılan sıcaklık ölçme yöntemleri arasında pirometreler veya termal kameralar yer almaktadır. Birçok durumda, belirli bir hat boyunca veya test nesnesinin tüm yüzeyi boyunca sıcaklık dağılımı hakkında bilgi edinmesi gerekmektedir. İnce kangal üretiminde sıcaklık kontrolü, malzemenin kritik dönüşüm sıcaklıklarını takip edebilmek açısından büyük önem taşımaktadır. Sıcaklığın doğru ölçülememesi, malzemenin nihai özellikleri üzerinde olumsuz etkilere yol açabilmektedir [1].

Bu nedenle, hadde hattında sıcaklık takibini optimize edebilecek entegre bir sıcaklık takip sistemi kurulmuştur. Yapılan literatür araştırmaları ve sistem analizleri sonucunda, hattın farklı noktalarına termal kamera ve pirometre bazlı bir sıcaklık takip sistemi yerleştirilmiştir. Bu sistemle, elde edilen sıcaklık verilerini haberleşme altyapısı üzerinden analiz ederek optimum üretim parametrelerinin belirlenmesine sağlanmıştır [2].

2. Sıcaklık Takip Sistemi

Demir çelik endüstrisinde, üretim süreçlerinin hassas kontrolü, yüksek kalite standartlarının sağlanması ve mekanik özelliklerde tutarlılığın korunması büyük önem taşımaktadır. Bu noktada, kanga üretimini soğutma konveyör hattı, özellikle haddeleme sonrası soğutma işlemlerinde kritik bir rol oynayarak çelik kanga üretiminde en iyi performansı elde etmeye olanak sağlamaktadır.

Çubuk ve Kanga Haddehanesinde 105 metre uzunluğundaki soğutma konveyör hattı üzerinde kapak açık konumda 5 adet termal kamera ile kapaklar kapalı durumda ise 10 adet pirometreler ile sıcaklık kontrolü sağlanmaktadır. Şekil 1'de hat üzerinde yerleştirilen termal kamera görseli paylaşılmaktadır. Soğutma konveyörü hattında eşit yüksekliklere yerleştirilen termal kameralar kapak açık ve hızlı soğutmanın yapıldığı durumlarda kullanıldığı için ilk 46 metre ve son 10 metreyi görüntülemektedir. Şekil 2'de görseli verilen pirometreler 11'er metre aralıkla kapakların arasına denk gelecek şekilde konumlandırılmıştır. İlk payrometre serme kafadan dökülüşü, ikinci payrometre ise malzemenin hat üzerine düştüğü sıcaklığı ölçmektedir.

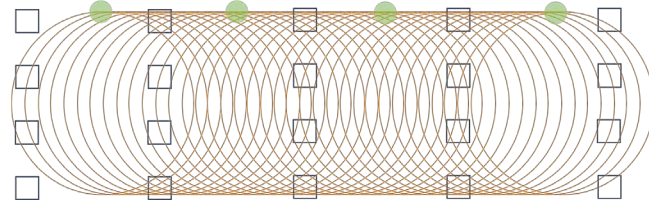


Şekil 1. Termal Kamera



Şekil 2. Pirometre

Şekil 3, kanga üretiminde malzemenin soğutma role yolu üzerindeki sıcaklık takibini şematik olarak göstermektedir. Bu izleme sürecinde iki farklı sıcaklık ölçüm yöntemi kullanılmaktadır. Görselde mavi kareler ile temsil edilen termal kameralar, malzeme üzerinden bir sanal çizgi belirlemede bu çizgiyi dört eşit bölgeye ayırmakta ve her bölgenin sıcaklık dağılımını analiz etmektedir. Bu sayede, malzemenin yüzey sıcaklığındaki değişimler tespit edilerek homojen bir soğuma profili elde edilmesi hedeflenmektedir. Yeşil yuvarlaklar, pirometrelerin lazer noktalarını ve ölçtükleri sıcaklık değerlerini göstermektedir. Pirometreler, malzemenin en sıcak bölgesinden doğrudan sıcaklık ölçümü yaparak malzemenin yüzey sıcaklığı hakkında bilgi sağlamaktadır.



Şekil 3. Şematik Kanga Sıcaklık Takibi

Şekil 4 ve Şekil 5'de izleme ekranı gösterilen sıcaklık takip yazılımı, termal kameraların belirlediği sanal çizgiler üzerindeki sıcaklık ortalamasını, en yüksek sıcaklık değerini ve belirlenen bölgedeki soğuma hızını ($^{\circ}\text{C/s}$) hesaplayabilmektedir. Bu sayede:

- Soğuma sürecindeki bölgesel sıcaklık farkları anlık olarak izlenebilmekte,
- Mikro yapı dönüşüm süreçleri kontrol altında tutulabilmekte,
- Soğutma hızına bağlı olarak malzemenin mekanik özellikleri optimize edilebilmektedir.

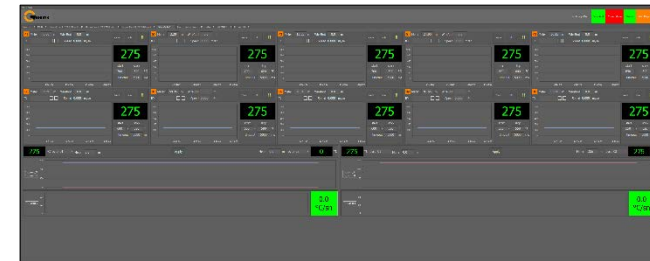
Sistemde, tüm sıcaklık verileri ID bazında kayıt altına alınarak, hangi ürünün hangi sıcaklık profiline sahip olduğu geriye dönük analiz edilebilmektedir. Bu özellik, kalite kontrol süreçlerinde ve üretim optimizasyonunda önemli bir avantaj sağlamaktadır. Sıcaklık takip sistemi, Kardemir'in otomasyon sistemleri ile haberleşerek üretim sürecinde kritik verileri entegre şekilde kullanabilmektedir. Bu kapsamda:

- Kapak açık/kapalı durumu,
- Fan oranları,
- Role yolu hızları,
- Proses parametreleri gibi değişkenler, yazılım tarafından izlenebilmekte ve analiz edilebilmektedir.

Ayrıca, termal kameralar anlık sıcaklık bilgilerini Kardemir scada sistemine aktararak belirlenen eşik değerlerde uyarılar üretmekte, böylece süreç içindeki olası sıcaklık değişikliklerine karşı hızlı aksiyon alınmasını sağlamaktadır.



Şekil 4. Termal Kamera İzleme Ekranı

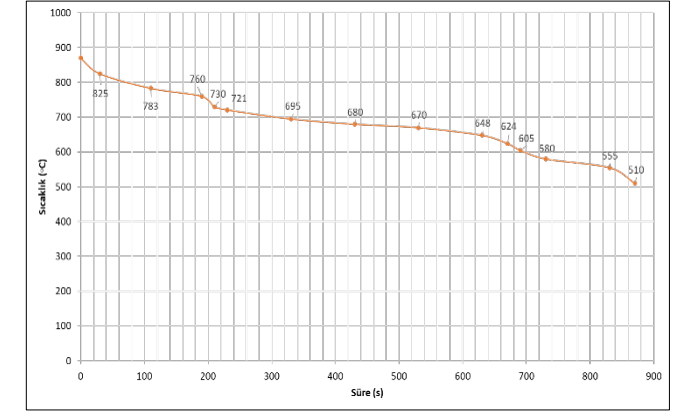


Şekil 5. Pirometre İzleme Ekranı

Bu izleme ve analiz süreçleri, kontrollü soğutma parametrelerinin iyileştirilmesi, proses optimizasyonu ve ürün kalitesinin artırılması açısından büyük önem taşımaktadır. Elde edilen sıcaklık verileri, JMatPro yazılımı ile oluşturulan CCT (Continuous Cooling Transformation) diyagramları ile karşılaştırılmasında kullanılmaktadır.

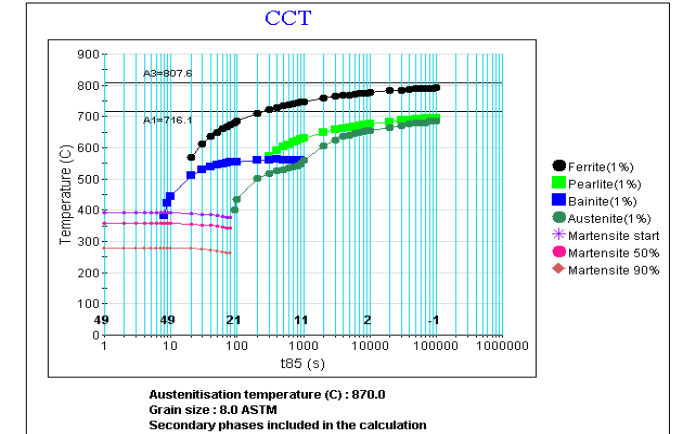
3. Kanga Üretim Sonuçlarının Doğrulanması

Çubuk ve Kanga Haddehanesinde üretimleri gerçekleşen bağlantı elemanı kalitesinin üretim parametreleri sıcaklık takip sistemi ile kayıt altına alınmış olup Şekil 6'daki değerler elde edilmiştir.



Şekil 6. Bağlantı Elemanı Kalitesine Ait Sıcaklık Verileri

Soğutma sürecinde malzemenin kritik dönüşüm sıcaklıklarını belirlemek ve istenen faz yapısını elde etmek için JMatPro yazılımı kullanılarak Şekil 7'de gösterilen CCT diyagramı oluşturulmuştur.



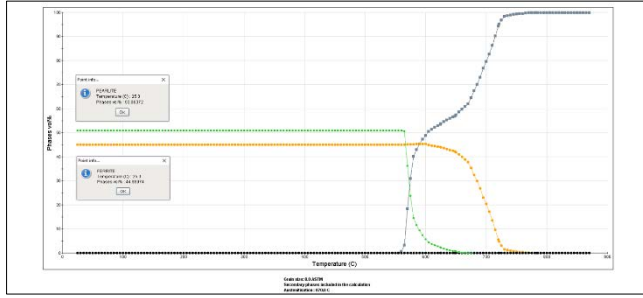
Şekil 7. CCT (Continuous Cooling Transformation)

Edinilen sıcaklık değerleri, JMatPro yazılım ile elde edilen mekanik özellik (Çekme mukavemeti, Akma mukavemeti vb.) tahminleri ile karşılaştırılarak üretim sürecinin doğruluğu test edilmiştir. Simülasyon ve sahada gerçekleşen üretim sonuçlarının karşılaştırması Tablo 1'de gösterilmektedir.

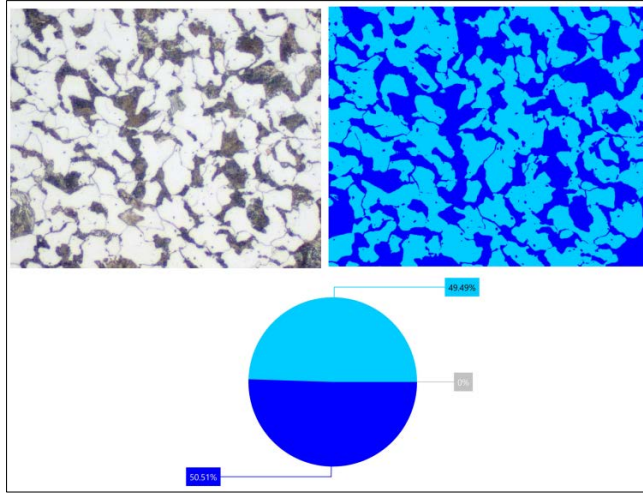
Tablo 1. Çekme Mukavemeti Karşılaştırma

Çekme Mukavemeti	Simülasyon N/mm ²	Gerçekleşen Ort. N/mm ²
	631	587

Mikroyapı analizleri ile ferrit, perlit, beynit veya martenzit gibi fazların oluşum oranları karşılaştırılarak, CCT diyagramlarının öngördüğü mikroyapı ile üretimden elde edilen mikroyapı arasındaki uyum kontrol edilmiştir. Şekil 8'de simülasyon sonucu elde edilen mikroyapı tahmini gösterilmektedir. Üründen alınan numuneler metalografik hazırlık süreçlerinden sonra optik mikroskop altında incelemeler tabii tutulmuştur. Şekil 9'da sahadan alınan numuneye ait faz dağılımı verilmektedir.



Şekil 8. Mikroyapı Faz Dağılımı



Şekil 9. Numune Faz Dağılımı

Tablo 2. Mikroyapı Faz Dağılımı Karşılaştırma

Mikroyapı Faz Dağılımı	Simülasyon		Gerçekleşen	
	Ferrit	Perlit	Ferrit	Perlit
	50	44	50,5	49,5

4. Sonuç

Bu çalışmada kurulan sıcaklık takip sistemi sayesinde, haddeleme sonrası malzemenin soğuma profili sürekli olarak izlenmiş, elde edilen sıcaklık verileri analiz edilerek mekanik ve metalürjik özellikler üzerinde etkisi değerlendirilmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda, çekme mukavemeti açısından simülasyon tahminleri ile gerçek üretim sonuçları karşılaştırılmış ve %6,97'lik bir fark tespit edilmiştir. Bu oran üretim öncesinde personele fikir

vermekte olup, sıcaklık takip sisteminin sürecin öngörülen aralıklarda yönetilmesine katkı sunduğu gözlemlenmiştir.

Mikroyapı faz dağılımı analizinde ise simülasyon verileri ile üretimden alınan numuneler arasında belirgin bir farklılık olmadığı görülmüştür. Ferrit ve perlit oranlarının birbirine yakın çıkması, soğutma sürecinin kontrollü bir şekilde gerçekleştiğini ve sıcaklık takip sisteminin metalürjik özellikler açısından güvenilir sonuçlar sağladığını göstermektedir.

Sonuç olarak, geliştirilen sıcaklık takip sistemi sayesinde üretim süreci daha hassas bir şekilde yönetilmiş, mekanik ve mikroyapısal özelliklerin tahmin edilebilmesine olanak sağlamaktadır. Bu sistem, üretim kalitesinin artırılmasına, süreç optimizasyonuna ve olası değişkenliklerin erken tespit edilerek önlem alınmasına önemli katkılar sunmaktadır.

Referanslar

- [1] I. Jain, S. Lenka, S. K. Ajmani, S. Kundu, J., An Approach to Heat Transfer Analysis of Wire Loops Over the Stelmor Conveyor to Predict the Microstructural and Mechanical Attributes of Steel Rods Thermal Sci. Eng. Appl. Jun 2016, 8(2): 021019,
- [2] W. Wittchen, M. Borecki, A. Mazur, Journal of Metallic Materials 2020, 72 (1), p. 39–47,

Borçelik İç Lojistik Optimizasyonu

Borçelik Internal Logistic Optimization

Ali PEKER, Serkan ÜRKMEZ

Borçelik Çelik Sanayii

Türkiye

Anahtar Kelimeler: Lojistik, Optimizasyon, Stok Sahası

Abstract

In this paper, the optimization of the movements of overhead cranes in coil handling operations between stockyards is detailed, using digital tracking systems and heuristic algorithms. In the introduction, the problem definition and the shortcomings in the literature are addressed; in the experimental studies section, the implemented methods, the integration process, and operator training are elaborated; while in the results and discussion section, the numerical data obtained and their positive effects on occupational safety, quality, and efficiency are discussed. In the conclusion, the overall success of the study is summarized, emphasizing the feasibility and scalability of similar projects in the future.

Özet

Bu makalede, stok sahaları arasında bobin taşıma işlemlerinde tavan vinçlerinin hareketlerinin optimizasyonunun, dijital takip sistemleri ve sezgisel algoritmalar kullanılarak nasıl gerçekleştirildiği detaylandırılmıştır. Giriş bölümünde problem tanımı ve literatürdeki eksiklikler ele alınırken; deneysel çalışmalar bölümünde uygulanan yöntemler, entegrasyon süreci ve operatör eğitimleri detaylandırılmış, sonuçlar ve tartışma bölümünde ise elde edilen sayısal veriler ve bu verilerin iş güvenliği, kalite ve verimlilik üzerindeki olumlu etkileri tartışılmıştır. Sonuç bölümünde ise, çalışmanın genel başarısı özetlenerek, gelecekte benzer projelerin uygulanabilirliği ve yaygınlaştırılabilirliği vurgulanmıştır.

1. Giriş

Sanayi üretim tesislerinde stok sahaları arasındaki bobin taşıma süreçleri, özellikle çelik sektöründe operasyonel verimliliğin, kalite kontrolünün ve iş güvenliğinin kritik rol oynadığı alanlardır. Borçelik tesislerinde, 11 stok sahasında toplam 136.000 adet bobinin bulundurulduğu, yıllık 2,2 milyon vinç hareketinin gerçekleştirildiği süreçte, tavan vinçlerinin manuel olarak yürütülen taşıma işlemleri ciddi verimsizliklere, kalite kayıplarına ve iş sağlığı güvenliği risklerine neden olmaktadır. Literatürde lojistik optimizasyon ve robotik süreç yönetimi gibi alanlarda birçok çalışma bulunmakla birlikte[1]-[2]-[3], özellikle çok sayıda vinç ve depo alanının aynı anda aktif olduğu ortamda, taşımaların en verimli şekilde gerçekleştirilmesine yönelik sistematik yaklaşımlar sınırlı kalmıştır.

Bu makalede, Borçelik'te stok sahaları arasında gerçekleştirilen bobin taşıma işlemlerinin optimizasyonunu ele alan bir çalışma detaylandırılacaktır. İlk bölümde,

problem tanımı, literatürdeki çalışmalar ve bu çalışmanın genel akışı aktarılacaktır. İkinci bölümde, geliştirilen dijital takip sistemi, 2 boyutlu koordinat haritalaması ve “Açgözlü Öncelikli Sezgisel Algoritma” temelli optimizasyon metodolojisi detaylı olarak anlatılacaktır. Üçüncü bölümde ise, projenin elde ettiği sayısal sonuçlar, operatörlerin iş güvenliği, kalite ve verimlilik alanlarındaki kazanımları tartışılarak, projenin stratejik önemi vurgulanacaktır. Son olarak, makalenin sonuç bölümünde elde edilen bulgular özetlenip, geleceğe yönelik potansiyel gelişim alanlarına değinilecektir.

2. Deneysel Çalışmalar

Proje kapsamında gerçekleştirilen çalışmalar hem dijital takip altyapısının hem de optimizasyon algoritmasının uygulanabilirliğini, verimlilik artışını ve iş güvenliği iyileştirmelerini ortaya koyacak şekilde kapsamlı olarak yürütülmüştür. Bu bölümde, deneysel çalışmaların farklı aşamaları, kullanılan teknik yöntemler, simülasyon süreçleri ve saha testleri detaylı olarak ele alınmaktadır.

2.1 Dijital Takip ve Veri Entegrasyonu

Projenin ilk aşamalarında, Borçelik tesislerindeki 11 stok sahasındaki bobinlerin 2 boyutlu koordinat sistemine dayalı dijital haritalaması yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında, her bobinin konumunun ve hareket geçmişinin kaydedilebilmesi için çeşitli sensör ve konum belirleme teknolojileri devreye alınmıştır. Stok sahalarının dijital haritası oluşturulduktan sonra, MES, SSYS ve SAP gibi kurumsal veri kaynaklarından gelen veriler entegre edilmiştir. Bu entegrasyon sayesinde:

- Gerçek zamanlı stok durumu izlenmiş,
- Bobinlerin üretim planları, termin süreleri ve depolama alanlarının doluluk oranları sürekli güncellenmiştir.
- Operatörlere, hangi bobinin hangi sırada ve hangi konumda taşınacağı konusunda anlık bilgi aktarılmıştır.

Veri toplama sürecinde, her vinç hareketi ve bobin yerleştirme işlemi detaylı olarak kaydedilmiş, böylece sistemin performansının değerlendirilmesi için zengin bir veri seti oluşturulmuştur. Bu aşamada, sistemde oluşabilecek hata ve gecikmelerin önüne geçebilmek amacıyla veri akışının kesintisiz sağlanmasına, ağ stabilitesine ve verilerin anlık işlenmesine özen gösterilmiştir.

2.2 Sezgisel Algoritmanın Geliştirilmesi ve Simülasyon Çalışmaları

Optimizasyon sürecinin kalbini oluşturan “Açgözlü Öncelikli Sezgisel Algoritma”, karmaşık depo ortamlarında vinçlerin ve bobinlerin durumlarını dikkate alarak en uygun hareket planını oluşturmak üzere geliştirilmiştir. Bu algoritmanın geliştirilmesi aşamasında, çeşitli parametreler ve ceza mekanizmaları deneysel olarak test edilmiştir. Çalışmalar sırasında kullanılan ana parametreler şunlardır:

- **Mesafe Ceza Parametresi:** Bobin ile skid arasındaki mesafe optimize edilerek, her taşıma işleminde minimum mesafenin korunması hedeflenmiştir.
- **Kat Ceza Parametresi:** İstifleme düzeninin optimize edilmesi için, bobinlerin yerleştirileceği kat bilgileri dikkate alınmış ve zemine yakın yerleştirme tercih edilmiştir.
- **Öncelik ve Vinç Çakışma Parametreleri:** Üretim planı ve bobin öncelik sıralaması göz önünde bulundurularak, algoritmanın önerdiği konumlar arasında vinçler arası çakışmaların minimuma indirilmesi sağlanmıştır.

Bu parametrelerin uygun değerleri, offline simülasyon ortamında, gerçek tesis verilerinden elde edilen örnek senaryolar üzerinden test edilmiştir. Simülasyon çalışmaları, algoritmanın her bir vinç için olası hareket seçeneklerini değerlendirmesi, uygunluğu kontrol etmesi ve cezaların etkisi altında nihai kararı vermesi sürecinde ayrıntılı olarak incelenmiştir.

Offline simülasyonlarda, farklı iş yükleri ve senaryolar denenmiş; algoritmanın çalışma süresi, bellek kullanımı ve hata oranları detaylı olarak raporlanmıştır. Sonuç olarak, simülasyonlardan elde edilen veriler, algoritmanın vinç başına ekstra 800 iş hareketi sağlayabileceğini, elleçleme sayısını bobin başına ortalama 9,54'ten 7,8'e indirebildiğini ve çakışma risklerini %50 oranında azaltabildiğini göstermiştir. Simülasyon sonuçları, algoritmanın karmaşık ve yüksek hacimli veri setleri üzerinde dahi gerçek zamanlı karar alabilme kapasitesine sahip olduğunu kanıtlamıştır.

2.3 Saha Testleri

Teorik ve simülasyon çalışmaları sonrasında, geliştirilen sistemin saha testleri gerçekleştirilmiştir. Bu aşamada, 14 aylık projenin uygulama planı doğrultusunda, vinç hareketleri canlı ortamda takip edilmiş ve algoritmanın önerdiği iş emirlerinin operatörler tarafından nasıl uygulandığı gözlemlenmiştir. Saha testleri sırasında;

- Vinç operatörlerine, dijital sistemin kullanımına ilişkin kapsamlı eğitimler verilmiş,
- Operatörlerin sistemle entegrasyonu sağlanarak, manuel müdahalelerin minimize edilmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır.

- Sistem arayüzleri, operatörlerin kolayca anlayabileceği şekilde optimize edilmiş, interaktif uyarılar ve detaylı raporlar ile anlık durum bilgisi sağlanmıştır.

Operatör eğitimlerinde, dijital kontrol paneli, iş emri sıralama sistemi ve algoritmanın önerdiği planların neden tercih edildiği detaylandırılarak, operatörlerin sistemi benimsemesi sağlanmıştır. Eğitim sürecinde, operatörlerin geri bildirimleri doğrultusunda sistemde küçük düzeltmeler yapılmış, böylece hem operatör memnuniyeti artırılmış hem de sistemin performansı iyileştirilmiştir.

2.4 Risk Analizi ve Gerçek Zamanlı Uygulama Sonuçları

Deneysel çalışmaların bir diğer önemli aşaması, sistemin risk analizleri ve gerçek zamanlı uygulama sonuçlarının değerlendirilmesidir. Geliştirilen yazılımın C# dilinde kodlanmış olması, sistemin şirket bünyesinde geliştirilmiş algoritmaya entegre edilmesine olanak sağlamıştır. Proje sırasında;

- Artan iş yükü ve vinç hareketlerinin yoğunluğu, algoritmanın çözüm süresinde artışa neden olabilecek durumlar olarak tespit edilmiş,
- Bu riskler, algoritmanın belirli hafıza limitlerine ulaştığında kendini yenileme mekanizmasıyla minimize edilmiştir.
- Operatörlerin sistemin önerdiği iş emirlerine uymama ihtimali, eğitim süreçleri ve düzenli raporlama mekanizmaları ile sürekli takip edilmiş ve bu konuda olumlu sonuçlar alınmıştır.

Gerçek saha testlerinde, sistemin operatörlere sunduğu öneriler sayesinde, üretim sürecindeki elleçleme sayısının düşürülmesi, vinç kaynaklı iş sağlığı ihlallerinde ve kalitesizlik problemlerinde önemli azalmalar gözlemlenmiştir. Testler sırasında elde edilen veriler, sistemin hem verimlilik hem de iş güvenliği alanında büyük kazanımlar sağladığını ortaya koymuştur. Özellikle operatörlerin hızlı karar alma sürecinde yaşanan riskler, dijital sistemin sunduğu yönlendirme ve uyarılar sayesinde minimize edilmiştir.

3. Sonuçlar ve Tartışma

Projenin uygulanması sonucunda elde edilen veriler, dijital takip sisteminin ve “Açgözlü Öncelikli Sezgisel Algoritma” temelli optimizasyonun, stok sahaları arasında gerçekleşen bobin taşıma süreçlerine entegre edilmesinin ne denli etkili olduğunu ortaya koymaktadır. Deneysel çalışmalar ve saha testlerinden elde edilen sonuçlar hem operasyonel verimlilik hem de iş güvenliği ve kalite açısından önemli iyileşmeler sağlamıştır.

3.1 Sayısal Sonuçlar ve Performans İyileştirmeleri

Uygulanan sistem sayesinde, proje öncesinde her bir bobinin ortalama 9,54 kez elleçlendiği süreç, optimizasyon sonrası 7,8'e indirilebilmiştir. Bu düşüş, vinç başına senelik bazda yaklaşık 800 ek iş hareketi potansiyelinin açığa çıkmasına ve mevcut iş gücünün daha verimli kullanılmasına olanak tanımıştır. Özellikle, operatörlerin manuel müdahalelerden kaynaklanan gecikmeler ve hatalı kararlar sistematik olarak minimize edilmiş, bu da üretim sürecinde ciddi zaman kazançları sağlamıştır.

Vinç hareketleri ve operatörlerin aldığı kararlar neticesinde ortaya çıkan iş sağlığı ve güvenliği ihlallerinde de %50 oranında bir azalma gözlemlenmiştir. Geleneksel yöntemde, operatörlerin anlık karar alma sürecinde hatalı konumlandırmalar sonucu yaşanan çarpışmalar, ezilme veya devrilme gibi riskler, dijital sistemin sunduğu yönlendirme ve uyarı mekanizmaları sayesinde ciddi ölçüde azaltılmıştır. Buna ek olarak, algoritmanın belirlediği optimum istifleme düzeni, ürün kalitesinde de %50'lik bir iyileşmeye yol açmış; yıllık yaklaşık 70.000 dolarlık kalite kaybının önüne geçilmesi sağlanmıştır.

3.2 Operasyonel ve Stratejik Katkılar

Elde edilen veriler, projenin sadece sayısal iyileştirmeler sağlamadığını, aynı zamanda işletmenin stratejik hedeflerine de katkı sunduğunu göstermektedir. Dijital entegrasyon ve optimizasyon algoritması, stok sahalarının durumunun anlık olarak takip edilmesine olanak tanıyarak, üretim süreçlerindeki aksaklıkların önceden tespit edilip giderilmesine yardımcı olmuştur. Bu durum, üretim planlamasında esneklik sağlarken, aynı zamanda risklerin minimize edilmesi ve rekabet avantajının artırılması yönünde önemli bir adım olarak değerlendirilebilir.

Sistem, MES, SSYS ve SAP gibi farklı kurumsal yazılım platformlarıyla entegre çalışarak, veri akışında yaşanan kopuklukları ve gecikmeleri ortadan kaldırmıştır. Bu entegrasyon, yöneticilere gerçek zamanlı veri sunarken, karar alma süreçlerinde de şeffaflık ve hız kazandırmıştır. Böylece, üretim hattında meydana gelebilecek aksaklıklar hızlı bir şekilde tespit edilip müdahale edilebilmiştir.

3.3 Algoritmanın Esnekliği ve Uygulama Sürecindeki Dinamikler

Algoritmanın “Açgözlü Öncelikli Sezgisel” yapısı, karmaşık depo ve lojistik ortamlarında bile hızlı ve etkili çözümler üretebilme kapasitesine sahiptir. Bu yöntem, her adımda en iyi yerel kararı tercih ederek, genel süreçte optimum sonuca ulaşmayı hedeflemiştir. Simülasyon çalışmaları ve saha testleri, algoritmanın farklı senaryolar altında esnek çalışabildiğini ve işlem sürelerini makul seviyelere çektiğini göstermiştir.

Bununla birlikte, uygulama sürecinde bazı riskler ve sınırlamalar da göz önünde bulundurulmuştur. Artan iş hacmi ve karmaşık lojistik yapılar, algoritmanın çözüm süresinde

artışa neden olabilmektedir. Ancak, algoritmanın kendini yenileme mekanizması ve düzenli parametre güncellemeleri ile bu riskler minimize edilmiştir. Operatörlerin sisteme tam adaptasyon sağlaması ve dijital karar destek sistemine uyum göstermesi de, süreç boyunca karşılaşılan zorluklar arasında yer alsa da, kapsamlı eğitim programları ve sürekli geri bildirim mekanizmaları sayesinde bu risk büyük ölçüde ortadan kaldırılmıştır.

3.4 Değerlendirme ve Gelecek Perspektifi

Toplamda, proje sayesinde elde edilen sayısal sonuçlar ve operasyonel iyileşmeler, stok sahaları arası bobin taşıma işlemlerinde dijitalleşmenin ve optimizasyon algoritmalarının ne denli etkili olabileceğini kanıtlamıştır. Operasyonel verimlilikte sağlanan artış, iş gücü maliyetlerinin daha verimli, güvenli üretim süreçlerinin inşa edilmesine önemli katkılar sağlayacaktır

4. Sonuç

Bu çalışma, stok sahaları arasında gerçekleştirilen bobin taşıma işlemlerinde tavan vinçlerinin hareketlerinin dijital izlenmesi ve optimizasyonu yoluyla elde edilen başarıyı gözler önüne sermektedir. Geliştirilen dijital takip sistemi ve “Açgözlü Öncelikli Sezgisel Algoritma” temelli optimizasyon yöntemi sayesinde, elleçleme sayılarında düşüş, iş güvenliği ihlallerinde azalma ve kalite kayıplarının minimize edilmesi sağlanmıştır. Operatör eğitimi, sistem entegrasyonu ve düzenli parametre güncellemeleriyle desteklenen bu proje, Borçelik gibi ağır sanayi tesislerinde süreç verimliliğinin artırılmasında öncü bir örnek teşkil etmektedir.

Sonuç olarak, projenin uygulanması; sadece operasyonel verimliliği artırmakla kalmamış, aynı zamanda iş sağlığı, güvenliği ve ürün kalitesi gibi kritik alanlarda da önemli iyileşmeler sağlamıştır. Bu çalışma, benzer lojistik optimizasyon problemleriyle karşı karşıya kalan diğer işletmelere de model teşkil edebilecek niteliktedir. Gelecekte, dijitalleşme ve algoritmik optimizasyon yaklaşımlarının daha da geliştirilmesiyle, sanayi süreçlerinde daha da yüksek performans ve rekabet avantajı elde edilecektir

4.1 Kaynaklar ve Gelecek Perspektifi

Bu makalede ele alınan sistem ve uygulamalar, Borçelik'in üretim tesislerinde yapılan kapsamlı Ar-Ge çalışmaları sonucunda hayata geçirilmiştir. Proje, tedarik zincirinin dijitalleştirilmesi ve verimliliğin artırılması adına atılmış önemli bir adım olarak, hem yerli üretimin desteklenmesine hem de ithalatın azaltılmasına yönelik stratejik hedeflere hizmet etmektedir. Gelecekte, farklı sektörlerde de benzer yöntemlerin uygulanması ve algoritmaların güncellenmesiyle, daha esnek ve uyumlu sistemlerin geliştirilmesi öngörülmektedir.

Bu bağlamda, optimizasyon algoritmasının potansiyeli sadece mevcut tesisler için değil, tüm sanayi tesislerinde benzer lojistik ve taşımacılık problemlerine uygulanabilir çözümler sunmaktadır. Üst yönetimin desteği ve operatörlerin sürece aktif katılımıyla, bu çalışma gelecekte daha da yaygınlaştırılarak, üretim süreçlerinin dijital dönüşümünde önemli bir mihenk taşı olacaktır.

Referanslar

- [1] H.-P. Hsu, C.-C. Chou and C.-N. Wang, "Heuristic/Metaheuristic-Based Simulation Optimization Approaches for Integrated Scheduling of Yard Crane, Yard Truck, and Quay Crane Considering Import and Export Containers," in IEEE Access, vol. 10, pp. 64650-64670, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3180752.
- [2] Sammarra, M., Cordeau, JF., Laporte, G. *et al.* A tabu search heuristic for the quay crane scheduling problem. *J Sched* **10**, 327–336 (2007). <https://doi.org/10.1007/s10951-007-0029-5>
- [3] Frank Meisel, Christian Bierwirth, Heuristics for the integration of crane productivity in the berth allocation problem, Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, Volume 45, Issue 1, 2009, Pages 196-209

Soğutma Suyunun Temizlenmesinde Otomatik Filtre Kullanımının Avantajları

Advantages of Automatic Filter for Cooling Water

Rocco CAFARO¹, Onur BULUT², Hüseyin KISACIK³

¹Filtration Group, ²Guard Endüstriyel Ürünler, ³Hidrohan Hidrolik Pnömatik

USA, Türkiye

Anahtar Kelime: Otomatik filtre, Ters Yıkamalı Filtre, Soğutma Suyu Filtrasyonu

Abstract

This research focuses on the advantages provided to the production line by efficiently filtering the cooling water used in production lines. With fully automatic filter systems, we contribute to the protection of employees and reliability of operating systems. By using automatic filters, an uninterrupted and resource-saving operation and protect plants against wear and damage in the long term.

Özet

Bu araştırma, üretim hatlarında kullanılan soğutma suyunun verimli bir şekilde filtre edilerek üretim hattına sağladığı avantajlara odaklanmaktadır. Tam otomatik filtre sistemleri ile çalışanların korunmasına ve işletim sistemlerinin güvenilirliğine katkıda bulunuyoruz. Otomatik filtreleri, kullanarak kesintisiz ve kaynak tasarrufu sağlayan bir çalışma sağlayın ve sistemlerinizi uzun vadede aşınma ve hasara karşı koruyun.

1. Giriş

Günümüzde işletme ve bakım maliyetleri birçok demir çelik tesisinin önemli kalemlerinden birini oluşturmaktadır. Yedek parça, işçilik maliyeti gibi kalemlerin yanında en büyük kayıp duruş maliyetlerinden kaynaklanmaktadır. Üretim sürecinde duruş sürelerini kısaltabilmek için kestirimci bakım, planlı bakım gibi faaliyetlerin dışında uygun ve doğru ürün seçimleri ile hareket etmek önem arz etmektedir.

2. Filtrasyon

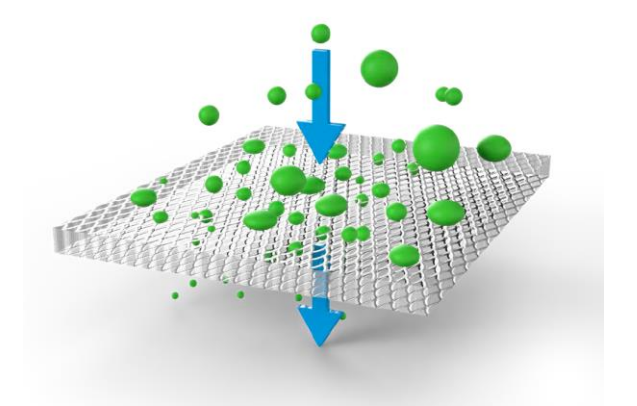
Filtrasyon, mekanik ayırma proseslerinden biridir. Madde karışımlarının ayrılması en önemli temel işleme operasyonlarından biridir. Genel olarak, katı sıvı ayırma, yani parçacıkların sıvı fazdan ayrılmasıyla ilgilidir.

3. Filtrasyon Yöntemleri

Temel filtrasyon yöntemlerinize baktığımızda 3 farklı filtrasyon tipi ile karşılaşmaktayız.

3.1. Yüzey Filtrasyonu

Yüzey filtrasyonunda, baskın filtrasyon eylemi bir filtre ortamının yüzeyindeki katı parçacıkları ayırarak mekanik olarak gerçekleşir.

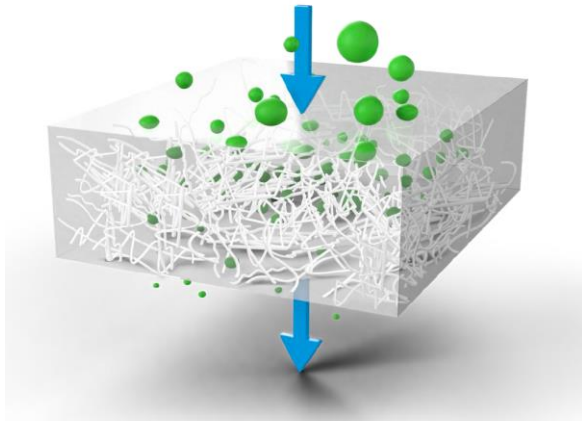


Şekil-1: Yüzey Filtrasyonu

3.2. Derinlemesine Filtrasyon

Derinlemesine filtrasyonda, baskın filtrasyon eylemi bir filtre ortamının içinde mekanik ve adsorptif olarak gerçekleşir.

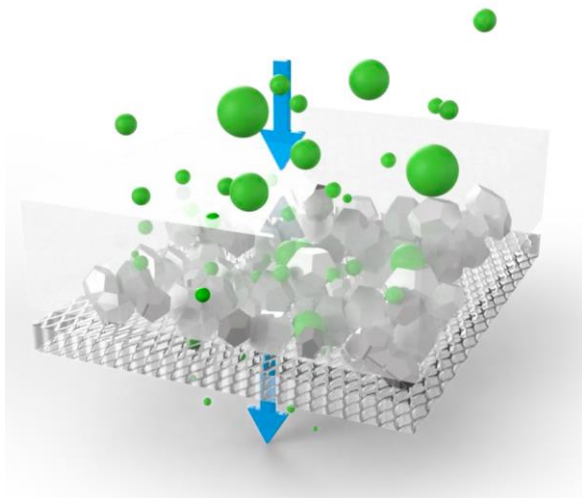
Filtre ortamının tasarımına bağlı olarak, önemli oranda katı parçacık tutulur. Bu parçacıklar, akış açıklıkları ve katı parçacıklar arasındaki geometrik boyut ilişkileri nedeniyle daha fazla uğraşmadan filtre ortamından geçebilir.



Şekil-2: Derinlemesine Filtrasyon

3.3. Ön Kaplama Filtrasyonu

Ön kaplama filtrasyonunda, katılar filtre ortamında tutulur ve giderek artan kalınlıkta bir filtre keki oluşturur. Genellikle filtre yardımcılardan oluşan bir filtre keki ön filtre görev görür. Filtreleme, filtre kekinde derinlik filtrasyon ilkesine göre gerçekleşir.



Şekil-3: Ön Kaplama Filtrasyonu

4. Filtrasyon Hassasiyeti

Temelde 2 farklı filtrasyon hassasiyeti ile karşılaşmaktayız.

4.1. Mutlak Filtrasyon

Mutlak filtrasyon, kumaşın bir gözeneginden geçebilen sert, küresel bir parçacığın boyutundan kaynaklanır. Bu gözenek boyutu veya filtre inceliği mutlak filtre inceliği olarak adlandırılır. Sadece filtre kullanılmadan önce belirlenen mutlak filtre hassasiyeti, farklı filtre ortamlarını karşılaştırmak için güvenilir veri sağlar.

4.2. Nominal Filtrasyon

Nominal filtrasyon, filtre pratikte kullanıldığında elde edilir. Örneğin, akışkandaki nominal filtre inceliğinden büyük veya ona eşit olan parçacıkların %98'inin tutulması olarak tanımlanır. Filtre ortamının kendisine ek olarak, bu giderme verimliliği ortam koşullarından da büyük ölçüde etkilenir. Filtre ortamının karşılaştırılması için, filtre inceliğine ek olarak test yöntemi de hesaba katılmalıdır.

5. Filtrasyon Tipleri

Bir akışkanın filtrenmesinde 3 farklı filtre tipi kullanılır.

5.1. Tekli Filtreler

Hat üzerinde, debiye ve basınca uygun olarak seçilmiş, tekli filtre hazneleridir. İstenilen hassasiyetteki filtre elemanının süreç içerisinde görevini yapması ile filtre elemanı tıkanmaya başlar. Maksimum seviyeye geldiğinde, filtre gövdesi üzerinde bulunan kirlilik göstergesinin verdiği uyarı sonucu filtre elemanı değişimi yapılması gerekmektedir.

Tekli filtre haznelerinde değişim yapabilmek için üretim hattının durdurulması gerekmektedir.



Şekil-4: Tekli Filtre Haznesi

5.2. İkiz Filtreler

İkiz filtreler, bir vana yardımı ile birbirine bağlanmış tekli filtrelerden oluşmaktadır. Burada amaç, hattı durdurmadan filtre değişiminin yapılabilmesidir. Görev gören filtre tıkanıldığında vananın yönü değiştirilerek akış diğer filtre gövdesine yönlendirilir.



Şekil-5: İkiz Filtre Hazneleri

5.3. Otomatik Filtreler

Otomatik filtreler, tekli filtre hazneleri gibi olup, üzerinde bulunan motor ve redüktör sistemi ile temizleme mekanizmasının hareket etmesi ile filtre elemanının temizlenmesini sağlar.



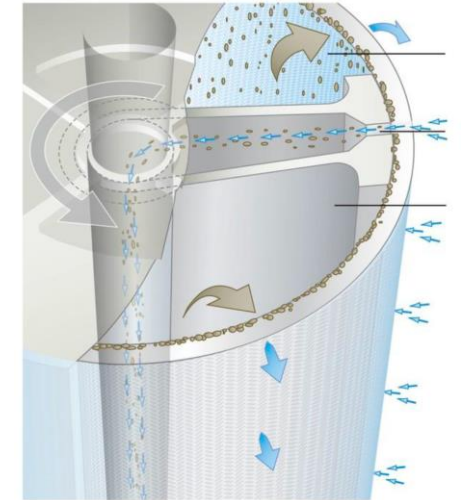
Şekil-6: Otomatik Filtre Hazneleri

6. Otomatik Filtreler ile Proses Optimizasyonu

Otomatik filtreler, geniş kapsamlı bilgi birikimine ve yenilikçi ürün sistemlerinin yoğun bir şekilde geliştirilmesine dayanmaktadır. Otomatik filtreler, üretim süreçlerini optimize eder ve son derece verimli çalışır. Makine ve tesis yapımı, otomotiv endüstrisi, denizcilik uygulamaları ve ekstraksiyon teknolojisi ile kimya, boya ve gıda endüstrilerindeki farklı alanlar

dahil olmak üzere birçok endüstriyel alanda kesintisiz olarak kullanılabilirler.

Rekabetçi kalabilmek için şirketler, üretkenliklerini artırmak için her türlü potansiyeli kullanmalıdır. Bu nedenle üretim süreçleri giderek daha fazla otomatikleştirilmektedir. Makine ve tesis kapasitesi tam olarak kullanılmalıdır. Yalnızca belirli gereklilikler karşılanırsa 24 saat çalışabilirler. Üretilen iş parçalarındaki yüksek kalite gerekliliklerine uyabilmek için çalışma sıvıları işlenmeli ve rejenerasyona tabi tutulmalıdır. Ürün ortamı gereklilikleri tam olarak karşılamalı ve tesisler ve süreçlerde yüksek güvenlik gereklilikleri sağlanmalıdır. Ayrıca bakım ve bertaraf faaliyetleri tesis işleyişine müdahale etmemeli veya kesintiye uğratmamalıdır. Bu nedenle sıvıların, macunların ve benzeri malzemelerin otomatik filtre sistemleriyle filtrenmesi, ekonomik çalışmayı kesintiye uğramadan sağladığı için endüstride giderek daha popüler hale gelmektedir. Otomatik filtreler, daha fazla bertaraf faaliyetine gerek kalmadan otomatik temizleme süreçleriyle rasyonel kesintisiz çalışmanın avantajı sayesinde daha fazla uygulama alanı elde etmiştir.



Şekil-7: Otomatik Filtre İç Yapısı

7. Otomatik Filtre Kullanımının Avantajları

- Otomatik filtreler, filtre elemanı tüketimi veya değişimi olmadan kendi kendini temizleyebilen filtrelerdir.
- Tek kullanımlık filtre elemanları yoktur.
- Modüler bir tasarıma sahiptir ve temizleme şekline göre farklı varyasyonlara sahiptir.

- Kompakt tasarım sayesinde düşük alan gereksinimine sahiptir.
- Değişken çalışma koşullarına göre ayarlanabilir.
- Üretim kesintisi olmadan kendi kendini temizleme mümkündür.
- Filtre elemanının optimum temizliğinde düşük geri yıkama hacimleri sayesinde verimli filtrasyon sağlanır.
- Düşük bakım maliyetlerine sahiptir.
- Yüksek çalışma ömrüne sahiptir.

8. Sonuç

Otomatik filtreler, filtrasyon dünyasında geline en üst seviye teknolojik ürünlerdir. Birçok uygulamaya ve akışkana uygun varyasyonu ile birlikte optimum boyutlarda ve yüksek filtrasyon verimliliğine sahiptirler. Özellikle filtre değişimine ihtiyaç duymaması, duruş maliyetlerini sıfıra indirmektedir. Filtrasyon yüzey alanının büyük olması daha düşük direnç ve yüksek geçirgenlik sağlar. Ters yıkama sırasında filtrenin kullanılmayan yüzeyi çok düşüktür. Dünya'daki geniş servis imkanları ile yedek parça ihtiyaçlarına kolayca ulaşılabilir.

Otomatik filtre kullanarak, kesintisiz ve kaynak tasarrufu sağlayan bir çalışma ile sisteminizi uzun vadede aşınma ve hasara karşı koruyun



SURFACE SENSITIVITY

Yüzey Hassasiyeti

ROLLING STEEL WITH TECHNOLOGY AND FUTURE ON TRUST
ÇELİĞİ TEKNOLOJİYLE, GELECEĞİ GÜVENLE ŞEKİLLENDİRİYORUZ

www.isrs-mtm.com | isrs@isrs-mtm.com | [f isrs.mtm](https://www.facebook.com/isrs.mtm) | [X isrs_mtm](https://www.x.com/isrs_mtm) | [isrs_mtm](https://www.instagram.com/isrs_mtm) | [in isrs-mtm](https://www.linkedin.com/company/isrs-mtm)

Innovative Surface Engineering for New Surface Finishes in Cold Rolling Mills

Petar ROKIC, Claudio TREVISAN, Andrea GARIANO
Pomini Digital Texturing
Italy

Summary

Pomini Tenova started a revolutionary approach to work roll surface finish design and implementation, which was firstly commercialized in 2016, and today is a well-established and referenced solution in both steel and aluminium cold rolling industries, enabling enhanced optimization of work roll performance, mill operations, and downstream sheet processing capabilities.

Through extensive research and user-collaborative testing, Pomini has successfully developed their proprietary Pomini Digital Texturing™ (PDT™) technology.

This innovative system demonstrates exceptional precision in **controlling crater parameters**, including **dimensional aspects**, characteristic features, and **spatial distribution**, thereby enabling the creation of an unlimited spectrum of surface patterns.

The remarkable versatility in surface finish generation, coupled with the performance outcomes, validates the superior capabilities of the PDT™ methodology and suggests boundless potential for future technological advancement.

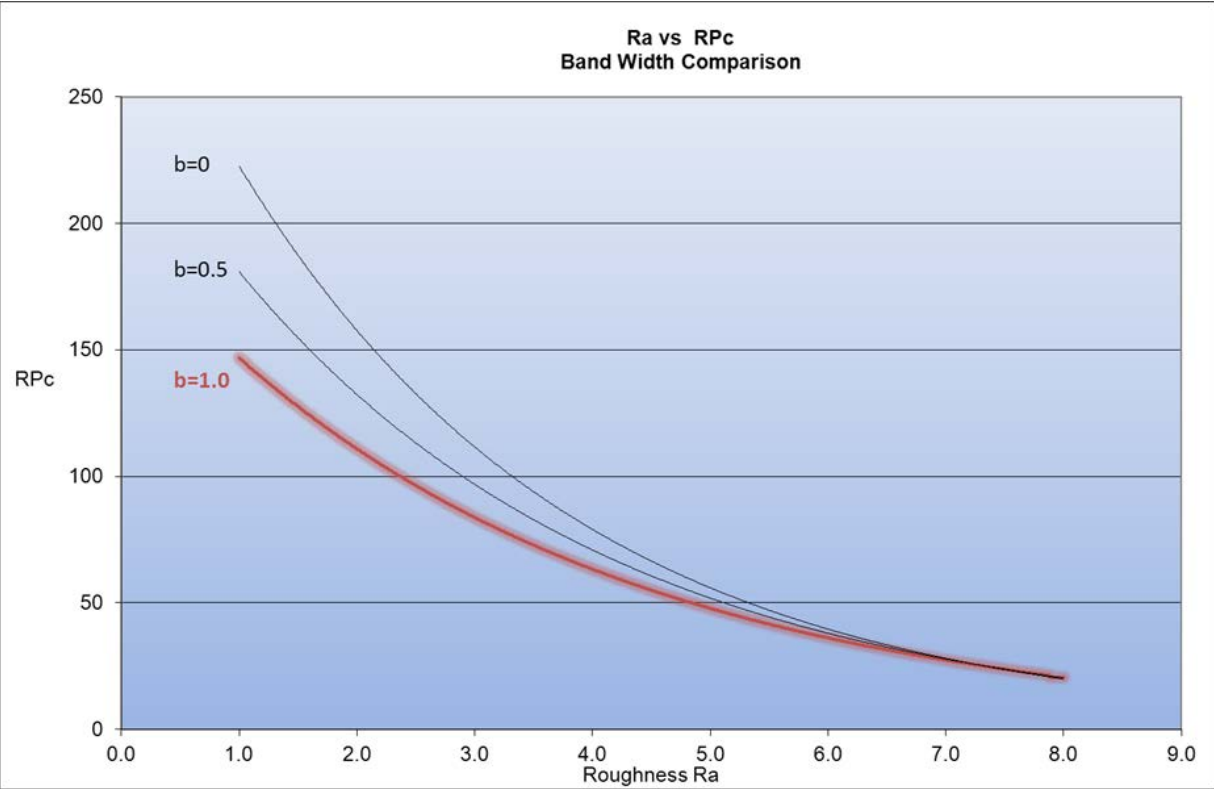
Introduction

Surface texture characteristics on both work rolls and rolled sheets play a crucial role in determining their operational effectiveness. The performance metrics for rolling operations, forming processes, and painting applications are quantified through multiple surface parameters, including but not limited to:

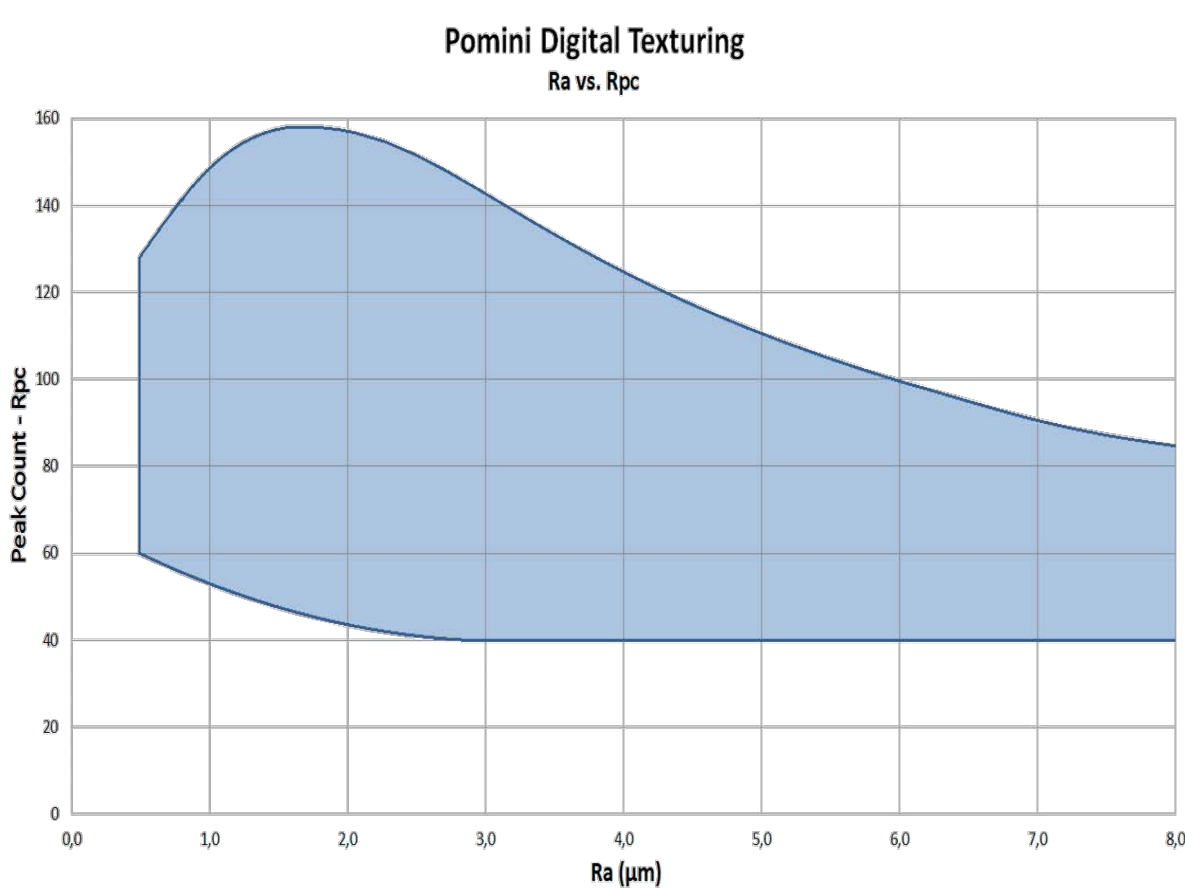
- Roughness (Ra)
- Peak Count (Rpc)
- Skewness (Rsk)
- Waviness (Wa)

A critical consideration in work roll surface engineering is the **efficiency of texture transfer** to the sheet material during various rolling phases. This transfer capability significantly impacts the final product quality, particularly in processes like **skin-pass rolling**, which represents the terminal stage in cold-rolled steel sheet production.

While conventional texturing methodologies offer some control over these essential parameters, they frequently **lack the capability for independent parameter manipulation**.



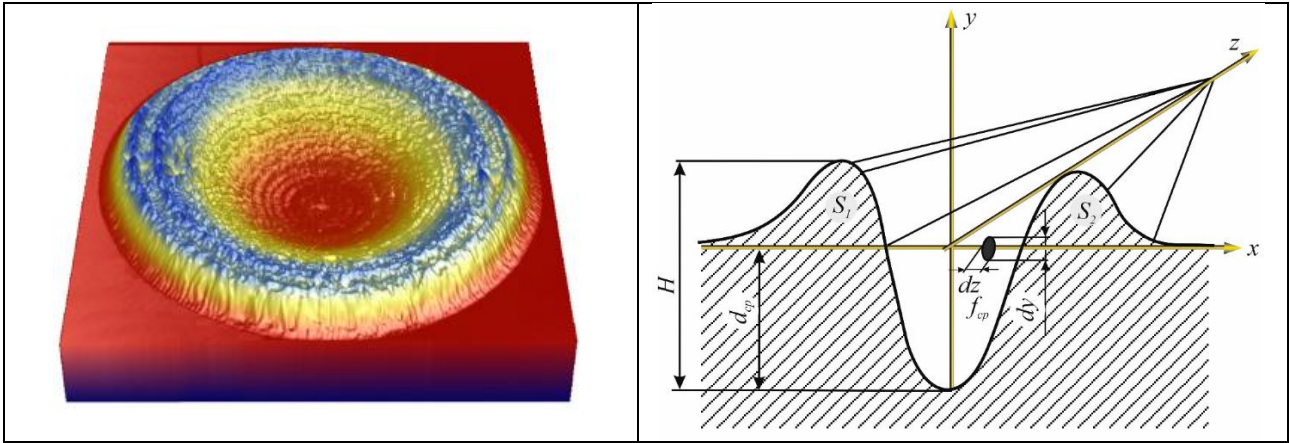
“old school”



“new school”

Manufacturing processes in steel and aluminum industries, specially with reference to automotive applications exhibit substantial variability across different facilities, each presenting **unique operational requirements**, constraints, and production-related challenges. The complexity is further amplified when considering the **diverse market demands** for both coated and uncoated sheet materials, where achieving the desired surface characteristics becomes increasingly challenging due to **variations in material properties** and **texture transfer efficiency** between work rolls and processed sheets.

In response to these industry-specific challenges, Pomini has pioneered an **advanced surface texturing methodology that enables precise, independent control over surface texture parameters, ensuring exceptional accuracy and reproducibility**. This technological breakthrough facilitates the **strategic engineering of work roll surface** characteristics, optimizing performance benefits for both sheet manufacturers and end-users.



The innovative approach allows for:

- Customized texture solutions for specific production environments
- Enhanced control precision over surface parameters
- Optimized texture transfer across different material types
- Improved consistency in final product characteristics

This advancement represents a significant step forward in addressing the diverse requirements of modern steel processing and automotive manufacturing applications.

Historical Research and Performance Analysis

Previous studies have focused on key performance indicators during the rolling process, particularly emphasizing two critical measurements: the transfer of Ra (Roughness average) and Rpc (Peak Count) from work roll to rolled sheet, alongside the work roll's operational lifespan.

Additional significant factors include:

- Generation of "mill fines" during rolling operations
- **Oil retention capabilities** on sheet surfaces during transportation and storage periods

Forming Process Parameters

The effectiveness of the forming process is evaluated through several critical metrics:

- **Formability characteristics**
- **Friction coefficient values**
- **Resistance to surface defects** (specifically "scoring" and "galling")

These performance indicators are predominantly influenced by:

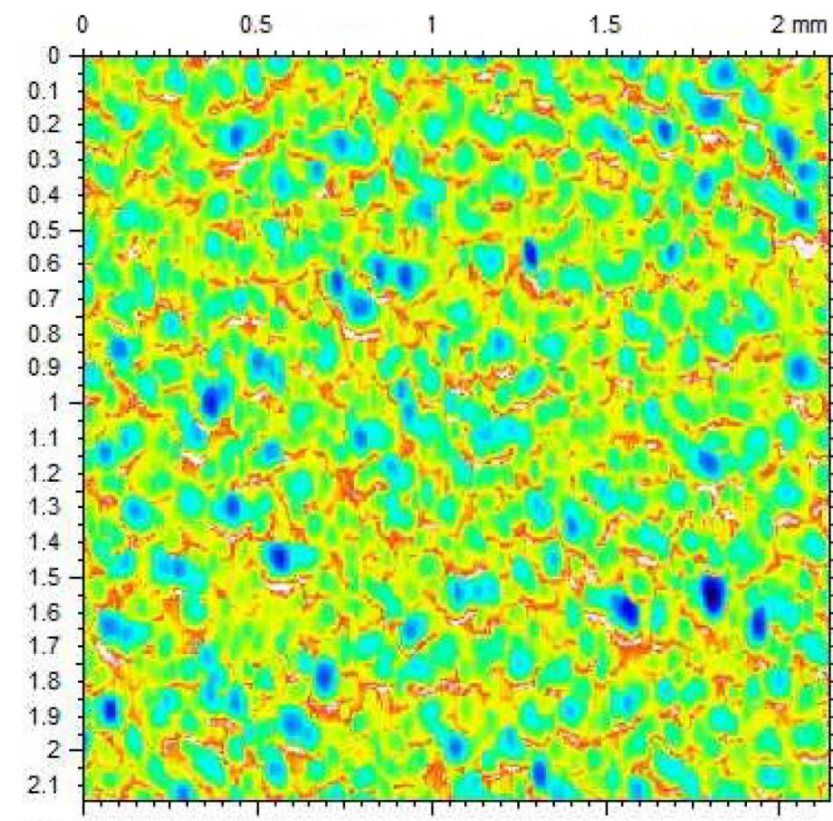
1. The rolled sheet's surface roughness (Ra)
2. Surface topography characteristics (defined by Rpc)
3. Density of closed voids present on the sheet surface

Research Findings on Surface Topography

Research investigating steel sheet surface topography and its impact on automotive panel **forming** has revealed several key findings:

1. Peak Density Impact:

- Formability shows improvement with increased peak density
- This improvement continues until a critical threshold
- Limitation occurs when valley dimensions become insufficient for:
 - * Adequate lubricant retention
 - * Proper wear debris accommodation

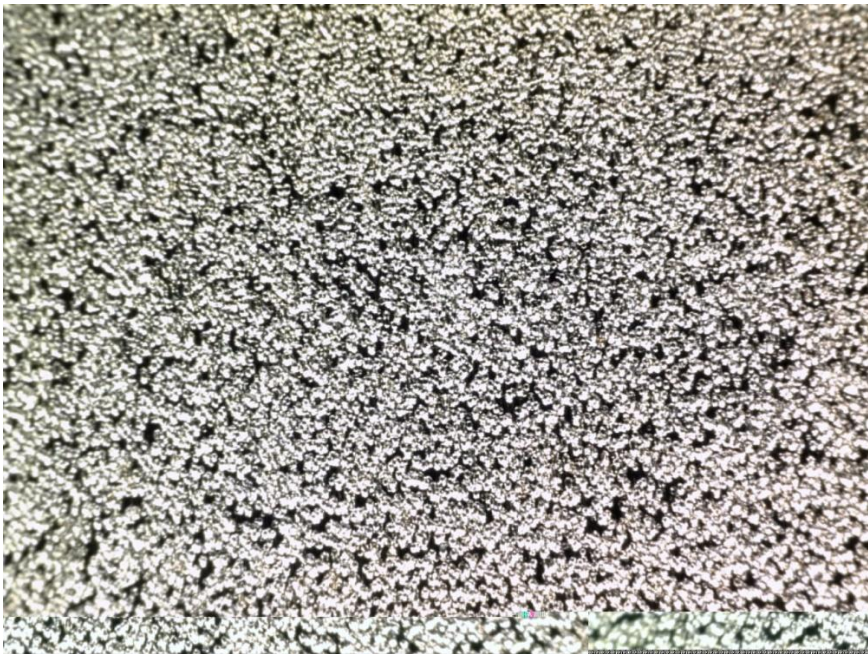
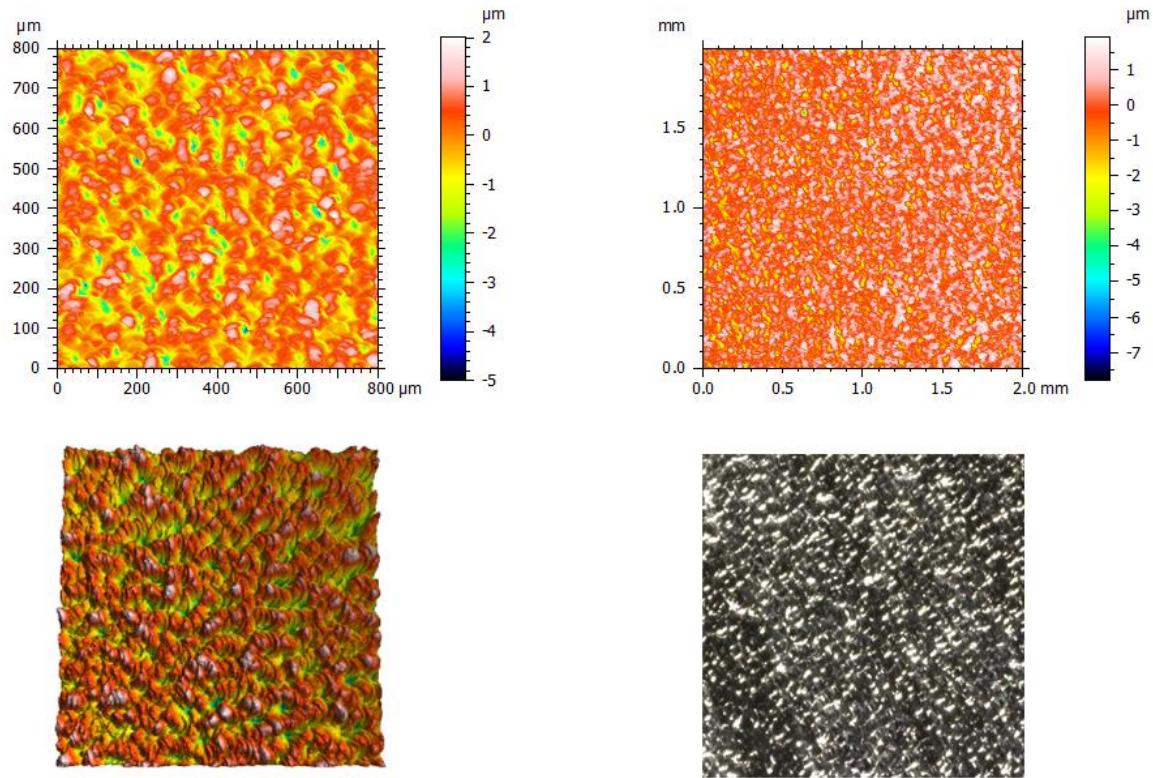


2. Optimal Anti-galling Parameters:

- **Surface Roughness (Ra):** Ideal range of 0.7 - 1.5 μm
- **Peak Count (Rpc):** Optimal range of 37 - 57 peaks/cm

Low Ra Surface

3D CONFOCAL MEASUREMENTS



Performance Limitations

- **Lower Parameter Ranges:**
- Reduced Ra combined with elevated Rpc creates disadvantageous conditions
- Results in valleys that are inadequately sized for:
 - * Lubricant retention
 - * Wear debris management during sliding contact

****Higher Parameter Ranges:****

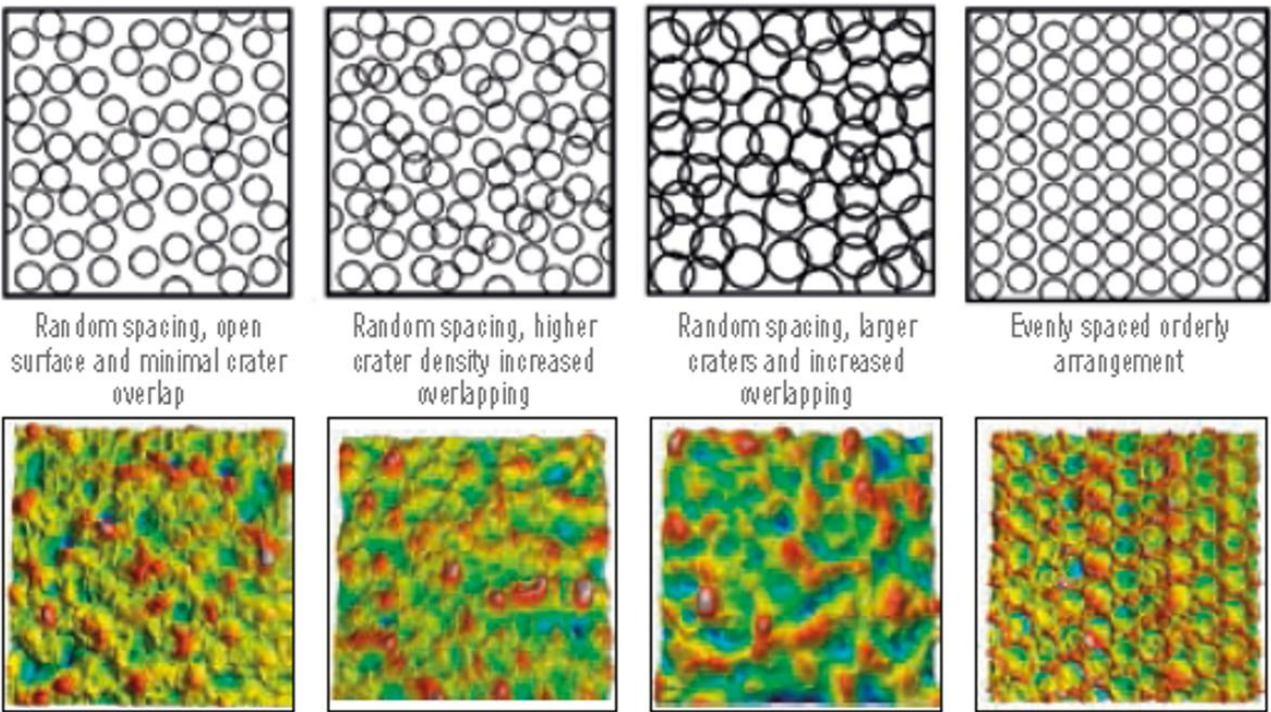
- Increased Ra with lower Rpc leads to:
 - * Elevated localized contact pressures
 - * Reduced contact points between sheet and tooling

Advanced Surface Engineering Considerations

Recent investigations have revealed additional critical factors:

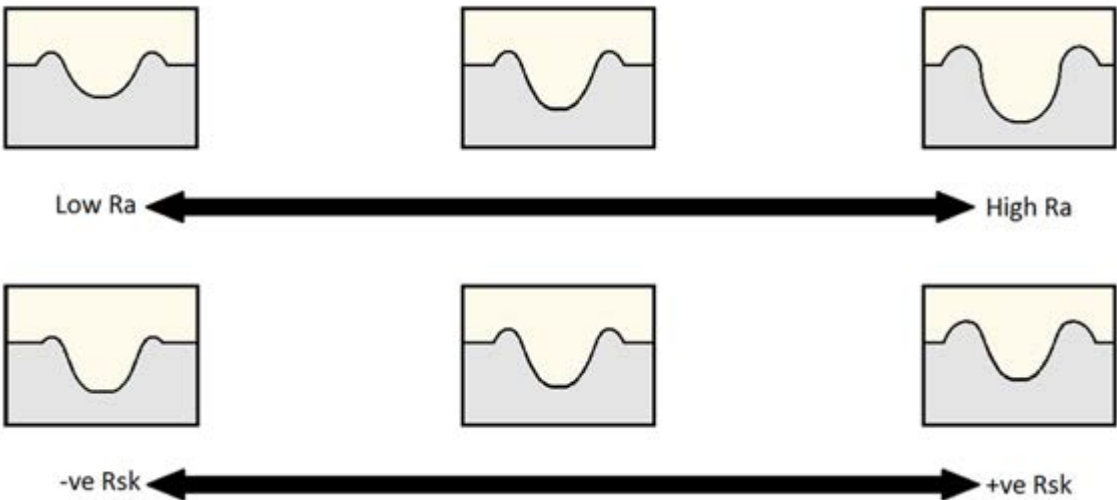
1. ****Valley Configuration:****

- "Open roughness" patterns are preferred
- Valleys serve dual functions:
 - * Oil reservoir capacity
 - * Wear particle evacuation channels



2. ****Surface Skewness:****

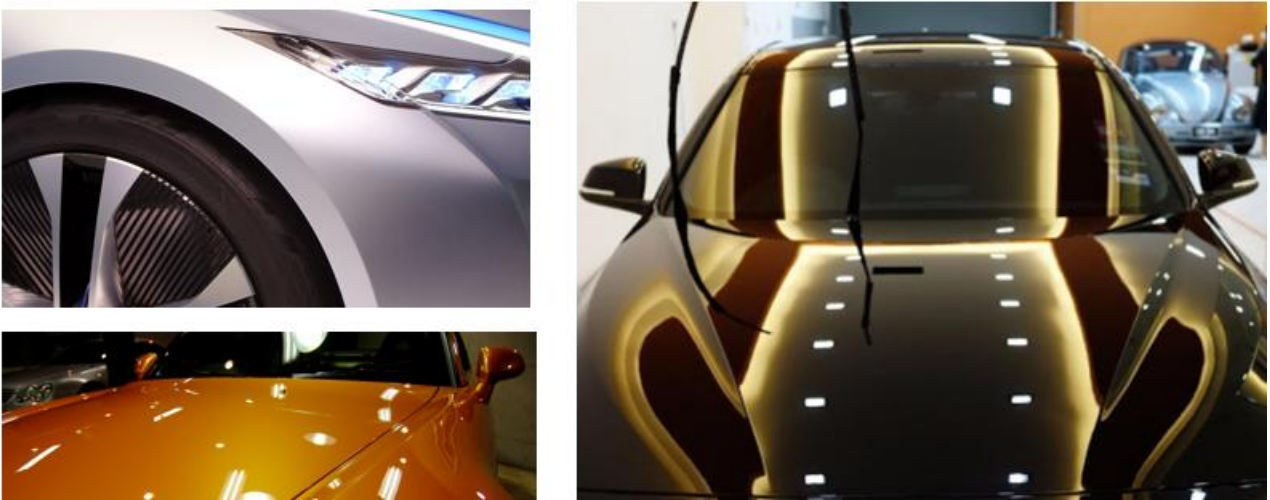
- Negative Rsk values are recommended for galling prevention
- Valley-to-plateau ratio optimization:
 - * Valley area should exceed plateau area
 - * Results in reduced bearing area
 - * Leads to decreased galling potential



Paint Appearance Factors

The final painted surface quality is determined by three primary characteristics:

- Gloss
- DOI (Distinctness of Image)
- Orange peel



Each of these quality indicators corresponds to specific wavelength components present in the rolled sheet's surface texture pattern.

Surface Texture Correlations

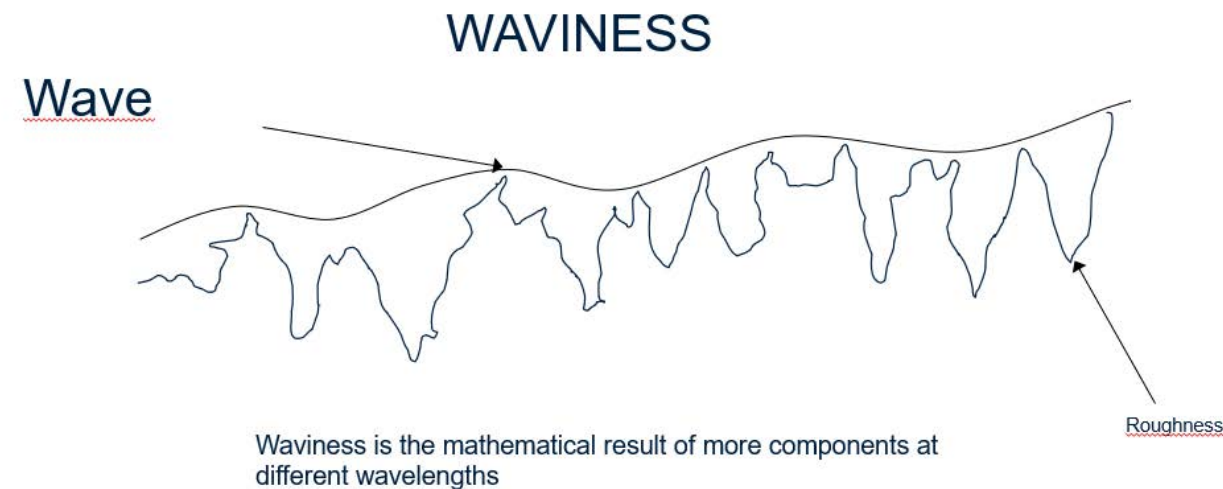
Research focusing on stochastic texturing methods, specifically:

- Shotblasting (SB)
- Electro-discharge Texturing (EDT)

Has established key relationships between surface parameters and paint appearance:

1. **Optimal Parameter Combinations:**
 - **Ra (Roughness average):** Approximately 0.75 μm

- **Rpc (Peak Count):** Approximately 74 peaks/cm These parameters have been shown to maximize image clarity with 50 μm paint film applications
- 2. **Multi-Parameter Considerations:** While Ra and Rpc are crucial factors, research indicates they are not sufficient alone to guarantee superior paint appearance. The introduction of **Waviness (Wa)** as an additional parameter has demonstrated strong correlation with final paint quality outcomes.



Surface Engineering Implications

This understanding suggests that optimal paint appearance requires a holistic approach to surface engineering, considering multiple parameters simultaneously rather than focusing on individual metrics in isolation.

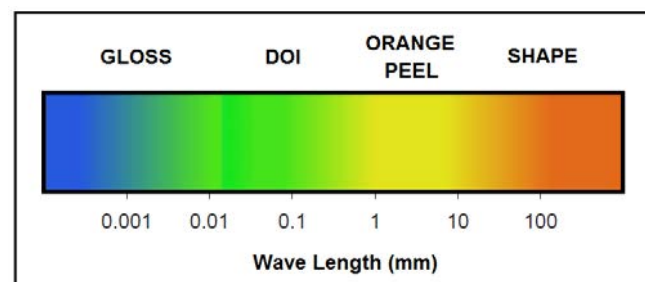


Figure 1: Surface Wave Length Components

Research Project Findings

Research from the waviness project revealed two primary influences on galvanized steel waviness:

1. Rolling force during skin passing operations
2. **Work roll waviness** characteristics

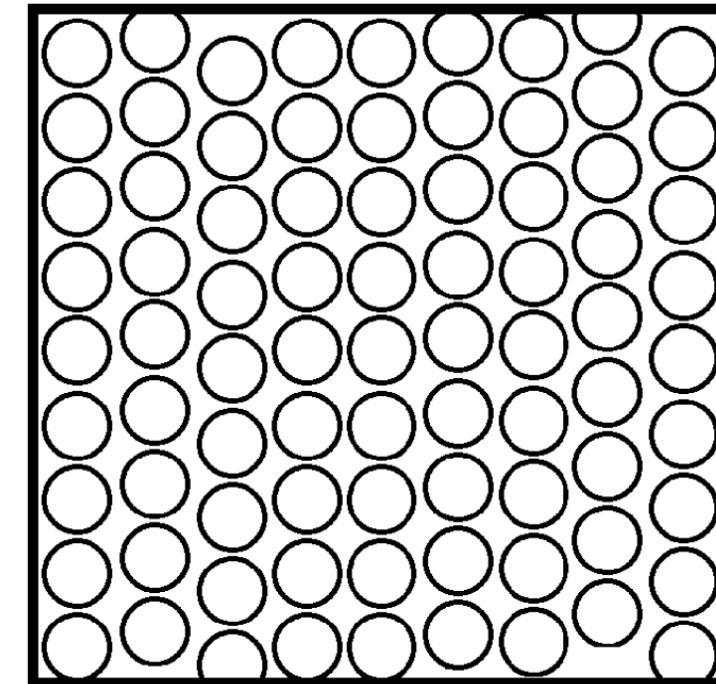
Given that rolling force typically remains constant for specific mill and product combinations, **the key opportunity for waviness reduction lies in work roll surface optimization.**

The research established that:

- Work roll Ra significantly impacts roll waviness
- Lower work roll roughness can achieve desired strip roughness while reducing waviness

- Automotive industry specifications require strip waviness amplitude between 0.35 μm - 0.45 μm

Deterministic Texture Patterns



Evenly spaced orderly arrangement

Analysis demonstrates several advantages over stochastic patterns:

Enhanced Performance Characteristics:

- Improved forming capabilities
- Superior painting outcomes
- Higher concentration of closed voids
- More uniform surface appearance

Key Benefits:

- Reduced orange peel effect
- Lower galling tendency
- Maintained friction coefficient through isolated lubrication pockets
- Consistent pocket geometry and distribution

Optimal Surface Profile Characteristics

Research indicates superior paint appearance is achieved through:

- Low waviness values
- Negative skewness parameters
- Less sensitivity to Ra and Rpc variations in deterministic patterns

These findings suggest deterministic texturing methods offer more robust and predictable performance compared to traditional stochastic approaches.

Surface Quality and Paint Performance Correlation

Recent research has challenged traditional parameter correlations, revealing that:

- Paint appearance quality correlates more strongly with **peak height variation** than with conventional Ra or Rpc measurements
- This finding represents a significant shift in understanding surface quality metrics

Comprehensive Testing Outcomes

Years of extensive testing has demonstrated the advantages of utilizing advanced texturing processes like Pomini Digital Texturing™, which offers precise independent control over multiple critical parameters:

- Roughness average (Ra)
- Peak Count (Rpc)
- Skewness (Rsk)
- Waviness (Wa)
- Closed void volume
- Texture matrix characteristics (deterministic/stochastic balance)

Pomini Digital Texturing™ Technology

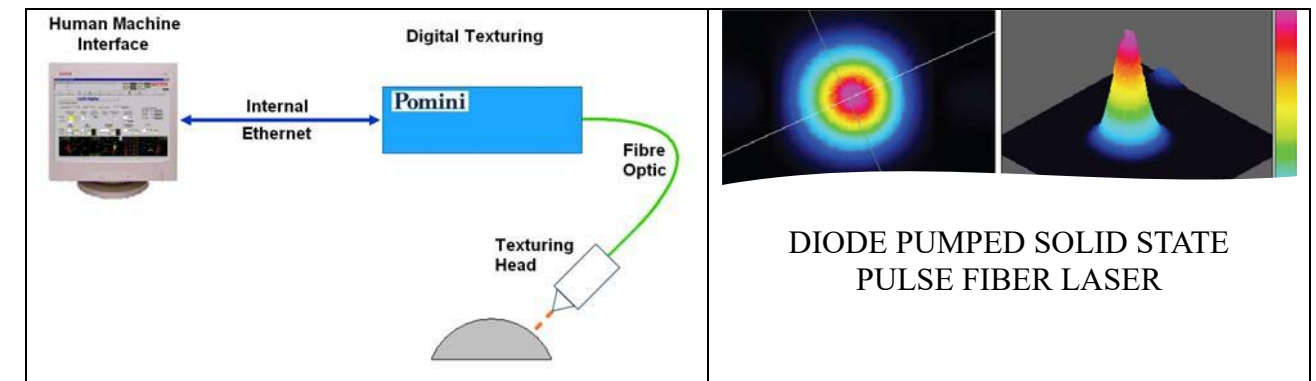
The PDT™ system represents a sophisticated integration of advanced software and hardware components. At its core, the system utilizes innovative software that generates precise texture matrices while controlling high-frequency laser operations with exceptional accuracy.

The technical architecture combines clean, efficient processing with continuous technological advancement through superior software control mechanisms.

The system's foundation rests on an industrial-grade high-frequency laser integrated with proprietary digital texturing control systems. This combination delivers enhanced accuracy and flexibility while maintaining exceptional reliability with minimal maintenance requirements.

The technology has demonstrated its robustness through extensive industrial applications, establishing a proven track record of consistent performance. The seamless integration between advanced texture matrix generation and precise laser control systems creates a highly efficient texturing process. This sophisticated approach enables the system to maintain consistent quality while adapting to varying production requirements, making it a versatile solution for modern manufacturing needs.

This technology represents a significant advancement in surface texturing capabilities, offering unprecedented control over surface characteristics.



Pomini Digital Texturing™ System

The PDT™ system employs sophisticated laser technology that generates high-quality beams with precise diameter control, delivering consistent performance through high-frequency operation.

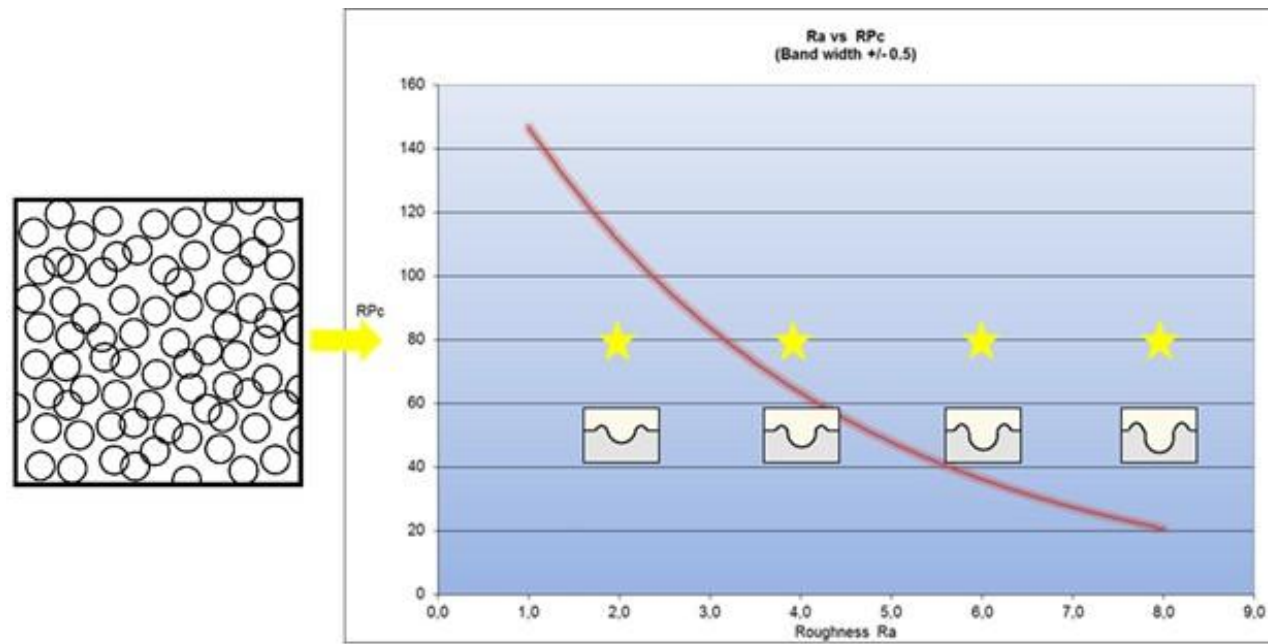
This advanced technology works in concert with computer-aided surface design software, which enables precise control over crater parameters including depth, diameter, shape, and peak proportion distribution.

A fundamental innovation of this system lies in its capability to independently adjust critical surface parameters such as Ra (Roughness average), Rpc (Peak Count), and Rsk (Skewness).

This independent control mechanism represents a significant advancement in surface engineering technology.

The system's remarkable versatility is evidenced by its ability to maintain consistent crater matrices while achieving roughness values ranging from 0.5 micron Ra. Through precise modification of crater depth and rim height, the system can maintain a fixed Rpc across various roughness levels. This sophisticated control over surface parameters enables unprecedented precision in surface texturing applications, offering manufacturers the flexibility to meet diverse production requirements while maintaining consistent quality standards.

This level of control represents a significant advancement in surface texturing technology, offering unprecedented precision in surface engineering applications.



PDT™ Ra controlled independent of R_{pc}

The Pomini Digital Texturing™ system employs sophisticated software-driven control to achieve precise manipulation of surface parameters, fundamentally enhancing both formability and paintability of rolled sheet materials.

The system's matrix control capabilities encompass both deterministic pattern generation and stochastic element integration, while maintaining optimal closed void distribution and valley-to-plateau ratios.

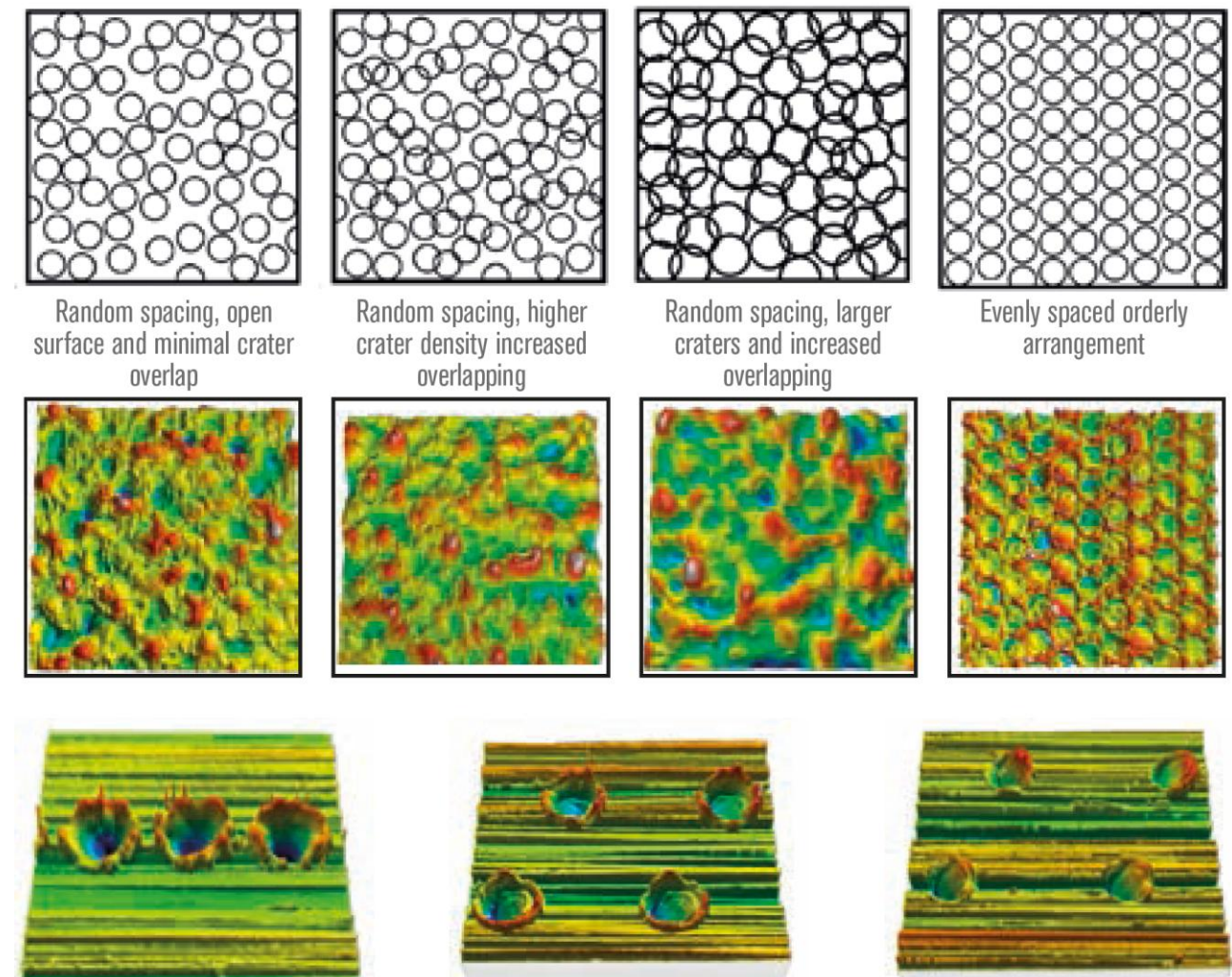
The process delivers exceptional parameter control with consistently reproducible results, enabling manufacturers to generate flexible patterns while maintaining independent adjustment of critical surface characteristics. This precise control translates into superior surface quality outcomes, manifesting in enhanced formability characteristics and improved paint appearance.

The technology's sophisticated approach to surface engineering also results in optimized lubrication retention and superior wear resistance. Through this comprehensive integration of advanced software control and precise parameter manipulation, the system achieves unprecedented levels of surface engineering capability, offering manufacturers the ability to meet increasingly demanding surface quality requirements while maintaining consistent production efficiency.

This software-driven approach represents a significant advancement in surface texturing technology, allowing manufacturers to achieve specific surface characteristics that previous research has identified as crucial for optimal performance in both forming operations and final painted appearance.

The system's ability to independently control multiple parameters while maintaining consistent quality makes it a powerful tool for meeting the diverse requirements of modern steel processing and automotive manufacturing applications.

Complete control of the **distance** between craters, by positioning (**random** or **deterministic**), defining the desired crater **overlap**



PDT™ Process Advantages

Key benefits of the Pomini Digital Texturing™ process include:

- **Superior texture transfer** to rolled sheet
- **Enhanced wear characteristics** of work rolls
- **Elimination of post-processing** requirements (unlike EDT process)
- **Broad peak formation** for improved performance

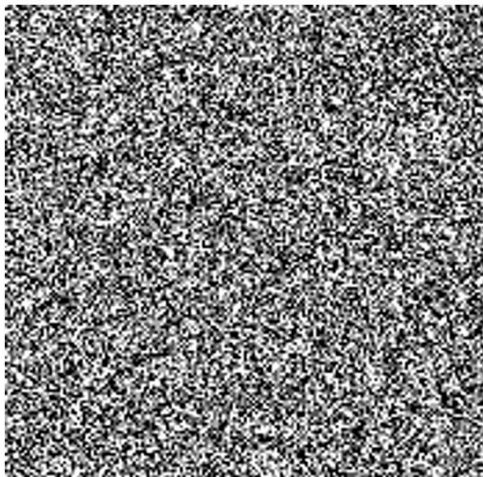
Surface Texture Versatility

The PDT™ process offers extensive flexibility in texture creation:

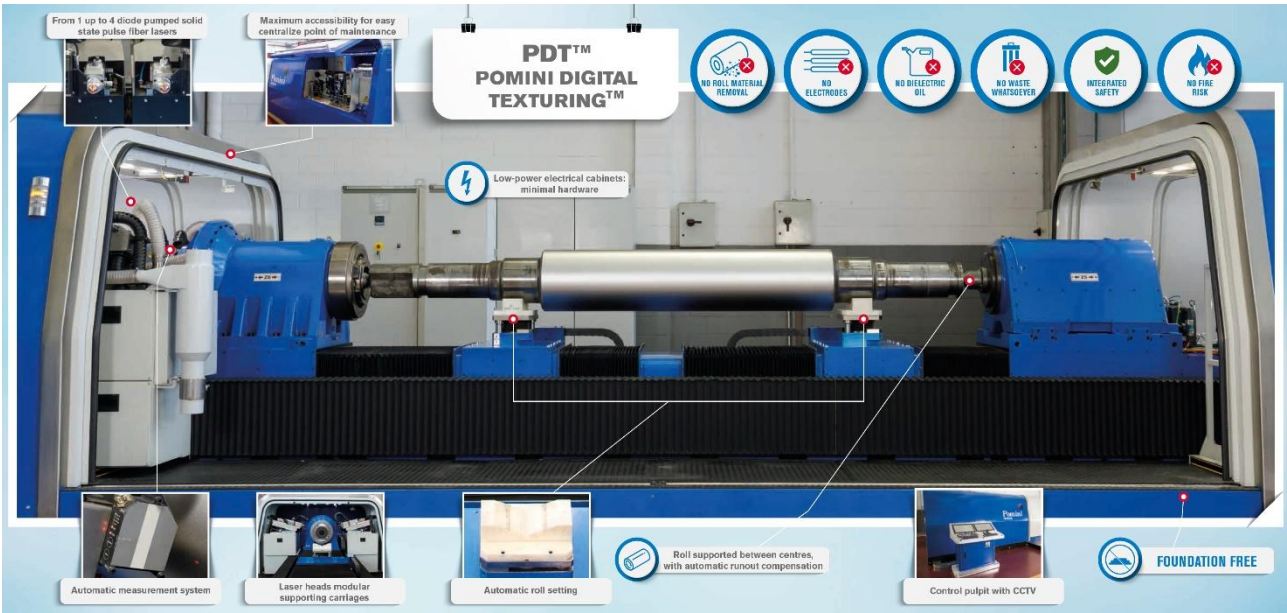
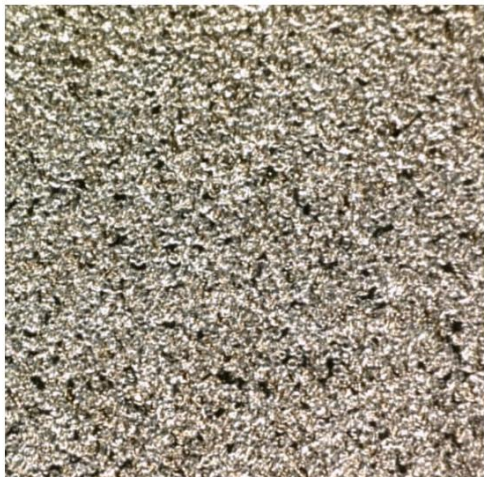
1. **Pattern Range:**
 - Deterministic to Stochastic patterns
 - Adjustable spacing parameters
 - "Open" or "Closed" surface capabilities
2. **EDT Replica with Improvements:**
 - Better Ra consistency
 - Enhanced Rpc transfer
 - Extended work roll life
 - Superior crater and rim definition
3. **Surface Characteristics:**
 - Random and isotropic crater arrangement
 - Controlled crater overlap
 - Discrete crater formation
 - Broad peak development
 - Positive skew values on roll surfaces
 - Uniform and consistent appearance
 -

This technology represents a significant advancement in surface texturing capabilities, offering unprecedented control and consistency in roll surface engineering.

Digital Simulation



Roll Texture



PDT™ Structure and Textured Roll

Superior Transfer Performance

The PDT™ texturing process demonstrates notable improvements in texture transfer characteristics:

- Exceptional Ra and Rpc transfer rates
- Near 1:1 Rpc transfer even in demanding applications:
 - 5th stand of Tandem Mill operations
 - Temper Rolling processes

Comparative Performance Analysis

When compared to post-processed EDT for uncoated material in 4 High temper mill applications:

- Achieves same strip Ra with 20% lower initial roll Ra
- Shows improved transfer rate stability
- Demonstrates reduced initial Ra drop

Stability Characteristics

The process exhibits superior stability patterns:

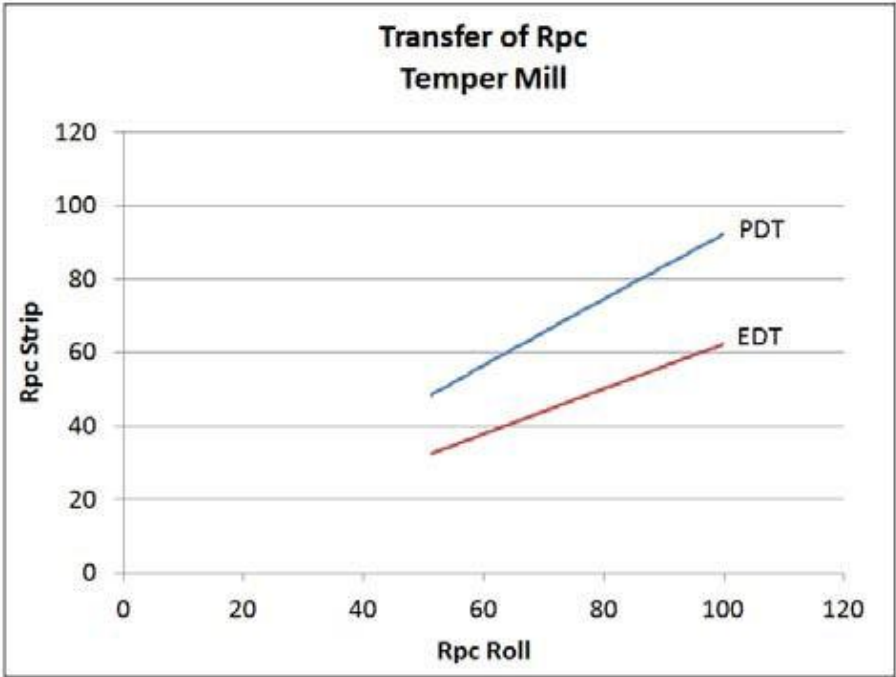
- Initial Ra drop occurs within first few meters
- Maintains consistent roughness throughout first coil
- Shows minimal variation between head, middle, and tail end measurements

Waviness and Paint Appearance

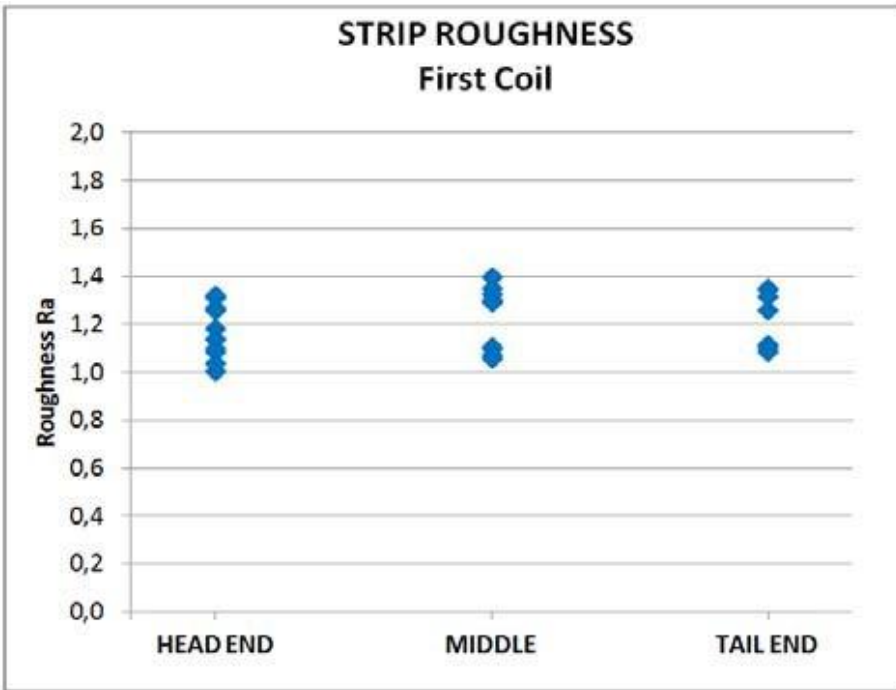
The process offers significant advantages for paint appearance:

- Lower roll Ra correlates to reduced rolled sheet waviness
- Enhanced transfer rates attributed to:
 - Positive skew characteristics
 - Greater peak uniformity on work roll surfaces

These improvements represent significant advancements in surface texturing technology, particularly for applications requiring precise surface finish control and consistent performance.



PDTTM Rpc Transfer



PDTTM Ra of first coil

The PDTTM process has demonstrated remarkable performance improvements across multiple applications.

In a key case study, the technology achieved nearly double the useable roll life compared to conventional texturing methods, while maintaining consistent negative skew on the rolled sheet

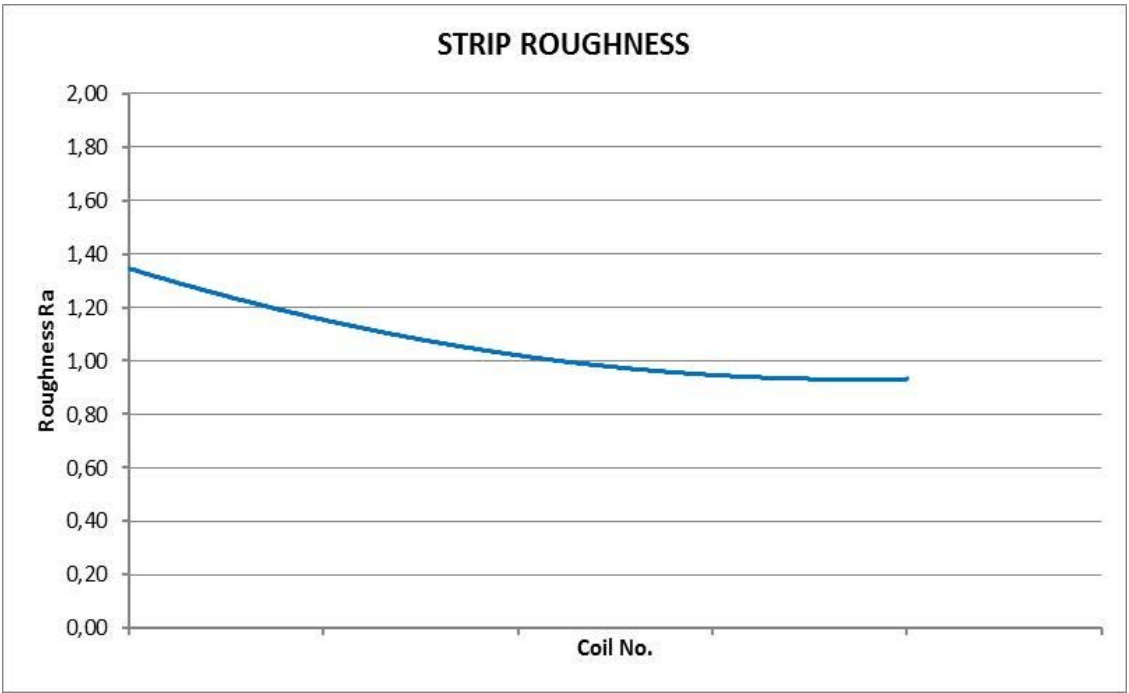
throughout its service life. This stands in marked contrast to EDT rolls, which typically produced positive skew on strip surfaces.

Surface quality saw significant enhancement, with quality inspectors consistently noting a distinctly "brighter" appearance compared to EDT-textured surfaces. The process created an increased presence of isolated surface pockets, leading to superior oil retention characteristics and notably reduced oil migration from coils.

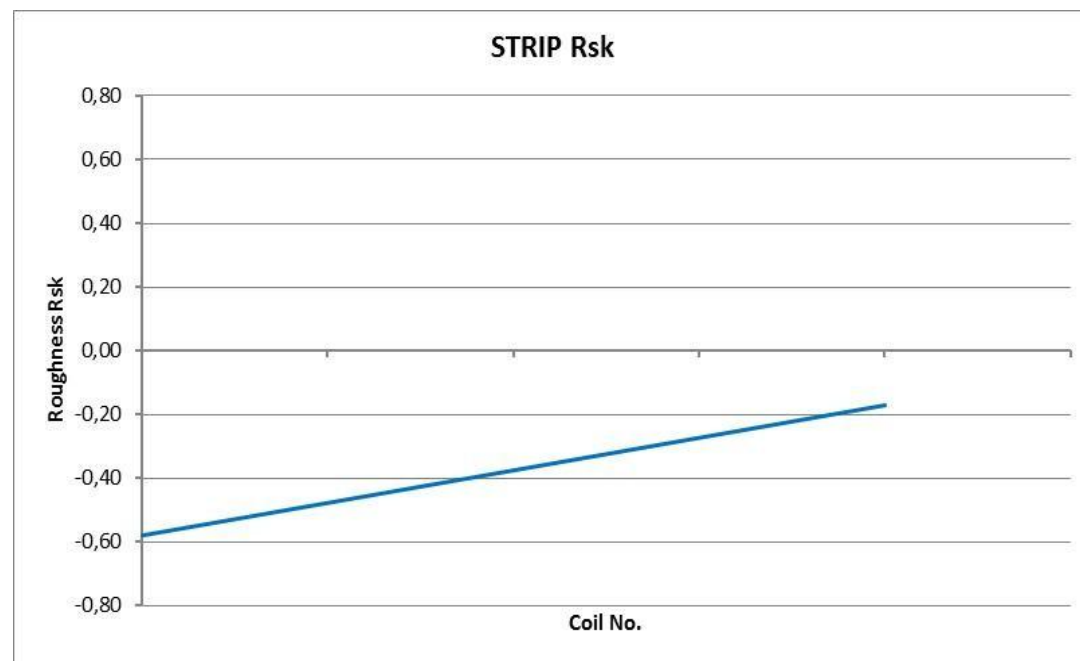
From a technical perspective, the process delivered exceptional results in maintaining Ra consistency while achieving and maintaining negative strip surface skew. The enhanced surface characteristics significantly improved lubrication retention, while the extended work roll service life contributed to overall operational efficiency.

These improvements translated into tangible customer benefits through improved surface consistency and enhanced quality control, ultimately resulting in fewer quality-related complaints and superior product performance. The technology's ability to simultaneously optimize multiple surface parameters while maintaining consistent quality represents a significant advancement in surface texturing capabilities.

These results demonstrate the PDTTM process's capability to deliver both improved operational efficiency and superior product quality compared to conventional EDT texturing methods.



PDTTM Ra evolution

*PDT™ Rsk evolution***Skewness Impact on Performance**

The research revealed important relationships between skewness and roll performance:

- Negative skew and increased bearing area traditionally improve roll life
- Roll wear progressively reduces positive skew, correlating with decreased wear rates

PDT™ Technology Breakthrough

The process achieved a significant technical advancement by resolving a long-standing contradiction:

- Conventional wisdom suggests negative roll skew improves roll life but produces undesirable positive strip skew
- PDT™ successfully produced negatively skewed strip surface while extending roll life
- This represents a major improvement over traditional texturing methods

Tandem Mill Performance

Specific improvements in 5th stand operations include:

- Ra reduction from 5.5 μm (EDT) to 4.5 μm (PDT™)
- Minimum 30% increase in useable roll life
- Perfect 1:1 Rpc transfer ratio
 - 55 peaks/cm on work roll produced equivalent strip surface characteristics

These results demonstrate PDT™'s ability to overcome traditional surface texturing limitations while delivering superior performance metrics across multiple parameters.

Future Trends in Surface Texturing

Current industry trends emphasize:

- Reduced Ra values
- Increased Rpc measurements
- Enhanced paint appearance optimization

Surface Type Performance Characteristics**Stochastic Surfaces:**

- Lower Ra and higher Rpc correlate with reduced waviness amplitude
- Improved paint appearance through waviness reduction

Deterministic Surfaces:

- Enhanced paint appearance through surface regularity
- More predictable performance characteristics

PDT™ Innovation Advantages

The technology offers unprecedented control capabilities:

- Independent parameter adjustment
- Precise surface characteristic optimization
- Application-specific customization
- Mill-specific texture optimization

The PDT™ process represents a significant advancement in surface texturing technology, opening new pathways for future development. The technology enables the creation of advanced surface textures with unprecedented control over surface characteristics. Through sophisticated engineering, the process achieves greater texture uniformity while optimizing closed void distribution and maintaining precise control over valley-to-plateau ratios.

Performance features show marked improvements, particularly in maintaining negative skew on rolled sheets while simultaneously reducing Ra without compromising formability. The system's ability to optimize Rpc for valley dimensions has resulted in minimized waviness, contributing significantly to superior paint appearance in finished products.

The process delivers exceptional accuracy and repeatability in industrial applications, while offering extensive customization possibilities through adjustable parameter combinations. This flexibility enables application-specific optimization, making the technology adaptable to diverse manufacturing requirements. The system's sophisticated approach to surface engineering represents a significant step forward in meeting increasingly demanding surface quality requirements while maintaining consistent production efficiency. This technology represents a significant advancement in surface texturing capabilities, offering unprecedented control over surface characteristics that were previously difficult or impossible to achieve consistently.

Historical research into textured work roll surfaces has traditionally focused on examining isolated surface parameters, with studies limited in both scope and application range. The inherent challenges of controlling stochastic surfaces led to significant sensitivity issues, particularly regarding Ra and Rpc variations

Traditional texturing methods struggled with fundamental constraints in surface engineering. The generation of irregular surface patterns, combined with high stochastic texture sensitivity, made consistent performance difficult to maintain. These processes offered limited parameter control, resulting in unpredictable surface characteristics. Development of PDT™ technology marks a revolutionary breakthrough in surface texturing capabilities. The system enables precise, simultaneous control over multiple surface parameters while optimizing irregularity degrees. This advancement has significantly enhanced both work roll performance and rolled sheet characteristics.

The technology's revolutionary control capabilities represent a fundamental shift in surface engineering. By enabling independent adjustment of multiple parameters while maintaining consistent surface characteristics, the system creates reproducible surface patterns with unprecedented precision This level of control allows for optimization of both work roll and rolled sheet performance, meeting increasingly demanding manufacturing requirements

This advancement marks a significant shift from historical limitations to comprehensive surface engineering capabilities, enabling more precise and reliable texturing solutions for modern manufacturing requirements.

Çeliklerin Soğuk Haddeme İşlemi Sırasında Merdane Yüzey Pürüzlülüğünün Önemi ve Uygun Taşlama Taşlarının Geliştirilmesi

Importance of the Roll Surface Roughness During Cold Rolling Process of Steel and Development of Suitable Grinding Wheels

C. GASPARD¹, D. CAVALIER¹, S. NATALICCHIO², A. COLLIN², B. OZEN²

¹Rolling Process Consulting (RPC) ²Saint-Gobain Surface Solutions Abrasives

Türkiye, Belgium, Italy

Anahtar Kelimeler: Demir, Çelik, Aşındırıcı, Taşlama, Merdane, Soğuk, Haddeme

Özet

Otomotiv uygulamalarında çelik levhaların soğuk haddeme işlemi sırasında, haddelenen levhanın kalitesi kademeli olarak bozulur; sürtünme ve yapışma sonucu, haddelenen levhanın yüzeyinde demir tanecikleri oluşur ve bu tanecikler levhaya yapışır. Levha yüzeyindeki bu kademeli bozunum, belirli bir haddeme süresinden sonra yönetilemez hale gelebilir ve haddenin iş merdanelerinin sökülmesi ve taşlanması için kapatılmasını gerektirebilir.

Taşlama işleminden sonra merdane yüzeyine yapılan altı değerlikli krom kaplama, haddeme sırasında şeridin kalitesini önemli ölçüde iyileştirir ve merdanelerin yeniden taşlama için sökülmeden daha uzun süre kullanılmasına olanak tanır. Bu, birçok soğuk haddeme fabrikasında kullanılan etkili bir tekniktir. Ancak çevre ve toplum sağlığıyla ilgili kısıtlamalar nedeniyle, bu yöntem giderek daha fazla sorgulanmakta ve yakın zamanda kabul edilemez hale gelmesi beklenmektedir.

Taşlama sonrası iş merdanelerinden elde edilen yüzey pürüzlülüğü ile altı değerlikli krom kaplama sonrasında elde edilen yüzey pürüzlülüğünün karşılaştırılması, haddeme sırasında levha bozunumu durumunun daha iyi anlaşılmasını sağlar: altı değerlikli krom kaplama işlemi ile elde edilen çok özel yüzey pürüzlülüğü topografisi, Stribeck eğrisinde tanımlandığı üzere karışık yağlama koşulları altında haddemeyi mümkün kılar. Bu yağlama prosesi levha/merdane sürtünme katsayısını en aza indirir, böylece emülsiyon filminde lokal kırılmaları ve bunun sonucunda haddelenmiş levhanın bozulmasını önler.

Yeni taşlama taşı teknolojileri, altı değerlikli krom kaplama ihtiyacını ortadan kaldırarak doğrudan merdane taşlama sırasında bu ideal yüzey pürüzlülüğü topografisini elde etmek için geliştirilmiştir.

Son yıllarda Saint-Gobain, yüksek emülsiyon bazı soğutulmuş ortamlarda kullanıma son derece dayanıklı yeni bağlayıcı maddeler sayesinde hem yüksek hem de düşük çalışma basınçlarında talaş kaldırma işleminde önemli sonuçlar elde edebilen yeni aşındırıcıların geliştirilmesi için büyük çaba sarf etmiştir.

Quantum Prime® gibi inovatif aşındırıcılar ve Vortex®, B74 veya VS3 gibi vitrifiye taşlar için geliştirilmiş yeni nesil bağlayıcılarla donatılmış yeni taşlama taşları, aynı zamanda inovatif yapılandırma tasarımları sayesinde, merdane profili gibi en zorlu gereksinimleri karşılamayı ve taşlama döngülerini önemli ölçüde kısaltmayı mümkün kılmıştır.

Bu teknolojiler, merdanelerde optimum yüzey pürüzlülüğü topografisi sağlar, haddemenin karışık yağlama ile yapılmasına izin verir, haddelenmiş levhanın kirlenmesini önler ve altı değerlikli krom kaplama ihtiyacını ortadan kaldırır.

Giriş

Otomotiv çelik levhaların soğuk haddelenmesi

Soğuk haddelenmiş sac levhanın yüzey kalitesi, özellikle hadde makinesinin altında yer alan modern bir kesintisiz ısıtma işlem ve soğuk şerit hattının olmadığı durumlarda, gözle görülebilen otomotiv parçaları açısından çok önemlidir.

Soğuk haddeme sırasında, haddelenmiş levha kalitesi giderek bozulur: levha yüzeyindeki yağ ve demir taneciklerinin karışımı yavaş yavaş levhaya yapışır.

Levha kalitesi, yansıtma özelliği kullanılarak soğuk laminasyondan sonra yani lamine şeride yapışkan bant uygulanarak ve ardından beyaz kağıda yapıştırılarak kontrol edilir: bu kağıt üzerine yansıyan bir ışık kaynağının fraksiyonunun ölçülmesi, levhanın kalite düzeyinin bir ölçüsüdür. Yansıyan ışık oranı ne kadar yüksekse, levha da o kadar temiz demektir. Soğuk haddeme sonrası tipik yansıtma değerleri, haddeme koşullarına ve haddelenmiş ürüne bağlı olarak %40 ila %80 arasındadır.

Taşlamadan sonra merdane yüzeyinin altı değerlikli kromla kaplanması, haddeme sırasında şeridin kalitesini önemli ölçüde artırır ve merdanelerin daha fazla taşlama prosesi için sökülmeden daha uzun süre kullanılmasına olanak tanır.

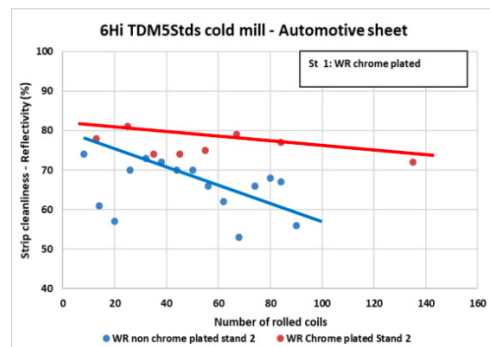
Bu, birçok soğuk haddeme fabrikasında kullanılan etkili bir tekniktir. Ancak Avrupa'daki çevresel ve toplum sağlığıyla ilgili kısıtlamalar nedeniyle, bu yöntem giderek daha fazla sorgulanmakta ve yakın zamanda kabul edilemez hale gelmesi beklenmektedir.

Bu çalışmanın amacı, sac levhadaki kirlilik sorununun kaynağını daha iyi anlamak ve soğuk haddeleme sırasında levhayı temiz tutmak için merdanelerin altı değerlikli sert krom kaplamasına teknik bir alternatif bulmaktır.

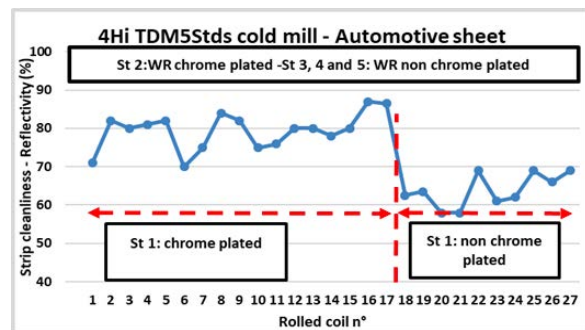
Krom kaplanan merdanenin haddelenmiş levhaların kalitesi üzerindeki etkisi

Şekil 1 ve 2, ilk iki standın (stand 1 ve stand 2) krom kaplı taşlama merdaneleri ve son üç standın (stand 3, 4 ve 5) krom kaplı olmayan taşlama merdaneleri kullandığı iki kesintisiz beş standlı tandem soğuk hadde makinelerinde ilk standlardaki iş merdanelerinin krom kaplamasının haddelenmiş levhanın kalitesi üzerindeki etkisini göstermektedir:

- Sexto 6 Hi beş ayaklı tandem soğuk hadde makinesi (şekil 1): 2. standda krom kaplamalı ve krom kaplamasız merdanelerle haddeleme sırasında şerit kalitesi ölçümleri.
- Quarto 4 Hi beş ayaklı tandem merdane (şekil 2): 1. ayakta krom kaplı ve krom kaplı olmayan merdanelerle haddeleme sırasında şerit kalitesi ölçümleri.



Şekil 1. Krom kaplı silindirlerle 2 Tandem 5 Sexto standında haddeleme yapılarak iyileştirilen şerit kalitesi

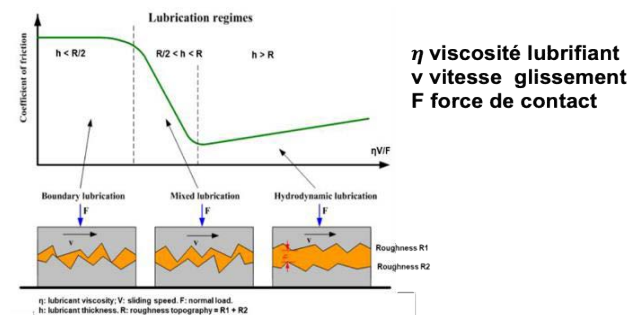


Şekil 2. Krom kaplamalı ve krom kaplamasız merdanelerin 1 Tandem 5 Quarto standlarda haddelenmesi ile levha kalitesinin iyileştirilmesi

İlk stantlardaki standart, krom kaplamasız dövme merdanelerde, haddelenen bobin sayısı ile birlikte levha kalitesi azalır. Bir Tandem soğuk hadde makinesinin 1. ve 2. standlarındaki iş merdanelerinin krom kaplaması, haddelenmiş levhanın kalitesini yaklaşık %10 / %15 oranında artırır ve daha uzun bir haddeleme sürecinde aynı kalite düzeyini korur.

**Sac levha kalitesinin bozulma mekanizmaları -
Stribeck eğrisi.**

Soğuk haddelendirme işlemi sırasında, yağlama yöntemi sürtünmeyi ve dolayısıyla haddelenmiş levha üzerindeki demir taneciklerinin oluşumunu kontrol eder. Tribolojide temel bir kavram olan Stribeck eğrisi, bir akışkan ile yağlanan temas halindeki iki cisim arasındaki sürtünme katsayısını tanımlar. Belirli bir yağlayıcı viskozitesi (η) ve normal yük (F) için Stribeck eğrisi, artan kayma hızı (V) ile sürtünmenin nasıl değiştiğini gösterir (Şekil 3).

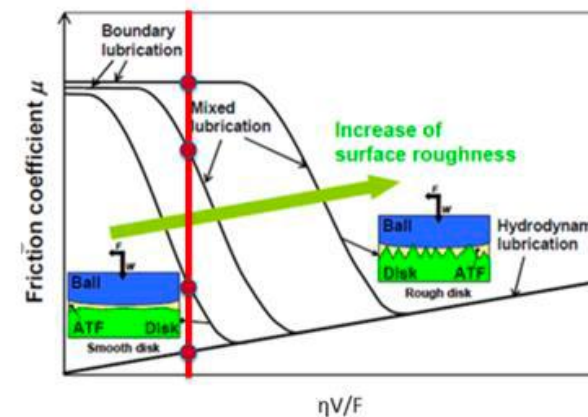


Şekil 3. Stribeck eğrisi: iki yağlanmış yüzey arasındaki sürtünme katsayısının evrimi

Stribeck eğrisinin tipik ilerleyişine dayanarak üç yağlama yöntemi tanımlanabilir (1, 2):

- ❖ *Sınırlı yağlama :*
İki gövdenin (silindir, levha) yüzeyleri doğrudan temas eder; haddeme kuvvetleri esas olarak yüksek sürtünmeye neden olan yüzey pürüzleri ile karşılaşır. Bu sistem düşük kayma hızı ve yüksek sürtünme ile karakterize edilir, bu da ciddi levha aşınmasına (yüksek levha kirliliği) ve tutukluklara (levha-silindir yapışması) yol açar.
- ❖ *Karışık yağlama :*
Yüzey pürüzlülükleri arasında bir miktar temas vardır; haddeme kuvvetleri hem yüzey pürüzlülükleri hem de sıvı yağlayıcılarla desteklenir. Bu modda sürtünme azalır ve levha yüzeyindeki aşınma en aza indirilir.
- ❖ *Hidrodinamik yağlama :*
Silindir ve levha arasındaki temas ihmal edilebilir düzeydedir; haddeme kuvvetleri esas olarak hidrodinamik basınç ile karşılaşır. Bu yöntem yüksek kayma hızı, çok düşük sürtünme ve ihmal edilebilir sac levha aşınması ile karakterize edilir.

İyi tanımlanmış bir yağlayıcı (viskozite η), aynı haddeleme kuvveti (F) ve kayma hızı (V) için, yani sabit bir $\eta V/F$ oranı için, temas halindeki iki cismin yüzeyinin pürüzlülük seviyesi R (R1 silindir pürüzlülüğü, R2 levha pürüzlülüğü, $R = R1 + R2$) yağlama yöntemi açısından önemli bir rol oynar (şekil 4) (3).

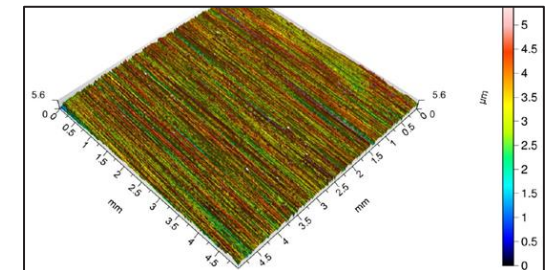


Şekil 4. Temas halindeki iki cismin yüzey pürüzlülüğünün Stribeck eğrisi üzerindeki etkisi.

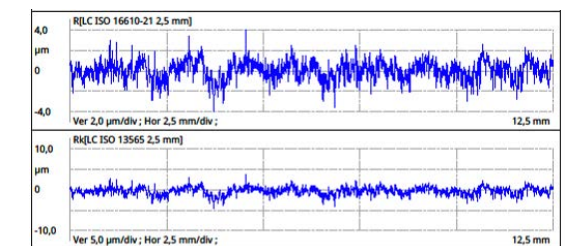
- Pürüzlülük seviyesi R çok düşüğe, sürtünme katsayısı minimum olur. Bu hidrodinamik yağlamadır ve sac levha ile silindirler arasında temas yoktur. Bu yöntemde, düşük sürtünme katsayısı, şeridin kalitesini ve yüzey görünümünü (kayma izleri) etkileyen bir sac levha kayma soruna yol açar.
- Düşük pürüzlülük R'de, sürtünme katsayısı hafifçe artar ancak emülsiyon filminin haddeleme boşluğunda iyi bir şekilde tutulmasına izin vermez. Bu durum, haddeleme aralığında daha fazla ısınmaya (optimum olmayan emülsiyon soğutması) ve emülsiyon özelliklerinin bozulmasına (çatlama ve emülsiyon viskozitesinde bozulma) yol açarak emülsiyon filminin kopmasına ve levhanın büyük ölçüde kirlenmesine neden olur.
- Orta pürüzlülükte bir R için, kendimizi orta sürtünme katsayısına sahip karışık yağlama yönteminde buluruz: levha üzerindeki yüzey aşınması orta düzeydedir ve levha üzerinde demir taneciklerinin oluşumu azdır.
- R pürüzlülüğü yüksek olduğunda, yöntem yüksek sürtünme katsayısı ile sınır yağlamaya yakındır: levha üzerinde yüzey aşınmasında bir artış olur, emülsiyon filminde lokal kırılmalar meydana gelir ve bu da haddelenmiş levha üzerinde lekelerin oluşmasına ve silindirler üzerinde yerel mikro bağların oluşmasına neden olur.
- R pürüzlülüğü çok yüksek olduğunda, sınır yağlaması gerçekleşir ve bu da maksimum sürtünme katsayısı ile sonuçlanır. Bu durum, sac levhada önemli ölçüde yüzey aşınmasına yol açmakta, demir taneciklerinin oluşmasına ve sac levhanın silindirlerle yapışmasına neden olmaktadır.

Bu nedenle, soğuk haddeleme sırasında haddelenmiş şeridin kalitesi büyük ölçüde iş merdanelerinin ve haddelenmiş levhanın yüzey topografisine ve ilk etapta ortalama yüzey pürüzlülüğü R seviyelerine bağlıdır. İş merdanelerinin pürüzlülük seviyesi, soğuk haddeleme işleminden önce merdane tezgahının krom kaplamasıyla takip edilen veya edilmeyen taslama ile elde edilir.

Ortalama pürüzlülük seviyesine ek olarak, yüzey pürüzlülüğü topografisi sürtünme katsayısını ve dolayısıyla haddelenmiş levhanın kalitesini büyük ölçüde etkiler (4, 5). Bu topografi, ISO 4287'ye göre 2D profilde bir pürüzlülük ölçer kullanılarak (şekil 5) veya bir silindiri üzerine bir baskı alınarak ve ISO 25178'e göre laboratuvar interferometrisi kullanılarak 3D yüzey analiz edilerek ölçülür (şekil 6).



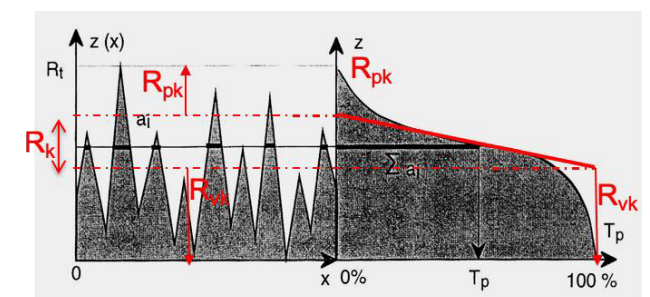
Şekil 5. Silindir üzerinde 2D pürüzlülük profili.



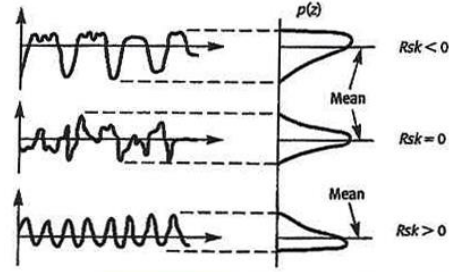
Şekil 6. Silindir üzerinde 3D pürüzlülük topografisi

Sürtünme katsayısını etkileyen ana fonksiyonel pürüzlülük parametreleri veya Kurtosis parametreleri Abbott-Firestone eğrisinden belirlenir (Şekil 7):

- Ra (Sa): mikron cinsinden 2D profilin (R) veya 3D yüzeyin (S) ortalama pürüzlülüğü.
- Rk (Sk): mikron cinsinden pürüzlülüğün taşıma kapasitesi veya taşıma alanı.
- Rpk (Spk): profil üzerindeki pik noktalarının yüksekliği veya mikron cinsinden pürüzlülük taşıma alanı.
- Rvk (Svk): profilin altındaki çukur derinliği veya mikron cinsinden pürüzlülük taşıyan alan.
- Rsk (Ssk): profil veya yüzeyin çarpıklığı. Negatif çarpıklık, çukurların baskın olduğu bir düzlük yüzeyini gösterir; pozitif çarpıklık ise piklerin baskın olduğu bir yüzeyi karakterize eder. (Şekil 8)



Şekil 7. Abbott-Firestone eğrisi



Şekil 8. Asimetri veya Çarpıklık Rsk

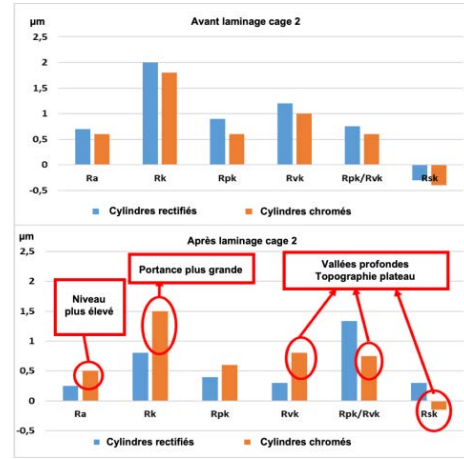
Soğuk haddeleme sırasında, pik bölgesi haddelenmiş şerit üzerinde bir aşındırıcı görevi görür, demir tanecikler oluşturur ve kademeli olarak aşınır (Rpk, Spk); taşıma bölgesi (Rk, Sk) yükü destekler ve bu nedenle pürüzlülüğün az ya da çok hızlı aşınmasını etkiler; çukur bölgesi (Rvk, Svk) bir yağlayıcı rezervuarı görevi görür.

Bu nedenle, belirli bir silindir pürüzlülüğü Ra (Sa) için, silindirin yüzey topografisini taşıma yoluyla değiştirerek haddeleme sırasında sürtünme katsayısını azaltmak mümkündür:

- Temas basıncını ve dolayısıyla sürtünme katsayısını azaltmak için mümkün olan en yüksek pürüzlülüğe sahip taşıma yüzeyi (Rk, Sk).
- Çukur derinliğinden (Rvk, Svk) daha düşük bir pik yüksekliği (Rpk, Spk), yani Rpk/Rvk, Spk/Svk oranı l'den düşük ve haddeleme boşluğunda yeterli yağlayıcı depolanmasını sağlamak için mümkün olduğunca düşük.
- Düzlük topografisini elde etmek için mümkün olduğunca negatif asimetri veya çarpıklık (Rsk, Ssk).

Merdane tezgahının yüzeyinde uygun bir taşıma taşıyla veya başka bir tekstüre işlemi ile elde edilen bu özel pürüzlülük topografisi, sürtünme katsayısını en aza indirmeli ve karışık yağlama altında haddelemeyi mümkün kılmalı, böylece haddelenmiş şerit üzerinde demir taneciklerini ve lekelerin oluşmasını önlemelidir.

Şekil 9, organik bir taşla 0,6/0,7 µm'lik belirli bir ortalama Ra pürüzlülüğünde taşlanmış standart merdanelerin pürüzlülük topografisini ve aynı taşla aynı Ra seviyesinde taşlanmış ancak krom kaplanmış aynı merdaneleri karşılaştırmaktadır. Merdaneler daha sonra 5 ayaklı tandem hadde makinesinin 2. standında kullanılmıştır.



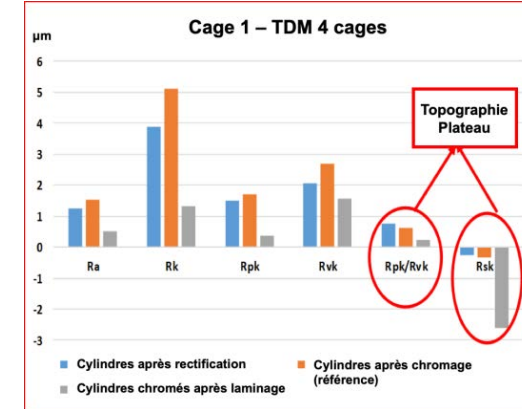
Şekil 9. Beş ayaklı bir tandem hadde makinesinin 2. standında pürüzlülük topografisinin evrimi

Standart merdanelerin organik bir taşıma taşı ile 0,6/0,7 µm'lik belirli bir ortalama Ra pürüzlülüğüne taşlanması, negatif çarpıklık ile l'den küçük bir Rpk/Rvk oranı üretir. Haddeleme öncesi krom kaplama işlemi, taşıma ile elde edilen pürüzlülük topografisi çok az değiştirmektedir. Bununla birlikte, aynı Rvk çukur derinliğini korurken Rpk pik yüksekliğinde hafif bir kırılma vardır: bu, Rpk/Rvk oranında bir azalmaya ve sonuç olarak negatif çarpıklıkta hafif bir artışa neden olur.

Stand 2'de haddeleme sırasında, standart taşlanmış ve krom kaplamasız merdaneler ortalama pürüzlülüklerini (Ra) hızla kaybeder, önemli bir pik kırılması (Rpk) ve aynı zamanda çukur derinliğinde (Rvk) önemli bir azalma olur, bu da Rpk/Rvk oranının l'den büyük olmasına ve profil asimetrisinin düzlük profilinden (negatif Rsk) pik profiline (pozitif Rsk) değişmesine neden olur. Bu durum, krom kaplamasız merdanelerle 2. standda haddeleme yapılırken hadde çıkışındaki plakada oldukça hızlı bir şekilde gözlenen demir taneciklerin yoğun kirlilik oranını açıklamaktadır. Stand 2'de standart taşlanmış ve krom kaplanmış silindirlerle haddeleme sac levhayı kirlilemez. Haddeleme işleminin sonunda, ortalama pürüzlülük Ra, taşıma kapasitesi Rk, pik yüksekliği Rpk ve çukur derinliği Rvk gibi hafifçe azalmıştır. Bununla birlikte, çukur derinliği pik yüksekliğinden daha fazla kalmaktadır (Rpk/Rvk oranı l'den az) ve asimetri (Çarpıklık) Rsk negatif kalmaktadır, bu da derin çukurlara sahip bir düzlük topografisini desteklemektedir. Bu topografi, haddeleme alanında daha düşük bir sürtünme katsayısı ve haddeleme işlemi sırasında levha kirliliği olmaması anlamına gelir. Buna ek olarak, krom kaplı merdanelerle haddeleme yapıldığında pürüzlülüğün aşınması önemli ölçüde daha yavaştır ve krom kaplı olmayan taşlanmış merdanelere göre daha uzun haddeleme işlemlerine olanak sağlar.

Şekil 10, krom kaplama işleminden önce ve sonra ortalama 0,98 ± 0,13 µm Ra pürüzlülüğünde organik bir taşıma taşı ile taşlanmış standart merdanelerin pürüzlülük topografisinin gelişimini karşılaştırmaktadır. Yüksek pürüzlülük seviyesi Ra, bu merdanelerin dört

ayaklı tandem merdanelerin 1. standında kullanımına yönelik pürüzlülük spesifikasyonuna karşılık gelmektedir. Bu yüksek pürüzlülük seviyesi için, krom kaplama işlemi ortalama pürüzlülüğü Ra ve pürüzlülük taşıma kapasitesini Rk büyük ölçüde artırırken, çukur derinliğini Rvk artırır ve düzlüklerin daha iyi bir topografisini teşvik eder (Rpk / Rvk < 1 oranında azalma ve daha negatif çarpıklık faktörü).



Şekil 10. Krom kaplamadan sonra ve 4 ayaklı Tandem merdanelerin 1. standında haddelemeden sonra taşlanması

Dört ayaklı tandem merdanelerin 1. standında bu krom kaplı merdanelerle yapılan tüm haddeleme işleminden sonra, Rpk piklerinin yüksekliği önemli ölçüde azalırken, Rvk çukurları yağlayıcıyı haddeleme boşluğunda hapsedecek kadar derin kalmıştır. Asimetri (çarpıklık) faktörü Rsk'nin fazla negatif hale gelmesi, haddeleme işlemi sırasında düzlük topografisinin giderek daha baskın hale geldiğini ve düşük sürtünme katsayısı ile haddeleme boşluğunda sürekli yağlama sağladığını, bu da tüm haddeleme işleminin demir tanecikler oluşmadan ve haddelenmiş levhanın kalitesinde bozulma olmadan tamamlanmasını sağladığını göstermektedir.

Taşıma ile belirli bir pürüzlülük topografisi elde etme

Kesintisiz tandem soğuk hadde makinelerinin ilk standlarında kullanılan merdanelerin altı değerlikli sert krom kaplamasına gerek kalmadan haddelenmiş levhanın kirlenmesini önleyecek belirli bir merdane pürüzlülüğü topografisi elde etmek için farklı tipte taşıma taşları ile taşıma testleri yapılmıştır. Amaç, aşağıda hedeflenenleri başarabilen bir taşıma taşı geliştirmektir:

- Her türlü dövme silindiri (%3Cr'den HSS'ye kadar) vuruntu, taşıma izi ve yırtık gibi taşıma kusurları olmadan taşıma yapmak.
- Soğuk haddeleme tezgahlarında genellikle kullanılan Ra pürüzlülük aralığının tamamını aynı taşıma taşı ile elde etmek, yani standa bağlı olarak 0,4 ila 1,2 µm'lik bir Ra.
- Makine tipinden bağımsız olma (Çok yönlü taşıma kabiliyeti).

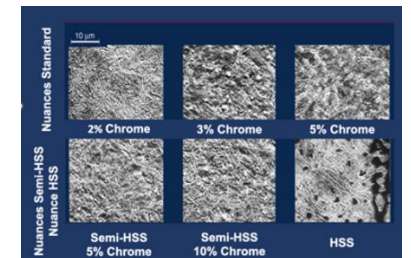
- Krom kaplı silindirlerin yüzey topografisine benzer yüzey pürüzlülüğü topografisi elde etmek, örn:
 1. Çukur derinliği Rvk (Svk) pik yüksekliği Rpk'den (Spk) büyüktür, yani Rpk/Rvk (Spk/Svk) < 1
- Güçlü negatif pürüzlülük asimetrisi (Çarpıklık) Rsk (Ssk)

Bu özel pürüzlülük düzlüğü topografisi, sürekli yağlama sağlamak için pürüzlülük çukurlarında yeterince yağlayıcı depolanmasına izin vermeli, böylece demir taneciklerin oluşumunu önlemek için haddeleme boşluğundaki sürtünme katsayısını düşürmelidir.

Soğuk redüksiyonlu haddelemelerde kullanılan iş merdanesi türleri

Soğuk haddeleme için kullanılan standart iş merdaneleri genellikle %3 ila 5 krom ve molibden ve vanadyum gibi diğer karbonlama elementlerinin düşük ilavelerine (%0,5'in altındaki içerikler) sahip dövme takım çeliği kaliteleridir. Bu silindirlerin mikroyapısı (Şekil 11), 750 ila 850 Vickers (HV) sertliğe ulaşmak için düşük ve orta sıcaklıklarda (250°C'nin altında) temperlenen martenzitten oluşur ve yapılan temperleme türüne bağlı olarak %5 ila %10 arasında kalıntı östenit içerir. Mikroyapı ayrıca matris içinde ince bir şekilde dağılmış, yüksek sertliklere (1000-1800 HV) sahip karbürler içerir. İçeriklerine bağlı olarak, bu karbürler haddeleme sırasında merdane pürüzlülüğünün aşınma direncine katkıda bulunur. Bununla birlikte, hem taşlanmış hem de taşlanmamış standart %5 krom merdaneler, çok hızlı pürüzlülük kaybı nedeniyle standart krom kaplı merdanelerinkiyle karşılaştırılabilir haddeleme işlemi uzunluklarına ulaşamaz (Tablo 1).

Son yıllarda, şerit kopması gibi haddeleme olaylarına karşı direnci artırmak ve haddeleme sırasında pürüzlülüğün korunmasını iyileştirmek için yeni dövme merdane türleri geliştirilmiştir (6, 7). Bu dövme yarı HSS merdaneler %5 ila %10 arasında yüksek krom içeriğine ve diğer karbürjenik katkı elementleri Molibden + Vanadyuma (toplam katkı elementleri %1,5'ten az) sahiptir. Bu merdanelerin mikroyapısı, yüksek sıcaklıkta temperlenmiş martenzit ve çok düşük seviyede kalıntı östenitten oluşur ve maksimum matris sertliği 780 Vickers'tır. Bu merdanelerin mikroyapısı ayrıca krom içeriğinin bir fonksiyonu olarak standart %5 krom silindirlere göre daha yüksek karbür içeriği ve daha sert Mo2C (2000 Vickers) karbürler içerir. Bu nedenle merdaneler, haddeleme sırasında standart %5 krom merdanelere göre daha fazla pürüzlülük tutma özelliğine sahiptir ve taşlanabilirlikleri daha zordur (Şekil 11 ve Tablo 1).



Şekil 11. Soğuk hadde makineleri için farklı sınıflardaki merdanelerin mikroyapıları.

Kesintisiz Tandem ve ters çevrilebilir Quarto soğuk hadde makinelerinde, standart krom kaplı merdanelerle en az aynı işlem uzunluklarını korurken iş merdanelerinde krom kaplama ihtiyacını ortadan kaldıran yeni nesil dövme HSS merdaneler kullanılmaya başlanmıştır. Bu merdaneler otomotiv çelik sacı, AHSS yüksek mukavemetli çelik sac, teneke ve silikon çeliği gibi çeşitli ürünleri haddelemek için kullanılır (8, 9). Bu silindirler şerit kopması, yapışma veya işaretleme gibi haddeleme olaylarının neden olduğu hasarlara karşı oldukça dayanıklıdır ve özel mikro yapıları sayesinde, soğuk haddeleme gerilimleri altında pürüzlülüklerini çok iyi korurken standart krom kaplı merdanelerinkine eşdeğer işlem uzunluklarına ulaşmalarını sağlar. Bu tür dövme HSS merdanelerin taşlanabilirliği, içeriğindeki sert karbürler nedeniyle zayıftır. Normal (geleneksel) organik taşlama taşları, yırtıklar ve taşlama izleri gibi taşlama kusurları olmadan dövme HSS silindirleri taşılayamaz (tablo 1).

Dövme Çelik	Karbürler			Tekdüze Pürüzlülük	Uygunluk Düzeltme
	İçeri k (%)	Tip M = (Cr Mo Fe)	Sertlik Vickers (HV)		
Standart %3 Cr	<%2	M ₃ C + M ₂₃ C ₆	1000 1500	★	★★★
Standart %5 Cr	%3-4	M ₂₃ C ₆ + M ₇ C ₃	1000 1800	★★	★★★
Yarı HSS %5 Cr	%4-6	M ₂₃ C ₆ + M ₇ C ₃ + Mo ₂ C	1000 2000	★★★	★★★
Yarı HSS %10 Cr	%6-8	M ₇ C ₃ + Mo ₂ C	1500 2000	★★★	★★
HSS	%8-10	M ₇ C ₃ + Mo ₂ C + VC	1500 3000	★★★	★

Tablo 1. Karbür tipinin aşınma direnci, pürüzlülük ve taşlanabilirlik üzerindeki etkisi.

Yeni taşlama taşlarının geliştirilmesi

Taşlama taşlarının aşındırıcı özellikleri veya yapıları; aşındırıcı tane, bağlayıcı ve aşındırıcı taneler arasındaki gözeneklilik ile belirlenir.

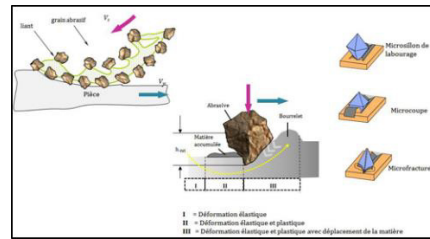
- Aşındırıcı, kesim için kullanılan sert malzemedir. Taşlama taşında farklı tipte aşındırıcı taneler kullanılır: alüminyum oksit (Al₂O₃) ve silisyum karbür (SiC). Aşındırıcı tanelerin türü, boyutu ve sertliği, taşlanacak merdane niteliklerine ve taşlama sonucunda elde edilecek yüzey pürüzlülüğü topografisine göre seçilir.
- Bağlayıcı, aşındırıcı taneleri bir arada tutan bağlayıcı malzemedir. Bu bağlayıcı, taşlama taşının sertlik, termal iletkenlik, mekanik mukavemet ve termal direnç gibi genel özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Resinoid (Organik), vitrifiye veya

metalik kökenli olabilir. Resinoid bağlayıcılar merdane taşlama için en yaygın kullanılanlardır. Resinoid taşlar; iyi bir ısı iletliğine, yüksek elastikiyete ve titreşimleri emme kapasitesine sahiptir. Bu da yüksek hızlarda taşlama işlemlerini gerçekleştirmesini sağlar.

- Gözeneklilik, taneler ve bağlayıcı arasındaki hava gözeneklerinden oluşur. Bu hava gözenekleri, temas arayüzünde soğutma sıvısını tutmak ve taşlama sırasında talaş oluşumuna alan sağlamak için gereklidir.

Şekil 12, merdane taşlama işlemi sırasında taşlama taşının hareketini açıklamaktadır. Taşlama işlemi sırasında, taşlama taşının her bir aşındırıcı tanesi mikro-talaşları keserek silindirden uzaklaştırır:

- Aşındırıcı tanenin keskin kenarları yoksa ve penetrasyonu azsa; aşındırma, malzemeyi kaldırmadan elastik ve plastik deformasyondan oluşacaktır. Malzeme plastik olarak geri itilir ve tanenin etrafında ön ve yan boncuklar oluşur; silindir yüzeyinde bu şekilde oluşan ize sürme mikro oluğu denir.
- Aşındırıcı tanecik iyi nüfuz etmişse, ilerleme yönüne göre uygun şekilde yönlendirilmiş keskin açılar sunuyorsa ve kuvvetler malzemeyi silindirden kesmek ve talaşa dönüştürmek için yeterliyse; aşındırma bir kesme işlemine benzeyecek ve bırakılan iz bir mikro kesme çiziyi olarak tanımlanacaktır. (10)



Şekil 12. Taşlama işlemi sırasında taşlama taşının

Tanecikler aşındıkça, iş parçasına nüfuz etmesini sağlamak için daha fazla çaba gerekir; tanecikler üzerinde artan stres, taneciğin yarılmasına veya yırtılmasına yol açar. Bu durum, yeni keskin aşındırıcı kenarlarının ortaya çıkmasına ve merdaneden sürtünme aşınma yoluyla talaş kaldırılmasıyla sonuçlanır.

Son yıllarda Saint-Gobain, yüksek baziklik emülsiyonları ile soğutulmuş ortamlarda kullanıma son derece dayanıklı yeni bağlayıcılar kullanarak hem yüksek hem de düşük çalışma basınçlarında malzeme kaldırmada önemli sonuçlar elde edebilen yeni aşındırıcılar geliştirmiştir (11).

Al₂O₃ seramiğinin Quantum mikrokristali olan her bir aşındırıcı tane, taşlama sırasında micro-kırılımı (ufalanabilirlik) önemli ölçüde artıran değiştirilmiş

kimyasal analizlere sahip çok ince mikroyapılara sahiptir.

En yeni nesil, inovatif Quantum Prime® aşındırıcı tanelere sahip organik Vortex®, B36 ve B74 ile Vitrium® (VS3) vitrifiye bağlayıcılarla donatılmış bu yeni taşlar; farklı gözenek yapılarına mücade etmeleri dolayısı ile hedeflenen yüzey kalitesi, pürüzlülük topografisi ve üretkenlik beklentilerini karşılayarak, en katı taşlama gereksinimlerine tek taş ile ulaşmayı sağlar.

Tablo 2, 0,3 ila 1,2 µm arasında değişen pürüzlülük seviyelerine ulaşmak için 4 ayaklı bir Tandem merdane taşlama operasyonunda farklı taşlama taşları (Organic, Vortex® ve Vitrium®) ile gerçekleştirilen taşlama testlerinin sonuçlarını özetlemektedir.

Taşlama testleri sırasında, taşlamayı engelleyici kusurlar için merdane yüzeyinin görsel incelemesine ek olarak, merdanelerin yüzey pürüzlülüğü topografyası 2D mekanik pürüzlülük ölçer ve 3D optik girinti ve ölçüm ile kontrol edilmiştir.

Taşlama taşı	Bileşenler (Aşındırıcı, bağlayıcı, gözeneklilik)	Taşlama makinesi	Silindir gölgelikler	Pürüzlülük Ra 0.3 ila 1.2 µm
Organik	Alumina Al ₂ O ₃ Organik bağlayıcı	Eski Yeni	Standart Yarı HSS	Çeşitli taşlama taşları ile
Vortex® Vortex+ Quantum®	Quantum® seramikler Özel organik bağlayıcı Kontrollü gözeneklilik	Eski Yeni	Standart Yarı HSS HSS	Tek bir taşlama taşı ile
Vitrium Quantum®	Quantum® Vitrifiye Gözenekli yapı Süper gözenekli yapı	Yeni programlama	Standart Yarı HSS HSS	Tek bir taşlama taşı ile

Tablo 2. Farklı taşlama taşı tipleri ile taşlama testi

Geleneksel alümina taneli organik taşlama taşları, standart dövme ve yarı HSS merdaneleri kusursuz bir şekilde taşlamak için merdane taşlama atölyelerinde (Roll Shop) yaygın olarak kullanılır. Bununla birlikte, 0,3 ila 1,2 µm Ra arasında değişen çeşitli haddeleme tezgahları için belirtilen tüm pürüzlülük aralığını kapsayacak şekilde farklı taş spesifikasyonları (farklı aşındırıcı tanecik boyutları) gerektirirler. Bu taşlar, çizikler ve taşlama çizgileri gibi taşlama kusurları olmadan dövme HSS silindirleri taşılayamaz.

Üç yeni taşlama taşı teknolojisi, standart %5 krom dövme silindirler ve dövme HSS silindirler üzerinde test edilmiştir:

- Yüksek kaliteli seramikte 3D tane aralığı konfigürasyonuna sahip özel organik bağlı taşlama taşı (Vortex®)

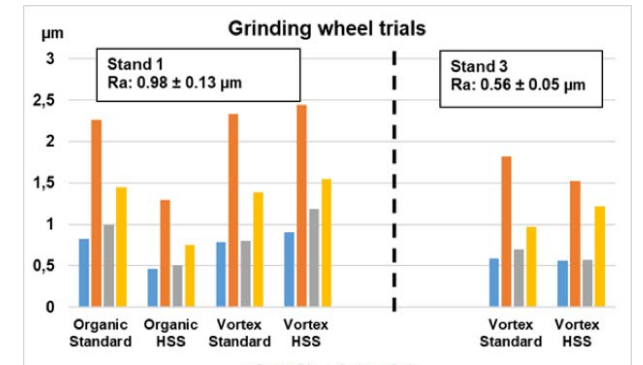
- Premium + Seramik 3D tane aralığı konfigürasyonuna sahip özel organik bağlı taşlama taşı (Vortex® + Quantum®)
- Mikro yapıli seramik tanelere sahip vitrifiye bağlı monolitik taşlama taşı (Vitrium Quantum®)

Bu üç teknoloji, tüm dövme merdane sınıflarının (standart, yarı HSS ve HSS), taşlama makinesinden niteliklerinden (Marka, Güç vs.) bağımsız olarak hedeflenen tüm yüzey pürüzlülük değerlerine tek bir taş spesifikasyonu ile erişilebilir.

Mikro çatlaklı Quantum taneciklerin keskinliği ve kesme verimliliği sayesinde; daha yüksek talaş kaldırma oranları ve daha kısa taşlama süreleri elde edilir. Bu karakteristik özellik taşın hiç veya çok az bileme ihtiyacı duymasını sağlayarak çok uzun ömürlü olmasını sağlar.

Ayrıca bu aşındırıcı taneler sayesinde hedeflenen yüzey pürüzlülük topografileri, merdanenin niteliklerine (Standart Dövme, Yarı-HSS veya HSS) bağımlı olmaksızın taşlama yüzeyinde yırtık, çizik veya taşlama izi olmadan elde edilebilir.

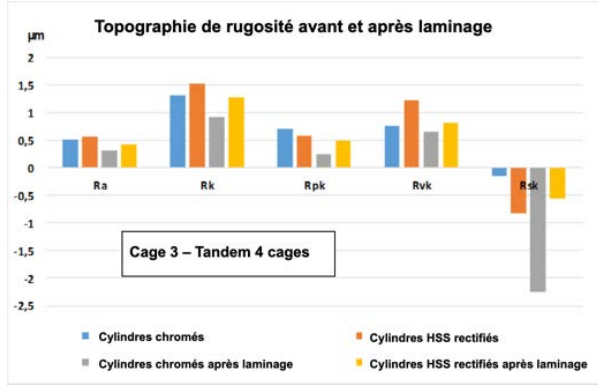
Şekil 13, 4 ayaklı bir tandem hadde makinesinin 1. Ra = 0,98 µm ve 3. Ra = 0,56 µm pürüzlülükleri için standart ve HSS dövme merdaneler üzerinde organik bir taşlama taşı ve yeni Vortex® taş ile elde edilen pürüzlülük topografilerini karşılaştırmaktadır.



Şekil 13. Pürüzlülük topografisi, standart ve HSS kalitelerinde dövme merdaneler üzerinde organik bir taşlama taşı ve Vortex® ile elde edilmiştir.

Krom kaplı merdanelerle haddeleme tutumu - HSS merdanelerin Vortex® ile taşlanması

Haddeleme işlemleri 4 ayaklı tandem merdanede, 3. ayakta Vortex taş ile taşlanmış ancak krom kaplanmamış dövme HSS merdaneler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Haddelenen her bobinde levha kalitesi kontrol edilmiş ve 3. standda krom kaplı merdaneler kullanılarak önceki haddeleme işlemi sırasında elde edilenle karşılaştırılmıştır. Kafes 3 için silindirler üzerinde belirtilen ortalama pürüzlülük Ra: 0,56 ± 0,05 µm'dir.



Şekil 14. Standart krom kaplı merdanelerin ve HSS merdanelerin pürüzlülük topografisinin 4 ayaklı bir tandem 3. standının haddelenmesi sırasındaki evrimi.

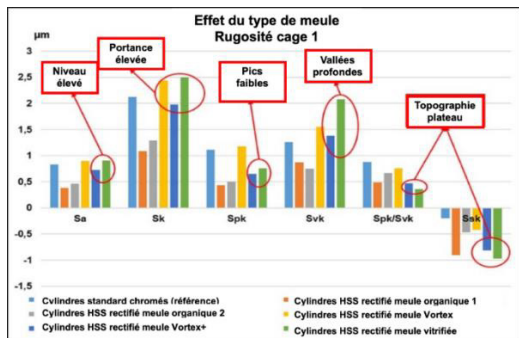
Krom kaplı silindirlerle haddeme sonrası şunları görebiliyoruz:

- Krom kaplamadan sonra Ra pürüzlülüğünde 0,5 µm'den laminasyondan sonra 0,3 µm'ye önemli bir azalma.
- Rpk piklerindeki önemli aşınma 0,7 µm ile 0,25 µm arasındadır.
- Rvk çukurunun derinliklerinde hafif azalma

Vortex® taşlama taşı ile taşlanmış HSS dövme merdaneleri ile aynı çalışma süresine eriştikten sonra, bu merdaneler krom kaplama olmamasına rağmen, haddelenmiş levhaların pürüzlülük topografisinde veya kalitesinde önemli bir bozulma gözlenmez.

Krom kaplamasız HSS dövme merdaneler, haddelenmiş levhanın kalitesini bozmadan standart krom kaplamalı dövme silindirlerden daha uzun süre bu standda kalabilir.

İlk hadde makinesi standı için belirtilen yüksek ortalama pürüzlülük seviyesine ulaşmak için iki tip geleneksel organik taşlama taşı ve üç yeni nesil taşlama taşı, Vortex®, Vortex+ Quantum® ve Vitrium® (vitrikiye) ile dövme HSS merdaneler üzerinde yapılan taşlama testleri, bu standda kullanılan krom kaplı merdanelerle aynı pürüzlülük topografisine sahiptir. Bu standda, belirtilen ortalama pürüzlülük Ra: 0.98 ± 0.13, soğuk haddeleme yuvasına girdiğinde sıcak şeridin iyi bir şekilde kavranmasını sağlamak ve böylece şerit kaymasını önlemek için yüksektir.



Şekil 15. HSS silindirlerin farklı taşlama taşları ile taşlanmasıyla elde edilen 3D pürüzlülük topografilerinin karşılaştırılması (ISO 25178).

Vitrifiye ve Vortex® taşlarla herhangi bir taşlama hatası olmadan krom kaplı merdanelerde aynı pürüzlülük topografisi elde edilebilir.

Ayrıca, Vortex+ taşlar ve özellikle vitrikiye taşlarla, krom kaplamadan daha da uygun bir spesifikasyon konfigürasyonuna sahiptir (Spk/Svk oranı << 1 ve negatif Ssk asimetrisi <<).

Yeni taşlama taşı teknolojileriyle elde edilen bu özel levha konfigürasyonu, ilk kafeslerin krom kaplama olmadan veya haddelenmiş levhaların kalitesine zarar vermeden, taşlanmış durumda dövme HSS silindirleri kullanmasını sağlayacaktır.

Sonuçlar ve gelecekteki gelişmeler

Quantum Prime gibi yenilikçi aşındırıcılarla donatılmış yeni taşlama taşlarının geliştirilmesi, Vortex®, B74 veya vitrikiye taşlar için VS3 gibi en yeni nesil bağlayıcılarla ve yenilikçi yapı konfigürasyonlarıyla birleştirilerek tek bir taş spesifikasyonu ile mümkün hale gelmiştir:

- Her türlü dövme silindiri (%3Cr'den HSS'ye kadar) vuruntu, taşlama izleri ve çizikler gibi taşlama kusurları olmadan taşlama yapmak.
- Soğuk haddeleme standlarında tipik olarak kullanılan tüm Ra pürüzlülük aralığını kapsar.
- Taşlama makinesi tipinden bağımsız olma (Çok yönlü).

Çok yüksek aşınma direncine sahip HSS dövme merdanelerin bu yeni tip taşlama taşıyla taşlanması, çok özel bir yüzey pürüzlülüğü topografisi elde edilmesini sağlar. Bu pürüzlülük topografisi, %3 ve %5 kromlu dövme silindirlerde altı değerlikli krom kaplamaya gerek kalmadan haddelenmiş levhanın kirlenmesini önlemeyi mümkün kılar.

Bobin tavlama ve temizleme hattı olmayan özel soğuk hadde makinelerinde HSS dövme merdaneler bu özel yeni teknoloji taşlarla taşlandığında hedeflenen yüzey kaliteleri elde edilmekte olup, kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır.

Teşekkür

Bu çalışmanın sonuçlarına katkıda bulunan herkese, özellikle de ArcelorMittal St Chély d'Apcher Proses ve Operasyon Koordinatörü Destek Müdürü Sayın Laurent Beverini'ye teşekkür ederiz.

Referanslar

- (1) R. Stribeck – “Kugellager für beliebige Belastungen (Ball Bearings for any Stress)” - Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure 45, 1901.
- (2) B. Jacobson – “The Stribeck memorial lecture” - Tribology International. 36(11), 2003, pp. 781-789.
- (3) J. Ando et al. – Journal of Japanese Society of tribologists, 58, 9, 2013, pp 685-694.
- (4) M. Sedlacek, Luis M. S. Vilhena, B. Podgornik, J. VIZINTIN – “Surface Topography Modelling for Reduced Friction”- University of Ljubljana, Faculty of Mechanical Engineering, Slovenia.
- (5) Y. Renauld, L. Renard, C. Gaspard, F. Alen – “Laser textured sheets for deep drawing application” - 1988 Mechanical Working and Steel Processing Proceedings pp 415.
- (6) C.M. Gaspard et al. – “Implementation of In-service Key Parameters of HSS Work Roll Grade dedicated to Advanced Cold rolling” – AISTech Conference, May 2010 - Pittsburgh, USA.
- (7) C.M. Gaspard et al. – “Performance Overview of Forged HSS Rolls for Cold Rolling in the Steel Industry” – Rolls 2015, April 2015 – UK.
- (8) TOPROLLS RFCS PROJECT- Åkers Final Report March 2010. European Community.
- (9) P.H. Bolt et al. - “Damage resistance and roughness retention of work rolls in cold rolling mills,” Revue de Métallurgie 107, p.245–255, 2010.
- (10) Thèse de doctorat H. Salem – « Étude de l'aptitude à la rectification des aciers rapides supérieurs. Application aux cylindres de laminage de l'aluminium » - Ecole des Mines de Saint Etienne ENM.SE, 2014.
- (11) Saint-Gobain Abrasifs – Catalogue Norton DI FR 2019, pp 219 – 252, www.nortonabrasives.com.

Enhancing Hot Rolling Efficiency with Roll Gap Lubrication Technology

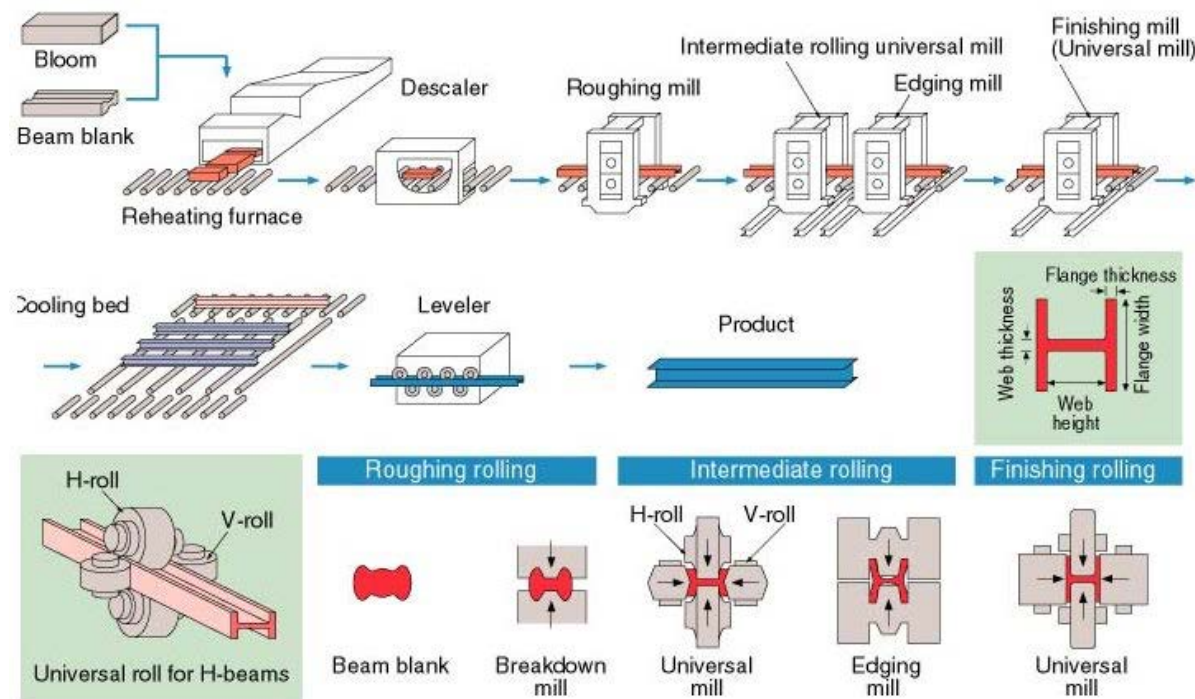
Profil Haddehaneleri için Sıcak Hadde Yağlama (RGL) Teknolojisi ile Üretim Verimliliğini Artırma

Elliot BURNS

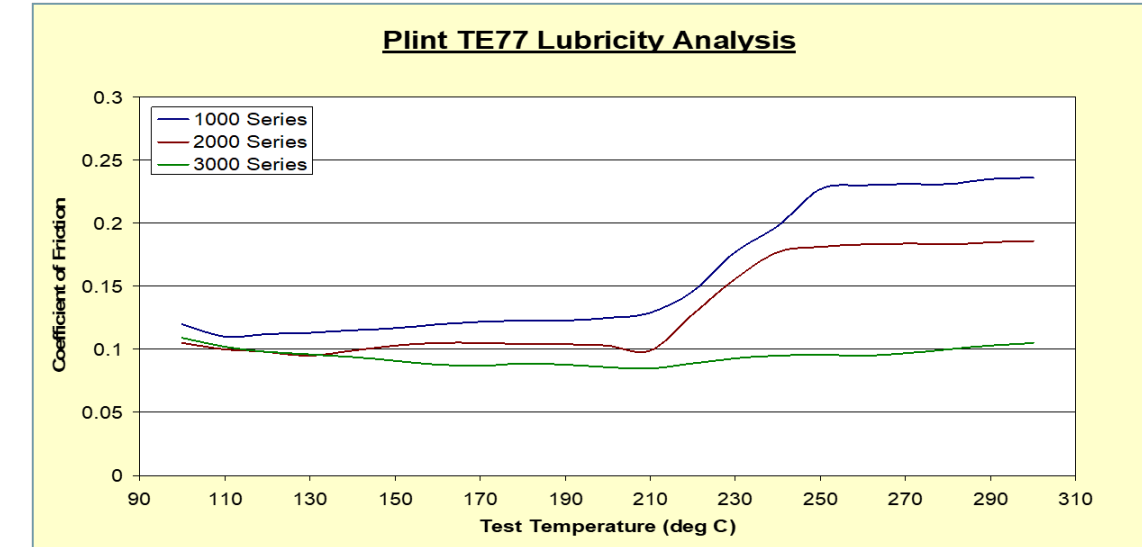
Total Energies

England

The hot rolling industry is continually seeking innovative solutions to improve efficiency, product quality, and sustainability. Roll Gap Lubrication (RGL) technology has emerged as a promising advancement in this field, particularly for long products. This article explores the comprehensive benefits and applications of RGL technology, as detailed in the Hot Rolling RGL Application for Long Products



RGL technology offers substantial advantages, including reduced CO2 emissions, enhanced productivity, and significant total cost of ownership (TCO) savings. The development of RGL hot rolling oils focuses on critical aspects such as demulsification, lubrication, and water wash-off resistance. Advanced testing tools, like the Cameron Plint TE 77 Tribometer, ensure the optimal performance of these oils under high-temperature conditions.



One of the most compelling benefits of RGL technology is its potential to reduce CO2 emissions, a crucial factor in the pursuit of green steel production. By optimizing the lubrication process, RGL technology minimizes friction and wear during the hot rolling process, leading to lower energy consumption. This reduction in energy usage directly translates to decreased CO2 emissions, contributing to a more sustainable and environmentally friendly production process. The emphasis on green steel production aligns with the industry's broader goals of reducing its carbon footprint and promoting sustainable practices.

In addition to environmental benefits, RGL technology significantly enhances productivity. The optimized lubrication provided by RGL oils reduces surface defects and improves the overall quality of the rolled products. This improvement in product quality leads to fewer rejections and less rework, thereby increasing the efficiency of the production process. Furthermore, the extended roll life achieved through RGL technology reduces the frequency of roll changes, minimizing downtime and further boosting productivity.



The article also explores the physical and chemical properties of various RGL hot rolling oils, highlighting their adaptability to different customer mill circumstances. The importance of precise application methods and equipment optimization is emphasized to maximize the benefits of RGL technology. By tailoring the lubrication process to the specific needs of each mill, RGL technology ensures optimal performance and cost-efficiency.

In conclusion, RGL technology represents a significant leap forward in the hot rolling industry, offering a sustainable and efficient solution to enhance product quality and operational performance. As the industry continues to evolve, the adoption of innovative technologies like RGL will be crucial in meeting the growing demands for high-quality, cost-effective, and environmentally friendly hot rolling processes. The focus on reducing CO2 emissions, promoting green steel production, enhancing productivity, and achieving significant TCO savings underscores the transformative potential of RGL technology in the hot rolling industry.

The total cost of ownership (TCO) is another critical aspect where RGL technology demonstrates its value. By reducing energy consumption, extending roll life, and minimizing downtime, RGL technology offers substantial cost savings over the long term. The initial investment in RGL technology is offset by the significant reductions in operational costs, making it a cost-effective solution for hot rolling mills. The case study on a steel plant based in Luxembourg exemplifies these benefits. The customer faced challenges such as surface defects, reduced productivity, and high total product costs. By implementing FENELLA FLUID SRH 80 and optimizing application parameters, the trial achieved remarkable results, including increased productivity, extended roll life, reduced power consumption, and significant CO2 emission reductions.





POSTERS

Poster Sunumlar

ROLLING STEEL WITH TECHNOLOGY AND FUTURE ON TRUST
ÇELİĞİ TEKNOLOJİYLE, GELECEĞİ GÜVENLE ŞEKİLLENDİRİYORUZ

www.isrs-mtm.com | isrs@isrs-mtm.com | isrs.mtm | isrs_mtm | isrs_mtm | isrs-mtm

Haddeleme İşleminde Tavlama Sırasında Tufal ve Dekarbürizasyon Oluşumunun Önlemek Amacı ile Slab ve Kütüğün Seramik ile Kaplama Uygulamaları ve Haddelemede Davranışlarının İncelenmesi

Ceramic Coating Applications of Slab and Billet with the Purpose of Preventing Scale and Decarburization During Annealing in the Rolling Process and Investigation of Their Behavior in Rolling

Çetin BAĞLAN, Oğuz IŞIK, Serdar KORKMAZ, Ülkü ELMALI, Sinan ARAS

MATİL Malzeme Test ve İnovasyon Laboratuvarları

Türkiye

Anahtar Kelimeler: Kaplama, Sıcak Haddeleme, Çelik, Tufal, Seramik

Abstract

Steel billet and slab materials are heat treated in annealing furnaces before hot rolling. During heat treatments at approximately 1200°C, oxidation of iron on the outer surface of billet and slab products results in mass loss of iron oxide scale pieces breaking off from the main material. At the same time, a decarburization layer is formed because of the oxidation of carbon at high temperatures in the oxidizing atmosphere. In the study, a protective ceramic coating was applied on a miniature scale slab steel plate. Coated and uncoated samples were prepared from small-sized slab materials. The samples were hot rolled by heat treatment at 1200°C in an oxidizing atmosphere. Microstructural changes caused by scaling and carbon oxidation in the samples after rolling were examined. In the examinations made on the cross-sectional surface, the compatibility of the applied mechanical force with the coating and base steel material and the bond structure after crushing were examined.

Özet

Çelik kütük ve slab malzemeler, sıcak haddeleme öncesi tav fırınlarında ısıtılma işleminden geçirilmektedir. Yaklaşık 1200°C'de yapılan ısıtılma işlemleri sırasında kütük ve slab ürünlerinin dış yüzeyinde demirin oksitlenmesiyle, ana malzemeden kopan demir oksit tufal parçaları kütle kaybına neden olmaktadır. Aynı zamanda oksitleyici atmosferde, yüksek sıcaklıkta karbonun oksitlenmesi sonucu dekarbürizasyon tabakası oluşmaktadır. Yapılan çalışmada, minyatür ölçekte slab çelik plaka üzerine koruyucu seramik kaplama uygulanmıştır. Küçük ebatlı slab malzemelerden kaplamalı ve kaplamasız numuneler hazırlanmıştır. Numuneler, oksitleyici atmosferde 1200°C'de ısıtılma işlemi yapılarak sıcak haddeleme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Haddeleme sonrasında numunelerde tufal atması ve karbon oksidasyonu ile meydana gelen mikroyapı değişimleri incelenmiştir. Kesit yüzeyde yapılan incelemelerde ise uygulanan mekanik kuvvetin kaplama ve altlık çelik malzeme uyumu ile ezilme sonrası bağ yapısı incelenmiştir.

1. Giriş

Demir-çelik fabrikalarında sürekli dökümle elde edilen kütük,

slab gibi çelik malzemeler, haddeleme işleminden önce tav fırınlarında tavlama ve sıcak halde haddelenerek ürüne dönüştürülür. Atmosferik koşullarda yapılan bu tavlama ısıtılma işlemi sırasında kütük ve slab malzemelerin yüzeylerinde oksidasyon meydana gelir. Çelik yüzeyinde oluşan bu oksidasyon tabakası demir oksitleri içerir ve "tufal" olarak isimlendirilir. Gevrek yapıya sahip olan tufal haddeleme öncesi ana metalden kopararak ayrılır. Yüzeydeki demir oksit tabakasının altında, tavlama ısıtılma işlemine bağlı olarak karbon oksitlenmesi sonucu dekarbürizasyon tabakası da oluşur.

Kütük ve slabın sıcak haddelenmesi sırasında da yüzeyinin oksitlenmesi, düzensiz oksit tabakalarının oluşması doğaldır. Bu oksit tabakaları, yüzeyin bozuk, çukurlu, pürüzlü olmasına, estetik açıdan olumsuz bir görünüm almasına ve işlem sonrasında ürün çelikte istenilen kaliteye ulaşamamasına neden olabilmektedir.

Özetle, tavlama ısıtılma işlemi sırasında meydana gelen tufal atma ve dekarbürizasyon, çelik yüzeyinde yüzey kalitesinin bozulması, çukur oluşumları, boyut değişimleri, su verme çatlakları gibi pek çok soruna neden olabilir ve kumlama ve asitle temizleme gibi işlemleri gerektirebilir [1].

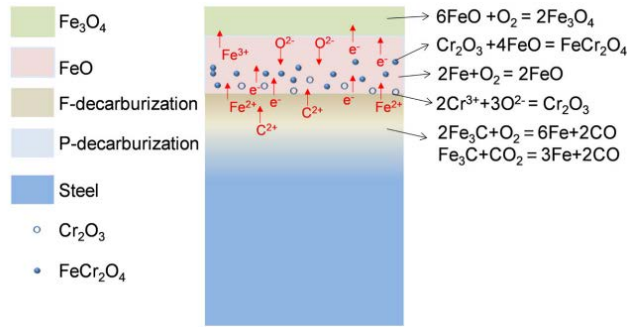
Çelik malzemelere 800 ile 1200°C arasındaki bir sıcaklık aralığında sıcak haddeleme işlemleri yapılır. Isıtılma ve haddeleme sırasında çelik yüzeyinde bir oksit filmi oluşur. Sıcak haddeleme prosesi sırasında slab ve kütük gibi çelik malzemelerin yüzeyinde birincil, ikincil ve üçüncül tufal oluşumu olmaktadır. Birincil tufal oluşumu kütük ve slabların sıcak deformasyon işlemi öncesinde yeniden ısıtılması (ısıtılma işlemi) esnasında oluşur. Oluşan bu birincil tufal temizlenmeden haddeleme prosesine geçilirse yüzey kusurlarına yol açar ve bunu önlemek için descaler adı verilen tufal giderici tarafından ortadan kaldırılır [2]. Yüksek sıcaklıklarda karbon çeliği çok hızlı bir şekilde oksitlenir ve yüzeyden kaldırılabilir bile çelik çok kısa sürede tekrardan oksitlenir. Sıcak haddeleme sırasında çelik ve haddeleme silindirleri arasında tufallerin varlığı, triboloji, ısı transferi ve çelik yüzey özellikleri üzerinde önemli etkilere sahiptir. Çeşitli tipte yüzey kusurları, özellikle tufallerin deformasyonu ve kırılmasından kaynaklanır [3].

İkinci ve üçüncül tufal büyümesi ise sıcak haddeleme adımları

arasında oluşur, büyür ve haddeleme esnasında deforme olurlar. Çelik malzeme ve tufalin farklı deformasyon karakteristiğinden dolayı oksit tabakası çatlak ve oksit parçaları metal matriste preslenir veya metal iki oksit parçası arasında sıkışarak uzar [4]. Tufal yapışması tufal gözenekliliği, kabarcık oluşumu ve tufal üzerinde etkili olan gerilimlerle ilişkilidir.

Sıcak haddeleme işlemi sırasında, işlem sıcaklığında çelik yüzeyinde oluşan demir oksit tabakası, ince dış hematit (Fe_2O_3), ara manyetit (Fe_3O_4) ve kalın iç wustite (FeO) katmanları olmak üzere üç katmandan oluşur. Fe-O sistemi için tufal tabakası, oksijenin konsantrasyon gradyanları aracılığıyla değişebilir. Oluşan demir oksit, iç oksidasyon oluşturmaktan ziyade her zaman dış katmanda tufal oluşturur. Soğuma sırasında ötektoid ayrışma nedeniyle, manyetit bazen wustite tabakasında bulunabilir. Bazı durumlarda hematit tabakası da olmayabilir [4].

Çelik endüstrilerinde yüksek sıcaklıkta haddeleme sırasında tufal oluşumunu önlemek için bazı yöntemler geliştirilmiştir. Levha ısıtma sıcaklığının ve alaşım elementlerinin içeriğinin kontrolü önerilen işlemlerden bazılarıdır. Ancak, bu koşullar ticari sıcak haddeleme işleminde tufal kaynaklı kusurları önlemede yeterli değildir. Fırında uzun süre ısıtma sırasında oluşan kalın tufal, su jeti tufal kırma işleminden sonra bile kalmaktadır. Fırında kısa bir süre tutmak tufali kontrol altına alabilir. Düşük oksijen ortamlarında işlem yapmak (örneğin, inert gaz kullanımı) oksitlenmeyi azaltabilir. Çeliğin yüzeyine koruyucu kaplamalar uygulayarak oksitlenmenin önüne geçilebilir [5].



Şekil 1: Çelik malzeme yüzeyinde tufal ve dekarburizasyon oluşumu [6].

Çelik üzerindeki kalın oksit tabakası, sıcak işlenmiş ürünlerde ciddi yüzey kusurlarına neden olabilir. Kusurların oluşmasıyla proseslerin verimliliği önemli ölçüde bozulur. Oksit tabakasının kontrol edilmesiyle yüzey kusurlarından arındırılmış sıcak işlenmiş çelikler üretmenin bir yolunun oluşturulması oldukça talep görmektedir. Oksit tabakası sıcak haddelemede çeşitli davranışlar göstermektedir;

- Çelik matrisinin deformasyonu,
- Çatlama,
- Parçalanma,
- Matris çeliğine girinti, vb.

Cam kaplama kullanılarak yapılan çalışmalar sonucunda, davranışın haddeleme sıcaklığına ve haddelemeden önceki tabaka kalınlığına büyük ölçüde bağlı olduğu bulunmuştur. Soğuk haddelerle temas nedeniyle oluşan sıcaklık düşüşünün çatlamaya neden olduğu bulunmuştur. Tufal tabakası çatlamasının, tahmini tabaka sıcaklığı ve Wustite'nin (FeO) sünek kırılma geçiş sıcaklığı kullanılarak öngörülebilir olduğu bulunmuştur [7].

Diğer yandan, yarı mamullerin haddeleme öncesinde seramik kaplama uygulanması da tufal oluşumunu önlemeye yönelik önemli bir araştırma alanı olarak öne çıkmaktadır. Seramik kaplamalar, çelik yüzeyini doğrudan oksijenle temastan koruyarak oksidasyonun ve tufal oluşumunun önüne geçebilir. Ayrıca, seramik kaplamalar çeliğin yüzey kalitesini artırarak haddeleme sonrası mekanik özelliklerin korunmasına katkı sağlayabilir. Bu nedenle, çelik üretim süreçlerinde seramik kaplamaların kullanımı giderek daha fazla önem kazanmaktadır.

Zhou ve arkadaşları (2012) yaptıkları çalışmada, MgO bazlı seramik kaplamanın düşük alaşımlı çeliklerin oksidasyon davranışı ve tufal giderme yeteneği üzerindeki etkilerini incelemiştir. $20\text{Cr}_2\text{Ni}_{14}\text{A}$ çeliği üzerine püskürtme yöntemiyle uygulanan MgO kaplamanın, 1100-1250°C sıcaklık aralığında çeliğin oksidasyon direncini önemli ölçüde artırdığı ve metal kaybını yaklaşık %65 oranında azalttığı belirlenmiştir. Kaplama, tufal tabakasında Mg-Fe spinel fazının oluşumunu teşvik ederek oksitlenme hızını düşürmekte ve yüzeyde oluşan Si açısından zengin tabakanın azalmasını sağlayarak tufalin malzemeye yapışmasını önlemektedir. Bu çalışma, yarı mamul çelik ürünlerinde seramik kaplamaların haddeleme öncesi oksidasyon ve tufal oluşumunu engellemede etkili bir yöntem olduğunu göstermektedir [8].

Mugale ve arkadaşları (2024) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, farklı ticari yüksek sıcaklık oksidasyon dirençli kaplamaların AISI 4340 düşük alaşımlı çelik üzerinde oksidasyon koruma performansı karşılaştırılmıştır. Çalışmada, püskürtme ve daldırma yöntemleriyle uygulanan kaplamaların 1000-1200°C sıcaklık aralığında ve farklı bekleme sürelerinde çelik yüzeyindeki oksidasyon kaybı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Sonuçlar, Coating A olarak adlandırılan kaplamanın oksijen difüzyonunu önemli ölçüde sınırladığını ve metal kaybını %80-90 oranında azalttığını göstermiştir. XRD ve SEM-EDS analizleri, bu kaplamanın demir katyonlarının dışa, oksijen anyonlarının ise içe doğru difüzyonunu engelleyerek üstün oksidasyon direnci sağladığını ortaya koymuştur. Çalışma, ticari kaplamaların çelik yüzeylerinde oksidasyon kaynaklı kayıpları minimize etmede kritik bir rol oynayabileceğini vurgulamaktadır [9].

Bu çalışmada çelikte, tufal oluşumunu ve dekarburizasyonu engellemek amacı ile %0,40 karbon içeren perlitik mikroyapıya sahip olan orta karbonlu çelik parçaların yüzeyleri çeşitli bileşenlere sahip seramiklerle kaplanmış ve kaplamalar ve arayüzeyler ışık (optik) mikroskobu ve SEM/EDS kullanılarak incelenmiştir. Kaplama kalınlığı, dekarburizasyon kalınlığı ve sertlik ölçümleri yapılmıştır.

2. Deneysel Çalışmalar

2.1. Başlangıç Malzemelerine Yapılan Analizler

Yapılan çalışmalarda kullanılan çelik malzemesi olarak piyasadan AISI 1040 kalite çelik temin edilmiştir. Kimyasal analizi Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1: Sıcak haddeleme işlemlerinde kullanılan AISI 1040 kalite çeliğin kimyasal analizi.

C*	Mn*	Si*	S*	P*	Cu*	Ni*
0,4047	0,8294	0,1887	0,0119	0,0166	0,0782	0,0391
Mo*	Cr*	V*	Nb	N*	Al*	Fe
0,0038	0,0452	0,0032	0,0011	0,011	0,0012	98,3506

Kaplama çalışmalarında özellikle %0,40 karbon içeren perlitik mikroyapıya sahip orta karbonlu çelik kalitesi seçilmiştir. Bu karbon oranı seviyesinin, tavlama işlemi sırasında dekarburizasyonun ve yapılan kaplama işleminin etkisinin belirlenmesinde yeterli olacağı düşünülmüştür.

2.2. Kaplama Bileşimleri

Çalışmalarda 4 farklı kaplama bileşimi kullanılmıştır. 1,2 ve 3 nolu karışımlarda seramik esaslı malzeme sabit tutulmuş ve kullanılan bağlayıcılar değiştirilmiştir. 4 nolu bileşimde ise kullanılan seramik kaplama hammaddesi değiştirilmiştir. Çizelge 2'de seramik kaplama bileşiminde kullanılan bağlayıcılar ve sıvı/katı oranları verilmiştir.

Çizelge 2: Kaplama bileşimleri ve katı/sıvı oranları.

Katı/Sıvı	Bileşim/Reçete	1	2	3	4
%60	Seramik Malzeme	x	x	x	x
%40	Fosforik Asit	x			
	Sitrik Asit		x		x
	Cam suyu			x	
	Su		x	x	x
	Aseton	x			
Test	pH	4,5	5,5	11,5	5,5
	Çizilme direnci	-	+++	+++	+++

2.3. Kaplama Uygulamaları

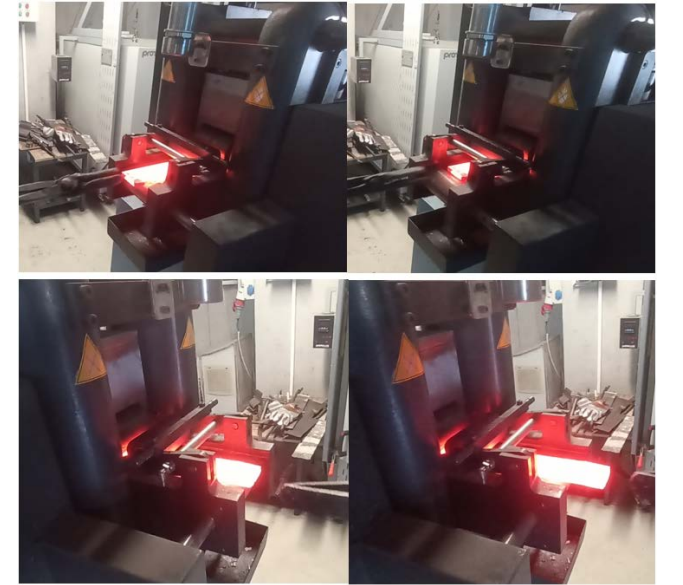
Kaplama uygulamaları için 270x100x8,5 mm ölçülerinde AISI 1040 kalite plaka kullanılmıştır. Şekil 2'de kaplama yapılacak olan plaka genel görüntüsü verilmiştir. Toplam 270 mm uzunluğundaki çelik plaka numunesi kaplama uygulaması için 50x100 mm² eşit ölçüde 4 bölgeye ayrılmıştır. Kalan son 70x100 mm² alan ise kaplamasız referans bölge olarak ayrılmıştır. Şekil 2'de fırça ile sürme metodu uygulanan 4 farklı kaplama bileşimi ile kaplama yapılmadan önce 1040 kalite plaka çelik görüntüleri verilmiştir. Kaplama işlemleri yapılırken diğer bölgelere kaplama bulaşmaması için bant yapıştırılmış ve kaplama bileşimlerinin karışması engellenmiştir.



Şekil 2: Kaplama öncesi ve sonrası AISI 1040 kalite çelik plaka görüntüsü.

2.4. Sıcak Haddeleme İşlemleri

Haddeleme işlemi öncesinde tavlama fırını olarak kullanılan kül fırını 1200°C'ye ısıtılmıştır ve bu sıcaklıkta hazırda bulunan kaplanmış plaka numunesi fırına yerleştirilmiştir. 1200°C'de 60 dk atmosferik ortamda bekleyen numuneler fırından çıkartılmış ve sıcak haddeleme işlemleri yapılmıştır. Şekil 3'te sıcak haddeleme işleminin görüntüleri verilmiştir.



Şekil 3: Kaplama öncesi ve sonrası AISI 1040 kalite çelik plaka görüntüsü.

Kaplama işlemleri yapılmadan önce kullanılacak olan plakanın boyutları ölçülmüştür. Şekil 4'te kullanılan AISI 1040 kalite çelik plaka ölçüleri verilmiştir.



Şekil 4: AISI 1040 kalite çelik plaka boyutları.

Çizelge 3'te kullanılan AISI 1040 kalite plakanın haddeleme öncesi ve sonrasında deformasyonla meydana gelen ölçü değişimleri verilmiştir. Sıcak haddeleme işlemleri sonunda 270

mm ilk boya sahip plakanın 500 mm %85,1 oranında uzama gösterdiği tespit edilmiştir. 4 paso yapılan 4,8 mm kalınlığındaki plaka kesiti ise 3,7 mm değerine toplam 1,1 mm %22,9 deformasyonla beraber ezilme sağlanmıştır.

Çizelge 3: AISI 1040 çelik plaka haddeleme önce ve sonrası değişim.

Boyut	a	b	c
İlk (mm)	270	45	4,8
Son (mm)	500	45	3,7
Fark (mm)	230	0	1,1
Deformasyon (%)	85,1		22,9

Plaka numunesine toplam dört paso uygulanmıştır. Uygulanan her pasoda meydana gelen basma yükü ve kesitteki daralma ölçüleri verilmiştir. 1200°C sıcaklıktan çıkarılan plaka numunesi sırasıyla 1 mm, 1 mm, 0,5 mm ve 0,5 mm olacak şekilde cihaza giriş yapılmıştır. Cihazda toplamda 3 mm kesit daralması beklenirken, final üründe 1,1 mm kesit daralması elde edilmiştir. Cihaz baskı tonajının da her pasoda numunenin soğuması ve meydana gelen deformasyon sertleşmesine bağlı olarak ilk paso 33 tondan, son paso ise 37,5 tona kadar yükseldiği tespit edilmiştir. Deneysel çalışmadaki amacımız, kaplamalı ve kaplamasız bölgelerde ısıtım işlem ve uygulanan haddeleme yüküne bağlı olarak yüzeyde çentik, tufal batması ve mikro çatlak gibi hataları kontrol etmek, ayrıca uygulanan kaplamanın referans bölgeye göre etkilerini incelemektir. Ayrıca, kaplamanın metal ara kesit yüzey bağ yapısının ve etkisinin incelenmesi üzerinde durulmuştur.

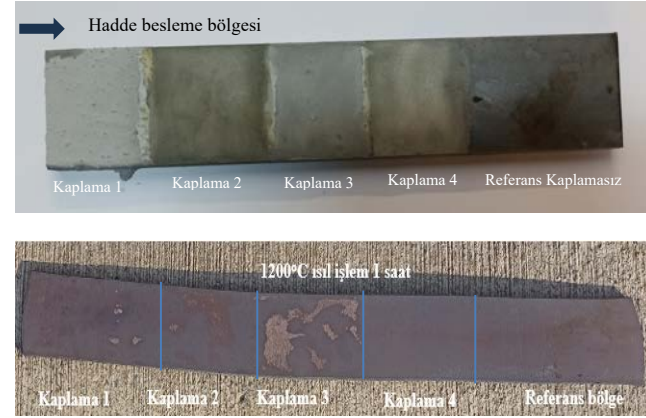
Çizelge 4'te AISI 1040 çelik plaka numunesine 4 paso yapılarak cihaza giriş yapılan kesit ölçüm değerleri ile her pasoda uygulanan yük değerleri ton olarak verilmiştir.

Çizelge 4: AISI 1040 çelik plaka haddeleme önce ve sonrası değişim.

Paso No	Kesit (mm)	Baskı (ton)	Paso (mm)
1	4,8	33	1
2		36	1
3		34	0,5
4	3,7	37,5	0,5

Şekil 5'te AISI 1040 kalite çelik plakanın sıcak haddeleme öncesi ve sonrasında alınan genel görüntüsü verilmiştir. 1200°C ısıtım işlem sonunda sıcak olarak haddeleme yapılan plakada kaplamanın haddeleme esnasında döküldüğü ve bazı bölgelerde ise ana metal yüzey üzerinde kaldığı tespit edilmiştir. Plaka yüzeyinde yapılan makro yapı incelemelerinde 1 nolu kaplamanın yüzeyden döküldüğü görülmektedir. Haddeleme ilk verilen uç 1 nolu kaplamanın olduğu bölgedir. Haddeleme işlemi ile beraber uygulanan yükü beraber 1.kaplamanın kalıntılarının 2.kaplamanın olduğu bölgeye taşındığı görülmektedir. 2 numaralı kaplamanın bıraktığı kahverengi izler 2.bölgede daha net görülebilmektedir. En çok kaplamanın bıraktığı izler ise 3 nolu kaplama bileşimine aittir. 4 nolu kaplama bileşiminin metal yüzeyinden tamamen döküldüğü ve referans kaplamasız bölgeye benzediği tespit edilmiştir. Şekil 5'te farklı bölgelerin

kaplanmış ve sonrasında sıcak haddeleme yapılmış saç numunesine makroyapı ve mikro yapı inceleme çalışmaları yapılmıştır.



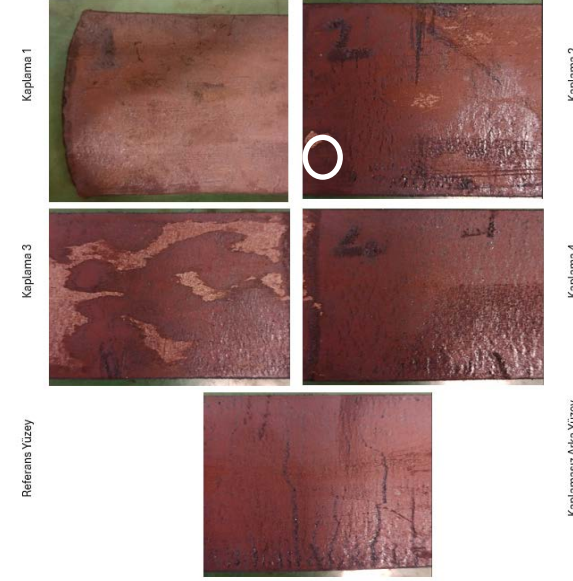
Şekil 5: AISI 1040 kalite plaka sıcak haddeleme öncesi ve sonrası genel görüntüleri.

2.5. Karakterizasyon Çalışmaları

Sıcak haddelenmiş saç malzeme laboratuvar incelemeleri için 5 farklı bölgesinden kesilmiştir. Kesilen saç numune kaplamalı ve kaplamasız bölgelerde üst yüzeyde makro yapı incelemeleri yapılmıştır. İncelemeler sonrasında farklı 5 bölgeden kesit incelemesi için numune çıkartılacaktır. Kaplamalı ve kaplamasız bölgelerden alınan numunelere kesit yüzeyde kaplama ve çelik malzeme altlık ile olan bağ yapısı incelenecektir. Özellikle sıcak haddeleme işlemine bağlı uygulanan kuvvetlerle beraber kaplamanın haddeleme sırasında soğumasına bağlı altlık çelik malzemeye batması ve hasar verme durumları incelenmiştir.

Makroyapı İnceleme

Yapılan incelemelerde kaplamalı ve kaplamasız alanlarda uygulanan yük ile beraber yüzeyde meydana gelen deformasyon incelenmiştir. Kaplama yapılmayan yüzeyde yapılan incelemelerde uygulanan yükü beraber yüzeyde deformasyona bağlı paralel çukurlaşmalar meydana geldiği tespit edilmiştir. 1200°C'de demirin oksitlenmesi ile beraber kopan tufal parçalarının yeniden yüzeye ezme kuvveti etkisi ile yapıştırıldığı öngörülmektedir. 1 nolu karışım ile yapılan kaplamanın haddeleme sonrasında daha düzgün ve pürüzsüz bir yüzey elde edildiği görülmüştür. Kaplama 2 bileşiminde referans numuneye benzer çizgilerin meydana geldiği tespit edilmiştir. Aynı zamanda 2 nolu bölgede kaplamadan kalan adacık şeklinde kalıntılarında olduğu görülmüştür. 2 nolu bölgede de haddeleme işlemine referans numuneye benzer paralel çizgiler halinde deformasyon izleri olduğu tespit edilmiştir. Sıcak haddeleme sonrasında en çok kaplamanın yüzeyde çıplak gözle görülebildiği 3 nolu bileşim olmuştur. Kaplama bileşiminin haddeleme işlemi ile beraber yüzeyde yayılma gösterdiği tespit edilmiştir. 4 nolu kaplama bileşiminde yüzeyde kaplamanın bırakmış olduğu iz görülmemiştir. Referans numunede tespit edilen deformasyon izleri görülmemiştir. Şekil 6'te sıcak haddeleme yapılan plaka numunesi kaplamalı ve kaplamasız yüzey makro yapı görüntüleri verilmiştir.



Şekil 6: Kaplamalı ve kaplamasız bölge makro yapı görüntüsü.

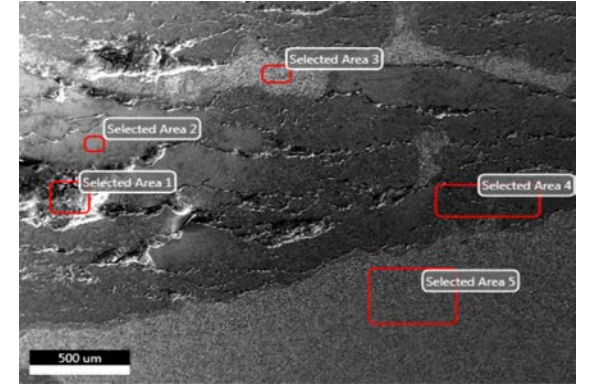
Sıcak haddeleme işlemi sonrasında kaplamanın meydana getirdiği yüzey durumunun daha net anlaşılması için yüzey pürüzlülük ölçümleri yapılmıştır. 2 nolu kaplama bileşiminin uygulandığı yüzey en yüksek yüzey pürüzlülüğüne sahip olduğu görülmüştür. En düşük yüzey pürüzlülüğü ise 4 nolu kaplama ile yapılan yüzey olmuştur. 4 nolu kaplama yüzeyine alınan makro resimlerde bakıldığı zaman diğerlerine göre daha düzgün ve homojen bir yüzeye sahip olduğu görülmektedir. Çizelge 5'te yapılan yüzey pürüzlülüğü ölçüm sonuçları verilmiştir.

Çizelge 5: Haddeleme sonrası yüzey pürüzlülüğü ölçüm sonuçları.

(Ra)	1	2	3	Ort.
Kaplama yüzeyi 1	9,49	12,14	10,61	10,74
Kaplama yüzeyi 2	16,61	16,33	13,68	15,54
Kaplama yüzeyi 3	14,66	12,42	12,25	13,11
Kaplama yüzeyi 4	4,4	3,81	3,11	3,77
Kaplamasız yüzey	11,38	12,77	16,96	13,7

Şekil 7'da 2 numaralı kaplama uygulanan bölgeye SEM-edax analizi yapılmıştır. Sem analizi Şekil 6'te çember içine alınarak gösterilen bölgede yapılmıştır. Area 1'de yapılan SEM-edax analizinde Fe, C, Al, Si ve O pikleri tespit edilmiştir. Bu bölgede demirin oksitlendiği ve beraberinde haddeleme ile birlikte kaplama bileşiminden gelen Al ve Si elementleri tespit edilmiştir. Area 2 bölgesinde demirin oksit oluşturduğu ve beraberinde tespit edilen Co elementinin kaplama bileşiminden geldiği anlaşılmaktadır. Area 3 ve Area 5 bölgesinde %100 Fe tespit edilmiş olup ana bileşimi temsil etmektedir. Area 4 bölgesinde Al, Si, Na, Fe ve O pikleri tespit edilmiş olup kaplama bileşiminden gelen elementler artış

göstermiştir. Yapılan sem analizi sıcak haddeleme sırasında kopan demir oksit parçalarının çukurlaşmaya neden olduğunu göstermiştir.

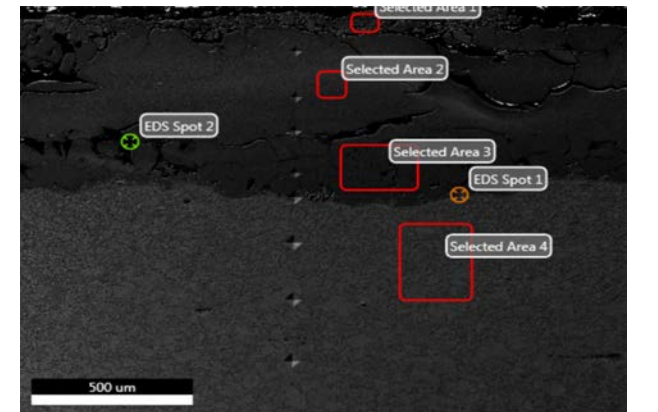


100x

Element	Area 1	Area 2	Area 3	Area 4	Area 5
C K	22,45				
O K	27,35	27,11		26,6	
NaK				2,21	
AlK	0,73			1,96	
SiK	2,74			1,77	
CoK		0,85			
FeK	46,72	72,04	100	67,46	100

Şekil 7: Kaplama 3 üst yüzey sem-edax analizi.

Şekil 7'de 3 nolu kaplama kesit yüzeyi gösterilmiştir. Area 1'de alınan edax analizlerinde C,O ve Fe pikleri tespit edilmiştir. En üst yüzeyde meydana gelen demir oksit tabakasının taneler halinde haddeleme ile beraber ufalandığı tespit edilmiştir. Area 2'de ise kaplama bileşiminden gelen Na elementinin 1200°C'de ergidiği ve demir oksit tabakasının içine penetre olduğu düşünülmektedir. Ergitici özelliğe sahip olan Na elementinin yüksek sıcaklıkta tufal taneleri arasında zayıf camsı bağların meydana gelmesini ve tufallerin bir arada kalmasını sağlayabileceği düşünülmektedir. Area 3'te Fe, O ve Si pikleri tespit edilmiştir.

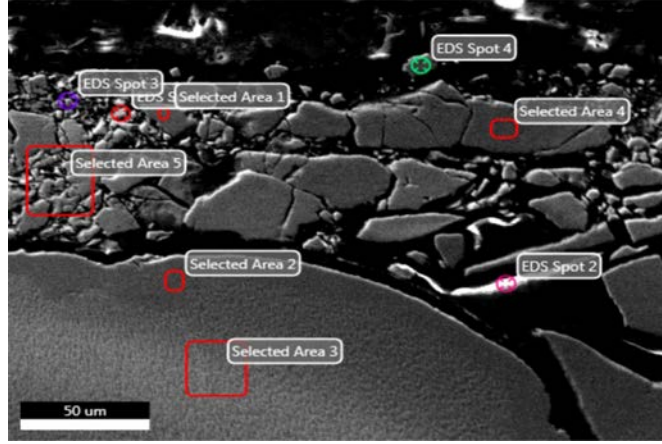


100x

Element	Area 1	Area 2	Area 3	Spot 1	Area 4	Spot 2
C K	7,35					78,84
O K	30,74	25,98	26,88			21,16
NaK		1,73				
SiK			0,74			
FeK	61,92	72,29	72,38	100	100	

Şekil 8: Kaplama 3 üst yüzey sem-edax analizi.

Bu bölgede yoğun demir oksit oluştuğunu göstermektedir. Area 4 ve spot 1'de yapılan analizlerde ise %100 Fe tespit edilmiş olup çelik ana yapıyı göstermektedir. Spot 2'de kaplama bileşimindeki çukurda ise Fe ve C tespit edilmiştir. Şekil 8'de sıcak haddelenmiş plaka numunesi kaplama yapılmayan bölge kesitinde 1000x büyütmede sem analiz görüntüsü alınmış ve edax elementer analiz yapılmıştır. Spot 1'de C, O, Zn ve Fe pikleri tespit edilmiştir. Area 1 haddeleme yüzeyine yakın bölgede Fe, O, Cu ve Co pikleri tespit edilmiştir.



1000x

Element	Spot 1	Area 1	Area 2	Area 3	Spot 2	Area 4	Spot 3	Area 5
C K	2,95	4,04			78,95		5,51	7,38
O K	33,25	31,70	29,97	26,46	21,05	29,93	32,27	31,17
CoK		0,58						
CuK		1,38						
SiK								
ZnK	2,65							
FeK	61,15	62,30	70,83	73,54		70,07	62,21	61,45

Şekil 9: Kaplamasız numune kesit yüzey sem-edax analizi.

Bu bölgede demir oksit meydana gelmiş olup beraberinde Co ve Cu elementlerinde kaplama bileşiminde haddeleme esnasında bulaştığı öngörülmektedir. Area 2 çelik dış yüzeyine yakın bölge olup kopmamış bir parçadır. Area 2 ve Area 3 kopmamış olan yüzeyden yaklaşık 100 mikron derinliğinde demirin oksitlendiğini ve bu bölgeden zamana bağlı olarak kopabileceği öngörülmektedir. Area 4, Spot 3 ve Area 5 Fe ve O pikleri tespit edilmiş olup bu bölgede oksitlenen gevrek tufallerin haddeleme esnasında bir çok parçaya ayrıldığını göstermektedir. Oksitlenmiş ana yüzeyden koparak ayrılmış parçalar haddeleme işlemelerinden sonra normal proseslerde basınçlı temizleme ile yüzeyden temizlenerek uzaklaştırılacaktır.

Kaplama/Tufal Kalınlığı

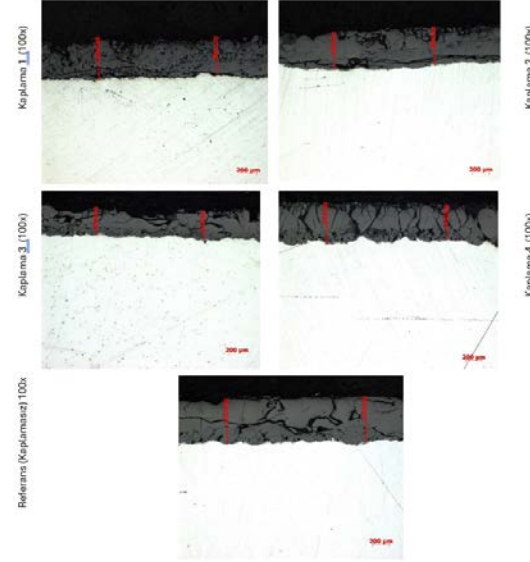
Yapılan çalışmalarda 1200°C'de oksitleyici ortamda çelik plaka yüzeyinde meydana gelen tufal tabakasının sıcak haddeleme sonrasında kalınlıkları kesit yüzeyde optik mikroskopta ölçüm yapılarak incelenmiştir. Çizelge 6'da ana yapı üzerinde meydana gelen oksitlenmiş tabaka kalınlığı kaplamalı ve kaplamasız bölgelerde ölçüm yapılmış ve sonuçlar verilmiştir. Optik mikroskopta 100x büyütmede alınan mikroyapı görüntülerinde kaplamasız olan referans

bölgede 575 mikron ile en kalın tufal tabakasının meydana geldiği tespit edilmiştir. En küçük tufal tabakası kalınlığı ise 3 no'lu kaplama bileşiminde 368 mikron olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 6: Sıcak haddelenmiş kaplamalı ve kaplamasız numune tufal kalınlık ölçümü.

	Ölçüm 1	Ölçüm 2	Ortalama
Kaplama 1	535,59	484,11	509,85
Kaplama 2	478,63	490,69	484,66
Kaplama 3	358,15	377,87	368,01
Kaplama 4	544,34	454,55	499,445
Kaplamasız	575,02	575,02	575,02

Şekil 10'da sıcak haddelenmiş kaplamalı ve kaplamasız sac numunesi optik mikroskopta alınan tufal kalınlık ölçümleri verilmiştir. Kaplamalı ve kaplamasız olan bütün numunelerde oksitlenmeye bağlı tufal meydana geldiği tespit edilmiştir. Kaplamalı numunelerde farklı olarak kullanılan bileşime bağlı gevrek tufal tabakasına penetre olan Na,Si ve Co gibi elementler tespit edilmiştir. Kaplama bileşiminin tufal tabakası içine penetre olduğu ve tufalleri zayıf bir bağ ile bir arada tuttuğu düşünülmektedir. Optik mikroskopta 100x büyütmede alınan mikroyapı görüntülerinde kaplamanın haddeleme sırasında çelik alt yüzeye batma yapmadığı ve referans mikroyapı görüntüsüne benzer bir yapı meydana geldiği görülmüştür. 4 nolu kaplama bileşiminde keskin girinti ve çıkıntılar diğerlerine göre daha fazla olduğu görülmüştür.



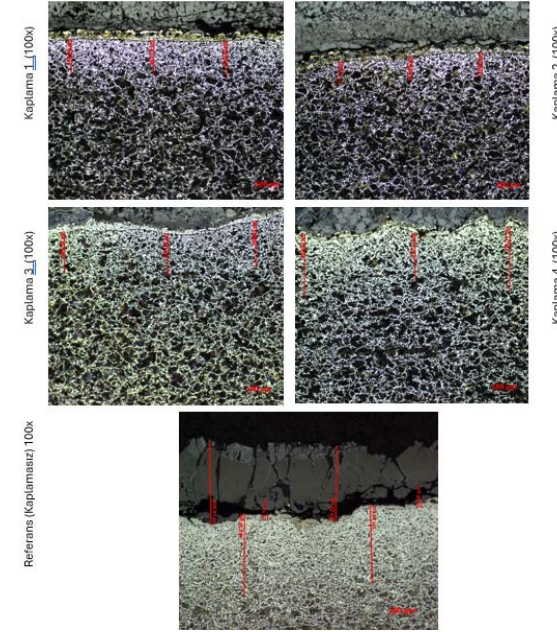
Şekil 10: Sıcak haddelenmiş kaplamalı ve kaplamasız sac numunesi tufal kalınlığı ölçümleri.

Mikroyapı Dekarbürizasyon Analizi

Sıcak haddelenmiş plakada kaplama oksidasyon etkinliğinin incelenmesi için dekarbürizasyon ölçümleri alınmıştır. Ana malzeme seçimi yapılırken karbon oranı yüksek olan AISI 1040 kalite çelik kullanılmıştır. Mikroyapı incelendiğinde, düşük alaşımlı perlit ve ferrit fazlarından oluşan orta karbonlu çelik seçilmiştir. Karbon oranının yüksek olması nedeniyle,

1200°C'de yapılan ısıtılı işlemlerde karbon oksitlenmesinin daha fazla olacağı ve kaplama etkinliğinin daha kolay tespit edilebileceği düşünülmüştür. Şekil 11'de, kaplamasız referans bölgede karbon oksitlenmesi ile birlikte dekarbürizasyon tabakasının diğerlerine göre daha fazla olduğu açıkça görülmektedir. Kaplamalı numunelerde ise ölçüm yapılan oksitlenmiş alanlarda kısmi dekarbürizasyon meydana gelmiştir. Tufal tabakasının altında direkt ferrit tabakası olmadığı için yapının karbon kaybetmesine rağmen ferrit + perlit fazları içerdiği gözlemlenmiştir.

Çizelge 7'de dekarbürizasyon ölçümleri yapılan kaplamalı ve kaplamasız numune kesit yüzeylerinden alınan ölçümler verilmiştir. Kaplamasız olan bölgede ortalama 420 mikron dekarbürizasyon derinliği ölçülmüştür. Kaplamanın dekarbürizasyon üzerinde en etkili olduğu bileşim ise 2 nolu bileşimdir. Ortalama 107 mikron dekarbürizasyon derinliği ölçümü yapılmıştır. Diğer kaplama yapılmış numunelerde tufal tabakası altında perlit lamelleri görülmekte olup kaplamasız referans bölgede ise ölçülen dekarbürizasyon tabakasında ferrit tabakasının baskın olduğu görülmüştür.



Şekil 11: Sıcak haddelenmiş kaplamalı ve kaplamasız sac numunesi dekarbürizasyon ölçümleri.

Çizelge 7: Haddelenmiş kaplamalı ve kaplamasız numunelerde dekarbürizasyon derinliği ölçümü.

µm	Ölçüm 1	Ölçüm 2	Ölçüm 3	Ortalama
Kaplama 1	196,04	203,18	215,26	204,83
Kaplama 2	74,13	116,96	129,05	106,71
Kaplama 3	239,42	244,36	268,52	250,77
Kaplama 4	362,43	270,17	371,77	334,79
Kaplamasız	423,38	413,09	422,27	419,58

Mikro Sertlik Taraması

Sıcak haddeleme işlemleri yapılan AISI1040 kalite sac numunesinde bakalite alınan kesit yüzeylerde kaplama, tufal

tabakası ve dekarbürizasyon oluşumuna bağlı mikroyapı değişimlerinden kaynaklanan bölgelerde mikro sertlik değişimleri incelenmiştir. Tufal tabakasının olduğu bölgelerde kullanılan kaplama bileşiminin 1200°C'de tufalle meydana getirdiği bağ yapısı nedeni ile sertlik değişimleri meydana gelmiştir. Mikro sertlik ölçümleri 300 gr yük uygulanarak HV 0,3 göre test işlemleri yapılmıştır. Çizelge 8'de kaplamalı ve kaplamasız bölgelerden alınan mikro sertlik ölçüm sonuçları verilmiştir.

Yapılan sertlik taramaları 1, 2, 3, 4 numaralı ölçümler tufal/kaplama olan bölgelerde yapılmış olup, 5, 6, 7, 8 numaralı ölçümler ise tufal ve çelik malzeme birleşim noktasından başlayarak yaklaşık 400 mikron derinliğe kadar devam etmektedir. Tufal bölgesinde yapılan ölçümlerde, kaplamalı numunelerde 134 HV ölçüm değeri alınan bölgede tufallerin parçalandığı ve bunun mikrosertlik değerinin azalmasına neden olduğu gözlemlenmiştir. Genel olarak bakıldığında, tufal bulunan oksitlenmiş bölgeler daha gevrek ve daha sert olup, mikrosertliğin ana çelik matrise göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Özellikle tufalin dağılmadığı bölgelerde sertlik değerinin, 1 numaralı numunede 377 HV kadar yükseldiği tespit edilmiştir. 2, 3 ve 4 numaralı tufal bölgelerinin parçalanmadığı ve buna bağlı olarak sertlik değerlerinin yüksek olduğu belirlenmiştir.

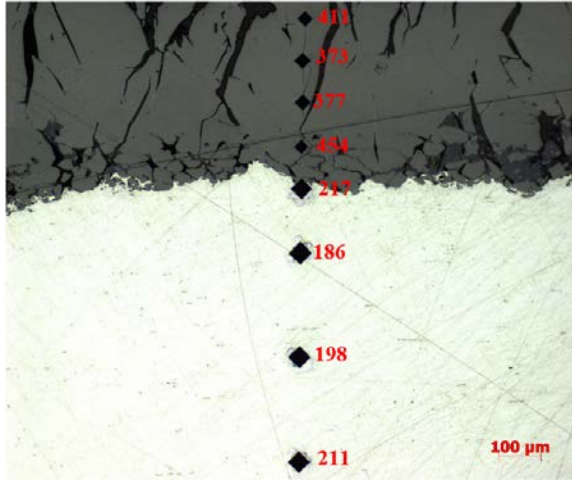
Çizelge 8: Sıcak haddelenmiş kaplamalı ve kaplamasız numune kesit yüzeyi mikrosertlik taraması.

HV 0,3	Numune 1	Numune 2	Numune 3	Numune 4	Kaplamasız
1	134	339	411	427	127
2	185	422	373	413	359
3	231	449	377	353	375
4	377	411	454	387	457
5	184	194	217	246	132
6	214	200	186	195	185
7	228	216	198	210	195
8	220	219	211	207	211

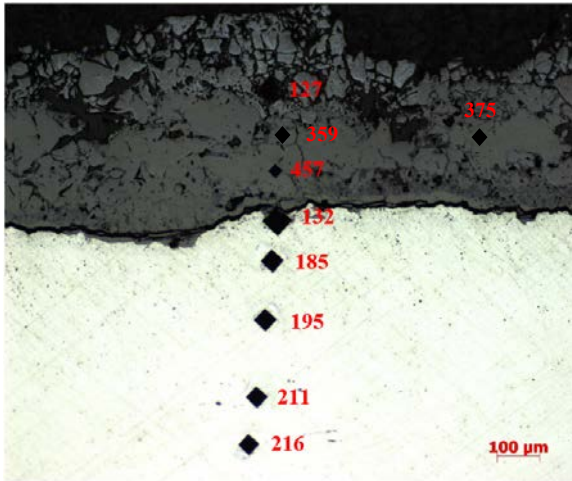
Çizelge 8'de dekarbürizasyon oluşumları incelendiğinde, 5 ve 6 numaralı ölçümlerde kaplamasız numunede karbon kaybına bağlı olarak 132-185 HV aralığında ölçümler alınmıştır. Kaplama yapılan numunelerde ise aynı mikrosertlik ölçüm değerlerinin karbon kaybı daha az olduğu için daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. 7 ve 8 numaralı mikrosertlik ölçümlerinde ise yapının dekarbürizasyon tabakasından çıkılmasıyla çeliğin standart sertliğine ulaşıldığı görülmüştür.

Şekil 12'de, sıcak haddelenmiş AISI 1040 kalite sac numunesinin tufal tabakası kalınlıklarında yapılan mikrosertlik tarama görüntüleri verilmiştir. Şekil 12a'da verilen ilk görüntüde, kaplama yapılan yüzeyde meydana gelen tufal ve çelik kesitinden alınan mikrosertlik ölçümleri gösterilmiştir. Kaplamalı 3 numaralı numune kesitinde alınan mikroyapı resimlerinde, uygulanan kuvvetle beraber dikey kesitli çatlaklar ve boşluklar meydana geldiği tespit edilmiştir. Tufal tabakasının çelik ile arasında boşluk olan bir ara yüzey oluşmadığı gözlemlenmiştir. Kaplama kullanılmayan mikroyapı resminde ise numune üst yüzeyinde ısıtılı işlem sırasında meydana gelen tufalin parçalandığı görülmüştür. Kaplamasız olan sac numunesinde, tufal ile ana metal yüzeyi

arasında boşluk oluştuğu tespit edilmiştir.



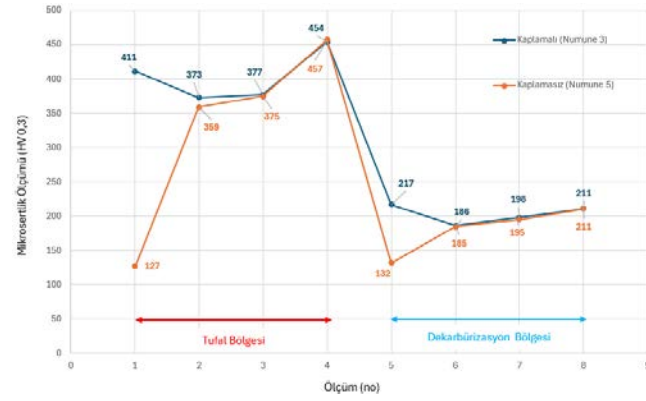
50x Kaplamalı Numune 3



50x Kaplamasız Numune

Şekil 12: Sıcak haddelenmiş kaplamalı ve kaplamasız saç numunesi mikrosertlik taraması

Şekil 12'de kaplamalı ve kaplamasız numune kesitinden alınan mikro sertlik taramaları karşılaştırılması verilmiştir. Kaplamasız numunede en üst yüzeyde gevrek dağılmış bölgede en düşük mikro sertlik değeri alınırken ana metal yüzeye yaklaşıldığı zaman sertlik değerinin artış gösterdiği tespit edilmiştir. Kaplamalı olan numunede dağılma meydana gelmediği için tufal tabakasının daha homojen bir yapıya sahip olduğu görülmüştür. Alınan sertlik değeri dış yüzeyde 411 HV olup yüzeyde bulunan kaplamanın sertlik değerinin yüksek olmasında etkili olduğu tespit edilmiştir. Dekarbürizasyon tabakasında kaplamalı bileşimin 217 HV sertlik ölçümü alınırken kaplamasız olan numunede yapılan ölçümde karbonsuzlaşan bölgede sertliğin 132 HV düştüğü tespit edilmiştir. Şekil 11'de alınan mikroyapı resimlerinde kaplamasız numunede meydana gelen dekarbürizasyon tabakasının derinliğinin çok fazla olduğu kaplamalı olan numune ise tufal tabakası altındaki yapının ana matrise benzer olduğu ve karbonsuzlaşma olmadığı tespit edilmiştir. Ölçüm yapılan 6-7-8 nolu bölgelerde ise 100 mikron derinlik sınırı geçilmiş olup kaplamalı ve kaplamasız mikro sertlik ölçüm değerlerinin benzer olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 13: Kaplamalı ve kaplamasız numune mikro sertlik karşılaştırması.

3. Sonuçlar ve Tartışma

Hazırlanan kaplama bileşimlerinin tavlama sıcaklıklarında çelik ana metal yüzeyi ile koruyucu bir film tabakası oluşturduğu görülmüştür. Isıl işlem süresi boyunca, çelik yüzeyinde bulunan kaplama bileşimlerinin oksitlenme üzerinde etkili olsa da haddeleme işlemleri sıcak yapıldığı için ilk hadde merdanesi ile temas eden kaplamanın, uygulama yapılan dört kaplamada da kalktığı tespit edilmiştir. Sadece 3 numaralı kaplama bileşiminin ezilerek çelik yüzeyinde kaldığı belirlenmiştir. Sıcak haddeleme sırasında çelik plakada, kaplamanın kalkmasıyla birlikte yüzeyde demir oksit oluşumunun devam ettiği düşünülmektedir. Kaplama bileşimlerinin, özellikle oksitleyici fırın ortamında demirin oksitlenmesini azalttığı ve karbonun oksidasyonunu engellediği anlaşılmaktadır. Çalışmada, kaplama bileşimleri sabit tutulmuş ve yalnızca bağlayıcı malzemeler değiştirilerek sürme metodu ile uygulama yapılmıştır. Mevcut kaplama bileşimlerinin 1200°C sıcaklıkta ergimesi ve çelik dış yüzeyinde viskoz bir tabaka oluşturması beklenmiştir. Ancak uygulamada, kaplamanın çelik yüzeyinde uygulanan mekanik kuvvetlerin etkisiyle yüzeyden kalkarak ana metal yüzeyinin tekrar oksitlenmesine neden olmuştur. Numune kesit yüzeyinde yapılan SEM analizlerinde, kullanılan kaplama bileşiminin tufal içine penetre olduğu, yapılan EDAX analizleri ile tespit edilmiştir. 1200°C'de çelik yüzeyinde ergime gösteren kaplamanın bir bölümünün tufal tabakasına giriş yaptığı ve mevcut tabakayı güçlendirdiği öngörülmektedir.

4. Sonuç

Hali hazırda kullanılan dört kaplama bileşiminin, 1200°C'de oksitleyici ortamda dekarbürizasyonu azalttığı tespit edilmiştir. Haddeleme sonrasında alınan mikroyapı görüntülerinde, meydana gelen tufal tabakası altında karbonsuzlaşmanın azaldığı gözlemlenmiştir. Kaplamalı ve kaplamasız numune kesitlerinde yapılan mikrosertlik taramaları, dekarbürize olan bölgelerin düşük sertliğe sahip olduğunu göstermiştir.

Sıcak haddeleme esnasında, 1, 2 ve 4 numaralı kaplamaların merdaneden geçiş sırasında tamamen döküldüğü tespit edilmiştir. Kaplamanın dökülmesiyle birlikte, yüksek sıcaklık nedeniyle demir oksidasyonunun gerçekleştiği ve yeni bir tufal tabakası oluşumunun sağlandığı düşünülmektedir.

Sıcak haddeleme esnasında meydana gelen yeni tufal

tabakasının, kullanılan kaplama ile birlikte ezildiği gözlemlenmiştir. 1200°C'de ısıtım sırasında kaplamanın tufal bileşimine nüfuz ettiği düşünülmektedir. Kaplamanın ana bileşime penetrasyonu ile birlikte, gevrek yapıda olan tufalin, birbirine kaplamanın etkisiyle bağ oluşturduğu öngörülmektedir. Bu nedenle, kaplama uygulanan bölgelerde yapılan sertlik ölçümlerinde yüksek değerler elde edilmesi beklenmektedir.

Kaplama uygulaması yapılan bölgelerde, sıcak haddeleme sırasında kaplamanın altlık yüzeyinde çentik vb. hata oluşumuna yol açmadığı gözlemlenmiştir.

Kaplama bileşiminin ısıtım sırasında tufal parçalarının kopmasını engellediği ve bloklar halinde demir oksitlerin kaldığı görülmüştür. Kaplamasız referans bölgede tufallerin daha çok irili ufaklı parçalanmış şekilde olduğu, ancak haddeleme yapılmasına rağmen kaplamalı bölgelerde daha çok bütün bloklar halinde çelik yüzeyinde kaldığı tespit edilmiştir.

Teşekkür

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesi katkı sağlayan ve desteğini esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Mustafa Kelami ŞEŞEN 'e teşekkürlerimizi sunarız.

Referanslar

- [1]. Meetinder Singh, Sukhraj Singh, D.R.Prajapati, Countering Forging Defects Through Protective Coatings: A Case Study Proceedings of National Conference on Advancements and Futuristic Trends in Mechanical Engineering; Department of Mechanical Engineering, PEC University of Technology, Chandigarh on 17th-18th Oct. 2014,
- [2]. *Deformation Behavior of Oxide Scale in Hot Strip Rolling*. (n.d.).
- [3]. Utsunomiya, H., Hara, K., Matsumoto, R., & Azushima, A. (2014). Formation mechanism of surface scale defects in hot rolling process. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 63(1), 261–264. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2014.03.022>
- [4]. Basabe Mancheno, V. Vinicio. (2011b). *Scale formation and descaling in hot rolling of low carbon steel*. Library and Archives Canada = Bibliothèque et Archives Canada.
- [5]. Graf, M., Kawalla, R., Graf, M., & Kawalla, R. (2014). *Scale development on steel during hot strip rolling* (Issue 2).
- [6]. Chen, J., Feng, G., Zheng, Y., Ma, J., Lin, P., Wang, N., Ma, H., & Zheng, J. (2022). Characterization of surface decarburization and oxidation behavior of Cr-Mo cold heading steel. *High Temperature Materials and Processes*,
- [7]. Naipinij, S., Sukieum, S., Namprai, R., & Nilsonthi, T. (2022). Formation of thermal oxide scale and its adhesion to hot-rolled low carbon steels with different final strip thicknesses. *E3S Web of Conferences*, 355. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202235502008>

[8] X. Zhou a,b, S.F. Ye a, H.W. Xu c, P. Liu c, X.J. Wang a,b, L.Q. Wei a, Influence of ceramic coating of MgO on oxidation behavior and descaling ability of low alloy steel, *Surface & Coatings Technology* 206 (2012) 3619–3625

[9] Manoj Mugale,1 Amit Choudhary,1 Sanoj Karki,1 Jay Desai,1 Ganesh Walunj,1,2 Venkata B. Vukkum,3,4 David Schwam,1 Rajeev Kumar Gupta,3 And Tushar Borkar1,5 , Investigation of Protective Coatings for Reducing High-Temperature Oxidation of Steels JOM, Vol. 77, No. 2, 2025 <https://doi.org/10.1007/s11837-024-06912-9> – 2024 The Author(s)

Demir Çelik Sektöründe Katı Atıkların Geri Dönüştürülmesi ve Ekonomiye Kazandırılması

Recycling of Solid Wastes in the Iron and Steel Industry and Their Use in the Economy

Oğuz IŞIK, Çetin BAĞLAN, Sinan ARAS

MATİL Malzeme Test ve İnovasyon Laboratuvarları

Türkiye

Abstract

The steel production worldwide and in Turkey causes the emergence of large amounts of slag waste. However, the recycling rate of these wastes remains quite low compared to the recycling rate of scrap steel materials. Especially slags used in cement and road construction are not sufficiently evaluated in the process of converting them into economic value despite their potential. This situation leads to tons of waste remaining on the field and spreading over large areas, narrowing the usage areas of factories. To solve these problems, we have developed many innovative projects for recycling slags and evaluating them in different sectors as MATİL. We focused on the use of slag in construction materials and building sector and developed products such as gas concrete, spray concrete, and exterior cladding materials. In addition, we produced and implemented slag-added refractory materials for use in the iron and steel industry and thermal insulation. We conducted R&D studies to use EAF slag as a soil conditioner in agriculture and achieved successful results with full-scale agricultural trials on wheat. Our R&D studies on the production of calcium carbonate (PCC) from slags for balance weight concretes needed in sectors such as white goods, elevators, and construction machinery continue. With these studies on slags, MATİL A.Ş. continues feasibility studies for the mass consumption of high value-added products. As a result of completed projects, it is aimed to increase the use of slags in economically valuable products and to bring wastes into the economy.

Özet

Dünya genelinde ve Türkiye'de demir çelik üretimi, büyük miktarlarda çüruf atığının ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Ancak bu atıkların geri dönüştürülme oranı, hurda çelik malzemelerin geri dönüşüm oranına kıyasla oldukça düşük seviyede kalmaktadır. Özellikle çimento ve karayolu yapımında kullanılan çüruf lar, taşıdıkları potansiyele rağmen ekonomik değere dönüştürülme sürecinde yeterince değerlendirilememektedir [1]. Bu durum, tonlarca atığın sahada kalmasına ve geniş alanlara yayılarak fabrikaların kullanım alanlarını daraltmasına yol açmaktadır. Bu sorunlara çözüm üretmek amacıyla, MATİL olarak çüruf ların geri dönüştürülmesi ve farklı sektörlerde değerlendirilmesi için birçok yenilikçi proje geliştirilmiştir. Özellikle inşaat malzemeleri ve yapı sektöründe çüruf kullanımına odaklanarak gaz beton, püskürtme beton ve dış cephe kaplama malzemeleri gibi ürünler için çalışmalar yapılmıştır. Ayrıca, demir çelik sektörü ve ısı yalıtımında

kullanılmak üzere cüruf katkılı refrakter malzemelerin üretimi ve saha uygulamaları yapılmıştır. Tarım ve ziraat odaklı olarak EAO cürufunun toprak düzenleyici olarak kullanılması amacıyla Ar-Ge çalışmaları yürütülmüş, buğday üzerinde gerçek boyutlu tarımsal deneyimler yapılmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Beyaz eşya, asansör ve iş makineleri gibi sektörlerde ihtiyaç duyulan denge ağırlığı betonları ile cüruflardan kalsiyum karbonat (PCC) üretimi üzerine Ar-Ge çalışmalarımız devam etmektedir. MATİL A.Ş., cüruflar üzerinde yapılan bu çalışmalarla katma değeri yüksek ürünlerin kitlesel olarak tüketilmesi için fizibilite çalışmalarını sürdürmektedir. Tamamlanan projeler sonucunda, ekonomik değeri olan ürünlerde cürufların kullanımı artırılarak atıkların ekonomiye kazandırılması hedeflenmektedir.

1. Giriş

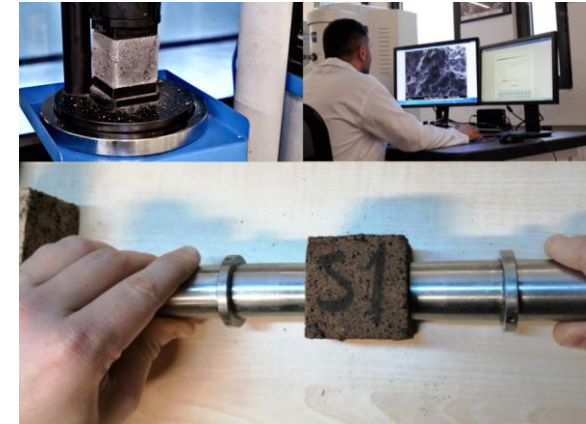
Dünya genelinde ve Türkiye'de demir çelik üretimi sırasında yüksek miktarlarda cüruf atığı ortaya çıkmaktadır. Türkiye'de 2023 yılında 33,7 milyon ton çelik üretimi yapılmış ve bu üretim sonucunda yaklaşık 5 milyon ton EAO cürufu ortaya çıkmaktadır [3]. Bu cürufların büyük bir kısmının değerlendirilememesi nereli ile stok sahalarında birikmesi çelik üreticileri için büyük problem haline almıştır. Şekil 1'de cüruf sahalarından numune alma işlemi ve cürufların boyutlandırılması gösterilmiştir.



Şekil 1. Sahadan Cüruf Toplama ve Cürufların Boyutlandırılması

2. Deneysel Çalışmalar

Çelik üretiminde ortaya çıkan cüruf atıkları hem çevresel hem de ekonomik açıdan önemli bir sorun teşkil etmektedir. Bu makalede, çelik cürufunun çeşitli endüstriyel ve tarımsal uygulamalarda nasıl değerlendirilebileceği ve geri dönüştürülebileceği ele alınmıştır. Çeşitli araştırma projelerinden elde edilen bulgular, cürufun enerji geri kazanımı, yapı malzemesi üretimi ve tarımsal toprak düzenleyici olarak kullanım potansiyelini ortaya koymaktadır. Şekil 2’de numunelere yapılan deneysel çalışmaların ultrasonik muayene, mukavemet testi ile sem mikroyapı inceleme görüntüleri verilmiştir.



Şekil 2. Deneysel Çalışmalardan Örnekler [5].

Farklı ürünler için yapılan arge çalışmaları ve yöntemler aşağıda açıklanmıştır.

2.1. Çelikhanede Cüruf Isısının İzole Edilerek Korunması ve Taşınması

Isı Geri Kazanımı: Çelik üretiminde açığa çıkan cürufun yüksek sıcaklığından ısı geri kazanımı, enerji verimliliğini artırarak maliyetleri düşürmek açısından büyük önem taşır. Bu ısı, enerji üretimi, endüstriyel prosesler, sıcak su üretimi ve hurda ön ısıtması gibi alanlarda kullanılabilir.

Cüruf atıklarından yapılan refrakter izole beton ve gaz beton yalıtım astarı olarak çift katmanlı kullanılmış ve ısı taşıma konteyner sistemleri geliştirmiştir. Bu sistemler, cürufun ısını koruyarak taşınmasını ve enerjinin başka yerlerde kullanılmasına olanak sağlar.

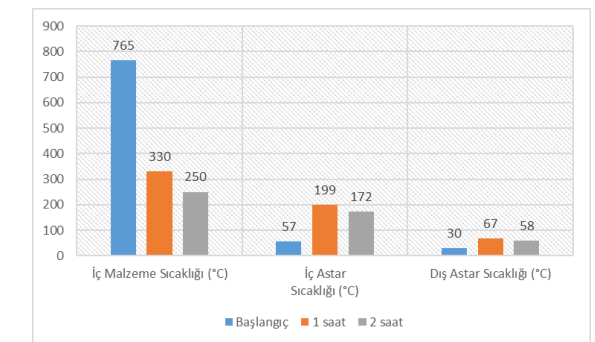
Deneysel Çalışmalar: 60x39x39 cm³ hacme sahip bir pilot ölçekli küçük taşıma arabası tasarlanmış ve cüruf esaslı gaz beton ve refrakter izole beton kullanılarak astarlama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan simülasyon analizleri ve deneysel çalışmalar, konteynerin ısı yalıtım performansını doğrulamıştır. Şekil 3'te pilot ölçekli tasarlanan konteyner içine küll fırında kor haline getirilmiş cürüfların beslenmesi gösterilmiştir [4].



Şekil 3. Cüruf Isısının İzole Edilmesine İlişkin Simülasyon Çalışması [4].

Sonuçlar ve Tartışma: Tasarlanan pilot ölçek konteynerin cürufun ısısını koruyarak işletme içinde büyük ölçekli konteyner kullanılarak taşınması ve ısıya ihtiyaç olan farklı proseslerde değerlendirilmesi planlanmıştır. Elde edilen sonuçlar, cüruf esaslı atıklardan geliştirilen ürünlerden tasarlanan konteynerin enerji verimliliğini artırarak maliyetleri düşürebileceğini göstermektedir. Grafik 1 de konteynerde ölçülen sıcaklık değerleri verilmiştir [4].

Grafik 1. Konteyner Sıcaklık Değerleri [4].



2.2. EAO Cüruf Atıklarından Yüksek Performanslı Refrakter İzole Beton Üretimi

İzole Refrakter Betonlar: Demir çelik, alüminyum ve çimento gibi yüksek sıcaklık gerektiren endüstrilerde yaygın olarak yalıtım amaçlı kullanılan izole refrakter betonlar, zayıf mukavemetleri nedeniyle düşük performansa sahiptir. Bu çalışmada, EAO cürufu ana agrega olarak kullanılarak düşük maliyetli ve yüksek performansa sahip izole refrakter beton elde edilmiştir. Şekil 4'te cüruf esaslı izole refrakter betonun Süperref A.Ş.'de üretim görüntüleri ile İçdaş D.Ç. firmasında tav fırını cehennem bölgesi çalışma astarı üzerine izolasyon amaçlı uygulama görüntüleri verilmiştir.



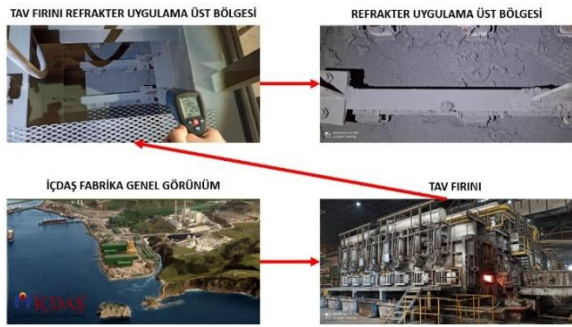
Şekil 4. Cürüştan Elde Edilen Refrakter İzole Betonunun Uygulanması [5].

Deneyisel Çalışmalar: EAO cürufu, kimyasal ve fiziksel analizler yapılarak karakterize edilmiş ve izole refrakter reçete bileşimlerinde kullanılmıştır. Hazırlanan cüruf esaslı reçetelerden izole refrakter beton harçlar kalıp içine dövme yapılmak sureti ile şekillendirme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan numunelere fiziksel ve mekanik testler, ısı iletkenlik testleri, ultrasonik ses iletkenlik testleri ve mikroyapı incelemeleri yapılmıştır. Tablo 1’de izole refrakter beton için uygulanan test sonuçları verilmiştir [5].

Tablo 1. Matil' de cüruftan üretilen refrakter ürünlerin teknik özellikleri [5].

Sıcaklık	Testler	Matil Cüruf Refrakter Ürün 1	Matil Cüruf Refrakter Ürün 2	Matil Cüruf Refrakter Ürün 3
110°C	Birim Mesafe Ses İletim Süresi (µs)	30,5	34,6	29,6
	Ses İletim hızı (m/s)	1640,1	1443,2	1690,2
	Elastik Modül (GPa)	3,0	2,5	3,4
	Soğuk Basma Dayanımı(kg/cm ²)	34,24	24,64	29,44
1100°C	Birim Mesafe Ses İletim Süresi (µs)	31,8	48,2	35,3
	Ses İletim hızı (m/s)	1574,7	1037,2	1360,6
	Elastik Modül (GPa)	2,7	1,2	2,1
	Soğuk Basma Dayanımı(kg/cm ²)	21,76	28,92	29,64

Sonuçlar: EAO cürufunun genleşmesine engel olan kaplama, yüzeyde koruyucu bir tabaka oluşturmuştur. 900-1100°C kullanım servis sıcaklıklarında uzun kullanım ömrü sağlamıştır. EAO cürufunun yüksek sıcaklıkta ergime göstermediği ve 1150°C'ye kadar servis sıcaklığında çalışabildiği tespit edilmiştir. Şekil 5'te uygulama yapılan tav fırını resmi ve betonun 1 yıl sonunda halen sağlam olduğu ve yalıtım özelliğini yitirmediği tespit edilmiştir [6].



Şekil 5. Cürufllu Refrakter Betonunun Uygulandığı İşletme Bölgesi [5].

2.3. Demir Çelik Cürufunun Bitkisel Üretimde Kullanımı

Proje Kapsamı: Çelik cürufunun bitkisel üretimde toprak düzenleyici ve gübre olarak kullanılması üzerine üç iş paketi planlanmıştır: Buğday Üretim Denemesi, Toprak İnkübasyon Denemesi ve Marul Üretim Denemesi.

Denemeler: İki farklı partikül büyüklüğü (0-2 mm ve 0-4 mm) ve üç farklı doz (%0.5, %1.0 ve %2.0) cüruf kullanılarak asidik ve alkali topraklarda gerçekleştirilmiştir. Tam ve yarı gübreleme yapılmıştır. Ara ve son hasat analizleri yapılmış, klorofil ölçümleri, biyokütle verileri ve ICP analizleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 6'da alkali toprakta yapılan sera denemelerinden kullanılan EAO cürufunun bitkinin büyümesi üzerindeki etkileri gösterilmiştir.



Şekil 6. Cürufllu Elde Edilen Gübrenin Buğday Bitkisine Etkilerinin Görselleştirilmesi [7].

Sonuçlar: Cüruf, asidik toprakta yüksek pH değeri

sayesinde toprak düzenleyici olarak işlev görmektedir ve toprak pH seviyesini bitkilerin gelişimi için optimum seviyelere getirmektedir. Alkali toprakta cüruf, gübre gibi davranarak toprakta ve bitki dokularında bor ve çinko gibi esansiyel elementlerin konsantrasyonunu artırmaktadır. Cürufun içeriğindeki ağır metallerin toprağa zarar vermediği ve toprakta birikmediği, aksine kadmiyum (Cd), krom (Cr) ve kurşun (Pb) gibi elementlerin konsantrasyonlarında düşüş sağladığı görülmüştür. Şekil 7'de Ankara Polatlı ilçesinde buğday tarlasında ve bahçede taban ve üst gübre olarak deneme resimleri verilmiştir [7].



Şekil 7. Cürufllu Gübrenin Buğday Tarlasında Uygulaması

2.4. EAO Cüruf Esaslı Düşük Çimentolu Ağır Beton Geliştirilmesi

Proje Kapsamı: Beyaz eşya sanayinde kullanılan denge ağırlık betonlarına ana granül bileşen olarak yüksek hacim ağırlığına sahip EAO cürufu kullanılması planlanmaktadır. EAO cürufunun hidrolik bağlayıcılar ile bağlanarak daha düşük çimento oranlarında veya tamamen çimentosuz ağır prekast beton geliştirilmesi amaçlanmaktadır.

Proje Hedefleri: EAO cüruf atıklarının ağır beton üretiminde ana agrega olarak kullanılması, çimento oranının %20'den %5'e kadar azaltılması ve çimentosuz beton denemeleri yapılması hedeflenmektedir. Şekil 8'de EAO cüruf esaslı bileşimde düşük oranda çimento kullanılarak hazırlanan numune genel görüntüsü verilmiştir.



Şekil 8. Cüruftan Elde Edilen Ağır Beton Numunesi

Sonuçlar: Bu çalışmada EAO cürufunun geri dönüşümünün sağlanması ve azaltılan çimento oranı ile ağır beton üretiminde kullanılan çimento üretiminden kaynaklanan karbon emisyonunun yaklaşık %50 oranında azaltılması hedeflenmektedir

2.5. Zenginleştirilmiş EAO Cüruf Atıklarından İzole İnşaat Tuğlası (Gaz Beton) Geliştirilmesi

Çalışmanın Amacı: EAO cüruflarının, düşük yoğunluklu

hafif inşaat tuğlası olarak değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Bu çalışma ile çelik firmalarının cüruf atıklarını katma değerli ürünlere dönüştürme potansiyeli araştırılmaktadır.

Deneyisel Çalışmalar: EAO cürufu, hidrolik bağlayıcılar ve hava sürükleyici köpürtücüler kullanılarak yeni sistemler geliştirilmiştir. Cüruf numunesi homojen hale getirilmiş, öğütülmüş ve manyetik separatörden geçirilerek zenginleştirilmiştir. Zenginleştirilen cüruf numunelere hali hazırda gazbeton bileşiminde bulunan Silis kumu yerine kullanılabilmesi için yapılan arge çalışmaları ile uygun reolojik özellikler kazandırılarak gazbeton bileşiminde kullanılabilir bir hammadde kaynağı haline dönüştürülmüştür. Hazırlanan karışımlar, 5x5x5 cm küp kalıplar içine dökülerek mukavemet testleri için hazırlanmıştır. Tablo 2'de Matil A.Ş. 'de pilot ölçekli üretimi yapılan cüruf esaslı gaz betonun fiziksel ve mekanik özellikleri gösterilmiştir [8].

Tablo 2. Matil Gaz Beton Teknik Özellikler [8].

Teknik Özellik	Proje Çıktısı
Su Buharı Geçirgenliği	5/10
Yangına Tepki	A1
Hacim Ağırlığı (kg/m ³)	0,65
Soğuk Basma Dayanımı (N/mm ²)	4,5
Isıl İletkenlik (W/mk)	0,17

Sonuçlar: Öğütülmüş EAO cürufunun yaklaşık %50'i ile hafif beton tuğla üretilebileceği tespit edilmiştir. EAO cürufunun kimyasal bileşimi, gaz beton bileşiminde kullanılan kuvars kumundan farklı olduğu için normal gaz beton üretiminden farklı proseslerle üretim yapılması gerekmektedir. EAO cürufunun hafif beton tuğla üretiminde kullanılabilmesi için oksit formunda olmayan metallerin manyetik separatörlerde alınarak zenginleştirme yapılması gereklidir. Zenginleştirilen hammaddeler kullanılarak katkı malzemeleri ile gazbeton bileşiminde kullanıma uygun duruma getirilmiştir. Şekil 9'da piyasada kullanılan ve Matil A.Ş.'de pilot ölçekli laboratuvar ortamında üretilen cüruf esaslı gazbeton numunesi görüntüleri verilmiştir [8].



Şekil 9. Cüruftan Elde Edilen Gaz Beton [8].

2.6. Cüruftan Kalsiyum Karbonat (PCC) Üretimi

Bu proje çelik endüstrisinin sebep olduğu CO₂ emisyonlarını azaltmak ve cüruf atıklarını değerlendirerek

çöktürülmüş kalsiyum karbonat (PCC) üretmek amacıyla planlanmıştır. Proje kapsamında, baca gazına entegre CO₂ tutma prosesi, cüruf atığından kalsiyumun seçici liç ekstraksiyonu ve ekstrakte edilmiş kalsiyumun CO₂ ile mineralizasyonu gerçekleştirilecektir. Bu yenilikçi yaklaşım hem çevresel sürdürülebilirliği artırmayı hem de ekonomik değeri olan ürünler üretmeyi hedeflemektedir.

3. Sonuçlar ve Tartışma

MATİL bünyesinde gerçekleştirilen çalışmalar, çelik üretim süreçlerinden kaynaklanan cüruf atıklarının geri dönüştürülmesi ve çeşitli sektörlerde yüksek katma değerli ürünlere dönüştürülmesi üzerine yoğunlaşmaktadır. Bu kapsamda yürütülen araştırma ve geliştirme projeleri, cürufatların sürdürülebilir bir şekilde değerlendirilmesini sağlayarak hem çevresel hem de ekonomik kazanımlar elde edilmesini amaçlamaktadır.

Çelik üretimi sırasında ortaya çıkan cüruf, sahip olduğu mineralojik ve kimyasal bileşimi sayesinde geri dönüşüm açısından önemli bir potansiyele sahiptir. Yapılan analizler, cürufun enerji geri kazanımı, yapı malzemesi üretimi ve tarımsal toprak düzenleyici olarak kullanımının teknik ve ekonomik açıdan uygulanabilir olduğunu göstermektedir. Bu doğrultuda, cüruf bazlı malzemelerin çeşitli mühendislik uygulamalarında kullanımı, atık yönetimi açısından sürdürülebilir çözümler sunmakta ve sanayide döngüsel ekonomiye katkı sağlamaktadır.

Gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda, cürufun gaz beton, püskürtme beton, refrakter tuğla, beton yol kaplamaları, ağır beton, toprak düzenleyici ve presipitasyon kalsiyum karbonat (PCC) üretimi gibi farklı alanlarda başarılı bir şekilde kullanımı sağlanmıştır. Özellikle, mekanik, termal ve kimyasal dayanım açısından yapılan değerlendirmeler, cüruf bazlı yapı malzemelerinin geleneksel alternatiflere kıyasla avantajlar sunduğunu ortaya koymaktadır. Bu bulgular, demir çelik endüstrisinde oluşan atıkların etkin bir şekilde yönetilerek sürdürülebilir üretim süreçlerine entegrasyonunu desteklemekte ve çevresel etkilerin minimize edilmesine katkı sağlamaktadır.

Bu doğrultuda, cürufatların endüstriyel ve tarımsal uygulamalarda kullanımına yönelik çalışmaların artırılması, malzeme karakterizasyonu ve optimizasyon süreçlerinin geliştirilmesi gerekliliği öne çıkmaktadır. Gelecekte, cüruf bazlı ürünlerin daha geniş bir kullanım alanına yayılması ve ilgili standartların oluşturulması, bu atık malzemenin ekonomik değerinin maksimize edilmesine ve çevresel sürdürülebilirliğin güçlendirilmesine önemli katkılar sunacaktır.

Teşekkür

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesi için cüruf numuneleri sağlayan ve saha çalışmalarını destekleyen İÇDAŞ Çelik, Enerji, Tersane ve Ulaşım A.Ş. 'ye teşekkür ederiz. Ayrıca, çalışmamıza katkı sağlayan ve desteğini esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Eyüp Sabri Kayalı 'ya içten teşekkürlerimizi sunarız.

Referanslar

- [1] Demir Çelik Cüruf Raporu, Türkiye Çelik Üreticileri Derneği, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2015
- [2] Yasin Öcal, Demir Çelik Sektöründe Atık Yönetimi, Uzmanlık Tezi, T.C. Kalkınma Bakanlığı, 2014
- [3] <https://worldsteel.org/>
- [4] Çetin Bağlan, Oğuz Işık, Sinan Aras, MATİL Malzeme Test ve İnovasyon Laboratuvarları A.Ş., Türkiye, efrs2024 9. Uluslararası Demir Çelik Sempozyumu (06-07 Haziran 2024, İzmir), Çelikhane Cüruflarında Döküm Sonrası Açığa Çıkan Cüruf Isısının İzole Edilerek Korunması ve Taşınması
- [5] Çetin Bağlan, Oğuz Işık, Okan Aydın, Baycan Karabağ, Sinan Aras, MATİL Malzeme Test ve İnovasyon Laboratuvarları A.Ş, Maslak, İstanbul, Türkiye, efrs2022 8. Uluslararası Demir Çelik Sempozyumu (26-27 Mayıs 2022, İzmir), EAO Cüruf Atıklarından Yüksek Performanslı Pilot Ölçekli Refrakter İzole Beton Üretimi
- [6] Ç. Bağlan, O. Işık, O. Aydın, Use of Electric Arc Furnace Slag Waste as Raw Material of Refractory Insulating Brick, International Colloquium Refractories, Aachen, Germany, 2022
- [7] Rifat Bugra Bildiri, Sinan Aras, Cetin Baglan, Oguz Isik, Umit Baris Kutman, Bahar Yildiz Kutman, Gebze Technical University, The Institute of Biotechnology, Gebze, 41400, Kocaeli, Türkiye, Materials Testing and Innovation Laboratories Co. (MATIL), Valorization of Steel Slag as a Safe Soil Amendment for Sustainable Crop Production, Investigation into Effects of Steel Slag on Wheat Evaluation of Environmental Concerns and Food Safety Issue, euroslag'24, Bilbao
- [8] Çetin Bağlan, Oğuz Işık, Okan Aydın, Sinan Aras, MATİL, efrs2022 8. Uluslararası Demir Çelik Sempozyumu (26-27 Mayıs 2022, İzmir), Zenginleştirilmiş eao Cüruf Atıklarından Köpürtme Yöntemi ile İzole İnşaat Tuğla Geliştirilmesi

Türkiye Demir & Çelik İşletmelerinin Enerji Tasarrufu Potansiyeli

Energy Conservation Model for Türkiye's Iron & Steel Industry

Oğuzhan SAKARYA, Uğur CENGİZ

Bilecik Demir Çelik

Türkiye

Anahtar Kelimeler: enerji verimliliği, enerji yönetimi, PUKO, çelik üretimi, haddehane**Abstract**

It is important to adopt and maintain a systematic approach in energy efficiency in Iron - Steel company. For this reason, the existence of TS EN ISO 50001 Energy Management System (EnMS), energy studies and studies to increase energy efficiency have become imperative. As in all management systems, the PDCA cycle is based on the “Plan, Do, Check, Act” ranking in the Energy Management System. In addition to this, energy efficiency for Iron - Steel sector is both an environmental problem, a strategic problem in terms of sustainability, and a current imperative to reduce costs with increasing competition. Increasing and optimizing energy efficiency in enterprises has attracted attention by managers, the methods and tools used for efficient consumption of energy have become more important. This scope of study, Bilecik Demir Çelik, includes energy management system implemented to increase energy efficiency and applicable studies covering all steel meltshop and rolling mills. Studies have shown that energy costs can be reduced between 5% and 20% per year with EnMS and its tools.

Özet

Demir - Çelik işletmelerinde enerji verimliliğinde sistematik bir yaklaşımın benimsenmesi ve sürdürülmesi önemlidir. Bu nedenle işletmelerde TS-EN ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi (EnYS)'nin varlığı, enerji etütlerinin ve enerji verimliliğini artırıcı çalışmaların uygulanıyor olması zorunluluk haline gelmiştir. Her yönetim sisteminde olduğu gibi enerji yönetim sisteminde de “Planla, Uygula, Kontrol Et, Önlem al” sıralamasında PUKO döngüsü temel alınmaktadır. Bunun yanında, Demir - Çelik sektörü açısından enerji verimliliği hem çevresel bir sorun, hem sürdürülebilirlik açısından ele alınan stratejik bir problem, hem de artan rekabet ile birlikte maliyetlerin

düşürülmesi için güncel bir zorunluluktur. İşletmelerde enerji verimliliğinin artırılması ve optimize edilmesi yöneticiler açısından önemli bir problem olarak ortaya çıkmış, enerjinin verimli şekilde tüketilmesi için kullanılan yöntem ve araçların önemi daha da artmıştır. Bu çalışma kapsamında; Bilecik Demir Çelik San. Tic. A.Ş.'de enerji verimliliğini arttırmak üzere uygulanan enerji yönetimi sistemine ve tüm Çelikhane ve Haddehaneleri kapsayan uygulanabilir etütlere yer verilmiştir. Araştırmalar göstermiştir ki, EnYS ve araçları ile yıllık enerji maliyetleri %5 ile %20 arasında düşürülebilir.

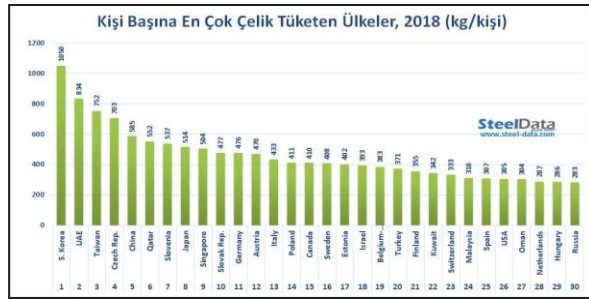
1. Giriş

Aynı ya da daha fazla miktarda ürün üretmek için daha az enerji kullanımı olarak ifade edilen “*Enerji Verimliliği*”nin; sanayi sektörleri içinde en çok enerji tüketen sektörlerden biri olan Demir - Çelik endüstrisinde önemi giderek artmaktadır. Enerjiyi yoğun kullanan Demir - Çelik sektörünün, Türkiye'nin toplam enerji tüketimi içerisindeki payı, %7,5 sanayi tüketimi içerisindeki payı %21 civarındadır. Demir - Çelik sektöründe, enerjinin girdi maliyetlerindeki payı ise hammaddeden sonra 2. sırada yer almakta ve % 15-25 civarında yüksek bir orana karşılık gelmektedir. Enerjinin üretim maliyetleri içerisindeki payı, enerjinin Demir - Çelik sektörü açısından nasıl bir öneme sahip olduğunu göstermeye yetmektedir. Bu nedenle “*Enerji Yönetimi*” enerji maliyetlerini azaltmak için çelik üreticilerinin öncelikli konularından biri haline gelmektedir.

Son yıllarda daha fazla gündemde olmasına karşın, aslında enerji geçmişte de büyük öneme sahip olan bir konu idi. Çünkü enerji kaynaklarına sahip olmak ve enerji yollarını yönetmek isteyen ülkeler birbirleri ile

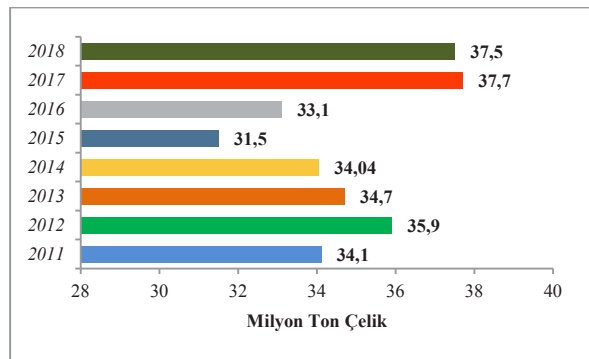
devamlı savaşmışlardır. Dünya savaşlarının arka planına baktığımızda asıl konunun enerji kaynakları ve enerji yolları olduğunu görürüz. Ülkelerin rekabet üstünlüğü sağlamada istifade ettikleri en önemli unsurlardan biri olan enerji, içinde bulunduğumuz yeni dönemde ise teknolojik yenilikler, sermaye hareketleri için sınırların hemen hemen kalkmış bulunması ve iletişim alanındaki önemli gelişmeler, hem Dünya'daki enerji kullanımının miktar ve hızını arttırmış, hem de enerjiyi üzerinde durulması gereken en önemli sorun alanlarından birisi haline getirmiştir.

Diğer bir yaklaşımla, ülkelerin gelişmişlik seviyelerini belirleyen göstergelerden biri olan kişi başına demir – çelik tüketiminin Dünya ve Avrupa Birliği değerlerini yakalaması amacıyla, ülkede sektör, Türkiye Cumhuriyeti'nin kurulmasıyla beraber başlayan sanayileşme sürecinde her zaman önemli bir yere sahiptir. Bu değer, 2000 yılı için Avrupa Birliği'nde ortalama 385 kg/kişi, Türkiye'de ise aynı yıl için 196 kg/kişi, 2005 yılı için 230 kg/kişi, 2018 yılı için ise Şekil 1'de belirtildiği gibi 371 kg/kişi'dir.

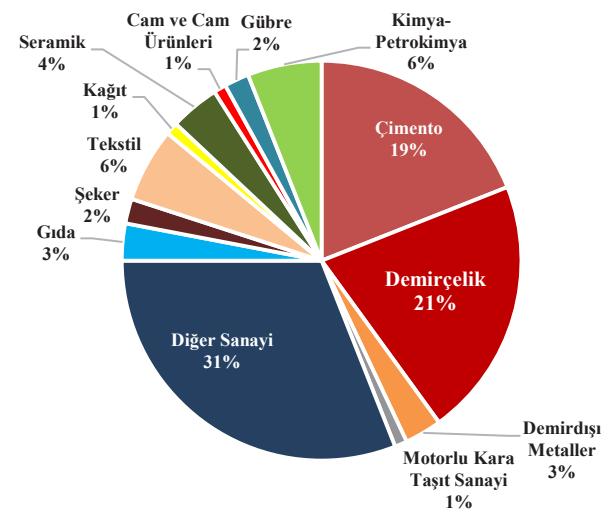


Şekil 1. Kişi başına en çok çelik tüketen ülkeler

Şekil 2'de belirtildiği gibi 2018 yılında 37,3 milyon ton çelik üretimi gerçekleştiren Türkiye, çelik sektöründe, bir önceki döneme göre (37,5 milyon ton) ham çelik üretimi yaklaşık %0,6 oranında azalmıştır. Üretimdeki düşüşe rağmen Türkiye, Dünya ham çelik üretim sıralamasında, ilk 10 ülke arasında 8. sıradaki yerini korumuştur.



Şekil 2. Yıllık bazında ülkemizin ham çelik üretim miktarı



Şekil 3. Türkiye'de Sanayide Tüketilen Nihai Enerjinin Sektörel Dağılımı (2012)

1.2. Enerji Verimliliği Nedir?

Enerji verimliliği, tüketilen enerji miktarının, üretimdeki miktar ve kaliteyi düşürmeden, ekonomik kalkınmayı ve sosyal refahı engellemeden en aza indirilmesidir. Daha geniş anlamıyla enerji verimliliği, gaz, buhar, ısı, hava ve elektrikteki enerji kayıplarını önlemek, çeşitli atıkların geri kazanımı ve değerlendirilmesi veya ileri teknoloji ile üretimi düşürmeden enerji talebinin azaltılması, daha verimli enerji kaynakları, gelişmiş endüstriyel süreçler, enerji geri kazanımları gibi etkinliği artırıcı önlemlerin bütünüdür [1]. Bu bağlamda, enerji yönetimi, enerji kaynaklarının ve enerjinin verimli kullanılmasını sağlamak üzere yürütülen eğitim, etüt, ölçüm, izleme, planlama ve uygulama faaliyetleridir (5627 Sayılı Enerji Verimliliği Kanunu,200:2).

1.3. Endüstriyel İşletmelerde Enerji Yönetim Sistemi

Enerji yönetim sistemi, enerji politikasını ve amaçlarını belirlemek ve bu amaçlara ulaşmak için birbiriyle ilişkisi olan veya karşılıklı etkileşime giren öğeler kümesidir. Enerji politikası ve hedeflerini oluşturmak için birbirleriyle bağlantılı veya etkileşen öğeler grubu ve bu hedeflere ulaşmak için uygulanan proses ve prosedürlerdir [2]. Enerji yönetim sisteminin temel amacı üretilen hizmet ve servislerin en düşük enerji maliyeti ve en az çevresel etki ile sağlanmasıdır [3]. Enerji yönetiminin hedefleri üretim ve kaliteyi düşürmeden enerji maliyetlerini / israfını ve çevresel etkilerini en aza indirmektir [4].

İşletmelerde enerji yönetimi sistemini kurmak planlı bir çabayı gerektirir. Enerji tasarruflarını hedef alan, hedeflere dayanan bir strateji oluşturulmalıdır. Etkin bir enerji yönetimi sistemini kurmak, hedeflere sistematik olarak ulaşmak için aşağıda belirtilen adımlar endüstriyel işletmeler tarafından atılmalıdır ve bu alanlarda iyileştirme yapılmalıdır.

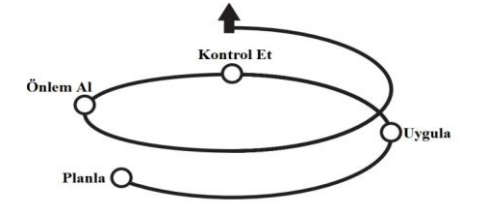
- Verimsiz iş alanları, ekipmanlar ve prosesler belirlenmelidir,
- Kullanılan veya kullanılabilecek enerji kaynakları hakkında her türlü detay teknik bilgiye sahip olmalıdır,
- İşletmede kullanılan ekipmanların ve üretim prosesinin teknik detay bilgisine hâkim olmalıdır,
- İşletme içerisinde enerji tüketiminin gerçekleştiği başlıca proses noktaları ve ekipmanları belirlenmelidir,
- Detaylı ve derinlemesine olacak şekilde belirlenen bu noktalarda verimsizlikler belirlenmeli ve yok edilmelidir,
- Teknoloji ve ekipman ihtiyacının belirlenmesine yönelik çalışma yapılmalıdır,
- Kaynakları gereksinimi hakkında karar aşamalarında teknik analizler, tartışma ve görüş alışverişleri, beyin fırtınası gibi teknikler kullanılmalıdır,
- İnsan gücü, makine ve teknolojisi gibi kaynaklar yönetilmelidir,
- Hareket planlarını değerlendirilmeli, yatırım dönüş hızları hesaplanmalıdır,
- Yeni üretim süreçleri, yeni teknolojik gelişmeler ve yeni geliştirilmiş makineler sürekli izlenmeli ve uygulanması yönünde değerlendirilmelidir,
- Yapılan çalışmalar değerlendirilmeye tabi tutulmalı ve güncellenmelidir.

Endüstriyel işletmelerde enerji yönetiminin varlığı için bazı ana bileşenlerin bulunması gereklidir;

- Firma üst yönetim taahhüdünün yapılmış olması,
- Enerji yönetim sistemi ve programın hedefleri açıkça tanımlanmış olması,
- Organizasyonel yapı, tanım ve sorumlulukların belirlenmiş olması,
- Kaynakların (insan¶) sağlanabiliyor olması,
- Ölçme ve izlemenin sağlanıyor olması,
- İlerlemelerin düzenli olarak inceleniyor olması [5,6].

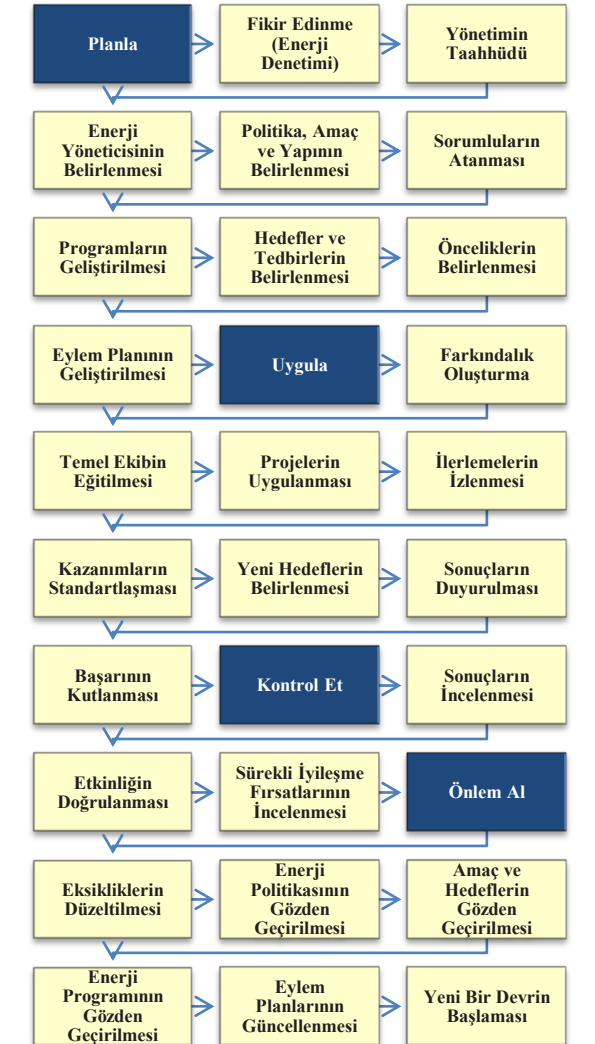
Hemen her yönetim sisteminde olduğu gibi, Enerji Yönetim Sistemlerinde de yönetim akışı, Şekil 4'te verilen, PUKÖ (planla, uygula, kontrol et, önlem al)

döngüsüyle sembolize edilebilir. Yönetim sistemlerinin ilk adımı, enerji politikasının oluşturulmasıdır. Sistem yönetiminin bu konudaki vizyonunu ve misyonunu belirlemesi gerekir. Uygulanabilir politikalar ve ulaşılabilir hedefler tespit edilerek iyileştirme çalışmaları başlatılır [5,6].



Şekil 4. PUKÖ döngüsü

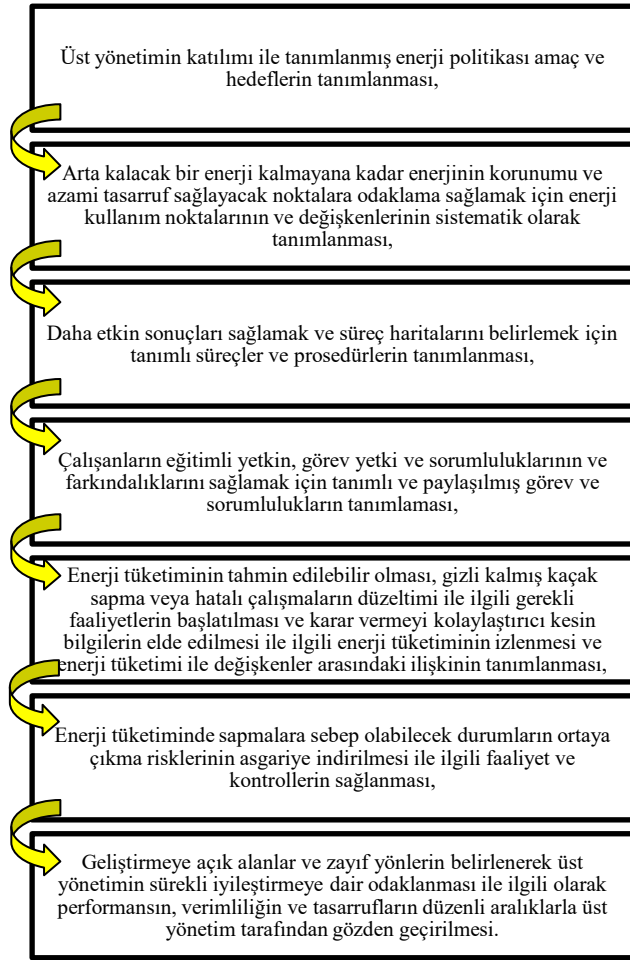
Sürekli gelişim içerisinde PUKÖ döngüsü içerisinde her döngüde de birbirini takip edilmesi gereken süreçler vardır. Temel bir fikir vermesi açısından örnek bir enerji yönetimi yaklaşım planı Şekil 5'de verilmiştir [5,6].



Şekil 5. Enerji yönetimi yaklaşım planı

Endüstriyel işletmelerin Enerji Yönetim Sistemi kurmada ve sürdürülebilirliğini sağlamada ISO 50001 EnYS standardı Dünya çapında uygulanabilir bir standarttır. Mevcut enerji kaynaklarının daha verimli kullanılmasına, rekabet gücünün artırılmasına, sera gazı emisyonları ve diğer ilgili çevresel etkilerin azaltılmasına katkıda bulunur. ISO 50001 EnYS standardı, kullanılan enerji türlerine bağlı olmaksızın uygulanabilir [5,6].

ISO 50001 EnYS'nin ana hatları ve kuruluşa sağladığı faydalar şunlardır;



1.3. Demir - Çelik Sektöründe Enerji Verimliliği

Demir - Çelik sektörümüzde, enerji verimliliğini arttırmak amacıyla;

- Kaliteli girdi malzeme tedariki ve kullanımı,
- Hammadde depolama, elleçleme, taşıma ve harmanlama işlemlerinde oluşan difüz emisyonların azaltılması,
- Hurdanın kapalı ortamda stoklanmasına dikkat edilmesi,

- Hurda içeriğinin satın alma aşamasından itibaren takip edilerek hurdaların sınıflandırılması ve istenen çelik kalitesine göre kullanılması,
- Tufal içeren çamurun, bağlayıcı madde eklenerek briket haline dönüştürülmesi ve konvertre - EAO - İO'ya şarj edilmesi,
- Brülör ve tav fırınlarında yanma verimliliklerinin arttırılması ve emisyonların kontrolü,
- Yakıt-hava oranının izlenmesi ve optimize edilmesi,
- Tesisteki önemli enerji akışları ve yanma prosesleri için online izleme - kontrol sistemlerinin kullanılması,
- Proses kontrol tekniklerinin geliştirilmesi ve otomasyon uygulanması,
- Reaktif gücün boyutunu azaltmak için alternatif akım (AC) devresinde kapasitörlerin kurulması,
- Her bir prosesin enerji tüketimini kontrol etmek için raporlama ve analiz araçlarının (Pinch Analizi, PUKÖ döngüsü vb.) kullanılması,
- Soğutmada su tüketimini azaltacak kuru soğutma sistemlerinin yaygınlaştırılması,
- Yüksek verimli elektrik motoru kullanımı,
- Aydınlatma, ısıtma, pompalar, kompresörler gibi, ana üretim hatlarına göre, enerji tüketimi daha düşük olan yardımcı tesislerde de, enerji tasarrufu yapılması,
- Enerji yoğunluğunu düşürmek amacıyla, katma değeri yüksek ürün üretimine geçilmesi,
- Etkin bir enerji yönetim sisteminin oluşturulması ve enerji tüketimlerinin izlenmesi,
- Her türlü yan ürün ve atığın geri kazanımı,

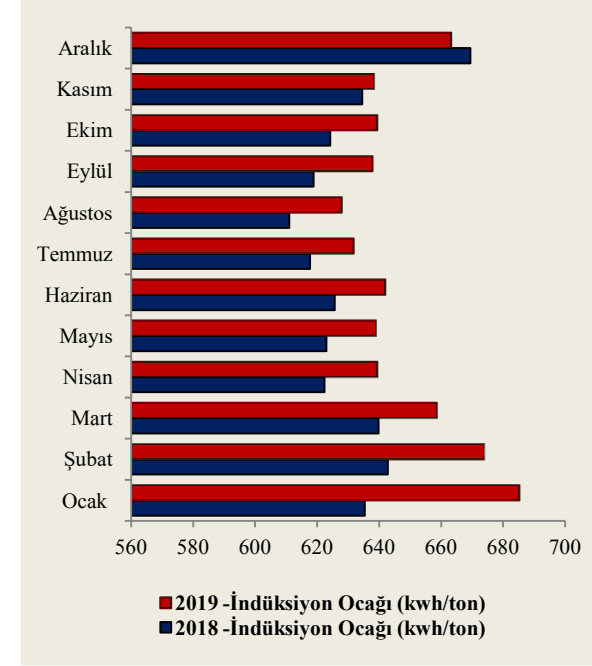
gibi başlıca konularda azami çaba gösterilmelidir.

2. Deneyisel Çalışmalar

Çelikhanelerde, enerji tüketiminin fazla olduğu ünitelerde, yüksek fırın, kok fabrikaları, ark ocağı, indüksiyon ocağı, tav fırınında, ocağı besleyen enerji sistemlerinde, toz tutma ve su soğutma sistemlerinde enerji tüketimini azaltacak çalışmalar yapılmalıdır. Ark ocağı, pota ısıtma, tandış ısıtma ve haddehane tav fırınlarında yakıt olarak, verimliliği yüksek ve düşük karbonlu doğal gaz kullanımının artırılmasıyla, fuel oil ve motorin kullanımından kaynaklanan çevresel etkiler azaltılmalıdır.

Hammadde kalitesi ve kompozisyonu, enerji tüketimini doğrudan etkileyen çok önemli bir parametredir. Nemli hurda, toprak, taş ile kirletilmiş hurda ve oksitli hurda eriyerek, cürufa karışır, cüruf

bazıklığını sağlamak için, ilave kireç kullanımı gerekir. İçerisinde, alüminyum, bakır, çinko, kurşun vb. metallerin bulunduğu hurda, üretim hızını, dolayısıyla, enerji tüketimini arttırırken, çelik kalitesini düşürücü bir etki yaratır. Sektörümüzde, kirli hurdanın olumsuz etkilerini giderebilmek için, hurda elleçleme büyük öneme sahiptir.



Şekil 6. Farklı mevsimsel koşullarda birincil ergitme ünitesinin ton çelik başına enerji tüketimi

BDÇ, ergitme ünitesi olarak indüksiyon ocaklarını kullanmaktadır. İndüksiyonla ergitme, metal parçaların (şarj malzemesi) belirtilen sıcaklık ve sürelerde ısıtmakta kullanılan temassız bir ısıtma ve ergitme yöntemidir. Denetim ve yatırım kolaylığı, yüksek enerji verimliliği, yüksek elektrik iletim verimliliği, yüksek metalik malzeme verimliliği, tam otomatik üretime uygunluğu, göreceli düşük emisyon ve atık, çevre kirliliği yaratmaması gibi üstünlüklerinden dolayı indüksiyon ocakları son yıllarda demir – çelik sektöründe ilgi çekici uygulamalar olmuşlardır.[7].

İndüksiyon ocaklarına beslenen demir hurdası (şarj malzemesi) tamamen ergiyince oluşan cüruf temizlenir. Ocağa şarj edilen hurdanın kirli olması (plastik, toz, nemli, ıslak şarj malzemesi vb.) cüruf miktarının artmasına ve ocak enerji tüketiminin yükselmesine neden olmaktadır. Cüruf süzildükten sonra ise sıvı metal sıcaklığı yakalanır, enerji kesilerek ocak kaldırılır ve sıvı metal potaya alınır [7].

BDÇ'nin indüksiyon ocaklarında kış mevsimi şartlarında ergitilen her 1 ton çelik hurdası içerisindeki %5 oranındaki suyun uzaklaştırılması için gereken teorik elektrik enerjisi 37,5 kWh'dır. Bu doğrultuda Şekil 6'da gösterilen pratik uygulamadaki mevsimsel faktörlerin etkisi teorik hesaplama sonucunda elde edilen değer ile ilişkilendirilmiştir. Hurda neminin buharlaştırılması sırasında harcanan enerjiyi azaltmak amacıyla hurdalar ergitilmeden önce işletme içerisinde kapalı ve yağış almayan bir bölgede stoklandıktan sonra ergitilmesinin temini ile birim enerjiler üzerinde %3.2 ile %6 arasında enerji tasarrufu sağlanabileceği öngörülmektedir.

Haddehanelerde ise genel olarak enerji tüketim değerleri incelendiğinde çelikhane prosesinden farklı olarak doğalgaz tüketimleri ön plana çıkmaktadır. İndüksiyon ocağında elektrik tüketimine dayalı bir enerji sarfiyatı söz konusu iken haddehane daha ziyade doğalgaz tüketimine dayalı bir enerji sarfiyatı söz konusu olmaktadır. Bu sarfiyatın özellikle yarı mamul olan kütüklerin haddeleme öncesinde yeniden ısıtma işlemine tabi tutulduğu tav fırınından kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte elektrik sarfiyatı da söz konusu olmaktadır. Elektrik sarfiyatının da büyük çoğunluğunun haddeler ve su tesislerinden kaynaklandığı söylenebilir.

Tablo 1. Bilecik Demir Çelik 2018 ve 2019 yılları için çelikhane ve haddehane elektrik/doğalgaz tüketimleri

Bölüm	Çelikhane		Haddehane	
	2018	2019	2018	2019
Doğalgaz Tüketimi (m³)	375.000	750.000	10.500.000	11.000.000
Elektrik Tüketimi (kWh)	220.000.000	247.000.000	18.000.000	20.000.000

Tablo 1'de Bilecik Demir Çelik 2018 ve 2019 yılları için çelikhane ve haddehane elektrik/doğalgaz tüketimleri kıyaslamalı olarak verilmiştir. Bu değerlerden anlaşıldığı gibi haddehane için doğalgaz tüketimi, çelikhane için ise elektrik enerjisi tüketimi ön plana çıkmaktadır.

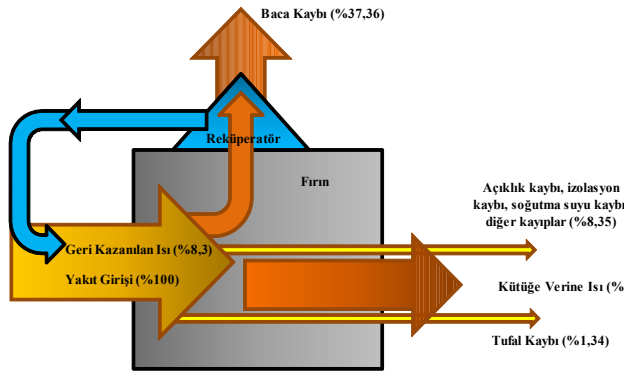
Çelikhanelerden gelen yarı mamul kütükler kristalizasyon sıcaklığının üzerinde, genellikle 900-1250°C arasında bir sıcaklığa kadar homojen bir şekilde ısıtılarak haddeleme yoluyla şekillendirme için uygun bir hale gelmektedir. Bu ısıtma işlemi Şekil 7'de belirtilen haddehane tav fırınlarında gerçekleştirilmektedir.



Şekil 7. Haddehane tav fırını

Genellikle doğalgaz kullanan bu tav fırınları, haddehanenin büyük oranda enerji tüketiminden sorumlu olmaktadır. Dolayısıyla gerek yakıt tüketimi açısından gerekse bacadan atılan yanma gazlarının oluşturduğu kirlilik açısından bu fırınlar enerji tasarrufu yöntemleri için oldukça önemli olmakta ve mümkün olduğunca verimli çalıştırılması gerekmektedir.

Haddehane tav fırınlarında en büyük kayıp baca kaybıdır. Baca kayıplarının bu denli büyük olmasının nedeni brülörlerde gerçekleşen yanma sonucunda sistemden atılan gazın yüksek sıcaklıklarda olmasıdır. 650°C sıcaklıklarda olan baca gazının enerjisi sisteme ilave edilen *reküperatör* ile yakma havasının ön ısıtılmasında kullanılarak enerji geri kazanımı sağlanabilmektedir.



Şekil 8. Tav fırını toplam enerji denkliği Sankey diyagramı

Şekil 8'de ki Sankey diyagramından da görüleceği gibi fırına verilen enerjinin %52,45'i kütüklere aktarılmakta, %8,35'i açıklık, izolasyon ve diğer kayıplar, %37,86'sı bacadan yanma gazı ve %1,34 ise tüfâl ile ısı kaybı olarak atılmaktadır. Bacadan yanma gazı ile kaybedilen ısının %8,3'ü reküperatör ile geri kazanılabilmektedir [8].

Fırınlarda ısıtma enerjisi taban, yan duvarlar, tavan ve kapak izolasyonundan kaybolmaktadır. Açık kalan kapak ve menfezler ile baca kayıpları verilen enerjinin büyük bir kısmının kaybına neden olmaktadır. Bunlar dışında soğutma suyu kayıpları ve diğer kayıplar da dikkate alınmalıdır.

Fırınlar için ilk bakışta oldukça iyi bir enerji tasarruf yöntemi olan sıcak şarj yöntemi kullanılabilmektedir. Bu uygulamada sürekli döküm makinesinden çıkan yarı mamul kütükler, tamamen soğumaları beklenmeden 500 ile 800°C arası sıcaklıklarda tav fırınına sevk edilmektedir (*İşletmenin kütükleri tav fırınına şarj edebilme pratiğine göre değişmektedir, BDÇ'nin çelikhane ve haddehane tesisleri arasında lojistik imkanı bu şarj yöntemine uygun değildir, fakat Şekil 9.'da belirtilen vince entegre edilen aparat yardımıyla tav fırınına sıcak şarj yapılabilmektedir*).



Şekil 9. Tav fırınına sıcak şarj aparatı

Böylelikle yarı mamulün fırınlarda haddeleme için istenen sıcaklığa getirilmesi çok daha az enerji tüketimiyle ve kısa sürede gerçekleşmekte, üretimde ve verimlilikte artış sağlanabilmektedir. Aynı zamanda depolama faaliyetlerini de azaltarak stok maliyetlerini de düşürecektir. Bu uygulamanın yapılabilmesi için çok iyi bir üretim planlaması yanında çelikhane ile haddehanenin lojistik olarak uygun bir yerleşim planı içerisinde bulunması şarttır. Bu uygulama özellikle çelikhane ve haddehane tesisleri arasında lojistik imkanı kolay olan ve aynı tip nihai mamulleri seri olarak imal eden üreticiler için bir avantaj olarak değerlendirilebilmektedir.

Fırınlarda yarı mamullerin homojen olarak ısıtılmaları esastır. Fırın tipine göre kütüklerin şarj edilme yöntemi değişmektedir. İtmeli fırınlarda kütükler ard arda şarj edilirken, yürüyen kirişli fırınlarda kütüklerin aralarında belirli mesafeler bırakılarak şarj edilir. Ard arda şarj edilen itmeli fırınlarda kütüklerin yüzeyleri temas etmekte ve homojen ısıtma imkanı sağlanamamaktadır. Bu durum yürüyen kirişli

fırınlarda söz konusu değildir fakat bu tip fırınlarda da kütükler arası mesafenin düzgün hesaplanması gerekmektedir. Fırınlarda yüksek sıcaklıklara çıkıldığı için özellikle 800°C'den sonra fırın içerisinde radyasyon ile ısıtma büyük ölçüde etkin olmaktadır. Dolayısıyla yüksek sıcaklıklarda hem fırının kapasitesini verimli kullanabilmek hem de ısıtmanın homojen ve verimli olmasını sağlayabilmek için fırın içerisindeki kütükler arası mesafeler önemli olmaktadır. Genellikle şarj edilen kütükler arasında, kütük yüzey mesafesinin bir buçuk katı kadar mesafe bırakmak yoluyla bunu sağlamak mümkün olabilmektedir. Eğer bu mesafe fırın kapasitesini yükseltmek için azaltılırsa iki kütük arasında ısıtma kaynaklı bir ısı duvarı oluşabilir. Bu durum ise kütüğün homojen tavlansını ve tavlama süresini geciktirmekte, verimden ziyade kayıplara neden olabilmektedir.

Çelikhane ve Haddehanelerde verim artırıcı yönde yapılacak belli başlı bazı iyileştirmelerle, haddehane ve çelikhane pota ısıtma brülörlerinde yakıt optimizasyon programı uygulanarak sistemin otomasyon ile kontrol altına alınabilir (*dijital yanma kontrolü, geniş alevli brülörler vb.*) ve yakma havası ile oksijen zenginleştirilmesi yapılarak doğalgaz tasarrufu sağlanabilir. Tav fırın kapasitesine ve tipine göre optimum şarj ve kütük mesafesinin belirlenmesi gerekmektedir. BDÇ'de haddehaneye giren yarı mamul kütüklerde % 1.5 düzeyinde tüfâl kaybı olmaktadır. Tüfâl oluşumunu engellemek için tav fırınının içerisindeki havayı kontrol etmek, fırın içi oksitleyici ortamı kontrol altına almak ve fırın duvarlarının sürekliliğini & izolasyonunu kontrol etmek gereklidir.

4. Sonuçlar ve Öneriler

Sonuç olarak, uygulanabilir etütler Demir - Çelik sektöründe enerji tasarrufu potansiyelinin yüksek olduğunu açıkça göstermektedir. Bu önemli potansiyelin ekonomiye bir artı değer olarak kazandırılması ise ancak bu konuda enerji yönetimi sistemleri gibi kararlı politikaların uygulanması ile mümkündür. Sanayi kuruluşlarının üretimde enerji verimliliğini sürekli ön planda tutmaları, piyasaya yeni ürünler üretirken enerji verimliliği yüksek ürünleri tercih etmeleri ve tasarımları gerekmektedir. Bu nedenle Çelikhaneler ve Haddehaneler verim artırıcı, rekabet koşullarında avantaj sağlayacak enerji verimliliği uygulamaları için kendi imkanları ve

kararları ile kolayca yapabilecekleri çalışmaları vakit geçirilmeden uygulamaya koymalıdır.

Demir - Çelik sektöründe sistematik kalıcı ve bir şekilde enerji yoğunluğunun düşürülmesi için *TS-EN ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi (EnYS)* izlenmeli, yasal mevzuat ve süreçler yakından takip edilmeli, enerji etütleri, gönüllü anlaşmalar, verimlilik artırıcı projeler, teşvikler ve enerji verimliliği danışmanlığı şirketlerinin desteği ile enerji verimliliğini arttırmaya yönelik çalışmalar sürekli gündemde tutulmalıdır. Araştırmalar göstermiştir ki, Enerji Yönetim Sistemi ve araçları ile yıllık enerji maliyetleri %5 ile %20 arasında düşürülebilir.

Referanslar

- [1]Enerji Verimliliği Derneği (*ENVERDER*), 2010:29.
- [2] TSE Türk Standartları Enstitüsü, 2005.
- [3]BEE, Bureau of Energy Efficiency (2005), National Certificate Examination for Energy Managers and Energy Auditors, New Delhi, India. s:1-5.
- [4]BEE, Bureau of Energy Efficiency (2005), Question Bank for Energy Managers and Energy Auditors, New Delhi, India. s:1-5.
- [5]CIPEC, Canadian Industry Program Energy Conservation (2002), Energy Efficiency Planning and Management Guide, Canada , s.12
- [6]CIPEC, Canadian Industry Program Energy Conservation (2003), Canadian Foundry Association, , Guide to Energy Efficiency Opportunities in Canadian Foundries, s.9.
- [7]Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi (*MEGEP*), Metalurji Alanı, “İndüksiyon Ocağı” Ankara, 2006.
- [8]Emre BARAN - haddeleme prosesinde tav fırını (*annealing furnace in hot rolling process*) - Dokuz Eylül Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Tınaztepe Yerleşkesi, İzmir, e-posta: emre.baran@deu.edu.tr

Isıl İşlem Parametrelerinin Muhtelif Silah Üretiminde Kullanılan AISI 4140 Çeliğinin Tribolojik ve Mekanik Özellikler Üzerindeki Etkisi

Effect of Heat Treatment Parameters on Tribological and Mechanical Properties of AISI 4140 Steel Used in Various Weapon Production

Nurullah ŞAHİN, Furkan Umut ÖZEN, Mehmet ÜSTÜN, İrem Nur SARIKAYA, Berkay ÖZÜPEK, Abdulkadir DÖNMEZ, S.Tuğrul İMER

Karabük Demir Çelik

Türkiye

Anahtar Kelimeler: Savunma Sanayi, DIN 4140, Isıl İşlem, Aşınma, Mekanik Özellikler

Abstract

The defense industry is an indispensable area for countries and its importance is increasing day by day. In recent years, the weapon industry has been constantly seeking to increase this ability, and weapon special units. Heat treatment applied to weapon parts generally directly includes fracture life, durability and strength. This effective, weapon types and scope, such as military technological basic weapon parts, commonly used AISI 4140 steel samples were heat treated in different cooling environments. The samples were analyzed and presented in three different ways, namely ice water, normal water and oil, after 45 minutes of annealing at 850 °C. Then, a 100 minute tempering process at 525 °C was performed. Microstructures, wear marks and mechanical properties of samples cooled at different temperatures after heat treatment. Tempered martensite + pearlite + ferrite are present in the microstructure as a result of quenching in oil environment, tempered martensite + ferrite as a result of quenching in water and ice water environment. The yields of the samples taken in ice water and normal water environments were measured as approximately 390 HV₅ on average and 356 HV₅ as a result of quenching in oil. The highest weight loss as a result of wear was obtained in the sample selected in oil (0.1777 g).

Özet

Savunma sanayi, ülkeler için vazgeçilmez bir alan olmakla birlikte önemi her geçen gün daha da artmaktadır. Bu kapsamda son yıllarda silah endüstrisi, silah özel parçalarının performansını sürekli olarak iyileştirme arayışındadır. Silah parçalarına uygulanan ısıtıl işlem, parçaların kullanım ömrünü, güvenilirliğini ve sağlamlığını dolayısıyla performansını doğrudan etkilemektedir. Bu çalışmada, silah namluları ve gövdesi gibi askeri teknolojinin temel silah parçalarında yaygın olarak kullanılan AISI 4140 çeliğinden oluşturulan numunelere farklı soğutma ortamlarında ısıtıl işlem yapılmıştır. Numuneler 850 °C sıcaklıkta 45 dakika tavlama işleminin

ardından buzlu su, normal su ve yağ olmak üzere üç farklı ortamda su verilmiştir. Ardından 525 °C sıcaklıkta 100 dakika temperleme işlemi uygulanmıştır. Isıl işlemin ardından farklı ortamlarda soğutulmuş numunelerin mikroyapıları, aşınma dayanımı ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Yağ ortamında su verme sonucu mikroyapıda temperlenmiş martenzit+perlit+ferrit, su ve buzlu su ortamında su verme sonucunda temperlenmiş martenziti+ferrit yapıları görülmüştür. Buzlu su ve normal su ortamında su verilen numunelerin sertlikleri yaklaşık ortalama 390 HV₅ ve yağda su verme sonucu 356 HV₅ sertlik değerleri ölçülmüştür. Aşınma sonucu en yüksek ağırlık kaybı yağda su verilen numunede (0,1777 g) elde edilmiştir.

1. Giriş

Savunma sanayi, ülkeler için vazgeçilmez bir alan olmakla birlikte önemi her geçen gün daha da artmaktadır. Bu kapsamda son yıllarda yurtiçi ve yurtdışı silah alım şartnamelerinde silah atım ömürlerinin belirlenen dünya standartlarının üzerine çıkması, başta namlu olmak üzere tabanca parçaları üzerinde geliştirme çalışmalarının yapılmasını zorunlu kılmıştır. Özellikle de kolluk kuvvetleri silah alımlarını yaparken atım ömürlerinin minimum 50.000 atım seviyelerinde olmasını talep etmektedirler. Bu kullanım ömrünü sağlayabilmek için malzeme, ısıtıl işlem ve kaplama gibi parçaların ömrüne doğrudan etki eden parametrelerin optimum seviyede seçilmesi gerektiği bildirilmektedir. Bu yönüyle muhtelif silahların üretiminde yaygın olarak kullanılan AISI 4140 çeliğine uygulanacak ısıtıl işlem silahın doğrudan ömrüne etki etmektedir [1].

AISI 4140 çeliği, düşük alaşıma sahip krom-molibden çeliğidir. İçerdiği Cr ve Mo alaşım elementleri nedeniyle, su verme ısıtıl işlemi sonrasında sert martenzitik bir yapı oluşturabilmesi sayesinde yüksek mukavemet, uygun süneklik ve tokluk gibi mekanik özellikler sağlamaktadır [2,3,4]. AISI 4140'tan istenilen özellikler su verilmiş ve temperlenmiş durumda yüksek dayanıklılık, iyi esneklik ve aşınma direncidir [5]. Bu özelliklerinden dolayı günümüzde

başta muhtelif silah üretimi olmak üzere otomotiv, petro-gaz, savunma ve uçak sanayisi, dişli ve çark yapımında ve takım tezgahlarında kullanımı yaygındır [6,7,8].

Isıl işlem, çelik malzemelerinden istenen mekanik özelliklere ulaşmak için en önemli teknolojidir. Çeliklere uygulanan ısıtıl işlem, silah namluları gibi yüksek gerilimli makine parçalarının mekanik özelliklerini etkileyen birincil özelliklerden biridir [9]. Silah üretiminde kullanılan çelikler, uzun bir hizmet ömrü, silah sisteminin bileşenlerinin güvenilirliği, sağlamlığı ve güvenli kullanımı için yüksek işlevsel gereksinimlere sahip olması gerekmektedir [10]. Bu nedenle silah namluları gibi askeri teknolojinin belirli parçalarının üretiminde kullanılan çelikler, daha sonra müşterilerin gereksinimlerine göre ısıtıl işlemle modifiye edilmelidir [11]. Mekanik ve tribolojik özelliklerin uygun bir kombinasyonu ile, tribolojik ve termal olarak en fazla yüke maruz kalan silah parçalarından biri olan namlu yüzeyinin aşınma direncini iyileştirmek için yüksek gerilimli parçaların yüzeyini iyileştirmek mümkündür. Bu nedenle, yüzey teknolojisi, tribolojik özellikler veya tercih edilen mekanik özellikler gibi yeni özellikler elde etmek için bir sonraki en önemli adımdır [9,12].

Bu çalışmada, muhtelif silah üretiminde kullanılan AISI 4140 çeliğine su, yağ ve buzlu su olmak üzere 3 farklı su verme ortamında ısıtıl işlem yapılarak bu çeliklerin aşınma dayanımı ve mekanik özellikleri incelenmiştir.

2. Deneyisel Çalışmalar

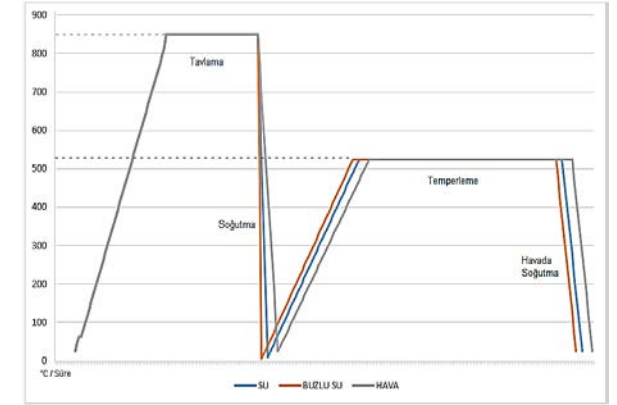
Bu çalışma kapsamında Ø60 mm çapındaki AISI 4140 SBQ kullanılmıştır. Isıl işlem yapılan AISI 4140 çeliğinin su verme ortamına bağlı olarak mikro yapı, sertlik ve aşınma özellikleri incelenmiştir. Çizelge 1'de AISI 4140 çelik çubukların kimyasal kompozisyonu verilmiştir.

Çizelge 1. AISI 4140 Çeliğinin kimyasal kompozisyonu

Kimyasal Bileşim (%)							
C	Mn	Cr	Mo	Si	S	P	Ni
0,41	0,86	0,93	0,15	0,21	0,002	0,02	0,11

Isıl işlem

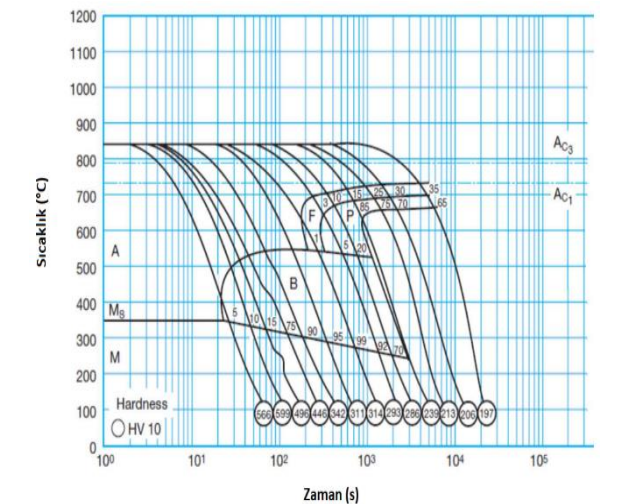
Isıl işlem, Protherm marka ısıtıl işlem fırınında yapılmıştır. Ø60 mm çapındaki AISI 4140 çeliğine 850 °C sıcaklıkta 45 dakika tavlama işlemi yapılmıştır. Ardından yağ, su ve buzlu su olmak üzere 3 farklı su verme ortamında soğutulmuştur. Soğutulan numuneler 525 °C sıcaklıkta 100 dakika temperleme işlemi yapılarak havada soğutulmuştur (Şekil 1).



Şekil 1. AISI 4140 çeliğinin ısıtıl işlem grafiği

Metalografik inceleme

Numuneler metalografik inceleme için bakalite alınmıştır. Bakalite alınan numunelere zımparalama ve parlatma işlemleri yapılmıştır ardından %3 Nital dağlayıcıda 35 saniye dağlama işlemi gerçekleştirilmiştir. ZEISS Axio Imager M2m marka optik mikroskopta mikroyapı görüntüleri alınmıştır. Mikroyapılar, AISI 4140 çeliğinin CCT diyagramı göz önünde bulundurularak değerlendirilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. AISI 4140 çeliğinin sürekli soğutma CCT diyagramı

Sertlik testi

Metalografik olarak hazırlanan numunelerin sertlik ölçümleri Emcotest Durascan marka mikrosertlik cihazı ile yapılmıştır.

Aşınma testi

Şekil 3'te gösterilen aşınma cihazında sabit yük, sabit hız

ve sabit mesafe koşulları altında aşınma testleri yapılmıştır.



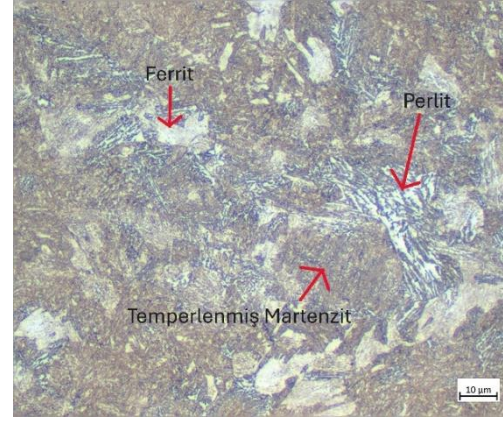
Şekil 3. İleri-Geri aşınma test cihazı

Aşınma testi 20N yük altında, 0,1 m/s kayma hızında ve 600 m kayma mesafesinde yapılmıştır. Batıcı uç malzemesi olarak AISI 52100 kalite yüksek sertlikte çelik bilya kullanılmıştır. Her bir 200 m sonrasında numunelerin ağırlık kayıpları 0.0001 gr hassasiyette bir terazi ile ölçülmüştür.

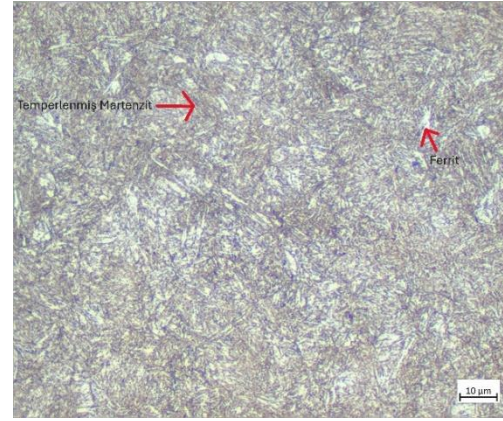
3. Sonuçlar ve Tartışma

850 °C sıcaklıkta 45 dakika tavlama işlemi yapılan ardından Şekil 4.'te yağ, Şekil 5.'te su ve Şekil 6.'da buzlu su ortamında soğutulan 525 °C sıcaklıkta 100 dakika temperleme işlemi yapılan numunelerin optik mikro yapıları verilmiştir.

Şekil 4.'te yağ ortamında su verme sonucu koyu kontrast temperlenmiş martenzit, beyaz kontrast perlit yapılarını ve açık krem kontrastlı bölgeler ferrit yapısını göstermektedir. Şekil 5.'te açık renkli küresel morfolojide kontrast ferrit ve koyu kontrast temperlenmiş martenzit yapıları ile, şekil 6.'da gösterilen mikro yapı su ortamında soğutulan numunenin mikro yapısı benzerlik göstermektedir.



Şekil 4. Yağ ortamında su verilen AISI 4140 çeliğinin X1000 büyütmedeki mikroyapısı

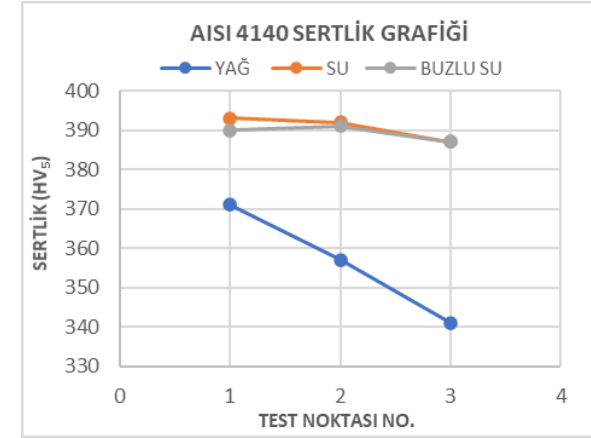


Şekil 5. Su ortamında su verilen AISI 4140 çeliğinin X1000 büyütmedeki mikroyapısı



Şekil 6. Buzlu Su ortamında su verilen AISI 4140 çeliğinin X1000 büyütmedeki mikroyapısı

Sertlik sonucunun grafiği Şekil 7.'de ve sayısal değerleri Çizelge 2.'de verilmiştir. Grafikte ve çizelgede görüldüğü üzere yağ ortamında su verilen numunenin sertliğinin diğerlerine göre düşük olduğu görülmektedir. Su ve buzlu su ortamında su verilen numunelerin sertliklerinin yakın olduğu görülmektedir. Bu durum mikroyapı ile bağlantılıdır. Yağda su verilen numunenin mikro yapısında malzemenin sertliğini düşürecek perlit ve ferrit yapısının yoğun olduğu görülmektedir. Aynı şekilde su ve buzlu su numunelerinin de mikro yapılarına baktığımızda benzer yapılar olduğunu bu durumun sertlik sonuçlarıyla paralellik gösterdiği ortaya çıkmıştır.

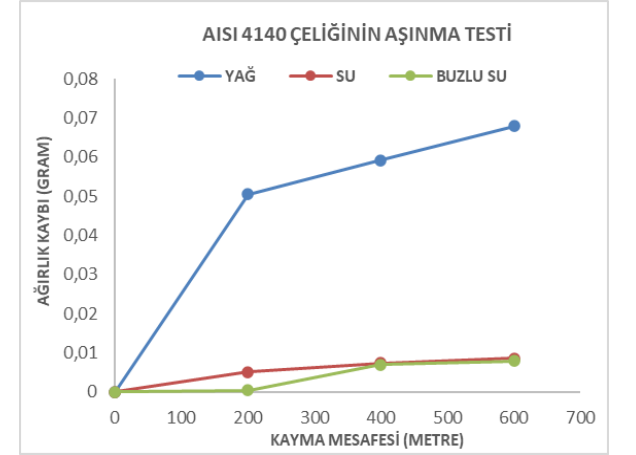


Şekil 7. AISI 4140 Çeliğinin ısıt işlem sonrası sertlik grafiği

Çizelge 2. Isıl işlem sonrası sertlik değerleri

ORTALAMA SERTLİK (HV ₅)		
YAĞ	SU	BUZLU SU
356	390	389

Aşınma testi sonucu Şekil 8.'de verilmiştir. Aşınma sonuçları sertlik sonuçlarıyla paralellik göstermektedir. Yağ'da su vermede malzemede ağırlık kaybı en yüksek olduğu görülmüştür. Buzlu su ve normal suda su verilen numunelerde ağırlık kayıpları yakın ölçülmüştür.



Şekil 8. AISI 4140 Çeliğinin ısıt işlem sonrası aşınma grafiği

4. Sonuç

1.Yağ ortamında su verme sonucu mikroyapıda temperlenmiş martenzit+perlit+ferrit ve su ortamında su verme sonucunda mikroyapıda temperlenmiş martenzit+ferrit yapıları görülmüştür. Buzlu su ortamında su verme sonucu mikro yapı su ortamında su verilen numunenin mikro yapısına benzerlik göstermektedir.

2.Buzlu su ve normal su ortamında su verilen numunelerin sertlikleri ortalama 390 HV₅ ve yağda su verme sonucu ortalama 356 HV₅ ölçülmüştür. Artan soğuma hızıyla sertlik değerlerinin arttığı görülmüştür.

3.Aşınma ve sertlik testlerinin sonuçları paralellik göstermektedir. 600 m kayma mesafesi sonucunda, yağda su verme işleminde, malzemenin en yüksek ağırlık kaybı (0,1777 g) gözlemlenmiştir. Buzlu su (0,0154 g) ve normal suda (0,0211 g) su verme işlemi uygulanan numunelerde ise ağırlık kayıpları benzerlik göstermektedir.

Referanslar

- [1]M.Karlı, U. Kemiklioğlu ve S. Yavuz, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 11 (4) (2021) 1198-1207.
- [2]T. Abla Rutci, Hafif Silahlarda Kullanılan Namlu Malzemesinin Geliştirilmesi Ve İşleme Parametrelerinin İncelenmesi, Y. Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, 2019, Sakarya, Türkiye.
- [3]Ş. Y. Güven , K. Delikanlı, E.Öncel, Süleyman Demirel Üniversitesi Teknik Bilimler Dergisi, 4 (2) (2014) 29-39.
- [4]E. Kızılkaya, İ. Oval, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 6(1) (2018) 137-148.
- [5]S. Akburu, AISI 4140 Ve AISI 1050 Çelik Çiftlerinin Yakma Alın Kaynağı İle Birleştirilmesi Ve Mikroyapılarının İncelenmesi, Y. Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, 2023, Ankara, Türkiye.
- [6]E. Güner, 4140 Çeliğinin Mekanik Aşınma Özelliklerine

Lazerle Yüzey Sertleştirme İşleminin Etkisinin İncelenmesi, Y. Lisans Tezi, Bartın Üniversitesi, 2019, Bartın, Türkiye.
 [7]Y. Köksal, AISI 4140 Çeliklerinden Üretilen Hafif Silah Kapak Bileşenlerinin Yüzey Özelliklerinin Nitrokarbürizasyon Yöntemi İle Geliştirilmesi, Y. Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, 2022, Trabzon, Türkiye.
 [8]Y. Fedai, El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi, 9(2) (2022) 882-897.
 [9]Z. Pokorný, D. Dobrocký, J. Kadlec, Z. Studený, Kovove Mater, 56 (2018) 97-103.
 [10]D. Dobrocký , Z. Joska1 , J. Procházka1 , E. Svoboda1 , P. Dostál, Manufacturing Technology, 21(2) (2021) 183-191.
 [11]J. Prochazka , Z. Pokorny and D. Dobrocky, Coatings, 10 (2020) 975.
 [12]M. Jakopčić and D. Landek, Transactions Of Famena, 1 (2017) 15-20.

51CrV4 Çeliğe Uygulanan Farklı Tavlama Sıcaklıklarının Sertliğe Olan Etkisinin İncelenmesi

Investigation of the Effect of Different Annealing Temperatures Applied to 51CrV4 Steel on Hardness

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

¹Özkan Demir Çelik, ²Dokuz Eylül Üniversitesi

Türkiye

Anahtar Kelimeler: Yaylık Çelik, Yumuşatma Tavlama, Sertlik

Abstract

51CrV4 grade steel is widely used in springs used in railway and road vehicles that require high strength and performance due to its Cr and V content. At the same time, this steel is preferred in the production of different parts in the machinery and automotive industry because it is a type of steel suitable for heat treatment as well as mechanical properties such as impact and fatigue strength. The microstructure and mechanical properties of the steel can be modified by a number of different heat treatments to meet the demanding requirements. In this study, the effects of softening annealing at different temperatures (650°C, 680°C and 720°C) on the microstructure and mechanical properties of rolled 51CrV4 steel specimens from three different castings were investigated. The heat treatment process consisted of 5 hours annealing and 4 hours in the furnace. In the microstructure examinations after softening annealing, the thin long carbide plates turned into a shorter and spherical structure at all temperatures. When the hardness results were examined, a decrease in the hardness values of all samples was observed with increasing temperature. The hardness values of 51CrV4 samples without heat treatment of three different castings after rolling are 319 HB, 328 HB and 330 HB, respectively. While the hardness values after annealing applied in 650 °C are 266 HB, 270 HB, 272 HB, hardness values in 680 °C are 249 HB, 247 HB, 254 HB, hardness values in 720°C are 222 HB, 223 HB, 223 HB, respectively. A hardness deviation of 2.25% was observed between the samples in the heat treatment performed only at 650 °C from three different samples. This difference closed with increasing temperature.

Özet

Demiryolu ve karayolu araçlarında kullanılan, yüksek mukavemet ve performans gerektiren yaylarda Cr ve V içermesi sebebiyle 51CrV4 kalite çelik yaygın olarak kullanılmaktadır. Aynı zamanda bu çelik, darbe ve yorulma dayanımı gibi mekanik özelliklerin yanı sıra, ısıtma işlemi uygun bir çelik türü olması sebebiyle de makine ve otomotiv sanayisinde farklı parçaların üretiminde tercih edilmektedir. Çeliğin mikroyapı ve mekanik özellikleri, talep edilen gereksinimleri karşılamak için bir dizi farklı ısıtma işlemi değiştirilebilir. Bu çalışmada, üç farklı dökümden alınan haddelenmiş 51CrV4 çelik numuneye farklı sıcaklıklarda (650 °C, 680 °C ve 720 °C) uygulanan yumuşatma tavlama

mikroyapı ve mekanik özelliklere olan etkileri incelenmiştir. Isıl işlem uygulaması, 5 saat tavlama ve 4 saat fırında bekleme şeklinde gerçekleşmiştir. Yumuşatma tavlamasından sonra yapılan mikroyapı incelemelerinde bütün sıcaklıklarda ince uzun karbür plakaları daha kısa ve küresel bir yapıya dönüşmüştür. Sertlik sonuçları incelendiğinde, artan sıcaklık ile tüm numunelerin sertlik değerlerinde düşüş gözlemlenmiştir. Haddeme sonrası üç farklı döküme ait ısıtma işlemi 51CrV4 numunenin sertlik değerleri sırası ile 319 HB, 328 HB ve 330 HB'dir. 650 °C'de uygulanan tavlama sonrası sertlik değerleri sırası ile 266 HB, 270 HB, 272 HB iken 680 °C'de sertlik değerleri 249 HB, 247 HB, 254 HB, 720 °C'de sertlik değerleri 222 HB, 223 HB, 223 HB'ye düşmüştür. Üç farklı örnekten sadece 650 °C'de gerçekleştirilen ısıtma işlemde numuneler arasında %2,25'lik bir sertlik sapması gözlemlenmiştir. Artan sıcaklıkla birlikte bu fark kapanmıştır.

1. Giriş

Endüstride çeşitli uygulamalara yönelik farklı özelliklere sahip yay çelikleri bulunmaktadır. Karayolu ve demiryolu araçlarının süspansiyon elamanları ve endüstride kullanılan çok çeşitli makinelerin bileşenleri olarak krom-vanadyum alaşımı olan 51CrV4 çelik kalitesinin kullanıldığını görürüz [1]. 51CrV4 çelik kalitesi, statik ve dinamik yorulma yüklerine karşı gösterdiği performans nedeniyle demiryolu araçlarında yay olarak tercih edilmektedir [2, 3].

Çeliğin mikroyapı ve mekanik özellikleri, ihtiyaç duyulan gereksinimleri karşılamak için farklı ısıtma işlemleri değiştirilebilir. Su verme ve temperleme, istenen yapıyı ve mekanik özellikleri elde etmek için başvurulmuş en yaygın yöntemlerden biridir [4].

Durmuş ve ark. (2020), çalışmasında 51CrV4 çelik numunelere, 970 °C'de tavlama ve yağda soğutma işlemi, sonrasında iki farklı sıcaklıkta (220 °C ve 315 °C) 120 dakika boyunca menevişleme işlemi yapılmış ve menevişleme sıcaklığının artışının sertlik üzerinde bir etkisi olmamakla birlikte, darbe dayanımı ve aşınma direncinde bir artış olduğu tespit edilmiştir [5].

Lai ve ark (2021), farklı su verme (840-920 °C) ve temperleme sıcaklıklarının (380-460 °C) 51CrV4 yay çeliklerinin mikroyapısı, mekanik özellikleri ve yorulma davranışları üzerindeki etkiyi incelemişlerdir. Sonuçlar; temperleme sıcaklığının östenit tane boyutunu etkilemediği ancak su verme

sıcaklığının bunun üzerinde büyük bir etkisi olduğunu göstermiştir. Ayrıca temperleme sıcaklığının, su verme sıcaklığına kıyasla yorulma çatlağı büyüme davranışı üzerinde daha büyük bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir [6].

Benzer kimyasal bileşime sahip çelikler, üretim yollarının bir sonucu olarak çeşitli mekanik özellikler nedeniyle farklı davranabilir. Mekanik özellikler etkili ısıtılma işlemle iyileştirilebilir [7].

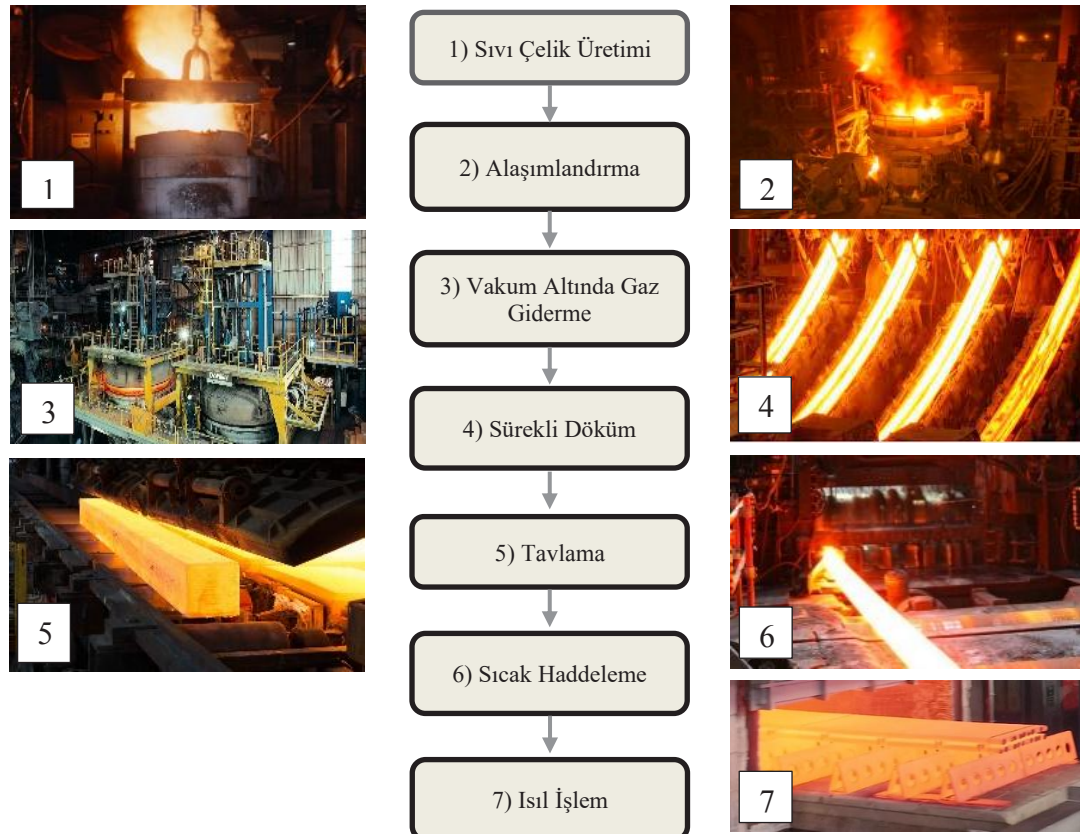
Bu çalışmada, 3 farklı döküm sonucu elde edilen 51CrV4 kalite çelik numunelere 650 °C, 680 °C ve 720 °C’lerde 5 saat süreyle ısıtılma işlemi uygulanmış ve numuneler fırın içinde soğutulmuştur. Uygulanan bu ısıtılma işleminin 51CrV4 kalite çeliğin mikroyapı ve mekanik özellikler üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

2. Deneyisel Çalışmalar

51CrV4, EN10083 standardına tabi olan orta karbon alaşımlı bir yay çeliğidir. Standardın belirtmiş olduğu kimyasal kompozisyon aralığı Tablo 1’de verilmiştir. Bu çalışmada

Tablo 1. EN10083 standardına göre 51CrV4’e ait kimyasal kompozisyon aralıkları (%)

Grade	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo	Sn	Al	V
51CrV4	0,47-0,55	≤0,4	0,7-1,1	≤0,035	≤0,035	0,9-1,2	-	-	0,10-0,25	-	-	-



Şekil 1. Çelik Üretim Prosesi

51CrV4 kalite çeliğin üç farklı dökümüne ait numuneler alınarak bir dizi işlem gerçekleştirilmiştir.

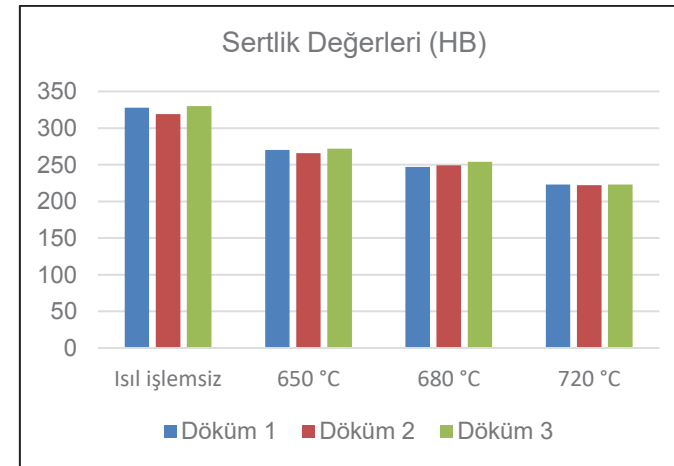
Haddeme sonrası 3 farklı döküme ait 51CrV4 çelik numuneler 650 °C, 680 °C ve 720 °C’lerde 5 saat süreyle tavlama işlemine tabi tutulmuştur. Sonrasında numuneler fırında 4 saat bekletilmiştir.

Üretim sonrası 51CrV4 çeliğin kimyasal kompozisyonu optik emisyon spektrometresi (ARL 3460) ile belirlenmiştir. Metalografik incelemeler için zımparalama ve parlatma işlemlerinin ardından numuneler dağlanarak CLEMEX yazılımlı Nikon LV 150 cihazında optik incelemeye tabi tutulmuştur. Malzemelerin sertlik ölçümleri Bulut Makina BMS 3000-OBC (ISO EN 6506-1) cihazında yapılmıştır.

3. Sonuçlar ve Tartışma

Tablo 2. 51CrV4 kalitesine ait üç farklı dökümün kimyasal kompozisyon sonuçları (%)

Element	Döküm 1	Döküm 2	Döküm 3
C	0,51	0,52	0,52
Si	0,21	0,24	0,25
Mn	0,79	0,81	0,77
P	0,011	0,008	0,011
S	0,004	0,003	0,004
Cr	1,00	0,96	1,01
Ni	0,10	0,10	0,15
Cu	0,18	0,14	0,19
Mo	0,027	0,028	0,039
Sn	0,012	0,008	0,012
Al	0,020	0,019	0,014
V	0,108	0,106	0,114



Şekil 2. Sertlik sonuçlarının dağılımı

Bu çalışmada, 51CrV4 kalite çeliğin 3 farklı dökümüne ait haddelenmiş test numunelerinden ölçülen ve uygulanan ısıtılma işlemleri sonrasında ölçülen test değerleri Şekil 1’de grafikte gösterilmiştir. Haddeme sonrası, ısıtılma işlemi görmemiş 51CrV4 çeliğin ortalama sertlik değeri 325 HB olarak ölçülmüştür. Artan tavlama sıcaklığına bağlı olarak tane boyutunun da artması ile birlikte sertlik değerinde düşüş eğilimi söz konusudur [8]. 650 °C’de yapılan tavlama işleminde en yüksek sertlik değeri 272 HB ile 3 numaralı döküm numunesinden elde edilirken, en düşük sertlik değeri ise 266 HB ile 2 numaralı döküm numunesinden ölçülmüştür. 680 °C’de yürütülen tavlama işleminde ise sertlik değerlerinde beklenen düşüş gözlemlenmiştir. Bu sıcaklık sonucunda 254 HB ile en yüksek sertlik değeri 3 numaralı döküm numunesine ait olup, 1 numaralı döküm numunesine ait sertlik değeri 247 HB olarak tespit edilmiştir. 720 °C’de yapılan tavlama sonucu genel olarak sertlik değerlerinin üç örnekte de benzer çıktığı söylenebilir.

4. Sonuç

Bu çalışmada özet olarak; otomotiv endüstrisinde yüksek gerilimli parçalarda ve sanayinin diğer birçok alanında kullanılan 51CrV4 kalite çeliğin 3 farklı dökümünden alınan numunelere farklı sıcaklıklarda (650 °C, 680 °C ve 720 °C) uygulanan tavlama işleminin sertlik üzerindeki değişimi test edilmiştir. Test sonuçlarına göre artan tavlama sıcaklığı ile birlikte sertlik değerinde düşüş gözlemlenmiştir. Bunun sebebi ise artan tavlama süresi ile birlikte tane boyutunun büyümesi ve buna bağlı olarak mekanik özelliklerde yaşanan düşüş olarak açıklanabilir. Aynı sıcaklıklarda kendi içlerinde farklı sertlik değerleri gösteren tavlama sıcaklığı 650 °C olmuştur. Buna karşın 720 °C’de yürütülen çalışmada ise numunelerin sertlik değerleri arasında çok yakın benzerlik tespit edilmiştir.



Şekil 3. Sertlik ölçümü

Referanslar

- [1] Z. Chen, L. Jing, Y. Gao, Y. Huang, J. Guo, X. Yan - Materials, 2023. Impact of cryogenic treatment process on the performance of 51CrV4 steel. *Materials*, 16(12), 4399.
- [2] U. Demircan, B. Derin ve O. Yücel, Materials Research Bulletin, 42, 2007, 312-318.
- [3] A. Turan, F. C. Sahin, G. Goller ve O. Yucel, Spark Plasma Sintering of TiB₂ Ceramics, 13th Conference of the European Ceramic Society (ECerS XIII), 23-27 Haziran 2013, Limoges, Fransa.
- [4] M. Ş. İşyarlar ve F. Gül, 2020. Klasik Su Verme-Temperleme Isıl İşlemine Göre Yenilikçi Su Verme-Ayrıştırma Isıl İşleminin Orta Karbonlu Çeliğin Mikroyapı ve Sertlik Özelliklerine Etkisi. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 10(1), 51-59.
- [5] H. Durmuş, F. Çakır ve C. Gül, 2020. Farklı Menevişleme Sıcaklıklarının 51CrV4 Çeliğinin Mekanik Özelliklerine Etkilerinin İncelenmesi. Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology, 8(3), 662-670.
- [6] C. Lai, W. Huang, S. Li, T. Liu, R. Lv, X. Tang ve J. Yu, 2021. Effects of quenching and tempering heat treatment on microstructure, mechanical properties, and fatigue crack growth behavior of 51CrV4 spring

steel. Materials Research Express, 8(9), 096514.

- [7] R. Chotěborský ve M. Brožek, 2004. Influence of heat treatment on mechanical properties of steel. Research in Agricultural Engineering, 50(4), 152-155.
- [8] M. Szala, G. Winiarski, Ł. Wójcik ve T. Bulzak, 2020. Effect of annealing time and temperature parameters on the microstructure, hardness, and strain-hardening coefficients of 42CrMo4 steel. Materials, 13(9), 2022.

Döngüsel Ekonomi Yaklaşımı ile Atık Suyun Geri Kazanımı

Recovery of Wastewater with Circular Economy Approach

Ayça ÇAKIN¹, Engin KILINÇPINAR¹, Celal Erkal KAHRAMAN¹, Hakan ERÇAY¹, Tuncay DİKİCİ²

¹Özkan Demir Çelik, ²Dokuz Eylül Üniversitesi

Türkiye

Anahtar Kelimeler: Demir, Çelik, Atık su geri kazanım, arıtma

Özet

Yeryüzünde kullanılabilir, elverişli su kaynağı miktarı oldukça düşüktür. Artan nüfus yoğunluğu, küresel ısınma ve iklim değişikliği su kaynaklarının azalmasına yol açmıştır. Sürdürülebilir kalkınma ve ekolojik denge için su hayati öneme sahiptir. Günümüz dünyasının en önemli sorunlarından biri olan su kıtlığı, suyun kontrollü kullanımını ve geri kazanımını zorunlu hale getirmektedir. Bu sebeple endüstride atık suların arıtılması ve yeniden kazanımı oldukça önemlidir. Su sorunu yaşamaya aday ülkelerden biri olan Türkiye’de artan sanayileşme ve nüfus, su kaynaklarının verimli kullanılması ve atık suyun yeniden kazanılmasına yönelik projelerin giderek artmasına neden olmuştur. Atık suların arıtılması noktasında son yıllarda geliştirilen çok verimli sistemler mevcuttur. Gelişmiş ülkelerde yaygın olarak kullanılan geri kazanılmış atık suların endüstride kullanımı, ülkemiz sanayisi için de mutlak derecede öneme sahiptir. Ülkemizde atık suyun kazanılıp yeniden kullanımı konusunda “Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği” mevcuttur. 2030 yılında Dünya’da arıtılmış atık suyun yeniden kullanılma oranının toplam su kullanımına oranının %1,66 olacağı tahmin edilmektedir. Demir çelik sektörü; petrol ve doğalgaz rafinerileri, maden, tekstil gıda ve içecek endüstrilerinde olduğu gibi yoğun su tüketiminin olduğu bir endüstridir. İşletmemizde yeraltından çekilen suların miktarını azaltmak için oluşan atık suyun proses geri beslemesi için çalışmalar yürütülmektedir. Çelikhane, soğutma amaçlı proses gereği yüksek miktarda su tüketmektedir. Soğutma suyu ihtiyacı çok katmanlı kum filtreleri, ultrafiltrasyon ünitesi ve ters osmoz gibi sistemler kullanılarak sağlanmaktadır. Tüm bu sistemlerin sağlıklı çalışabilmesi için periyodik olarak temizlenmesi yani rejenerasyon işlemi gerekmektedir. Rejenerasyon suyu, otomatik ters yıkamalı endüstriyel atık su geri kazanım filtresi sayesinde filtrelenerek tekrardan kullanılabilir hale getirilmektedir. Yapılan projede geri kazanılabilecek su miktarı çelikhane tesisinin toplam su ihtiyacının yaklaşık %20-25’sine karşılık gelmektedir. Ayrıca geri kazanılmayan atık su, cüruf sulama sisteminde değerlendirilmektedir.

Abstract

The amount of usable, available water resources on earth is very low. Increasing population density, global warming and climate change have led to a decrease in water resources. Water is vital for sustainable development and ecological balance. Water scarcity, one of the most important problems of today's world, makes the controlled use and recovery of water mandatory. For this reason, treatment and recycling of

wastewater in industry is very important. Increasing industrialization and population in Turkey, which is one of the candidate countries to experience water problems, has led to an increase in projects for the efficient use of water resources and the recovery of wastewater. There are very efficient systems developed in recent years for the treatment of wastewater. The use of recycled wastewater in industry, which is widely used in developed countries, is of absolute importance for the industry of our country. In our country, there is a “Communiqué on Technical Procedures for Wastewater Treatment Plants” on the recovery and reuse of wastewater. In 2030, it is estimated that the ratio of reuse of treated wastewater to total water use in the world will be 1.66%. The iron and steel industry is an industry with intensive water consumption, as in oil and natural gas refineries, mining, textile, food and beverage industries. In order to reduce the amount of water withdrawn from the underground, efforts are being made to feed the wastewater back into the process. The steel mill consumes a high amount of water for cooling purposes due to the process. The cooling water requirement is met by using systems such as multilayer sand filters, ultrafiltration unit and reverse osmosis. In order for all these systems to work properly, they need to be cleaned periodically, i.e. regeneration process. The regeneration water is filtered by an automatic backwashing industrial wastewater recovery filter and made reusable. The amount of water that can be recovered in the project corresponds to approximately 20-25% of the total water requirement of the steel mill plant. In addition, the waste water that is not recovered is utilized in the slag irrigation system.

1. Giriş

Dünyada aşırı artan nüfus ve sanayileşme mevcut su kaynaklarının hızla kirlenmesine ve tükenmesine yol açmıştır [1]. Suya olan ihtiyacın artması ve yasal düzenlemeler, özellikle endüstriyel ortamdaki atık suların arıtılması konusunu daha da önemli hale getirmektedir. Ayrıca arıtılan suyun geri kazanımı ve atıktan değerli maddelerin geri kazanımı gibi konularında yoğun çalışma konusu olduğunu gözlemlemekteyiz. Burada kullanılan teknolojilerin rekabetçi ortama katkı sağlayacak nitelikte olması ve insan sağlığını en üst düzeyde koruyacak şekilde tasarlanması çalışmaların her zaman odak noktası olmuştur [2].



Şekil.1 Arıtma sistemine dair bir örnek Kaynak: <https://www.kelvinindia.in/blog/how-does-industrial-waste-water-treatment-plant-work/>

Dünya'daki toplam suyun %97,5'i denizler ve okyanuslardan oluşan tuzlu sudur. Geriye kalan %2,5'lik miktar ise tatlı sudur. Bu tatlı suyun dünyadaki dağılımı da eşit olmadığı için su fakiri veya su zengini gibi kavramlar mevcuttur.

Tablo 1. Dünyadaki Toplam Su Miktarlarının Yüzdesi [2, 3]

	Km ³	%
Dünyadaki Toplam Su Miktarı	1.4 Milyar	100
Denizler ve Okyanuslardaki Tuzlu Su Miktarı	1.365 Milyar	97,5
Tatlı Su Miktarı	0,035 Milyar	2,5
Yılda Buharlaşan Su Miktarı	500.000	0,036
Yılda Yağışla Düsen Su Miktar	100.000	0,007
Nehirlerle Akışa Geçen Miktar	40.000	0,003
Teknik ve Ekonomik Kullanılabilir Su Miktarı	9.000	0,00064

Tablo 2. Su kaynaklarının yeryüzünde dağılımı [2, 4]

Kıtalar	Nüfus olarak (%)	Su kaynağı olarak (%)
Kuzey Amerika	8	15
Güney Amerika	6	26
Avrupa	13	8
Afrika	13	11
Asya	60	36
Avustralya ve Adalar	1	5

Atıksuların artırılması ve geri kazanılmasının getirdiği birçok fayda vardır. Bunlar; gelecekteki nüfusun ihtiyacı olan temiz su kaynaklarının korunması, tarım, hayvancılık ve endüstriyel üretimin sürdürülebilirliği ve güvenilir gıdaya

ulaşım, deşarj bölgelerinin azaltılması ile çevresel kirliliğin önlenmesi, su maliyetinin düşürülmesi olarak özetlenebilir [5].

Son yıllarda kabul gören atık hiyerarşisini anlatan görsel aşağıda verilmiştir. Endüstriyel atıksuların arıtımında kullanılan genel arıtma yöntemleri bilindiği üzere fiziksel, kimyasal ve biyolojik proseslerdir [5].



Şekil 2. Atık hiyerarşisi

Atık yönetimi; atığın toplanması, taşınması, geri kazanılması, bertaraf edilmesi, bertaraf sahalarının kapatılma sonrası bakımı ve bu tür faaliyetlerin gözetim, denetim ve izlenmesi işlemlerini kapsayan bir faaliyet bütünü olarak açıklanabilir.

2. Yürütülen Çalışmalar

Canlıların yaşam kaynağı olan doğal su kaynaklarının korunması ve su tüketiminin azaltılması amacıyla atık su arıtma işlemleri gerçekleştirilmektedir. Suyun nötralizasyonu olarak da bilinen bu işlemde fiziksel yöntemlerle yabancı ve mikroorganizmalardan arındırılan su tekrar kullanılabilir hale getirilebilmektedir. Demir çelik sektöründe de kullanılan suyun arıtılması ve tekrar kullanımı konusunda gerek dünyada gerekse de ülkemizde çok önemli gelişmeler kaydedilmiştir. Çevre dostu üretimin önemli bir bileşeni olan atık suyun arıtılması sonucu elde edilen su daha çok soğutma sistemlerinde tercih edilmektedir. Arıtıldıktan sonra sisteme dahil edilerek kullanılan arıtılmış su, üretimde kullanılan su miktarını da aynı ölçüde azaltmaktadır.

Bu kapsamda işletmemizde suyun verimli kullanımı ve atık suyun geri kazanımı konusunda çeşitli çalışmalar yürütmekteyiz. Fabrikamızda atık su arıtma sistemleri ile suyun fiziksel ve kimyasal arıtımını sağlayarak, geri kazanılan suyu üretim süreçlerimizde, özellikle de soğutma sistemlerinde tekrar kullanmaktayız. Bu sayede hem doğal su kaynaklarının korunmasına katkıda bulunuyor hem de su tüketimimizi azaltarak sürdürülebilir üretim hedeflerimize uygun hareket ediyoruz.

Bu doğrultuda, su filtrasyon sistemlerimizin etkinliğini artırmak amacıyla otomatik geri yıkama filtreleri kullanılmaktadır. Geleneksel filtreleme ekipmanlarının aksine, otomatik geri yıkama filtresi, filtrenin içindeki kirleri otomatik olarak temizleyebilen bir su filtreleme cihazıdır. Geleneksel manuel filtrelerin aksine, otomatik geri yıkama filtresi, filtre ekranındaki kiri sürekli olarak temizlemek için dahili bir otomatik kontrol sistemi kullanır ve ekipmanın uzun süreli çalışma sırasında iyi bir filtreleme etkisi sağlamasını garanti eder. Bu filtre, endüstri, tarım, bina su temini ve belediye su arıtımı gibi endüstrilerde, suda asılı madde, silt ve küçük parçacıklar gibi kirleri gidermek için yaygın olarak kullanılır.

Otomatik geri yıkama filtresinin en önemli avantajı, makineyi durdurmadan temizleme işlemini tamamlayabilmesidir. Geleneksel filtreleme ekipmanlarının, filtre elemanı veya filtre ekranı tıkandıktan sonra genellikle manuel olarak sökülmesi, temizlenmesi veya değiştirilmesi gerekir; bu yalnızca zaman alıcı ve emek yoğun olmakla kalmaz, aynı zamanda ekipman operasyonunun kesintiye uğramasına ve üretim verimliliğinin etkilenmesine neden olabilir. Otomatik geri yıkama filtresi, filtrenin basınç değişikliklerini gerçek zamanlı olarak izlemek, geri yıkama işlemini zamanında başlatmak ve ekipmanın her zaman en iyi çalışma koşulunda olduğundan emin olmak için otomatik bir kontrol sistemi kullanır.

Endüstrilerde kullanılan standart filtreleme sistemlerine göre avantajları aşağıdaki gibidir.

- En iyi enerji verimliliği
- Daha az su tüketimi
- Minimum kimyasal kullanımı
- Düşük karbon emisyonu
- Daha az plastik atık
- Minimum drenaj suyu deşarjı
- Daha az hacim

a. Yüksek verimlilik ve enerji tasarrufu

Geleneksel filtrelerin manuel olarak sökülüp temizlenmesi

Tablo 3. Kuyu suyu kullanımı miktarı

KUYU SUYU KULLANIMI	Oca.24	Şub.24	Mar.24	Nis.24	May.24	Haz.24	Tem.24	Ağu.24	Eyl.24	Eki.24	Kas.24	Ara.24	2024 ORT.
Kuyu Suyu Kullanımı (m ³)	60.142	58.370	75.470	65.560	65.471	73.930	69.830	70.130	57.568	55.680	54.806	51.950	63.242
m ³ /Ton Çelik	2,58	2,24	2,28	2,79	2,38	2,98	2,93	2,70	2,26	2,24	2,28	1,86	2,46
Hedef	2,40	2,40	2,40	2,40	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60	-
Ton Çelik	23.292	26.052	33.034	23.484	27.559	24.788	23.841	25.995	25.498	24.875	24.001	27.995	25.868
Endüstriyel Atık Su Geri Kazanım (m ³)	-	-	-	-	-	-	3.926	6.450	4.870	3.629	5.435	7.385	5.283
Endüstriyel Atık Su Geri Kazanım Oranı	-	-	-	-	-	-	5,6%	9,2%	8,5%	6,5%	9,9%	14,2%	9,0%

gerekir, bu da zaman ve iş gücü tüketir. Otomatik geri yıkama filtresi, manuel müdahale olmadan otomatik olarak temizlenebilir ve bu da işçilik maliyetlerinden tasarruf sağlar. Ayrıca, geri yıkama işlemi kesinti gerektirmez, bu da ekipman kesintisi riskini azaltır ve üretim verimliliğini daha da artırır.

b. Ekipman ömrünün uzatılması

Filtrenin düzenli olarak temizlenmesi, aşırı kirlilik birikimini etkili bir şekilde önleyebilir, filtrenin hasar görmesini veya tıkanmasını önleyebilir ve ekipmanın hizmet ömrünü uzatabilir. Otomatik geri yıkama filtresi, filtrenin hizmet ömrünü uzatmaya yardımcı olan otomatik kontrol sistemi aracılığıyla temizliğin zamanında ve eksiksiz olmasını sağlar.

c. Sürekli çalışma yeteneği

Otomatik geri yıkama filtresinin temizleme işlemi sırasında kapatılması gerekmez ve sürekli filtrasyon elde edilebilir. Bu özellik, petrokimya, ilaç, gıda ve içecek endüstrileri gibi üretim sürekliliği için yüksek gereksinimleri olan endüstriyel prosesler için özellikle uygundur.

d. Yaygın uygulanabilirlik

Otomatik geri yıkama filtreleri çeşitli su arıtma senaryolarına uygulanabilir. Nehir suyu, göl suyu, yeraltı suyu veya dolaşımli soğutma suyu ve kanalizasyon olsun, kirlilikleri etkili bir şekilde giderebilir ve su kalitesinin güvenliğini sağlayabilirler.

Temmuz 2024 itibarıyla başlatılan proje kapsamında endüstriyel atık su geri kazanımı süreci takip edilmeye başlanmış ve geri kazanılan su miktarı ve geri kazanım oranları düzenli olarak ölçülmüştür. Kuyu suyu kullanım oranı ve atık su geri kazanım miktarlarına ait bilgiler Tablo 3'te verilmiştir. Aralık ayında %9,9 ile en yüksek geri kazanım oranına ulaşılmış olup, sistemin verimliliğinin arttığı gözlemlenmiştir. Ocak 2025 itibarıyla ise geri kazanım oranı %23,2 seviyesine çıkarak proje hedeflerine önemli ölçüde yaklaşmıştır.

3. Sonuçlar ve Tartışma

Çalışmada elde edilen bulgular, literatürde yer alan su geri kazanım uygulamalarıyla uyumludur. Özellikle gelişmiş ülkelerde yaygın şekilde kullanılan arıtılmış atık suyun sanayide tekrar kullanımı, Türkiye’de de giderek yaygınlaşmaktadır. Ancak, bu uygulamaların daha geniş bir sanayi ölçeğinde benimsenmesi için teşvik edici düzenlemelerin ve yatırım desteklerinin artırılması gerekmektedir.

Demir-çelik sektöründe su geri kazanım oranlarını artırmak için teknolojik yeniliklerin takip edilmesi ve tesislerde daha verimli filtrasyon sistemlerinin kullanılması önerilmektedir. Ayrıca, proseslerde kullanılan suyun kalitesinin korunması için düzenli bakım ve analiz süreçlerinin geliştirilmesi kritik öneme sahiptir.

Sonuç olarak, Özkan Çelik’te yürütülen atık su geri kazanım çalışmaları, sürdürülebilir sanayi uygulamalarına önemli katkılar sunmaktadır. Gelecekte, suyun daha yüksek oranlarda geri kazanılması ve farklı endüstriyel süreçlerde kullanılması için teknolojik inovasyonların teşvik edilmesi büyük önem taşımaktadır.

4. Sonuç

Sonuç olarak; yapılan çalışma, demir-çelik endüstrisinde suyun verimli kullanımına yönelik uygulamaların önemini vurgulamaktadır. Atık suyun geri kazanımı hem su kaynaklarının korunmasına hem de üretim süreçlerinin sürdürülebilir hale gelmesine katkı sağlamaktadır. Özkan Çelik tesislerinde uygulanan geri kazanım sistemleri sayesinde, çelikhane su ihtiyacının yaklaşık %20-25’lik kısmı geri kazanılan su ile karşılanabilmektedir. Ayrıca, geri kazanılmayan atık suyun cüruf sulama sisteminde değerlendirilmesi, suyun etkin kullanımına yönelik ek bir çözüm sunmaktadır.

Otomatik geri yıkama filtreleri gibi yeni nesil su arıtma sistemlerinin kullanımı, su tüketiminin azaltılmasına, bakım sürelerinin kısaltılmasına ve operasyonel verimliliğin artırılmasına önemli katkılar sağlamaktadır. Bu sistemlerin, enerji verimliliği sağlaması, kimyasal kullanımını ve drenaj suyu deşarjını azaltması, çevresel sürdürülebilirliğe yönelik kritik avantajlar sunmaktadır.

Endüstriyel ölçekte gerçekleştirilen bu geri kazanım çalışmaları, Türkiye’nin su kaynaklarını daha etkin kullanmasına olanak tanımakta ve sanayi kuruluşlarının döngüsel ekonomi ilkeleri çerçevesinde üretim yapmasına destek olmaktadır.

Referanslar

- [1] C. Asan, Gri Suların Yeniden Kullanımında Membran Biyoreaktör (MBR) Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2013.
- [2] Ö. Demir, M. Yıldız, Ü. Sercan ve C. Ş. Arzum, 2017. Atıksuların geri kazanılması ve yeniden kullanılması. Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi, 2(2), 1-14.
- [3] T. Başkan, Arıtılmış Evsel Atıksuların Tarımda Sulama Amaçlı Yeniden Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
- [4] İ. Özbay, M. Kavaklı, Türkiye'de ve diğer ülkelerde arıtılmış atıksuların geri kazanım uygulamalarının incelenmesi, Çevre Sorunları Sempozyumu, Kocaeli, 1052–65, 14-17 Mayıs 2008.
- [5] Eyüp Debik, Atıksuların Geri Kazanımı ve Atıksulardan Enerji Eldesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, DOI: 10.53478/TUBA.978-625-8352-57-3.ch13

Sıcak Haddeleme Prosesinde Su Ayak İzinin Azaltılması

Reduction of Water Footprint in Hot Rolling Process

Erdinç EREK¹, Caner TUNA¹, Hakan ERÇAY¹, Tuncay DİKİCİ²

¹Özkan Demir Çelik, ²Dokuz Eylül Üniversitesi

Türkiye

Anahtar Kelimeler: Demir, Çelik, Enerji, Yağmur suyu geri kazanımı, Su ayak izi, Haddeleme

Özet

Son yıllarda hızla artan nüfus, sanayileşme ve küresel ısınmanın bir sonucu olarak ortaya çıkan su sıkıntısı, küresel kriz boyutunda dünyanın en önemli gündem maddelerinden biri olmayı sürdürmektedir. Dünyadaki toplam su kaynaklarının sadece %2,5’lik bir kısmının kullanılabilir olması tatlı su kaynaklarının korunmasının yanı sıra, alternatif su kaynaklarının önemini de ortaya koymaktadır. Dünya Ekonomik Forumu için hazırlanan Küresel Risk Raporunda dünya ekonomisi için risk teşkil eden ilk üç maddeden biri su krizidir. Türkiye su zengini bir ülke değildir. Dolayısıyla su kaynaklarımızın etkin ve verimli bir şekilde kullanılması için sanayi kuruluşlarına da büyük sorumluluk düşmektedir. Bu kapsamda, Özkan Demir Çelik olarak, proses ve çevre sulama kaynağı olarak kullanılan suyun, yağmur suyundan karşılanmasına yönelik bir proje yürütülmüştür. Bu çalışmada, haddehane tesisinin toplam 50.000 m² olan çatısının 2650 m²’lik kısmının çatısından akan yağmur suyunun geri kazanılması, biriktirilmesi ve kullanılması planlanmış ve yürütülmüştür. 2024 verilerine göre çatıdan toplanan su miktarı 2146 tondur. Geri kazanılan yağmur suyu HH-3 haddehanesinde yer alan sıcak platform mamul soğutma sistemi prosesinde kullanılan, yıllık tüketimi 11.350 ton olan, suyun %19’unu karşılayacaktır. Alternatif su kaynağı olarak kullanılan yağmur suyu, endüstriyel üretimde sürdürülebilirlik ve çevre dostu uygulama olması açısından ülke sanayimiz için örnek bir uygulama niteliğindedir.

Abstract

In recent years, water shortage, which has emerged as a result of rapidly increasing population, industrialization and global warming, continues to be one of the most important agenda items of the world in the dimension of global crisis. The fact that only 2.5% of the world's total water resources are usable reveals the importance of alternative water resources as well as the protection of fresh water resources. In the Global Risk Report prepared for the World Economic Forum, one of the top three risks for the world economy is the water crisis. Turkey is not a water-rich country. Therefore, industrial organizations have a great responsibility to use our water resources effectively and efficiently. In this context, Özkan Demir Çelik has carried out a project to meet the water used for process and environmental irrigation from rainwater. In this study, it was planned and executed to recover, collect and use the rainwater flowing from 2,650 m² of the total 50,000 m²

roof area of the rolling mill facility. According to 2024 data, the amount of water collected from the roof is 2146 tons. The recycled rainwater will cover 19% of the water used in the hot platform product cooling system process at the HH-3 rolling mill, with an annual consumption of 11,350 tons. Rainwater used as an alternative water source is an exemplary practice for our country's industry in terms of sustainability and environmentally friendly practice in industrial production.

1. Giriş

21. yüzyılın politik ve ekonomik anlamdaki şekillenmesinde, ülkelerin sahip oldukları su kaynaklarının nüfus artışına ve sanayi üretimine paralel olarak tükenmesi önemli bir rol oynamaktadır. Hükümetler arası İklim Değişimi Paneli (IPCC) VI. değerlendirme raporunda atmosferde meydana gelen ısınmanın büyük bir bölümü insan faaliyetlerine dayalı olarak ortaya çıkan sera gazı kaynaklıdır [1]. İklim değişikliğinin en önemli göstergelerinden biri olan küresel ısınma ve sıcaklık artışının, beraberinde yağış rejimlerindeki değişime de negatif yönde bir etkisi olmaktadır. Artan sera gazı emisyonları sebebiyle küresel ısınma dünyanın pek çok bölgesinde su kaynaklarının dağılımında değişikliklere yol açmış, küresel ve bölgesel hidrolojik döngüler iklim değişikliğinden büyük ölçüde etkilenmiştir [2].

Aşağıdaki Tablo 1’de belirtildiği üzere kullanılabilecek tatlı su miktarı toplam su miktarına göre oldukça azdır.

Tablo 1. Dünyadaki su kaynakları [3]

Karalardaki Suyun Bulunduğu Mekân	Miktar (Milyon Km ³)	Toplam Tatlı Su Miktarına Oranı (%)
Buzullar	24	1,74
Yer altı suları	23	1,66
Göller, akarsular, atmosfer	1	0,10
TOPLAM	48	3,50

Su sıkıntısının giderek daha da hissedilmeye başlandığı son dönemde, tüm dünyada alternatif su kaynaklarına yönelik çalışmalar hız kazanmıştır. Su tüketim miktarı tarımsal, endüstriyel ve evsel olarak üç farklı grupta incelenmektedir. Günümüzde de su probleminin yaşandığı kurak bölgelerde

toplam su tüketiminde büyük bir orana sahip olan bahçe sulamasında, yağmur suyu kullanımı su tüketimini büyük oranda düşürmektedir. Ülkemizde su tüketimini azaltmak amacıyla su korunumu stratejilerinden yağmur suyunun kullanılmasına ilişkin örneklerin oldukça kısıtlı olduğunu görmekteyiz.



Şekil 1. Hasat edilen yağmur suyunun kullanım alanları [4]

Yağmur suyu hasadı, yapıların çatılarından ve yüzeylerden toplanıp depolanması olarak bilinmektedir. Antik çağdan bugüne, Asya ve Afrika ülkelerinde yağmur suyu hasadı içme suyu kaynağı olarak da değerlendirilmektedir. Yağmur suyu hasadı ile elde edilen su, tuvalet-banyo ihtiyaçlarında, yeşil alan sulama ve endüstriyel prosesler vb. farklı birçok ihtiyaç duyulan alanda kullanılmaktadır (Şekil 1). Ekosistemin en önemli unsuru olan su, insanın yaşamını devam ettirmesi için de gerekli bir temel insan hakkıdır.



Şekil 2. Örnek bir yağmur suyu hasadı projesi [Kaynak: <https://alternegy.solutions/services/water-capture/>]

Çatıdan yağmur suyunun hasadı, yağmurun çatı yüzeyinden toplandığı ve rezervuarlara depolandığı bir yöntemdir (Şekil 2).

2. Yürütülen çalışmalar

Özkan Demir Çelik bünyesinde yağmur sularının depolanması ve üretim prosesine yeniden kazandırılarak kullanılması amacıyla bu proje çalışması gerçekleştirilmiştir.

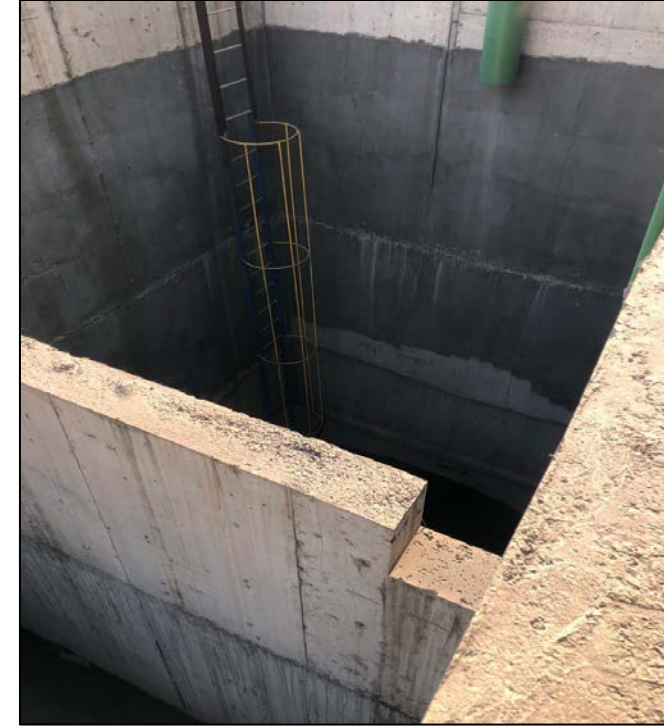
HH-1 kütük holünün 2.650 m²'lik çatısından (Şekil 3) mevcut durumda kullanılmayan 2 adet 400 ton kapasiteli havuzlardan birine (Şekil 4a, 4b ve 4c) biriktirilecek yağmur sularının, HH-3 sıcak platform havuzuna (Şekil 5) ve/veya HH-1 tufal kırıcılarına (Şekil 6) iletilerek üretim prosesinde “make up suyu” olarak kullanılması amaçlanmıştır.



Şekil 3. HH-1 kütük holü çatısı



Şekil 4a. HH-1 hazırlama ve YKTF tufal havuzu genel görünümü



Şekil 4b. HH-1 hazırlama ve YKTF tufal havuzu boş hali



Şekil 4c. HH-1 hazırlama ve YKTF tufal havuzu dolu hali

HH-1 kütük holü çatı alanı 2.650 m²'dir. Çalışmaya başlamadan önce İzmir ili için ortalama yağış sayısı ve toplam yağış miktarı aylara göre Tablo 2' de listelenmiştir.

Tablo 2. İzmir ili için 2024 yılı ortalama yağış verileri

Aylar	Ortalama Yağışlı Gün Sayısı (Gün/Ay)	Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	Çatıdan Toplanacak Su Miktarı (Ton/Ay)
Ocak	14	135	357,75
Şubat	11,7	101,9	270,04
Mart	10,7	75,4	199,81
Nisan	9,1	31,8	84,27
Mayıs	7	12	31,80
Haziran	3,5	4,1	10,86
Temmuz	0,7	5,6	14,84
Ağustos	0,9	15,5	41,07
Eylül	2,7	44,8	118,72
Ekim	6,6	92,6	245,39
Kasım	10,1	145,7	386,11
Aralık	14,4	145,7	386,11
Yıllık Toplam	91,40	710,50	2.146,80

3. Sonuçlar

HH-3 sıcak platform havuzuna (Şekil 5) ve HH-1 tufal kırıcılarına (Şekil 6) gönderilmek üzere hazırlanan projede yağmur hasadının bir uygulaması gerçekleştirilmiştir.

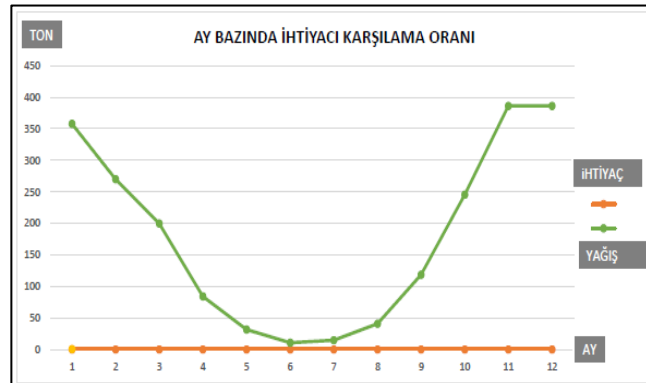


Şekil 5. HH-3 sıcak platform havuzu



Şekil 6. HH-1 tufal kırıcı

Şekil 7'deki grafikte biriktirilen yağmur suyunun ay bazında ihtiyacı karşılama oranı görülmektedir.



Şekil 7. Ay bazında ihtiyacı karşılama oranı grafiği

Çalışmamızın devamında HH-1 hadde holünün kuzey tarafı çatısı (2.500 m²), YKTF firm üzeri çatısı (580 m²) ve merkez-1 elektrik odasının çatısı (127 m²) olmak üzere toplamda 3.207 m²'lik bir alanın yağmur sularının da ikinci havuza toplanması hedeflenmektedir. Bu sayede 2.598 m³/yıllık yağmur suyu hasadı gerçekleştirilecektir. Bu sayede yağmur suyu, Şekil 6'daki HH-1 tufal kırıcılarının besleme suyu olarak kullanılacaktır.

Referanslar

- [1] IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change
- [2] Brutsaert & Parlange, 1998; Solomon, ve diğerleri, 2007; Hagemann, ve diğerleri, 2013; Dufresne, ve diğerleri, 2013
- [3] N. Aksungur ve Ş. Firidin, (2008). Su kaynaklarının kullanımı ve sürdürülebilirlik. Aquaculture Studies.
- [4] Yağmur Suyu Hasadı - Rehber Doküman, Tarım ve Orman Bakanlığı, 2022, p 5, Ankara

Kesici Takım Uçlarına Kriyojenik İşlem Uygulayarak Performansının Arttırılması

Improving Performance by Applying Cryogenic Treatment to Cutting Tools

Semih DOĞAN¹, Aysun IŞIKGÜL¹, Ali Yağız ŞAHİN¹, Bengü AKIN¹, S. Tuğrul İMER¹, Gökhan SUR², Hasan GÖKKAYA²

¹Karabük Demir Çelik, ²Karabük Üniversitesi

Türkiye

Anahtar Kelimeler: Kesici Uç, Kriyojenik, Isıl İşlem, Sertlik, Mikroyapı

Abstract

Kardemir A.Ş. produces railway wheels for freight wagons, passenger wagons, high-speed trains, light rail systems, and locomotives, with diameters ranging from 700 mm to 1250 mm, in its Railway Wheel Production Facility (DYT), established in 2017 with a capacity of 200,000 tons. In the Railway Wheel Production Facility, the cutting insert used in the chip removal process for the wheels quickly become deformed and need to be replaced frequently. The cutting insert used are supplied from abroad and their costs are quite high. It is planned to improve the performance and reduce the costs of the cutting insert by applying cryogenic treatment. 400 cutting inserts, coated and uncoated, were supplied. The cutting inserts are available in HB30F and WS08M02 quality, with CVD coating and uncoated versions, in the 32 mm cutting insert geometry used by DYT. Microstructure examinations, hardness measurements, and wear images of coated and uncoated cutting inserts without cryogenic treatment were recorded. The cryogenic process was first applied to 28 cutting inserts. After the cryogenic treatment, the microstructure of the cutting inserts, hardness measurements and wear images were analyzed. In this study, production costs were reduced by processing more wheels with existing cutting inserts.

Özet

Kardemir A.Ş., 2017 yılında kurulan ve 200.000 ton kapasiteye sahip olan Demiryolu Teker Üretim Tesisinde (DYT), 700 mm'den 1250 mm'ye kadar olan çaplarda yük vagonu, yolcu vagonu, YHT vagonu, hafif raylı sistem ve lokomotif tekerlerinin üretimini yapmaktadır. Demiryolu Teker Üretim Tesisinde, tekerin talaş kaldırma işleminde kullanılan kesici uç takımları hızlı bir şekilde deforme olmakta ve sık sık değiştirilmek zorunda kalmaktadır. Kullanılan kesici uç takımları yurtdışından tedarik edilmekte ve maliyetleri oldukça yüksektir. Kesici uçlara kriyojenik işlem uygulayarak, uç takımlarının

performansının artırılması ve maliyetlerinin düşürülmesi planlanmıştır. Kaplamalı ve kaplamasız olmak üzere 400 adet uç tedarik edilmiştir. Uçlar, HB30F ve WS08M02 kalitesinde CVD kaplama ile kaplanmış ve kaplamasız olarak, DYT'nin kullandığı 32 mm'lik uç geometrisindedir. Kriyojenik işlem görmemiş kaplamalı ve kaplamasız uçların mikroyapı incelemeleri, sertlik ölçümleri ve aşınma görüntülerine bakılmıştır. Kriyojenik işlem, ilk etapta 28 adet uca uygulanmıştır. Kriyojenik işlem sonrası uçların mikroyapı incelemeleri, sertlik ölçümleri ve aşınma görüntülerine bakılmıştır. Bu çalışmada, mevcut takımlar ile daha fazla teker işlenerek üretim maliyetlerinde azalma sağlanmıştır.

1. Giriş

1937 yılında temelleri atılan Karabük Demir Çelik Fabrikaları, Türkiye'nin ilk entegre demir çelik tesisi olarak ülkenin sanayileşme sürecinde önemli bir dönüm noktası olmuştur. Kardemir'in yıllık sıvı çelik üretim kapasitesi yaklaşık 2.600.000 ton olup, uluslararası kalite standartlarında üretim gerçekleştirmektedir. Ürün gamında demiryolu tekerlekleri, demiryolu rayları, profiller, nervürlü inşaat demiri, kangallar, platinalar, kütükler, kok ve kok yan ürünleri bulunmaktadır. Kardemir, raylı sistemler, otomotiv, savunma sanayi, makine imalatı, inşaat ve madencilik gibi kilit sektörlerle temel girdi sağlayarak Türkiye ekonomisinin sürdürülebilir büyümesine katkı sunmaktadır.

Demiryolu Teker Üretim Tesisimiz 200.000 adet/yıl teker üretim kapasitesine sahiptir. Tesisimizde 700 mm'den 1250 mm ye kadar olan çaplarda yük vagonu, yolcu vagonu, YHT vagonu, hafif raylı sistem ve lokomotif tekerlerinin üretimi yapılmaktadır. Üretim süreci kütük hazırlama, kütük ısıtma, dövme ve haddeleme, ısıl işlem, CNC işleme, test ve muayene adımlarından oluşmaktadır. Demiryolu teker üretiminde, talaş kaldırma işleminde kullanılan kesici uç takımlarının performansı, üretim

verimliliği ve maliyet yönetimi açısından büyük önem taşımaktadır. Ancak, Demiryolu Teker Üretim Tesis'i'nde kullanılan kesici uçlar, işleme sırasında yüksek sıcaklık ve sürtünme gibi zorlu çalışma koşullarına maruz kaldıkları için hızlı bir şekilde deforme olmaktadır. Bu durum, uç takımlarının sık sık değiştirilmesini gerektirmekte ve üretim süreçlerinde zaman kaybı ile yüksek maliyetlere yol açmaktadır. Mevcut durumda, kesici uç takımları yurtdışından tedarik edilmekte olup hem temin süreçlerinin uzunluğu hem de maliyetlerinin yüksekliği, sürdürülebilir üretim hedefleri açısından önemli bir sorun teşkil etmektedir. Bu bağlamda, kesici uç takımlarının dayanıklılığını ve performansını artırmaya yönelik yeni yaklaşımlar büyük bir önem kazanmaktadır.

Kriyojenik işlem, malzemeye uygulanan geleneksel ısıtılı işlemlerin ardından gerçekleştirilen özel bir proses olup, genellikle malzemenin aşınma dayanımını artırmayı hedeflemektedir. Bu işlemde, malzeme su verme işlemiyle ısıldıktan sonra -196°C'ye kadar soğutulmaktadır. 0°C'nin altındaki bu soğutma süreci, malzemenin mikroyapısının tamamen değişmesini sağlar. Su verme sonrası yapıda kalan kalıntı östenitler, kriyojenik işlemle giderilmekte ve ardından malzeme, soğutma ortamından çıkarılarak oda sıcaklığına kadar kontrollü bir şekilde ısıtılmaktadır. Kriyojenik işlem, derin kriyojenik işlem ve sıg kriyojenik işlem olmak üzere iki ana kategoriye ayrılmaktadır. Bu yöntem, özellikle takım çeliklerinde yaygın olarak görülen aşınma problemleri için etkin bir çözüm sunmaktadır [1,3]. Literatürde, özellikle metalik malzemelerin mekanik ve tribolojik özelliklerini iyileştirmek amacıyla kullanılan geleneksel yöntemlere alternatif olarak, kriyojenik işlem prosesinin tercih edildiği ve bu yöntemin malzemelerin aşınma direncini önemli ölçüde artırdığına dair birçok çalışma bulunmaktadır [1-4].

Bu çalışmanın amacı tekerin talaş kaldırma işleminde kullanılan kesici uç takımlarının performansının artırılması ve mevcut takımlar ile daha çok teker işlenerek üretim maliyetinin düşürülmesidir. Kaplamalı ve kaplamasız olacak şekilde 400 adet uç tedarik edilmiştir. Kriyojenik işlem görmemiş kaplamalı ve kaplamasız uçların mikroyapı incelemeleri, sertlik ölçümleri, aşınma görüntüleri ve tekerlerin yüzey pürüzlülük değerleri alınmıştır. Kriyojenik işlem, ilk etapta 28 adet uca uygulanmıştır. Kriyojenik işlem sonrası uçların mikroyapı incelemeleri, sertlik ölçümleri, aşınma görüntüleri ve tekerlerin yüzey pürüzlülük değerlerine bakıldı. Yapılan bu çalışma kapsamında uygulanan kriyojenik işlemin kaplamalı ve kaplamasız uçlara mikroyapı, sertlik ve aşınma özelliklerine etkisi incelenmiştir.

2. Deneysel Çalışmalar

Bu çalışmada, demiryolu tekerlerinin işlenmesinde kullanılan kesici takım uçlarının performansını artırmaya yönelik deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, Boehlerit firmasından Tablo 1'de belirtilen HB30F ve WS08M02 kalite sınıflarında, CVD kaplamalı ve kaplamasız kesici uçlar temin edilmiştir. Uçlar, Demiryolu Teker Üretim Tesis'i'nin (DYT) kullandığı 32 mm uç geometrisine sahiptir.

Deneysel çalışmalarda, toplam 28 adet numune kriyojenik işlem ve ardından temperleme işlemi uygulanmıştır. İşlem, dakikada 2 °C'lik sıcaklık değişim hızıyla -196 °C'ye kadar soğutulmuş ve bu sıcaklıkta 24 saat süreyle tutulmuştur. Uygulanan kriyojenik ısıtılı işlem parametreleri Tablo 2'de ve kesici uçlara ait kesme parametreleri Tablo 3'de verilmiştir.

Çizelge 1. Tedarik Edilen Kesici Takım Uçları.

Sıra No	Geometrik Özellikler	Malzeme kalitesi	Kaplama
1	RCMX 3209M0, BS730	HB30F	Kaplamasız
2	RCMX 3209M0, BC7393	HB30F	CVD Kaplama
3	RCMX 3209M0, BS260	WS08M02	Kaplamasız
4	RCMX 3209M0, BC2693 (BTCP25T)	WS08M02	CVD Kaplama

Çizelge 2. Isıl İşlem Parametreleri.

Kriyojenik			
Bekletme Sıcaklığı (°C)	Soğutma Hızı (°C/dk)	Soğutma Süresi (saat)	Isıtma Hızı (°C/dk)
-196	2	24	2
Temperleme			
Sıcaklığı (°C)	Bekleme Süresi (saat)	Temperleme Çevrimi	
200	2	1	

Çizelge 3. Kesme Parametreleri.

Kesici Uç	İlerleme Hızı (mm/dev)	Kesme Derinliği (mm)	Kesme Hızı (m/dk)	Çalışma Mesafesi (mm)
Kaplamasız HB30F	1,3	2	55	84
Kaplamalı HB30F	1,3	2	55	84
Kaplamasız WS08M02	1,3	2	55	84
Kaplamalı WS08M02	1,3	2	55	84

Kesici uçların teker işleme deneyleri kriyojenik işlem öncesi ve sonrası olmak üzere Demiryolu Teker Haddehanesi'nde gerçekleştirilmiştir. Aşınma miktarları ve görüntüleri ise dijital mikroskop ile alınmıştır.

Kesici takım aşınma deneyleri sonrası takımlar mikroskopla ölçüldükten sonra kesici takımlarda meydana gelen aşınma mekanizmalarının belirlenebilmesi için mikroyapı görüntüleri SEM cihazında alınmıştır. Kaplamalı uçlar, kaplamasız uçlara kıyasla daha yüksek sertlik artışı ve aşınma dayanımı gösterdiğinden, kriyojenik işlemin yüzey mikro yapısı üzerindeki etkilerini daha detaylı analiz edebilmek amacıyla yalnızca CVD kaplamalı uçların SEM incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Bu seçim, kaplamanın kriyojenik işlemle etkileşimini ve malzeme yapısında meydana gelen değişimleri daha iyi anlamak için yapılmıştır.

Uçların sertlik testi Vickers (HV) cinsinden ölçülmüştür. İki farklı bölgeden alınan ölçülerin ortalaması alınarak sertlikler hesaplanmıştır.

3. Sonuçlar ve Tartışma

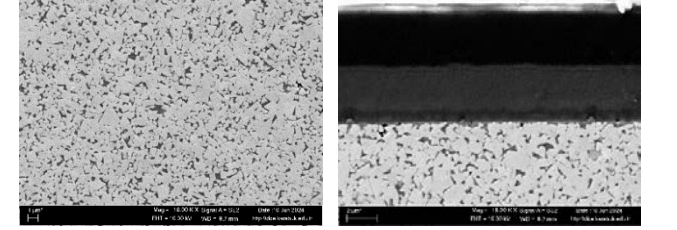
3.1.Mikroyapı sonuçları

Deneysel çalışmalar kapsamında, kriyojenik işlem uygulanmamış kaplamalı numunelerin ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamalı numunelerin yüzey morfolojisini ve mikroyapısal değişimlerini incelemek amacıyla SEM analizleri gerçekleştirilmiştir.

Tungsten karbür kesici takımların mikro yapısında α , β ve η fazları bulunmaktadır [5]. Fotoğraflarda görülen ve tungsten karbür taneciklerinin büyük bir kısmını oluşturan gri, açısısal şekilli taneler α fazı olarak tanımlanmaktadır. Kriyojenik işlem uygulanmış numunelerde, α fazının yapı içerisinde homojen bir dağılım gösterdiği gözlemlenmiştir. β fazı, daha az miktarda bulunan ve ince beyaz damarlar şeklinde görülen bölgelerden oluşmaktadır. η fazı ise, kobalt tarafından çevrelenmiş ve koyu gri benekler halinde görülen bir karbür türüdür. Kriyojenik işlem uygulanmış numunelerde, η fazı, tokluğa olumsuz etki etmeden sertlik ve aşınma direncinin artmasına katkı sağlamaktadır [6-8].

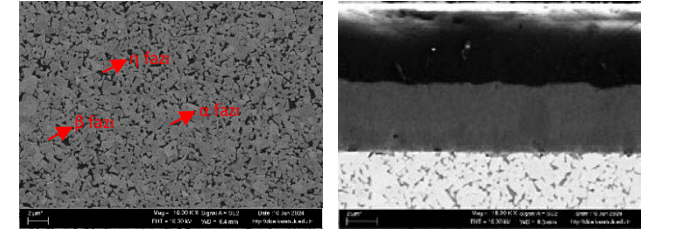
SEM görüntülerinden görüldüğü üzere, kriyojenik işlem sonrası yüksek sıcaklıklara karşı direnç sağladığı bilinen β fazı içeriğinin belirgin şekilde azaldığı gözlemlenmektedir. Benzer şekilde, η fazı karbürlerinin kriyojenik işlem uygulanmış numunelerde daha fazla ve daha homojen bir dağılıma sahip olduğu, işlem uygulanmamış numunelerde ise daha az ve daha kaba bir yapıda bulunduğu tespit edilmiştir. Bu değişimler, kriyojenik işlemin takımın mikro yapısını iyileştirerek aşınma direncine ve sertliğe olumlu katkıda bulunduğunu göstermektedir [6-8].

Kriyojenik işlem uygulanmamış kaplamalı 2. ucun SEM görüntüleri Şekil 1'de gösterilmektedir.



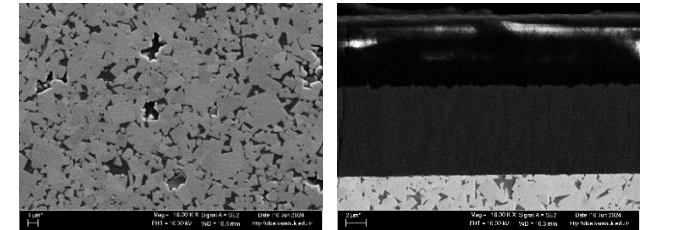
Şekil 1. Kaplamalı 2. ucun SEM görüntüleri.

Kriyojenik işlem uygulanmış kaplamalı 2. ucun SEM görüntüleri Şekil 2'de gösterilmektedir.



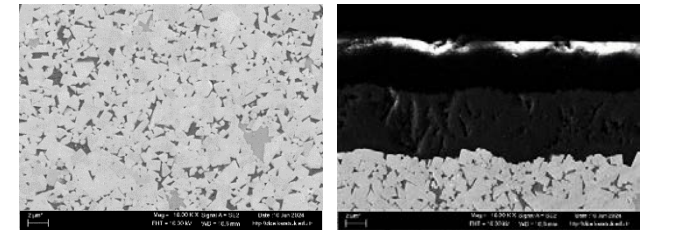
Şekil 2. Kriyojenik işlemlili kaplamalı 2. ucun SEM görüntüleri.

Kriyojenik işlem uygulanmamış kaplamalı 4. ucun SEM görüntüleri Şekil 3'de gösterilmektedir.



Şekil 3. Kaplamalı 4. ucun SEM görüntüleri.

Kriyojenik işlem uygulanmış kaplamalı 4. ucun SEM görüntüleri Şekil 4'de gösterilmektedir.



Şekil 4. Kriyojenik işlemlili kaplamalı 4. ucun SEM görüntüleri.

3.2. Sertlik sonuçları

Sertlik değerleri için 4 adet uçtan, kriyojenik işlem öncesi ve sonrası olmak üzere iki farklı ölçüm alınmış ve ölçüm sonuçlarının ortalamaları hesaplanmıştır. Sertlik sonuçları Tablo 4'te sunulmaktadır.

Çizelge 4. Sertlik ölçüm sonuçları.

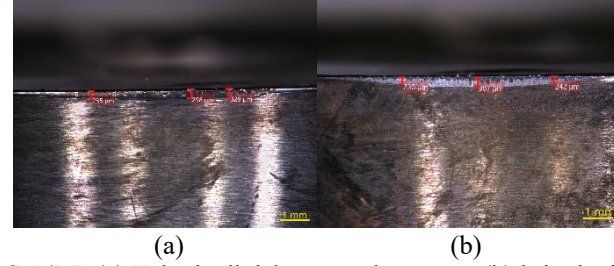
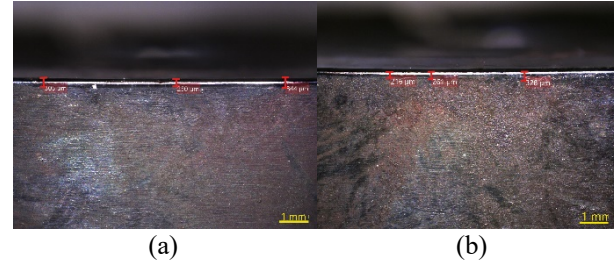
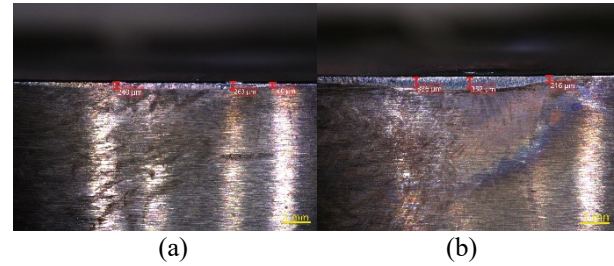
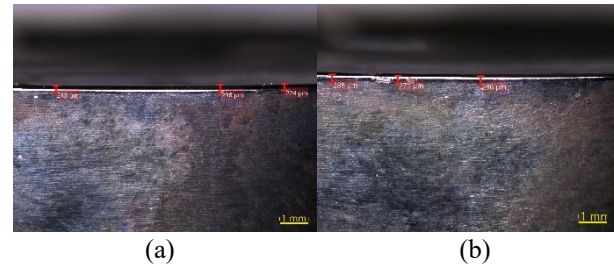
Sertlik (HV)		
Uçlar	Kriyojenik İşlem Öncesi	Kriyojenik İşlem Sonrası
1	1678	1728
2	1658	1711
3	1592	1642
4	1581	1646

Tablodaki verilere göre kriyojenik işlem, tüm numunelerin sertlik değerlerinde artış sağlamıştır. Kriyojenik işlem öncesinde sertlik değerleri 1581 HV ile 1678 HV arasında değişirken, işlem sonrasında bu değerler 1642 HV ile 1728 HV aralığında ölçülmüştür. Kriyojenik işlem ile sertlikteki artışın geleneksel ısıtılma işlem sonrası östenitin martensite dönüşmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Literatürde yapılan çalışmalarda da kriyojenik işlemin sertliği artırıcı etkisi olduğu görülmektedir [9]. Yüzdesel olarak değerlendirildiğinde, sertlik artışı uçlara göre %2,98 ile %4,11 arasında değişmekte olup, ortalama %3,36 seviyesinde bir artış gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar, kriyojenik işlemin malzemenin mekanik özelliklerini iyileştirdiğini ve özellikle aşınma dayanımını artırma açısından etkili bir yöntem olduğunu göstermektedir [10,11]. Daha yüksek sertlik, malzemenin daha uzun ömürlü olmasını ve aşınmaya karşı daha dirençli hale gelmesini sağlamaktadır. Dolayısıyla, kriyojenik işlemin özellikle yüksek aşınma direnci gerektiren uygulamalarda önemli avantajlar sunduğu söylenebilir.

Kaplamasız uçlar olan 1. ve 3. Uçlar ile kaplamalı uçlar olan 2. ve 4. uçlar karşılaştırıldığında, kaplamalı uçların kriyojenik işlem sonrası daha yüksek sertlik değerlerine ulaştığı tespit edilmiştir. Bu durum, kaplamanın malzemenin mekanik özelliklerini geliştirdiğini ve kriyojenik işlemle birlikte sertliğin daha da arttığını göstermektedir. Kaplamalı WS08M02 malzemesinde (4. uç) en yüksek yüzdesel sertlik artışı gözlemlenmiştir.

3.3. Aşınmaların değerlendirilmesi

Makro aşınma görüntüleri Şekil 5-Şekil 8'de görülmektedir. Aşınma ölçümleri, numunenin üç farklı noktasından milimetre (mm) cinsinden alınmış olup, en yüksek aşınmanın gözlemlendiği bölgeden ölçüm gerçekleştirilmiştir.

**Şekil 5.** (a) Kriyojenik işlem uygulanmamış (b) kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız 1.ucun aşınma görüntüleri.**Şekil 6.** (a) Kriyojenik işlem uygulanmamış (b) kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız 2.ucun aşınma görüntüleri.**Şekil 7.** (a) Kriyojenik işlem uygulanmamış (b) kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız 3.ucun aşınma görüntüleri.**Şekil 8.** (a) Kriyojenik işlem uygulanmamış (b) kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız 4.ucun aşınma görüntüleri.

Uçların belirtilen aşınma değerlerine kaç paso sonunda ulaştığı, Tablo 5'te sunulmaktadır.

Çizelge 5. Aşınma ölçüm sonuçları.

Kesici Uçlar	Kriyojenik İşlem Uygulanmamış	Kriyojenik İşlem Uygulanmış
1.uç	3 Paso-0,329 mm	6 Paso-0,307 mm
2.uç	60 Paso-0,344 mm	120 Paso-0,328 mm
3.uç	5 Paso-0,263 mm	13 Paso-0,352 mm
4.uç	50 Paso-0,296 mm	120 Paso-0,296 mm

Tablo 5’de verilen değerlere bakıldığında kriyojenik işlem uygulanan kesici uçlar genel olarak daha fazla paso tamamladıktan sonra aşınma sınırına ulaşmıştır. Kaplamalı uçlar (2. ve 4. uçlar), kriyojenik işlemde en fazla fayda sağlayan numuneler olmuştur. Kriyojenik işlem, takım ömrünü iki katından fazla artırmış ve aşınma miktarını azaltmış veya sabit tutmuştur. Örneğin, kriyojenik işlem uygulanmamış 2. uç 60 paso tamamladıktan sonra aşınma sınırına ulaşırken, işlem uygulanmış hali 120 paso tamamlayabilmiştir. Benzer şekilde, 4. uç kriyojenik işlem öncesinde 50 paso tamamlayabilirken, işlem sonrası bu değer 120 pasoya çıkmıştır. Kaplamalı uçlarda kriyojenik işlemin olumlu etkisi, kaplamanın yapısal bütünlüğünü koruması ve aşınmaya karşı direncini artırması ile açıklanabilir.

4. Sonuç

Tekerin talaş kaldırma işleminde kullanılan kesici uç takımlarının performansının artırılması amacı ile yapılan kriyojenik işlem ve elde edilen deneysel sonuçlar aşağıda verilmektedir.

- Mikroyapısal incelemeler doğrultusunda, kriyojenik işlemin kaplamalı tungsten karbür kesici takımların mikro yapısı üzerinde belirgin değişimler yarattığı tespit edilmiştir. Kriyojenik işlem sonrası α fazının homojen bir yapıya kavuştuğu, β fazının belirgin şekilde azaldığı ve η fazı karbürlerinin daha ince, yaygın ve homojen bir dağılım sergilediği gözlemlenmiştir. Bu değişimler, sertlik ve aşınma direncinin artmasına katkı sağlamış, takımın daha uzun ömürlü ve daha kararlı bir yapıya sahip olmasına olanak tanımıştır.
- Kriyojenik işlemin tüm numunelerin sertlik değerlerinde artış sağladığı belirlenmiştir. İşlem öncesi ve sonrası karşılaştırıldığında, sertlik değerlerinin %2,98 ile %4,11 arasında bir artış gösterdiği ve ortalama %3,36 seviyesinde bir iyileşme sağlandığı tespit edilmiştir. Bu artışın, kriyojenik işlem sonrasında östenitin martensite dönüşümüne bağlı olarak meydana geldiği düşünülmektedir.
- Kriyojenik işlem uygulanmış kesici uçların genel olarak daha fazla paso tamamladıktan sonra aşınma sınırına ulaştığı belirlenmiştir. Özellikle kaplamalı uçlar (2. ve 4. uçlar), kriyojenik işlemde en fazla fayda sağlayan numuneler olmuştur.

Referanslar

- [1] E. Ersöz ve İ. Ovalı, Politeknik Dergisi, “AISI D2 soğuk iş takım çeliğine uygulanan endüstriyel

kriyojenik işlemin aşınma davranışları üzerindeki etkisi”, 21(2): (2018) 411-417.

- [2] Sert, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, “AISI M2 Takım Çeliğinin Mikroyapısı ve Mekanik Davranışları Üzerine Derin Kriyojenik İşlemin ve Temperlemenin Etkisi”, 22(66): (2020) 801-811.
- [3] O. Yamanoglu, “Soğuk İş Takım Çeliklerinin Aşınma Direnci Üzerinde Kriyojenik İşlemin Etkisi”, Y. Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, 2015, Ankara, Türkiye.
- [4] Ş. Şirin, S. Akıncioğlu ve H. Gül, İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi, “Kriyojenik İşlem Zamanının AISI 430 Çeliğinin Mekanik Özelliklerine Etkisi”, 7(3): (2018) 66-71,
- [5] T.V. SreeramaReddy, T. Sornakumar, M. VenkataramaReddy, R. Venkatram, International Journal of Refractory Metals & Hard Materials “Machinability of C45 steel with deep cryogenic treated tungsten carbide cutting tool inserts”, 27(1): (2009) 181-185.
- [6] K. Vadivel, R. Rudramoorthy, International Journal of Advanced Manufacturing Technology “Performance analysis of cryogenically treated coated carbide inserts”, 42:222–232 (2009).
- [7] S.S. Gill, J. Singh, H. Singh, R. Singh, International Journal of Advanced Manufacturing Technology “Metallurgical and mechanical characteristics of cryogenically treated tungsten carbide (WC-Co)”, 58:119–131 (2012).
- [8] N. Altan Özbek, “AISI 316 Östenitik Paslanmaz Çeliklerin İşlenmesinde Kesici Takıma Uygulanan Kriyojenik İşlemin Takım Ömrü Üzerine Etkilerinin Araştırılması”, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, 2013, Ankara, Türkiye.
- [9] S. Akıncioğlu, H. Gökkaya, İ. Uygur, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, “A review of cryogenic treatment on cutting tools”, 78(9-12) (2015).
- [10] C. A. Dumasia, V. A. Kulkarni, K. Sonar, International Research Journal of Engineering and Technology, “A Review on the Effect of Cryogenic Treatment on Metals”, 4(7) (2017).
- [11] S. Li, Y. Xie, X. Wu, Cryogenics, “Hardness and toughness investigations of deep cryogenic treated cold work die steel”, 50(2010) 89-92.

Çelik Haddeleme Endüstrisinde Sürdürülebilirlik: Yağlama Yağları ve IoT Teknolojilerinin Rolü

Sustainability in the Steel Rolling Industry: The Role of Lubricating Oils and IoT Technologies

Hüseyin HACIKADİROĞLU

Mobil Oil Türk

Türkiye

Özet

Sürdürülebilirlik arayışında, çelik haddeleme endüstrisi enerji verimliliği ve üretkenlik ile ilgili önemli zorluklarla karşı karşıyadır. Bu makale, gelişmiş sentetik dişli ve yağları ile yüksek performanslı sirkülasyon yağlarının sürdürülebilir operasyonlara nasıl katkıda bulunabileceğini araştırmaktadır. Bu yağlar, enerji verimliliği, mükemmel sudan ayırma ve şiddetli su kirliliği altında güvenilir performans için tasarlanmıştır. Makale, bu yağların başarıyla uygulandığı önde gelen çelik haddeleme tesislerinden vaka çalışmalarını vurgulayarak operasyonel verimlilik ve çevresel etkiideki somut iyileştirmeleri göstermektedir.

Geleneksel yağlama yöntemleri genellikle zayıf su ayrılabilirliği ve şiddetli koşullar altında azalan yağlama verimliliği gibi sorunlarla mücadele eder, bu da artan enerji tüketimi ve sık bakım gereksinimleri nedeniyle üretkenliğin azalmasına yol açar. Buna karşılık, sentetik dişli yağları ve yüksek performanslı sirkülasyon yağları, üstün performans sergileyerek enerji kullanımını azaltır ve ekipman emre amadeligini arttırarak üretkenliğe katkı sağlar.

Ayrıca, IoT ve Infrared ölçüm gibi çevrimiçi yağ durumu izleme teknolojilerinin entegrasyonu, önemli bir ilerleme olarak tartışılmaktadır. Geleneksel bakım uygulamaları genellikle planlı denetimlere ve reaktif önlemlere dayanır, bu da plansız duruşlara ve aşırı yağ ve gres tüketimine neden olabilir. IoT ve Infrared esaslı çevrimiçi yağ durumu izleme çözümleri, yağ sağlığı hakkında gerçek zamanlı bilgiler sağlayarak bozulma ve kirlenme olaylarını erken tespit eder. Ayrıca bu teknolojiler, gerçek zamanlı yağ analizi için hat içi ve taşınabilir seçenekler sunarak plansız duruşları azaltır ve veri odaklı bakımı destekler.

Gerçek dünya örnekleri, bu teknolojilerin bakım profesyonellerinin sorunları proaktif olarak önlemelerini, operasyonel sürekliliği sağlamalarını ve kaynak kullanımını optimize etmelerini nasıl sağladığını göstermektedir. Çelik haddeleme tesisleri bu yenilikçi çözümlerden yararlanarak; operasyonel verimliliği artırabilir, çevresel etkiyi azaltabilir ve önemli maliyet tasarrufları elde edebilir, endüstride sürdürülebilirlik için yeni bir standart belirleyebilir.

Endless Hot Rolled Coil (eHRC) From Arvedi ESP – A New Standard in Rolled Materials

Arvedi ESP Sıcak Yassı Haddelemede Yeni Standartlarda Üretim

J. SCHOLLER, C. PIEMONTE

Primetals Technologies

Austria

Abstract

Since the development of rolling technology, steel flat products have traditionally been divided into two prominent groups: hot-rolled coils (HRC) and cold-rolled coils (CRC). After the invention of Arvedi Endless Strip Production (ESP) technology, featuring endless casting and rolling of hot-rolled coils, a new class of rolled coils emerged: the endless hot-rolled coils (eHRC).

eHRC dramatically extends the domain of hot-rolled material into applications traditionally served only by cold-rolled products. This new set of hot-rolled coils offers significant economic savings in transformation costs, dramatically reducing both CAPEX—thanks to the unprecedented layout compactness of ESP plants—as well as OPEX—thanks to the lowest total energy consumption and the highest material yield among all thin slab casting and rolling technologies on the market.

Due to the absence of any immediate fossil fuel consumption and the direct rolling of the cast slabs taking advantage of the original thermal energy of the liquid steel, Arvedi ESP also represents the standard in reducing greenhouse gas emissions in direct and indirect emissions.

The peculiar thermal regime during casting and rolling, without long holding times at high temperatures, makes the Arvedi ESP process much less prone to hot shortness phenomena and, hence, more tolerant concerning the presence of tramp elements in liquid steel. This feature makes Arvedi ESP the perfect match for electric arc furnace-based meltshops using large quantities of scrap. Arvedi ESP pairs with scrap-based production without sacrificing the final product's quality, thus boosting the principles of the circular economy. With Arvedi ESP, limited space requirements, best-in-class energy utilization, and reduced carbon footprint levels go hand in hand with superior coil quality for profitable and eco-friendly steelmaking.

The Beginning of the Journey: “The Thinner the Better”.

One of the first goals that historically pushed the development of the “endless” process in the casting and rolling of flat products was the need to produce thinner and thinner gauges as hot-rolled coils (HRC).

As well known, achieving a commercially stable production of gauges below 1.2 mm with a conventional hot-rolling mill, which uses thick slabs, is challenging. The main factors limiting such production are the very high reductions during rolling that affect the stability of the mill and, primarily, the difficulty of threading the very thin strip heads into the finishing mill stands and later transporting them from the exit of the finishing mill to the downcoiler without risking a very high cobble rate.

The introduction of the “thin slab” design concept (in coil-to-coil mode) slightly reduced the problem of mill instabilities due to lower reductions required but did not solve the “flying strip head issue”.

In the 1980s / beginning of the 1990s, the semi-endless process was introduced as a tentative solution, feeding the mill with very long thin slabs that corresponded to several coils each and were as long as the tunnel furnace between caster and mill permitted. This configuration allowed the first coil from the slab to be rolled at a “reasonable” gauge to have the head “safely” reach the downcoiler and then to progressively reduce the thickness on the following coils, while they are rolled in the mill before being divided in separate coils by the final shear, which was now installed just in front of the down coiler.

This process allowed for the first time the production of coils below 1.0 mm on a commercial scale but had the limitation that only a very small amount of thin gauge coils could be produced in a discontinuous campaign. Moreover, the length of tunnel furnaces necessary to produce the very long “mother slabs” made the mill layout extremely long, with very high gas consumption needed to reheat these huge tunnel furnaces on top. These limitations made semi-endless mode not more than an exception in the scenario of hot-strip mills.

The “**game changer event**” has been the development of the endless process that allowed for the linking of casting and rolling in an uninterrupted sequence for the first time. The “flying head” problem was eliminated because only one strip head had to be threaded at the start of the casting sequence. The production of ultra-thin gauges can then continue, not for just 2 or 3 coils as in semi-endless but for, literally, hundreds of kilometers, uninterrupted.

This paradigm shift was made possible by:

- The evolution of caster design, allowing very high mass flows,
- The direct rolling of the cast strand without reheating to produce the transfer bar,
- The development of reliable induction heating solutions for transfer bar temperature control, and
- the deployment of automation architectures and models that, simultaneously controlling the casting and rolling process, can ensure a flawless production in both steady and transitory conditions.

Figure 1 illustrates a layout with the typical ESP plant configuration.

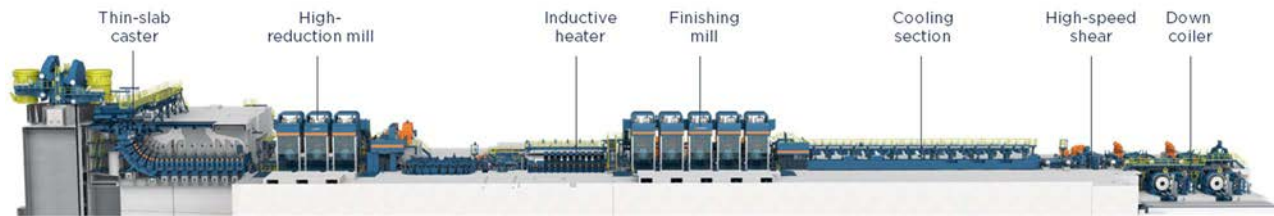


Figure 1: ESP layout

The ESP high-speed thin-slab caster plays a critical role in generating the necessary mass flow and sustaining the endless process. Each component of the caster has been meticulously designed and optimized to ensure stable operations, ultra-high productivity, and superior slab quality, marking it as a key component in the Arvedi ESP process.

The high-reduction mill performs the first rolling step directly after the strand exits the thin-slab caster. It leverages the inverse temperature profile, with a hotter core than the surface temperature, to achieve high reductions, energy savings, and tight tolerances on the transfer bar geometries. No CO₂-emitting furnaces are used in the ESP process.

A powerful and flexible inductive heater provides precise temperature control for the finishing rolling. Transversal and longitudinal flux solutions, along with adjustable clearance between the heating coil and transfer bar, optimize the inductive heating efficiency for varying product thicknesses. Additionally, there is no energy consumption during idle times.

The finishing mill rolls the transfer bar to the final target product dimensions. It is equipped with modern actuators like hydraulic AGC, work roll bending/shifting, dynamic work roll cooling, work roll lubrication, and fast hydraulic loopers. The mill produces strips with the narrowest geometrical tolerances, even for hard steel grades at maximum width. The stable endless operation drastically increases work roll lifetime up to double of batch operated processes and contributes with this big lever to heavily reduced OPEX and maintenance costs.

In the cooling section, the endless mode of ESP operation eliminates the challenges of speedups and related cooling obstacles, resulting in uniform temperatures and a consistent strip microstructure.

Just before reaching the down coiler, the strip receives a first straight cut by the high-speed shear. Head and tail crop cuts are history, resulting in the highest overall yield. The down coiler has special features for coiling ultra-thin as well as ultra-thick gauges of the same quality.

Endless Strip Production Experience Since 2009

As is well known, the dawn of the new Endless Strip Production era is marked by the startup of the Arvedi ESP plant in Cremona, Italy, in 2009 in partnership with Primetals Technologies. The stable, industrial-scale production of massive quantities of thin and ultra-thin strips below 1.0 mm in thickness became a real fact. The goal for the first ESP plant was to reach a thickness of 0.8 mm, a milestone achieved in 2010. However, this was just the beginning: our Chinese ESP customers already consolidated the production of 0.7 mm and even 0.6 mm minimum gauge, the latter achieved in 2018.

The advantage of this progress is evident: a large portion of products that in the past needed to be first hot rolled and then also cold rolled to reach the desired final thickness can now be produced directly as hot rolled coils. In case cold rolling cannot be completely omitted because the final thickness must be even less, our customers (and/or other re-rollers) can still benefit from the use of thinner input material to decrease both CAPEX and OPEX in their cold complex.

As shown in Figure 2, the percentage of the market currently served by CRC that can be targeted by eHRC is significant. The left side shows the typical production ranges of ESP, Cold rolling and Hot rolling. On the right, the pie chart shows the typical world wide distribution of Cold rolling thickness as by average product mix of cold rollers. More than 50% is above 0.8 mm and hence accessible for eHRC and therefore marked orange/blue.

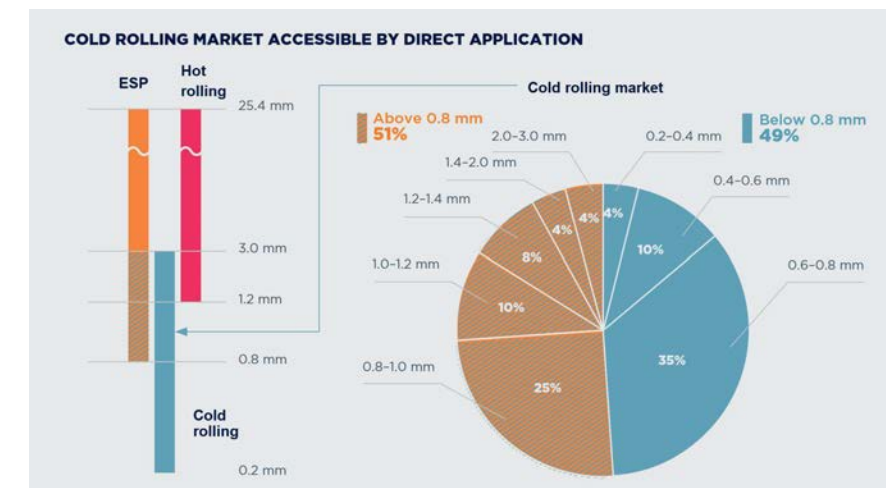


Figure 2: Cold rolled products market divided by thickness share

Furthermore, when cold rolling is completely omitted, the further downstream annealing process (to reduce the internal tensions generated within the material by deformation at low temperatures in CRM) can also be completely avoided (refer to Figure 3).

In this case, to fully understand the advantages of “market substitute products,” the correct comparison 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 cases, according to the experience of Arvedi ESP plants worldwide, even no skin-passing is required; such a process is requested only for the cases where the final use demands smoothing the coil surface roughness provided by pickling.

Such eHRC is, of course, ready either for final use by the end customer or to be further galvanized / color-coated, as the case may be.

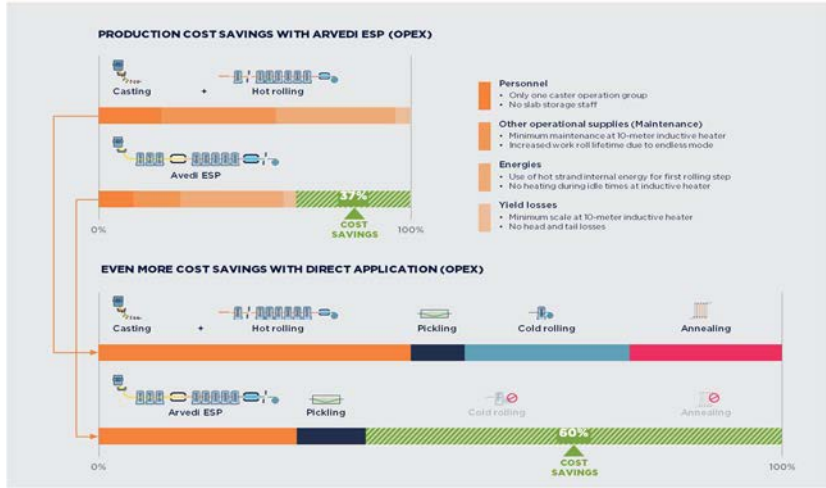


Figure 3: Arvedi ESP OPEX cost savings compared to a conventional process.

The production of thin and ultra-thin gauges is just the first reason for the success of the endless mode. The stable process conditions enable the production within the tightest geometrical tolerances and uniform mechanical properties across an entire coil and throughout a full sequence. This aspect is particularly important when the target is beyond just commodity applications.

ESP producers have fully recognized the advantages of eHRC and are considering it not merely as a different (and better) way to produce coils and save money. Thanks to its unique properties, eHRC is viewed as a distinguished product with its own “personality,” to be presented to its customers, even with dedicated brand names to emphasize their added value.

A prime example is the Arvtech™ brand by Acciaieria Arvedi, which offers metallurgical characteristics and geometrical precision that make it an effective alternative to cold-rolled products for many applications. This brand will considerably shorten delivery times compared with the cold rolling cycle (refer to Figure 4, which is an extract of the Arvtech™ product catalog).

Type of steel	Arvtech™ designation	Standard designation	Thickness (mm)		Max Width (mm)
			min	max	
Mild steels UNI EN 10111	Arvtech™ DD11	DD11	1.0	3.5	1520
	Arvtech™ DD12	DD12	1.0	3.5	1520
	Arvtech™ DD13	DD13	1.5	3.5	1300
Structural steels UNI EN 10025-2 Delivery condition “as rolled” (+AR)	Arvtech™ S235RJ0J2	S235RJ0J2	1.0	3.5	1520
	Arvtech™ S275RJ0J2	S275RJ0J2	1.25	3.5	1520
	Arvtech™ S355RJ0J2	S355RJ0J2	1.8	3.5	1520
Weather-resistant structural steels UNI EN 10025-5 Delivery condition “as rolled” (+AR)	Arvtech™ S235ZNUJ0W	S235ZNUJ0W	1.45	3.5	1520
	Arvtech™ S355ZNUJ0W	S355ZNUJ0W	2.0	3.5	1520
Micro-alloyed steels UNI EN 10149-2	Arvtech™ S315MC	S315MC	1.25	3.5	1520
	Arvtech™ S355MC	S355MC	1.25	3.5	1520
	Arvtech™ S420MC	S420MC	1.38	3.5	1520
	Arvtech™ S480MC	S480MC	1.5	3.5	1520
	Arvtech™ S500MC	S500MC	1.5	3.5	1520
	Arvtech™ S550MC	S550MC	1.5	3.5	1520
	Arvtech™ S600MC	S600MC	2.0 ⁽¹⁾	3.5	1520
	Arvtech™ S650MC	S650MC	2.5	3.5	1300
Multi-phase steels UNI EN 10338	Arvtech™ S700MC	S700MC	2.5	3.5	1300
	Arvtech™ DP800	DP800	1.5	2.5	1520
	Arvtech™ FB990	FB990	1.8	3.5	1520
	Arvtech™ CP800	CP800 ⁽²⁾	2.5	3.5	1520
Thickness range (mm)			Tolerance (mm) ⁽³⁾		
0.80 < t ≤ 1.20			± 0.04		
1.21 < t ≤ 1.60			± 0.04		
1.61 < t ≤ 2.00			± 0.05		
2.01 < t ≤ 2.50			± 0.06		
2.51 < t ≤ 3.50			± 0.06		

Table 1: Extract from Acciaieria Arvedi Arvtech™ product catalog

The above-mentioned quality results are the direct consequence of the endless process. Having a continuous, stable, and uninterrupted process ensures that the mechanical properties of the coils are absolutely constant along the strip; there is no longer any difference between the head, core, and tail of a coil: the full length of the coils becomes “core.” In endless mode, essentially, the complete sequence of, for example, 3,000 tons represents the core.

This uniformity is highly beneficial for coil end-users, reducing the head and tail crops for potential “out of tolerance” issues concerning both geometrical tolerances and mechanical properties. The head and tail ends of each coil are always a straight cut, further increasing the yield of the ESP line.

Figure 5 provides more details on these topics. This includes beside temperature uniformity and mechanical characteristics also geometrical tolerances like thickness, flatness (I-Unit is a dimensionless number that incorporates the height and peak to peak length of a repeating flatness wave across the strip), and profile tolerance (C40 means the value along the strip width without 40 mm from both strip edges).

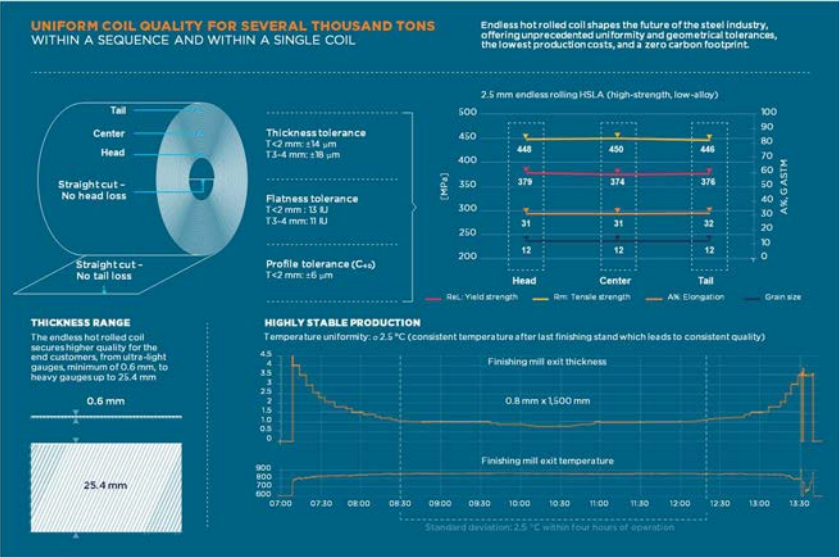


Figure 4: Superior quality features of eHRC

The Benefits of the Endless Process Extend Beyond Thin Gauges

The advantages of the endless process in terms of coil quality became so evident that a new market segment emerged as a profitable target: the production in the endless mode of relatively thicker grades with much more advanced added value. Enhancements in ESP equipment now allow targeting products that are qualified not only by their thin gauge but also by their mechanical properties.

In the first ESP plants, which were conceived to target the thin and ultra-thin gauges, the maximum coil thickness produced in endless mode was in the range of approximately 4 mm, while thicker gauges were produced in coil-to-coil mode. The most recent developments in ESP technology now enable the production in full endless mode of strip thicknesses up to 1 inch (25.4 mm), even for hard grades (e.g., API pipe grades).

This evolution has been made possible by:

- The increase of the slab thickness, allowing significant reduction rates also for thicker strips.
- The development of optimized roughing mill configurations with 3 or even 4 roughing mill stands.
- The introduction of multi-mode induction heaters, capable of efficiently controlling the heat transfer to both thin and thick transfer bars, making the endless operation energetically convenient also for thicker gauges.
- Patented cooling and power cooling features, tailor-made for each thickness and steel grade.
- The use of advanced rolling strategies to optimize the number of finishing stands involved in rolling.
- The development of powerful shears to cut in endless mode also for thicker strips.

The New Markets for eHRC

- Grades for Automotive Industry**

HSLA (High Strength Low Alloy) components, which ensure lightness yet robustness for vehicle structures, have seen impressive development in recent years. With typical thicknesses between 1.0 and 2.0 mm, eHRC with strengths up to 700 MPa is the ideal material for such applications.

As a point of reference, these automotive applications constituted almost 30% of the market served by the ESP at Acciaieria Arvedi, Italy, out of a total of 42% of HSLA, with thicknesses ranging from 1.0 to over 8.0 mm.

Examples of automotive applications are illustrated in Figure 6.

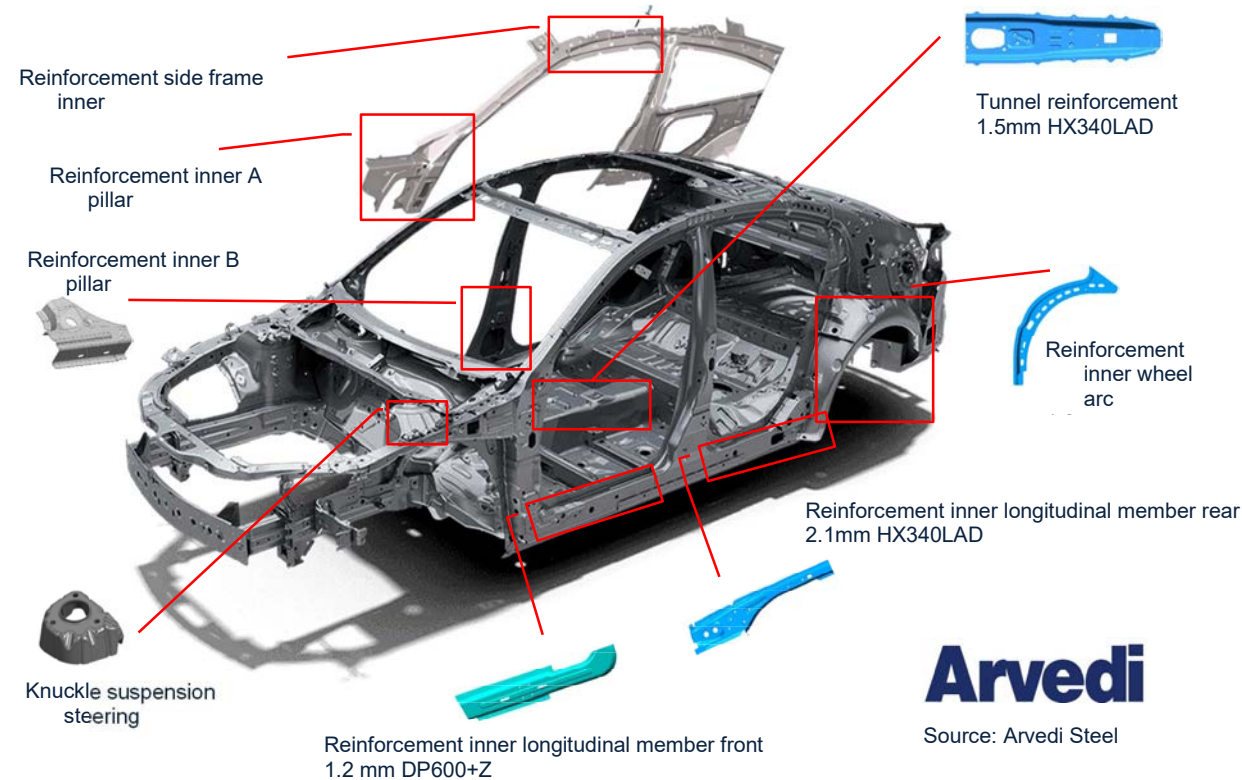


Figure 5: Automotive applications from Acciaieria Arvedi ESP coils

These materials are utilized not only for structural components (such as car bodies) but also for mechanical components (such as distribution shafts) as precision tubes.

- API pipe grades**

The 2-step rolling configuration of ESP enables perfect control over the temperature profile, aiming to achieve the desired final fine-grain structure via thermomechanical rolling and “pancaking”. This production route significantly reduces the required alloying element content (Niobium) to control the precipitation process necessary for refining the grain structure. With the latest developments, the production of API X70 grades in endless mode up to 25.4 mm is now possible.

- AHSS (Advanced High Strength Steels)**

Thanks to exceptional temperature profile control during endless operation, AHSS grades like DP (Dual Phase) or TRIP (TRANSformation Induced Plasticity) can be produced with the required multiphase structure, directly out of the ESP line. Such grades can be produced up to 12.7 mm in endless mode.

- Weather-resistant steels**

A prime example of direct application is the production of massive quantities of CORTEN grades by the five ESP lines at Rizhao, PR China. The resulting eHRC, which can be directly used for the manufacturing of containers, typically has a thickness of 1.4 mm.

Green Experience, at the Heart

What we have described here is a constant journey of progressive refinement of both equipment technology to materialize innovative processes and operational know-how developed in close collaboration with our partners over more than 15 years and after the production of more than 100 million tons of coils on ESP lines in endless mode.

From its inception, the ESP concept significantly evolved, now serving markets well beyond the original commodity market, with the aim of progressively becoming a standard tool for producing all flat steel products.

We cannot conclude this article without acknowledging the growing environmental awareness over the past decade regarding the necessity to transform the steel industry into an environmentally sustainable sector.

Our customers, particularly the ones serving the most demanding automotive markets, face increasing requirements from their end customers to deliver not just high-quality steel but green steel.

In terms of carbon footprint, the ESP eHRC represents a quantum leap compared to any other available casting and rolling technology for flat products.

Given that ESP uses no fuel at all (no tunnel furnace) and is based on the full exploitation of the thermal energy already present in the cast strand, the overall energy consumption and related greenhouse gas emissions are reduced to an absolute minimum compared to any other process, both conventional and thin-slab based.

This efficiency is proven by an unbeatable value of less than 1.0 kg of CO₂ emitted per ton of eHRC (Scope 1 emissions according to the greenhouse gas protocol) measured from caster to the down coiler, and a total electrical energy consumption in the range of 120 kWh/t for 2.0 mm x 1,500 mm low carbon steel in endless mode (Scope 2 emissions according to the greenhouse gas protocol).

The absence of long tunnel furnaces makes Arvedi ESP plants advantageously within the circular economy. Following this trend, more plants are being designed to operate with an EAF (electric arc furnace) based meltshop, where higher charges of metal scrap can be utilized. However, the maximum amount of scrap is limited by the tolerable amount of residual and trace elements such as Cu, as well as Sn, Sb, Pb, P, etc., since these elements are detrimental to product quality.

In particular, copper is responsible for the formation of high-temperature cracks on the surface of the cast slab and on the final coils (hot shortness phenomena). The occurrence of such defects happens precisely in the temperature range experienced by the slab inside the tunnel furnace. While in a tunnel furnace-based plant, the slab is exposed to these conditions for 10 to 20 minutes (corresponding to the travel time between the exit of the caster to the entry of the first rolling stand), in Arvedi ESP plants, this exposure time is basically reduced to just 1 minute. This capability allows Arvedi ESP to tolerate a Cu content approximately double that tolerated by conventional plants without compromising coil quality.

Outlook

Today Arvedi ESP is the most developed thin-slab casting and rolling technology in the world. Since 2009 the design of Arvedi ESP and the benefits of endless production have become state of the art and improvement of the technology continues. For steel strip production Arvedi ESP will be a key technology for the transition to green steel and a higher

utilization degree of scrap. More than 100 million tons of green steel have been produced since 2009 on the already operating eight ESP lines.

Accepting scrap based liquid steel from EAF is essential to achieve the transition to green steel. This includes the capability to cope with higher copper content which can be achieved much easier with shortest oxidation times as given by the ultra-compact design of ESP lines.

Further important aspects for accepting thin slab casting and rolling lines are economical and operational performance. 2.5 million tons per year on a single strand have already been demonstrated in 2017 and reaching the new mass flow record of 7.1 t/min in 2020 enables an annual capacity exceeding 3 Mtpy.

Farklı PTFE Mikro Tozlarının Çeşitli Gres Tiplerinin Tribolojik ve Reolojik Özellikleri Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi

Investigation of Effects of Different PTFE Micro Powders on Tribological and Rheological Properties of Different Types of Greases

Sevda ATAR¹, Samed ERGENEKON^{1,2}, Semih KOÇ¹, Kerim Arda DİKİCİ¹

¹Petrol Ofisi, ²Ankara Üniversitesi

Türkiye

Anahtar Kelimeler: Gres, PTFE, Teflon

Abstract

In this study, two polytetrafluoroethylene (PTFE) samples with varying particle sizes and distinct characteristics were incorporated into lithium and calcium soap-based greases at different concentrations. The primary objective was to investigate the effects of PTFE particles on critical performance parameters of these greases, including rheological properties, dropping point, penetration, four-ball wear scar diameter, and extreme pressure capabilities. Experimental results reveal how the particle size and concentration of PTFE influence these parameters across the two grease matrices. This work provides insight into the potential of PTFE as an additive to enhance the functional attributes of lubricating greases, especially in high-load applications. The findings contribute valuable data for future lubricant formulations aimed at improving durability and operational efficiency under diverse mechanical stresses.

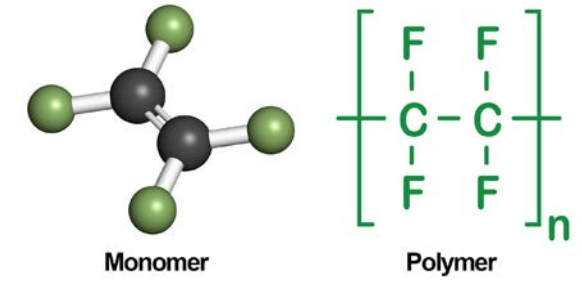
Özet

Bu çalışmada, farklı partikül boyutlarına ve belirgin özelliklere sahip iki politetrafluoroetilen (PTFE) örneği, lityum ve kalsiyum sabun bazlı greslere farklı konsantrasyonlarda eklenmiştir. Temel amaç, PTFE partiküllerinin bu greslerin kritik performans parametreleri üzerindeki etkilerini araştırmaktır. Bu kapsamda, reolojik özellikler, damlama noktası, penetrasyon, dört bilyalı aşınma izi çapı ve aşırı basınç dayanımı incelenmiştir. Deneysel sonuçlar, PTFE'nin partikül boyutu ve konsantrasyonunun, her iki gres matrisinde bu parametreleri nasıl etkilediğini ortaya koymaktadır. Bu çalışma, PTFE'nin gres katkı maddesi olarak kullanım potansiyeline dair önemli bulgular sunarak özellikle yüksek yük altında çalışan sistemler için gres formülasyonlarının geliştirilmesine yönelik değerli veriler sağlamaktadır.

1. Giriş

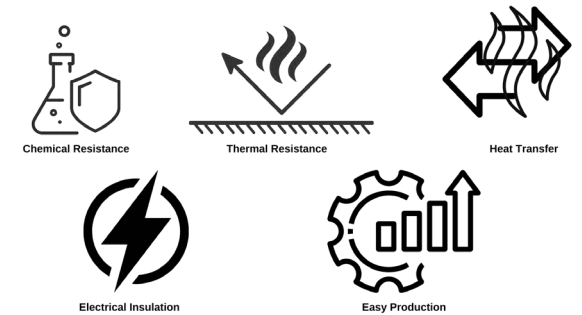
Yağlayıcı gresler, makine ve ekipmanların uzun ömürlü ve verimli çalışmasını sağlamak için kritik öneme sahip olup, tribolojik ve reolojik özellikleriyle çeşitli endüstriyel uygulamalarda kullanılmaktadır. Greslerin performansı, baz yağ ve sabun yapısının yanı sıra içerdikleri katı katkı maddeleriyle de doğrudan ilişkilidir. Politetrafluoroetilen

(PTFE) mikropartikülleri, düşük sürtünme katsayısı, yüksek kimyasal inertlik ve üstün termal kararlılık özellikleri nedeniyle yağlayıcı greslerde sıkça tercih edilen katı yağlayıcı katkıları arasındadır.



Şekil 1. PTFE'nin yapısını gösteren şekil

Bu çalışmada, farklı PTFE mikropartiküllerinin kalsiyum ve lityum sabunlu gresler üzerindeki tribolojik ve reolojik etkileri araştırılmıştır. PTFE ilavesinin greslerin penetrasyon (ASTM D217), aşınma ve yük taşıma kapasitesi (ASTM D2266 ve D2596), su dayanımı (ASTM D4049 ve D1264) ve damlama noktası (ASTM D566) gibi önemli performans parametreleri üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir.



Şekil 2. PTFE'nin potansiyel etkilerini gösteren şekil

Çalışmanın amacı, PTFE katkısının gres formülasyonlarında sağladığı avantajları belirlemek ve farklı PTFE mikropartiküllerinin gres performansına olan katkılarını

karşılaştırmaktır. Elde edilen veriler, PTFE katkılı greslerin endüstriyel uygulamalar için nasıl optimize edilebileceğine dair önemli bilgiler sunmaktadır.

2. DeneySEL Çalışmalar

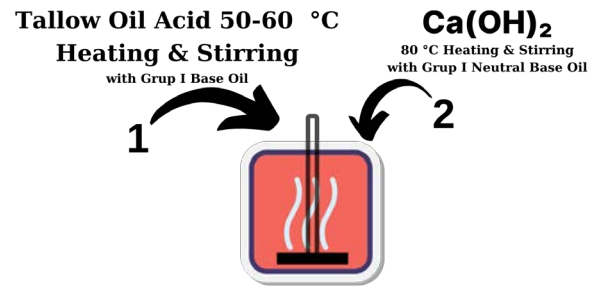
2.1 Malzemeler

Bu çalışmada, farklı PTFE mikropartiküllerinin yağlayıcı gresler üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla kalsiyum sabunlu ve lityum sabunlu gresler kullanılmıştır. PTFE katkı maddeleri, farklı parçacık boyutları ve morfolojilere sahip olacak şekilde seçilmiş ve gres formülasyonlarına belirli oranlarda eklenmiştir. Kullanılan baz greslerin temel reolojik ve tribolojik özellikleri referans numuneler olarak belirlenmiş ve PTFE katkılı numunelerle karşılaştırılmıştır.

2.2 Greslerin Hazırlanışı

2.2.1 Kalsiyum Sabunlu Greslerin Hazırlanışı

Kalsiyum sabunlu greslerin hazırlanışı, baz yağ içerisinde uygun sabunlaştırma reaksiyonunun gerçekleştirilmesiyle başlamaktadır. İlk aşamada, belirlenen baz yağ kontrollü bir şekilde ısıtılarak reaksiyon için uygun viskoziteye ulaşması sağlanmıştır. Daha sonra, kalsiyum hidroksit ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ve uygun yağ asitleri belirlenen oranlarda baz yağ içerisine eklenmiş ve karışım belirli bir sıcaklık aralığında (genellikle 90-110°C) karıştırılmıştır. Bu süreçte sabun oluşumunun tamamlanması için pH ve viskozite kontrolleri gerçekleştirilmiştir. Sabun fazının oluşumunun ardından, gresin kıvamının ve stabilitesinin artırılması amacıyla belirlenen PTFE mikropartikülleri belirli oranlarda formülasyona eklenmiştir. PTFE'nin gres matrisi içerisinde homojen bir şekilde dağılmasını sağlamak amacıyla karışım, kontrollü bir sıcaklıkta ve belirli bir süre boyunca karıştırılmıştır. Elde edilen gres numuneleri, nihai testlerden önce stabilizasyon için dinlendirilmiş ve karakterizasyon çalışmalarına hazır hale getirilmiştir.

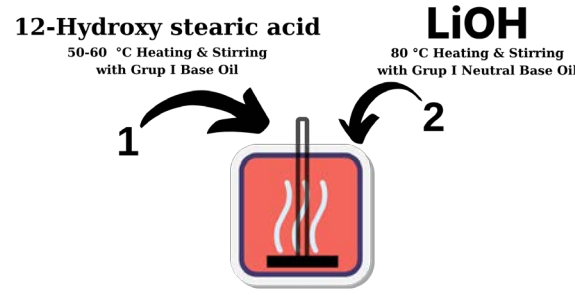


Şekil 3. Kalsiyum Sabunlu Greslerin Hazırlanışını Gösteren Şekil

2.2.2 Lityum Sabunlu Greslerin Hazırlanışı

Lityum sabunlu greslerin hazırlanışı, baz yağ içerisinde lityum sabununun sentezlenmesi ve homojen bir yapı

oluşturulmasıyla gerçekleştirilmiştir. Öncelikle, seçilen baz yağ kontrollü bir şekilde ısıtılarak reaksiyon için uygun sıcaklığa getirilmiştir. Daha sonra, lityum hidroksit (LiOHLiOHLiOH) ve uygun yağ asitleri belirlenen oranlarda baz yağ içerisine eklenmiş ve sabunlaştırma reaksiyonu başlatılmıştır. Reaksiyon, tipik olarak 180-200°C sıcaklık aralığında sürdürülmüş ve bu aşamada viskozite, kıvam ve kimyasal dönüşüm açısından gerekli kontroller yapılmıştır. Sabun fazının tamamen oluşmasının ardından, gresin reolojik ve tribolojik özelliklerini iyileştirmek amacıyla belirlenen PTFE mikropartikülleri formülasyona ilave edilmiştir. PTFE'nin gres matrisi içerisinde homojen olarak dağılmasını sağlamak için karışım belirli bir süre boyunca kontrollü sıcaklıkta karıştırılmış ve uygun kıvam elde edilene kadar işlem sürdürülmüştür. Son olarak, hazırlanan gres numuneleri stabilizasyon için dinlendirilmiş ve karakterizasyon çalışmalarına hazır hale getirilmiştir.



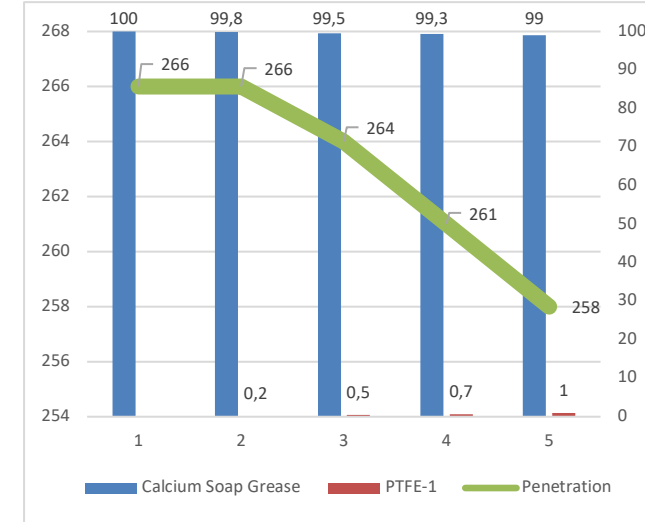
Şekil 4. Lityum Sabunlu Greslerin Hazırlanışını Gösteren Şekil

2.3 Karakterizasyon Yöntemi

2.3.1 Penetrasyon (ASTM D217)

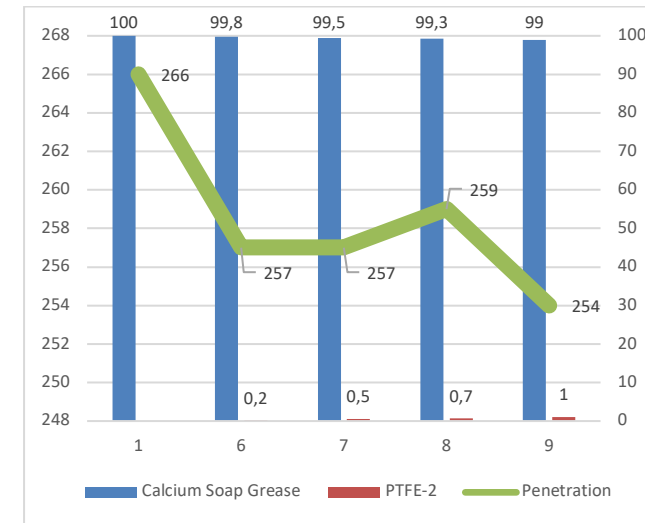
2.3.1.1 Kalsiyum Sabunlu Gresler

PTFE katkı maddelerinin gres formülasyonuna eklenmesiyle birlikte tüm numunelerde penetrasyon değerlerinde belirgin bir azalma gözlemlenmiştir. Bu durum, PTFE'nin gresin yapısal bütünlüğünü güçlendirerek kıvamlaştırıcı etkisini artırdığını göstermektedir. Ancak, grafikte görüldüğü üzere her iki PTFE katkısının gres içindeki kıvamlaştırma oranları birbirinden farklıdır. Bu farklılığın, PTFE partiküllerinin farklı boyutlarda olması ve bu partiküllerin gres matrisinde oluşturduğu mikro yapısal etkilerden kaynaklandığı düşünülmektedir. PTFE 1'in kalsiyum sabunlu greslere eklenmesiyle penetrasyon değişimini gösteren grafik şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. PTFE 1'in kalsiyum sabulu gresle eklenmesiyle penetrasyonun değişimini gösteren grafik

Daha büyük partiküllerin, gresin akışkan fazı içerisinde farklı dağılıma mekanizmalarına sahip olduğu ve bu nedenle kıvamlaştırıcı etkilerinin değişkenlik gösterdiği değerlendirilmektedir. Buna karşılık, daha küçük PTFE partikülleri, daha homojen bir dağılım sağlayarak gresin reolojik özelliklerini farklı bir mekanizmayla etkileyebilir. Sonuçlar, PTFE katkılarının sadece yağlayıcı özellikler açısından değil, aynı zamanda gresin mekanik stabilitesi üzerinde de önemli bir rol oynadığını ortaya koymaktadır. PTFE 2'in kalsiyum sabunlu greslere eklenmesiyle penetrasyon değişimini gösteren grafik şekil 6'te verilmiştir.

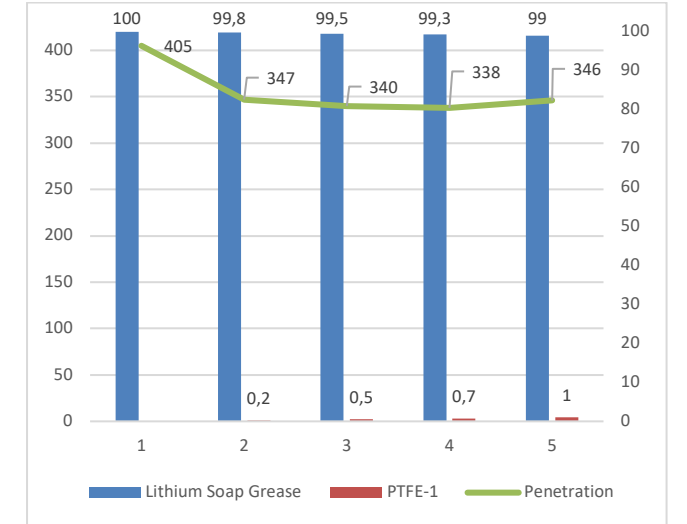


Şekil 6. PTFE 2'in kalsiyum sabulu gresle eklenmesiyle penetrasyonun değişimini gösteren grafik

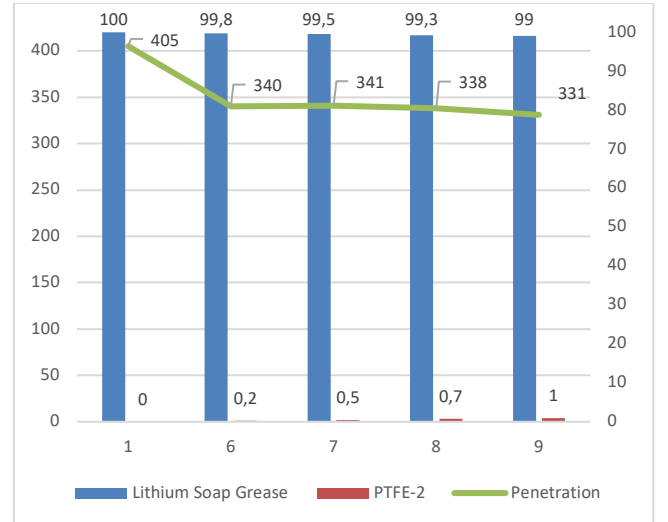
2.3.1.2 Lityum Sabunlu Gresler

PTFE tozlarının lityum sabunlu gresa ilavesiyle birlikte penetrasyon miktarında azalma gözlemlenmiş ve gresin katılma eğiliminde olduğu belirlenmiştir. Bu durum, PTFE'nin gresin yapısal bütünlüğünü güçlendirdiğini ve kıvamlaştırıcı bir etki yarattığını göstermektedir. PTFE 1 ve 2'nin lityum sabunlu greslere eklenmesiyle penetrasyon

değişimini gösteren grafikler şekil 7 ve şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 7. PTFE 1'in lityum sabulu gresle eklenmesiyle penetrasyonun değişimini gösteren grafik

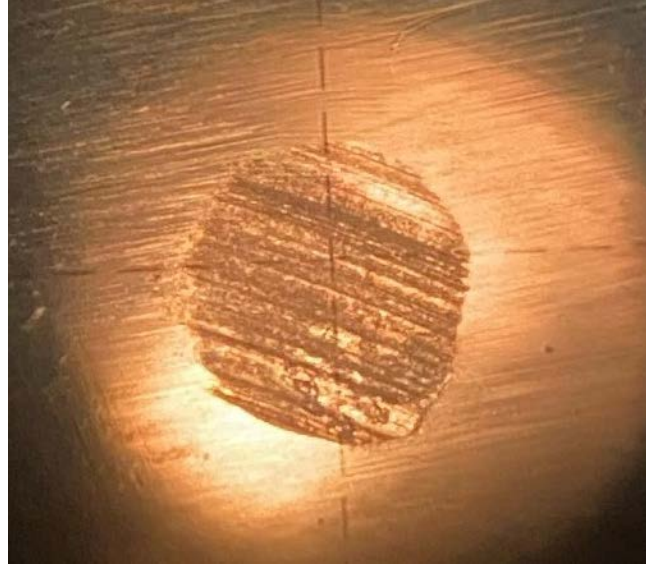


Şekil 8. PTFE 2'in lityum sabulu gresle eklenmesiyle penetrasyonun değişimini gösteren grafik

2.3.2 Dört Bilya Aşınma Testi (ASTM D2266)

2.3.2.1 Kalsiyum Sabunlu Gres

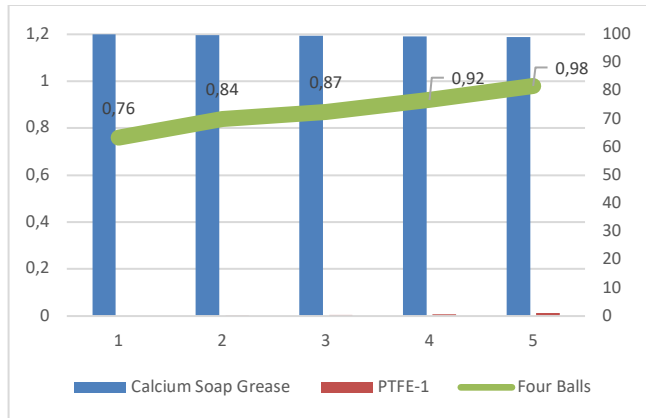
Bu testte, dört yeni bilya test cihazına yerleştirilmiş ve hazırlanan gresler bilyalar üzerine yüklenmiştir. Sabit bir yük altında bir saat boyunca çalıştırılan bilyalar üzerinde oluşan aşınma izleri ölçülmüştür. Şekil 10'da, PTFE oranı arttıkça bilya üzerindeki aşınma izinin de arttığı gözlemlenmiştir. Bu durum, ilgili PTFE türünün grese ilave edilmesinin aşınma izini artırarak olumsuz bir etki yaratacağını göstermektedir. Benzer bir eğilim Şekil 11'de de görülmektedir. Ayrıca, kauçuklaştırılmış gresin fiber yapısının PTFE'nin yapısal yük taşıma davranışını olumsuz etkilediği söylenebilir. Şekil 9'da yara izleri için mikroskop görüntüsü verilmiştir.



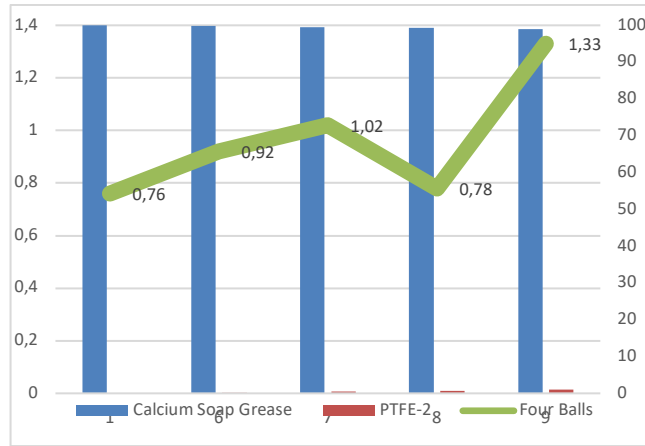
Şekil 9. PTFE 1'in kalsiyum sabunlu greslere eklenmesiyle yara izlerinin bir mikroskop görüntüsü



Şekil 10. PTFE 2'in kalsiyum sabunlu greslere eklenmesiyle yara izlerinin bir mikroskop görüntüsü



Şekil 11. PTFE 1'in kalsiyum sabunlu greslere eklenmesiyle yara izlerinin değişimini gösteren grafik

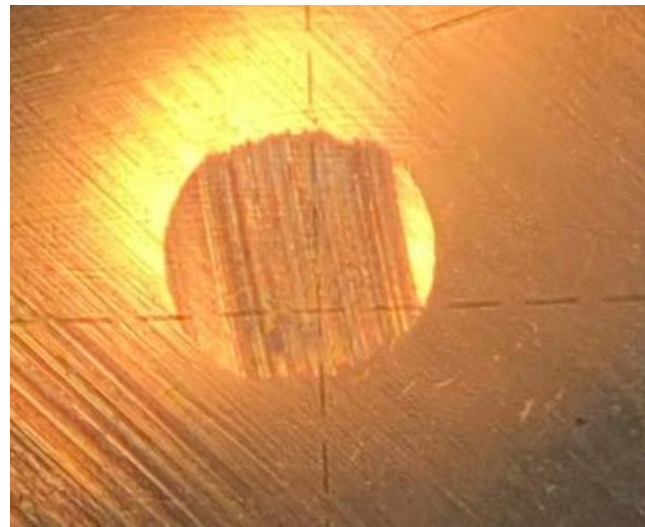


Şekil 12. PTFE 2'in kalsiyum sabunlu greslere eklenmesiyle yara izlerini gösteren grafik

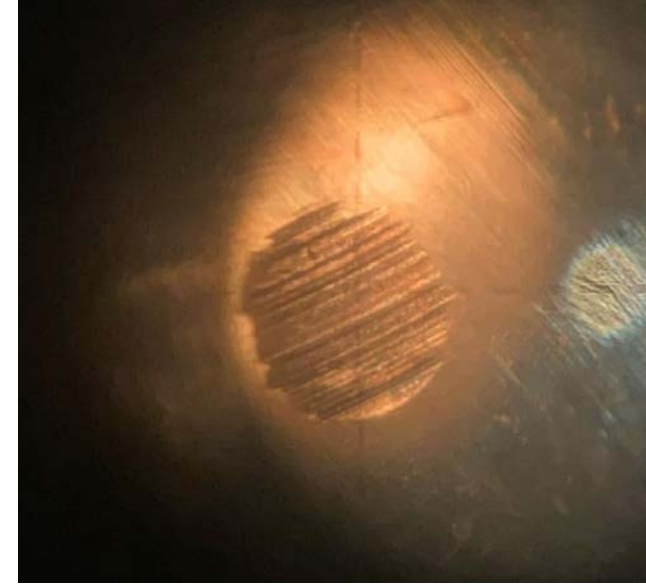
2.3.2.2 Lityum Sabunlu Gres

Lityum sabunlu gres için, kalsiyum sabunlu gresden farklı olarak dört bilya testlerinde PTFE ilavesiyle olumlu etkiler gözlemlenmiştir. Şekil 14'te PTFE-1'in ilavesiyle elde edilen sonuçlar gösterilmektedir. Bu grafikte, %0.2 ve %1 oranında PTFE-1 ilavesi arasında belirgin bir performans farkı olmadığı görülmektedir. Bu durum, PTFE-1'in miktarından bağımsız olarak lityum sabunlu gres ile uyumlu olduğunu göstermektedir.

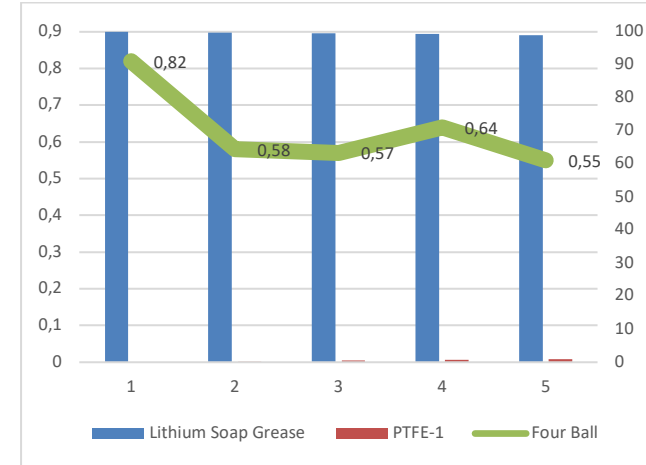
Ancak, PTFE-2 için durum farklıdır. Şekil 15'te gösterildiği üzere, PTFE-2 miktarının artması belirli bir noktaya kadar performans artışı sağlamış, ancak %0.7 ile %1 arasında önemli bir fark gözlemlenmemiştir. Bu bulgular, lityum sabunlu gresin belirli bir PTFE türü ve konsantrasyonu ile optimize edilebileceğini göstermektedir.



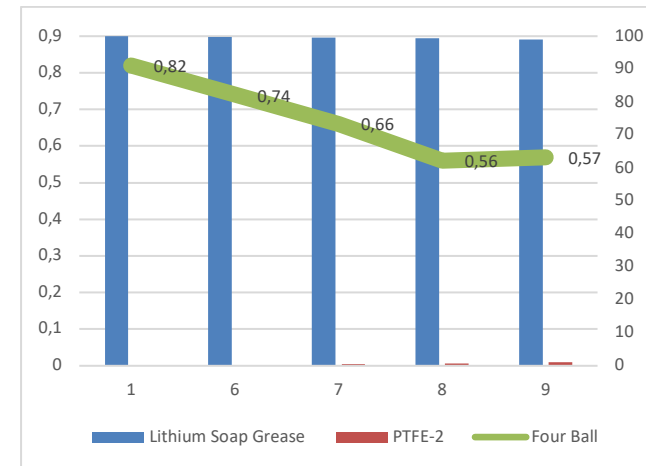
Şekil 13. PTFE 1'in lityum sabunlu greslere eklenmesiyle yara izlerinin bir mikroskop görüntüsü



Şekil 13. PTFE 2'in lityum sabunlu greslere eklenmesiyle yara izlerinin bir mikroskop görüntüsü



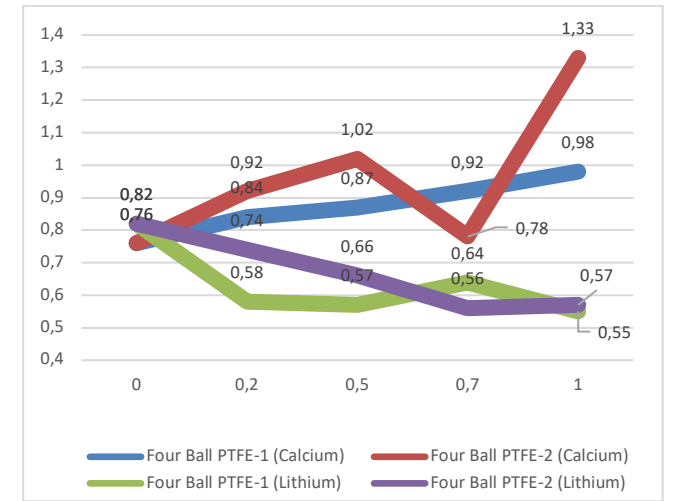
Şekil 14. PTFE 1'in lityum sabunlu greslere eklenmesiyle yara izlerinin değişimini gösteren grafik



Şekil 15. PTFE 2'in lityum sabunlu greslere eklenmesiyle yara izlerinin değişimini gösteren grafik

3. Sonuç

Dört bilya testi sonuçlarına göre, PTFE-1 ve PTFE-2'nin kalsiyum sabunlu greslerde olumsuz etkiler yarattığı, ancak lityum sabunlu greslerde aşınma izlerini azaltarak olumlu bir katkı sağladığı tespit edilmiştir. Bu farklılığın, kalsiyum sabunlu ve lityum sabunlu gresler arasındaki fiber boyutlarındaki farklılıklardan kaynaklandığı düşünülmektedir. Çalışmanın devamında, bu farklılıkların daha ayrıntılı olarak ortaya konulabilmesi için fiber yapılarının taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmesi planlanmaktadır. Hem kalsiyum sabunlu gresler için hem de lityum sabunlu gresler için aşınma izlerini toplu halde gösteren grafik Şekil 16'da verilmiştir.



Şekil 16. PTFE 1 ve PTFE 2'nin kalsiyum sabunlu ve lityum sabunlu greslere eklenmesiyle aşınma izi değişimlerini gösteren grafik

Teşekkür

Bu çalışmada kullanılan PTFE katkılarının temininde sağladıkları destekten dolayı **SHAMROCK Teknoloji**'ye ve değerli katkıları için Erşan CAMGÖZ'e teşekkürlerimizi sunarız. Kendilerinin bu araştırmaya sağladıkları katkılar, deneysel süreçlerin daha verimli yürütülmesine olanak sağlamış ve elde edilen bulguların bilimsel değerini artırmıştır.

Referanslar

ASTM D217-19. *Standard Test Methods for Cone Penetration of Lubricating Grease*. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2019. DOI: 10.1520/D0217-19

ASTM D2266-01(2015). *Standard Test Method for Wear Preventive Characteristics of Lubricating Grease (Four-Ball Method)*. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2015. DOI: 10.1520/D2266-01R15

Borçelik Dijital Bakım Platformu ile Bakım Süreçlerinin Verimliliğinin Arttırılması

Increasing the Efficiency of Maintenance Processes with Borçelik Digital Maintenance Platform

Merve ÖPER^{1,2}, Yasin AKBAŞ^{1,3}, Saygın KAÇAR¹

¹Borçelik Çelik Sanayii, ²Kadir Has Üniversitesi, ³Bursa Teknik Üniversitesi

Türkiye

Anahtar Kelimeler: Kestirimci Bakım, Nesnelerin İnterneti, Makine Öğrenmesi, Dijitalleşme

Abstract

This study at Borçelik focuses on improving fault prediction and maintenance processes in continuous production facilities by setting up a sensor system to monitor critical equipment and predict failures in advance. Sensor data is analyzed using machine learning and artificial intelligence methods to enable early detection of equipment failures and proactive interventions. While the existing planned maintenance strategy leads to challenges such as high costs and reduced production efficiency, data-driven maintenance planning has reduced unplanned downtimes, resulting in increased production capacity and cost savings. As part of the study, 268 hours of potential downtime were identified in advance, necessary actions were taken within the framework of planned maintenance, and maintenance costs were reduced by 5%. Currently, 163 critical pieces of equipment and 2,328 measurement points across 7 production lines are continuously monitored. This condition monitoring system enhances flexibility in maintenance processes, enabling faster and more effective responses to equipment failures.

Özet

Borçelik sürekli üretim tesislerinde arıza tahmini ve bakım süreçlerini iyileştirmeyi amaçlayan bu çalışma kapsamında, kritik ekipmanların durumunu belirlemek ve arızaları önceden tahmin etmek amacıyla sensör altyapısı geliştirilmiştir. Sensör verileri, makine öğrenimi ve yapay zeka yöntemleriyle analiz edilerek ekipman arızalarının erken tespiti ve proaktif müdahale sağlanması hedeflenmiştir. Mevcut planlı bakım stratejisi, yüksek maliyetler ve düşük üretim verimliliği gibi sorunlara yol açarken, veriye dayalı bakım planlaması ile plansız duruşlar azaltılarak üretim kapasitesinde artış ve maliyetlerde tasarruf sağlanmıştır. Çalışma kapsamında, 268 saatlik potansiyel duruş önceden tespit edilmiş, gerekli aksiyonlar planlı bakım çerçevesinde alınmış ve %5 oranında bakım maliyeti azaltılmıştır. Toplamda 7 üretim hattında 163 kritik ekipman ve 2328 ölçüm noktası sürekli izlenmektedir. Bu durum izleme sistemi, bakım süreçlerinde esneklik sağlayarak arızalara daha hızlı ve etkili müdahale imkanı sunmaktadır.

1. Giriş

Endüstriyel ekipmanların güvenilirliğini ve verimliliğini sağlamak için etkili bakım stratejileri kritik öneme sahiptir. Geleneksel olarak, önleyici bakım yaklaşımı, belirli aralıklarla yapılan kontroller ve bakım işlemleriyle arızaların önüne geçmeyi amaçlamaktadır. Ancak bu yöntem, gereğinden fazla bakım yapılmasına, yüksek maliyetlere ve üretim verimliliğinin düşmesine yol açabilir. Buna karşılık, kestirimci bakı ekipmanın sürekli izlenmesi ve arıza belirtilerinin erken tespit edilmesi sayesinde yalnızca gerektiğinde müdahale edilmesini sağlayarak daha verimli bir çözüm sunmaktadır (Ciocoiu et al., 2017).

Üretimde beklenmedik duruşlar ciddi mali kayıplara neden olabilir. Bu nedenle kestirimci bakım sistemleri, arızaları önceden tahmin ederek müdahale sürecini optimize etmeyi hedeflemektedir. Endüstri 4.0 teknolojileri, özellikle IoT sensörleri, gerçek zamanlı veri analizi ve belirli noktalarda kullanılan makine öğrenimi teknikleri, bakım süreçlerini daha akıllı hale getirmiştir (Zonta et al., 2020). Bu teknolojiler sayesinde makineler sürekli olarak izlenebilirler. Bu noktada, mekanik titreşim analizi, makine sağlığını izlemek için en güvenilir yöntemlerden biridir. Dönen ve salınım yapan bileşenlerde meydana gelen titreşimler, genellikle dengesizlik, hizalama hataları veya rulman aşınması gibi sorunların erken habercisidir. Gelişmiş sinyal işleme teknikleri ve veri analitiği kullanılarak, arızalar erken tespit edilip önleyici aksiyonlar alınabilir (Popescu et al., 2022).

Borçelik'te, kritik ekipmanların bakım süreçlerini iyileştirmek amacıyla sensör tabanlı bir izleme sistemi geliştirilmiştir. Gerçek zamanlı titreşim tespiti ve kestirimci bakım stratejileri bir araya getirilerek veri odaklı bir bakım planlaması uygulanmıştır. Bu çalışma, dijital durum izleme sisteminin geliştirilme metodolojisini ve örnek olayları ele alarak, kestirimci bakım uygulamalarının üretim süreçlerine sağladığı katkıyı ortaya koymaktadır.

2. Metodoloji

Bu çalışmada, kritik ekipmanların kestirimci bakım süreçlerini iyileştirmek amacıyla geliştirilen dijital durum

izleme sistemi incelenmiştir. Metodoloji kapsamında sensör seçimi, veri iletimi, eşik değer belirleme ve alarm yönetimi gibi temel bileşenler ayrıntılı olarak ele alınmıştır.

2.1. Sensör Seçimi

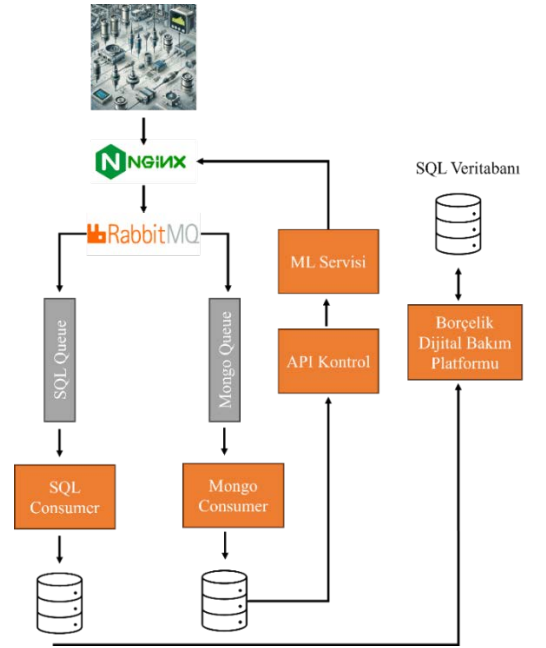
Kestirimci bakım sistemlerinde titreşim sensörleri, makinelerde meydana gelen arızaları tespit etmek için yaygın olarak kullanılmaktadır (Romanssini et al., 2023). Titreşim ölçümü için kullanılan sensörler, ölçüm prensibi ve hassasiyet seviyelerine göre üç ana gruba ayrılır:

- İvmeölçer Sensörleri: Geniş bir frekans aralığında çalışarak hem düşük hem de yüksek frekanslı titreşimleri algılar.
- Hız Sensörleri: Genellikle orta frekans aralığında titreşimleri ölçmek için kullanılır.
- Yer Değiştirme Sensörleri: Düşük frekanslı titreşimlerin izlenmesi ve hassas ölçümler için tercih edilir.

Sensör seçimi yapılırken, frekans aralığı, çalışma koşulları, ölçüm hassasiyeti ve veri iletim yöntemi gibi faktörler dikkate alınmaktadır. Endüstriyel ortamlarda kullanılan sensörlerin yüksek sıcaklık, nem ve toz gibi zorlu koşullara dayanıklı olması gerekmektedir. Bu çalışmada, titreşim tabanlı kestirimci bakım sistemi için IFM VSP003 ivmeölçer sensörleri kullanılmıştır. Piezoelektrik prensiple çalışan bu sensör, geniş bir frekans aralığında (1,5 Hz-16.000 Hz) titreşim ölçümü yapabilmektedir ve 100 mV/g hassasiyet ile düşük gürültü seviyesinde veri sağlamaktadır. Sensör, IFM VSE150 teşhis elektroniği cihazı ile kullanılarak frekans spektrumu analizi ve ekipman arıza tespisi yapılmasını sağlamaktadır. Bu analizör, titreşim verilerini zamana ve frekansa bağlı olarak değerlendirerek, belirli bileşenlerde oluşabilecek aşınma, gevşeme veya dengesizlik gibi sorunların erken tespit edilmesine olanak tanımaktadır. Böylece, anormalliklerin belirlenmesi ve bakım süreçlerinin daha verimli yönetilmesi mümkün olmaktadır.

2.2. Haberleşme Protokolleri

Proje kapsamında sensörlerden gelen verilerin hızlı, ölçeklenebilir ve verimli bir şekilde işlenmesi için SQL ve MongoDB tabanlı hibrit bir mimari tercih edilmiştir (Şekil 1). Sensörler, API aracılığıyla nginx yük dengeleyiciye veri gönderilir ve ardından RabbitMQ mesaj kuyruğu üzerinden yönlendirilir. Bu yapı, yüksek hacimli sensör verilerinin asenkron olarak işlenmesini ve sistemin performans kaybı yaşamadan genişletilebilmesini sağlar. Hibrit veri yönetimi, yapılandırılmış metadata ve esnek büyük veri saklama ihtiyacını bir arada karşılamaktadır. Ek olarak, sistemin nginx yük dengeleyici ve RabbitMQ kullanması, yüksek veri girişini ölçeklenebilir şekilde yönlendirerek anlık işleme kapasitesini artırmaktadır. MQTT aracılığıyla Borçelik Digimon ile entegrasyon, bakım süreçlerinin doğrudan operasyonel sistemlerle bağlantılı olmasını sağlayarak bakım planlamasının optimize edilmesine katkı sağlar. Bu mimari, yüksek hacimli ve farklı formatlardaki sensör verilerini verimli bir şekilde yönetmek, analiz etmek ve bakım süreçlerini güçlendirmek için seçilmiştir.



Şekil 1. İletişim Mimarisi

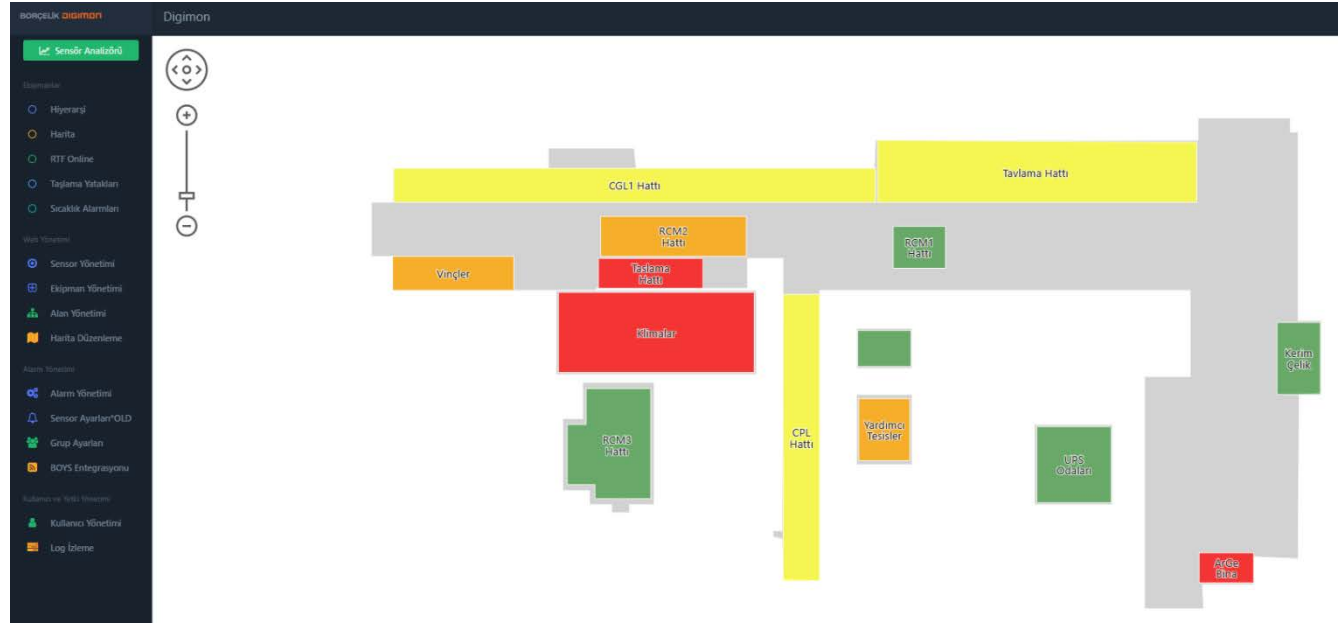
2.3. Titreşim Eşik Değerlerinin Belirlenmesi

Titreşim izleme sisteminde, ekipman sağlığını değerlendirmek ve olası arızaları erken tespit edebilmek için ISO 10816 standardına dayalı eşik değerler belirlenmektedir (ISO, 2014). Belirlenen sınırlar, sistemde dört seviyeli bir renk kodu ile yönetilmekte, ancak bu eşikler ekipman türüne ve çalışma koşullarına bağlı olarak değiştirilebilmektedir.

- Yeşil (Normal Çalışma): Titreşim seviyeleri güvenli aralıkta bulunmakta ve ekipman normal şekilde çalışmaktadır.
- Sarı (Ön Uyarı): Titreşim seviyeleri nominal değerın üzerine çıkmaya başlamakta, bu seviyede operatörler bilgilendirilerek ekipman daha yakından izlenmektedir.
- Turuncu (Kritik Uyarı): Titreşim değerleri belirlenen sınırları aşarak ekipman için risk oluşturmakta, bu aşamada bakım planlaması yapılmalı ve gerekli önlemler alınmaktadır.
- Kırmızı (Acil Durum): Kritik eşik seviyeleri aşılmış olup, ekipmanın zarar görme veya arızalanma riski bulunmaktadır.

Bu alarm mekanizması, ekipmana bağlı olarak değiştirilebilmekte ve çalışma koşullarına göre esnek şekilde yapılandırılmaktadır. Alarm sistemi, anlık olaylara göre eş zamanlı uyarılar oluşturabilmekte veya günlük olarak raporlanabilmektedir. Kullanıcılar, gerçek zamanlı bildirimler almayı veya alarmları gün sonunda bir rapor şeklinde görüntülemeyi tercih edebilmektedir. Ayrıca, günlük, haftalık veya aylık raporlar üretilerek bakım ekiplerine uzun vadeli analiz imkânı sunulmaktadır. Bu sayede, sadece anlık arızalara değil, uzun vadeli eğilimlere göre de kestirimci bakım stratejileri oluşturulabilmektedir.

2.4. Kullanıcı Arayüzleri

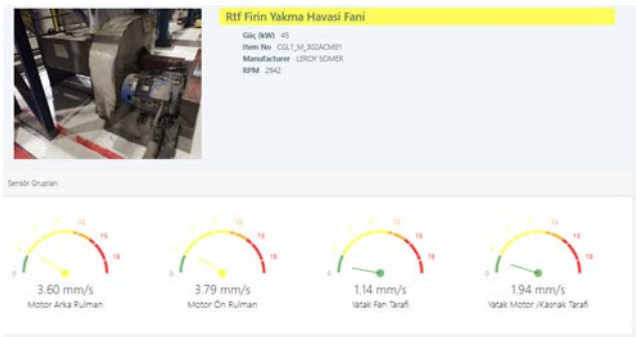


Şekil 1. Borçelik Digimon Platformu Anasayfası

Platform, kullanıcı dostu bir arayüzle tasarlanmış olup, kod yazmadan geliştirme ve tasarım yapma imkânı sunmaktadır. Kullanıcılar, no-code yaklaşımı sayesinde özelleştirilmiş görünüm oluşturabilir, ekipman durumlarını izleyebilir ve bakım süreçlerini yönetebilirler.

Platform açıldığında, Borçelik Digimon sisteminde bulunan hatların genel durumu ana sayfa üzerinde görüntülenmektedir. Kullanıcılar, sayfa üzerinde yakınlaştırma ile hatların içindeki ekipmanlara erişebilir ve detaylı analizler gerçekleştirebilirler.

Şu an itibarıyla platform üzerinden 163 kritik ekipman izlenmekte olup, her bir ekipmanda 4 farklı titreşim sensörü bulunmaktadır.



Şekil 2. Örnek Ekipman Ekranı

Kullanıcılar, sensörlere sağ tıklayarak ilgili ekipmanın veri geçmişine erişebilmektedir. Grafikler, ISO 10816 standardına uygun olarak renklendirilmiş olup, ekipman titreşim seviyelerinin görsel olarak kolayca analiz edilmesini sağlamaktadır.

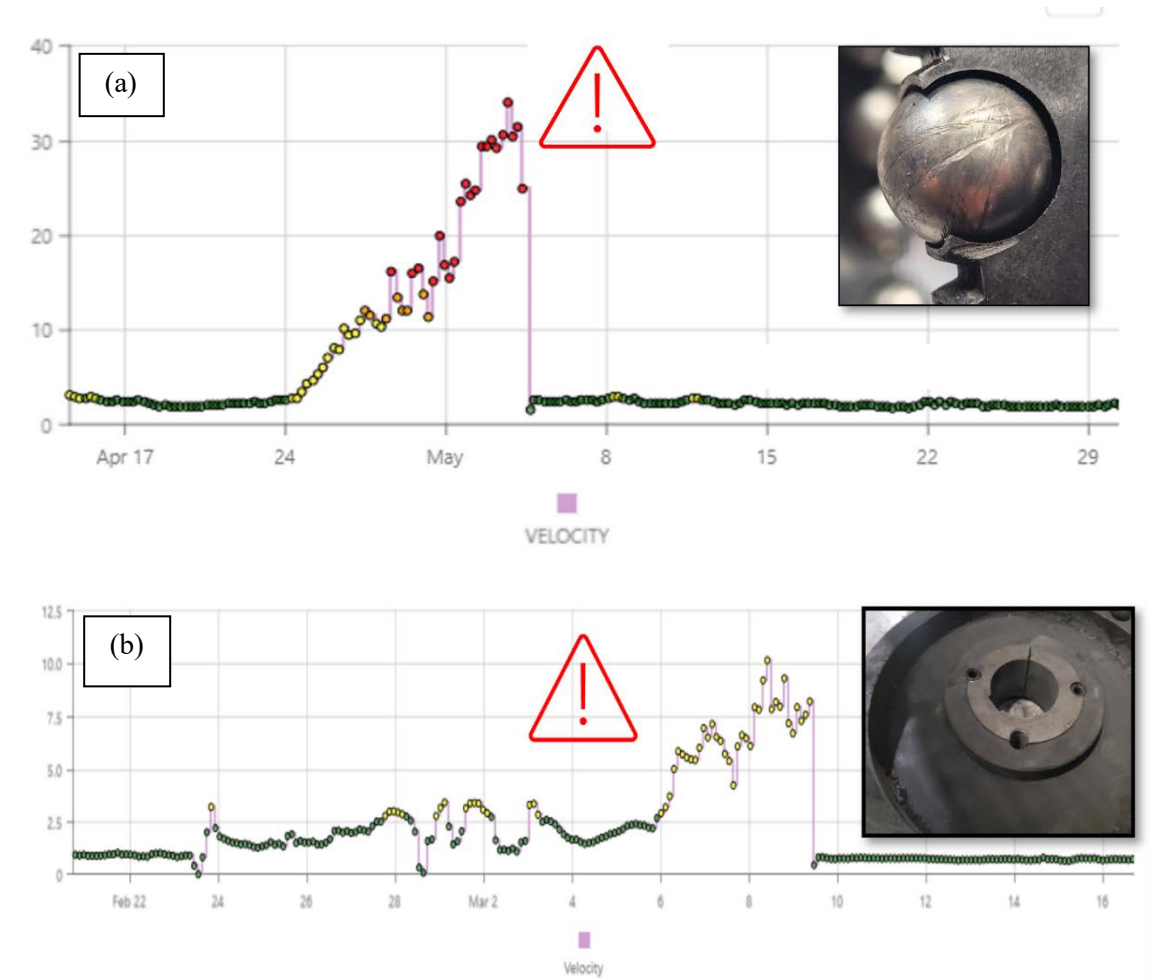


Şekil 3. Örnek Veri Geçmişi Grafığı

3. Örnek Olaylar

Titreşim izleme sistemleri, mekanik arızaları erken tespit ederek ekipmanların sağlıklı çalışmasını sağlamak için kritik bir rol oynamaktadır. Borçelik Digimon desteğiyle 2023-2024 yıllarında toplam 268 saatlik potansiyel duruş engellenmiştir. Aşağıda örnek iki olay verilmiştir.

Şekil 5 (a)'da verilen grafikte titreşim seviyelerinde belirgin bir artış gözlemlenmiş ve kritik eşik değerleri aşılmıştır. Yapılan inceleme sonucunda, rulman yüzeyinde aşınma ve deformasyon tespit edilmiştir. Rulman yuvarlanma elemanlarındaki çizikler ve yüzey hasarları, yük altında rulman performansını düşürerek ilerleyen aşamalarda ciddi mekanik hasarlara yol açabilecek bir arızayı işaret etmektedir. Bu veriler ışığında, rulman planlı bakım sırasında değiştirilmiş ve ekipmanın normal çalışma koşullarına dönmesi sağlanmıştır. Titreşim seviyelerinin değişimi, arıza sürecinin izlenmesini ve bakım kararlarının zamanında alınmasını sağlamıştır.



Şekil 4. (a) Rulman Arızası Örneği (b) Kasnak Aşınması

Şekil 5 (b)'de titreşim seviyelerinin düzensiz bir şekilde arttığı ve kritik eşik değeri ulaştığı gözlemlenmiştir. Yapılan fiziksel muayenede, kasnak cıvatalarından birinin gevşediği, bunun sonucunda kasnağın mil üzerindeki konumunun bozulduğu ve kama düşmesi nedeniyle kasnağın boşta dönmeye başladığı tespit edilmiştir. Bu tür bir gevşeme, güç iletiminde kayıplara yol açarak ekipmanın verimini düşürebilir ve uzun vadede mil veya kasnak üzerinde daha ciddi aşınmalara sebep olabilir. Haftalık bakım sırasında yapılan kontrollerde, aşınan kasnak göbeği değiştirilmiş ve sistemin sağlıklı çalışması sağlanmıştır.

4. Sonuç

Bu çalışma, Borçelik üretim tesislerinde kestirimci bakım yaklaşımıyla arıza tahmini ve bakım süreçlerinin iyileştirilmesini amaçlayan dijital durum izleme sistemini ele almaktadır. ISO 10816 standardına uygun olarak belirlenen titreşim eşik değerleri ve sensör tabanlı veri analizleri sayesinde, kritik ekipmanlarda arızalar erken tespit edilerek plansız duruşlar önlenmiş ve bakım maliyetlerinde %5 tasarruf sağlanmıştır. Örnek olay incelemeleri, rulman aşınması ve kasnak göbeği gevşemesi gibi arızaların sistem tarafından başarılı şekilde tespit edildiğini ve zamanında müdahale edilerek üretim

sürekliliğinin sağlandığını göstermektedir. Kullanıcı dostu arayüzüyle, 163 kritik ekipman ve 2328 ölçüm noktasını kapsayan sistem, bakım ekiplerinin karar alma süreçlerini hızlandırarak kestirimci bakım uygulamalarının etkinliğini artırmaktadır. Geliştirilen platform, üretim süreçlerinde operasyonel verimliliği yükseltmekte ve kestirimci bakımın endüstriyel uygulamalardaki önemini ortaya koymaktadır.

Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK (Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu) tarafından 119C164 ve 119C074 numaralı projeler kapsamında desteklenmektedir.

Referanslar

- [1] Ciocoiu, L., Siemieniuch, C. E., & Hubbard, E.-M. (2017). From preventative to predictive maintenance: The organisational challenge. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit, 231(10), 1174-1185.
- [2] ISO. (2014). Mechanical vibration. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:10816:-8:ed-1:v1:en>

[3] Popescu, T. D., Aiordachioaie, D., & Culea-Florescu, A. (2022). Basic tools for vibration analysis with applications to predictive maintenance of rotating machines: an overview. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 1-17.

[4] Romanssini, M., de Aguirre, P. C. C., Compassi-Severo, L., & Girardi, A. G. (2023). A review on vibration monitoring techniques for predictive maintenance of rotating machinery. Eng, 4(3), 1797-1817.

[5] Zonta, T., Da Costa, C. A., da Rosa Righi, R., de Lima, M. J., da Trindade, E. S., & Li, G. P. (2020). Predictive maintenance in the Industry 4.0: A systematic literature review. Computers & Industrial Engineering, 150, 106889.

Bakım Sürecinde Arıza Kök Neden Analiz Sistematiği

Failure Root Cause Analysis Systematics in Maintenance Process

Hasan BULUT, Sururi KARAÇORLU, Gökçe ARSLAN

İskenderun Demir ve Çelik

Türkiye

Abstract

For the sustainable operation of our production facilities, it is very important that the machines and systems operate without malfunctioning. For this purpose, every enterprise foresees and fulfils the necessary maintenance. However, unforeseen failures may occur from time to time. It is important to carry out root cause analyses and to use these failures as a learning opportunity in order to prevent recurrence of the failures that occur.

İsdemir is aware of the importance of failure analyses and continues on its way. For this purpose, the necessary systematics have been established and implemented effectively.

In this study; how the failures that occur are classified, the established systematic and reporting will be shared.

Keywords: Asset management, reliability centred maintenance, Failure root cause analysis, maintenance management, reliability, sustainability

Özet

Üretim tesislerimizin sürdürülebilir çalışabilmesi için makina ve sistemlerin arıza yapmadan çalışıyor olması çok önemli. Bu amaç için her işletme gerekli bakımları öngörüp yerine getirmektedir. Bununla birlikte zaman zaman öngörülemeyen arızalar da ortaya çıkabilmektedir. Meydana gelen arızaların tekrar oluşmaması için arıza kök neden analizleri yapılması ve bu arızaların bir öğrenme fırsatı olarak değerlendirilmesi önem arz etmektedir.

İsdemir, arıza analizlerinin öneminin farkında olarak yoluna devam etmektedir. Bu amaca yönelik olarak gerekli sistematikler kurulmuş ve etkin olarak uygulanmaktadır.

Bu çalışmada; meydana gelen arızaların nasıl sınıflandırıldığı, kurulan sistematik ve raporlanması paylaşılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Varlık yönetimi, güvenilirlik merkezli bakım, Arıza kök neden analizi, bakım yönetimi, güvenilirlik, sürdürülebilirlik

1. Giriş

Arıza Kök Neden Analizi (Root Cause Analysis - RCA), bir sistemde veya süreçte meydana gelen bir arızanın veya sorunun temel nedenlerini belirlemek için kullanılan bir yöntemdir. Bu analiz, yalnızca mevcut sorunun belirtilerine odaklanmak yerine, sorunun kaynağını keşfetmeye ve bu kaynağı ortadan kaldırarak aynı hataların tekrar meydana gelmesini engellemeye yönelik bir süreçtir.

Arıza Kök Neden Analizi, bir sorunun ya da arızanın yüzeydeki belirtilerinin ötesine geçerek, problemi oluşturan asıl nedeni tespit etmek amacıyla yapılan sistematik bir analiz sürecidir. Bu analiz, genellikle bir dizi soru sorarak, "neden?" sorusunun tekrarlanmasıyla yapılır. Bu şekilde, sorunların kökenine ulaşılır.

Amacı:

- Sorunun kökenini bulmak: Yüzeydeki belirtiler yerine, sorunun gerçek kaynağına inmeye çalışır.

- Tekrarlanabilir hataları önlemek: Sorunun kök nedeni ortadan kaldırılarak, aynı hatanın gelecekte tekrarlanması engellenir.
- Sürekli iyileştirme: Süreçlerin veya sistemlerin daha verimli ve hatasız hale gelmesini sağlar.
- Kaynakları daha verimli kullanmak: Sorunun asıl nedenine odaklanarak, gereksiz iyileştirme ve kaynak harcamalarının önüne geçilir.

İsdemir’de arıza kök neden analizi adımları aşağıdaki şekildedir:

Sorun Tanımlaması: İlk olarak, analiz edilmesi gereken arıza açıkça tanımlanır.

Ana Nedenlerin Kategorize Edilmesi: Problemi etkileyen ana kategoriler belirlenir. (Makine, insan, malzeme, metot)

Alt Nedenlerin Belirlenmesi: Her kategori için olası alt nedenler sıralanır. Bu yöntemde, bir problem tespit edildikten sonra, "Neden?" sorusu bir daha sorulur. Her cevap, bir önceki cevabın nedeni olarak kabul edilir. En alt neden arızanın kök nedenidir ve çözüme bu noktada odaklanılmalıdır.

Çözüm Geliştirme: Kök neden belirlendikten sonra, bu nedene yönelik çözümler geliştirilir ve uygulanır, böylece problemin tekrar etmesi engellenir.

Aşağıda örnek olarak iki alt kategoride bir elektrik motorunda arıza kök neden analizi incelenmektedir.

Problem: Motor çalışmıyor.

Metot:

- Neden 1: Motorun güç kaynağında voltaj yok.
 Neden 2: Elektrik panosunda sigorta atmış.
 Neden 3: Sigorta aşırı yük nedeniyle atmış.
 Neden 4: Motorun çalıştırılması sırasında aşırı yüklenme olmuş.
 Neden 5: Motorun tork değerleri yanlış ayarlanmış.

İnsan:

- Neden 1 (Metot): Motorun tork ayarları yanlış yapılmış.
 Neden 2: Tork ayarları için doğru prosedür takip edilmemiş.
 Neden 3: İşlem için standart bir kontrol listesi veya prosedür yok.
 Neden 4: Motor başlatma prosedürünün güncellenmemiş olması.

Neden 5 (İnsan): Operatör yeni güncellemeler hakkında eğitilmemiş

Motorun tork değerlerinin yanlış ayarlanması, aşırı yüklenmeye ve sigortanın atmasına sebep olmuştur. Bu durum, motorun doğru şekilde çalıştırılabilmesi için gerekli olan doğru işlem ve ayarların yapılmamasıyla ilgilidir. Motorun tork değerlerinin yanlış ayarlanması, bir metot hatasından kaynaklanmaktadır. İnsan yönüyle operatör, güncel prosedürlere göre eğitim almadığı için yanlış tork ayarı yapmıştır.

Motor çalışmıyor sorununun çözümü için metot ve insan kaynaklı nedenlere yönelik önlemler alınmalıdır. Bu çözümler bir arada çalışarak hem prosedürlerin doğru şekilde uygulanmasını sağlar hem de operatörlerin doğru işlemler için eğitilmelerini sağlar.

Sonuç:

Metot: Motor başlatma prosedürleri güncellenmeli ve kontrol listeleri oluşturulmalıdır.

İnsan: Operatörlere yönelik düzenli eğitimler ve performans izleme sistemleri kurulmalıdır.

Bu şekilde, motor çalışmıyor probleminde yol açan hem metot hem de insan hatalarının önüne geçilebilir.

2. İsdemir Arıza Kök Neden Analizi

2.1. BAYS Yazılımında Arıza Kök Neden Analizi

İsdemir’de bilgisayar destekli bakım yönetim sistemi olarak BAYS yazılımı kullanılmaktadır. Yazılım üzerinde arıza inceleme formu uygulaması bulunmaktadır. Bu modülde kök neden analizleri yapılmaktadır.

Tesislerde bir arıza olduğunda arızalı ekipmana yazılım üzerinden arıza iş emri açılır. İş emrine arızaya dair açıklamalar, arıza süresi, arıza onarımında çalışan personeller, kullanılan malzemeler, tesisi durdurma süresi gibi veri girişleri yapılır. Veriler sonucunda arızanın maliyeti de otomatik hesaplanır.

Burada yazılım sene başında belirlenmiş olan aşağıdaki

koşulları kontrol eder:

- Aif Arıza Fiili Süre_Kritik Ekipman (Dakika)
- Aif Kritik Ekipman Arıza Frekansı (Adet)
- Aif Toplam Arıza Maliyeti (TL)
- Aif Arıza Fiili Süre_Önemli Ekipman (Dakika)
- Aif Önemli Ekipman Arıza Frekansı (Adet)
- Aif Tesis Duruş Süresi (Dakika)

Belirtilen koşullar sağlanıyor ise mühendis ve başmühendis yazılım dashboardlarına AİF Açılması Gereken İş Emirleri olarak görev gelir.

Belirtilen koşullar sağlanmasa dahi bir bakım ekibi kök nedenini incelemek istediği bir arıza için arıza inceleme formu açabilmektedir.

AİF Formunun Açılması: Form sahibi mühendis tarafından arıza iş emri, arızanın gelişimi ve sonucu, arıza etki boyutu (ekipman, hat, tesis, fabrika duruşu), arıza modu, arıza nedeni gibi ön bilgiler doldurulmaktadır. Arıza ile ilgili bir kaizen yapıldıysa kaizen numarası yazılmaktadır.

Ardından makine, insan, malzeme ve metot yönüyle neden neden analizi yapılmaktadır.

Her bir kök neden için görev, termin tarihi ve ilgili birim seçilmektedir.

Forma katılımcılar ve ilave dokümanlar eklenebilmektedir.

AİF Formunun Uzman Görüşüne Gitmesi: AİF Form sahibi tarafından uzman görüşüne gönderilmektedir. Arıza inceleme formuna konu ekipmanın ekipman sınıfına göre hangi uzman takıma gideceği sistemsel olarak otomatik atanmaktadır. Uzman takım, görüş beklenen formları hem yazılım üzerinden görebilmekte hem de otomatik e-posta ile bilgilendirilmektedir.

AİF Formunun Uzman Görüşüne Göre Düzenlenmesi: Uzman görüşlerine istinaden form sahibi kök nedenlerini ve görevlerini yeniden düzenleyebilmektedir.

AİF Formunun Başmühendis Onayına Gitmesi: Düzenlenen form başmühendis onayına gitmektedir. Formu yeterli görmez ise reddedebilir. Eğer onaylayacak ise yazılım üzerinden görevlere görevi yapacak personelleri atar.

Görevlerin Tamamlanması: Görev atanan personeller termin tarihine uygun olarak, çözüm bilgilerini girerek görevi tamamlar.

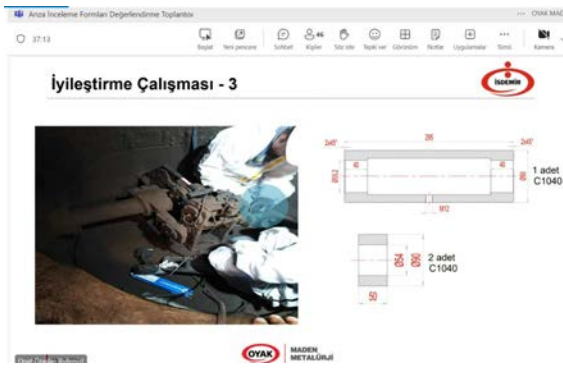
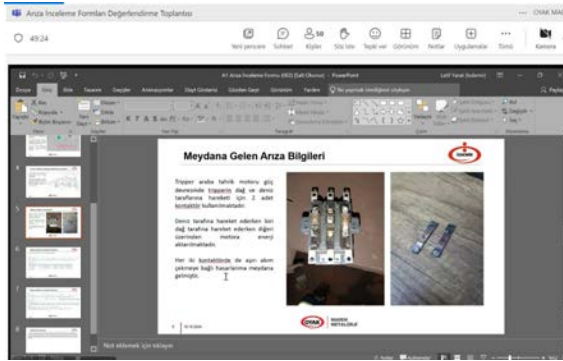
AİF Formunun Tamamlanması: Form sahibi mühendis arıza inceleme formunu tamamlar.

2.2. Arıza İnceleme Form Raporları

Yazılımın raporlama modülünden arıza inceleme formu ile ilgili çeşitli raporlara ulaşılabilir. Örneğin arıza inceleme formu performans raporu ile form tamamlandıktan sonra ekipmanın önceki ve sonraki performansı istenen zaman periyodunda kıyaslanabilmektedir.

2.3. Arıza İnceleme Form Paylaşım Toplantıları

Aylık olarak fabrikadaki önemli arızaların aktarıldığı Arıza İnceleme Form Paylaşım toplantıları düzenlenir. Bu toplantıların amacı, farklı ünitelerin bakım birimleri arasında sinerji oluşumu, benzer arızaların oluşmaması için ve oluşan arızaların kök nedenleri ve çözümü noktasında bilgi paylaşımı, hizalanma, sorumlu olunan ekipmanların 7/24 emre amadeliğinin sağlanmasına katkıda bulunmaktır.



3. Sonuç

Bu bildiride, fabrikada arıza inceleme ve kök neden analizi süreçleri incelenmiştir. Yapılan analizler, yüzeysel sorunlardan ziyade kök nedenlerin derinlemesine araştırılması ile arızaların tekrarını önlemek ve bakım süreçlerini iyileştirmek için kritik bir öneme sahiptir. Kök neden analizi, arıza oranlarını azaltırken üretim sürekliliğini de artırmayı hedeflemektedir.

Ekiplerin doğru eğitim alması ve veri toplama süreçlerinin iyileştirilmesi, verilerin yazılımda kayıt altına alınması kurumsal hafıza ve çözüm sürecinin etkinliğini artırmıştır. Gelecekte, yapay zeka ve makine öğrenimi gibi teknolojilerle arıza öngörülebilirliği

güçlendirilebilir. Sonuç olarak, kök neden analizi, fabrikaların verimlilik ve maliyet etkinliğini artıran önemli bir araçtır.

Referans

- [1] IBM Maximo yazılımı

Güvenilirlik Merkezli Bakım Yaklaşımıyla Monoblok Redüktör Yağlama Sistemlerinin Online İzlenmesi

Online Monitoring of Monoblock Reducer Lubrication Systems with A Reliability-Centered Maintenance Approach

H. Ozan TEMİZ, Savaş ÇELEN, M. Özden ÖZDEMİR, Erdal GÜLENÇ

İskenderun Demir ve Çelik

Türkiye

ABSTRACT

Reliability-Centered Maintenance, which is one of the maintenance approaches that requires online monitoring of equipment health, offers many methods and innovation opportunities in monitoring especially critical equipment in production facilities. In this process that started with Industry 4.0, developing technologies were used in studies for instant monitoring of Monoblock reducers, which are one of the critically important equipment of the Wire Rod Mill (İSDEMİR). The main subject of the study is the required level of lubrication to maintain the health of monoblock gearbox bearings and gears and its follow-up. In addition to the existing pressure switches, pressure transmitters placed on a line basis, the data received through the pressure transmitters are transferred to the online monitoring system via PLC and instantaneous monitoring of pressure values is provided. In addition, Interruptive Maintenance was defined for the equipment on the Maintenance Management Module (Maximo), and thanks to the determined upper warning limit, it was possible to control possible malfunctions through work notifications before possible malfunctions. Thanks to the ability of Business Operators as well as maintenance teams to follow the instant data received, malfunctions are reduced, equipment life is extended, and possible malfunctions are prevented by analyzing the received data. All these studies will contribute to the sustainability and reliability of the facility.

Key Words: Online Equipment Monitoring, Reliability Centered Maintenance, Predictive Maintenance, İbaPda.

ÖZET

Ekipman sağlığının online izlenmesini gerektiren bakım yaklaşımlarından olan Güvenilirlik Merkezli Bakım, üretim tesislerindeki özellikle kritik ekipmanların takibi konusunda birçok yöntem ve yenilik imkanı sunmaktadır. Endüstri 4.0 ile başlayan bu süreçte gelişen teknolojiler Kangal Haddehanesi'nin (İSDEMİR) kritik öneme sahip ekipmanlarından olan Monoblok redüktörlerinin anlık olarak takibine yönelik çalışmalarda kullanılmıştır. Çalışmanın ana konusu, Monoblok redüktör rulman ve dişli sağlığını korumak için gerekli yağlamanın istenen seviyede yapılması ve bunun takibidir. Mevcut basınç siviçlerine ilave olarak hat bazında yerleştirilen basınç transmitterleri sayesinde alınan veriler PLC üzerinden Online izleme sistemine aktararak basınç değerlerinin anlık takibi sağlanmıştır. Ayrıca Bakım Yönetim Modülü (Maximo) üzerinde ekipmana Kesitimsel Bakım tanımlanarak, belirlenen üst uyarı limiti sayesinde olası arızalar öncesinde iş bildirimi yoluyla kontrol yapabilme olanağına ulaşılmıştır. Bakım ekipleri yanında İşletme Operatörlerinin de anlık alınan verileri takip edebilmesi sayesinde arızaların azalması, ekipman ömrünün uzaması ve alınan verilerin analiz edilerek muhtemel arızaların önüne geçilmiştir. Tüm bu çalışmalar, tesise sürdürülebilirlik ve güvenilirlik noktasında katkı ileriye taşıyacaktır.

Anahtar Kelimeler: Online Ekipman İzleme, Güvenilirlik Merkezli Bakım, Kestirimci Bakım, İbaPda.

1. Giriş

Yağlama, blok redüktör dişlileri ve rulmanları gibi mekanik bileşenlerin ömrü üzerinde çok önemli bir etkiye sahiptir. İyi bir yağlama, ekipman sağlığına ve ömrüne olumlu katkı sağlarken, kötü bir yağlama ise aşınma, ısınma kaynaklı mekanik arızalara neden olabilir. Yağlamanın blok redüktör dişlileri ve rulmanları üzerindeki etkilerini şöyle özetleyebiliriz.

- **Aşınmayı azaltma**

Yağlama, dişliler ve rulmanlar arasındaki metal-metal temasını azaltarak, sürtünmeyi minimuma indirir. Bu da aşınma oranını düşürür ve bileşenlerin uzun süre verimli çalışmasını sağlar.

- **Isı dağılımı ve soğutma**

Çalışma sırasında, özellikle yüksek hızda ve büyük yük altında, dişliler ve rulmanlar ısınır. Yağ, bu ısının yayılmasına yardımcı olur ve bileşenlerin aşırı ısınmasını engeller.

- **Korozyon ve paslanma koruması**

Yağlama, metal yüzeylerin oksidasyona uğramasını engelleyerek korozyon ve paslanmayı önler. Su, nem veya kimyasal maddelerin bileşenlere zarar vermesini engelleyen bir bariyer görevi görür.

- **Titreşim ve gürültü azaltma**

Yağlama, dişliler ve rulmanlar arasındaki sürtünmeyi ve darbeleri azaltarak çalışma sırasında oluşan titreşimleri ve sesleri de minimize eder. Bu, sadece bileşenlerin ömrünü uzatmakla kalmaz, aynı zamanda sistemin daha sessiz ve verimli çalışmasını sağlar.

- **Yük dağılımı**

Yağ, dişlilerin dişleri ve rulmanların bilezikleri arasında daha eşit bir yük dağılımı sağlar. Bu, bileşenlerin daha dengeli bir şekilde çalışmasına yardımcı olur ve lokal aşınma veya deformasyonu engeller. Yağsız çalışma, belirli noktalarda aşırı yüklenmelere ve bunun sonucunda dişli veya rulman arızalarına neden olabilir.

2. Güvenirlik merkezli bakım (RCM) uygulaması

2.1. Blok redüktör yağ basınçlarının izlenmesi

İsdemir, Kangal Haddehanesinde iki hat üzerinde toplamda 20 adet blok redüktörü çalışmaktadır. Her hat merkezi bir yağlama sisteminden yağlanmaktadır. Sistem basıncı yağlama tankı pompa çıkışı ve üst koddan ve her redüktörün yağ giriş hattı üzerinde bulunan basınç

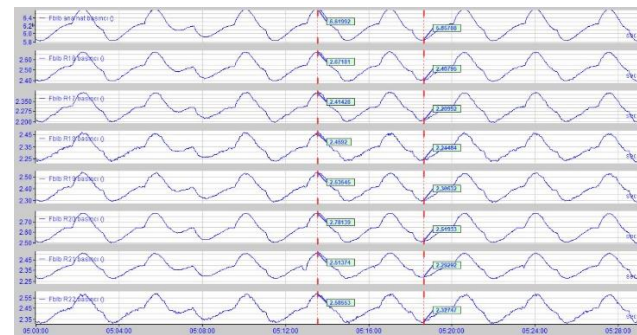
sivici ile plc ve scada da sistemin takibi yapılmaktadır. Ayrıca her vardiyada ana hat ve redüktör giriş basınçları manometer üzerinden okunarak düzenli kayıt tutulmaktadır. Söz konusu blok redüktörlerine ait çalışma basıncı ve alarm limitleri tablo-1 de verilmiştir.

Tablo-1. Blok redüktör basınçları

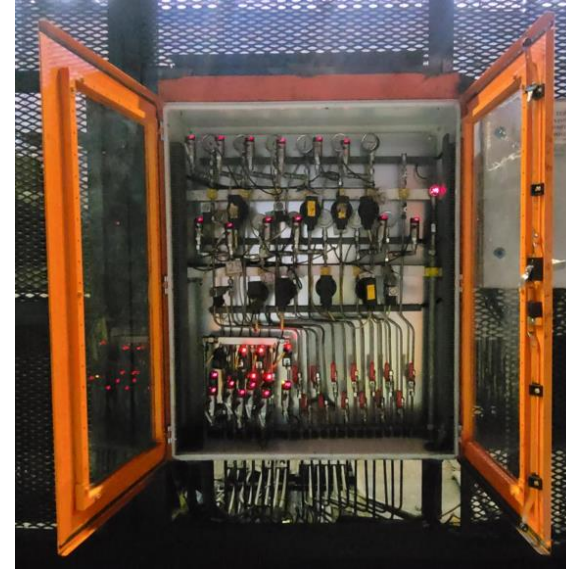
Redüktör No	Basınç (bar)	Alarm (bar)
16	1.8	1.0
17	1.8	1.0
18	1.8	1.0
19	1.8	1.0
20	1.8	1.0
21	2.4	1.5
22	2.4	1.5
23	2.4	1.5
24	2.5	1.5
25	2.5	1.5
Primer Redüktör	2.7	1.8
Ana Hat Basıncı	5.0-5.5	4.5

2.2 Blok redüktör yağ basınçlarının plc ve ibapda'ya aktarılması

Mevcut basınç siviçlerine ilave olarak hat bazında yerleştirilen basınç transmitterleri sayesinde alınan veriler PLC üzerinden Online izleme ve kayıt (ibaPDA sinyal kayıt) sistemine aktarılarak basınç değerlerinin anlık takibi sağlanmıştır. Böylelikle blok redüktörlerinden herhangi birinin yağ basıncında olağan dışı değişimler fark edildiğinde sisteme hızlıca müdahale edilmektedir. ibaPDA online durum izleme ekran görüntüsü aşağıdadır.



Şekil-1 ibaPDA ekran görüntüsü



Basınç Transmitter Panosu

2.3 Maximo'da kestirimci bakım tanımlanması

Plc'deki basınç verileri Seviye2 üzerinden BAYS (Maximo'ya) aktarılmıştır. Blok redüktörleri için Maximo'da minimum ve maksimum basınç set değeri tanımlandı. Tanımlanan basınç set değerleri aşılması durumunda bakım yönetim sistemi yazılımı (maximo) tanımlı kullanıcılara otomatik iş bildirim (İB) oluşmaktadır. Sonrasında bakım ekipleri tarafından gerekli aksiyonlar alınmaktadır.

Şekil-2 Maximo Kestirimci Bakım görüntüsü

3. Sonuç

Kangal Haddehanesi'ndeki Monoblok redüktörlerinin sağlığının korunmasında, RCM teknolojilerinin kullanılması, ekipmanların bakım süreçlerine önemli katkılar sağlamaktadır. Yağlama sisteminin sıcaklık ve basınç değerlerinin izlenmesi ile sistemin kritik parametrelerinin anlık olarak takibi bakım işgücünün verimli kullanılmasına olanak sağladı. Bakım yönetim

sistemi yazılımı (maximo) üzerinden yapılan kesitimci bakım tanımlamaları ise bakım ekiplerinin, sistemdeki olağan dışı durumlardan anlık bilgi sahibi olmasına ve değişimlere hızlı müdahale etme şansı kazandı. Bu kazanımlar arıza duruşlarının azalmasına ve net çalışma sürelerinin artmasına katkı sağlamıştır. Sonuç olarak, bu uygulama tesisin sürdürülebilirlik ve güvenilirlik açısından gelecekteki performansını artıracak önemli bir adım olmuştur.

Veri toplama süreçlerinin iyileştirilmesi gelecekte, yapay zeka ve makine öğrenimi gibi teknolojilerle arıza öngörülebilirliği güçlendirilebilir.

Referans

- [1] IBM Maximo yazılımı
- [2] ibaPDA yazılımı

Kaba Hadde Housing Liner Yüzey İşlemesi

Roughing Mill Housing Liner Surface Turning Operation

Selçuk DİNÇ, Murat IŞIK, Mustafa CEYHUN, Ali Arda ÜNAL, Hüseyin OLGÜN

İskenderun Demir ve Çelik

Türkiye

Anahtar Kelimeler: Sıcak Haddehane, Kaba Hadde, Liner, Tezgah, Yüzey İşleme

Key Words: Hot Strip Mill, Roughing Mill, Liner, Mobile Milling, Surface Turning Operation

Abstract

Since it was determined that the abrasions detected in the İsdemir Hot Rolling Roughing Mill housing area had a negative impact on the production quality (camber, rolling problems at finishing mill), it was decided to process the bottom liner surfaces machine turning.

For the machining of the bottom liner surface, it was decided to use a large mobile milling machine previously designed in the machine shop. During the use of the processing bench, the surface to which the legs are attached must be at equal levels and in order to fix it; It was used as a stand design. In order to decide on the downtime during which the processing process will be carried out, simulations were taken and it was evaluated that the process could be carried out within a 7-day downtime. In the first two days of the shutdown, de-assembly operations were carried out in the Roughing Mill Housing area, and then a decision was made on how many millimeters of wear surfaces should be processed in line with the measurements taken from the unlined surfaces. Machining activities were carried out by the Machine Shop teams between the 3rd and 5th days of the maintenance, and the assembly, measurement and testing stages continued on the last two days of the 7 days, which is the planned downtime. Following all these processes, the rough rolling housing processing and liner assembly processes were successfully completed and the system was put into operation without any problems.

Özet

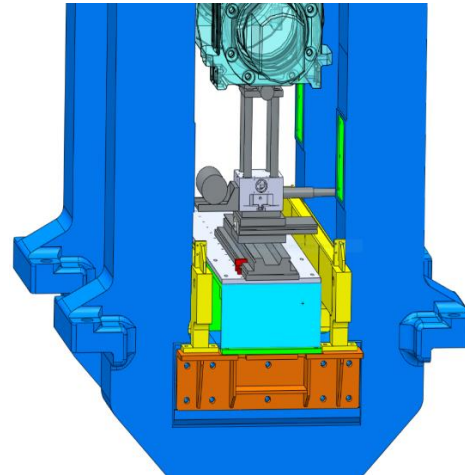
İsdemir Sıcak Haddehane Kaba Hadde housing bölgesinde tespit edilen aşınmaların, üretim kalitesine olumsuz etki ettiği (dönüklük, kılıcına eğrilik, şerit haddede malzeme takılması gibi) tespit edilmesi nedeniyle alt liner yüzeylerinin yerinde işlenmesine karar verilmiştir.

Alt liner yüzeyinin işlenme işi için makine atölyesinde daha önce tasarlanmış olan büyük seyyar freze kullanılmasına karar verilmiştir. İşleme tezgahının kullanımı esnasında ayaklarının bağlandığı yüzeyin eşit kotlarda olmasının gerekliliği ve sabitlenmesi adına; sehpa tasarımı yapılarak kullanılmıştır. İşleme sürecinin yapılacağı duruş süresine karar verebilmek adına simülasyonlar alınarak 7 günlük bir duruş içerisinde işlemin yapılabilceği değerlendirilmiştir. Duruşun ilk iki gününde Kaba Hadde Housing bölgesinde de-montaj işlemleri yapılmış olup, sonrasında linersız yüzeylerden alınan ölçümler doğrultusunda aşınma

yüzeylerinin kaç milimetre işlenmesi gerektiği konusunda karar alınmıştır. Duruşun 3. ve 5.günleri arasında Makine Atölyesi ekiplerince işleme faaliyetleri yapılmış, planlanan duruş süresi olan 7 günün son iki gününde montaj, ölçüm ve test aşamaları ile devam edilmiştir. Tüm bu süreçlerin ardından kaba hadde housing işleme ve liner montaj süreçleri başarıyla tamamlanmış olup, bölge sorunsuz devreye alınmıştır.



Şekil 1: Kaba Hadde Housing Genel Görünümü



Şekil 2: Kaba Hadde Housing İşleme Simülasyonu

1. Giriş

İsdemir Sıcak Haddehane Kaba Hadde housing bölgesinde daha önceden tespit edilen aşınmaların, üretim kalitesine (dönüklük, kılıcına eğrilik, nihai üründe kalınlık dalgalanması gibi) olumsuz etki ettiği tespit edilmesi nedeniyle alt liner yüzeylerinin yerinde işlenmesine karar verilmiştir. İşleme tamamlandıktan sonra Kaba hadde housing içerisindeki iş merdaneleri ile linerlar arası mesafelerin proje değerlerine gelmesi amaçlanmıştır. Proje değerleri sağlanmasıyla beraber hat üzerinde gerçekleşen ve malzeme takılmalarına sebebiyet veren dönüklük probleminde olumlu olarak yansıtacağı konusunda değerlendirme yapılmıştır.

Yapılan değerlendirmeler sonucunda, sürecin sağlıklı bir şekilde ilerleyebilmesi amacıyla, İsdemir Sıcak Haddehane Müdürlüğü ve İsdemir Mekanik Atölyeler Müdürlüğü ekiplerinden oluşturulan bir komisyon kurulmuştur.

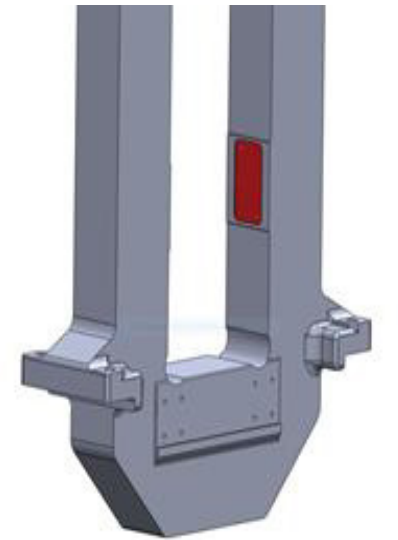
İlk olarak, kaba hadde alt destek merdanesi basma yüzeyi olan 4 adet housing aşınma plakalarının demontajı yapılarak housing yüzeylerinden ölçümler alınmıştır.



Şekil 3: Kaba Hadde Housing Alt Liner Demontajı Öncesi



Şekil 4: Kaba Hadde Housing Alt Liner Demontajı Sonrası Housing Yüzeyi



Şekil 5: Kaba Hadde Housing Alt Liner Demontajı Sonrası Housing Yüzeyi SolidWorks Gösterimi

İŞLEME İŞLEMİ ÖNCESİ AŞINMA PLAKASIZ HADDE VİDA EKSENİNE GÖRE YÜZEY NOKTA ÖLÇÜMLERİ_28.11.2023											
OPERATÖR GİRİŞ TARAF ALT BUR YÜZEY						OPERATÖR ÇIKIŞ TARAF ALT BUR YÜZEY					
OPERATÖR TARAF	897.163		897.023		896.475	TAHRİK TARAF	895.025		895.159		894.938
	898.948		898.983		898.861		894.932		895.139		894.841
	899.862		899.604		899.453		894.952		896.374		894.932
TAHRİK GİRİŞ TARAF ALT BUR YÜZEY						TAHRİK ÇIKIŞ TARAF ALT BUR YÜZEY					
OPERATÖR TARAF	896.896		896.707		896.347	TAHRİK TARAF	896.234		896.357		895.692
	897.753		897.045		896.778		896.750		896.966		896.355
	898.637		898.431		897.704		896.376		897.033		896.366

Şekil 6: İşleme Öncesi Kaba Hadde Housing Alt Liner Ölçüm Sonuçları

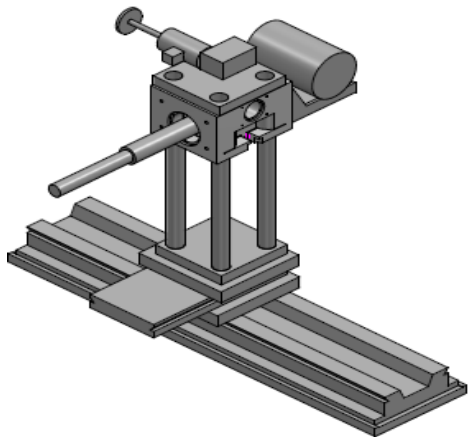
Ölçüm sonuçlarına göre, en fazla aşınmanın operatör çıkış alt yüzeyinde yaklaşık olarak 4mm olduğu tespit edilmiştir. Diğer liner yüzeylerinin de bu değere göre işlenmesine karar verilmiştir. Yeni montajı yapılacak liner'ın ölçü kalınlıklarının, işleme miktarına orantılı olarak artırılmasına karar verilmiştir. Bu yaklaşımın, housing içindeki proje değerlerinin sağlanmasına olanak tanıyacağı değerlendirilmiştir.

2. Deneyisel Çalışmalar

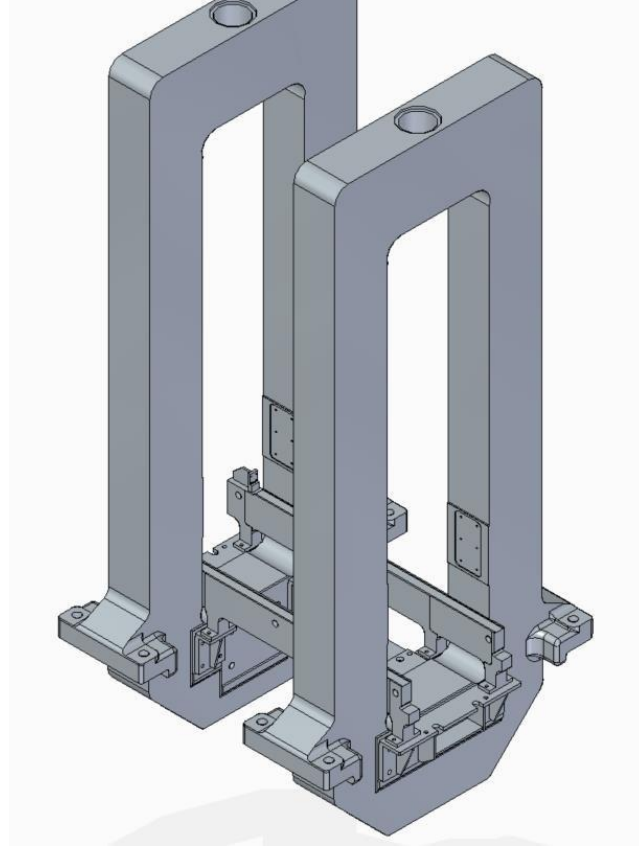
Housing işleme işleminin gerekliliği kararlaştırıldıktan sonra, işin yöntemine ve kullanılacak ekipmanlara yönelik çalışmalar başlatılmıştır.

İlk olarak, sıcak haddehane prosesine hâkim ve daha önce housing işleme konusunda deneyimi bulunan ekiplerle işlemin gerçekleştirilmesinin, risklerin en aza indirilmesi açısından önemli olduğu değerlendirilmiştir. Bu kapsamda, Erdemir Sıcak Haddehaneleri'nde daha önce bu işlemi gerçekleştiren Erdemir Mekanik Atölye Müdürlüğü ekipleriyle iletişime geçilmiş ve toplantılar düzenlenmiştir.

Yapılan toplantılar sonucunda, işlemi gerçekleştirecek tezgâhın tasarımı ve işin süresinin belirlenmesi konularında detaylı çalışmalar yapılmasına karar verilmiştir.

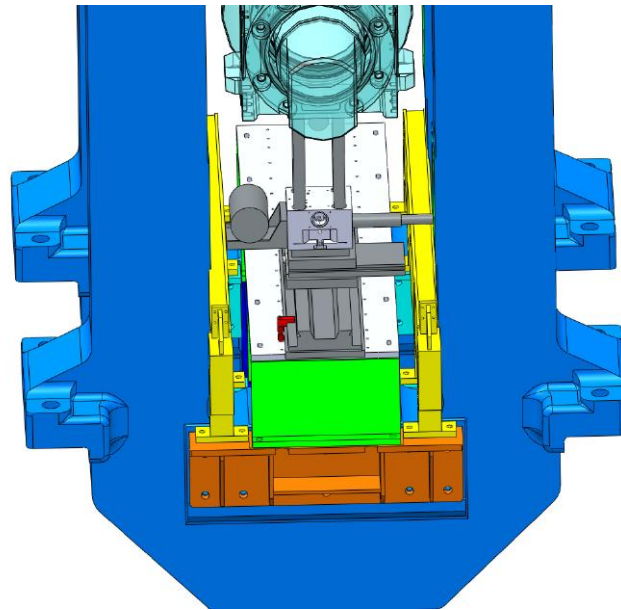


Şekil 7: Kaba Hadde Housing İşlemesinde Kullanılan Tezgâh Genel Görünümü



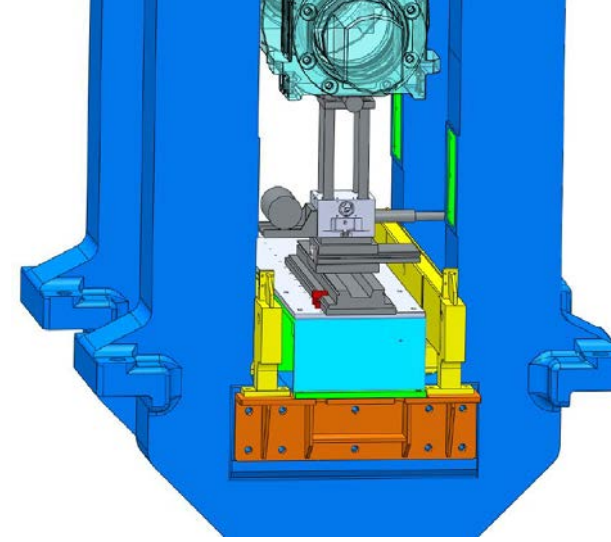
Şekil 8: İşleme Tezgâhının Kullanılacağı Kaba Hadde Housing Genel Görünümü

Kullanıma karar verilen tezgah sonrasında, işleme esnasında tezgâhın housing içerisine alınması, housing içerisinde sabitlemesi ve çalışma koşullarına dair değerlendirmeler yapılmıştır. Bu değerlendirmeler neticesinde, öncelikli olarak tezgâhın içeriye alındıktan sonra işleme yapılabilmesi için sabitleme sehpasının tasarlanmasına karar verilmiştir.



Şekil 9: Tasarlanmış Olan Tezgâh ve Sehpanın Housing İçerisine Montaj Yapılmış SolidWorks Görünümü

Ekipman ve yöntem belirlendikten sonra, gerçekleştirilecek işlemin tamamlanma süresi üzerine değerlendirmeler yapılmıştır. Bu çerçevede, Mekanik ve Yardımcı Atölye Müdürlüğü ekiplerinin, işleme süresini belirlemek amacıyla simülasyon yapmalarına karar verilmiştir. Yapılan simülasyon sonucunda, dört adet liner yüzeyinin işleme süresi toplamda 7 gün olarak hesaplanmıştır.



Şekil 10: Kaba Hadde Housing İşleme Simülasyonu

1	İŞ MERDANELERİNİN DEŞARJE ALINMASI	İŞLETME
2	ÜST DESTEK MERDANESİNİN DE-MONTAJININ YAPILMASI	İŞLETME
3	R2 HADDE VİDA BREAKER BLOK ELEKTRİK VE GRES BAĞLANTILARININ DE-MONTAJI	MEKANİK-ELEKTRİK BAKIM
4	R2 VİS HADDE VİDA BREAKER BLOK DE-MONTAJININ YAPILMASI	AF MUHENDİSLİK
5	R2 D5 HADDE VİDA BREAKER BLOK DE-MONTAJININ YAPILMASI	AF MUHENDİSLİK
6	R2 VİS ÜST BACK-UP LİNER DE-MONTAJININ YAPILMASI	AF MUHENDİSLİK
7	R2 D5 ÜST BACK-UP LİNER DE-MONTAJININ YAPILMASI	AF MUHENDİSLİK
8	R2 AGC SİLİNDİR ELEKTRİK VE HİDROLİK BAĞLANTILARININ DE-MONTAJI	MEKANİK-ELEKTRİK BAKIM
9	R2 VİS AGC SİLİNDİR DE-MONTAJININ YAPILMASI	AF MUHENDİSLİK
10	R2 D5 AGC SİLİNDİR DE-MONTAJININ YAPILMASI	AF MUHENDİSLİK
11	R2 VİS ALT BACK-UP LİNER DE-MONTAJININ YAPILMASI	AF MUHENDİSLİK
12	R2 D5 ALT BACK-UP LİNER DE-MONTAJININ YAPILMASI	AF MUHENDİSLİK
13	R2 HOUSING YÜZEY İŞLEME TEZGAH MONTAJI	MEKANİK BAKIM
14	R2 HOUSING YÜZEY İŞLEME	ATÖLYE EKİBİ
15	R2 HOUSING YÜZEY İŞLEME TEZGAH DE-MONTAJI	MEKANİK BAKIM
16	R2 D5 ALT BACK-UP LİNER MONTAJININ YAPILMASI	AF MUHENDİSLİK
17	R2 VİS ALT BACK-UP LİNER MONTAJININ YAPILMASI	AF MUHENDİSLİK
18	R2 D5 AGC SİLİNDİR MONTAJININ YAPILMASI	AF MUHENDİSLİK
19	R2 VİS AGC SİLİNDİR MONTAJININ YAPILMASI	AF MUHENDİSLİK
20	R2 AGC SİLİNDİR ELEKTRİK VE HİDROLİK BAĞLANTILARININ MONTAJI	MEKANİK-ELEKTRİK BAKIM
21	R2 D5 ÜST BACK-UP LİNER MONTAJININ YAPILMASI	AF MUHENDİSLİK
22	R2 VİS ÜST BACK-UP LİNER MONTAJININ YAPILMASI	AF MUHENDİSLİK
23	R2 D5 HADDE VİDA BREAKER BLOK MONTAJININ YAPILMASI	AF MUHENDİSLİK
24	R2 VİS HADDE VİDA BREAKER BLOK MONTAJININ YAPILMASI	AF MUHENDİSLİK
25	R2 HADDE VİDA BREAKER BLOK ELEKTRİK VE GRES BAĞLANTILARININ MONTAJI	MEKANİK-ELEKTRİK BAKIM
26	DESTEK MERDANELERİNİN MONTAJININ YAPILMASI	İŞLETME
27	İŞ MERDANELERİNİN İÇİREYE ALINMASI	İŞLETME

Şekil 11: Kaba Hadde Housing İşleme CPM Çalışması

3. Sonuçlar ve Tartışma

Liner demontajları sonrasında, işleme yüzeylerinin derinliği, işleme tezgâhı paso sayısı ve yeni liner kalınlıklarının belirlenmesi amacıyla bir toplantı düzenlenmiştir. Yapılan toplantı sonucunda, giriş-çıkış/tahrik ve operatör tarafındaki işleme ölçüleri kararlaştırılmıştır. Ayrıca, 24 saat boyunca sahada görev alacak olan ölçüm ekiplerinin, her işleme pasosu sonrasında ölçü kontrolü gerçekleştireceği kararlaştırılmıştır.

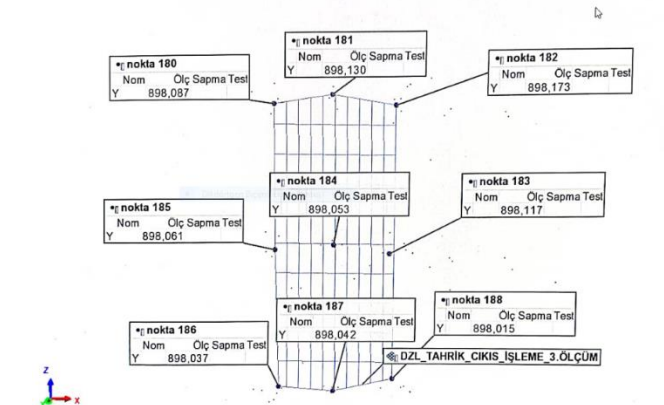


Şekil 12: Kaba Hadde Housing İşleme Tezgâh İşleme

Yapılan toplantılar sonucunda ölçümler alınmış ve bu ölçümler doğrultusunda, Kaba Hade housing içerisindeki dört adet liner işleme derinlikleri belirlenerek işleme sürecine başlanmıştır. İşleme işlemlerinin tamamlanmasının ardından, 40 mm olarak imalatı gerçekleştirilen liner kalınlıklarının ölçüleri kesinleştirilmiş ve belirlenen ölçülere göre işlenmelerine karar verilmiştir.

3.1. Tahrik Taraf Giriş Alt Liner İşlemesi

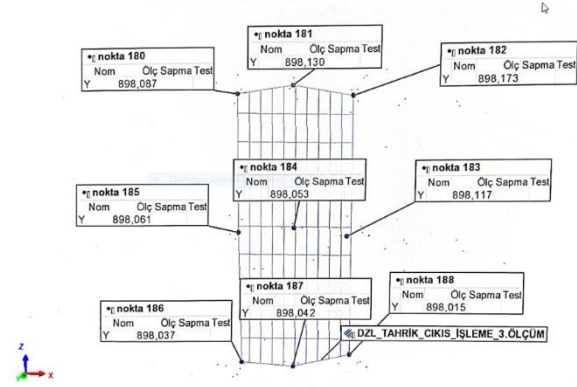
Kaba Hadde Housing işleme sürecine tahrik alt taraftan başlanılmıştır. Ölçüm sonuçlarına göre tahrik giriş alt housing liner yüzeyi 3.5mm işlenmiştir. Bu ölçüler doğrultusunda 34,6mm olan liner kalınlığı 3.5mm artırılmıştır. Bu kapsamda İsdemir Mekanik Atölyesi tarafından tahrik taraf giriş alt lineri 38.1mm olarak işlenmiştir.



Şekil 13: Tahrik Giriş Alt Ölçüm Sonuçları

3.2. Tahrik Taraf Çıkış Alt Liner İşlemesi

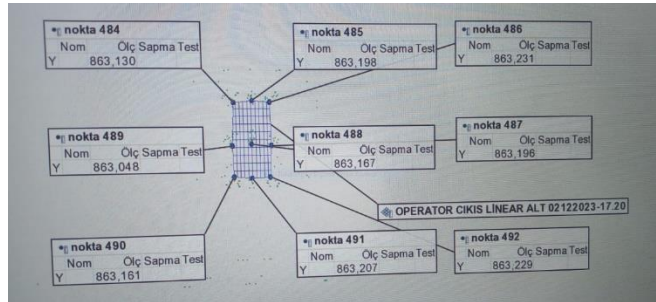
Tahrik taraf liner yüzey işleme sürecinin tamamlanması sonrası tezgâh housing içerisinde tekrar ayar gerektirmeden kafasının döndürülmesiyle tahrik taraf liner yüzey işleme sürecine başlanılmıştır. Daha önce değerlendirme toplantısına belirlenen ölçüler doğrultusunda tahrik taraf çıkış liner yüzeyi toplamda 2.6mm işlenmiştir. İşleme süreci sonrasında proje ölçüsü 34.6 olan liner kalınlıkları 2.6 mm arttırılarak 37.2mm olarak İsdemir Mekanik Atölye tarafından işlenmiştir.



Şekil 14: Tahrik Alt Çıkış Ölçüm Sonuçları

3.3. Operatör Taraf Çıkış Alt Liner İşlemesi

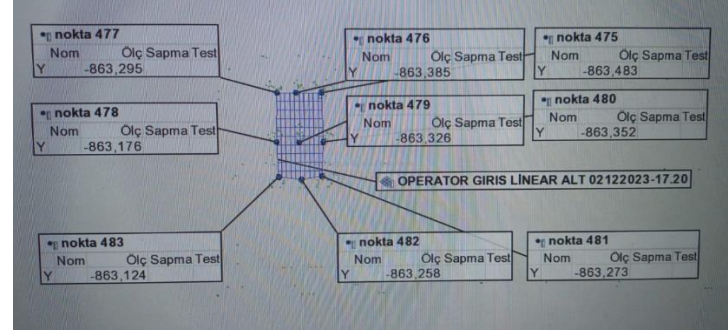
Tahrik taraf liner yüzey işleme işlemlerinin tamamlanmasının ardından, tezgâh operatör tarafa kaydırılmıştır. Tezgâhın yer değiştirmiş olması nedeniyle yeniden bir tezgâh ayarı yapılmış, ölçüm ekiplerinin teyit vermesi sonrası işlemeye operatör taraf çıkış ile devam edilmiştir. Liner alt yüzeyi toplamda 2.2 mm işlenmiş olup, liner proje ölçüsü olan 31.6mm ölçüsü 2.2mm kalınlaştırılarak yeni liner kalınlığı 33.8mm olarak belirlenmiştir. Liner İsdemir Mekanik Atölyesi tarafından işlenmiş, montaja hazır hale getirilmiştir.



Şekil No:15 Operatör Alt Çıkış Ölçüm Sonuçları

3.4. Operatör Taraf Giriş Alt Liner İşlemesi

Değerlendirme toplantılarında belirlenen ölçüler doğrultusunda, kaba hadde housing operatör taraf giriş alt liner yüzeyi 5mm işlenmiştir. Proje değeri 31.6mm olan liner kalınlıkları, 5mm arttırılarak 36.6mm olacak şekilde İsdemir Mekanik Atölye tarafından işlenmiştir.



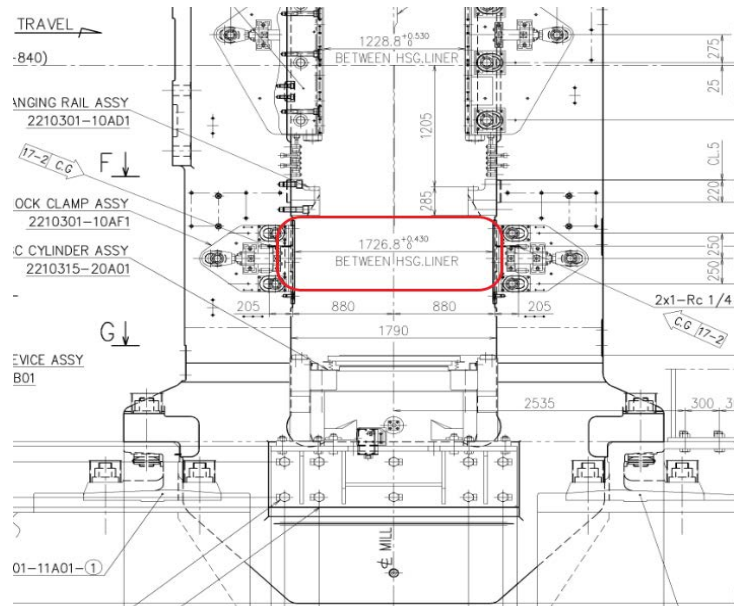
Şekil 16: Operatör Alt Giriş Ölçüm Sonuçları

4. Sonuç

Kaba Hadde Housing tahrik ve operatör taraflarındaki giriş ve çıkış liner yüzeylerinin tamamı işlenmiş ve yeni kalınlıklardaki linerlar montajlanmıştır. Liner montajlarının ardından yapılan ölçüm sonuçlarına göre, istenilen proje değerleri başarıyla sağlanmıştır.

İŞLEME İŞLEMİ SONRASI LINER' SIZ HADDE VİDA EKSENİNE GÖRE YÜZEY NOKTA ÖLÇÜMLERİ_02.12.2023										
OPERATÖR GİRİŞ TARAF ALT BUR YÜZEY						OPERATÖR ÇIKIŞ TARAF ALT BUR YÜZEY				
900,114	900,422	900,440	900,477	900,479		896,054	896,064	896,959	896,960	896,904
900,124	900,381	900,320	900,383	900,401		896,031	896,025	896,989	896,983	896,989
900,072	900,312	900,313	900,391	900,325		896,804	897,045	897,316	897,099	897,092
TAHRİK GİRİŞ TARAF ALT BUR YÜZEY						TAHRİK ÇIKIŞ TARAF ALT BUR YÜZEY				
898,293	898,638	898,646	898,672	898,629		897,357	897,611	897,652	897,667	897,681
898,280	898,643	898,639	898,641	898,636		897,280	897,550	897,587	897,590	897,603
898,375	898,605	898,620	898,659	898,630		897,222	897,545	897,582	897,527	897,557

Şekil 17: İşleme Sonrası Ölçüm Sonuçları



Şekil 18: Kaba Hadde Housing Alt Liner Proje Ölçü Değerleri

Teşekkür

Kaba Hadde Housing işleme işi gerekliliğinin ilk gününden itibaren sürekli iletişim halinde kalarak çalışan, Sıcak Haddehane ekiplerine tüm imkânlarıyla destek sağlayan İsdemir Mekanik Atölye ekiplerine; uygulamanın en önemli aşaması olan işleme sürecini başarıyla yönetip tamamlayan Erdemir Makine Atölyesi ekiplerine ve gerek sahadaki ölçüm faaliyetlerinde gerekse değerlendirme aşamalarında destek veren tüm Erdemir Mühendislik Ölçüm ekiplerine teşekkür ederiz.

Referanslar

- [1] Mutsubishi-Hitachi Metals Machinery Inc. İsdemir Hot Strip Mill Project Documents (ISD-HSM)
(Contract No. MY.3/2-2-258.33.09023.000(31))

Looper Roll Rulman Yatağı Keçe Revizyonu (Şerit Hadde, Sıcak Haddehane)

Updated Sealing Design of Looper Roll Bearing Supports (Finishing Mill, Hot Strip Mill)

Şener KÜTÜKÖZÜ, İsmet GÖKÇE

İskenderun Demir ve Çelik

Türkiye

Anahtar Kelimeler: Sıcak Haddehane, Şerit Hadde, Looper Roll, Solidworks, Tasarım

Key Words: Hot Strip Mill, Strip Mill, Looper Roll, Solidworks, Design

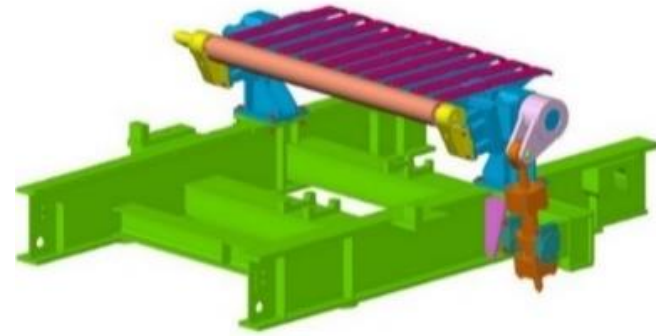
Abstract

İsdemir Hot Rolling Mill facility has 5 Looper Rolls in the strip rolling area. Looper Roll is in the lower position while waiting for the material, and during the material passage, it moves to the upper position with the help of the hydraulic lift cylinder and applies tension to the material. Roll diameter is Ø185 and the roll surface is 2180 mm long, coated with thermal spray powder method. It is internal cooled and has a centrally lubricated bearing support. During operation, the looper roll is exposed to system water, which is required by the system to cool the material surface. Bearing supports are exposed to the water flows from the environment while the material is waiting, while the material is passing, and when the material is finished. Bearing damage has been detected in Looper Roll supports that the roll were installed on the line as new. Bearing damages caused production efficiency to decrease. When the assembly drawings were examined, it was observed that only one rotating shaft oil seal was used in the support design to prevent water ingress into the bearing supports. Due to insufficient single seal, it wears out and water enters the bearing, at the end bearing damage has occurred. By making a new design with the help of the SolidWorks drawing program, the number of seals in the bearing housing was increased to two, preventing bearing damages.

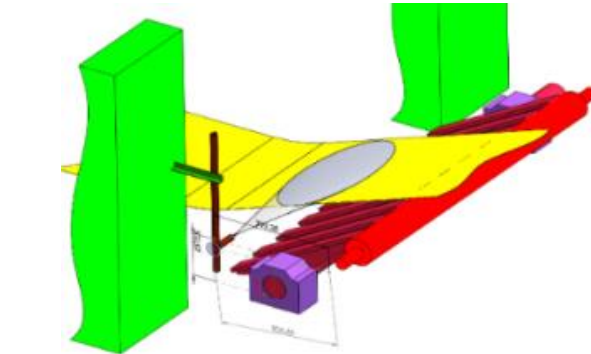
Özet

İsdemir Sıcak Haddehane tesisi, şerit hadde bölgesinde 5 adet Looper Roll bulunmaktadır. Looper Roll malzeme beklerken alt konumda bulunup malzeme geçişi esnasında hidrolik lift silindiri yardımıyla yukarı konuma hareket ederek malzemeye gergi işlemi uygulamaktadır. Roll Çapı Ø185 olup roll yüzeyi termal spray powder yöntemi ile kaplanmış 2180 mm uzunluğundadır. İçten soğutmalı olup merkezi yağlamalı rulman yatağına sahiptir. Looper roll işletme anında malzeme yüzeyini soğutmak için sistemin gereği olan hadde sularına maruz kalmaktadır. Malzeme beklerken, malzeme geçerken ve malzeme bitiminde roll yatakları, çevreden gelen su akışlarına maruz kalmaktadır. Sıfır olarak hatta montajı yapılan Looper Roll yataklarında rulman hasarları tespit edilmiştir. Rulman hasarları, üretim veriminin düşmesine sebep olmuştur. Montaj resimleri incelendiğinde, orijinal looper roll rulman yatağı içerisine su girişini engellemeye yönelik yapılan tasarımlarda bir adet döner mil yağ keçesi kullanıldığı ve bununda kısa sürede

aşınarak yatak içerisine su girdiği, sonucunda rulman hasarına sebep olduğu gözlemlenmiştir. SolidWorks çizim programı yardımıyla yeni bir tasarım yapılarak rulman yatağında ki keçe sayısı ikiye çıkarılmış, rulman dağılmalarının önüne geçilmiştir.



Şekil 1. Looper roll



Şekil 2. Looper roll yukarı konumda

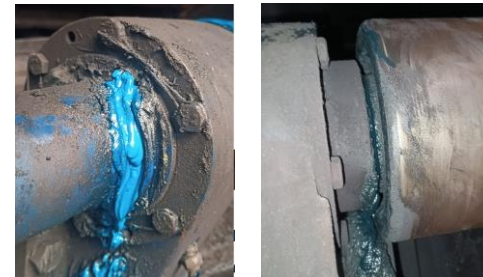
Aşağıdaki resimde looper roll kapalı pozisyonda beklemektedir. Looper roll içten soğutmalı roll olarak çalışmaktadır. Buna bağlı olarak rotary joint bağlantısında ki su akışı görülebilmektedir. Standların çıkışlarına montajlanmış spray header üzerine dizilmiş nozullardan malzeme üzerine püskürtülen basınçlı su görülebilmektedir. Looper roll'ün kendi içerisi ve çevresindeki su akışları rulman yatağının içerisinde kolayca girebilmektedir.



Şekil 3. Looper roll yukarı konumda

1. Giriş

İşletmemizde 6 adet Looper roll 6 adet F1-F6 haddeleme standartları arasına konumlandırılmıştır. Malzeme beklerken by pass konumunda olan Looper Roll malzeme geçişi konum değiştirerek gergi işlemi tamamladıktan sonra tekrar by pass konumuna döner. Malzeme beklerken, malzeme geçerken ve malzeme bitiminde roll yatakları, çevreden gelen su akışlarına maruz kalmaktadır. Sıfır olarak hatta montajı yapılan Looper Roll yataklarında rulman hasarları tespit edilmiştir. Rulman hasarları, üretim veriminin düşmesine sebep olmuştur. Montaj resimleri incelendiğinde, rulman yatağı içerisine su girişini engellemeye yönelik yapılan tasarımlarda bir adet döner mil yağ keçesi kullanıldığı ve bununda kısa sürede aşınarak yatak içerisine su girdiği, sonucunda rulman hasarına sebep olduğu gözlemlenmiştir. Rulman çekirdeğindeki hasarlarla ilgili geçmiş dönemdeki yapılan araştırma makaleleri incelendiğinde, Şekil 6'da gösterilen bizde ki hasarın su nedeni olduğu fikrine varılmıştır. Ayrıca yatak demontajların da alınan gres numunelerinin içerisinde de yoğun miktarda su olduğu tespit edilmiştir. Tek keçeli olarak yatak içerisinde ki rulmanların yenilenip hatta montajı yapıldığında en geç 3 ay gibi kısa bir süre içerisinde rulmanların hasarlandığı ve değişim ihtiyacı duyduğu görülmektedir.



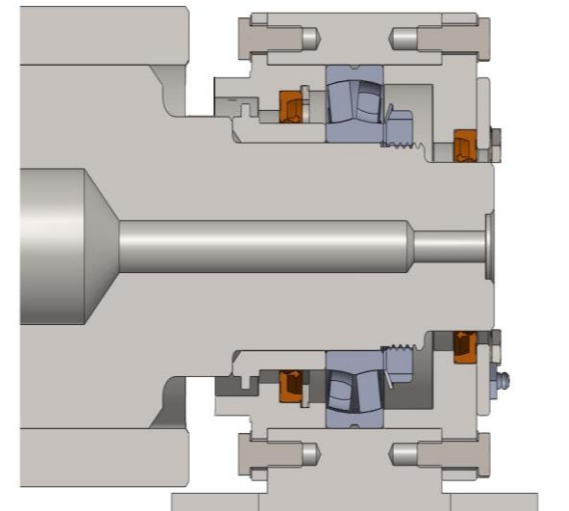
Şekil 4. Tek Keçeli Olarak Su Karışmış ve Bozulmuş Gres



Şekil 5. Suya Maruz Kalmış Rulman



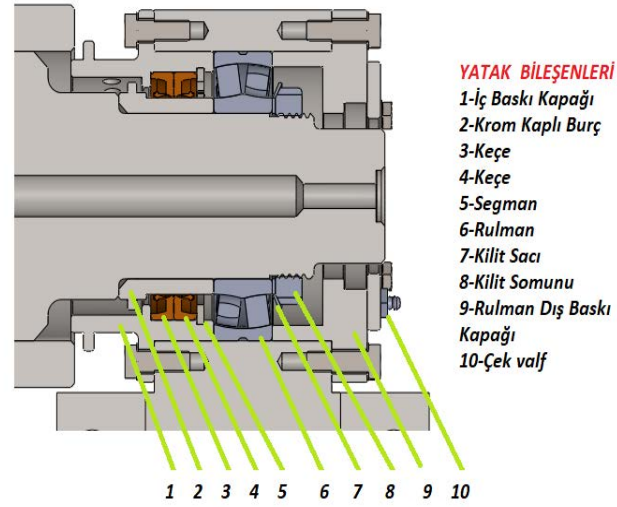
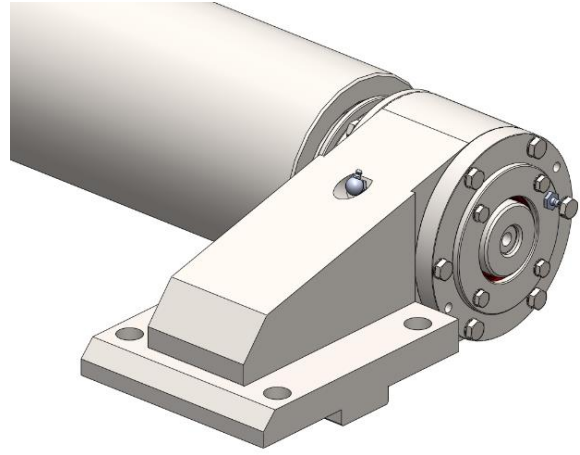
Şekil 6. Suya Maruz Kalmış Rulmanda Oluşan Hasar



Şekil 7. Tek Keçeli Tasarlanmış Rulman Yatağı

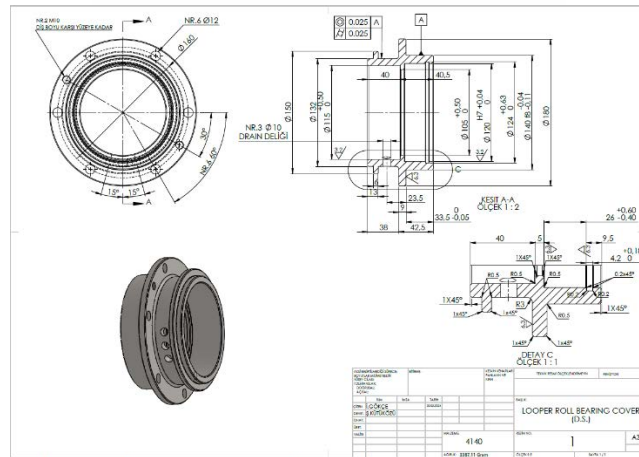
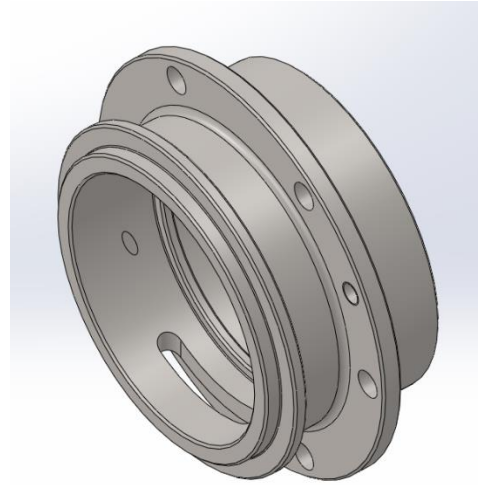
2. Deneysel Çalışmalar

Looper Roll rulman yataklarında oluşan rulman hasarlarının önüne geçilmesi için yatak içerisindeki çift keçe montajı yapılabilecek şekilde yeniden tasarlanması kararlaştırıldı. SolidWorks katı model çizim programı kullanılarak tasarım işlemi tamamlanmıştır.



Şekil 8. Çift Keçeli Tasarlanmış Rulman Yatağı

- 1 numaralı rulman baskı kapağı revize edildi;
- 1. Roll tarafına uzatıldı.
- 2. Su ve yağ tahliye deliği açıldı.
- 3. İki keçeli montaj için iç kısım genişletildi
- 4. Uzatılan kısma set eklendi.



Şekil 9. Yeni Tasarım Keçenin Takıldığı Rulman Kapağı

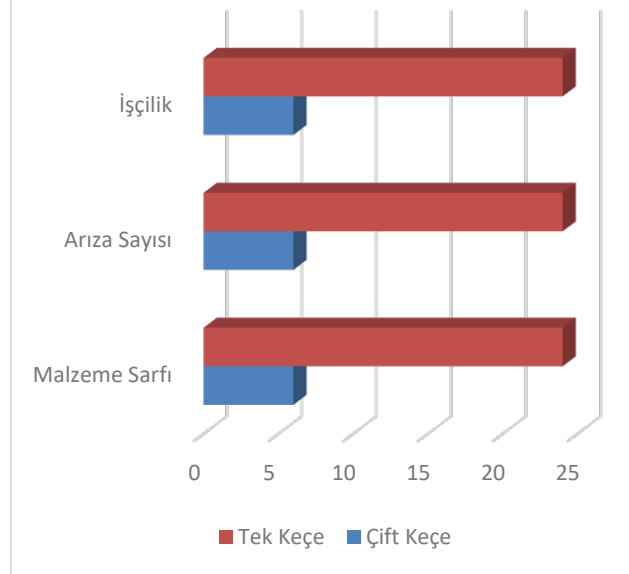


Şekil 10. Eski ve Yeni Tasarım Rulman Kapağı

3. Sonuçlar ve Tartışma

Çift Keçe olarak imalatı yaptırılmış Looper Roll'ün hatta montajı yapılmıştır. Montajı yapılan rollün periyodik olarak takibi yapılmakta olup bir senedir çalışmaktadır. Döner elemanlı rulmanların servis ömrünü çok daha uzun tutabilmek için suyla minimum teması sağlanmıştır. Çalışma ömrünün tek keçeli roll ile kıyaslaması yapıldığında çok daha fazla olduğunun tespiti yapılmıştır.

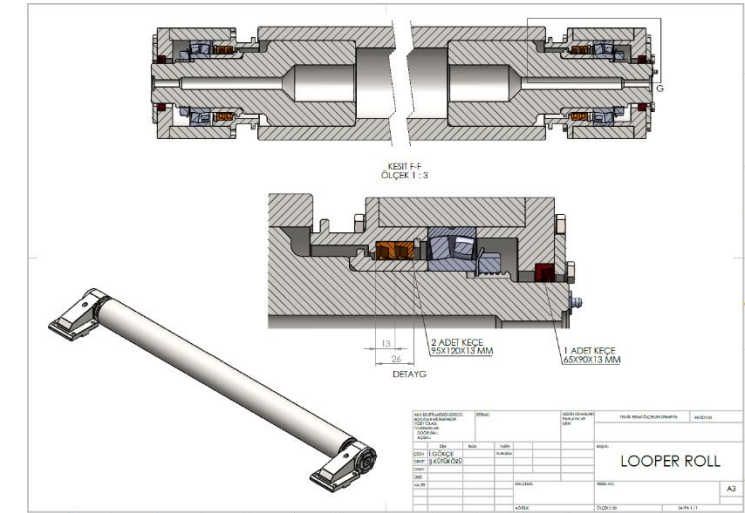
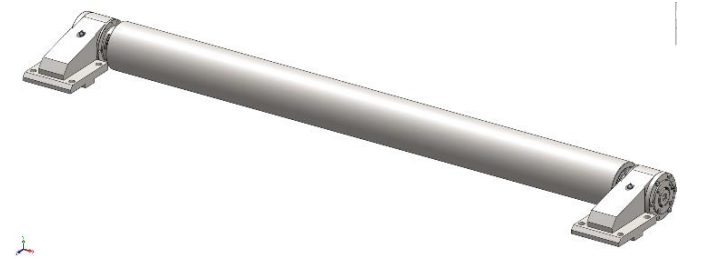
Tek ve Çift Keçeli Lopper Roll Karşılaştırması (1 yıl)



Hat üzerinde çalışan 6 adet roll tek keçeyle en fazla 3 ay çalışabilmekteydi, fakat çift keçeye dönüşümden sonra bu süre 1 yıla kadar çıkmıştır. İşçilik, arıza sayısı ve malzeme sarfı gibi konularda 4 katı kazanç sağlanmıştır. Arıza sonrası 1 adet roll değişimi 1 saat sürmektedir. 6 adet roll'ün yılda 4 defa toplamda 24 defa değişimi yapılmaktadır. Yapılan iyileştirmeden sonra 6 adet roll için yılda sadece 6 defa değişimi ihtiyacı duyulmuştur. Toplam 18 saat üretimden kazanç sağlanmıştır.

4. Sonuç

Periyodik olarak oluşan rulman hasarlarının önüne geçilmiştir. Malzeme sarfından, işçilikten ve arıza sayılarından yıllık olarak ¼ oranında kazanç sağlanmış olup plansız duruşlarında önüne geçilmiştir.



Şekil 11. Çift Keçe Montajlı Looper Roll

Teşekkür

Su kaynaklı rulman hasarlarının önüne geçilmesi hedefiyle tamamladığımız bu projemizin sizlere model olması diler, okuduğunuz için teşekkür ederiz.

Referanslar

- [1] Mutsubishi-Hitachi Metals Machinery Inc. İsdemir Hot Strip Mill Project Documents (ISD-HSM)
 (Contract No. MY.3/2-2-258.33.09023.000(31))

Serme Kafa Malzeme Takılmalarına Önlem Amaçlı Serme Kafa Yolluk Tasarımı

Layer Head Guide Design for Preventing Material Blockages in the Layer Head

Hasan KAHRAMAN, Muhammed Ali YILMAZ, Hikmet SALLAR, Onur DOĞDU, Mehmet Canberk YILMAZ, İsmail REÇBER

İskenderun Demir ve Çelik

Türkiye

Anahtar Kelimeler: Serme Kafa, Kangal Haddehanesi, Serme Kafa Yolluğu

Abstract

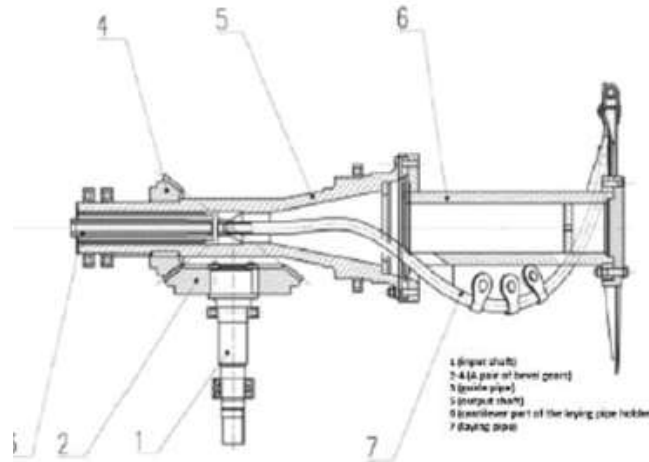
The Layer Head in the Wire Rod Mill (İSDEMİR) production line is a critical part of equipment used for shaping and forming. The role of the "Layer Head Horn", located at the entrance, is to absorb impact, which means the channel is subject to frequent wear and needs to be replaced regularly. With the new channel design, the part has become more complex, and the time required for channel replacement has been significantly reduced. This improvement contributes to the efficiency of production processes, enhancing the sustainability, productivity, and time management of the facility.

Özet

Kangal Haddehanesi (İSDEMİR) üretim hattında kritik öneme sahip ekipmanlardan biri olan Serme Kafa; bir şekil ve form verme ekipmanıdır. Form verme işlemini karşılayan Serme Kafa Boynuzu'nun girişindeki yolluğun darbeyi absorbe etme görevi olduğu için kolay aşınabilen ve sık sık değiştirilmesi gereken bir yolluktur. Yapılan yeni yolluk tasarımı sayesinde parça kompleks hale gelmiş olup yolluk değişim süresi önemli ölçüde kısaltılmıştır. Bu geliştirme, üretim süreçlerinin verimliliğini artırarak, tesisin sürdürülebilirliğine, üretkenliğine ve zaman yönetimine katkı sağlamaktadır.

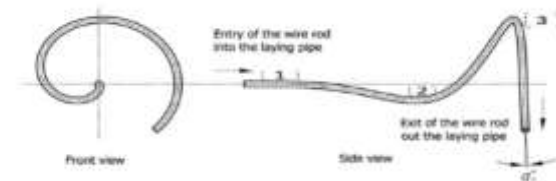
1. Giriş

Kangal Haddehanesi (İSDEMİR) üretim hattında kritik öneme sahip ekipmanlardan biri olan A ve B hattındaki Serme Kafa, malzemenin şekillendiği, son halini aldığı ve sonrasında mekanik özelliklerini kazandırmak amacıyla konveyör adı verilen fanlı bölgeye aktaran ekipmandır



Şekil 1. Orijinal Serme Kafa İç Dizaynı

Montaj açısı 15° ila 20° arasında değişir ve boynuz aracılığıyla düz telin spiral formda dönerek bir halka (filmaşın) şeklinde son ürüne dönüştürülmesini sağlar. Serme kafa ekipmanının çalışma prensibi, bir motor tarafından tahrik edilen ve konik dişliler aracılığıyla hareket sağlayan bir mekanizmaya dayanır. Bu mekanizma, serme kafa yolluğu ve boynuzun bulunduğu boş milin eş zamanlı olarak dönmesini sağlar. Serme kafa yolluğu, boş mil üzerine vida ile monte edilirken, serme kafa boynuzu ise boynuz kelepçeleri ve civatalar yardımı ile serme kafaya bağlanır.



Şekil 2. Serme Kafa Boynuzu

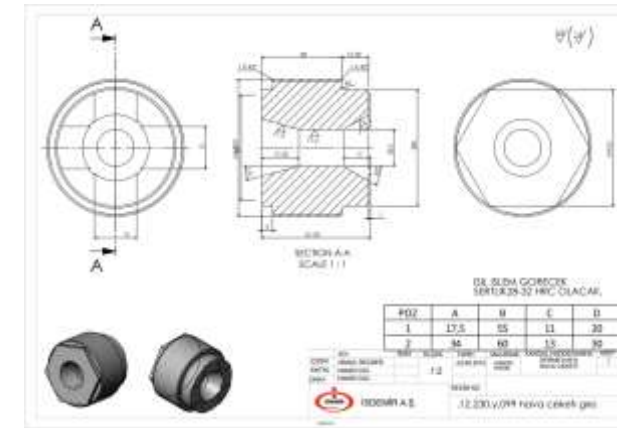
Serme kafa boynuzu Arşimet spirali prensibine göre, özel kalıplar yardımıyla üretilir. Düz borular ısıtılarak bükülüp şekillendirilir. Serme kafanın düz kısmı, şekil değiştirme kısmı ve dengeleme kısmı boyunca ilerleyen tel, serme kafa boynuzunun çıkışından serme diskinin eğrisini takip eder. Serme Kafa bölgesinde malzemeyi karşılayan ve şekil verme görevini üstlenen Boynuz adlı ekipmana malzemeyi aktaran parçaya Serme Kafa Yolluğu denmektedir. Üretici Firmanın

tasarımına göre Serme Kafa Yolluğu tek parça olarak üretilmiş ve değişimi için Serme Kafa'nın açılması gereken şekilde dizayn edilmiştir. Serme kafa bölgesinde, sıkça malzeme takılmaları yaşanmaktadır. Bu tür takılmalar sırasında duruş süreleri, personelin hızına ve deneyimine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Malzeme takılmalarını önlemek ve olası takımlarda duruş sürelerini minimize etmek amacıyla, yeni tip bir serme kafa yolluğu tasarımı gerçekleştirme kararı alınmıştır. Yeni tasarım yollukta, önceki tek parça tasarım kompleks hale getirildi ve kanal kısmı Boynuz'a bağlı iken malzemenin aşındırdığı kafa kısmı sökülüp takılabilir hale getirildi. Bu yenilikçi yolluk tasarımı sayesinde, personelin müdahalesine dayalı değişiklikler ortadan kaldırıldı. Ayrıca, rutin kontrol işlemleri sırasında ekipman kontrol edilerek, değişim için gereken süre optimum seviyeye çekildi. Sonuç olarak, malzeme takılmalarının önüne geçilmesi beklendi ve yolluk değişim süresinin önemli ölçüde kısaltılması tahmin edildi.

2. Serme Kafa Yolluğu Tasarım Çalışma Aşamaları

2.1. Orijinal Serme Kafa Yolluğu

Serme kafa içindeki boynuza malzemenin iletilmesini sağlayan serme kafa yolluğunun orijinal şeklinde, yolluk tek parça olup değiştirilmesi için serme kafanın komple açılıp yolluğun tamamının değiştirilmesi gerekmektedir. Bu durumda kalan malzemelerle birlikte yolluk değişimleri de yıllık 36,5 saat fazla duruşa sebep olmaktadır.



Şekil 3. Orijinal Serme Kafa Yolluğu

2.2. Yeni Serme Kafa Yolluk Tasarımı

Yeni tasarlanan Serme Kafa Yolluğu Şekil 1' de görüldüğü gibi tek parça yerine 4 parçadan oluşmaktadır. Yeni tasarım ile amaçlanan; kompleks bir parça oluşturup, sadece malzemeyi karşılayan yani aşınan bölgenin değiştirilmesiyle Serme Kafa içinde yaşanacak problemlerin önüne geçmek ve Serme Kafa Yolluğu değişim süresini kısaltmaktır. Bu tasarım sayesinde uzun süre personel tarafından ekipmanın ayarlanma işi süresi ve yetkin personel ihtiyacı olmadan ekipmanın değişimi yapılabilmektedir.



Şekil 4: Yeni Tasarlanan Serme Kafa Yolluğu

Şekil 2' de görüldüğü gibi yeni serme kafa yolluğu dış somun, Poz 1 için 17 mm insort, Poz 2 için 22 mm insort, insort sabitleme ve yolluktan oluşmaktadır. Üretimde 2' li poz sistemine geçilmiş olup Poz 1; 5,5 ve 12 mm arası üretimleri karşılamakta olup Poz 2; 12 mm ve 16 mm üretimlerini karşılamaktadır.

3. Sonuçlar ve Tartışma

Serme Kafa yolluğunun yeni dizaynı öncesinde, Serme Kafa bölgesinde yaşanan duruşların kaynakları; kök neden yöntemi ve pareto analizi yöntemleriyle analiz edilmiştir. Serme Kafa kaynaklı olan duruş miktarı 2023 senesinde 37 saat olup duruşların %67' lik kısmının Serme Kafa girişinde olduğu tespit edilmiştir. Kalan sebeplerde de, dolaylı yoldan etkiye rastlanmıştır. Bu sebepten ötürü serme kafa yolluk tasarımı değişimine gidilmiştir.



Resim 1: Yeni Serme Kafa Yolluğu Parçaları



Resim 2: Yeni Serme Kafa Tasarımı Sahada Montajlı Görüntüsü

4. Sonuç

Serme Kafa Yolluk tasarımında yapılacak değişikliğin duruş sürelerine önemli derecede etki etmesi öngörülmüştür. Yapılan tasarım değişikliği ile 2023 yılında 37 saatlik Serme Kafa kaynaklı kayıp görülürken 2024 yılında bu süre 28 saate düşürülmüştür.

Tablo 1: Saat Farkı Hesaplama

Tarih	Üretim Kaybı (Ton/yıl)	Üretim Kaybı (Saat)
2023	1604,68	37,47
2024	1234,2	28,05

Ayrıca 2023 senesinde üretim kaybı serme kafa kaynaklı 1604 ton iken 2024 yılında 1234 tona kadar düşürülmüştür. Bu da Serme Kafa Yolluğunda yapılan değişim sayesinde yılda yaklaşık 246 kütük üretim kaybını önlemiştir.

Dual Fazlı Galvanizli Çeliğin Sünek Hasar Davranışının Sonlu Elemanlar ile Modellenmesi

Finite Element Modeling of Ductile Fracture Behavior of Dual Phase Galvanized Steel

İbrahim YELEK^{1,2}, Refiye ARDALI^{1,2}

¹Borçelik Çelik Sanayii, ²Bursa Teknik Üniversitesi

Türkiye

Anahtar Kelimeler: Demir, Çelik, Refrakter, Metaller, Enerji

Abstract

In recent years, especially in line with sustainability and green production efforts, reducing carbon consumption has become increasingly important for manufacturers. As a result, steel manufacturers are intensifying their efforts to use their products in more sustainable designs and to shape them more effectively. In this study, the ductile fracture behavior of DP600 steel grade, which is used intensively in the automotive sector, was investigated depending on the rolling direction of sheet materials. Fracture tests for the commonly used 1.0 mm thick sheet were performed as documented in the literature. Specimens with different stress states were cut and tested using DIC (Digital Image Correlation) technology in a uniaxial tensile testing machine. The force-displacement curves obtained from the experiments were repeated with numerical analysis to create accurate and highly correlated finite element models. The Hosford-Coulomb ductile fracture criterion, reduced to two dimensions, was used to observe the damage behavior in shell elements. The parameters of this criterion were derived for three different production angles: 0 degrees in the rolling direction, 45 degrees transverse to the rolling direction and finally 90 degrees perpendicular to the rolling direction. According to the results, a significant change in the damage limit of the material was observed depending on the production direction. Especially in the experiments conducted perpendicular to the rolling direction, a significant decrease in the damage limit in the plane strain tensile region of the material was observed. The stress triaxiality value of this region is almost the same as the stress triaxiality value encountered in bending processes, and this clearly explains why bending processes in the rolling direction can be performed more easily and smoothly. The damage limits of the samples tested in the rolling direction showed superiority over the others for almost all stress triaxiality values. As the angle of the production direction increases, the plastic strain linearity of the fracture locations of the material deteriorates according to the stress state.

Özet

Son yıllarda, özellikle sürdürülebilirlik ve yeşil üretim çabaları doğrultusunda, üreticiler için karbon tüketimini

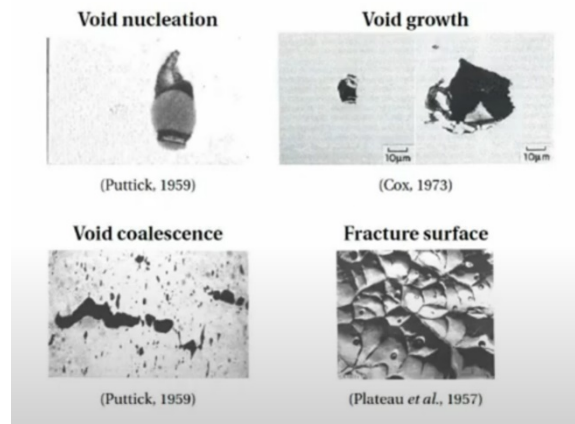
azaltmak giderek daha önemli hale gelmiştir. Bunun sonucunda çelik üreticileri, ürünlerini daha sürdürülebilir tasarımlarda kullanmak ve daha etkili bir şekilde şekillendirmek için çabalarını yoğunlaştırmaktadır. Bu çalışmada, özellikle otomotiv sektöründe yoğun olarak kullanılan sac malzemelerin haddeleme yönüne bağlı olarak DP600 çelik kalitesinin sünek kırılma davranışı incelenmiştir. Yaygın olarak kullanılan 1,0 mm kalınlığındaki sac için kırılma testleri literatürde belgelendiği şekilde gerçekleştirilmiştir. Farklı gerilme durumlarına sahip numuneler kesilmiş ve tek eksenli çekme test makinesinde DIC(Dijital görüntü korelasyonu) teknolojisi kullanılarak test edilmiştir. Deneylerden elde edilen kuvvet-yer değiştirme eğrileri, doğru ve yüksek oranda ilişkili sonlu eleman modelleri oluşturmak için sayısal analizle tekrarlanmıştır. Kabuk elemanlardaki hasar davranışını gözlemlemek için iki boyuta in-dirgenen Hosford-Coulomb sünek kırılma kriteri kullanılmıştır. Bu kriterin parametreleri üç farklı üretim açısı için türetilmiştir: haddeleme yönünde 0 derece, haddeleme yönüne çapraz olarak 45 derece ve son olarak haddeleme yönüne dik 90 derece. Sonuçlara göre, üretim yönüne bağlı olarak malzemenin hasar sınırında belirgin bir değişim gözlenmiştir. özellikle haddeleme yönüne dik olarak yapılan deneylerde, malzemenin düzlem gerinim çekme bölgesindeki hasar sınırında önemli bir azalma olduğunu göstermektedir. Bu bölgenin gerilim üçeksenlilik değeri, bükme işlemlerinde karşılaşılan gerilim üçeksenlilik değeri ile hemen hemen aynıdır ve bu, haddeleme yönündeki bük-me işlemlerinin neden daha kolay ve düzgün yapılabildiğini açıkça açıklamaktadır. Haddeleme yönünde test edilen numunelerin hasar sınırları, hemen hemen tüm gerilim üçeksenlilik değerleri için diğerlerine göre üstünlük göstermiştir. Üretim yönünün açısı arttıkça, malzemenin kırılma yerlerinin plastik gerinim doğrusallığı, gerilim durumuna göre bozulmaktadır.

1. Giriş

Çeliklerin kırılma davranışlarını modelleyebilmek adına son yıllarda kırılma davranışı, plastik gerinim ve gerilme üç eksenliliğine (triaksilite) bağlı olarak yoğun şekilde çalışılmaktadır. Özellikle üretim sırasında kullanılan sac malzemelerin şekillendirilmesi sırasında meydana gelen yırtılma, çatlama gibi hasarların bilgisayar ortamında tespit

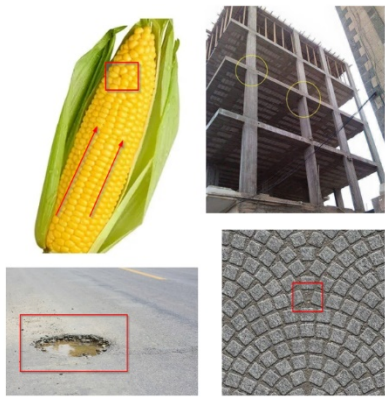
edilebilmesi için malzemelerin mekanik özellikleri ve sünek kırılma davranışının detaylı olarak karakterizasyonunun yapılması gerekmektedir. Çelik sınıflarına yönelik kapsamlı ve düzenli test faaliyetleri yürüterek toplanan verilerin işlenmesi ile farklı çelik ailelerine, kalınlıklara ve farklı üretim parametrelerine göre kırılma eğrilerinin türetilmesi ile hızlı ön görü yaparak kritik problemlerin çözülmesi ve malzemelere ait çok hızlı şekilde kırılma parametrelerinin türetilmesi için çalışmanın çıktıları büyük önem ifade etmektedir.

Sünek kırılmanın ilk aşaması Şekil 1'de görüleceği gibi malzemenin mikroyapısında çatlakların veya boşlukların oluşumuyla başlar. Bu boşluklar genellikle malzemenin içindeki mikro yapısal kusurlar, ikinci faz parçacıkları veya dislokasyon yığınları etrafında meydana gelir.



Şekil 1. Sünek kırılma mekanizmaları ilk çalışmalar [1]

Çelik malzemelerde, dislokasyonlar (atom düzlemlerinin kayması) plastik deformasyonun temel mekanizmasıdır. Yük altında dislokasyonların hareketi, malzemenin büyük deformasyonlara uğramasına olanak tanır. Dislokasyonlar atomların dizilişlerinde meydana gelen süreksizliklerdir. Süreksizlik kavramı Şekil 2'de verilen örnek gibi hayatın içinde birçok farklı durumda karşımıza çıkmaktadır. Dislokasyon kusurlarında bu örnekler benzer.



Şekil 2. Günlük hayattan düzensizlikler, süreksizlikler

Makro çatlaklar belirli bir kritik büyüklüğe ulaştığında, malzeme ani ve büyük bir plastik deformasyon ile kırılır. Sünek kırılma, genellikle belirgin bir boyun verme (necking) bölgesi ile karakterize edilir. Sünek malzemelerin kırılma öncesinde büyük plastik deformasyon gösterir, boyun verme ve nihai kırılma aşamaları, malzemenin kırılma öncesinde büyük enerji absorbe ettiğini gösterir. Kırılmanın farklı parametrik değerler ile matematiksel olarak ifade edilmesi üzerine geçmişten günümüze birçok çalışma yapılmıştır. Kırılma kriterlerinin en eskilerinden olan Mohr-Coulomb (M-C) kırılma kriteri, Coulomb tarafından 1776'da ve Mohr [2] tarafından 1914'te geliştirilmiştir. Bu kriter, kaya ve toprak mekaniğinde ve diğer nispeten kırılğan malzemelerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Model, fiziksel sağlamlığı ve basitliği nedeniyle tercih edilmektedir. Birçok ders kitabı, monografi ve araştırma makalesinde ayrıntılı olarak ele alınan temel bir kırılma modelidir. Gerilme tabanlı bir kriter olarak, Mohr-Coulomb modeli, elastik aralıkta ve/veya küçük gerinim plastisitesinde, kaya, toprak, beton gibi malzemelerin kırılma davranışını iyi bir şekilde çözümlemektedir. Sünek kırılmanın modellenmesi konusunda ise farklı çalışmalar ortaya atılmıştır. Fiziksel temelli bir kırılma modeli arayışında, boşlukların oluşumu, büyümesi ve birleşmesi gibi hasar mekanizmaları kapsamlı şekilde incelenmiş olup malzeme sünekliliğinin bir ölçüsü olan kırılma eşdeğer gerinimi, gerilme tensörünün ilk invariantı ile ilişkilendirilerek sünek kırılmanın büyük ölçüde hidrostatik basınçtan etkilendiği belirlendi. Hasar mekanizmalarını kapsayan ve bunları kombine olarak kullanan en önemli ve bilinen modellerin başında Gurson-Tvergaard-Needleman (GTN) modeli [3] gelmektedir. Birçok farklı çalışmada yakın zamanda bile etkili şekilde kullanılan bu model, ilk ortaya çıktığında yüksek gerilme üç eksenliliği ile karakterize edilen baskın çekme kırılmasını iyi tanımlamakla birlikte kesme kırılmasını etkili şekilde öngörememekteydi. Bu yüzden boşluk büyümesi ve birleşme modelini kullanarak kesme kırılmasını tahminleyebilecek şekilde kriterler üzerine çalışmalar yapılmıştır. Kırılma kriterinin karma gerilme-gerinim formülasyonu şeklinde kurgulanması düşük gerinim değerlerinde gerilme bazlı olarak, yüksek plastik gerinim değerlerinde ise gerinimlerin çözünürlüğünün gerilmelere göre çok daha büyük olması nedeniyle daha efektif olarak çalışmaktadır. Sünek kırılmanın "fiziksel temelli" modelleri ile paralel olarak, bir dizi ampirik kırılma modeli [4] literatürde kalıcı bir yer edinmiştir. Bu modeller geniş kapsamlı test programlarına dayanmakla birlikte olup dairesel kesitli malzemeler ve/veya levhalar üzerinde yapılmıştır. Numune tipleri farklılıklar göstermektedir. Çentiksiz ve çentikli dairesel çubuklar üzerinde yapılan çekme testlerini, basma testlerini ve kesme testlerini içeren örnekler mevcuttur. Saf kayma durumuna yönelik ise özellikle sac malzemeler için kelebek tipi numuneler yoğun olarak kullanılmıştır. Bu yakın tarihli testlerin tümü, malzeme sünekliliğinin hem gerilme üç eksenliliğine hem de Lode açısı parametresine bağlı olduğunu kanıtlamıştır. Genel olarak bilinen yaygın kullanılan kırılma modelleri Tablo 1'de paylaşılmıştır.

Tablo 1. Bilinen bazı kırılma modelleri

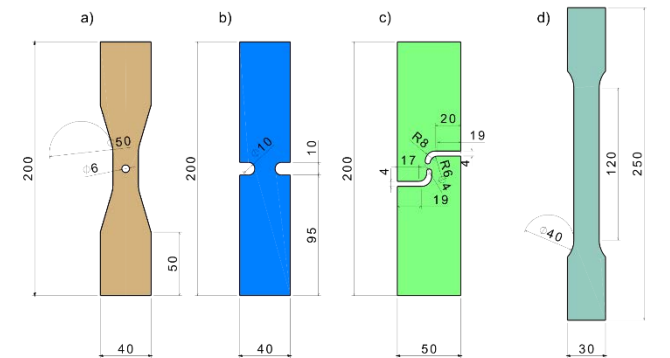
Model	Denklem	Referans
Cockroft & Latham	$\int_0^{sf} \frac{\sigma_1}{\sigma_1} d\varepsilon = C_1$	[5]
Rice & Tracey	$\int_0^{sf} \exp\left(\frac{3}{2} \frac{\sigma_m}{\sigma_i}\right) d\varepsilon = C_2$	[6]
Gosh	$\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \sigma_m = C_3$	[7]
McClintock	$\int \left[\frac{2}{\sqrt{3}(1-n)} \sinh\left(\frac{\sqrt{3}(1-n)}{2} \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{\bar{\sigma}}\right) \left(\frac{\sigma_3 - \sigma_1}{\bar{\sigma}}\right) \right] d\varepsilon = C_4$	[8]
MMC	$D(\bar{\varepsilon}_p) = \int_0^{\bar{\varepsilon}_p} \frac{d\bar{\varepsilon}_p}{f(\eta, \bar{\theta})}$	[9]
Hosford-Coulomb	$dD_{HC} = \frac{d\bar{\varepsilon}_p}{\bar{\varepsilon}_{pr}^{HC}[\eta]}$	[10]
Gurson Tvergaard Needleman	$\Phi = \left(\frac{\sigma_e}{R_e}\right)^2 + 2q_1 f^* \cosh\left(\frac{3q_2 \sigma_m}{2R_e}\right) - 1 - q_3 f^{*2} = 0$	[11]
Johnson-Cook	$D_f = \sum \frac{\Delta \varepsilon}{\varepsilon_f}$	[12]
GISSMO	$\sigma = \bar{\sigma} \left\{ 1 - \left(\frac{D - D_{crit}}{1 - D_{crit}} \right)^m \right\}$	[13]

Bu çalışmada da Hosford-Coulomb kırılma kriterine göre çift fazlı bir çeliğin modellenmesi yapılarak kırılma modeline ait parametreler hem deneysel veri hem de sonlu elemanlar verisi ile ortaya konmuştur.

2. Deneysel Çalışmalar

Çift fazlı çeliğin sertleşme ve sünek kırılma özellikleri, standart çekme, çentikli çekme, merkezi delik gerilimi, düzlem gerinim gerilimi ve kesme numuneleri üzerinde çekme deneyleri yapılarak değerlendirilmiştir. Bölgesel gerilme ve gerinim alanlarının gelişimini değerlendirmek amacıyla her deneyin ayrıntılı sonlu eleman analizi yapılmıştır

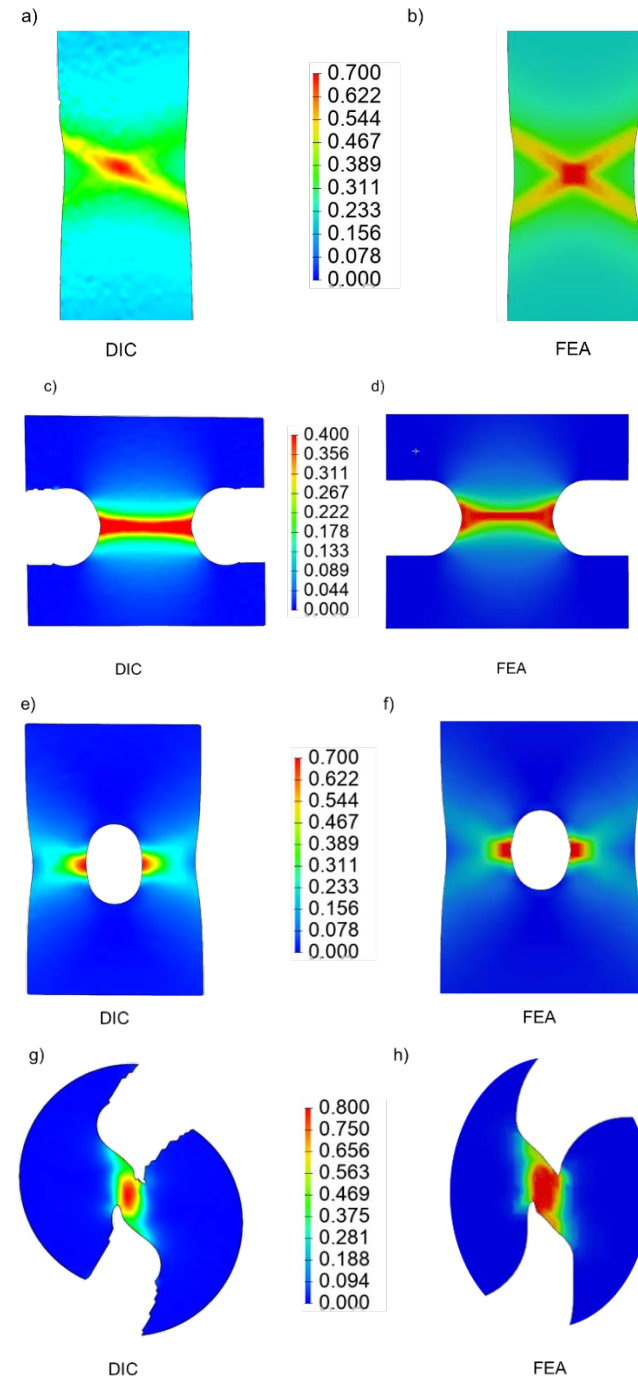
Deneysel çalışmalar için kullanılacak numunelerin malzemesi DP600 otomotiv kalitesi olup, soğuk haddelenerek sürekli galvanizleme metoduyla Borçelik Gemlik tesislerinde üretilmiştir. Malzeme kalınlığı 1.0 mm olarak seçilerek tüm testlerde aynı rulonun aynı bölgelerinden alınmış plakalardan türetilen numuneler kullanılmıştır. Haddelenmiş ürünlerde meydana gelen yöne bağımlılık nedeniyle malzemelerin mekanik özelliklerinde açığa bağlı olarak farklılaşma meydana gelmektedir. Bununla ilişkili olarak malzemenin mekanik özelliklerinin belirlenmesi için 250 kN kapasiteli universal Zwick cihazında çekme testleri Şekil.3d'de yer alan ISO 6892 standart test numunesi ve hasar numunelerinin hadde yönü boyunca türetilmesi ile gerçekleştirilmiştir. Malzemenin sünek kırılma davranışının farklı gerilme durumları için inceleyebilmek adına farklı geometrilere sahip test numuneleri oluşturulmuştur. Bu numuneler düzlemsel numunelerdir. Tek eksenli çekme test cihazında kullanılabilecek ebatlara sahiptirler. ISO 6892 standardına uygun kesilen 250 mm uzunluğunda 80 mm extensometre uzunluğuna sahip numune ile malzemenin temel mekanik özellikleri üretilmiştir. Şekil 3a'da görülen merkezinde 6 mm çapında delik bulunan CH (central hole) numunesi ile 0,333 stress triaxiality değerine karşılık gelen equivalent plastic strain değerleri bulunmuştur. Bu numunenin ekstansometre uzunluğu 10 mm'dir. Plane strain tension (PST) durumu için merkezinde 10 mm çaplı çentik bulunan Şekil.3b'de yer alan geometri testlerde kullanılmıştır. PST numunesi ile stress triaxiality değeri 0,577 hedeflenmektedir. Son olarak kayma gerilmesi durumuna ait Şekil.3c'de yer alan merkezinde 4 mm genişliğinde kanal açılan test geometrisi kullanılmıştır.



Şekil 3. Hasar numunelerini ve ebatlar

Testler 2 adet kamera ile kaydedilmiştir. Kaydedilen görüntüler daha sonra GOM Aramis yazılımında dijital görüntü korelasyonu (DIC) tekniği ile işlenerek tam alan gerinme haritaları numuneler üzerinde kırılmadan hemen önce oluşturulmuştur. Hypermesh yazılımında kurulan sonlu elemanlar modelleri Altair Radioss çözücüsü ile hesaplatılarak nümerik sonuçlar ile deneysel sonuçlar karşılaştırılmış ve yüksek doğruluk ile çalışma tamamlanmıştır.

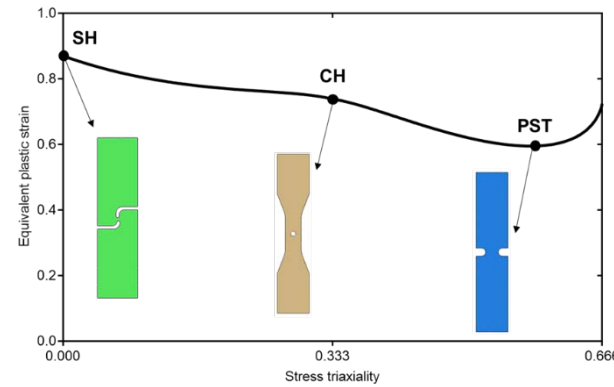
3. Sonuçlar ve Tartışma



Şekil 4. Kameralı çekme testleri (DIC) ve sonlu elemanlar analizi (FEA) sonuçları

Şekil 4.'te kameralı olarak gerçekleştirilen deneysel çekme testi sonuçları ile sonlu elemanlar analizlerinin sonuçları kıyaslanmıştır. Buna göre hasar başlangıç bölgeleri ve bu bölgelerde gerçekleşen plastik deformasyon değerleri oldukça benzerdir.

DP600 çelik kalitesine yönelik yapılan Hosford-Coulomb ve triaxiality bazlı hasar testleri, malzemenin şekil değiştirme ve kırılma davranışını anlamak için kritik veriler sağlamaktadır. Deneyler, farklı gerilme üçlülükleri (triaxiality) altında gerçekleştirilen çekme ve kesme testleriyle malzemenin sünek veya gevrek kırılma eğilimini belirlemeye odaklanmıştır. DP600 çeliğinde, orta seviyedeki triaxiality değerlerinde belirgin bir sünek kırılma davranışı gözlemlenirken, yüksek triaxiality koşullarında kırılma süreci daha gevrek bir mekanizmaya kaymaktadır. Hosford-Coulomb kriteri baz alınarak yapılan analizler, DP600'ün çatlak oluşumu ve ilerleme mekanizmaları açısından kritik yüklem yollarına duyarlılığını ortaya koymuştur. Elde edilen veriler, malzemenin otomotiv ve yapısal uygulamalarda güvenli tasarım süreçlerine katkı sağlamak üzere hasar toleransının optimize edilmesine yardımcı olmaktadır. Şekil 5'te deneylerden elde edilen hasar eğrisi paylaşılmıştır.



Şekil 5. Malzemenin hasar eğrisi

4. Sonuç

Otomotiv sektöründe kullanılan çeliklerin, tasarım aşamasında mekanik davranış özelliklerinin eksiksiz ve doğru bilinmesinin, bu çeliklerin daha tasarım aşamasındayken kullanımı sırasında öngörülemez kusurları engellemeye büyük önemi vardır. Malzeme davranışları hakkındaki güvenilir ve geçerli bilgiler, tasarım aşamasında hata payını azaltmakta ve buna paralel olarak uygun tasarımın yapılmasını sağlayarak maliyet açısından anlamlı fayda getirmektedir. Bu anlamda üretim süreçlerinin tasarımı için gerekli konulardan birisi de malzemenin hasar davranışını doğru tahmin edebilmektir. Bu çalışmada, belirlenen kırılma modeline otomotiv sektöründe sıkça kullanılan yüksek mukavemetli galvanizli çelik DP600 için veri oluşturulmuş ve gerilme üçeşliliğini tanımlanmıştır. Yüksek mukavemetli galvaniz çelikten farklı geometrilerde numuneler oluşturularak (standart numune, çentikli numune, delik merkezli numune, kesme numunesi) çekme testleri yapılmıştır. Test sonuçları belirlenen hasar modelinde çalışılarak yüksek mukavemetli çeliğin eşdeğer plastik şekil değiştirme ve gerilme üçeşliliği ilişkisi ortaya çıkarılmıştır. Bu bilgiler doğrultusunda malzeme üzerinde hasar oluşumu bilgisayar destekli analizler ile daha doğru bir şekilde modellenmiştir. Böylece çarpışma, düşürme, metal şekillendirme gibi yüksek plastik deformasyon olan durumlar için belirlenen hasar modeli güvenilir ve daha etkin olmuştur. Projenin yeni projelerle desteklenmesi için hadde yönüne göre 45° ve 90° açılı numuneler oluşturularak yeni bir çalışma yapılmasına karar verilmiştir.

Referanslar

- [1] J. Plateau, G. Henry, C. Crussard, Quelques nouvelles applications de la microfractographie, *Revue de M^tallurgie* 54 (1957) 200–216.
- [2] Otto Mohr, *Abhandlungen aus dem gebiete der technischen mechanik; mit zahlreichen textabbildungen*, Wilhelm Ernst & Sohn, 1906.
- [3] A. Needleman, V. Tvergaard, AN ANALYSIS OF DUCTILE RUPTURE IN NOTCHED BARS, 1984.
- [4] J.W. Hancock, A.C. Mackenzie, On the mechanisms of ductile failure in high-strength steels subjected to multi-axial stress-states, *J Mech Phys Solids* 24 (1976) 147–160. [https://doi.org/10.1016/0022-5096\(76\)90024-7](https://doi.org/10.1016/0022-5096(76)90024-7).

- [5] D.J.L. M. G Cockcroft, Ductility and the Workability of Metals, *Journal Institute of Metals* 96 (1968) 33–39.
- [6] J.R. Rice, D.A. Tracey, ON THE DUCTILE ENLARGEMENT OF VOIDS IN TRIAXIAL STRESS FIET,DS*, Pergamon Press, 1969.
- [7] A.K. Ghosh, A Criterion for Ductile Fracture in Sheets Under Biaxial Loading, n.d.
- [8] F.A. McClintock, A Criterion for Ductile Fracture by the Growth of Holes, 1968. <http://www.asme.org/about-asme/terms-of-use>.
- [9] Y. Bai, T. Wierzbicki, Application of extended Mohr-Coulomb criterion to ductile fracture, *Int J Fract* 161 (2010) 1–20. <https://doi.org/10.1007/s10704-009-9422-8>.
- [10] D. Mohr, S.J. Marcadet, Micromechanically-motivated phenomenological Hosford-Coulomb model for predicting ductile fracture initiation at low stress triaxialities, *Int J Solids Struct* 67–68 (2015) 40–55. <https://doi.org/10.1016/j.ijsolstr.2015.02.024>.
- [11] V. Tvergaard, A. Needleman, ANALYSIS OF THE CUP-CONE FRACTURE IN A ROUND TENSILE BAR, 1984.
- [12] G.R. Johnson, W.H. Cook, Fracture characteristics of three metals subjected to various strains, strain rates, temperatures and pressures, *Eng Fract Mech* 21 (1985) 31–48. [https://doi.org/10.1016/0013-7944\(85\)90052-9](https://doi.org/10.1016/0013-7944(85)90052-9).
- [13] M. Dai, L. Ying, S. Wang, H. Ma, P. Hu, Y. Wang, Modeling the crashworthiness analysis of functional graded strength thin-walled structure with phenomenological GISSMO model, *Thin-Walled Structures* 180 (2022). <https://doi.org/10.1016/j.tws.2022.109766>.

Next-Generation Quality Execution: Integrating Surface Inspection Data for Smarter Manufacturing

Helga EVERS, Sevda SAROVA
QuinLogic
Germany

Keywords: Quality, Surface Inspection Data, Quality Execution System

Abstract

The Quality Execution System (QES®) is designed to enhance quality management in metal production by simplifying the handling of complex quality criteria and large volumes of measurement data. A key component of QES® is its Surface Inspection Data Analysis application, which integrates surface inspection data into quality monitoring, defect analysis, and product grading. By leveraging hierarchical data models, advanced visualization tools, and post-processing algorithms, the system enables manufacturers to assess surface quality with greater precision and efficiency. The QualityMonitor allows users to filter, reclassify, and post-process SIS data, while advanced genealogy enables comprehensive defect tracking across multiple process steps. Additionally, data correlation analysis helps identify root causes and predict potential quality issues. This paper explores the functionalities of the QES® Surface Inspection Data Analysis application and its impact on improving defect detection, grading accuracy, and process optimization in metal production.

1. Introduction

The Quality Execution System (QES®) supports metal production facilities in improving quality management and also helps quality personnel to handle ever more complex quality criteria from customers. At the same time, the use of advanced gauges and their large data volume measurement results is simplified. To achieve this end, the quality criteria imposed through the product order is converted into a quality rule set using QES® software. The rules are then executed for each product (coil, slab, plate, bloom, bar, wire etc.) and a grading result is displayed to quality experts for approval.

The inspection of surfaces before delivery to customers has always been an important step in quality assurance. This is particularly important for customers in whose applications sheet metal is visible from the outside and has a decorative function. But defects such as scratches, holes and inclusions can also mean important functional limitations, e.g. for the strength or tightness of objects produced from them. The data provided by surface inspection systems (SIS) contain important information that provides insights into the process and quality beyond the actual inspection.

2. SIS Data Related Functions in the QES®

Surface inspection data play a very important role in quality management and there are quite a few appearances in the QES®:

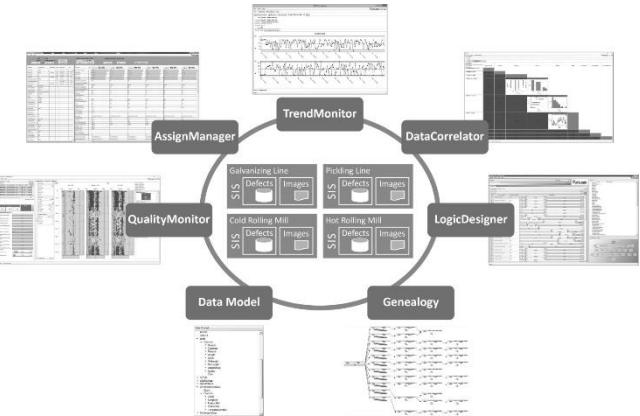


Figure 1. SIS data analysis applications in the QES®.

- By extending the **data model**, all surface inspection data become accessible by its hierarchical data context.
- Based on **genealogy**, data of all inspection systems are directly accessible and relatable.
- This can be used in the QES® **LogicDesigner**, where surface defects can be considered for product grading both in simple threshold rules and in more complex script rules.
- The QES® **QualityMonitor** allows to visualize surface defects on maps or in other representations. This data can be aligned next to process and other quality data, and there are many opportunities for postprocessing or reclassification.
- In connection with the QES® **AssignManager**, a product with too many defects for the original order can be reassigned.
- In connection with the QES® **DataCorrelator**, the QES® Surface Inspection Data Analysis application allows us to look into relations between defects and process parameters from any process step.

- In connection with the QES® **TrendMonitor**, the long-term development of defects and defect frequencies can be monitored.

In the following we take a closer look at the options offered by the QES® QualityMonitor for displaying, viewing and editing SIS data.

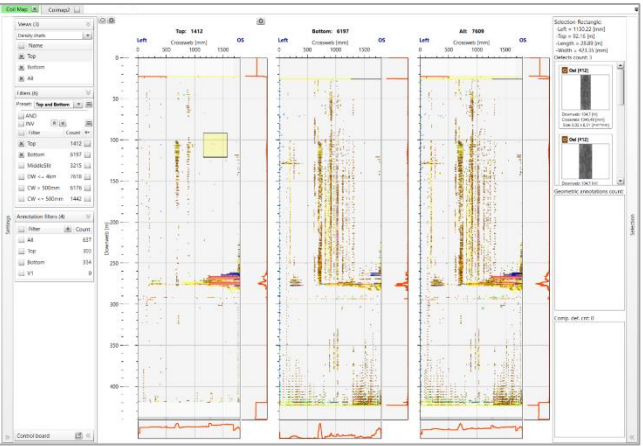


Figure 2. Typical defect map in the QES® QualityMonitor.

3. Visualization of Defect Data

The QES® QualityMonitor provides universal defect maps that cover all standard features offered by traditional surface inspection systems. However, the universal defect map goes beyond the standard set of features and can be efficiently setup during rollout and maintenance,

In figure 2 we can see an example of how this new defect map application looks like. The three areas of the universal defect map control contain the defect views (middle), settings including filters for defects and annotations (left), and the display area for defects and annotations (right)

Of course, features like display of defect densities or defect images with zooming and measuring functions are available. However, functions that enable efficient work are particularly important, as the evaluation of surface defects is one of the most frequent activities of quality experts. Special attention was therefore paid to usability, so that the most diverse usage scenarios are supported in the best possible way. This includes configurable keyboard navigation and the option to manage any number of defect maps with different default settings, supporting specific work tasks.

3.1. Filtering defects

On a defect map there are typically a lot of defects and a lot of them might not be interesting to the quality expert at this very moment. In the QES® QualityMonitor we have not only the possibility to filter defects by type, severity, top/bottom,

etc. but we can use “presets”, which is basically a saved combination of filter settings that are pre-selected.

We can also do advanced filtering via scripts. Here we can define simple filters, or we can have more complex filters depending on what is required. We have full access to the data model, especially the parts that are related to the context of defects.

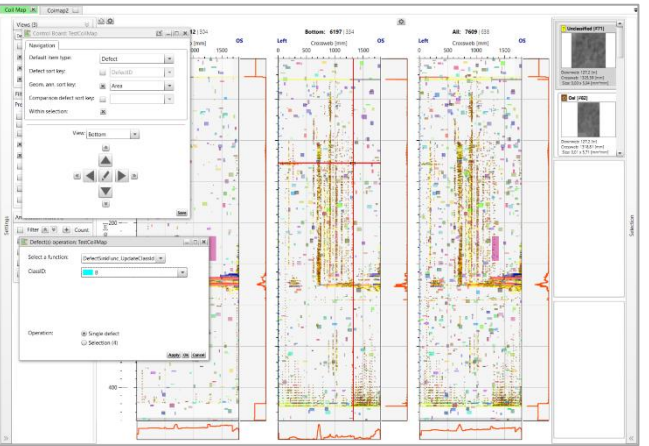


Figure 3. Manual re-classification of defects.

3.2. Reclassifying surface defects

Surface inspection systems are not 100% reliable and incorrect classifications occur regularly. While these incorrect class assignments might have no serious consequences and can be tolerated, it can also be desirable to be able to change the class assignment. The universal defect map supports defect reclassification through an efficient and easy-to-use interface and process (see figure 3).

3.3. Post-processing surface defects

However, the limitations of surface inspection systems can lead to a general misjudgment of product quality. The product quality can be assessed as too good, leading to complaints, or it is assessed as too bad, which might lead to unnecessary downgrading. For this reason, post-processing is widely used in surface inspection systems. The post-processing algorithms that are typically used consider different scenarios like

- clustering of defects in the form of area type or longitudinal defects (see figure 4)
- periodicity of defects
- defect positions, e.g.
 - if a defect is close to the edge
 - whether it is detected on the top or the bottom side
 - or at the coil head or tail
- differentiating defects for different material grades

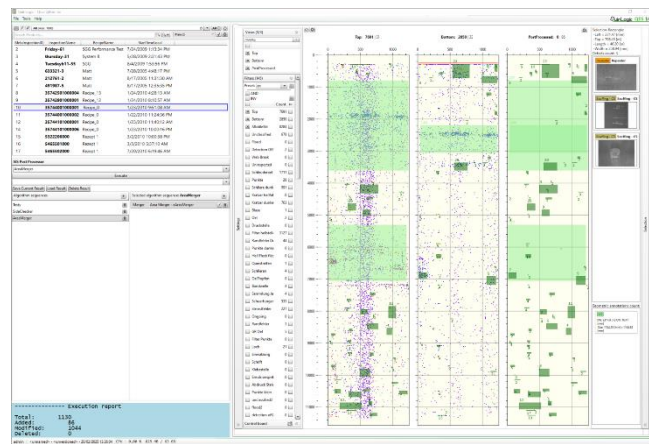


Figure 4. Post-processing of SIS data.

These and other post-processing methods can be used in the QES® QualityMonitor, regardless of the type of inspection system. What makes this approach even more powerful than the post-processing by a surface inspection system is that the QES® can access the entire data context for the post-processing, i.e., not only the surface inspection data, but all measurement data that is available for a specific product.

The SIS-PostProcessor will be extended by further algorithms in upcoming releases and can be extended and adapted by the users.

4. Advanced Level of SIS Data Analysis

The next level of SIS data analysis starts when the boundaries of a single processing line and surface inspection system are crossed (see figure 5).

For a single surface inspection system, we are limited to defect classification based on the images at this one line where it is installed. This means we are not able to get the complete picture of surface defects on a product and to answer all our questions. For example:

- Was a defect already recognized in the upstream process, or does it show up for the first time here?
- This can influence interpretation and possible countermeasures significantly.
- Has a defect changed appearance and severity between the process steps?
- Can a defect occurrence be related to process events at any of these process steps?

The QES® fully supports the tracking of products and genealogy features in general by modeling the production plant in terms of material flow. In the product genealogy graph every product is clearly identifiable in every step, and we can trace along each of these paths in both directions (see Figure 5, top right).

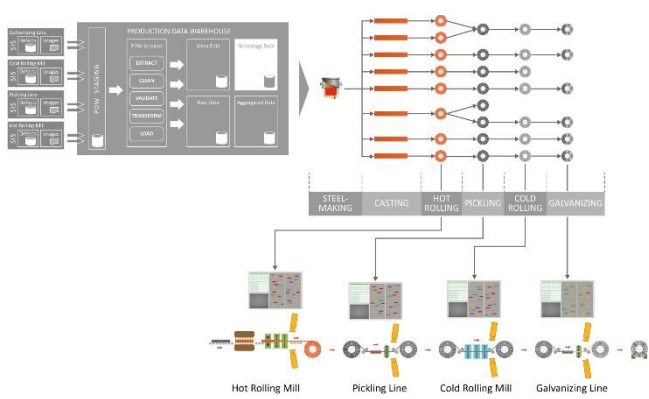


Figure 5. Plantwide analysis of surface inspection data using the Production Data Warehouse and advanced genealogy modelling.

4.1. Stacking defect maps

In the QES® QualityMonitor, it is not only possible to display and evaluate the defect map of a single coil. In fact, the defect maps of a series of coils can be linked together so that defect progressions can be tracked over a longer period of time. It is also possible to superimpose the defect maps of several coils. In this way, weak defect phenomena that are not recognizable on a single defect map can be made visible by superimposing them.

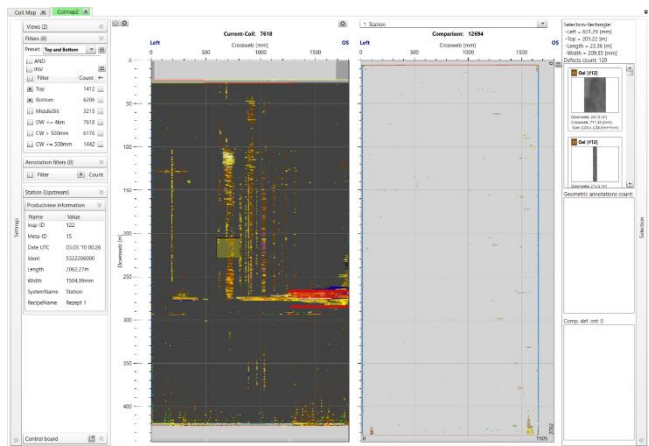


Figure 6. Alternative defect map selectable via tab (top) and comparison defect view (right).

4.1. Comparing defect maps

In figure 6, we see a very specific use of a defect map: the comparison defect map. Here we can compare one product with another one from either the upstream or the downstream process. In the example shown, we see the information from the top and bottom side of the reference product on the left side. On the right side we see the information of the same coil from a different process step.

It should be noted here that the comparative coil is shown in the correct position and that differences due to division, shortening and trimming are fully considered by the underlying genealogy model. It is also irrelevant whether the inspection systems on both lines come from the same supplier or are of different types.



Figure 7. Typical display of grading results in the QES® QualityMonitor based on frequency of defects.

4.1. Defect and coil grading

The main function of the Quality Execution System is to provide automatic product grading, i.e. based on a specific rule set, each product is checked about compliance with the customer's specifications. Of course, defect occurrences and densities can be considered in grading rules and thus influence the product grade (see figure 7).

4.1. Defect Root Cause Analysis and Prediction

There are several further ways how the QES® can assist beyond the assessment of surface quality for a product. Let us assume we have an educated guess, what can be responsible for the appearance of certain defects. We have an idea that certain process parameters from an upstream process might finally influence the appearance of these types of defects that might only show up at a later stage. But we are not sure if there is a real correlation, and we have no idea how to combine this in a kind of predictive rule. So, even if these parameters turn out to be somehow responsible: from what level or from what value on we should raise an alarm? Based on our assumptions and historical data of released and blocked products we can then use the QES® DataCorrelator to see, if the occurrences of this defect correlate to any process parameter at any process step (figure 8). If a correlation is found, the DataCorrelator also provides a descriptive rule for the detection of a critical parameter constellation, in which a quality impairment due to certain surface defects is to be expected. In this way, future quality problems can be predicted at an early stage in the process.

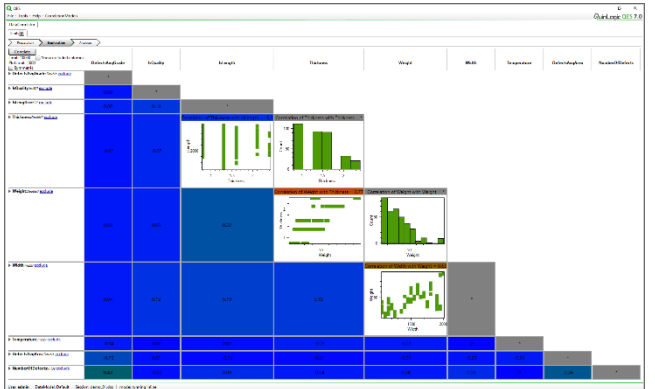


Figure 8. Typical result of correlation analysis in the QES® DataCorrelator.

4. Conclusion

The QES® Surface Inspection Data Analysis application significantly enhances the accuracy, efficiency, and effectiveness of surface quality assessment in metal production. By integrating SIS data into a unified quality execution framework, QES® enables powerful defect visualization, advanced filtering, and reclassification, ensuring that quality experts can make informed decisions with minimal manual effort. The system's post-processing capabilities mitigate the limitations of traditional SIS by allowing context-aware defect classification, improving both product grading and defect root cause identification. Moreover, genealogy modeling and correlation analysis provide valuable insights into how surface defects evolve across multiple process steps, enabling predictive quality management. As the SIS PostProcessor and DataCorrelator continue to evolve, QES® is positioned to play a pivotal role in optimizing quality assurance, reducing waste, and improving overall production efficiency in the metals industry.

Green Transformation with Hydrogen and Regenerative Burner Technologies:
CFD Performance and Efficiency Analysis

Hidrojen ve Rejeneratif Teknolojilerle Yeşil Dönüşüm: CFD Performans ve Verimlilik Analizi

Ömer TÜRKAY, Sadık DOĞAN, Onur SALCI, Furkan HAMZAOĞLU

Termo Isı Sistemleri

Türkiye

Keywords: Hydrogen Combustion, Regenerative Burners, Computational Fluid Dynamics (CFD), Energy Efficiency

Abstract

In line with the goals of energy transition and carbon emission reduction, hydrogen technologies and regenerative systems hold significant potential for sustainability in the industry. This study examines the use of hydrogen in industrial applications and the energy efficiency provided by regenerative burners through heat recovery under separate headings.

Hydrogen:

The use of hydrogen as a substitute for fossil fuels in industrial facilities has the potential to significantly reduce carbon emissions. Hydrogen's carbon-free combustion and high energy density offer considerable advantages, particularly in energy-intensive industries. Hydrogen technologies not only enhance environmental sustainability but also reduce dependency on fossil fuels.

Regenerative Burner Systems:

Regenerative burners are a technology that enables the recovery and reuse of waste heat generated during industrial processes. These systems enhance energy efficiency and reduce operational costs by minimizing fuel consumption. Furthermore, they minimize the amount of waste heat released into the environment, contributing to a reduced carbon footprint. This study focuses on the economic and environmental benefits that regenerative systems bring to industry.

These technologies provide robust solutions for increasing energy efficiency and reducing environmental impacts in industry. The use of hydrogen as a carbon-neutral fuel accelerates the energy transition, while regenerative systems ensure more efficient utilization of energy resources. Implementing these innovative approaches in industrial facilities will make significant contributions to achieving energy transition and sustainable development goals.

1. Introduction

The iron and steel industry accounts for approximately 7% of global energy consumption and 8% of CO₂ emissions, making it one of the most energy-intensive and carbon-emitting industrial sectors worldwide. Achieving net-zero carbon emissions in this sector necessitates enhancing energy efficiency and reducing CO₂ emissions through innovative technologies. Consequently, numerous global and regional agreements have been established to regulate greenhouse gas emissions and promote efficient energy utilization.

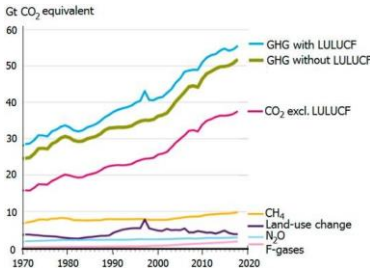


Fig. 1: (GHG) and CO₂ emission trends (1970-2020)

Among the key policies addressing this issue is the European Green Deal, which serves as the European Union's strategic framework for achieving climate neutrality by 2050.

- Reduce greenhouse gas emissions by 55% (compared to 1990 levels) by 2030,
- Achieve net-zero emissions by 2050,
- Ensure sustainable economic growth,
- Enhance climate resilience across Europe.

In October 2021, Turkey formally ratified the Paris Agreement, reinforcing its commitment to combating climate change. Aligned with the European Green Deal, Turkey has pledged to reduce its greenhouse gas emissions by 41% by 2030. To achieve this target, the country has introduced various strategies across multiple sectors, particularly in industrial manufacturing and energy production [1].

Given the high energy demand and emission levels in the iron and steel industry, transitioning to low-carbon technologies, such as hydrogen combustion and regenerative burner systems, is critical for achieving decarbonization and sustainability goals.

2. Hydrogen as an Alternative Fuel in Industrial Burners

Hydrogen is a promising energy carrier due to its zero carbon emissions and high energy content. Its combustion characteristics differ significantly from natural gas, leading to unique thermal and NO_x emission properties:

- Higher flame speed and reactivity result in more complete combustion.
- Lower volumetric energy density requires modifications in burner design.
- Increased thermal NO_x formation due to higher flame temperature, necessitating optimized air-fuel mixing strategies [2].



Fig.2: Combustion of hydrogen proportionally mixed with natural gas and combustion image of pure hydrogen

As Ecostar, we developed a 150 kW process burner to operate with a 20% hydrogen-natural gas mixture in a project supported by TÜBİTAK. Experimental tests showed a 5% increase in efficiency and 20% lower CO₂ emissions compared to traditional burners [3].

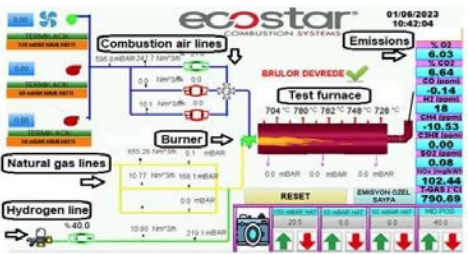


Fig.3: Schematic representation of the combustion experiment setup (Salcı, O., 2023).

Regenerative burners are widely utilized in the iron and steel industry due to their high efficiency. These burners minimize fuel consumption by recovering a significant portion of the entirety of the waste heat generated during combustion, thereby achieving high temperatures and improved efficiency. The heat recovery process is facilitated through a regenerator containing ceramic spheres, which preheats the incoming air and fuel gas, resulting in a more efficient combustion process [4].

Studies indicate that, underspecific process and temperature conditions, regenerative burners can provide up to 50% energy savings. Compared to other burner types, regenerative burners have a more complex structure and require higher installation costs. In the iron and steel industry, they are selected based on factors such as energy efficiency and greenhouse gas emissions. Additionally, central recuperator systems play a crucial role in recovering waste heat and reducing greenhouse gas emissions, further contributing to sustainability efforts.



Fig.4: Ecostar Regenerative Burner

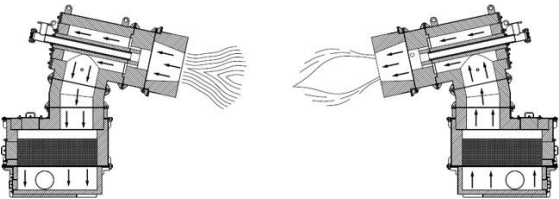


Fig.5: Working Principle of Regenerative Burners

The integration of hydrogen fuel with regenerative burners holds significant potential for enhancing the efficiency and sustainability of the iron and steel industry. Ongoing research and development efforts aim to overcome existing challenges and make this technology more accessible and cost-effective [5].

3. Material and Method

A numerical analysis was conducted using ANSYS Fluent R17 to investigate the combustion characteristics of methane and hydrogen fuels in a regenerative burner system. The study included a Computational Fluid Dynamics (CFD) approach to evaluate temperature distribution, NO_x emissions, and combustion efficiency.

Analysis Models	Selected Model
Turbulence Model	K-ε Standard
Combustion Model	Partially Premixed Combustion, FGM, Diffusion Flamelet, GniMech 3.0
Density Function	PDF, Chemical Equilibrium
Radiation Model	DO (Discrete Ordinates)
Solver Model	Coupled, PRESTO!

Fig.6: Analysis Models

The computational domain was meshed with structured hexahedral elements, ensuring an optimized balance between accuracy and computational cost. A steady-state solver was used to analyze the combustion performance and heat recovery efficiency.

Fuel Composition: Methane (CH₄) and Hydrogen (H₂) blends at different mixing ratios.

Air Preheating: Regenerative system with an inlet air temperature of 950 K.

Boundary Conditions: Velocity Inlet: Defined for preheated air and fuel injection.

Pressure Outlet: Set for the combustion chamber exhaust.

Radiation: Discrete Ordinates (DO) model applied for radiative heat transfer.

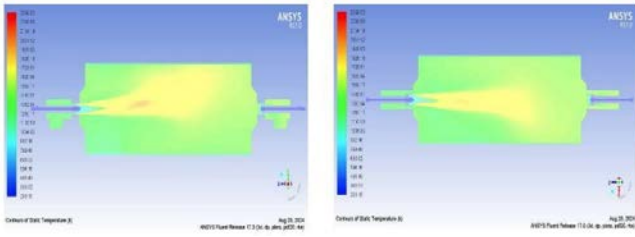


Fig.7: Ansys Methane and Hydrogen Fuel Combustion Analysis Temperature Contour

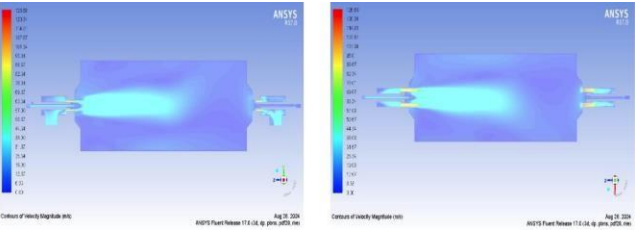


Fig.8: Ansys Methane and Hydrogen Fuel Combustion Analysis Velocity Contour

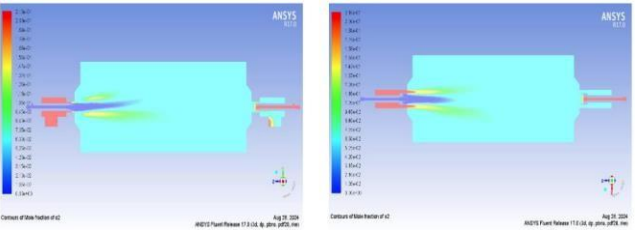


Fig.9: Ansys Methane and Hydrogen Fuel Combustion Analysis Oxygen Contour

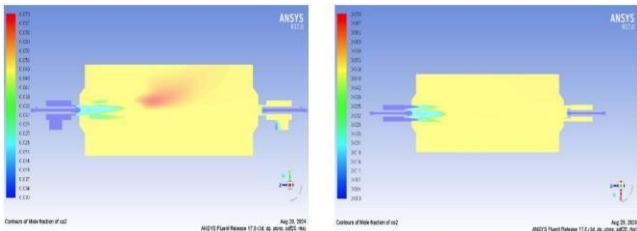


Fig.10: Ansys Methane and Hydrogen Fuel Combustion Analysis Carbon Dioxide Contour

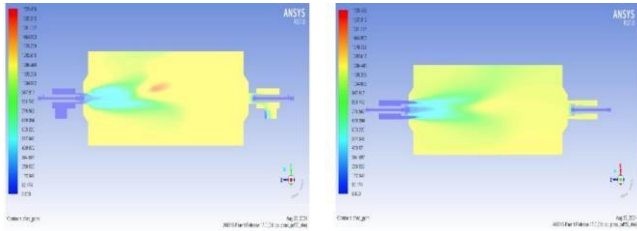


Fig.11: Ansys Methane and Hydrogen Fuel Combustion Analysis Carbon Nitrogen Oxide Contour

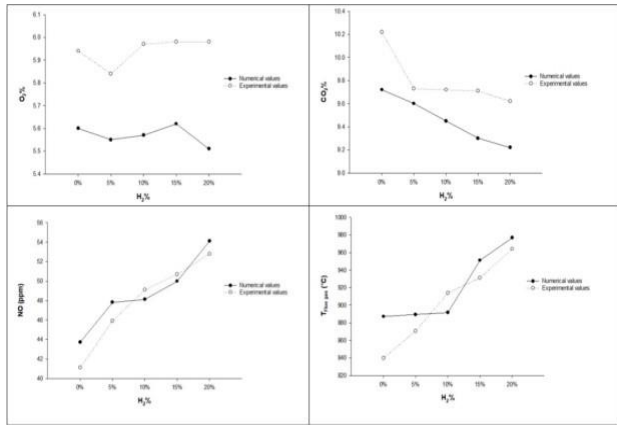


Fig.12: Comparison of numerical and experimental O₂ (%), CO₂ (%), NO (ppm) and T flue gas (°C)

4. Results and Discussions

This study provides a comprehensive analysis of the efficiency improvements and emission reductions achieved through the integration of hydrogen combustion and regenerative burner technologies in industrial applications.

Compared to conventional fossil fuels, hydrogen offers high combustion efficiency and a low emission profile, presenting significant potential for sustainable energy transition. In this context, the integration of regenerative burners with hydrogen plays a critical role in optimizing energy recovery and reducing carbon emissions in high-temperature industrial processes.

The results of this study demonstrate that hydrogen-supported regenerative combustion systems provide significantly higher efficiency and lower carbon emissions compared to conventional natural gas systems. The ability of regenerative systems to recover waste heat and utilize preheated air in the combustion process minimizes energy consumption. Furthermore, hydrogen combustion eliminates CO₂ emissions, contributing substantially to sustainability goals.

Future research should focus on the large-scale implementation of hydrogen-compatible regenerative combustion systems, addressing technical and economic challenges to facilitate widespread adoption in industrial applications. This study paves the way for the adoption of hydrogen as a sustainable fuel in industrial processes while highlighting the advantages of regenerative burner technologies in terms of energy efficiency and emission reduction. In conclusion, the development and widespread implementation of hydrogen-powered regenerative combustion systems will accelerate the green transformation of industrial processes, contributing to the achievement of carbon neutrality targets.

5. Acknowledgment

This work was supported by Termo Isı Sistemleri Ticaret ve Sanayi A.Ş. Design Center.

References

- [1] European Commission, "Hydrogen Strategy for a Climate-Neutral Europe", 2020.
- [2] Fluent Inc., ANSYS Fluent Theory Guide, 2022.
- [3] Onur Salcı, "Hydrogen Combustion in Industrial Applications," Master's Thesis, 2023.
- [4] TÜBİTAK 1501 Project Reports, Termo Isı Sistemleri A.Ş., 2023.
- [5] International Energy Agency (IEA), The Future of Hydrogen, 2019.
- [6] Termo Isı Sistemleri A.Ş., Reports, 2023.



ADVERTISEMENTS REKLAMLAR

ROLLING STEEL WITH TECHNOLOGY AND FUTURE ON TRUST
ÇELİĞİ TEKNOLOJİYLE, GELECEĞİ GÜVENLE ŞEKİLLENDİRİYORUZ

www.isrs-mtm.com | isrs@isrs-mtm.com | [isrs.mtm](https://www.facebook.com/isrs.mtm) | [isrs_mtm](https://www.x.com/isrs_mtm) | [isrs_mtm](https://www.instagram.com/isrs_mtm) | [isrs-mtm](https://www.linkedin.com/company/isrs-mtm)



ÇELİĞE GÜÇ, GELECEĞE DEĞER KATIYORUZ!

Türkiye'nin en yüksek kaliteli galvanizli çelik üreticisi olarak, inovasyon gücümüz ve sürdürülebilir çözümlerimizle sektöre yön veriyoruz.

Borçelik olarak sadece çeliği değil, geleceği de şekillendiriyoruz!





80 yıldır hayata değer
katmak için çalışıyoruz.

 **Çolakoğlu Metalurji** | 80 Yıl

www.colakoglu.com.tr

@ colakoglumetalurjias f colakoglumetalurji.as X ColakogluGroup in Çolakoğlu Metalurji A.Ş.

Sağlam ve Güvenli Binalarda
“Hayata Tutunun”



EKSiSMİK®
deprem çeliği

Güçlü-Esnek-Korozyon Direnci Yüksek
Özellikleriyle

DEPREME DAYANIKLI

Hassas Çap Toleransıyl

EKONOMİK

Düşük Karbon Ayak İziyle

ÇEVRECİ



EKİNCİLER DEMİR VE ÇELİK SANAYİ A.Ş.

Merkez Ofis: Ayazağa Yolu No:7 Giz 2000 Plaza K.3 Maslak 34398 /İstanbul/Türkiye
Tel: +90 212 290 76 76 **E Mail:** export@ekinciler.com

Fabrika: Organize Sanayi Bölgesi Sarıseki/İskenderun/Hatay/Türkiye
Tel: +90 326 656 22 00 **E Mail:** satis@ekinciler.com

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



**GELECEĞE ÇELİKTEN
ADIMLAR ATIYORUZ**

Türkiye'nin en büyük demir çelik fabrikası olarak, aynı anda uzun ve yassı çelik üreten tek entegre tesisine sahibiz. Geleceğe attığımız her adımda, bunun sorumluluğuyla hareket ediyoruz.

Hem üretimdeki konumumuzun hem de ülkemizdeki önemli rolümüzün bilinciyle, tam 55 yıldır rehberimiz olan birlik ve beraberlik ilkimizle geleceğe emin adımlarla ilerliyoruz.





50.YIL

“KÖKLÜ VE GÜÇLÜ”



KALİTE ve ÇEŞİTLİLİKTE LİDER

KARDEMİR

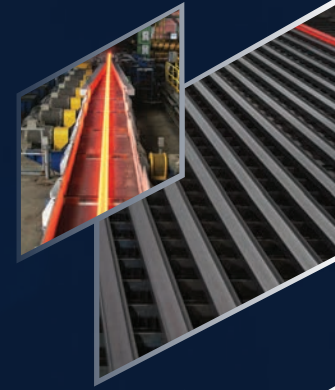


Ağır profil üretiminde Türkiye'nin tek üreticisi olarak IPE, NPI, NPU, HEA ve HEB profillerde 550 mm genişliğe kadar üretim yapıyor; 25-80 mm kalınlıkta ve 205-520 mm genişlikte platina üretimi gerçekleştiriyoruz.

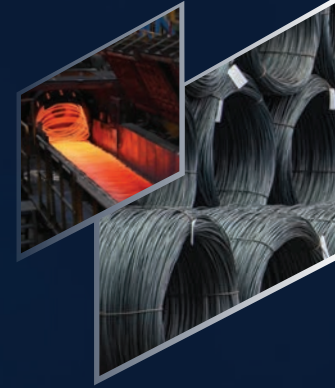
Sunduğumuz geniş ürün yelpazesi ve üstün kalite ile sektörün her ihtiyacını karşılayacak çözümler sunuyoruz. Kardemir olarak, Türkiye'nin en güvenilir ve yenilikçi çözüm ortağı olmaktan gurur duyuyoruz.



200.000 adet/yıl kapasiteye sahip Demiryolu Tekerleği Üretim Tesisimizle sektörde fark yaratıyoruz. Bu alanda ülkemizin tek milli markası olarak, 700 mm ile 1250 mm arasında değişen çaplarda yük vagonu, yolcu vagonu, YHT vagonu, hafif raylı sistem ve lokomotif tekerlerine kadar geniş bir ürün yelpazesi ile ulusal ve uluslararası kalite standartlarına tam uyumlu, güvenilir ve dayanıklı çözümler sunuyoruz.



Türkiye ve bölge ülkeler arasında ray üretiminde tek üretici olma ayrıcalığını taşıyoruz. 2007 yılında faaliyete geçen, 450.000 ton/yıl kapasiteli tesisimizde, 12-75 m uzunluğunda, uluslararası standartlara uygun raylar üretilmekte; R350 HT sertleştirilmiş raylar ile 59R1, 59R2, 60R1 ve 60R2 oluklu raylar da ürün yelpazemizde yer almaktadır. Şirketimiz bu alanda dünya standartlarında üretim gerçekleştirmektedir.



Kardemir, 700.000 ton/yıl kapasiteli Çubuk ve Kangal Haddehanemiz, sektördeki öncülüğümüzü bir adım öteye taşıyor.

Ürünlerimiz 5,5 mm'den 56 mm'ye kadar Kangal ve Kalın Kangal, 20 mm'den 100 mm'ye kadar Yuvarlak Çubuk (SBQ) ve 12 mm'den 40 mm'ye kadar Nervürlü İnşaat Çeliği gibi dört ana gruptan oluşuyor. Üretimde, düşük ve yüksek karbonlu çeliklerden, civatalık ve somunluk çeliklere; lastik tellerinden rulman çeliklerine kadar çeşitli çelik kaliteleri sunuyoruz. Otomotiv, makine imalatı ve mühendislik çelikleri gibi yüksek katma değerli ürünlerde de müşterilerimizin taleplerini en üst düzeyde karşılıyoruz.



www.kardemir.com

Mükemmelin Ötesinde



60 yıldır çeliğe hayat verme hedefiyle çıktığımız bu yolda, yenilikçi, kalite odaklı ve çevre dostu sürdürülebilir yaklaşımımızla ülke ekonomisine katkıda bulunmaya devam ediyoruz.

SORUMLULUĞUMUZUN FARKINDAYIZ, GELECEĞE BUGÜNDEN HAZIRIZ.

EPD belgeleri, atık yönetimi ve su geri kazanım projeleriyle Yeşil Çelik anlayışını şimdiden üretimimizin merkezine alıyoruz. Bu adımlar, sürdürülebilirliğe olan bağlılığımızı güçlendiriyor ve çevre dostu üretim hedefimize sağlam bir zemin oluşturuyor.

Daha Temiz Bir Gelecek İçin...

Sürdürülebilirlik yolculuğumuzda, çevreye duyarlı, şeffaf ve yenilikçi üretim anlayışımızla geleceğe değer katmaya devam ediyoruz.



YAZICI DEMİR ÇELİK

ISRS'2025 – 3. Uluslararası Hadde Sempozyumu
Destekleyen Üretici Firma Sponsoru



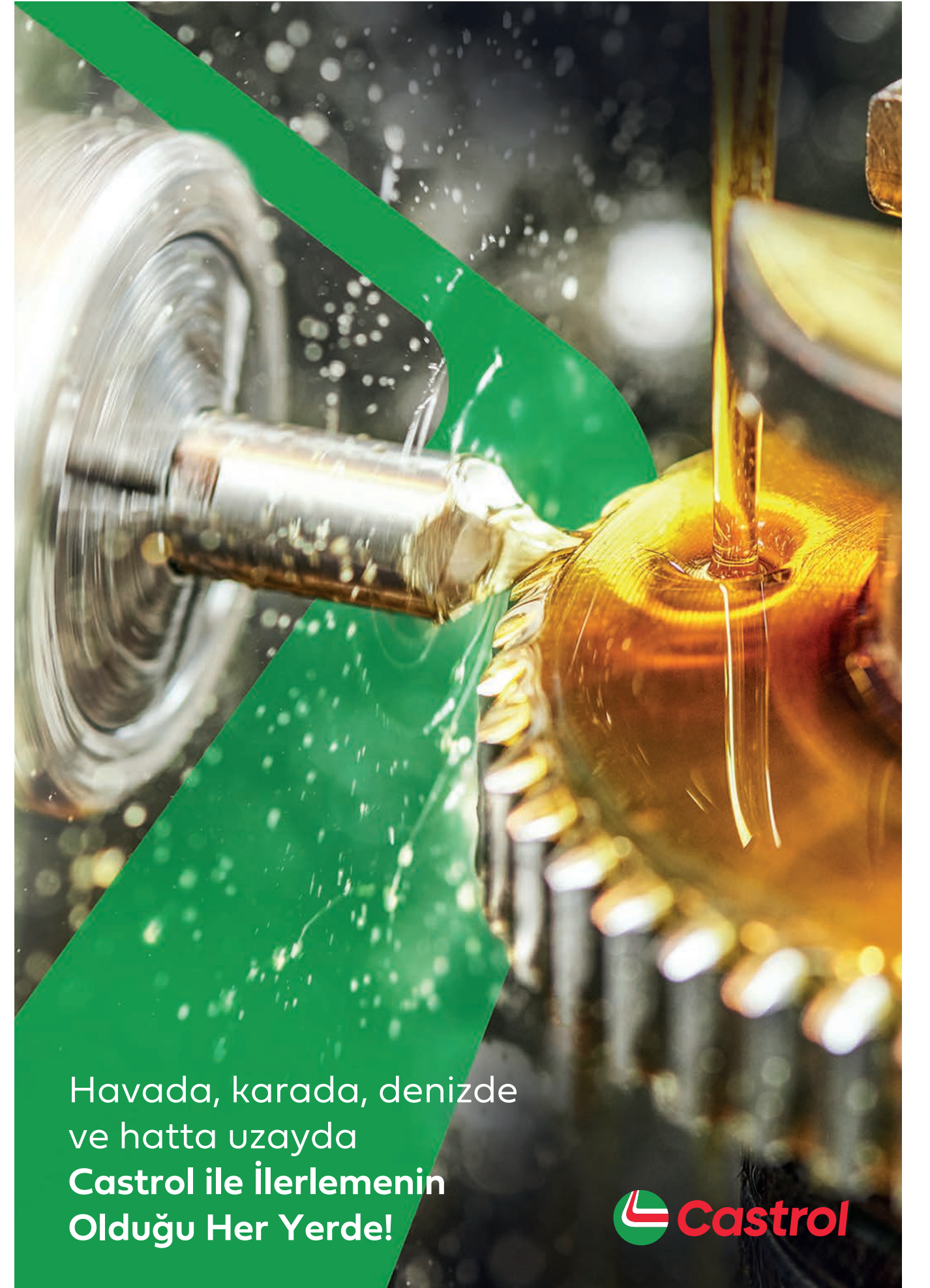
📍 Entegre Tesis ⚓ Liman Altyapısı 🌐 İhracat Şampiyonu

Sürdürülebilir üretim vizyonuyl sektöre yön veren **Yazıcı Demir Çelik**, entegre üretim tesisi ve liman altyapısıyla fark yaratıyor. Daha düşük karbon ayak iziyle çevreye duyarlı üretim gerçekleştiren firmamız; yüksek kalite standartları, güçlü kurumsal yapısı ve küresel ihracat başarılarıyla Türkiye'nin öncü sanayi kuruluşları arasında yer alıyor.

**Doğaya saygılı üretim anlayışımızla, sadece bugünü değil;
geleceği de inşa ediyoruz.**

 YAZICI DEMİR ÇELİK

Organize Sanayi Bölgesi
31218 Sarıseki – Iskenderun

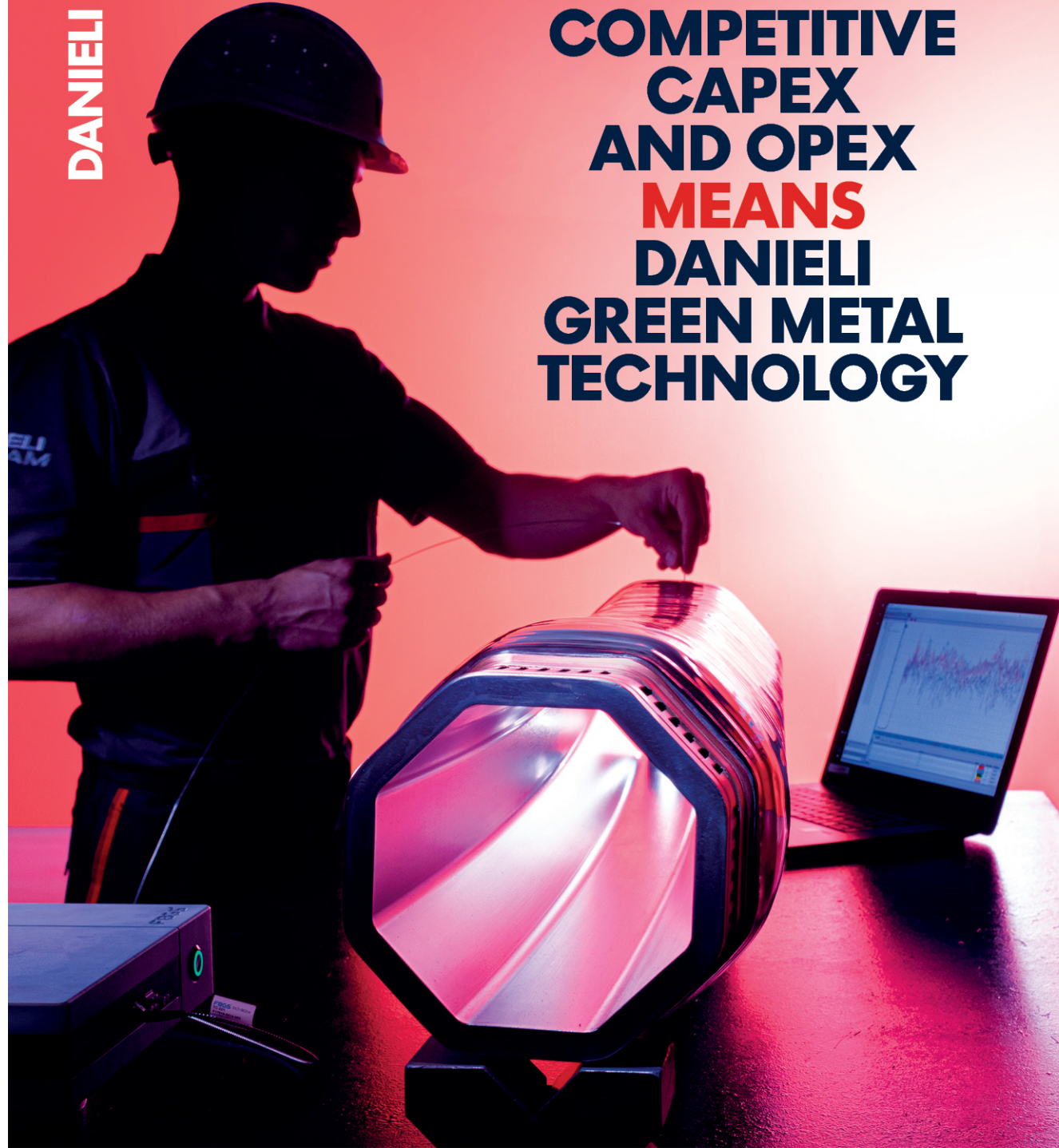


Havada, karada, denizde
ve hatta uzayda
**Castrol ile İlerlemenin
Olduğu Her Yerde!**

 **Castrol**

DANIELI

COMPETITIVE CAPEX AND OPEX MEANS DANIELI GREEN METAL TECHNOLOGY



Patented, energy-efficient low-emission technologies including hybrid plants using renewable energy sources, and hydrogen-based processes for steel and nonferrous metals production.



Italy, Germany, Sweden, Austria, France,
The Netherlands, UK, Spain, Turkey,
USA, Brazil, Thailand, India, China, Japan

Danieli Headquarters
in Buttrio, Udine, Italy
www.danieli.com

@danieligroup
  



Hizmetlerimiz

- Ön Filtrasyon Sistemleri
- Ultraviyole Sistemler
- Ters Ozmoz
- Gaz Klor Sistemleri
- Ozon Dezenfeksiyon
- Asit Geri Kazanım Sistemleri
- Elektro Deiyonize
- Atıksu Geri Kazanım
- Beton Santrali Arıtma
- Gri Su Arıtma
- Konteyner Arıtma Sistemleri



0262 349 349 9

www.agtsuaritma.com.tr

Çeliğe Hayat veren Teknoloji

Demir Çelik sektöründe, toplam su yönetimi felsefesine dayanarak projelendirdiğimiz anahtar teslim su tesisleri projelerimiz ile karbon ve su ayak izi azaltılmasına yönelik çalışmalara öncülük ediyoruz. Bu bağlamda haddehane ve çelikhanelerin su tesislerinin projelendirme, imalat, montaj ve devreye alma adımlarında hizmet veriyoruz.

Anahtar Teslim Su Tesisleri



Çelikhane ve haddehanelerde verimliliği arttırıyor, ürüne değer katıyoruz.

Çelik Sektöründe Geri Kazanım Tesisleri



Prosesten gelen suyu çevreci tasarımlar ve yenilikçi teknolojiler ile tekrar kullanıma sokuyoruz.

Geri Kazanım Tesisleri



Sürdürülebilir endüstriyel üretim modellerimizle, müşterilerimizin yeşil dönüşüm süreçlerini hızlandırıyoruz.

Elektrik ve Otomasyon Sistemleri



Panelmaster & System E-Power. Daha Gelişmiş Sistemler ile, Daha İyi Üretim. Daha Verimli Çözümler Sunuyoruz.



Merkez Ofis &
Fabrika
Zeytinli Mah. Turhan Cemal Beriker
Bul. 806/3A Seyhan / ADANA
O (322) 456 23 69
info@arcwater.com.tr
arcwater.com.tr



perfection

Due to our business ethics and striving for perfectionism, our self driven team always works towards creating the best possible products and giving unparalleled services. We ensure to prioritise efficiency and never compromise the quality.

research

Our research and development department constantly works to ensure that we are up to date to keep our clients ever growing demand satisfied. Passionately competing with into manufacture the most advanced machinery available in the industry so the future technology is nearer.

respect

Success and Sustainability of Production assurance is honesty and quality. Our respect to our work would never compromise our principle which has surely made us a pioneer in the industry since we were founded.

demand

Engineering, manufacturing, assembly training, technical assistance... We do it all with the same excitement and enthusiasm as our first day.



ONE-POINT SOLUTION PARTNER

FACTORY THAT BUILDS FACTORIES

GIVING LIFE TO STEEL SINCE 1985



Acidere Organize Sanayi Bölgesi OSB
Anafartalar Cad. No:8/A Sarıçam/Adana/Turkey
Phone: +90 322 394 54 20 / Fax: +90 322 394 54 26
info@germaksan.com.tr / www.germaksan.com.tr



www.germaksan.com.tr



hidropar

Tahrik ve Kontrol Teknolojileri

güney

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



KİLTAS®
Refrakter Malzeme San. ve Tic. A.Ş.

47 yıl

Türk refrakter Sanayi'nin öncü kuruluşu
Kiltas olarak **47.kuruluş yılımızı** kutlamanın
haklı gururunu yaşıyoruz.

*Bizi bugünlere getiren müşterilerimiz ve
çözüm ortaklarımıza şükranlarımızla...*

FEVZİPAŞA MAHALLESİ
YÜREK SOKAK NO.10, 34586
DEĞİRMENKÖY / SİLİVRİ / İSTANBUL

☎ 444 3 012
☎ +90 212 332 30 20 (PBX)
☎ +90 212 332 08 15

www.kiltas.com.tr
info@kiltas.com.tr





Ürünlerimize ve servis
çözümlerimize yetkili
partnerimizden ulaşabilirsiniz



ÖZEVREN RULMAN A.Ş.

Metal Endüstrisinde Schaeffler

Schaeffler, metalurjik üretim ve işleme endüstrisinde önde gelen üreticilerin ve operatörlerin ortağıdır. Geniş ürün ve hizmet yelpazemiz, dünya çapındaki müşterilerimizin tesis süreçlerini optimize etmelerine yardımcı olmamızı sağlıyor.

Schaeffler ile şirketler şunlardan da emin olabilir:

- Küresel bir uzman ağı
- Rulmanlar konusunda geniş tabanlı uzmanlık
- Kullanıcı dostu mühendislik araçları
- Sürdürülebilir ürün konseptleri
- Kapsamlı dijital çözümler ve uygulamaya özel hizmet portföyü

www.schaeffler.com

We pioneer motion



SCHAEFFLER

 Özevren Teknik Makina
INNOVATION IN MOTION

ZWA®

En İyilerin Tercihi





SASPG

ÇELİĞİN HAYAT ORTAĞI

SASPG TANITIMI

1966 yılında kurulan **SICHUAN HAVA AYIRIŞTIRMA TESİSLERİ GRUBU CO., LTD.** Çin'de bulunan tesisleri ile hava ayırıştırma tesisleri (ASP) ve LNG tesisleri için lider bir küresel üretici ve yüklenicisidir. SASPG, şu anda tüm dünyada faaliyette olan 300'den fazla ASP seti ve 30'dan fazla LNG tesisi tedarik etmiştir.

SASPG, hem kriyojenik hem de kriyojenik olmayan endüstrilerde uygulanabilen uluslararası standartlara göre 1500'den fazla farklı özelliklere sahip 200'den fazla ürün kategorisi tasarlar ve üretir.

ANA İŞ KOLLARIMIZ

- ♦ ASP ve LNG Tesisleri için EPS Projeleri.
- ♦ Cold Box, Depolama tankı, alüminyum plaka ısı eşanjörü, turbo expander, pompa, kompresör, LNG Dolum İstasyonu, gaz tüpü ve vakum borusu dahil olmak üzere kriyojenik endüstriye ekipman temini.
- ♦ Endüstriyel gaz ve LNG dahil Gaz Yatırımı (BOO projeleri).



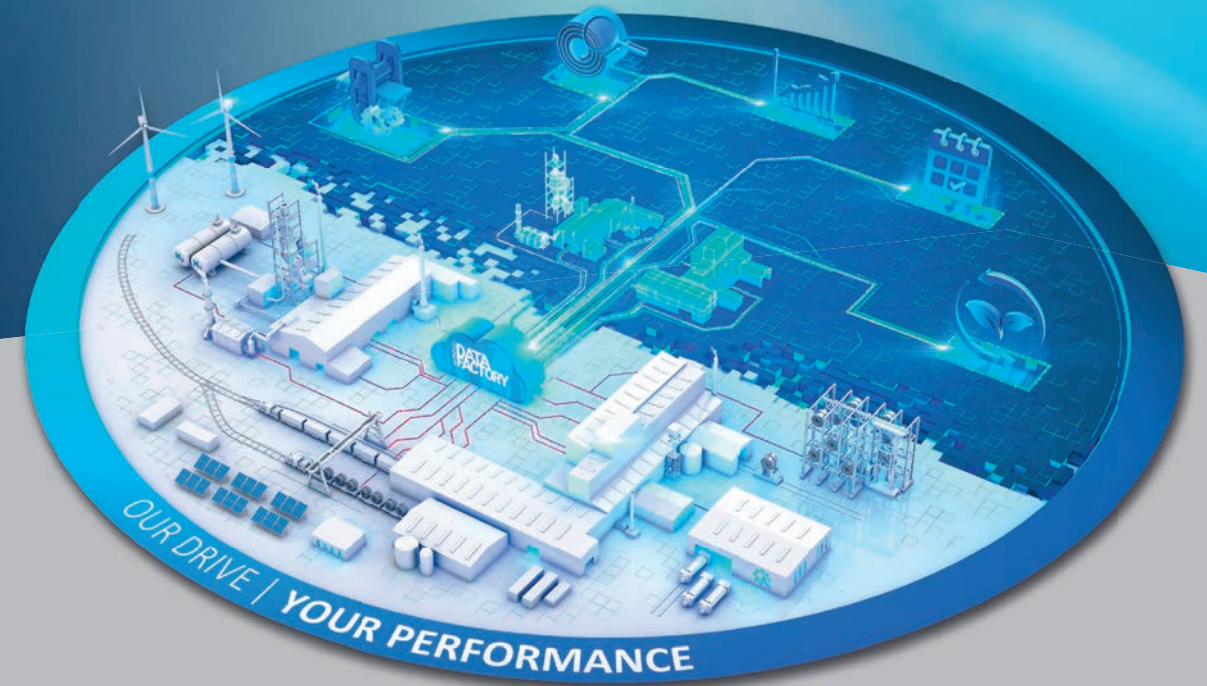
SASPG

CONTACT US

www.saspg.com
00862861682888 00905357759100
huwenxi@saspg.com
239# Jianshezhong Road, Jianyang City, Sichuan, P.R China

SMS group

Integrated Lifecycle Partnership



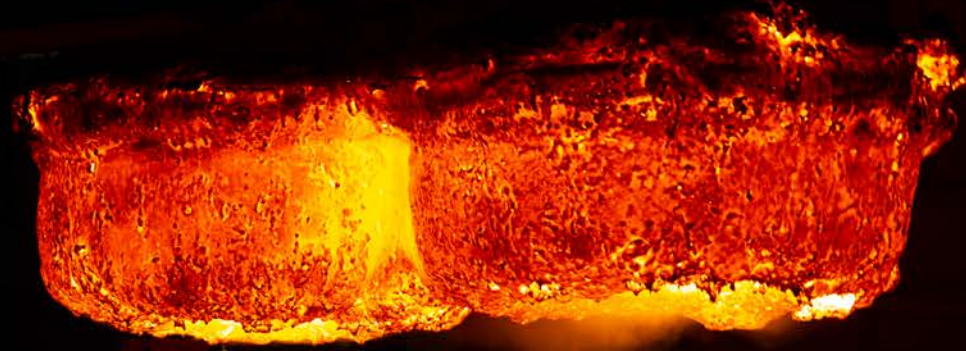
To be the leading partner for our customers in this transformation, SMS group bundles all competencies from electrics/automation, digitalization, and technical service. Our goal is to maintain and expand the performance of our customers' plants throughout their entire lifecycle. Together with our customers, 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.



SUPERREF

Maslak Mah. Bilim Sk. No:5/A Sun Plaza İç Kapı No:41
Sarıyer/İstanbul

Bozüyük OSB, 5.Cadde No:3
Bozüyük/Bilecik



Çeliğiniz buna değer...

444 57 33

superref@superref.com

<https://www.linkedin.com/company/superref>

<https://www.instagram.com/super.ref/>



STEEL
ROLLING

ISRS'2025

3rd INTERNATIONAL
STEEL ROLLING
SYMPOSIUM
29 - 30 MAYIS 2025
İSKENDERUN

3. ULUSLARARASI
H A D D E
SEMPOZYUMU



PROCEEDINGS

e-BOOK

BİLDİRİLER e-KİTABI

