



12. Uluslararası
Döküm Kongresi
12th International
Foundry Congress

12. ULUSLARARASI **DÖKÜM KONGRESİ**

BİLDİRİLER KİTABI



TÜRKİYE DÖKÜM
SANAYİCİLERİ
DERNEĞİ
THE TURKISH FOUNDRY
ASSOCIATION

12. Uluslararası Döküm Kongresi Bildiriler Kitabı

E-KİTAP

Kitap Koordinasyonu: Tunçağ Cihangir Şen, Seyhan Tangül Yılmaz, Fikri Karaca, Rabia Kurt, Seyfi Değirmenci

Editör: Cemal Gül

İmtiyaz Sahibi: Türkiye Döküm Sanayicileri Derneği (TÜDÖKSAD) www.tudoksad.org.tr
Ortaklar Cad. Bahçeler Sk. 18 Plaza No: 18 Kat: 4 Mecidiyeköy / İstanbul Tel: 0 212 267 13 98

Yapım: Papirüs Medya Yayıncılık ve Ajans Hiz. Ltd. Şti.

ISSN No: 978-605-62246-8-3

*Bu kitap Türkiye Döküm Sanayicileri Derneği tarafından 12. Uluslararası Döküm Kongresi'ne kabul edilen bildirilerden derlenmiştir. www.tudoksad.org.tr ve akademi.tudoksad.org.tr web sitelerinde ücretsiz yayınlanacaktır.

TÜDÖKSAD © 2024

TÜRKİYE DÖKÜM SANAYİCİLERİ DERNEĞİ YÖNETİM KURULU

Başkan: Kadir EFE (Ferro Döküm)

Başkan Yardımcısı: Oğuzhan DENİZ (Çelikel Alüminyum), Dilek GÜNDÜZ (Erkunt Sanayi), Mehmet ÖZALP (Silvan Sanayi)

Muhasip Üye: Ali Esat KUTMANGİL (Kutes Metal)

Üyeler: Mehmet Ali ACAR (Ardemir Döküm), Uğur DEMİRCİ (Döktaş Dökümcülük), Arda ÇETİN (Ekstrametal), Murat CANBAZ (Kardökmak)

12. ULUSLARARASI DÖKÜM KONGRESİ DANIŞMA KURULU

Akademik

Prof. Dr. Ali Kalkanlı -- Orta Doğu Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Özgül Keleş -İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Muhammet Uludağ - Bursa Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Çağlar Yüksel - Atatürk Üniversitesi

Doç. Dr. Ekrem Altuncu - Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

Dr. Öğr. Üye. Murat Alkan- Dokuz Eylül Üniversitesi

Dr. Öğr. Üye. Mertol Göknelma - İzmir Yüksek Teknik Enstitüsü

Sanayi

Arda Çetin - Genel Müdür Yardımcısı (Ekstrametal)

Bülent Şirin - Mühendislik & Ar-Ge Direktörü (Döktaş Dökümcülük)

Erdem Erdoğan - Üretim ve Teknik Faaliyetlerden Sorumlu İcra Kurulu Üyesi (Ferro Döküm)

Erkin Koç - Isıl İşlem Tesis Müdürü (Ay Döküm)

Mehmet Ataseven - Ürün Mühendislik Müdürü (Körfez Döküm)

Muammer Mutlu - Üretim Koordinatörü (Mita Kalıp)

Veysel Durak - Ar&Ge, Kalite Sistemleri ve Yalın Ofis Birimi Müdürü (Erkunt Sanayi)

Ümit Semerci - Genel Müdür (Can Metal)

Değerli paydaşlarımız,

Türkiye Döküm Sanayicileri Derneği (TÜDÖKSAD) olarak, 12. Uluslararası Döküm Kongresi'nde sizlerle bir araya gelmekten büyük mutluluk duyuyoruz. Metal döküm sektörünün öncüleri, yenilikçileri ve profesyonellerini bir araya getiren bu önemli etkinliğimiz, bu yıl "Metal Döküm Sektöründe Sürdürülebilirlik" temasıyla, 19-21 Eylül tarihlerinde İstanbul Fuar Merkezi'nde, Ankiros fuarıyla eş zamanlı olarak gerçekleştirilmektedir.

Metal döküm sektörü, sanayinin temel taşlarından biri olarak birçok sektöre yön vermiştir. Artan çevresel duyarlılık, sektörümüzün de çevresel etkilerini azaltarak sürdürülebilir bir geleceğe katkı sağlamasını gerektirmektedir. Kongremiz, bu hedefe ulaşmak için en güncel teknolojik gelişmeleri, araştırmaları ve stratejileri bir araya getiren önemli bir platformdur.

12. Uluslararası Döküm Kongresi, dünya çapındaki uzmanları ve sektör profesyonellerini bir araya getirerek bilgi paylaşımı ve iş birliği için benzersiz bir fırsat sunmaktadır. Kongremizde; eğitimden çevreye, iş güvenliğinden enerji verimliliğine, maliyet optimizasyonundan sürdürülebilirliğe, Ar-Ge ve inovasyondan yeni üretim teknolojilerine kadar pek çok önemli konu ele alınacaktır. Toplamda 37 sözlü, 22 poster sunumuyla birlikte, iki buçuk gün boyunca katılımcılar bu sunumları takip etme imkanı bulacaktır. İstanbul Fuar Merkezi'nde Ankiros fuarı ve Turkcast özel alanı ile birlikte düzenlenen kongremize kabul edilen tüm sunumlar, ayrıca Bildiri Kitabı aracılığıyla da sizlere sunulacaktır.

Kongremiz boyunca düzenlenecek atölye çalışmaları ve sergiler, üretim verimliliğinden enerji tasarrufuna, atık yönetiminden yenilikçi çözümlere kadar birçok konuda bilgi edinme fırsatı sunacaktır. Döktaş Dökümcülük katkılarıyla gerçekleştirilecek "Döküm Proseslerinde Problem Çözme Teknikleri" atölyesi, kongremizin öne çıkan etkinlikleri arasında yer almaktadır. Ayrıca, çevre dostu uygulamaları hayata geçiren firmaların ödüllendirileceği 5. TÜDÖKSAD Erdoğan Nas Çevre Ödülleri ile sektördeki iyi uygulamaların yaygınlaşmasına katkı sağlanacaktır.

Etkinliklerimiz arasında yer alan 6. Dökümün Fotoğrafları Sergisi, döküm süreçlerini farklı bir perspektiften ele alan fotoğraflarla ziyaretçilere sektörü yakından tanıma fırsatı sunacaktır. Ziyaretçiler, döküm endüstrisinin teknolojik yönlerine ve yeni yatırımlarına tanıklık ederek sektörün geldiği noktayı gözleme imkanı bulacaklardır.

Ayrıca, metal döküm sürecini sade ve öğretici bir yaklaşımla tanıtan "Dökümü Yakından Tanıyalım" gösterisi de genç mühendis adaylarının ilgisini çekecek bir diğer etkinliktir. Ümraniye Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi Metalurji Teknolojileri öğrencileri ve öğretmenleri, bu gösteri kapsamında alüminyum döküm figürleri kum kalıplarına dökerek ziyaretçilere bu sürecin pratiğini ve görselliğini deneyimleme fırsatı sunacaktır. Katılımcılar, bu döküm figürlerini hatıra olarak saklayabilirler.

Kongre oturumlarında sunulan tüm sözlü ve poster sunumlarının tam metinleri, Kongre Bildirileri Kitabı ile birlikte TÜDÖKSAD Akademi web sitesinde (akademi.tudoksad.org.tr) yayınlanacaktır. Bu önemli organizasyonu mümkün kılan Kongre Danışma Kurulu ve Kongre Yürütme Kurulu üyelerimize en içten teşekkürlerimizi sunarız. Kongremize katkı sağlayan tüm katılımcılara, konuşmacılara ve sponsorlarımıza teşekkür eder, keyifli ve verimli bir kongre dileriz.

EYLÜL 2024

Tunçaç Cihangir Şen

Genel Sekreter - Türkiye Döküm Sanayicileri Derneği
Yürütme Kurulu Üyesi 12.Uluslararası Döküm Kongresi

Dear Stakeholders,

As the Turkish Foundry Association (TÜDÖKSAD), we are honored to convene with you at the 12th International Foundry Congress. This prestigious event, which unites the pioneers, innovators, and professionals of the metal casting sector, is being held under the theme of "Sustainability in the Metal Casting Industry," on September 19-21 at the Istanbul Expo Center, in parallel with the Ankiros fair.

The metal casting industry, as a cornerstone of numerous sectors, has significantly shaped industrial advancements. However, growing environmental concerns necessitate that our industry takes proactive steps towards contributing to a sustainable future by mitigating its environmental impact. This congress provides a vital platform for presenting the latest technological advancements, research, and strategic approaches to addressing these challenges.

The 12th International Foundry Congress offers a unique opportunity for global experts and industry professionals to share knowledge and collaborate. The congress will cover a wide range of topics, including education, environment, occupational safety, energy efficiency, cost optimization, sustainability, R&D, innovation, and new production technologies. Over two and a half days, participants will have the opportunity to follow a total of 37 oral and 22 poster presentations. In addition to being featured in the Congress Proceedings Book, all accepted presentations will be shared during the event held in conjunction with the Ankiros fair and the dedicated Turk-cast exhibition area at the Istanbul Expo Center.

Throughout the congress, workshops and exhibitions will provide attendees with valuable insights into a wide range of topics, from production efficiency to energy conservation and waste management. Notably, the "Problem-Solving Techniques in the Casting Process" workshop, organized with the support of Döktaş Dökümcülük, stands out as one of the congress's key highlights. Furthermore, the 5th TÜDÖKSAD Erdoğan Nas Environmental Awards will recognize companies that have implemented environmentally friendly practices, thereby encouraging the broader adoption of best practices across the industry.

Among the featured events is the 6th Reflections of The Casting Exhibition which offers visitors the opportunity to gain a closer understanding of the foundry industry through photographs that showcase different perspectives of the casting processes. Visitors will witness firsthand the technological advancements and new investments within the industry.

Furthermore, the "Getting to Know Casting" demonstration, which introduces the metal casting process in a simple and educational way, will attract young engineering candidates. Students and teachers from Ümraniye Vocational and Technical Anatolian High School Metallurgy Technologies will cast aluminum casting figures into sand molds, providing visitors with the opportunity to experience the practice and visual aspect of this process. Participants can keep these cast figures as souvenirs.

The full texts of all oral and poster presentations at the congress sessions will be published on the TÜDÖKSAD Academy website (akademi.tudoksad.org.tr), along with the Congress Proceedings Book. We extend our deepest gratitude to the members of the Congress Advisory Board and the Congress Executive Committee, whose efforts have made this distinguished event possible.

We would like to express our sincere thanks to all participants, speakers, and sponsors for their contributions, and we wish you an enjoyable and productive congress.

SEPTEMBER 2024**Tunçaç Cihangir Şen**

General Secretary – TUDOKSAD Turkish Foundry Association

Congress Organizing Committee Member – 12h International Foundry Congress

Bildiri başlıklarına tıklayarak tam metinlerine ulaşabilirsiniz!

Türk Döküm Sektörünün Yeşil Dönüşüm Yolculuğu: Avrupa Yeşil Mutabakatı ve SKDM Uyum Süreci	1
Arda Çetin	
The Roadmap for a Sustainable Foundry Industry	12
Morten Bechlung	
Döküm Sektörü İçin Sera Gazlarının Hesaplaması ve Doğrulanması Çalışması	22
Berivan Boduroğlu	
Döküm & Sürdürülebilirlik Yaklaşımları	28
Arif İlker Metan, Rıza Atlı	
Döküm Sektörü İçin Alternatif İnovasyon Stratejileri: İnovasyon ve Açık İnovasyon	43
Mustafa Özgül Abay	
Üretim İşletmelerinde Güvenlik Kültürünün İyileştirilmesi “Amirimden” Çalışan Sağlığı ve Güvenliği Yaklaşımları	59
Müzeyyen Gencer, Elif Sungur	
Data-Driven Root Cause Analysis For Reducing Sand-Related Defects	67
Deepak Chowdhary	
End-To-End Cast Iron Traceability: Marking Unique Cdot Codes On Sand Molds and Tracking Parts From Green Sand Molding Through Entire Processes	76
Mete Kayalar, Serra Tuzcuoğlu, Tunç Acarkan, Mustafa Mert Şengul, Ege Baran Yalçın, Ali Mehran, Varan Güneş, Emre Ceylan, Bilal Burak Yalçın	
Dikey Kalıplama Hatlarında Yeni Nesil Besleyici Uygulamaları	89
Christof Volks, Marc Mauhay, Kemal Karslı	
Tel Tretman Yönteminde Pota Geometrisi ve Tel Besleme Hızlarının Tel Magnezyum Tüketimine Etkisi	97
Mehmet Sadettin Turhan	
Strength, Life and Damage Calculations of Optimized Rear Lower Control Arm by Using Finite Element Analysis	108
Fahrettin Aydemir, Gürcan Enacar	
Reduction of Air Pocket Mass Using Vacuum Method in High-Pressure Die Casting	118
Barış Çavunt, Mehmet Dönmez	
Hurda Alüminyum Hammadde Kullanılarak EN AW 6082 Alaşımından Yüksek Kalitede Dökümlerin Elde Edilmesi ve Karakterizasyonu	128
Özlem Kırmızı, Çağdaş Serintürk, Muhammet Uludağ	
Alüminyum Döküm Alaşımlarının Akışkanlık Ölçümü İçin “Akışkanlık İndeksi”	137
Melek Durmuş, Derya Dışınar, Mehmet Gavgalı, Murat Çolak	
Effect of Different Scraps on Liquid Metal Quality	144
Murat ÇOLAK, Emin USLU, Melek DURMUŞ, Ümit KUTSAL, Süphan ERCAN, Yiğit SAĞNAK, Serhat BARDAKCI, Gizem AMMAS	
The Impact of Secondary Aluminum Alloy Utilization on Carbon Footprint in the Aluminum Casting	153
Deniz Güler, Yiğitcan Beşiktepe	
Effect of Mechanical Vibration and T6 Heat Treatment on Mechanical Properties of A201 Alloy	164
Alihan Özсарı, Candaş Ersöz, Ali Kalkanlı	
Yeni Nesil Yüksek Performanslı Ekolojik Furan Reçinesinin Geliştirilmesi	

Ömer Ertağak, Aslı Kakıcı, Serkan Çelik, Özge Aksın Artok	171
Challenges of 3D printing for Foundry Applications Levent Layık, Holger Barth	177
Greater Efficiency, Lower Costs, And Faster Business Growth Through 3D Sand Printing Nonni Sri Athari	180
Implementing IIoT For Foundries Carsten Nielsen	191
3 Boyutlu Kum Yazıcılarda Geri Donuşum Kumu Kullanım Oranının Yanma Kaybına, Maça Mukavemetine ve Maça Ağırlığına Etkisi Erdinç Sekmen, Cem Aydın, İsmail Uludağ	201
Clean Steel Castings At Ultralow Pouring Temperatures For High Performance Applications Using The Innovative Rotoclene Process	208
David Hrabina, Colin Powell, Dalibor Ćap, Milan Turtak, Jiři Kolar	
Alumina Refrakterli Boyaların Çelik Dökümlerde Yüzey Özellikleri Üzerine Etkisinin Araştırılması Uğur Üçok, Sevkan Ülker, Bahadır Kıyak, Özge Aksın Artok	218
Çelik Deoksidasyonunda Optimum Deoksidant Turunun ve İlave Miktarlarının Belirlenmesi Ferhat Tülüce, Buğra Erbakan, Alper Yoloğlu, Serdar Kesim, M.Murat Zor, Vedat Uz	224
Hadfield Çeliklerine Uygulanan Farklı Çökeltme Sertleşmesi Sıcaklıklarının Mikro Yapı ve Mekanik Özelliklere Olan Etkisinin İncelenmesi	230
Faruk Öztürk, İsmail Kankal, Mehmet Uysal, Uğur Gürol	
Endüstriyel Vana Sektöründe Döküm Tasarımlarının Yazılımsal Yöntemlerle Geliştirilmesi ile Sürdürülebilir Enerji Verimliliğinin Artırılmasına Yönelik Analiz Çalışması	238
Kerem Ali Kubilay, Hüseyin Tunca, Sezer Hivda Özden, Ulaş Öğut, Kenan Peker, Ozan Ulutaş, Ozan Çoban	
Östenitik Paslanmaz Çeliklerde Farklı Deformasyon Hızları ve Deformasyon Miktarlarının Deformasyona Bağlı Martenitik Dönüşüme Etkisinin İncelenmesi	252
Ecemnur Ünlu, Burhanettin İnem	
Termal Pnömatik Kum Rejenerasyon Sistemi Uygulaması Hakan Gündüz, Emrah Eroğlu, Hande Birengel Zile	260
A New Inoculant to Solve Microshrinkage Porosities in Nodular Iron Castings R. Suarez, G. Alonso, P. Pinel, G. Zarrabeitia, A. Loizaga	272
Balık Gözü ve Flor Kaynaklı Hataların Önlenmesi-2 İbrahim Hayri Keser, Serkan Çelik, Özge Aksın Artok, Ahmet.Buğra.Keyvanklı, Tan Emir	279
Dik Torna Tezgahlarında İşlenen Volan Parçalarının Sıkma Sisteminin İyileştirilmesi ve Ayar Sürelerinin Kısaltılması	287
Ferdi Yavuz	
Yüksek Manganlı Östenitik Çeliklerin Korozyon Davranışına Farklı Isıl İşlem Prosedürlerinin Etkisinin İncelenmesi	291
Uğur Gürol, Engin Kocaman	
Precision Feeding in Large Castings Güneş Özuyar Durukan, Christof Volks	297
Heat Treatment And Microstructure Characterization of Low Pressure Resin Sand Cast A201 Alloy	

Abay Tekkol, Yunus Emre Dağıstanlı, Ali Kalkanlı	304
KGDD Malzemelerin Hava Söndürme ile Soğutulmasının Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi	313
Cihan Değirmenci, Özgür Aykut, Berkan Sardoğan	
Döküm Sektöründe PDI Uygulamaları	321
Fatih Evcı, Abbas Göksu	
Lost Foam Casting Process	331
Li Zengmin	
Kum Reklamasyon Sisteminin Bentonitli Kalıp ve Maça Kumundaki Mekaniksel ve Kimyasal Etkileri	343
Gürcan Çayıraltı	
Bakır Alaşımli Östemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Mekanik ve Mikroyapı Özelliklerinin İncelenmesi	349
Ahmet Buğra Keyvanklı, Şenol Yılmaz	
Alkol Bazlı Boyadan Su Bazlı Boyaya Geçiş	354
Mücahit Özyürek	
Besleyici Gömlek Üretiminde İnovatif Yaklaşımlar	361
Eray Koyuncu, İbrahim Hayri Keser, Özge Aksın Artok	
How Coatings Can Improve Economic, Social, and Environmental Sustainability at Foundries	367
Yasin Tekinarslan, Mahmut Yücesan, Christoph Genzler	
The Effect of Molding Design And Mold Filling Parameters On Hydrogen Induced Crack Defects In Steel Castings	373
Mustafa Murat Zor, Ferhat Tülüce, Buğra Erbakan, Alper Yoloğlu	
Çapak Kaynaklı Duruşların Otomasyon İle Önlenmesi	385
Bilgi Bilgin	
Advancemets in Refractory Coatings for Automotive Casting Processes	395
Halil Gönenbaba, David Hein, Ekaterina Potaturina	
Alüminyum Alaşımı Jantlarda Dinamik Radyal Yorulma Testinin Simülasyon ile Doğrulanması	399
Orhan Ata Bayman	
Üç Boyutlu Yazıcı Kullanımı ile Besleyici Üretimi Çalışması	412
Ali Emre Zobaroğlu	
Production Of Steel Castings in Green Sand	416
Per Larsen	
Döküm Sektöründe Farkındalık Oluşturacak İSG Uygulamaları	426
Ersin Aktaş, Engin Ongan	
İngot Döküm Yönteminde Sıvı Metalin Kokil Kalıba Termal Etkisinin Magma Simülasyon Programında İncelenmesi	435
Özgür Aykut, Ecemnur Ünlü, Mehmet Dinçsoy	
AlSi7Mg0,3 Isıl İşlemli Parçalarda Mekanik Özelliklerin Boya Fırın Geçiş Sayısı İle İlişkisi	

Doğan Alpdoruk, Berkay Oral, Fulya Eyçin	444
Geleceği Şekillendiren Eller: Döktaş Mesleki Eğitim Merkezi Projesi Sibel Demircan Taş, Elif Tutaş	460
Emniyet Kemerı Parçasının MultiSlide ve Sıcak Kamaralı Enjeksiyon Yöntemlerinde Üretimi ve Karşılaştırılması	464
Feyzanur Şehitoğlu, Eda Tuzcu	
Ergimiş Metalde Temassız Sıcaklık Ölçümü Emrah Güven Dadak	469
Östemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demir (ÖKGDD) Malzemelerde Bilyalı Dövme İşleminin Mekanik Özelliklere Etkisi	478
Uğur Kuruoğlu, Yağmur Laleci, Sıla Nur Ekiz, Ferhat Gül	
Traktör Ön Dingil Mesnedi İçin Topoloji Optimizasyonuıla Ağırlık Azaltma Çalışması	487
Cem Aydın, İlker Güral, M. Mert Buldu	

Türk Döküm Sektörünün Yeşil Dönüşüm Yolculuğu: Avrupa Yeşil Mutabakatı ve SKDM Uyum Süreci

Arda ÇETİN
Ekstrametal, Ankara – Türkiye

ÖZET

Avrupa'nın en büyük döküm üreticisi olma yolunda ilerleyen Türk döküm sektörü, bir yandan liderlik koltuğuna hazırlanırken, diğer yandan Avrupa'nın yeşil dönüşüm hedeflerine uyum sağlama gayretlerinin üst üste geldiği kritik bir dönemece giriyor. Bu çalışma, Türk döküm sektöründe faaliyet gösteren üretici ve tedarikçi firmaların Avrupa Yeşil Mutabakatı ve Sınırdaki Karbon Düzenleme Mekanizmasına (SKDM) uyum sürecinde izlemesi gereken yolların bir değerlendirmesini sunmayı hedeflemektedir. Avrupa Yeşil Mutabakatının hedefleri ve Türkiye'nin bu hedeflere ulaşmada oynayacağı rol yanında, döküm sektörünün sürdürülebilirlik yolculuğunda karşılaştığı zorlukları kapsayan bir çerçeve içinde bir değerlendirme yapılması amaçlanmıştır. SKDM'nin amacı ve uygulanması, Türk döküm sektörünün SKDM'den etkilenme potansiyeli ve rekabetçiliğini koruyarak nasıl uyum sağlayabileceği tartışıldıktan sonra, enerji verimliliği ve karbon ayak izini azaltma önlemleri, sektör özelinde enerji ve hammadde kaynaklı emisyonların değerlendirilmesi, SKDM'nin etkilerini minimize etmek için stratejiler, Türk döküm sektörünün genel yapısı, sınırları ve zorluklarıyla birlikte sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Sürdürülebilirlik, AB Yeşil Mutabakatı, Sınırdaki Karbon Düzenleme Mekanizması (SKDM), Türk Döküm Sektörü.

ABSTRACT

The Turkish foundry industry, on its way to becoming Europe's largest casting producer, is at a critical juncture where its preparations for a leadership position coincide with efforts to comply with Europe's green transformation goals. This study aims to evaluate the pathways that manufacturers and supplier companies in the Turkish foundry industry can follow in the process of aligning with the European Green Deal and the Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM), while maintaining its competitiveness. The study aims to provide a framework encompassing the goals of the European Green Deal, Turkey's role in achieving these goals, and the challenges faced by the foundry industry in its sustainability journey. A comprehensive discussion is presented on the purpose and implementation of the CBAM, its potential impact on the Turkish foundry sector, and adaptation strategies, with a special emphasis on issues related to energy and raw material demand.

Keywords: Sustainability, EU Green Deal, Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM), Turkish Foundry Industry.

1. AVRUPA YEŞİL MUTABAKATI VE SKDM'YE UZANAN SÜREÇ

1.1. Avrupa Yeşil Mutabakatı

Avrupa Birliği (AB), küresel iklim kriziyle mücadele ve Paris İklim Anlaşmasının gerektirdiği yeşil dönüşümün yol haritasını belirlemek amacıyla 11 Aralık 2019 tarihinde Avrupa Yeşil Mutabakatını (AYM) ilan etti [1]. Avrupa Komisyonu Başkanı Ursula Von Der Leyen tarafından "Avrupa'nın aya çıkma anı" (This is Europe's man on the moon moment) ifadeleriyle ilanı yapılan AYM'nin temel hedefi, Avrupa kıtasının sera gazı emisyonlarını 2030 yılına kadar 1990 yılına kıyasla %55 oranında azaltmak ve 2050 yılında net sıfır düzeyine çekerek, Avrupa'nın dünyanın ilk iklim-nötr kıtası haline getirmektir [2].

AYM her ne kadar bir iklim planı çerçevesi içinde sunulmuş olsa da, detayları incelendiğinde politik ve ekonomik önceliklerin de çerçeveye dahil edildiği ve AB'nin kaynak yönetimi açısından verimli ve rekabetçi bir ekonomi olarak konumlanmasını sağlayacak, yeni bir yol haritasının inşa edilmekte olduğu görülmektedir. Bu amaç doğrultusunda oluşturulan bir eylem planının kademeli olarak faaliyet sokulmasıyla enerjiden sanayiye, tarımdan ulaşıma ve hatta döngüsel ekonomiden finansla kadar uzanan çok geniş bir yelpazede kökten bir değişim ve dönüşüm yaratılması hedeflenmektedir.

AYM ile başlayan sürecin devamında AB yeni bir iklim kanunu düzenlemesi de yapmış ve 9 Temmuz 2021 tarihinde AB Resmî Gazetesi'nde yayımlayarak yürürlüğe almıştır [3]. Hemen devamında gelen süreçte, bu politikaların AB Parlamentosu ve Konsey tarafından kabul edilen iklim hedefleri ile uyumlu olmasını sağlamak amacıyla AB mevzuatının gözden geçirilmesi, güncellenmesi ve yeni girişimlerin hayata geçirilmesi amacıyla "Fit for 55" yeşil paketi sunulmuştur [4]. Bu paket ile 2030 yılına kadar 1990 yılına kıyasla emisyonların %55 oranında azaltılması hedefinin AB mevzuatı ile uyumlu olmasının sağlanması amaçlanmaktadır. Bu paket, iklim değişikliği ile mücadele kapsamında AB Emisyon Ticaret Sisteminin gözden geçirilmesi gerektiğinin ve karbon kaçağının engellenmesi amacıyla sınırdaki karbon düzenlemelerinin devreye alınabileceğinin altının çizilmektedir.

1.2. AB Emisyon Ticaret Sistemi (ETS)

Bu çalışmanın ana konusu olan Sınırdaki Karbon Düzenleme Mekanizması (SKDM), AB Emisyon Ticaret Sisteminin (ETS) bir uzantısı olması nedeniyle, öncelikle ETS'nin amacının ve kapsamının doğru anlaşılması gerekir. ETS, "sınırla ve ticaretini yap" (cap and trade) işleyişi ile işletmelerin kendi aralarında emisyon haklarının alım satım işlemlerini yapabildikleri ticaret sisteminin adıdır [5]. Bu işleyişte ilk olarak emisyon için bir sınır (cap) belirlenir. Bu sınırın üzerinde emisyon yapan işletmelerin, sınırın altında kalan işletmelerden emisyon hakkı satın alması istenir. Bu ticaret neticesinde, kümülatif çerçevede emisyonların belirlenen sınırlar dahilinde kalması hedeflenir. Düşük emisyon yapan işletmeler emisyon hakkı satarak ticari gelir elde ederken, yüksek emisyonlu işletmeler yaptıklarının emisyonun maliyetine katlanmak mecburiyetinde kalırlar. Diğer bir deyişle sistem, emisyonu düşürmek için gayret gösteren işletmeleri ödüllendiren ve bu ödülün maliyetini yüksek emisyon yapan işletmelere yükleyen bir yaklaşım sunar.

1.3. Karbon Kaçağı (Sızıntısı)

AB enerji politikasının temel taşlarından biri olan AB ETS 2005 senesinde, küresel iklim kriziyle mücadelenin temel araçlarından biri olarak hayata geçirildi. ETS yaklaşımı her ne kadar kapsadığı bölgelerde karbon ticareti vasıtasıyla bir emisyon kontrolü imkânı sağlasa da, ETS'ye dahil olmayan ülkeler ya da bölgeler için içine girdiğinde, bu sistem açık vermektedir. Örneğin AB'de yerleşik bir firma AB içinden tedarik ettiği ve emisyonu vesile olan bir hammaddeyi aldığı anda, bunu kendi emisyonları dahilinde raporlayabilirken, AB dışında yer alan ve AB ETS'si ile uyumlu bir ETS'si olmayan bir ülkeden tedarik etmesi durumunda, ürün içine gömülü emisyonu raporlayabilmesi mümkün olmadığı için, ortaya bir karbon kaçağı ya da sızıntısı (carbon leakage) çıkmaktadır. Maliyetleri düşürmek amacıyla karbon kaçağını bir fırsat olarak gören AB'de yerleşik firmalar, yoğun emisyonu neden olan çimento, çelik gibi malzemeleri AB dışından tedarik ederek, kendi emisyonlarını düşük göstermekte, ancak küresel perspektiften bakıldığında sera gazı emisyonlarının devamına katkıda bulunmaktadır. Bu durum, ETS düşüncesinin gerçekten işler hale gelebilmesi için bu kaçağın kapatılması gerekliliğini ortaya net bir şekilde koymaktadır. Diğer bir deyişle, AB sınırlarının dışından ithal edilen ürünlerin vesile olduğu emisyonlara yönelik bir düzenlemeye, yani sınırdaki karbon düzenleme mekanizmasına ihtiyaç olduğunu göstermektedir.

1.4. Sınırdaki Karbon Düzenleme Mekanizması (SKDM)

Bir üst başlık altında bahsedilen karbon kaçağını engellemek amacıyla tasarlanan sınırdaki karbon düzenleme mekanizması (SKDM), AB'de yerleşik firmaların yoğun emisyon içeren ürünleri AB dışından tedarik etmeleri durumunda da ithalatçı firmanın emisyonun sorumluluğunu üstlenmesini sağlayan, ETS'nin uzantısı, daha doğrusu ETS'nin açıklarını kapatan bir mekanizma olarak tasarlanmıştır [6].

Bu mekanizma uyarınca AB'de yerleşik ithalatçı firmalar AB dışından tedarik ettikleri malların emisyon içeriklerini raporlamakla yükümlü tutulmuş ve ETS'ye benzer şekilde tedarik zinciri kaynaklı emisyonlarını da karşılayacak karbon sertifikalarını almakla mükellef kılınmıştır. SKDM karbon sertifikasının bedeli, AB ETS'deki tahsisatların bedeline denk tutularak, ETS ile uyumlu bir süreç tasarlanması hedeflenmiştir. 1 Ocak 2023 itibarıyla mali yükümlülükler uygulanmadan çelik, alüminyum, çimento, gübre, elektrik ve hidrojen sektörlerini kapsayacak şekilde yürürlüğe girmesi planlanan SKDM, pandemi nedeniyle ertelenmiş ve 1 Ekim 2023 tarihinde resmen yürürlüğe girmiştir. Mali yükümlülüklerin olmadığı geçiş sürecinin 31 Aralık

2025 tarihine kadar devam etmesi, 1 Ocak 2026 tarihinden itibaren ise yukarıda bahsi geçen altı sektör için mali yükümlülüklerin de devreye girmesi planlanmıştır. SKDM'nin tüm sektörleri kapsayacak şekilde devreye girmesi için 2030 senesi öngörülmektedir. 2034 senesinde ise tüm ücretsiz tahsisatların kaldırılmış olmasıyla, ETS ile tam entegre bir SKDM'nin işliyor olması planlanmaktadır [7, 8]. SKDM'den en çok etkilenmesi beklenen ülkeler arasında Rusya, Türkiye, Çin, Ukrayna, Balkan Ülkeleri, Mozambik, Kamerun ve Zimbabve gösterilmektedir [9]. Türkiye'nin SKDM'den en çok etkilenecek ülkeler arasında gösterilmesi nedeniyle, hem ülke, hem de sektörler bazında kapsamlı bir hazırlık sürecinin planlı bir şekilde işletilmesi önem taşımaktadır.

2. TÜRKİYE'NİN POZİSYONU VE GÜNCEL DURUM DEĞERLENDİRMESİ

2.1. Türkiye ve Paris Anlaşması

Paris'te düzenlenen 21. Taraflar Konferansının (Conference of The Parties, COP-21) son gününde, 12 Aralık 2015 tarihinde, katılımcı 196 ülkenin mutabakatıyla hazırlanan Paris Anlaşması [10], iki hafta süren ve hararetli tartışmalara vesile olan görüşmeler neticesinde oluşturulmuş ve 5 Ekim 2016 senesinde, küresel sera gazı emisyonlarının yüzde 55'ini oluşturan (en az) 55 tarafın anlaşmayı onaylaması koşulunun sağlanmasıyla, 4 Kasım 2016 tarihinde resmen yürürlüğe girmiştir [11, 12]. Birleşmiş Milletler (BM) İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'ne dayanan Paris Anlaşmasıyla birlikte devletler Kyoto Protokolü'nün sona erdiği 2020 senesi sonrası için sera gazı azaltımı taahhütlerinde bulunmuşlardır.

Paris Anlaşması ile tarafların üzerinde mutabakat sağladığı ana hedef, küresel ortalama sıcaklık artışını sanayi öncesi seviyelerden en fazla 2 , mümkünse 1,5 artış ile sınırlı tutmaktır. Bu anlaşmanın yürürlüğe girmesiyle birlikte ulusların azaltım hedefleri, uyum süreçleri, finansman, teknoloji geliştirme, şeffaflık ve durum değerlendirmesi gibi henüz net olmayan birçok sürecin üzerine inşa edilebileceği ortak bir zemin oluşturulması sağlanmıştır.

Türkiye, her ne kadar Paris Anlaşmasını 2016 senesinde New York'ta düzenlenen Yüksek Düzeyli İmza Töreninde imzalayan taraflar arasında yer almış olsa da, onay süreci hemen gerçekleşmemiş, yaklaşık beş yıl sonra, 7 Ekim 2021 tarihinde Cumhurbaşkanlığı kararı ile onaylanarak iç hukuk süreçleri tamamlanmıştır [13]. Ayrıca Türkiye'nin 2053 senesi için net sıfır hedefi de ilan edilmiştir.

Devamında gelen süreçte Mısır'da düzenlenen COP-27 kapsamında, Kasım 2022'de düzenlenen Bakanlar Oturumunda Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanı Sayın Murat Kurum, daha önce ilan edilen 2030 yılına kadar %21'e varan artıştan azaltım hedefimizi (NDC) güncelleyerek %41'e yükseltildiğini açıklamıştır [14]. Türkiye'nin açıkladığı bu hedefe göre olağan senaryoda (BaU) 2030 senesinde 1.178 Mt CO₂-eq'e ulaşması beklenen emisyonların 695 Mt CO₂-eq düzeyinde sınırlandırılacağı taahhüt edilmiştir. Bu hedef doğrultusunda emisyonların 2038 senesinde zirve noktasına ulaşacağı beyan edilmiş olsa da, herhangi bir rakamsal değer açıklanmamıştır.

2.2. Ulusal Emisyon Ticaret Sistemi (ETS)

Emisyon ticaret sistemi (ETS), ülkelerin emisyon hedeflerine ulaşabilmeleri sağlamak amacıyla oluşturulmuş ve yaygın şekilde kullanılan bir piyasa mekanizmasıdır. Bu sistemin amacı, belirli bir bölgedeki (ülke veya AB gibi daha geniş bir bölge) toplam sera gazı emisyonlarını öncelikli olarak sınırlamak ve sonrasında da azaltmaktır [15, 16]. Sınırla ve ticaretini yap (cap and trade) prensibine dayalı bir işleyişle çalışan ETS sisteminin daha iyi anlaşılması amacıyla, ETS'de geçen anlamlarıyla sınır ve ticaret düşüncelerinin detayları aşağıda açıklanmıştır.

2.2.1. Emisyon sınırı (cap)

Emisyon ticaret sisteminin ilk aşaması, hükümetlerin belirli bir dönemde toplam emisyon miktarını sınırlaması ile başlar. Bu sınır, ülkelerin veya bölgelerin iklim değişikliğiyle mücadele hedeflerine uygun olarak belirlenir. Belirlenen toplam emisyon miktarı, kapsanan sektörlerde faaliyet gösteren işletmelere dağıtılan emisyon izinleri veya kotalar şeklinde ayrılır. Her işletme, belirlenen bu sınır içinde kalmak zorundadır.

2.2.2. Ticaret (trade)

Emisyon izinleri veya kotaları, işletmeler arasında alınıp satılabilir. Bir işletme, belirlenen sınırdan daha az emisyon yaparsa, elinde kalan fazladan emisyon izinlerini başka bir işletmeye satabilir. Bu durumda, aynı dönem içerisinde daha fazla emisyon yapan bir işletme, ihtiyaç duyduğu ek izinleri satın alarak, bir anlamda vesile olduğu emisyonların bedelini ödemiş olur. Böylece, işletmeler arasında bir piyasa oluşur ve emisyon izinlerinin fiyatı arz ve talep dengesine göre belirlenir.

2.2.3. ETS'nin avantajları ve işleyişi

ETS, sera gazı emisyonlarını ekonomik olarak etkin bir şekilde azaltmayı hedefler. Katı kurallara ve yaptırımlara dayalı bir yaklaşıma kıyasla, şirketlere adaptasyon için zaman tanıyarak esneklik sağlar: Emisyonlarını azaltabilen şirketler, izinlerini satarak gelir elde edebilirken, emisyonlarını azaltmakta zorlanan şirketler, piyasadan izin satın alarak çevresel hedeflere uyum sağlarlar. Sistem, aşamalı olarak sıkılaştırılan emisyon sınırları (cap) aracılığıyla, uzun vadede emisyonların kademeli olarak azalmasını sağlar.

Dünyadaki güncel durum incelendiğinde, farklı bölgelerde uygulanan farklı karakteristik özelliklere sahip, çeşitli emisyon

ticaret sistemlerinin bulunduğu göze çarpmaktadır. Avrupa Birliği Emisyon Ticaret Sistemi (AB ETS), dünyanın en büyük ve en eski karbon ticaret sistemlerinden biridir. Ayrıca, ABD'nin bazı eyaletlerinde (örneğin, Kaliforniya) ve Çin gibi ülkelerde de benzer sistemler uygulanmaktadır. Her bir sistem, yerel koşullara ve iklim politikalarına göre farklılık gösterebilir.

Emisyon ticaret sistemi, iklim değişikliğiyle mücadelede önemli bir araçtır. Doğru tasarlandığında ve uygulandığında, ekonomik büyüme ile çevresel koruma arasında denge kurarak sera gazı emisyonlarının azaltılmasına katkıda bulunabilir.

	AB ETS	Çin	Birleşik Krallık	Kaliforniya	Yeni Zelanda	Güney Kore	Türkiye (İRD kapsamı)
Elektrik	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Sanayi	✓		✓	✓	✓	✓	✓
Binalar				✓	✓	✓	
Karayolu				✓	✓		
Havacılık	✓		✓		✓	✓	✓
Atık					✓	✓	
Ormancilık					✓		
Denizcilik	✓						
Ücretli Tahsisat	%57	%0	%55	%62	%55	%10	-
Gelirler (USD, 2022)	40 Milyar	0	7,5 Milyar	4 Milyar	1,2 Milyar	245 Milyon	-
Kapsanan Sera Gazı	%39	%40	%28	%74	%49	%73	%49

Çizelge 1. Dünya üzerindeki farklı ETS örnekleri, kapsamları ve gelirleri [17].

2.2.4. Türkiye'de ulusal ETS çalışmaları

Türkiye'de ulusal bir ETS kurulması süreci, 2015'te kurulan İzleme-Raporlama-Doğrulama (İRD) sistemiyle başlamıştır. Mevcut haliyle elektrik, sanayi ve havacılık sektörlerini kapsayan İRD, mevzuat kapsamında yer alan firmaların yaptıkları emisyon miktarına göre firmaları üç kategori altında sınıflandırmıştır [18]:

- Kategori A: Yılda 50.000 t CO₂-eq altı emisyon yapan işletmeler.
- Kategori B: Yılda 50.000 – 500.000 t CO₂-eq aralığında emisyon yapan işletmeler.
- Kategori C: Yılda 500.000 t CO₂-eq üzerinde emisyon yapan işletmeler.

2020 senesi itibariyle, Türkiye İRD sisteminde kayıtlı olan 476 tesis, toplam 520 Mt CO₂-eq emisyonun %48,2'sine denk gelen 251 Mt CO₂-eq miktarında sera gazı emisyonuna neden olmuştur [19]. Bu verilere, 2023 senesinde alınan kararla İRD sisteminde dahil edilen döküm tesislerinin emisyonları dahil değildir. 2025 senesinde pilot çalışmalara başlaması beklenen Ulusal ETS'nin ilk aşamasında sadece Türkiye İRD kapsamında yer alan emisyonların %92,1'inden sorumlu olan Kategori C tesislerin dahil edileceği açıklanmıştır. Türkiye'deki Kategori A tesisler İRD kapsamındaki emisyonların %1,2'sini, Kategori B tesisler ise %6,7'sini yapmaktadır.

2.2.5. Döküm sektörünün İRD kapsamına alınması

2007 senesinde Bali'de düzenlenen Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Konferansı (COP-13) Taslak Görüşmeleri (UNFCCC) neticesinde ortaya çıkan Bali Eylem Planı'nın bir çıktısı olan İRD (İzleme, Raporlama ve Doğrulama. İngilizce: Monitoring, Reporting and Verification; MRV) düşüncesi, iklim değişikliğinin kök nedeni olan sera gazlarının yönetilebilmesi için, tarafların öncelikle ölçülebilir, raporlanabilir ve doğrulanabilir salım verilerine sahip olması ve bunun için gerekli yöntemlerin geliştirilmesine yönelik ihtiyaç nedeniyle ortaya çıkmıştır [20, 21]. Temel amacı sera gazı emisyonları verilerine yönelik şeffaflık sağlanması ve finansal araçların bu şeffaflık neticesinde elde edilen verilerle yönetilebilir hale getirilmesi olan İRD, aynı zamanda ölçülebilir hedef ve değerleri oluşturarak, kriterlerin başarısını değerlendirme imkânı sunmayı da amaçlamaktadır. Ülkemizde de 2015 senesinde kurulan İRD sistemi ile ulusal bir ETS kurulumuna yönelik ilk adım atılmıştır [19, 22]. 2015 senesinden itibaren yönetmelik kapsamına elektrik üretimi, çimento, demir-çelik, alüminyum, rafineri, seramik, kireç, kağıt, gübre, tuğla, kimya ve cam sektörlerinde faaliyet gösteren tesislerin emisyonları izlemeye alınmış, 2023 senesinde alınan radikal bir kararla metal döküm sektörü de yönetmelik kapsamına dahil edilmiştir. Resmi herhangi bir kanalda yazılı olarak yayımlanmayan bu karar, Türkiye Döküm Sanayicileri Derneği (TÜDÖKSAD) Genel Sekreterliğine sözlü olarak bildirilmiş ve sektörde yer alan firmaların bilgilendirilmesi istenmiştir.

TÜDÖKSAD Yönetimi bu konuyla ilgili olarak gerek İklim Değişikliği Başkanlığı, gerekse konunun direkt muhatabı olmasa da bilgilendirme amacıyla Ticaret Bakanlığı ile birçok temas gerçekleştirmiş, ancak kararın gerekçesi ile ilgili somut bir gerekçe gösterilememiştir. Avrupa Döküm Federasyonu (EFF) ile yapılan sözlü görüşmeler neticesinde, Avrupa'da kayıtlı görünen

6.000'e yakın dökümhaneden sadece 28 tanesinin (bazı görüşmelerde bu sayı 24 olarak ifade edilmiştir) AB ETS'sine kayıtlı olduğu bilgisi verilmiş, ancak bu dökümhanelerin isimlerine ulaşamamıştır. AB SKDM tüzüğüne göre Türkiye'den ithal edilen ve 7307, 7308 ve 7326 gibi GTIP (CN) kodlarına sahip döküm parçalar SKDM'ye dahil edilmiş [23] ancak AB ETS mevzuatında [24] bunların net karşılıkları görülememiştir. AB ETS mevzuatında dökümhanelerin hangi kapsamda dahil edildikleri konusunda da netlik yoktur. İlgili mevzuatın Ek-1'inde (sf. 106) geçen 2,5 ton/saat üretim kapasite ifadesi (mevzuatta geçene primary or secondary fusion ve continuous casting ifadeleri dolayısıyla) çelikhanelere yönelik verilmiş olmasına rağmen döküm sektörüne yönelik olarak yorumlanmış, dökümhanelere (mevzuatın 106. sayfasında geçen ifadeyle foundries) yönelik kriter ise 20 MW anma ısı güç üzeri (total rated thermal input exceeding 20 MW) ifadesi ile dikkate alınmamıştır. Anma ısı güç sadece bir yakıt yakılması durumunda dikkate alınması gereken bir kriter olması nedeniyle ve döküm sektöründe faaliyet gösteren firmaların (birkaç istisna dışında) indüksiyon ergitme yöntemini kullanıyor olması nedeniyle, bu kriterle dair hatalı bir yorum yapıldığı sonucuna varılabilir. AB'de yerleşik dökümhanelerin de bu nedenle ETS kapsamına alınmadıkları düşünülmektedir.

2.3. İklim Kanunu Çalışmaları

İklim değişikliğiyle mücadelede ülkelerin attığı önemli bir diğer adım, bir İklim Kanunu oluşturarak, verilecek mücadeleye yasal bir çerçeve oluşturmaktır. Örneğin AB İklim Kanunu AB'nin 2050 senesi için koyduğu karbon nötr hedefine yasal bağlayıcılık kazandırmış ve AB üyesi ülkelerin bu hedef doğrultusunda çalışma zorunluluğu getirmiştir [25]. Türkiye de bu konuda önemli bir adım atmış ve İklim Kanunu Teklif Taslağı'nı hazırlamıştır. 2023 senesi Eylül ayında Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın Karbon Piyasalarına Hazırlık Ortaklığı (PMR) Programı kapsamında bir kanun teklifi olarak yayımlanan bu çalışmanın 2024 senesi içinde meclisten geçirilmesi bekleniyor [26, 27]. Türkiye'nin net sıfır hedefi ve yeşil kalkınma vizyonu için yasal temelin oluşturulması amacıyla hazırlanan İklim Kanunu, sera gazı emisyonlarının azaltılması, iklim değişikliğine uyum faaliyetleri, gelirler, izinler ve denetimler ile ilgili yasal bir çerçeve çizmektedir.

Mevcut durumda Türkiye'de iklim ve çevre konuları iki ulusal yasal çerçeve tarafından düzenlenmektedir. Bunlardan ilki ve temel yasal doküman olarak nitelendirilebilecek olan, çevre kirliliğinin önlenmesi için alınması gereken tedbirleri ve yasakları içeren Çevre Kanunu'dur [28]. 1983 senesinde yürürlüğe giren bu kanun, sonrasında gelen yıllarda gündemin ana maddelerinden biri haline gelen iklim krizine yönelik yeterli bağlam içermemektedir. Bu çerçevede dikkate alınması gereken ikinci doküman ise İklim Değişikliği Eylem Planı'dır [29]. 2011 - 2023 yılları arasında Türkiye'nin iklim değişikliğiyle mücadele kapsamında yol haritasını oluşturması için hazırlanan bu doküman her ne kadar kapsamlı bir çerçeve sunuyor olsa da, açık bıraktığı konular ve eksikleri gerekçe gösterilerek tepkiye de neden olmuş [27], bakanlık sayfasından taslak metin kaldırılmıştır. Taslağın revize edip edilmeyeceği veya ne zaman kanunlaşacağına dair net bir bilgi bulunmamaktadır.

3. DÖKÜM SEKTÖRÜ ÖZELİNDE DURUM DEĞERLENDİRMESİ

3.1. Türk Döküm Sektörünün Üretim ve İhracat Verileri

Türk Döküm Sektörü medyada yeterince temsil edilmiyor olması nedeniyle gerek kamu, gerekse siyasi arenada yeterli görünürlüğe sahip olmamasına rağmen, Türkiye'nin en köklü sanayi dallarından biri olması yanında, ihracat rakamları açısından da kayda değer bir üretim yapmaktadır. 2022 senesi itibarıyla toplam 3.108.729 tonluk toplam üretimiyle Avrupa'da Almanya'nın ardından ikinci, dünyada ise yedinci büyük döküm üreticisidir.

Özellikle pandemi sırasında ve sonrasında gerek iflas eden Avrupalı dökümhanelerden açığa çıkan işler nedeniyle, gerekse Avrupalı döküm alıcı firmaların Hindistan ve/veya Uzak Doğu ülkeleri yerine tedarik zinciri riskleri açısından daha güvenli bir konuma sahip Türkiye'yi tercih etmeleri nedeniyle, Türkiye'nin döküm üretimi pandemiyle birlikte %50'ye varan oranda artış göstermiştir (2020 toplam üretimi: 2.170.759 ton, 2022 toplam üretimi: 3.108.729 ton). Türk döküm sektörü, AB döküm üretimindeki payını da 2022 itibarıyla %21'e çıkarmıştır [30, 31]. 2023 senesinde 6,5 milyar Euro değerinde ihracat yapan sektörün yapısına bakıldığında ağırlıklı olarak pik (gri) ve sfero dökme demir üreten dökümhanelerden oluştuğu görülmektedir. Toplam üretim tonajındaki pay üzerinden bir kıyaslama yapıldığında dökme demir üretimini sırasıyla alüminyum ağırlıklı olmak üzere demir dışı ve çelik takip etmektedir (Çizelge 2).

	2018	2019	2020	2021	2022
Pik	603.000	614.334	617.320	920.694	901.331
Sfero	912.900	934.374	854.704	1.108.078	1.178.491
Çelik	192.400	192.491	192.010	279.254	290.104
Demir dışı	546.987	573.045	506.758	655.494	738.803
Toplam	2.255.287	2.314.244	2.170.792	2.963.520	3.108.729

Çizelge 1. Türk döküm sektörünün yıllar bazında üretim verileri (ton) [31].

2023 – 2028 yıllarına yönelik projeksiyonlarda ise, Türk Döküm Sektörünün 2028 senesinde 2022 senesine kıyasla %6 büyüme göstermesi ve 4.134.000 tonluk bir toplam üretime ulaşması öngörülmektedir [31].

3.2. Türk Döküm Sektörünün SKDM ile İlişkisi

AB tarafından 1 Ekim 2023 tarihinde resmen yürürlüğe konan SKDM, 31 Aralık 2025 tarihine kadar mali yükümlülüklerin devreye sokulmadığı bir geçiş süreciyle hayata geçirildi. Bu geçiş süreci medyada olduğu kadar mevzuatlarda da yüksek karbon kaçağı riski taşıyan altı sektörü (çimento, demir-çelik, alüminyum, gübre, hidrojen ve elektrik) kapsayacak şekilde yer almış olsa da, aslında AB perspektifinden bu ayırım sektörler bazında değil, AB'nin ithal ettiği ürünlerin Gümrük Tarife İstatistik Pozisyonu (GTIP) kodu üzerinden yapılmaktadır [23]. Bu ayırımın doğru bir şekilde anlaşılması, döküm sektörünün SKDM'deki yerini doğru anlamak açısından büyük önem taşımaktadır. Altı sektör vurgusu döküm sektörünün SKDM'ye dahil olmadığı şeklinde hatalı bir algının yerleşmesine yol açmıştır. Ancak uygulamaya bakıldığında, AB'de yerleşik ithalatçı firmaların AB'nin yayımladığı SKDM mevzuatında [23] geçen GTIP kodlarıyla ithal ettikleri döküm ürünler için de SKDM raporlaması yapılması gerekliliği ortaya çıkmıştır.

SKDM mevzuatı gereği sorumluluk AB'de yerleşik ithalatçı firmaların üzerinde olduğu için, Türkiye'de yerleşik operatör bir tesis SKDM'ye tabi olmayan bir GTIP numarası ile ihracat yapmış olsa bile, AB'de yerleşik ithalatçı firmanın aynı ürünü GTIP numarasını değiştirerek ithal etmesi durumunda, Türkiye'deki firmanın SKDM verisini AB'deki ithalatçı firmaya sunma zorunluluğu doğmaktadır.

Bir örnek olarak Ekstrametal firması, 7307 ve 7308 GTIP kodlarıyla Almanya, İtalya ve İsveç'te yerleşik 3 farklı müşterisine ihraç ettiği döküm parçalar için 1 Ekim 2023'ten başlayacak şekilde SKDM raporlamasına başlamıştır. Çizelge 3 üzerinde SKDM mevzuatında kapsam dahilinde gösterilen ve Türk döküm sektörü tarafından üretilen ve ihracatı yapılan bazı dökme demir ve çelik ürünlerin GTIP kodları listelenmiştir.

GTIP Kodu	Açıklama*
7303	<i>Tubes, pipes and hollow profiles, of cast iron.</i>
7307	<i>Tube or pipe fittings (for example, couplings, elbows, sleeves), of iron or steel.</i>
7308	<i>Structures (excluding prefabricated buildings of heading 9406) and parts of structures (for example, bridges and bridge-sections, lock-gates, towers, lattice masts, roofs, roofing frameworks, doors and windows and their frames and thresholds for doors, shutters, balustrades, pillars and columns), of iron or steel; plates, rods, angles, shapes, sections, tubes and the like, prepared for use in structures, of iron or steel.</i>
7326	<i>Other articles of iron or steel.</i>

*Kodların açıklamaları, muhtemel bir anlam kayması ya da farklı yorumlamanın önüne geçmek için orijinal İngilizce ifadeleriyle verilmiştir.

Çizelge 1. SKDM geçiş sürecine dahil edilen ve döküm ürünleri de kapsayan demir-çelik ürünlere ait GTIP kodları [23]

4. AŞILMASI GEREKEN ZORLUKLAR

4.1. Tedarikçi Verilerinin Eksikliği

SKDM mevzuatına yönelik hesaplamaların doğru bir şekilde yapılabilmesi için, kullanılan verilerin doğruluğu büyük önem taşımaktadır. Ancak kullanılan tüm girdilere yönelik doğru ve kapsamlı verilere ulaşabilmek henüz mümkün görünmemektedir. Bu sadece döküm sektörünün değil, SKDM kapsamındaki tüm sektörlerin ve tüm ülkelerin ortak bir problemi olması nedeniyle, Avrupa Komisyonu 22 Aralık 2023 tarihinde, SKDM'nin geçiş döneminde kullanılmak üzere elektrik dışında ithal edilen ürünlerdeki gömülü emisyonlara ait varsayılan emisyon değerlerini (default values) yayımlamıştır [32]. AB'de yerleşik ithalatçı firmaların doğru ve yeterli veriye ulaşmakta zorlanmaları durumunda, aşağıdaki koşullar doğrultusunda bu varsayılan değerlerin raporlarda kullanılmasına müsaade edilmiştir:

1. SKDM'nin yürürlüğe girmesine istinaden sunulacak ilk üç raporda (yani 2023 senesinin 4. çeyrek ve 2024 senesinin ilk iki çeyrek raporları) Komisyon tarafından yayımlanan veriler herhangi bir sınırlama olmadan kullanılabilir.
2. 2024 senesinin üçüncü çeyreğine ait sunulacak rapordan itibaren sadece karmaşık ürünler (complex goods) için ve toplam gömülü emisyonların %20'sini geçmemek kaydıyla bu değerler kullanılabilir.

Bu noktada SKDM kapsamında geçen basit ve karmaşık ürün (simple and complex goods) ayırımını da netleştirmekte fayda olabilir: Basit ürün ifadesi, üretim sürecinde herhangi bir gömülü emisyon bulunmayan, sadece proses kaynaklı emisyonların

bulunduğu ürünleri kapsıyor. Karmaşık ürünlerde ise gömülü emisyonların da dikkate alınması gerekiyor [33]. Döküm sektörünün üretimi olan döküm parçaların girdileri yoğun şekilde gömülü emisyon içerdiği için, döküm ürünleri karmaşık ürün olarak sınıflandırılmaktadır.

Türk döküm sektörü açısından en problemlili konulardan bir tanesi, döküm sektörünün tedarikçilerinin kendi ürünlerine dair sunması gereken verilerde önemli bir boşluk ve eksiklik olmasıdır. Bu eksiklik, varsayılan değerlerin kullanımına yönelik yurtdışındaki kısıtlamalar dikkate alındığında, sektörün sunacağı raporlarda kullanılacak verilerin nasıl temin edilebileceğine dair büyük bir soru işareti yaratmaktadır. Örnek olarak üç farklı müşterisi için SKDM raporlaması yapan Ekstrametel firması için, tedarikçi verileri SKDM raporları açısından bir şart olmasına rağmen, bu çalışmanın hazırlandığı ve 2024 ikinci çeyrek dönemi SKDM raporu çalışmaları devam ettiği dönemde, sektör tedarikçilerinden henüz hiçbir veri temin edilememiştir.

Bu veri eksikliğinin sektör açısından yarattığı bir diğer önemli konu da Komisyon tarafından sunulan varsayılan değerlerin kötü senaryolara dayalı olması nedeniyle, sektörü gerçekte olduğundan yüksek değerleri raporlamak durumunda bırakması ve ülkemizin rekabetçiliğine olumsuz etki etmesidir. Örnek olarak girdiler açısından ciddi bir prokürsör olan pik demir eğer Türkiye içinden, doğru emisyon verileriyle birlikte temin edilebilir olursa, Komisyonun yayımladığı yüksek değerler yerine (direkt: 1,90 t CO₂-eq/t, indirekt: 0,17 t CO₂-eq/t, toplam: 2,07 t CO₂-eq/t) daha doğru ve oldukça muhtemel daha düşük verilerin kullanılması, sektörün bilinçli olarak yüksek değere sahip veri kullanmanın getirdiği gereksiz bir rekabet dezavantajından muaf tutacaktır.

4.2. Enerji Konusundaki Belirsizlikler

AB ETS sistemi ilk olarak AB'de yerleşik enerji firmaları ile uygulamaya geçirilmiştir. ETS yaklaşımının emisyonların düşürülmesine gerçekten vesile olduğunu enerji sektörü üzerinden test edilmiş olduğu için, ETS'nin bir uzantısı olan SKDM'de de ister istemez enerji sektörü öne çıkmış, firmalar SKDM süreci başlamadan özellikle GES yatırımlarıyla bu sürece hazırlanmak istemişlerdir. Ancak TÜDÖKSAD Yönetiminin Ticaret Bakanlığı ve Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı ile yaptığı temaslarda, Avrupa Komisyonu'nun Türkiye'deki elektrik şebekelerinin yeterli izlenebilirlik seviyesinde olmadığını gerekçe göstererek, arazi GES'ler ile üretilen elektriğin SKDM kapsamında mahsuplaşmaya dahil edilemeyeceğini söylediği sözlü görüşmelerle ifade edilmiş, ancak konuya dair herhangi bir netlik olmadığı, müzakerelerin devam ettiği de bildirilmiştir. Bu konuyla ilgili olarak gerek medyaya, gerekse mevzuatlara yansıyan herhangi bir yazılı bilgi yoktur. Ancak bu gelişme, SKDM sürecine dair belirsizliklerin boyutlarına dair bir örnek olarak dikkat alınmalıdır.

SKDM kapsamında enerji kaynaklı emisyonlara dair bir diğer belirsizlik konusu da yenilenebilir enerji sertifikaları konusudur. Tüketicilere tedarik edilen elektriğin tamamının veya bir kısmının lisans sahibi tüzel kişiler tarafından ve yenilenebilir kaynaklardan üretildiğinin takibi, ispatı ve ifşa edilmesi amacı ve yenilenebilir enerji sertifika sisteminin kurulması hedefiyle, 2002 senesinde Brüksel'de RECS International adında kâr amacı gütmeyen bir organizasyon kurulmuştur. Bugün Avrupa'da kullanılan bu sertifika sisteminin bir benzeri, Türkiye'de Nisan 2020'de başlatılan çalışmalar neticesinde 1 Haziran 2021 tarihinde YEK-G adıyla canlı uygulamaya geçirilmiştir. Ancak TÜDÖKSAD Yönetiminin Ticaret Bakanlığı ile yaptığı görüşmelerde, AB'nin bu sertifikaları SKDM kapsamında dikkate almadığını, bu sertifikalar yoluyla yapılacak belgelendirmelerin dikkate alınmayacağını belirtmiştir. AB'nin bu tutumu, akademik literatürde bu sertifikaların nihai amaca ne ölçüde hizmet ettiğine yönelik eleştiriler sunan yayınlar dikkate alındığında anlaşılabilir [34]. Bu akademik çalışmalar, yenilenebilir enerji sertifikalarının tek başlarına pratikte herhangi bir ekolojik fayda sağlamadığını, hâlihazırda kurulu yenilenebilir enerji yatırımlarının üzerinde bir sertifika talebi olmadıkça yenilenebilir kaynakların kullanımını arttırmadığını geçmiş verilerle göstermektedir.

Bu belirsizlik içinde mevcut durumda Türkiye'de yerleşik tesisler, eğer çatı GES gibi kendi yerleşkesi içindeki bir kaynaktan elektrik temin etmiyorsa, şebekeden elektrik almakla ve şebekedeki karbon yüküne katlanmak durumunda kalmaktadır. Türkiye, elektrik üretimindeki emisyon faktörü açısından orta kademinin üst taraflarında yer almaktadır. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Enerji Verimliliği ve Çevre Dairesi Başkanlığı 2024 senesi içinde yayımladığı Türkiye Ulusal Elektrik Şebekesi Emisyon Faktörü Bilgi Formu [35] ile birlikte Türkiye Elektrik Üretimi ve Elektrik Tüketim Noktası Emisyon Faktörleri Bilgi Formunu da güncellemiştir [36]. Bu formlarda 2021 yılı için yapılan değerlendirmenin sonuçlarına göre Türkiye geneli elektrik üretimi emisyon faktörü 0,439 tCO₂-eq./MWh olarak hesaplanmıştır. Bir kıyaslama sunması açısından 2023 senesi verilerine göre bu faktör ABD için 0,369 tCO₂-eq./MWh, Japonya için 0,485 tCO₂-eq./MWh, Çin için 0,582 tCO₂-eq./MWh ve Hindistan için 0,713 tCO₂-eq./MWh olarak, Avrupa'lı ülkelerde ise Fransa için 0,056 tCO₂-eq./MWh (yoğun nükleer enerji kullanımı nedeniyle bu değer Fransa için ortalamadan çok altındadır), Almanya için 0,268 tCO₂-eq./MWh, İngiltere için 0,238 tCO₂-eq./MWh, İtalya için ise 0,331 tCO₂-eq./MWh olarak raporlanmıştır [37, 38].

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın yayımladığı verilere göre 2021 yılı için birleşik marj emisyon faktörü güneş ve rüzgâr enerjisi santralleri için 0,6345 tCO₂/MWh olarak, diğer yenilenebilir enerji santralleri için ise 0,5410 tCO₂/MWh olarak hesaplanmıştır. Bu veriler, Türkiye'de güneş ve rüzgâr enerjisinden üretilecek her 1 MWh elektrik üretiminin 0,6345 ton CO₂ emisyonundan, diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından üretimde ise 0,5410 ton CO₂ emisyonundan tasarruf sağlayabildiği anlamına gelmektedir. Türkiye'nin yenilenebilir enerji yatırımlarına devam etmesiyle, şebeke emisyon faktörünün önümüzdeki yıllarda daha da düşmesi beklenmektedir.

4.3. Hammadde ve Proses Kaynaklı Emisyonlar

AB ETS'nin ilk olarak AB'de yerleşik enerji firmaları ile başlatılmış olması, SKDM'nin de enerji öncelikli bir konu olarak algılanmasına neden olmuştur. Ancak Ekstrametel firmasının gerek SKDM raporlamaları, gerekse 14064 kurumsal karbon ayak izi raporlarındaki besikten mezara emisyon değerleri dikkate alındığında, hammadde kaynaklı emisyonların enerji kaynaklı emisyonlara kıyasla daha öne çıktığı görülmektedir. Bu bir açıdan bir sürpriz olarak görülmemelidir: Keza, Avrupa Komisyonu'nun yayımlanmış olduğu ve önceki sayfalarda da bahsi geçen varsayılan değerler (default values) [32] dikkate alındığında, hammadde tarafından ciddi bir emisyon katkısı olduğu görülebilir (Çizelge 4). Yüksek bir gömülü emisyonla sahip pik demirin dökme demir dökümhaneleri için önemli bir girdi olması, nihai ürüne ister istemez ciddi bir emisyon katkısı yapmaktadır.

Ürün	GTIP Kodu	Açıklama	Varsayılan Emisyon Değerleri (t CO ₂ -eq/t)		
			Doğrudan Emisyon	Dolaylı Emisyon	Toplam Emisyon
Pik demir	7201	Pik demir, pik veya diğer formlardaki yüksek manganlı pik (<i>spiegeleisen</i>)	1,90	0,17	2,07
FeMn	7202 1	Ferro mangan	1,44	2,08	3,51
FeCr	7202 4	Ferro krom	2,07	3,38	5,45
FeNi	7202 6	Ferro nikel	3,48	2,81	6,26

Çizelge 1. Avrupa Komisyonu'nun SKDM geçiş sürecinde kullanılması için önerdiği, döküm sektörüyle ilgili bazı girdilerin varsayılan emisyon değerleri [32].

Çizelge 4 üzerinde gösterilen varsayılan emisyon değerlerine dair dikkat edilmesi gereken önemli bir nokta bulunmaktadır: Avrupa Komisyonu bu varsayılan değerleri küresel değerleri dikkate alarak hesapladığı için, satın alınan pik demire ait gerçek değerler değil, birçok kötü üretim koşullarını da dikkate alan ortalama ve yüksek bir değeri raporlanmaktadır. Eğer bu pik Türkiye'den, gerçek emisyon değerleriyle birlikte temin edilebilirse, bu yüksek varsayılan değerlerin kullanılmasına gerek kalmayacağı için hem SKDM raporlarında beyan edilen gömülü emisyonların düşmesine, hem de cari açığa olumlu yansımaları olacaktır.

Döküm sektöründe kullanılan en önemli girdilerden bir diğeri olan kumun da stratejik bir girdi olarak bu kapsamda dikkate alınması önemlidir. Ormanlar bağlamında alınan önlemlerin yarattığı kısıtlamalar nedeniyle, döküm kumunun iç piyasadan tedarikine yönelik ciddi bir darboğaz ortaya çıkması beklenmektedir [39]. Bu çerçevede bütünsel bir bakış ile yaratacağı olumsuz etkiler değerlendirilerek sağduyulu bir karar alınması sektörün geleceği açısından büyük önem taşımaktadır. Döküm üretiminde Avrupa'da ikinci sırada bulunan Türkiye için yurt dışından kum tedariki ile üretim yapmak sürdürülebilir görünmediği gibi, bu kadar yüksek miktarda kumun sürekli olarak uzak mesafelerden getirilecek olması, ürüne yansıyan nakliye kaynaklı emisyonlara da olumsuz etki edecektir.

4.4. Sağlıklı Veri Akışlarının Kurulması

SKDM raporları ürün bazlı raporlama gerektirdiği için, bu raporlamayı yapacak firmaları en zorlayan konulardan bir tanesi her ürün için doğru verilerin temin edilmesini sağlayacak altyapının ve veri akış sisteminin kurulması olacaktır. Üretim rotasına bağlı olarak, ürün bazında değişkenlik gösteren SKDM raporlamaları, ideal bir senaryoda her bir ürün için ergitmede harcanan enerjiden tutun, parçanın taşınmasında harcanan elektriğe kadar ayrıştırma yapılmasını gerektirmektedir. Buna uygun sayaçlara ve veri akış altyapısına sahip olmayan firmalar için tahsisatların yapılması belli bir yere kadar uygun görülse de, SKDM'nin firmalar arasında gerçek anlamda bir rekabet unsuru ortaya çıkarabilmesi için, operatör tesislerin operasyon bazlı yaptıkları iyileştirmeleri raporlayabilmeleri için kanıt niteliği taşıyacak veri sistemlerini kurmaları bir şarttır. Ancak, gerçekçi bir perspektiften bir değerlendirme sunmak gerekirse, enerji ve hammadde gibi emisyonların büyük kısmından sorumlu kalemlerde bile yukarıda detayları verilen zorluklar ve belirsizlikler yaşanırken, proses emisyonlarındaki bu ayrıştırma gereksinimi ikincil bir öneme sahip görülmelidir yorumu yapılabilir.

5. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

AB'nin yürürlüğe sokmuş olduğu emisyon ticaret sisteminin (ETS) bir uzantısı olarak değerlendirilmesi gereken sınırdaki karbon düzenleme mekanizması (SKDM), her ne kadar medyada altı sektörü kapsayan bir uygulama olarak yer almış olsa da, AB perspektifinden bu kapsam sektörler üzerinden değil, ithal edilen ürünlerin GTIP kodları üzerinden belirlendiği için, SKDM'nin ilk gündeme geldiği günlerde döküm sektörünün kapsam dışı olduğuna yönelik bir algı yerleşmiş, ancak daha sonra bazı döküm ürünlerinin de SKDM kapsamında yer aldığı netleşmiştir. Mali yükümlülüklerin devreye alınmadığı geçiş döneminde aralarında Ekstrametel'in de yer aldığı bazı dökümhaneler SKDM raporlarını sunmaya başlamışlardır.

Küresel iklim kriziyle mücadelenin etkin araçlarından biri olarak görülen ETS'nin uzantısı olan SKDM'ye uyum süreci, bütünsel bir çerçevede yönetilmezse, Türkiye için fırsatlar yanında ciddi riskler de barındıran bir süreçtir. SKDM'ye uyum için firmaların yapacağı yatırımlar, özellikle bu çalışmada açıklanan enerji ve hammadde konularında yaşanan belirsizlikler göz önüne alındığında, ihracatçı firmaların maliyetlerini telafi edilemez şekilde arttırabilir. Buna bir örnek olarak, bu çalışmanın hazırladığı dönemde hala muğlaklığını koruyan, arazi GES'ler ile üretilen elektriğin SKDM kapsamına alınıp alınmayacağına dair belirsizlik gösterilebilir. Bu perspektiften görülmesi gereken bir diğer risk de, ihracatçı firmaların SKDM'ye uyum çerçevesinde yüklenileceği maliyetleri iç piyasadaki müşterilerine yansıtmakta yaşayacağı güçlük olacaktır. Türkiye'de yerleşik döküm alıcıları, SKDM'ye uyum çalışmaları nedeniyle maliyetleri ve dolayısıyla fiyatları artan yerli üreticiler yerine, Hindistan ve Çin gibi ucuz alternatifleri tercih etme yoluna gidebilir. Türkiye'de kurulu, aktif bir ETS olmaması nedeniyle, Türkiye kendi üreticilerini koruyacak bir SKDM'yi yürürlüğe sokamamaktadır. Bu nedenle SKDM'ye yönelik yatırım yapan firmaların, iç piyasadaki rekabetçiliklerini ucuz ülkelere karşı kaybetme riski bulunmaktadır.



Şekil 1. AB ETS'sindeki karbon fiyatının son beş yıl içindeki değişimi [40].

Son olarak SKDM'nin yaratacağı mali yükümlülükler konusunda bir netlik sağlanması, bu çalışmanın tamamlanması açısından faydalı olacaktır. Şekil 1 üzerinde 2020 Eylül - 2024 Haziran dönemi için AB ETS'sinde 1 ton CO₂-eq emisyon için verilen tahsisatın bedelini €/ton olarak gösterilmektedir. Bu grafiğin görüntülediği 13 Haziran 2024 tarihinde, günlük fiyat 71,44 €/ton (yani 0,07144 €/kg) olarak görülmektedir. Örnek olarak AB'nin yılda 1.000 ton CO₂-eq emisyon sınırı (cap) belirlemiş olduğu bir sektörde yer alan bir firma 1.010 ton CO₂-eq emisyon yaptığı takdirde, 10 x 71,44 = 714,4 € tutarında emisyon izni (emission allowance) satın almak durumunda kalacaktır.

Bu noktada net bir şekilde anlaşılması gereken en önemli konu, SKDM bağlamındaki ticari yükümlülüğün AB'de yerleşik ithalatçı firma üzerinde olduğudur. Yani Türkiye'de yerleşik firmalar SKDM'de geçen bedelleri ödemekle mükellef değil, sadece AB'deki ithalatçı firmaya ihraç ettiği ürünlerdeki emisyon miktarını raporlamakla yükümlüdür. Bu önemli noktanın çoğu zaman hatalı yorumlara neden olduğu ve karbon vergisi ödeyeceğiz gibi, doğru olmayan beyanlara yol açabildiği görülmektedir. Mali yükümlülük tamamen ithalatçı firmada olduğu gibi, AB buradaki mali yükümlülüğün karbon vergisi şeklinde yorumlanmasını da hatalı görmekte, bu tahsisatları, fiyatı sürekli değişen değerli bir menkul kıymet olarak tanımlamanın daha doğru olacağını beyan etmektedir.

SKDM ile AB'nin ulaşmayı hedeflediği sonuç, döküm sektörü özelinde şu şekilde örneklendirilebilir: AB'de yerleşik bir firma Türkiye'deki bir döküm üreticisinden dökme demir döküm parça alıyorsa, ve bu ürün için SKDM emisyonu 3,11 ton CO₂-eq / ton ise (yani 1 ton dökme demir için 3,11 ton CO₂-eq emisyonu yapıyor ise) firma aldığı her 1 ton dökme demir ile birlikte 3,11 ton CO₂-eq ithal etmiş olacağı için, bunun bedelini ödemek zorunda kalacak. (3,11 ton CO₂-eq / ton değeri, AB tarafından yayımlanan ve geçiş döneminde kullanılması için müsaade edilen varsayılan değerler tablosundan, 7307 19 10 GTIP numarası için (other tubes, pipes and hollow profiles (for example, open seam or welded, riveted or similarly closed), of cast iron) önerilen emisyon miktarından alınmıştır [32].) AB'de yerleşik ithalatçı firmanın satın aldığı dökme demir fiyatının 2,50 €/kg olduğu kabul edilirse, gömülü emisyonun fiyatıyla birlikte (yukarıda verilen 0,07144 €/kg üzerinden hesap yapılırsa) 3,11 x 0,07144 = 0,22 €/kg (küsürat silinmiştir) emisyon bedeli ödeyecek, yani döküm parçanın kendine geliş maliyeti 2,50 €/kg + 0,22 €/kg = 2,72 €/kg olacaktır. Burada işletilmesi beklenen mekanizma, döküm parçayı 2,50 €/kg yerine 2,72 €/kg üzerinden alan ithalatçı firmanın bu ek maliyet nedeniyle kendi üreticisine baskı kurması, ya da daha düşük emisyonla sahip bir tedarikçiye yönelmesi şeklindedir. Ancak burada verilen değerler, her ne kadar ek bir maliyet çıkarsa da, bu tür bir baskı ya da tedarikçi değişikliğine vesile olur mu, iyi düşünülmesi gerekir. Ancak bu hesaplamada kullanılan karbon fiyatının sabit bir değer olmadığı, ilerleyen yıllarda artması durumunda daha yüksek maliyetler yaratacağı da dikkate alınmalıdır. (Örneğin karbon fiyatının beş kat arttığı (357,2 €/ton) ekstrem bir senaryoda, 2,50 €/kg olan döküm parçanın AB'de yerleşik firmaya toplam maliyeti yukarıdaki senaryoya göre 3,61 €/kg olacaktır.)

İşin mali boyutu bir yana, SKDM, Türkiye'nin ana müşterisi olan AB'nin mevzuatına uyum yönünde Türkiye'nin atması gereken bir adım olarak görülmeli, ancak bu süreçte Türkiye'deki firmaların mağdur edilmemesi için dikkatli bir planlama ile birlikte süreç yönetimi şart görünmektedir. Bu kapsamda sektör ve düzenleyici devlet kurumları arasındaki ilişkinin güçlendirilmesi ve döküm sektörünün bu süreçte doğru bilgileri sağlama sorumluluğunu kendinde göreyerek ilişkilerini geliştirmesi önem taşımaktadır.

6. KAYNAKÇA

1. "Communication from the Commission to The European Parliament, The European Council, The Council, The European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions." European Commission, Brussels. (11.12.2019). URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2019%3A640%3AFIN>
2. P. Tamma, E. Schaart, A. Gurzu. "Europe's Green Deal plan unveiled: The goal of making the EU climate neutral by mid-century is likely to set off a political battle." Politico (11.12.2019). URL: <https://www.politico.eu/article/the-commissions-green-deal-plan-unveiled/>
3. "Regulation (EU) 2021/1119 of the European Parliament and of the Council of 30 June 2021 establishing the framework for achieving climate neutrality and amending Regulations (EC) No 401/2009 and (EU) 2018/1999 ('European Climate Law')." Official Journal of the European Union. L243/1. (9.7.2021). URL: <http://data.europa.eu/eli/reg/2021/1119/oj>
4. "Fit For 55." European Council. (Son gözden geçirme tarihi: 12.04.2024). URL: <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/green-deal/fit-for-55/>
5. "Effective Carbon Prices." OECD Publishing, Paris (2013). URL: <https://doi.org/10.1787/9789264196964-en>.
6. "A European Union Carbon Border Adjustment Mechanism: Implications for Developing Countries." United Nations Conference on Trade and Development (2021) sf. 1-31. URL: https://unctad.org/system/files/official-document/osginf2021d2_en.pdf
7. "Carbon Border Adjustment Mechanism." European Commission, Taxation and Customs Union. URL: https://taxation-customs.ec.europa.eu/carbon-border-adjustment-mechanism_en
8. "Carbon Border Adjustment Mechanism." EPRS – European Parliament Research Service. At a Glance – Fit for 55 Explainer (2023). URL: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/ATAG/2023/754626/EPRS_ATA\(2023\)754626_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/ATAG/2023/754626/EPRS_ATA(2023)754626_EN.pdf)
9. G. Magacho, E. Espagne, A. Godin. "Impacts of the CBAM on EU Trade Partners: Consequences for Developing Countries." Climate Policy. Cilt 24, Sayı 2 (2024) sf. 243-259. URL: <https://doi.org/10.1080/14693062.2023.2200758>
10. "Adoption of the Paris Agreement." United Nations. Framework Convention on Climate Change. Conference of the Parties, Twenty-First Session. (12.12.2015). URL: <https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/109r01.pdf>
11. S. Yeo. "Explainer: Paris Agreement on climate change to 'enter into force'." Carbon Brief (6.10.2016). URL: <https://www.carbonbrief.org/explainer-paris-agreement-to-enter-into-force/>
12. Q. Schiermeier. "Paris Climate Deal To Take Effect As EU Ratifies Accord." Nature (2016). URL: <https://doi.org/10.1038/nature.2016.20735>
13. N.E. Kaya, G. Çağatay. "Paris Anlaşması Türkiye'de Yürürlüğe Giriyor." Anadolu Ajansı. (9.10.2021). URL: <https://www.aa.com.tr/tr/cevre/paris-anlasmasi-turkiyede-yururluge-giriyor/2415695#>
14. B. Bagatr. "Türkiye Artıstan Azaltım Hedefinden Vazgeçmedi: 2030'a Kadar Hedef %41 Azaltım." İklim Haber (15.11.2022). URL: <https://www.iklimhaber.org/turkiye-artistan-azaltim-hedefinden-vazgecmedi-2030a-kadar-hedef-a-azaltim/>
15. A. Lilico, D. Drury. "The EU Emissions Trading System: Method and Effects of Free Allowance Allocation." Policy Department for Budgetary Affairs Directorate-General for Internal Policies, European Parliament (2023). sf. 1 – 34.
16. W. Stoefs. "EU ETS 101: A Beginner's Guide to the EU's Emissions Trading System." Life ETX (2021). sf. 1 – 34.
17. "Emisyon Ticaret Sistemi ve SKDM İlişkisi." T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, İklim Değişikliği Başkanlığı (2024).
18. "Emisyon Ticaret Sistemine Yönelik Güncel Çalışmalar." Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, İklim Değişikliği Başkanlığı, Karbon Fiyatlandırma Dairesi Başkanlığı (2023).
19. A.A. Aşıcı. "Türkiye Emisyon Ticaret Sistemi'nin Bir Ön Analizi." İstanbul Politikalar Merkezi, IPC – Mercator Analizi (2024).
20. Ö. Algedik. "İklim Değişikliği Eylem Planı Değerlendirme Raporu." Tüketiciyi ve İklimi Koruma Derneği (Tüvik-Der) ve Heinrich Böll Stiftung Derneği Türkiye Temsilciliği (2013).
21. S. Wartmann, J. Larkin, K. Eisbrenner, M. Jung. "Elements and Options for National MRV Systems: Based on the Autumn School 2012 'MRV – Today, Tomorrow and the Future.'" International Partnership on Mitigation and MRV. Ecofys (2013).
22. V. Polat. "Türkiye'deki Sera Gazı Emisyonlarının İzlenmesi, Raporlanması ve Doğrulanmasının Mevcut Durumu." İklim Değişikliği Başkanlığı, Sera Gazı Emisyonlarının İzlenmesi Dairesi Başkanlığı (2024).
23. "Regulation (EU) 2023/956 of The European Parliament and of The Council of Establishing a Carbon Border Adjustment Mechanism." Official Journal of the European Union. L130/52 (2023). URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/956/oj>
24. "Directive 2003/87/EC of the European Parliament and of the Council Establishing a Scheme for Greenhouse Gas Emission Allowance Trading Within The Community and Amending Council Directive 96/61/EC." (2003). URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2003/87/oj>
25. "Regulation (EU) 2021/1119 of The European Parliament and of The Council of Establishing The Framework for Achieving Climate Neutrality and Amending Regulations (EC) No 401/2009 and (EU) 2018/1999 ('European Climate Law')." Official

- Journal of the European Union L243/1 (2021). URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2021/1119/oj>
26. S. Ocak. "İklim Kanunu teklifi, yeni yasama döneminde TBMM gündemine gelecek." Anadolu Ajansı (25.08.2023). URL: <https://www.aa.com.tr/tr/politika/iklim-kanunu-teklifi-yeni-yasama-doneminde-tbmm-gundemine-gelecek/2975896>
27. E. Atay. "Taslak İklim Kanununa Liberal Bakış Açısı." Özgürlük Araştırmaları Derneği (18.10.2023). URL: <https://oad.org.tr/yayinlar/tahlak-iklim-kanununa-liberal-bakis-acisi/>
28. "Çevre Kanunu." Kabul Tarihi: 9.8.1983. URL: <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuatmetin/1.5.2872.pdf>
29. "İklim Değişikliği Ulusal Eylem Planı 2011-2023." Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara (2012). URL: <https://webdosya.csb.gov.tr/db/iklim/banner/banner591.pdf>
30. "Demir ve Demir Dışı Metaller Sektörü Sürdürülebilirlik Eylem Raporu." İstanbul Demir ve Demir Dışı Metaller İhracatçıları Birliği (2023).
31. T.C. Şen. "Türk Döküm Sektörünün Genel Değerlendirmesi." TOBB Döküm Sanayi Meclisi Toplantısı (29.9.2023).
32. "Default Values for The Transitional Period of The CBAM Between 1 October 2023 and 31 December 2025." European Commission Directorate General Taxation and Customs Union, Indirect Taxation and Tax Administration, CBAM, Energy and Green Taxation (2023).
33. "Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM). Carbon Leakage in The EU." Accountancy Europe. Factsheet (2024).
34. A. Björn, S.M. Lloyd, M. Brander, H.D. Matthews. "Renewable Energy Certificates Threaten The Integrity of Corporate Science Based Targets." Nature Climate Change. Cilt 12 (2022). sf. 539-546.
DOI: <https://doi.org/10.1038/s41558-022-01379-5>
35. "Türkiye Ulusal Elektrik Şebekesi Emisyon Faktörü Bilgi Formu." T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (12.03.2024).
36. "Türkiye Elektrik Üretimi ve Elektrik Tüketim Noktası Emisyon Faktörleri Bilgi Formu." T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (12.03.2024).
37. "Electricity Data Methodology." Ember (2024). URL: <https://ember-climate.org/app/uploads/2022/07/Ember-Electricity-Data-Methodology.pdf>
38. "Statistical Review of World Energy." Energy Institute. (2023). URL: <https://www.energyinst.org/statistical-review>
39. R. Bozkurt. "Kadir Efe Röportajı: Metal Döküm Sektöründe 'İşleme ve Komponent Üretimi' Özendirilmeli." Nasıl Bir Ekonomi (20.05.2024).
40. "EU Carbon Permits" Trading Economics. (Görüntülenme tarihi: 13.06.2024). URL: <https://tradingeconomics.com/commodity/carbon>

The Roadmap for a Sustainable Foundry Industry

Morten BECHLUNG
Norican Group, Taastrup, Denmark

ABSTRACT

Sustainability and finding a path to net zero is crucial for our industry's future as well as the world's. This paper will discuss why foundries must put sustainability at the heart of their strategy, how they can start measuring emissions and set targets for reducing them, and the partners and programs available to help them.

It will outline how the new EU legislation CSRD will influence companies globally, and reference relevant global standards like ISO 14001 and EcoVadis. It will cover scope 1, 2, and 3 emissions auditing, and explain how frameworks like the Science Based Targets initiative (SBTi) can help to comply with legislation and focus on carbon reduction efforts.

The paper will share what Norican has learned in the three years since its own commitment to SBTi: its measurement initiatives, approved carbon reduction targets, ongoing global sustainability initiatives and partnerships with customers.

It will also tell the story of MAT Group which is exploiting the latest digital technologies, efficient equipment and supplier expertise in order to measure and cut emissions across its supply chain, and move quickly to set science-based reduction targets.

Finally, it will note that sustainability has many other aspects beyond emissions reduction, as shown in the 17 UN Sustainable Development Goals. As well as helping create a more efficient, competitive and profitable foundry, sustainability initiatives build stronger relationships with customers and suppliers, a healthier internal culture, stronger communities and, overall, an industry that's fit for the future.

Keywords: foundry sustainability, emissions reduction, circulatory, waste reduction, resource efficiency, sustainable profitability

1. INTRODUCTION

The global context

The world is facing the existential challenges of depleting resources and rising global temperatures. Both these developments are, if allowed to continue, incompatible with life as we know it on this planet.

The way we consume and produce today is not sustainable. Climate science tells us we need to slow global warming urgently to prevent runaway global heating and irreversible damage to the planet. The economics of depleting resources means some will become so scarce as to be unaffordable to most.

Since the Paris Agreement in 2015 (a legally binding international treaty under which the global community committed to hold “the increase in the global average temperature to well below 2°C above pre-industrial levels”), a global push towards binding emission reduction targets and stricter sustainability regulations has gathered pace, affecting all regions and making its way across supply chains.

The foundry industry in the spotlight

Foundries are of course still energy-intensive, largely fossil-fuel-powered operations, as well as users of a number of diminishing resources. As such, our industry is part of the problem but, in turn, can be part of the solution.

The foundry industry’s most powerful customer segment, Automotive, is under pressure and taking action to decarbonize its own production and, increasingly, its supply chains. This is happening fast and is starting to impact foundries, who will be asked to track and declare the carbon footprint of their castings, commit to carbon-neutral products or set emission reduction targets in order to be invited to tender.

For example, Daimler will now only accept suppliers for new contracts who have confirmed in writing that they will supply CO₂-neutral products from 2039 at the latest. Suppliers are asked to sign an “Ambition Letter” in order to have a chance of being selected for the contract. Supply chain sustainability targets for three focus areas (aluminum, steel, and battery cells) will be enforced even sooner than that: net carbon-neutral cell production is a central requirement for all of Daimler’s battery cell partners today, along the whole product supply chain.

Sustainability beyond emissions

Reducing greenhouse gas (GHG) emissions is of course only one aspect of sustainability, albeit an urgent one. Regulations and purchasing policies increasingly cover additional environmental, social and governance dimensions.

This too is starting to reach foundries as a supplier requirement, via codes of conduct and responsible sourcing policies that align with emerging standards.

Foundries that can show progress across these broader aspects of sustainability (for example, use of resources, circularity, robust support of workers’ rights, investment in education, employee wellbeing and safety) will score higher when competing for contracts.

Many people in the foundry industry recognize the transition to more sustainable operations as a moral duty. They are supported in pursuing it by the regulatory and customer pressures outlined above, but also by the simple fact that, in many cases, sustainable practices make business sense.

In this paper, we show that:

- fast progress is possible for foundries who want to produce more sustainably and retain access to increasingly sustainability-driven global supply chains;
- frameworks are available to guide a foundry’s sustainability roadmap, with most foundries farther along on their journey than they might think;
- sustainability efforts have knock-on effects that benefit foundries’ long-term competitiveness beyond mere compliance with regulatory or supply chain demands;
- learnings from industry peers can offer invaluable insights on quick wins and starting points;
- foundry leaders are not alone on their sustainability journeys, with suppliers, customers and, crucially, employees often willing and ready to contribute to sustainability efforts and work in partnership.

Norican Group, both as a supplier of foundry technology and buyer of foundry products, is a few years into its own journey, having collected learnings transforming its own business as well as helping foundries transform theirs – through equipment, upgrades and tools that decarbonize processes and cut waste.

Most importantly, the Group's technology brands (DISA, ItalPressGauss, Monitizer, Simpson, StrikoWestofen and Wheelabrator) have supported foundries around the world in putting systems in place to track their sustainability performance. This paper builds on learnings from this global picture and from Norican's own journey.

2. FRAMEWORKS AND REGULATIONS: A BRIEF OVERVIEW

The regulations driving the adoption of more sustainable industrial practice and the frameworks helping companies work towards them are plentiful. Regional and local regulations are emerging around the world.

However, in the context of the conference audience, it is worth noting the central role of the EU's CSR Directive (CSRD), which directly impacts industrial businesses operating in Europe, as well as those with a significant turnover in European markets. Its influence is likely to ripple along global supply chains, and foundries selling into European markets should be aware of and prepared to meet key requirements.

The CSRD builds on other sustainability aims and concepts of the last decade, notably the Paris Agreement (2015) and the United Nations' Sustainable Development Goals (SDG) that are the basis of the UN's "2030 Agenda" (also 2015). The Paris Agreement is the main reference point from which emission reduction goals are derived around the globe (for regions, countries, industries, etc.). The SDGs, meanwhile, offer a comprehensive view of sustainability, capturing all aspects of sustainable development from good health and wellbeing, quality education and gender equality through to economic growth and industry, innovation and infrastructure. Climate action is also an SDG. The seventeen SDGs already are one of the commonly used frames of reference in corporate sustainability reporting.

The main purpose of CSRD is to enhance sustainability reporting as part of corporate reporting of non-financial information – in recognition of the increasing importance of non-financial performance to a business's stakeholders (from consumers and civil society to shareholders and governments). It also prescribes an element of external audit, similar to financial reporting.

The Directive expressly mentions existing reporting standards to look to when seeking to comply with the new rules:

"Sustainability reporting standards should be proportionate and should not impose an unnecessary administrative burden on companies that are required to use them. In order to minimize disruption for undertakings that already report sustainability information, sustainability reporting standards should take account of existing standards and frameworks for sustainability reporting and accounting where appropriate. Such existing standards and frameworks include the Global Reporting Initiative, the Sustainability Accounting Standards Board, the International Integrated Reporting Council, the International Accounting Standards Board, the Task Force on Climate-related Financial Disclosures, the Carbon Disclosure Standards Board, and CDP, formerly known as the Carbon Disclosure Project."

CSRD also references the need to follow climate science when reporting and setting targets.

For companies looking to comply with these emerging rules, existing structures and frameworks are available, offering both a basis and a roadmap for their sustainability transformation. We focus here on those that can already be found in or lend themselves to adoption in the foundry industry.

For example:

- ISO 14001:2015 is the established international standard for environmental management systems, giving companies a structured approach to improving their environmental performance.
- ISO 50001 is the international standard for energy management, enabling businesses to continuously improve and proactively shape their energy use.
- The Science-Based Targets initiative (SBTi) offers an emissions reporting framework and guidance tailored to businesses, including specific reporting advice for certain sectors. It helps businesses establish a baseline and set emission reduction targets rooted in climate science, with a clear pathway to achieving them.
- Environmental, Social and Governance (ESG)/sustainability assessment and scoring providers help companies assess their sustainability performance, often by awarding an annual ESG score with a progression path. Norican Group has experience using EcoVadis, a French company widely used around the world.
- Local initiatives and country reporting standards (for example, Turkey's corporate responsibility reporting rules, which came into force in January 2024).

Of the above, many foundries will have experience with the ISO standards for energy and environmental management systems. Indeed, many will have implemented one or both of these. They provide an excellent foundation for evolved sustainability reporting and improvements.

Foundry leaders will now be familiar with the three “scopes” in emissions tracking:

- Scope 1: Direct GHG emissions from sources the company owns or controls, for example, foundry furnaces
- Scope 2: Indirect GHG emissions from generating electricity, steam, heat, and cooling consumed by the reporting company
- Scope 3: Indirect GHG emissions from a company’s customers and suppliers. For example, customer use of a company’s products and services.

Many foundries are already successfully capturing and reporting their scope 1 & 2 emissions. Scope 3 emissions, those generated upstream and downstream in the value chain, are more difficult to assess and influence. However, as suppliers, foundries’ scope 1 & 2 emissions contribute to their customers’ scope 3 emissions. For major customer industries like car-makers, these emissions make up a significant part of their emissions inventory and something they are already looking to track and reduce.

In summary, major sustainability regulations are set to make improved sustainability performance (and the ability to prove it) a requirement for doing business for foundries who want to access or continue to sell into key markets. Standards and frameworks are available to help on that journey.

In the following, we show opportunities for fast progress for foundries and the business benefits and long-term competitive advantages that make sustainability about more than compliance.

3. SUSTAINABILITY IN THE FOUNDRY PROCESS

In projects around the world, in foundries of all sizes, we have seen a broad range of successful sustainability initiatives that unlock significant improvements in sustainability and business performance, as well as creating knock-on effects that help address some of the key challenges the industry is facing – from attracting talent to dealing with materials shortages and rising prices.

Opportunities for improvements can be big or small, require easy adjustments or major transformations. Some are obvious, some are hidden.

Here, we will look at those opportunities across all parts of the foundry process and along five key areas of sustainable foundry practice. The areas are:

- o resource efficiency
- o circularity,
- o energy efficiency,
- o emissions reduction,
- o working conditions.

Within these five areas, we show challenges, opportunities and solutions that are based on our groupwide experience on customer projects, from DISA’s test foundry in Denmark, as well as from our own sustainability journey as a global equipment manufacturer, casting buyer and employer of engineering talent.

3.1.Resource efficiency:

The effective, efficient and economical use of resources is not new to foundries. Any foundry using lean principles is used to avoiding and systematically minimizing waste. The sustainability perspective adds a new dimension to these efforts, driven also by a greater requirement to measure and report progress. Resource efficiency has obvious, instant cost benefits that usually outstrip the cost of achieving it. Here are the main opportunities.

1. Scrap avoidance is a major driver of resource efficiency in foundries. Remelting and recasting scrap means spending the same resources twice, as well as disrupting the production flow. Technologies available to minimize scrap intervene at different stages of the process.

For example, a solution that prevents mismatched or misaligned molds from being poured was introduced by DISA a few years ago and has proven effective at preventing scrap in vertical molding lines. It means the waste of resources stops at the mold, without allowing a casting that is certain to be scrapped to be poured, cooled, cleaned and inspected before being remelted. The ability to pinpoint in real time, which molds are affected also means no good castings are scrapped “by association” or because the line had to be stopped to find out what has gone wrong.

Perfectly controlling all parts of the foundry line and keeping process parameters from sand moisture to shotblast energy

within tight ranges is another way of bringing down scrap rates. This is made easier by digital process monitoring that gathers real-time data from sub-processes and flags if any one parameter is drifting out of range. For complex root causes of scrap, AI-aided data analysis is available that can find even subtle patterns in parameter variations that would be impossible or resource-intensive to detect manually.

Finally, and more fundamentally, moving to modern molding technology can dramatically reduce scrap rates. For example, a DISA customer slashed scrap rates on a matchplate line from 20% to 0% by moving from old molding equipment to the latest matchplate technology.

2. Quality improvement is closely linked to the scrap issue, but extends to castings that do not require scrapping, but may need extra machining or rework, or those that are not declared scrap until they have been shipped and are rejected at the customer's quality control.

The aim of resource efficient quality improvement is to get it "right first time" as early on in the process as possible. Castings that are of consistent, precise quality require fewer interventions and less rework – down to being able to reduce the thickness of coatings. It saves resources by deploying exactly the right level of materials and energy to achieve the desired result.

Here too, data-driven process optimization can play a dual role of tracking process data for sustainability reporting while continuously improving quality. Casting-level traceability is a key enabling technology here, allowing foundries to see and analyze the production parameters of individual castings to continuously fine-tune settings and practices across the whole line.

The sustainability impact of improved product quality does not end at the foundry gates. Castings with exactly the right quality for the intended job are less likely to fail prematurely and last longer before being recycled.

3. The efficient use of material and operating resources can have significant knock-on effects on other sustainability metrics like energy efficiency and carbon footprint, as well as production of hazardous waste.

Use of materials and operating resources can be optimized at every stage of the casting process:

- o Saving water, binder and new sand in sand preparation
- o Preventing metal loss during melting, holding and transferring of molten metal (aluminum in particular, due to its high susceptibility to oxidation)
- o Preventing spills during pouring
- o Saving abrasive during shot blasting

Many of the above can be achieved through IIoT technology (see our real-life examples later on), with a focus on tight control of consumption ratios - an important lever.

For example, optimizing sand/water ratios in sand mixing helps save water. Full visibility and digital monitoring of fill levels in furnaces helps improve metal yields. Real-time monitoring and optimization of abrasive use helps achieve a better cleaning result with less abrasive (and prevents accidental consumption peaks).

All this can now be tracked and managed digitally, bringing together evidence-gathering for sustainability reporting, improvement of sustainability performance and a more profitable, more resilient process.

3.2. Circularity:

Foundries are no strangers to circularity. The high recyclability of iron and aluminum means most foundries already feature an element of circular operation. Technology has advanced to expand this, both for reuse of metal and for other operating resources, like sand and shot. There is an opportunity to make even more of the foundry production process circular, resulting in sustainability benefits, as well as advantages in terms of costs and supplier dependency.

There are two major opportunities for increased circularity in a foundry. The obvious one: metal. And the less obvious one that has increasingly come into focus: sand.

1. Using as much recycled metal as possible rather than virgin metal reduces a foundry's upstream environmental footprint, as well as saving cost. Scrap material that is bought in more cheaply than "new" steel, iron or aluminum contributes to the global or domestic circular economy of metal, reducing the need for environmentally damaging resource extraction. It also has a much lower carbon footprint. To illustrate the point in numbers, for steel and aluminum, the environmental benefit of using scrap instead of virgin metal is as follows (in Europe):

- o Using steel scrap in the production process reduces CO2 emissions by 58%.
- o Using aluminum scrap instead of raw aluminum reduces CO2 emissions by 92%.
- o Recycling steel saves 72% of the energy needed for primary production.
- o Recycling aluminum saves 95% of the energy needed for primary production.
- o Using recycled steel to make new steel reduces air pollution by 86%, water use by 40%, and water pollution by 76%.

Increasing the rate of recycled materials being processed is therefore a significant opportunity to minimize or avoid a number of environmental impacts. And it is possible. Norican customer foundry group Draxton, for example, is continually increasing the recycled metal content of its castings, at a current rate of 92%.

Beyond environmental benefits, using recycled metal is cheaper, less vulnerable to supply issues and price fluctuations, and reduces transport. This is even more the case, when recycling scrap and metal waste produced inside the foundry. Here again, Draxton leads the way, with a 100% internal recycling rate at many of their foundries. Where machining is done on site, resulting metal waste can also be fully recycled.

2. Near-circularity within the foundry can today be achieved for sand, where modern sand reclamation technologies enable the reuse and reconditioning of mold sand on site. This reduces the need for expensive new sand that is often plagued by shortages and price increases, as well as being a rare natural resource that is running out. On-site reclamation and the gradual reduction of the rate of new sand used to single digits has additional benefits that improve the overall economic and sustainability performance of a foundry:

- o reduced transport
- o predictability of supply
- o reduction of landfill waste (and associated costs)

It is not uncommon for a foundry to go from somewhere around 50% reclaimed sand to over 90% by using state-of-the-art reclamation technologies.

It is worth noting that operating a sand reclamation plant comes with a carbon footprint that usually falls within Scope 1 or 2 of a foundry's emissions inventory. More on this later.

Other areas, where resources can be or are being reused and recycled are:

- o Recycling of other waste materials into raw materials for other industries and processes, rather than letting them go to landfill.
- o Reusing waste heat for energy generation or facility heating/cooling.
- o Tightly controlling the operating mix of abrasive in shot blast equipment to ensure maximum use of recycled abrasive.

2.3. Energy efficiency:

Foundries are of course energy-intensive facilities, often processing materials that are energy-intensive to produce in the first place, but there are many opportunities to run foundry processes on less energy. Key to this is starting to track and actively manage energy use, whether that's by implementing energy management according to ISO 50001, as many foundries do, or by digitally monitoring energy use on key pieces of equipment or across the entire line.

Deploying more energy-efficient equipment throughout is an obvious solution, but must be balanced against the cost and environmental impact of machine replacements. Especially for auxiliary equipment like shot-blast machines, furnaces, sand mixers, etc., energy efficiency upgrades and maintenance can offer significant energy savings that quickly pay for themselves in reduced energy cost. This could be upgrading lids on aluminum shaft furnaces, a change to more energy-efficient blast wheels, and proper maintenance and timely exchange of furnace linings (linings in poor condition can mean up to 30% more energy use). As outlined earlier, avoiding scrap and thereby the need to remelt castings is a major opportunity for energy savings too.

Where exactly new equipment is needed to deliver scrap reduction or energy efficiency, or where an upgrade can deliver interim progress, are decisions best made using data. Whether that's a manual process to arrive at an initial assessment and baseline, or data from digital systems.

IIoT technology is a useful tool to drive energy efficiency across the entire foundry. A foundry-wide IIoT system can map and record all energy use (increasingly important for sustainability reporting) and identify peaks and inefficiencies to be smoothed out, as well as opportunities to save energy.

For individual machines, digital tools are available that keep energy use at the optimum and flag issues that could cause

energy waste in real time. For example, monitoring the energy consumption profile of shot-blast equipment can identify patterns of unnecessary machine idling – unproductive use of energy – that can usually be slashed significantly. Similarly, in aluminum foundries, digital tools to optimize melting at different levels of furnace utilization (“part load efficiency”) can save significant energy (up to 20%, according to our experts at StrikoWestofen).

A foundry’s energy is a key contributor to its emissions inventory, so monitoring energy use also creates the basis for emissions tracking and reporting.

2.4. Emissions reduction:

As with circularity, for emissions reduction, too, there are obvious and less obvious quick wins and major items to be found in foundries.

Melting operations are of course a major potential emissions source, - as Scope 1 emissions from the on-site burning of foundry coke or gas, or as Scope 2 emissions from electricity use for induction furnaces.

Across all parts of a foundry, electrification is often the first step to significant emissions reductions, as it enables the direct control of the carbon footprint of each electrified process, via the electricity mix purchased. For example, moving to induction melting in an iron foundry and subsequently switching its electricity supply to renewables will wipe out most of the foundry’s initial carbon footprint (in addition to reduced local air pollution and enhanced worker health & safety). Where this is not possible, moving from technology using carbon-intensive fuel to one using less carbon-intensive fuel could also be significant step.

An often-overlooked emissions item in many foundries is the sand reclamation process. As mentioned before, while reclaiming sand is a good thing, sand reclamation equipment can be a significant source of emissions, depending on the technique used. Widely used thermal reclamation is gas-powered, while mechanical and pneumatic techniques are not. One of our supplier foundries hit its most significant early emissions reduction milestone after switching from thermal to pneumatic reclamation.

Which opportunities to prioritize and how to work through them can be guided by a structured emission reduction roadmap that is based on recognized methodologies. At Norican, we have found our involvement with the Science-Based Targets initiative (SBTi) incredibly helpful in mapping reduction initiatives. In brief, we committed to setting emissions reduction targets under SBTi in 2021 and submitted our targets for validation in November 2022, following work to understand our footprint and baseline. While our targets were being analyzed and validated by the SBTi, we commenced our first year of working towards those targets and systematically tackling our emissions before receiving official confirmation of the targets by SBTi in July 2023. In the three years since our baseline year, we have made steady, systematic progress – from gradually switching our facilities to renewable energy and electrifying fleets to phasing out natural gas in manufacturing operations.

A key learning here is that, yes, the big projects are important, but so is a continuous improvement mindset focused on ‘sustainability wins’. This enables emission reduction activities at a local level, which may have a relatively smaller impact in isolation, but that quickly add up. Sharing those ‘wins’ so others can adopt them is key too.

As mentioned above, detailed digital tracking of energy use and other resource consumption across the foundry creates a powerful foundation for emissions tracking and reduction. Data from IIoT systems can be easily overlaid with the associated carbon footprint of the energy or resources used - highlighting reduction opportunities, showing reduction progress and providing large parts of a foundry’s Scope 1 & 2 emissions inventory for reporting. Most importantly, the emission reporting can be a by-product of an IIoT set-up that continuously improves the foundry’s overall performance and productivity. It does not have to be a separate system created purely for reporting and compliance.

Tackling a foundry’s Scope 1 & 2 emissions will be a significant step and hard work for most, but a good understanding of Scope 3 emissions is important too. Foundries create the Scope 3 emissions of their customers, who will increasingly be looking at the complete carbon footprint of a casting, including transport (downstream from the foundry) and raw materials (upstream from the foundry). For foundries in strategic locations, the transport aspect in combination with proven sustainability performance could present interesting new market opportunities (for example, the nearshoring to avoid long transport routes).

2.5. Working conditions:

Many of the things that make foundries more sustainable in the wider sense (beyond environmental aspects) also make them more attractive employers and more interesting places of work. At a time when, as is true in most parts of the world, foundries struggle to attract and retain skilled staff, this goes to the heart of a foundry’s long-term competitiveness and survival.

A transformation towards more sustainable practices and the placing of foundries at the heart of thriving local communities ensures the next generation of workers (and customers) is happy to start careers in, buy from, and visit foundries.

It starts with the basics: health, safety and wellbeing at work. Keeping workers safe through robust processes and through production set-ups that continuously “design out” safety risks, should be a minimum requirement for any foundry. Whether that’s replacing dangerous manual interventions with those performed by robots, reducing physically taxing manual loading/unloading, paying attention to ergonomics or addressing local environmental risks.

Often, initiatives delivering this, will be part of a bigger transformation that cannot be done in a day (for example, a switch from cupola to induction furnace that has emissions reduction and worker health benefits), but the continuous evaluation of isolated, easier to fix health risks can make a difference too. For example, at Norican, we phased out silica-based grinding belts at one of our manufacturing sites, following a trial of a new alternative. Extensive crystalline silica exposure has been linked to a variety of diseases.

Increased automation has an (at least) dual role in improving sustainability. In a first step, it helps strip out safety risks associated with manual interventions and (when moving to a continuous end-to-end process) makes foundries much cleaner, more pleasant working environments. Secondly, it changes the types of work people do in the foundry from less attractive, less rewarding lower skilled work to more skilled, more interesting work. By improving productivity and profitability, it also puts foundries in a position to offer better wages and compete effectively for talent.

An often-overlooked aspect of the role of automation in creating a different kind of foundry, is the opening up of foundries as a place of work that appeals to a broader demographic than in the past. Foundries as high-tech workplaces are more likely to attract female talent, and offer continued employment for older workers, where in the past the physically demanding nature of the work would have been a barrier to greater diversity.

Digitalization is an extension of automation in this regard. It offers interesting career paths for a digitally minded new generation, while at the same time making foundry operations less dependent on the specialist knowledge of a few highly experienced people. In fact, digital systems can ensure their experience is not lost and new workers learn faster, thanks to a new level of process visibility and transparency.

4. SUSTAINABILITY IN PRACTICE

While some of the opportunities and actions shared above involve big, fundamental changes of how a foundry is set up and operates, many of them can be started small or be part of a holistic transformation that delivers significant economic returns. Foundries around the world are successfully embedding sustainability in their operations today – in ways that work for them and their goals. Here are three examples.

4.1. CASE STUDY: MAT Foundry Group

Comprising seven foundries and eight businesses located across three continents, MAT Foundry Group is a world-renowned specialist in the engineering and manufacture of cast and machined parts for the automotive sector. The MAT team realized early on that the ability to track emissions and report environmental performance will be key to winning tenders from automotive companies.

“To be able to quote for new business now, you have to know your product carbon footprint,” says Luke Batter, Process Development Manager at MAT Group. “All our largest customers will not accept a new RFQ without it. One of our largest customers has said that sustainability is just as important as purchase price, although they still want the lowest price per part too.”

At their UK site in Poole, UK, MAT currently calculates a per-ton figure for embedded scope 1 and 2 carbon, based on its total casting output and energy consumption. Adding in product-specific metrics like weight and yield produces a carbon footprint for each individual casting.

But it’s not just about emissions. The group’s commercial director, Shaun Lindfield, explains MAT’s approach to sustainability: “My team take central responsibility for continuous process improvement and carbon reduction projects. For me, process improvement and carbon reduction go hand in hand. Improving your process or your casting quality means you consume fewer resources, which reduces energy consumption, transport costs and so on. There’s a double payback: lower emissions and lower costs as well.”

Over the years, MAT Group has steadily created robust foundations for its progress on sustainability. All its facilities comply with ISO 14001 for environmental management and OE plants are all ISO 50001 certified for energy management. The

team introduced comprehensive digital process optimization (using the IIoT platform Monitizer | DISCOVER) across several of its sites more than five years ago, which has made it easier to now get emissions data from the process.

Dashboards were initially set up to report energy consumption per ton in real time. “What we’re aiming for is a real-time carbon metric for every sub-process and a Monitizer digital dashboard that gives us a per-batch emissions figure for each product as it’s produced,” says Luke.

Measuring scope 3 emissions is the next big challenge. MAT is gathering data as fast as it can but, with data on only 10% of supplier emissions, it still doesn’t have quite enough to get an accurate figure. First, it wants to be ready to commit to SBTi.

Shaun: “We haven’t signed up to SBT, we’re waiting so we can align our standards with our customers. But we’ve been measuring scope 1 and 2 emissions across the group for the last two years and already offer our customers a product carbon footprint based on that. We started measuring scope 3 emissions in our own supply chain this year [2022].”

The team also realize the key role of scrap reduction in improving sustainability performance. Shaun concludes: “Quality and emissions reduction are being linked like never before. When you start to reduce your scrap, there’s a significant reduction in scope 1, 2 and 3 emissions. There’s the melting energy but also all the other carbon emissions that go into producing scrap – the alloys, the energy to dry the sand, bentonite, the transport emissions and so on.

“There’s a complete shift in mindset coming over the next three to five years. Getting to zero scrap is going to be crucial because the effect on emissions will make you so much more competitive. If you are producing 3-5% scrap, it’s going to cost you a whole load more to get to carbon neutrality. Again, it’s about process improvement leading to fewer emissions. It saves you money and makes you more profitable – so why isn’t everybody doing this?”

4.2. CASE STUDY: Morikawa

Morikawa is a leading foundry in Japan. It embarked on an ambitious digitalization project in 2021, primarily to improve process visibility and unlock new opportunities for continuous improvement. As a result, Morikawa can combine and visualize real-time data from across its entire casting process and make it accessible for users in any location and on any device. The ability to now track emissions data too is proving a welcome by-product.

A key goal of the project was to collect the broadest possible range of process-related data, giving Morikawa a detailed holistic view of its entire process and helping it trace the source of any quality issues. It also ensures that the AI-driven optimization will be able to consider every possible influence on final casting quality.

Data flows from all parts of the process, which includes the many PLCs controlling machines like sand mixers and sand testers, inoculant weighing, the pouring unit and other data sources. There’s a feed from the PC-based system that controls the four induction melting furnaces’ PLCs, melt temperature measurement and the multiple electricity supplies for the furnaces.

The new set-up means Morikawa is well placed to spot and cut waste and inefficiencies throughout the foundry. Bottlenecks in the process are visible, for example, when the molding machine has to wait for a pattern change, fresh sand to be mixed or metal to be melted. Data from the IIoT system also makes it easier to understand precisely why these delays occur and to find the best ways to avoid them. Morikawa has started more advanced analysis to look for ways to improve the molding line’s overall performance and is already finding other applications for its new source of detailed, reliable process data.

For example, Japan’s government has announced ambitious targets for carbon neutrality which means that the automobile industry and its suppliers are trying hard to reduce their carbon emissions.

While sustainability reporting was not the main consideration for Morikawa when it initially planned its IIoT project, the new system ensures the foundry is well placed to track emissions and respond to emerging requirements – without much extra data gathering effort. Morikawa is already collecting data on electricity consumption and will now be able to use its visualization tools to monitor real-time metrics such as its CO₂-equivalent emissions.

4.3. CASE STUDY: Draxton

Draxton is a global manufacturer of cast iron and aluminum components with a presence in six countries across three continents and employing 4,000 people. With 13 production units and three engineering centers, its total annual casting capacity exceeds 620,000 tons, it produces complex components for brakes, powertrain and transmission systems. Draxton’s Barcelona foundry has made significant progress in improving its sustainability performance, with IIoT technology playing an important role, alongside drives towards circularity and conscious use of resources.

Clotilde Teson Ruiz, Draxton’s Europe & Asia Talent & Culture, CSR and Environment Director, summarizes the challenge:

"Sustainability is a significant issue in the foundry industry and the automotive industry as a whole. Companies must incorporate sustainability into their organizational strategies. In order to move forward, we have to reduce our environmental impact and take action to improve the health and future of the planet.

"We have been working for more than three years to define, analyze and promote projects that improve our carbon footprint," continues Clotilde. "In 2022, Draxton used over 200,000 tons of scrap, accounting for more than 92% of the material composition of each of our parts. We also recycle our waste material into raw material for other industries. This contributes to the circular economy and is a decisive step towards sustainability."

Draxton uses its IIoT system specifically to improve sustainability performance. The system collects, aggregates and stores data from any vendor's equipment across multiple lines and even global sites. At Draxton in Barcelona, it gives the team a 24/7 digital view of production. This live process view means staff can measure – and take action to reduce – the plant's carbon footprint.

Javier Heredia, Plant Manager at Draxton Barcelona, explains: "The advantage we have is that [the system] gives us access to data and process monitoring in real time. This allows us to act immediately to improve performance and reduce material and energy consumption.

"It is helping us a lot with sustainability, mainly because we have now digitized and can monitor many of our processes, including practically all consumption ratios within the plant. For example, insufficient molding sand often slowed down our two molding lines. Now we can vary the sand mixing cycle time to optimize the sand-water ratio. This has removed the bottleneck and reduced water and electricity consumption along with waste. We have better control of our equipment, so can make our process more efficient and sustainable."

5. FUTURE-PROOF FOUNDRIES

We have shown that more sustainable foundry practices are possible, and progress can be made quickly. Frameworks and guidelines are available that enable structured, steady progress towards measurable milestones.

The above case studies shine a light on the role digital data and IIoT systems can play in seamlessly and cost-effectively making sustainability reporting (and sustainability progress) part of everyday foundry operations, as well as coupling it closely with continuous improvement efforts that positively impact the bottom line and enhance competitiveness.

But more importantly, we hope to have shown how a strategic, continuous focus on sustainability can guide foundries into the future. In many cases and when done right, sustainable practices have a positive impact on profitability and competitiveness, even in the short-term, with fast ROIs and benefits for productivity, quality, production cost. In the long term, sustainable foundry production will be necessary to win business, stay competitive and attract staff – it will become the only way of operating.

Many foundries around the world have started their sustainability journeys and prove that fast progress is possible, regardless of geography and size. Starting this journey sooner rather than later means securing a competitive advantage today, while getting ready for a world where proven sustainability performance is not only a must-have for winning business, but for building thriving, attractive foundry businesses for the long run.

REFERENCES

1 See <https://group.mercedes-benz.com/responsibility/sustainability/climate-environment/ambition-2039-our-path-to-co2-neutrality.html> (retrieved June 2024)

2 For the full text of the directive in English, please see: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32022L2464>

3 See <https://www.iso.org/standard/60857.html>

4 See <https://sciencebasedtargets.org/how-it-works>

5 As published in the government gazette: <https://www.resmigazete.gov.tr/fihrist?tarih=2023-12-29&mukerrer=1>

6 All stats here taken from: https://circulareconomy.europa.eu/platform/sites/default/files/euic_metal_recycling_factsheet.pdf

Döküm Sektörü İçin Sera Gazlarının Hesaplaması ve Doğrulanması Çalışması

Berivan BODUROĞLU*

***Erkunt Sanayi A.Ş., Ankara, Türkiye**

ÖZET

Günümüzde artan insan nüfusu, doğal kaynaklar ve enerji talebini artırarak çevre üzerinde olumsuz etkiler yaratmaktadır. Bu durum, doğanın dengesi üzerinde belirgin etkiler yaparken, iklim krizi senaryoları da bilimsel olarak doğrulanmaktadır. İklim krizini önlemek amacıyla dünya genelinde çeşitli politikalar ve tedbirler alınmakta olup, sera gazlarının artışı bu krizin temel nedenlerinden biri olarak kabul edilmektedir. Ülkemizde sera gazı emisyonlarını azaltmak için çeşitli düzenlemeler yapılmış, özellikle sanayi işletmelerine sorumluluklar yüklenmiştir. Bu çalışmada, döküm sanayi için sera gazlarının hesaplanması ve doğrulanması süreçleri incelenmiş, sanayi işletmeleri için kullanılabilir bir yol haritası oluşturulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Döküm, sera gazları hesaplama, doğrulama, çevre

CALCULATION AND VERIFICATION OF GREENHOUSE GASES FOR THE CASTING INDUSTRY

ABSTRACT

Today, the growing human population is creating negative impacts on the environment by increasing the demand for natural resources and energy. While this situation has significant impacts on the balance of nature, climate crisis scenarios are scientifically confirmed. Various policies and measures are being taken worldwide to prevent the climate crisis, and the increase in greenhouse gases is recognized as one of the main causes of this crisis. In our country, various regulations have been made to reduce greenhouse gas emissions and responsibilities have been imposed especially on industrial enterprises. In this study, the processes of calculation and verification of greenhouse gases for the foundry industry were examined and a road map that can be used for industrial enterprises was created.

Keywords: Casting, greenhouse gases calculation, verification, environment

1. GİRİŞ

1.2. Sera Gazları ve Sera Etkisi

İnsan nüfusundaki artış, doğal kaynaklar ve enerji ihtiyacının artışıyla doğru orantılı olarak giderek artmaktadır. Ancak bu sürecin plansız ve hızlı bir şekilde ilerlemesi, çevresel düzenin olumsuz etkilenmesine sebep olmaktadır. Bu değişimlerin etkileri gün geçtikçe daha belirgin hale gelmekte ve bilimsel veriler iklim krizi senaryolarını doğrulamaktadır. Dünya genelinde, iklim krizini önlemek adına çeşitli politikalar ve önlemler alınmakta, bu çerçevede sera gazlarının artışı önemli bir sorun olarak ele alınmaktadır. Sera gazlarının tanımlanması, ölçülmesi ve etkilerinin en aza indirilmesi uluslararası ve ulusal düzeyde önemli bir gündem maddesidir. Bu gazlar, atmosferde ısının bir kısmını tutarak ve yeryüzünün ısısının kaybını önleyerek iklim değişikliğine katkıda bulunmaktadır. Atmosferdeki ısının artması, dünya genelinde tüm ekosistemler için ciddi riskler oluşturmaktadır. Dolayısıyla, sera gazlarının yönetimi uluslararası düzeyde titizlikle izlenmeli ve yönetilmelidir. Atmosferde bulunan başlıca sera gazları şunlardır:

- Su buharı (H₂O)
- Karbondioksit (CO₂)
- Metan (CH₄)
- Nitröz Oksit (N₂O)
- Ozon (O₃)
- Kloroflorokarbonlar (CFC'ler)
- Hidroflorokarbonlar (HCFC'leri ve HFC'leri içerir)

Bu gazların kontrol altına alınması ve emisyonlarının azaltılması, çevresel sürdürülebilirlik için kritik önem taşımaktadır. Ülkemizde sera gazı emisyonlarının azaltılması için çeşitli düzenlemeler yapılmıştır. Bu düzenlemeler özellikle sanayi işletmelerine önemli sorumluluklar yüklemektedir. Sera gazı emisyonlarının azaltılabilmesi için öncelikle doğru bir hesaplama ve doğrulama süreci gerekmektedir, çünkü ölçülebilen bir şey iyileştirilebilir. Döküm sanayi gibi benzer endüstrilerde sera gazlarının hesaplanması ve doğrulanması, çevresel sürdürülebilirlik ve iklim değişikliği mücadelesi açısından son derece kritik öneme sahiptir.

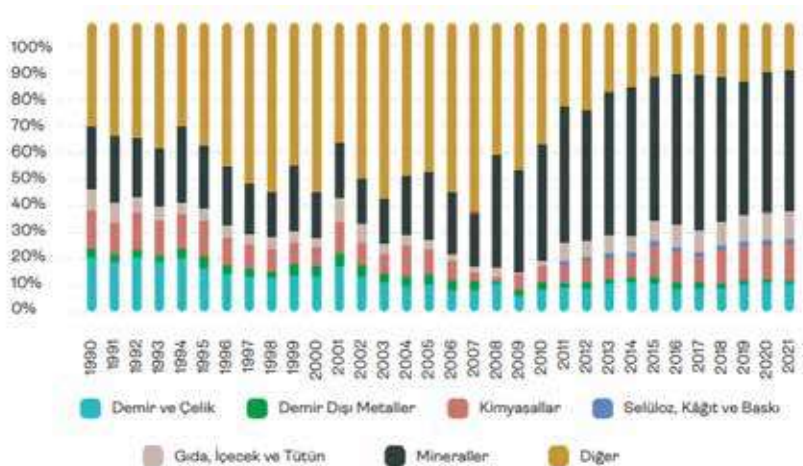
Bu nedenle, sera gazı yönetimi konusunda daha bilinçli ve etkin adımlar atılması önem arz etmektedir.

	1990	2000	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	1990-2021 değişim (%)	2020-2021 değişim (%)
Toplam emisyon	219,5	298,9	398,8	475,0	501,1	528,6	523,1	508,7	524,0	564,4	157,1	7,7
Enerji	139,5	216,0	287,9	342,0	361,7	382,4	373,4	365,6	368,8	402,5	188,4	9,8
Endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı	22,9	26,2	49,1	59,7	63,6	66,6	67,7	59,0	68,0	75,1	228,7	10,6
Tarım	46,1	42,3	44,4	56,1	58,9	63,3	65,3	68,0	73,2	72,1	56,5	-1,5
Atık	11,1	14,3	17,4	17,1	16,7	16,3	16,6	16,1	16,3	14,7	32,6	-9,9

Tablodaki rakamlar, yuvarlamadan dolayı toplamı vermeyebilir.

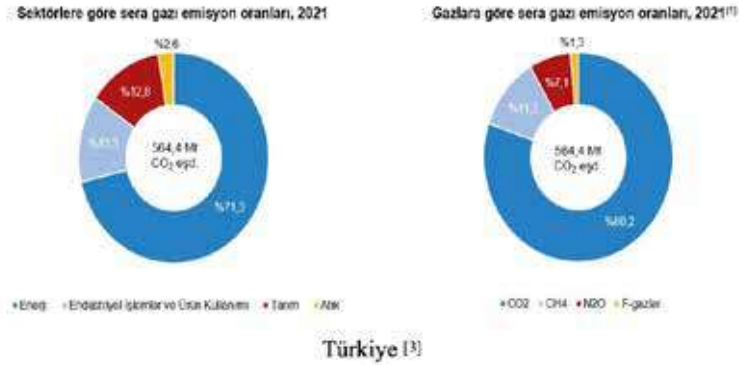
Çizelge 1. Sektörlere göre sera gazı emisyonları, 1990-2021 Türkiye [3]

Sanayi sektörünün enerji kaynaklı emisyonlarına bakıldığında 4 ana alt sektör öne çıkmaktadır. Çimento (metalik olmayan mineraller), demir-çelik, gıda, içecek ve tütün ve kâğıt üretimi, büyüklük sırasına ve üretim miktarlarına göre yıllar içinde değişmekle birlikte genel eğilimi korumakta ve sanayi sektörünün enerji emisyonlarının önemli bir bölümünü oluşturmaktadır.



Şekil 1. Sanayi Sektörü Yanma Emisyonları, Türkiye [2]

Sektörel sera gazı dağılımları için yapılan analizler incelendiğinde ülkemizde Enerji sektörü başı çekerken sera gazları içerisinde de CO2 eşdeğeri en çok salınan sera gazı olarak ölçülmüştür.



Şekil 2. Sektörel Sera Gazı Dağılımı ve Sera Gazlarının Kendi İçinde Dağılım Oranı,

Sera gazlarının atmosferde neden olduğu etkiler büyüklük olarak değişiklik göstermektedir. Sera gazlarının, küresel ısınma potansiyeline karşılık gelen etkileri, aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Sera Gazları	Kimyasal formül	Küresel Isınma Potansiyeli
Karbondioksit	CO ₂	1
Metan	CH ₄	25
Diazotmonoksit	N ₂ O	298
Sülfür heksafluorid	SF ₆	22,800

Çizelge 2. IPCC 4. Değerlendirme Raporu'na (IPCC, 2007) göre bazı sera gazlarının 100 yıllık küresel ısınma potansiyeli değerleri [4]

Karbondioksit (CO2) insan kaynaklı olarak oluşan sera gazı emisyonlarının büyük bir kısmına neden olmaktadır. Atmosferde kalma süresi oldukça uzundur. Bu nedenle de iklim değişikliği kapsamında önemli etkileri vardır. Ülkemizde yayınlanan yönetmelikte işletmelerin takip edeceği emisyonunda Çizelge 5 de belirtildiği gibi (CO2) emisyonudur.

2. MEVZUATLARLA SERA GAZI YÖNETİMİ

2014 yılında yayınlanarak yürürlüğe giren Sera Gazı Emisyonlarının Takibi Hakkında Yönetmelik kapsamında, Ek-1 listesinde yer alan faaliyetleri yürüten işletmeler, sera gazı izleme planı ve sera gazı emisyon raporu hazırlamak veya hazırlatmak ve akredite olmuş kuruluşlara doğrulamak suretiyle Bakanlık'a sunmakla yükümlüdür. İlgili yönetmelik, Ek-1 listesinde belirtilen faaliyetlerden en az birini gerçekleştiren işletmeleri yönetmelik kapsamı içerisine almaktadır. Döküm sektörü için yapılan son değerlendirmeler doğrultusunda, kapsam aşağıdaki çizelgede belirtilen 2 ana başlık üzerinden seçilmektedir.

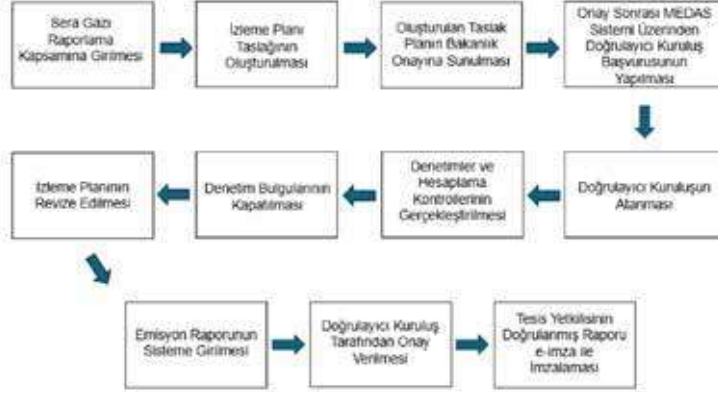
Faaliyetler	Sera gazları
Toplam anma ısı gücü 20 MW ve üzeri tesislerde yakıtların yakılması (tehlikeli veya evsel atıkların yakılması hariç).	Karbon dioksit
Petrol rafinasyonu.	Karbon dioksit
Kök üretimi.	Karbon dioksit
Metal cevheri (sülfür cevheri dâhil) kavrulması, sinterlenmesi veya pelletlenmesi.	Karbon dioksit
Kapasitesi 2,5 ton/saat ve üzeri, sürekli döküm de dâhil olmak üzere, p.k demir ve çelik üretimi (birincil ve ikincil ergitme).	Karbon dioksit
Toplam anma ısı gücü 20 MW ve üzeri yakma ünitesi kullanılarak demir içeren metallerin (demirli alüminyum dâhil) üretimi veya işlenmesi. (İşleme; haddeleme, yeniden ısıtma, tav fırınları, metal işleme, dökümhaneler, kaplama ve dekapajı da ihtiva eder.)	Karbon dioksit
Birincil alüminyum üretimi.	Karbon dioksit ve perflorokarbonlar
Toplam anma ısı gücü 20 MW ve üzeri yakma ünitesi kullanılarak ikincil alüminyum üretimi.	Karbon dioksit

Çizelge 3. Ek-1 Listesinde Döküm Sektörü İçin Kapsamlar [1]

Döküm sektörü için kapsam aşağıdaki içerik üzerinden değerlendirilmektedir.

- Toplam anma ısı gücü 20 MW ve üzeri işletmelerde yakıtların yakılması (tehlikeli veya evsel atıkların yakılması hariç)
- Kapasitesi 2,5 ton/saat ve üzeri, sürekli döküm ve dahil olmak üzere, pik demir ve çelik üretimi (birincil ve ikincil ergitme) dir.

İşletmeler ilgili yönetmeliğe tabii olduktan sonra güncel durumda aşağıdaki akışa göre çalışmalarını yürütmelidir. MRV (İzleme, Raporlama ve Doğrulama) sistemi olarak da adlandırılan sistem sera gazı emisyonlarıyla ilgili hazırlanan tüm çalışmaları içermektedir. Aşağıda belirtilen adımlar gerçekleştirildiğinde sorumluluklarını tamamlamış olacaktır.



Şekil 3. 2024 Yılı itibari ile MRV sistemine Veri Akışı [1]

2.1. İzleme Planının Oluşturulması

Sera Gazı Emisyonlarının İzlenmesi Hakkında Yönetmeliğin EK-1'i kapsamında faaliyetleri belirtilen bir işletmenin çalışmanın ilk aşamasında İzleme Planı hazırlaması gerekmektedir. İzleme planı, işletmelerin sera gazı emisyonlarını izleme yöntemini gösteren bir plandır ve bu plan ilgili yönetmelik gereğince Entegre Çevre Bilgi Sistemi (EÇBS) üzerinde elektronik olarak hazırlanır. İzleme planı bir kez hazırlanır ancak geçerlilik tarihi bulunmamaktadır; mevzuat kapsamında değişiklik olması durumunda revize edilebilir. İzleme planı, Bakanlık tarafından onaylandıktan sonra revize edilene kadar geçerlidir ve güncel tutulması işletmenin sorumluluğundadır. Bu nedenle, meydana gelen değişiklikler izlenmeli ve plana yansıtılmalıdır. Emisyon raporu, doğrulama süreci ve iyileştirme raporu gibi çalışmaların tamamı izleme planı çerçevesinde yürütülür.

İzleme planı; işletmenin hangi sera gazlarını izleyeceğini belirlediği aşamadır. İlk olarak, karbon emisyonu olan kaynak akışları tespit edilir ve her bir karbon emisyonu kaynak akışı ayrıntılı olarak belirtilir.

İşletmenin faaliyetlerine ilişkin bilgiler,

- Emisyona (CO₂) neden olan kaynaklara ait bilgiler
- Raporlama dönemi boyunca kullanılan/üretilen kaynağın miktarı,
- Emisyonun hesaplanması için kullanılan faktörler
- Toplam emisyon miktarı
- Raporlama dönemine ait belirsizlik hesaplamaları (kaynaklar için ayrı ayrı)

2.2. Hesaplamalar

Sonraki aşamada, işletmeler tarafından hesaplama yöntemleri belirlenir ve bu yöntemler kullanılarak tonCO₂ eşdeğeri cinsinden karbon gazı salınım miktarı hesaplanır. Hesaplama yöntemleri arasında hesap temelli yöntem ve kütle denge yöntemi formüllerinin yanı sıra ilgili katsayılar da yer alır ve her bir kaynak akışı için tonCO₂ eşdeğeri olarak sera gazı miktarı belirlenir. Bu hesaplamalar neticesinde elde edilen toplam sera gazı emisyon miktarıyla birlikte, kaynak akışları Büyük Kaynak Akışı, Küçük Kaynak Akışı ve Önemsiz Kaynak Akışı olarak sınıflandırılır. Türk mevzuatına göre, işletmelerin toplam sera gazı emisyon miktarına göre üç kategoriye ayrılır:

- Kategori A: Yıllık emisyon miktarı 50.000 tonCO₂ eşdeğerine eşit veya daha az olan işletmeler.
- Kategori B: Yıllık emisyon miktarı 50.000 tonCO₂ eşdeğerinden büyük, 500.000 tonCO₂ eşdeğerine eşit veya daha az olan işletmeler.
- Kategori C: Yıllık emisyon miktarı 500.000 tonCO₂ eşdeğerinden büyük olan işletmeler.

Bu sınıflandırma, işletmelerin sera gazı yönetimi ve raporlama yükümlülüklerinin belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır.

2.3. Doğrulama Süreci

Doğrulama süreci, kalite güvence ve kalite kontrol prosedürlerini desteklemede etkin ve güvenilir bir araç olarak kullanılır ve işletmenin sera gazı emisyonlarını izleme ve raporlama performansını arttırmak için bilgiler temin eder. Bu kapsamda işletmeler sistem entegrasyonunu gerçekleştirebilmesi için güncel mevzuatlara göre aşağıda belirtilen prosedürleri hazırlamış olacaktır.

- Sera Gazı İzleme ve Hesaplama Prosedürü
- Sera Gazı Bilgi Teknolojileri Kalite Güvencesi Prosedürü
- Sera Gazı Dahili İncelemeler ve Verinin Onaylanması Prosedürü
- Sera Gazı Görev, Yetki ve Sorumluluk Dokümanlarının Kontrolü Prosedürü
- Sera Gazı Hizmet Alımı ile Gerçekleştirilen Dış Kaynaklı Faaliyetler Prosedürü
- Sera Gazı Kayıt Belge ve Dokümanların Kontrolü Prosedürü
- Sera Gazı Kontrol Sisteminin Değerlendirilmesi İç Tetkik Prosedürü
- Sera Gazı Ölçüm Belirsizliği Tayin Prosedürü
- Sera Gazı Risk Değerlendirme Prosedürü
- Sera Gazı Stokların Belirlenmesi Prosedürü
- Sera Gazı Veri Akış Faaliyetleri Prosedürü
- Sera Gazı Veri Boşluklarının ve İkame Verilerin Düzeltilmesi Prosedürü

İşletmeler, her yıl doğrulanacak sera gazı emisyon raporunu hazırlayıp, doğrulama sözleşmesini Bakanlığın belirlediği tarihe kadar imzalamakla yükümlüdür. Doğrulamayı yapan kuruluşlar, yalnızca akreditasyonları kapsamında yer alan faaliyetleri yürüten işletmelere doğrulama hizmeti verebilirler; bu nedenle doğrulamayı yapan kuruluş seçiminde bu hususa dikkat edilmelidir.

Bu düzenleme, işletmelerin sera gazı emisyonlarının doğrulanması sürecinde akreditasyon ve mevzuat uyumluluğunu öncelikli tutar. Bu çerçevede, doğrulamayı yapan kuruluşların belirli akreditasyon standartlarına uygun olarak seçilmesi önemlidir. Doğrulamayı yapan kuruluşlar, akreditasyon kapsamı içinde yer alan faaliyetleri yürütebilirler ve bu kapsamda işletmelerin doğrulama süreçlerini gerçekleştirirler. İşletmeler ise mevzuat gerekliliklerine uygun olarak doğrulama sözleşmelerini her yıl belirlenen sürede imzalayarak yükümlülüklerini yerine getirmelidirler. Bu düzenleme hem doğrulamayı yapan kuruluşların kalitesini hem de işletmelerin raporlama ve doğrulama süreçlerini düzenli ve şeffaf bir şekilde yürütmelerini sağlamayı amaçlar.

2.4. Stratejik Analiz

Stratejik analiz, doğrulamayı yapan kuruluşun doğrulama sürecinin başlangıcında yürüttüğü ve sürecin etkinliğini sağlayan kritik bir adımdır. Bu aşama, doğrulama faaliyetlerinin özelliklerini, ölçeğini ve karmaşıklığını belirlemeyi amaçlar. Aşağıda stratejik analiz kapsamında yapılan temel adımlar ve bu adımların önemine dair bir açıklama bulunmaktadır:

- İşletme Faaliyetlerinin İncelenmesi: Doğrulamayı yapan kuruluş, işletmenin tüm faaliyetleri hakkında detaylı bilgi toplar. Bu bilgiler, işletmenin operasyonel süreçleri, üretim yöntemleri, kullanılan teknolojiler ve çevresel etkiler gibi konuları içerir. Bu inceleme, doğrulama sürecinin kapsamını belirlemek ve sürecin her aşamasında nelere odaklanılması gerektiğini saptamak için gereklidir.

- Doğrulama Ekibinin Yetkinliğinin Değerlendirilmesi: Doğrulamayı yapan kuruluş, doğrulama ekibinin yetkinliklerini ve uzmanlık alanlarını değerlendirir. Bu değerlendirme, ekibin işletmenin faaliyetlerine uygun bilgi ve deneyime sahip olup olmadığını belirlemek amacıyla yapılır.

Yetkinlik değerlendirmesi, doğrulama sürecinin güvenilir ve geçerli sonuçlar üretebilmesi için kritik öneme sahiptir.

- Doğrulama Süresinin Değerlendirilmesi: Doğrulamayı yapan kuruluş, sözleşmede belirtilen doğrulama süresinin işletmenin faaliyetlerinin karmaşıklığına ve ölçeğine uygun olup olmadığını değerlendirir.

Uygun süre belirlemesi, doğrulama sürecinin kapsamlı ve eksiksiz bir şekilde tamamlanabilmesi için gereklidir. Stratejik analiz, doğrulama sürecinin her aşamasında rehberlik eder ve sürecin başarılı bir şekilde yönetilmesi için gerekli bilgileri sağlar. Bu analiz, doğrulamayı yapan kuruluşun işletmenin faaliyetlerini tam olarak anlamasını, doğrulama ekibinin uygun şekilde seçilmesini ve doğrulama sürecinin zaman yönetiminin doğru yapılmasını sağlar. Böylece, doğrulama faaliyetleri etkin, verimli ve güvenilir bir şekilde gerçekleştirilir.

2.5. Proses Analizi

Proses analizi, doğrulamayı yapan kuruluşun doğrulama sürecinde gerçekleştirdiği kapsamlı bir inceleme ve değerlendirme aşamasıdır. Bu aşama, doğrulama sürecinin güvenilirliğini sağlamak için kritik öneme sahiptir. Aşağıda, proses analizi kapsamında yapılan temel adımlar ve bu adımların amaçları açıklanmıştır:

- Saha Ziyaretleri: Ölçüm cihazları ve izleme sistemlerinin değerlendirilmesi, görüşmeler, veri, bilgi ve belge toplama aşamasıdır.

- İşletme Sınırlarının ve Kaynak Akışlarının Değerlendirilmesi: Emisyon kaynaklarının incelendiği aşamadır.

- Risk Analizine Dayalı İlave Ziyaretler: Şirket merkezi ve varsa diğer alanların kapsamlı değerlendirildiği aşamadır.

2.6. Doğrulanmış Raporun Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığına (Bakanlık) Sunulması

- Doğrulama çalışmaları tamamlandıktan sonra, doğrulamayı yapan kuruluş tarafından bir doğrulama görüşü hazırlanır.

- Bu görüş, doğrulamayı yapan kuruluşun, sera gazı emisyon raporunun önemli hatalı bildirimler içermediğine dair kanaatini belirtir.

- Görüş, Bakanlık online yazılım portalı üzerinden elektronik imza ile işletmeye sunulur.

2.6.1. İşletme Yetkilisinin Onayı:

- İşletme yetkilisi, doğrulamayı yapan kuruluşun hazırladığı doğrulama görüşünü portal üzerinden inceler.

- Onay sürecinde işletme yetkilisi, doğrulama görüşünü elektronik imza ile onaylar.

2.6.2. Bakanlığa Sunum:

- İşletme yetkilisi tarafından onaylanan doğrulama görüşü ve sera gazı emisyon raporu, Bakanlığa portal üzerinden sunulur.
- Bu aşamada, tüm belgeler elektronik ortamda güvenli bir şekilde iletilir.

2.6.3. Sürecin Tamamlanması:

- Bakanlık, sunulan raporları ve doğrulama görüşünü değerlendirir.
- Rapor ve görüş, Bakanlık tarafından onaylandığında süreç tamamlanmış olur.
- Bu aşamadan sonra, işletme mevzuat gerekliliklerine uygun şekilde sera gazı emisyonlarını izlemeye ve raporlamaya devam eder.

Doğrulama süreci, işletmelerin sera gazı emisyonları ile ilgili doğru ve güvenilir veriler sunmasını sağlar. Bu süreç, hem işletmelerin çevresel sorumluluklarını yerine getirmesine yardımcı olur hem de ülke genelinde sera gazı yönetimi ve raporlamasının etkin bir şekilde yürütülmesini destekler.

3. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmanın bulguları, döküm sanayiinde sera gazı emisyonlarının hesaplanması ve doğrulanması süreçlerinin çevresel sürdürülebilirlik ve iklim değişikliği ile mücadelede ne kadar kritik bir rol oynadığını göstermektedir. Özellikle doğru ve güvenilir veri elde etmenin, emisyon azaltma stratejilerinin etkinliğini artırdığı ve bu doğrultuda yapılan düzenlemelerin gerekliliğini pekiştirdiği ortaya konmuştur. Çalışma kapsamında geliştirilen yol haritası, sanayi işletmelerinin sera gazı yönetiminde daha sistematik ve şeffaf bir yaklaşım benimsemelerine olanak tanımaktadır.

Bu doğrultuda, döküm işletmelerinin sera gazı emisyonlarını azaltma ve kontrol etme çabaları, sadece çevresel faydalar sağlamakla kalmayacak, aynı zamanda yasal uyumluluk ve kurumsal sosyal sorumluluk açısından da önemli avantajlar sunacaktır. Gelecekte, daha fazla sanayi kolunda benzer çalışmaların yapılması ve sera gazı yönetimi konusunda bilinçlendirme faaliyetlerinin artırılması, ülkemizin iklim değişikliği ile mücadelesinde önemli bir adım olacaktır.

Sonuç olarak, döküm sanayiinde sera gazı emisyonlarının izlenmesi ve doğrulanması süreçlerine ilişkin bu çalışma hem akademik hem de pratik açıdan bilgiler sunmakta ve sürdürülebilir bir gelecek için önemli katkılar sağlamaktadır. Bu alanda yapılan çalışmaların devam etmesi, çevresel ve iklimsel hedeflere ulaşılmasında büyük önem taşımaktadır.

4. KAYNAKLAR

1. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Mevzuatları
2. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, "İklim Değişikliği Azaltım Stratejisi ve Eylem Planı (2024-2030)", 21 Mart 2024, Sayfa 69
3. TÜİK yayınları, "Sera Gazı Emisyon İstatistikleri, 1990-2021", Ankara, 29 Mart 2023, Sayı 49672
4. Murat Türkes, "Sera Gazları, Kuvvetlenen Sera Etkisi ve Küresel İklim Değişikliği", İktisat ve Toplum Dergisi, Sayı 129, Temmuz 2021, Sayfa 4-17

Döktaş & Sürdürülebilirlik Yaklaşımları

Arif İlker METAN*, Rıza ATLI*

*Döktaş Dökümcülük Tic. ve San. A.Ş., Orhangazi,
Bursa, Türkiye

Döküm sanayi; artan küresel rekabet, sıkı çevre düzenlemeleri, emisyonlar ve atıkların yönetimlerinde yaşanmakta olan zorluklar nedeniyle birçok anlamda baskı altında kalmaktadır. Bu durum; son dönemde döküm sektöründe 'Sürdürülebilirlik' kavramının çevresel, sosyal ve ekonomik açıdan ön plana çıkmaya başlamasına neden olmaktadır. PİK, sfero ve alüminyum döküm üretiminde lider bir şirket olan Döktaş'ın sürdürülebilirlik yolculuğundaki başarıları, karşılaşılan zorluklar ve en iyi uygulamalar çevresel, sosyal ve ekonomik boyutlarıyla ele alınmaktadır. Sürdürülebilirliğin temel yönetim sistemi olabilmesi için; organizasyonumuzda ve paydaşlarımızda farkındalığı arttırmak ve sorumluluğu paylaşarak daha ileriye taşımak hedeflenmektedir. Bu hedef doğrultusunda ekonomik, çevresel ve sosyal unsurların tümü birlikte değerlendirilmekte ve tüm süreçlerle karar alma mekanizmalarına entegre edilmektedir.

Anahtar kelimeler: Sürdürülebilirlik; çevresel; sosyal ve ekonomik boyutlar; farkındalık

Döktaş & Sustainability Approaches

Foundry industry; It is under pressure in many ways due to increasing global competition, strict environmental regulations, and difficulties in managing emissions and waste. This situation; Recently, the concept of 'Sustainability' in the casting industry has started to come to the fore in terms of environmental, social and economic aspects.

The challenges encountered and the best practices are environmental, social and economic dimensions in its sustainability journey of DÖKTAŞ. For sustainability to become the basic management system; It is aimed to raise awareness in our organization and stakeholders and to move forward by sharing responsibility. In line with this goal, all economic, environmental and social elements are evaluated together and integrated into all processes and decision-making mechanisms.

Key words: Sustainability; environmental; social and economic dimensions; awareness

Sürdürülebilirlik

Sürdürülebilirlik, daimi olma yeteneği olarak adlandırılabilir.

Sürdürülebilir kalkınma, insani gelişme hedeflerini gerçekleştirme kapsamında; çevrenin, ekonominin ve toplumun bir denge içerisinde ele alınmasını ve insan faaliyetlerini mümkün kılan doğal kaynakların devamlılığını esas alan bir kalkınma yaklaşım biçimidir.

İnsan faaliyetlerinin devamının sağlanması için kritik bir öneme sahip olan sürdürülebilirlik, günümüzü ve geleceği şekillendirirken üzerinde en çok durmamız gereken konu haline gelmiştir.

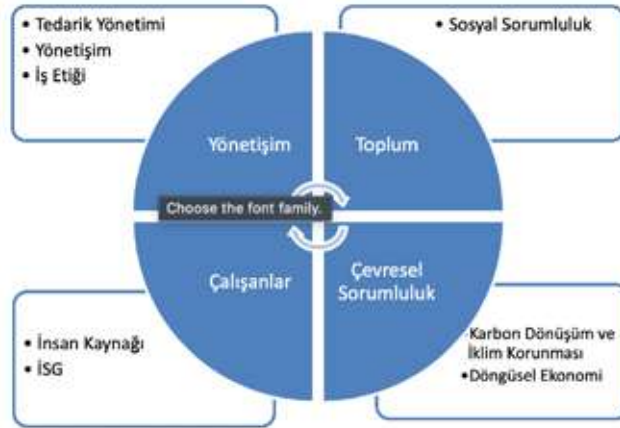
Bu kavram çatısı altında, ekonomik gelişmenin doğal kaynakların düzenli kullanımı ve toplumsal reformlarla desteklenmesi gerekliliği vurgulanmaktadır. Bu sayede, insan ile doğa arasında bir denge sağlanmış olur. Geleceğe daha temiz ve sağlıklı bir Dünya bırakmak istiyorsak faaliyetlerimizin devamlılığını vurgulayan sürdürülebilirliği çok iyi bir şekilde öğrenmemiz gerekmektedir.

Sürdürülebilirlik terimi insan-ekosistem dengesinin (homoestaz) sağlandığı nihai hedef olarak görülmeli, "sürdürülebilir kalkınma" ise bizi sürdürülebilirliğin son noktasına götüren bütünsel yaklaşım ve zamansal süreçleri ifade eder. [1] "Sürdürülebilirlik" teriminin kullanımındaki artan popüleriteye rağmen, toplumların çevresel sürdürülebilirliği sağlama olasılığı, çevresel bozulma, iklim değişikliği, aşırı tüketim, nüfus artışı ve toplumların kapalı bir sistemde sınırsız ekonomik büyüme peşinde olması çerçevesinde kuşkuyla bir durumdaydı ve hala da böyle olmaya devam ediyor.

Döktaş'ta Sürdürülebilirlik

Döktaş'ta sürdürülebilirlik çalışmalarını tetikleyen unsurların başında, özellikle Avrupa Birliği üyesi ülkelerde faaliyet gösteren (Volvo, Daimler, Iveco, MAN, CAT, Liebherr, CNH) başta olmak üzere; müşterilerimizin talepleri gelmektedir. Bununla birlikte değişen kanunlar, uluslararası anlaşmalar, bağlı olunan ya da etkilenilecek olan ticari birlikler ile yasalar, ülkeler ve şirketlerin geleceğe yönelik hedefleri Döktaş'ta sürdürülebilirlik çalışmalarını hızlandıran ve geliştiren etkenler olmuştur. Bu anlamda Döktaş, birçok kez müşterilerinin sürdürülebilirlik denetimleri yaptığı ve skorlandığı, çeşitli platformlardan sürece ilişkin durum tespiti yaptığı ve derecelendirdiği bir kurum haline gelmiştir.

Döktaş, Sürdürülebilirlik Stratejik hedeflerine yönelik 4 ana başlık olan Yönetişim, Toplum, Çalışanlar ve Çevresel Sorumluluk altındaki 8 alt çalışma grubu oluşturmuştur. Bunlar Şekil 1 de yer alan tabloda gösterilmiştir:



Şekil 1. Döktaş Sürdürülebilirlik Grupları

2022 yılı itibarıyla son derece hızlanılan bir dönem girilmiş tüm müşterilere ve onların ihtiyaç ve beklentilerine yanıt vermeye devam edilmiştir. 2022 yılında atılan önemli adımlarda biri de bağlı olunan üst kuruluş GÜRİŞ Holding bünyesinde Sürdürülebilirlik Üst Komitesi'nin oluşturulması oldu. Bunu Döktaş, Parsan ve Omtaş alt komitelerinin oluşturulması izledi. Sürdürülebilirlik Komitesi iki ayda bir, alt komiteler ise ayda bir kez toplanarak yapılan çalışmalarını gözden geçirmekte ve stratejilere yönelik hedefler takip edilmektedir.

GÜRIŞ Sanayi Grubu Sürdürülebilirlik Komitesi			Döktaş Sürdürülebilirlik Alt Komitesi		
Lokman Yamurtürk	GÜRIŞ Sanayi Grubu Finansman ve Mali İşler Grup Başkanı	Komite Başkanı	Sibel Bencü	Döktaş Mali İşler Direktörü	Komite Başkanı
Çağrı İbrahim Yamurtürk	GÜRIŞ Sanayi Grubu Üretim ve Teknoloji Grup Başkanı	Üye	Arif İker Metan	Döktaş Çiğneme Ürün Kalite ve Kalite Sistemleri Direktörü	Üye
Abdulrahman Sabık	Çiğneme Yönetim Temsilcisi	Üye	Ahı Karadoğan	Döktaş Mamula Satış ve Pazarlama Müdürü	Üye
Arif İker Metan	Döktaş Çiğneme Ürün Kalite ve Kalite Sistemleri Direktörü	Üye	Bülent Şim	Döktaş Çiğneme Mühendislik ve Ar-Ge Direktörü	Üye
Deniz Albayrak	Pazarlama - Çiğneme Pazarlama ve Satış Direktörü	Üye	Deniz Doğançık Çakır	Döktaş Mamula Kalite Sistemleri Grup Lideri	Üye
Deniz Doğançık Çakır	Döktaş Mamula Kalite Sistemleri Grup Lideri	Üye	Ebru Bulut	Döktaş Bilgi Teknolojileri Müdürü	Üye
Gürbüz Gözoğlu	Pazarlama - Çiğneme Mühendislik Direktörü	Üye	EMF Tutaj	Döktaş Mamula İnsan Kaynakları Müdürü	Üye
İbrahim Göker Unkvan	GÜRIŞ Sanayi Grubu Mali İşler Grup Direktörü	Üye	Ertan Kurum	Döktaş Çiğneme, Mübaya Kontrol ve Raporlama Müdürü	Üye
Mert Güngör	Pazarlama - Çiğneme Yönetim Temsilcisi	Üye	Fahri Özmez	Döktaş Çiğneme Yardımcı İşletmeler Grup Lideri	Üye
Metin Karut	GÜRIŞ Sanayi Grubu Bilgi İşleri Grup Müdürü	Üye	Görm Şahin	Döktaş Mamula Bütçe, Maliyet Kontrol ve Raporlama Grup Lideri	Üye
Mustafa Emrah Kılıç	Pazarlama - Çiğneme Mali İşler Direktörü	Üye	Gökhan Aksoy	Döktaş Mamula Satış ve Alım Yönetim Birim ve Yatırımlar Müdürü	Üye
Rıza AB	Döktaş Çiğneme Kalite Sistemleri Uzmanı	Üye	İbrahim Şahin	Döktaş Mamula İSG Müdürü	Üye
Sabri Doğançık	Döktaş Mamula Üretim ve Teknoloji Grup Direktörü	Üye	Murat Ergün	Döktaş Mamula Bilgi Teknolojileri ve Ürün Yönetim Grup Lideri	Üye
Sefa Toydemir	GÜRIŞ Sanayi Grubu Endüstriyel İşletim ve Mali İşler Grup Müdürü	Üye	Onur Şahin	Döktaş Çiğneme İş Sağlığı ve Güvenliği Müdürü	Üye
Serpil Özdemir	GÜRIŞ Sanayi Grubu İnsan Kaynakları Grup Müdürü	Üye	Rıza AB	Döktaş Çiğneme Kalite Sistemleri Uzmanı	Üye
Sibel Bencü	Döktaş Mali İşler Direktörü	Üye	Serhat Arık	Döktaş Süreklili İyileştirme ve Doğuşum Yönetim Müdürü	Üye
Tamara Kabir	GÜRIŞ Sanayi Grubu Ar-Ge Grup Müdürü	Üye	Sibel Demircan Taş	Döktaş Çiğneme İnsan Kaynakları Müdürü	Üye
Uluk İnönü	Çiğneme Yönetim Temsilcisi	Üye	S. Can Elmas	Döktaş Çiğneme Çevre Uzmanı	Üye
Uğur Başkaya	Döktaş Pazarlama ve Satış Direktörü	Üye	Uğur Ferhat Zinkal	Döktaş Çiğneme Satış ve Pazarlama Müdürü	Üye
Ulmut Kaye	GÜRIŞ Sanayi Grubu Satış ve Pazarlama Grup Müdürü	Üye			
Yavaş Uğur Akı	Döktaş Çiğneme Üretim ve Teknoloji Grup Direktörü	Üye			
Yavuz Selim Özyıldız	Pazarlama - Çiğneme Üretim Direktörü	Üye			
Zafer Ulmut	GÜRIŞ Sanayi Grubu Maliyet Kontrol Grup Müdürü	Üye			

Tablo 1. GÜRIŞ Sanayi Gurubu ve Döktaş Sürdürülebilirlik Komiteleri

İş süreçlerimizi etkileyebilecek riskleri belirleme çalışmalarında; aşırı hava olayları, doğal afetler, salgın hastalıklar, geri kazanım ve döngüsel ekonomi, insan hakları ve etik gibi sürdürülebilirlik risk ve fırsatları da göz önüne alındı.

Sorumlu ve sürdürülebilir üretim, inovasyon, etik, yasalara uyum, rüşvet ve yolsuzlukla mücadele gibi önde gelen konulardaki riskler de bu kapsamın içinde yer almakta ve sürdürülebilirlik taahhüdü yalnızca riskleri en aza indirmekle değil, aynı zamanda uzun vadeli değer yaratmak için fırsatları değerlendirmeyi de kapsamaktadır.



Şekil 2. Döktaş yönetim risk ve fırsatları

Çevre Risk ve Fırsatları

Mevzuat değişiklikleri, aşırı hava olayları ve müşteri tercihlerinin çevre dostu ürünlere doğru kayması gibi iklim değişikliğiyle ilişkili artan riskleri azaltmak ve fırsatlardan yararlanmak için enerji verimli teknolojilere ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırım yapılmaktadır. Bu yolla çevresel sürdürülebilirliğe katkıda bulunmanın yanı sıra operasyonel verimliliği artırmaya ve maliyetleri düşürmeye çalışılmaktadır.

Hammaddelerin bulunabilirliği ve maliyetinin üretim süreçleri üzerindeki etkisini en aza indirebilmek için döngüsel ekonomi uygulamalarını, atık azaltma girişimlerini ve sürdürülebilir tedarik stratejilerini araştırılmaya devam etmektedir.



Şekil 3. Çevre, çalışan ve toplum riskleri

Döктаş Sürdürülebilirlik Stratejisi

Döктаş'ta sürdürülebilirlik, iş stratejimizin merkezinde yer almaktadır. Sürdürülebilirliği operasyonlarımıza entegre etmenin sadece ahlaki bir zorunluluk değil, aynı zamanda stratejik bir avantaj olduğuna inanıyoruz. Sürdürülebilirlik stratejimiz sürdürülebilirliğin 3 boyutunu oluşturan Çevresel, Sosyal ve Yönetişim faktörlerini içerecek şekilde daha sürdürülebilir bir geleceğe katkıda bulunurken verimliliğimizi, üretkenliğimizi, inovasyon yeteneğimizi, itibarımızı ve genel rekabet gücümüzü artırmak için tasarlanmıştır.

Çevre: Kendimizi çevresel etkimizi en aza indirmeye ve faaliyetlerimiz genelinde sürdürülebilir uygulamaları teşvik etmeye adanmış. Devam eden girişimler ve projeler aracılığıyla enerji tüketimini azaltmaya, atık oluşumunu en aza indirmeye ve doğal kaynak kullanımımızı optimize etmeye çalışıyoruz. Kaynak verimliliğini teşvik etmek ve karbon ayak izimizi en aza indirmek için daha temiz üretim yöntemleri benimsemeye, yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırım yapmaya ve döngüsel ekonomi ilkelerini uygulamaya kararlıyız.

Sosyal: Sürdürülebilir bir gelecek yaratmada sosyal sorumluluğun önemini farkındayız. Çalışanlarımızın refahına ve güvenliğine öncelik vermeye, adil ve etik iş gücü uygulamaları sağlamaya ve kap-

sayıcı ve çeşitlilik içeren bir çalışma ortamını teşvik etmeye kararlıyız. Çeşitli sosyal girişimler aracılığıyla yerel topluluklarla aktif olarak ilişki kuruyor, gelişmelerini destekliyor ve ihtiyaçlarını karşılıyoruz. Faaliyet gösterdiğimiz toplumlara yatırım yaparak, ortak değer yaratmayı ve uzun vadeli refahlarına katkıda bulunmayı amaçlıyoruz.

Yönetişim: Sorumlu ve sürdürülebilir bir şirket olarak ekonomik performansın önemini farkındayız. İş kararlarımızın sosyal ve çevresel etkilerini göz önünde bulundururken uzun vadeli kârlılık ve finansal istikrar elde etmeye çalışıyoruz. Yenilik yapmak, operasyonel verimliliğimizi artırmak ve hissedarlarımız, müşterilerimiz, tedarikçilerimiz ve çalışanlarımız dahil olmak üzere paydaşlarımız için değer yaratmak için fırsatlar arıyoruz.

Önceliklendirme Analizi

Döktaş olarak, paydaşlarımız ve işimiz üzerinde en büyük etkiye sahip sürdürülebilirlik konularını belirlemenin ve ele almanın önemini farkındayız. Bu alanlara odaklanarak, paydaşlarımızın beklentilerini karşılarken sürdürülebilirlik risklerimizi ve fırsatlarımızı etkin bir şekilde yönetebileceğimize inanıyoruz. Önceliklendirme analizimizi yaparken, şeffaflık ve hesap verebilirliği sağlamak için Küresel Raporlama Girişimi (GRI) tarafından belirlenen raporlama standartlarını takip ettik.

Önceliklendirme analizi sürecimizi, iç ve dış paydaşlarımızın geniş katılımıyla 2022 yılında başlattık. Bu süreçte paylaşılan ve paydaşlarımız için en önemli olan temel sürdürülebilirlik konularına ilişkin anlayışımızı şekillendirmemize yardımcı olan farklı bakış açılarına ve iç görüşlerine değer veriyoruz.

Hem küresel hem de yerel gündemi yakından takip eden ve değişen dünyaya ayak uyduran bir şirket olarak gelecek planımız önceliklendirme analizimizi yıllık olarak gözden geçirmektir. Bu sürecin paydaşlarımızın beklenti ve ihtiyaçları ile uyumlu kalmamızı ve sürdürülebilirlik uygulamalarımızda sürekli iyileştirmeyi teşvik etmemizi sağlayacağına inanıyoruz.

Önceliklendirme analizimize hem Döktaş'ın hem de Giriş Sanayi Grubu'nun stratejik öncelikleri rehberlik ederken, aynı zamanda gelişen küresel ve sektörel gelişmeleri de dikkate aldık. Ekosistemimizde meydana gelen değişim ve dönüşüme uyum sağlama ve bunlara yanıt verme ihtiyacının farkındayız.

Önceliklendirme analizimizin ve etki değerlendirmelerimizin sonucu, stratejik öneme sahip ve paydaşlarımız için öncelikli görülen 14 konuyu ortaya çıkardı. Bu konular, bütünsel ve kapsamlı sürdürülebilirlik yönetimine olan bağlılığımızı yansıtan çok çeşitli sürdürülebilirlik boyutlarını kapsamaktadır.

ÖNCELİKLİ KONULARIMIZ			
Yönetişim – İşini İyi Yapmak	Çevre İçin Sorumluluk	Çalışan Memnuniyeti	Topluma Katkı Sağlamak
Ürün Kalitesi ve Müşteri Memnuniyeti	Enerji Verimliliği	İş Sağlığı ve Güvenliği	Topluma ve Yerelin Kalkınmasına Katkı
Ekonomik Performans	Atık Yönetimi	Çalışma Koşulları ve İnsan Hakları	
Sorumlu Üretim ve Sürdürülebilir Çözümler	İklim Değişikliği ve Emisyon Salımı	Çalışan Eğitimi ve Gelişimi, Yetenek Yönetimi	
İnovasyon ve Ar-Ge Çalışmaları	Su Yönetimi		
Sürdürülebilir Tedarik Zinciri			
Etik ve Uyum Çalışmaları			

Tablo 2. Döktaş Öncelikli Konular

Sürdürülebilirlik hedeflerimizle uyumlu olan bu konulara odaklanarak, olumlu değişimi teşvik etmeyi, sürdürülebilirlik performansımızı iyileştirmeyi ve paydaşlarımız ve genel olarak toplum için ortak değer yaratmayı hedefliyoruz.








Şekil 4. Döктаş Önceliklendirme Matrisi

Sürdürülebilirlik Kalkınma Amaçları

Sürdürülebilirlik çalışmalarımızın bir parçası olarak Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Amaçlarına (SKA'lar) katkıda bulunmaya kararlıyız. SKA'lar, gezegenimizin en acil ekonomik, sosyal ve çevresel problemlerini ele almak için kapsamlı bir çerçeve sunmaktadır. Biz de Döктаş olarak Sürdürülebilirlik stratejimizi oluşturan ana başlıklar ve öncelikli konularımızı eşleştirerek hizmet ettiğimiz Sürdürülebilir Kalkınma Amaçlarına uygun şekilde gruplandırdık.

Öncelikli katkılarımız tabloda belirttiğimiz SKA'larla uyumlu olsa da 17 hedefin tamamının birbiriyle bağlantılı olduğunun bilincindeyiz. Sürdürülebilirlik taahhüdümüz bu belirli hedeflerin ötesinde veriyor ve tüm değer zincirimize entegre etmeye çalışıyoruz.

YÖNETİŞİM					
Ana Başlık	Öncelikli Konu	SKA Hedefi	SKA Hedefi	SKA Hedefi	
Yönetişim – İşini İyi Yapmak	Ürün Kalitesi ve Müşteri Memnuniyeti	17.17	Ortaklıkların deneyim ve kaynak sağlama stratejileri paydaşına dayanan kamu, kamu-özel ve sivil toplum ortaklıklarının teşvik edilmesi ve desteklenmesi	17 HAYATIN ENERJİSİ	
	Ekonomik Performans	8.4	2030'a kadar tüketim ve üretimdeki küresel kaynak verimliliğinin devamlı bir biçimde artırılması ve gelişmiş ülkeler başı çekmek üzere, Sürdürülebilir Tüketim ve Üretim İçin 10 Yıllık Çerçeve Programı'na uygun olarak ekonomik büyümenin çevrenin bozulmasından ayrıştırılması için çaba gösterilmesi	8 HAYATIN ENERJİSİ	
	Sorumlu Üretim ve Sürdürülebilir Çözümler	12.2	2030'a kadar doğal kaynakların sürdürülebilir yönetiminin ve etkin kullanımının sağlanması	12 HAYATIN ENERJİSİ	
	İnovasyon ve Ar-Ge Çalışmaları	12.a	Gelişmekte olan ülkelerin daha sürdürülebilir tüketim ve üretim kalıplarına yönelmeleri için bilimsel ve teknolojik kapasitelerini güçlendirme konusunda desteklenmeleri	12 HAYATIN ENERJİSİ	
	Sürdürülebilir Tedarik Zinciri	16.b	Sürdürülebilir kalkınma için ayrımcılık gözetmeyen yasa ve politikaların iletilebilmesi ve uygulanması	16 HAYATIN ENERJİSİ	
	Etik ve Uyum Çalışmaları		16.5	Yolsuzluk ve rüşvetin tüm biçimlerinin önemli ölçüde azaltılması	16 HAYATIN ENERJİSİ
			16.6	Her düzeyde etkili, hesap verebilir ve şeffaf kurumlar kurulması	16 HAYATIN ENERJİSİ
			16.7	Her düzeyde duyarlı, kapsayıcı, katılımcı ve temsil edici karar verme mekanizmalarının oluşturulması	16 HAYATIN ENERJİSİ

ÇEVRE				
Ana Başlık	Öncelikli Konu		SKA Hedefi	
Çevre İçin Sorumluluk	Enerji Verimliliği	7.3	2030'a kadar küresel enerji verimliliği ilerleme oranının iki katına çıkarılması	
	Atık Yönetimi	12.4	2020'ye kadar üzerinde anlaşmaya varılan uluslararası çerçevelere uygun olarak kimyasalların ve tüm atıkların yaşam döngüleri boyunca çevresel olarak sağlam biçimde yönetiminin sağlanması ve bu kimyasalların ve atıkların insan sağlığı ve çevre üzerindeki olumsuz etkilerini en aza indirmek için havaya, suya ve toprağa karışımlarının önemli ölçüde azaltılması	
		6.3	2030'a kadar kirliliği azaltarak, çöp boşaltmayı ortadan kaldırarak, zararlı kimyasalların ve maddelerin salınımı en aza indirgeyerek, atılmamış atık su oranını yarıya indirerek ve geri dönüşümü ve güvenli tekrar kullanımı küresel olarak ciddi ölçüde artırarak su kalitesinin yükseltilmesi	
	İklim Değişikliği ve Emisyon Salımı	13.3	İklim değişikliği azaltım, iklim değişikliğine uyum, etkinin azaltılması ve erken uyarı konularında eğitim, farkındalık yaratmanın ve insani ve kurumsal kapasitenin geliştirilmesi	
	Su Yönetimi	6.3	2030'a kadar kirliliği azaltarak, çöp boşaltmayı ortadan kaldırarak, zararlı kimyasalların ve maddelerin salınımı en aza indirgeyerek, atılmamış atık su oranını yarıya indirerek ve geri dönüşümü ve güvenli tekrar kullanımı küresel olarak ciddi ölçüde artırarak su kalitesinin yükseltilmesi	

ÇALIŞAN				
Ana Başlık	Öncelikli Konu		SKA Hedefi	
Çalışan Memnuniyeti	İş Sağlığı ve Güvenliği	8.8	Çalışanların haklarının korunması ve özellikle kadın göçmenler olmak üzere göçmen işçiler ve güvencesiz işlerde çalışan insanlar dâhil bütün çalışanlar için güvenli çalışma ortamlarının geliştirilmesi	
	Çalışma Koşulları ve İnsan Hakları	8.5	2030'a kadar gençler ve engelliler de dâhil bütün kadın ve erkeklerin tam ve üretken istihdama ve insana yakışır işlere erişimlerinin sağlanması ve eşit işe eşit ücret ilkesinin tam olarak benimsenmesi	
		10.3	Ayrımcılığa dayalı yasalara, politikaların ve uygulamaların ortadan kaldırılması ve bu bağlamda uygun mevzuatın, politikaların ve eylemlerin desteklenmesi yoluyla eşit fırsatlar sunulması ve eşitsizliklerin azaltılması	
	Çalışan Eğitimi ve Gelişimi, Yetenek Yönetimi	4.7	2030'a kadar sürdürülebilir kalkınma ve sürdürülebilir yaşam tarzları için eğitim, insan hâlden, toplumsal cinsiyet eşitliği, barış ve şiddete başvurmama kültürünün geliştirilmesi, dünya vatandaşlığı ve kültürel çeşitliliğin ve kültürün sürdürülebilir kalkınmaya katkısının takdiri yoluyla bütün öğrenciler tarafından sürdürülebilir kalkınmanın iletilmesi için gereken bilgi ve becerinin kazanımının sağlanması	
10.2		2030'a kadar yaşa, cinsiyete, engelliliğe, ırka, etnik kökene, dine, ekonomik ya da başka bir statüye bakılmaksızın herkesin güçlendirilmesi ve sosyal, ekonomik ve siyasi olarak katılımlarının desteklenmesi		

TOPLUM				
Ana Başlık	Öncelikli Konu		SKA Hedefi	
Topluma Katkı Sağlamak	Topluma ve Yerelin Kalkınmasına Katkı	12.8	2030'a kadar her yerde herkesin sürdürülebilir kalkınmayla ilgili bilgi ve farkındalık edinmesinin ve doğayla uyum içinde bir yaşam sürmesinin güvence altına alınması	

Sorumlu Üretim ve Sürdürülebilir Çözümler

Çalışanlarımız Sürekli İyileştirme çalışmalarımızın temel taşlarından olan ve dijital ortamda bulunan Öneri Sistemimize bir önceki yıla göre 2023 yılı içerisinde %26 daha fazla katkıda bulunarak 2212 öneri verdiler. Bu önerilerin %18'ini devreye aldık ve bu kapsamda 406 çalışanımızı ödüllendirdik. Öneri Sistemimiz ile amacımız mevcut bir durumu ya da uygulamayı iyileştiren, işyerine ölçülebilir bir yarar sağlayan, kaliteyi artıracak ve maliyetleri düşürecek yönde, yenilik, buluş veya önerileri değerlendirmek ve ödüllendirerek katılımı teşvik etmek olduğundan öneri olarak verilebilecek konuları aşağıdaki başlıklar altında topladık:

- 1.İş Güvenliği,
- 2.Hat Dengeleme
- 3.İş Gücü
- 4.Maliyet
- 5.Verimlilik
- 6.TPM
- 7.Kalite
- 8.Çevre
- 9.Enerji
- 10.Lojistik
- 11.Stok

Yukarıdaki başlıklar altında topladığımız önerileri değerlendirmek üzere fabrikalarımızda öneri kurulları oluşturduk. Bu kurullarda İnsan Kaynakları ile Sürekli İyileştirme bölümleri sürekli üye olarak yer alıyorlar, diğer üyeleri ise önerileri değerlendirebilecek şekilde farklı bölümlerden seçiyoruz. Değerlendirmeye aldığımız önerilerde önerinin tamamlanmış olması ve iyileştirmenin Öncesi/Sonrası ya da 8 adımlı A3 olarak raporlanması şartlarını arıyoruz.

Şirketlerimizde öneri kültürünün yaygınlaştırılması, çalışanlarımızın katılımını artırmak için çeşitli organizasyonlar ile öneri sürecimiz destek veren çalışanlarımızı ödüllendiriyoruz.

İnovasyon ve AR&GE Çalışmaları

Döküm sektöründe önemli bir oyuncu olarak adımızı giderek artan bir şekilde duyurmayı sürdürmek için 2017 yılından bu yana yoğun olarak çalışan Orhangazi ve Manisa'da kurulu olan Bakanlık onaylı iki adet AR&GE Merkezimizde 2023 yılında 32 proje gerçekleştirdik. Stratejik konularımız çerçevesinde ele aldığımız bu AR&GE projelerimiz için yaklaşık 60 milyon TL harcama yaptık. 2024 yılında hedefimiz bu oranı %20 artırmaktır.

AR&GE merkezlerimizde projelerimizi gerçekleştiren 7'si kadın toplam 69 çalışanımız yer almaktadır. 2023 yılı itibarıyla 18 yüksek lisans öğrencisi ve mezunu ve 1 doktoralı çalışanımız AR&GE merkezlerimizde görev yapmaktadır.

Döktaş olarak hedefimiz hem yurtiçi hem de yurtdışı müşterilerimizle projelerin tasarım aşamasından itibaren birlikte çalışarak döküm parçayı veya komple bir araç komponentini ortaya çıkarmaktır. Bu sayede döküm parça veya komponenti döküm, işleme ve sonrasında da montaj operasyonlarını gerçekleştirerek müşterinin kullanımına sunabiliyoruz. Son 6 yıldır tüm müşterilerimizin tasarım ortağı olma yolunda çalışıyor ve yatırımlarımızı yapıyoruz. Ayrıca hedefimize uygun olarak, AR&GE kadromuzu yeni katılan dizayn ve yapısal analiz mühendislerimiz ve tasarım teknisyenlerimiz ile genişletiyoruz. Müşterilerimiz dünyanın neresinde olursa olsun parça ve komponent tasarımlarını onların mühendislik ekipleri ile birlikte yapıyor, daha sonrasında da döküm, işleme ve diğer testler için gerekli olan tüm ekipmanları tasarlayarak kendi imkanlarımızla üretebiliyoruz. Sahip olduğumuz makine parkımız ile kendi döküm takımlarımızın imalatını yapabiliyoruz ve her geçen gün döküm takımları imalat kapasitemizi artırmak için döküm takımları atelyemizdeki işleme merkezi sayımızı artırıyoruz. 2024 yılı sonunda hedefimiz iki adet olan işleme merkezi sayımızı dörde çıkarmaktır.

Geleceğin araçlarının ağırlıklı elektrikli olarak tasarlanması nedeniyle biz de bu alandaki çalışmalarımızı hızlandırdık. Elektrikli araçlarda kullanılan demir döküm ve alüminyum parça sayımız her geçen gün artmaktadır. Otomobil, hafif ticari araçlara ve ağır vasıtalara kadar geniş bir yelpazede prototipten seri üretime tüm aşamalarda müşterilerimizle birlikte çalışarak onların ihtiyaçlarını anlıyor ve hayata geçiriyoruz. AR&GE Merkezlerimizin bu çalışmaları yaparken 13 patent ve 5 faydalı model ortaya çıkarmış olmaları da bizim için gurur kaynağıdır. Yurtiçi ve yurtdışı yayınlar, sempozyumlar ve kongre katılımları da bu çalışmalarımızın farklı boyutlarını oluşturmaktadır.

Sürdürülebilir Tedarik Zinciri

Sürdürülebilirlik hedeflerimize ulaşmada tedarik zincirimizin öneminin farkındayız ve öncelikli konularımızdan biri olarak belirledik. Sorumlu kaynak kullanımını teşvik etmek, tedarikçilerimizle birlikte çalışmak ve tedarik zincirimiz boyunca şeffaf ve etik davranmayı ilke olarak benimsedik. Çevresel konuları tedarik zincirimize ve üretim süreçlerimize entegre ederek, faaliyetlerimizin sürdürülebilirliğini artırmayı ve daha sürdürülebilir bir geleceğe katkıda bulunmayı amaçlıyoruz. Tedarikçilerimizin %85'i yurtiçinde, %15'i ise yurtdışındadır.

Sürdürülebilirlik taahhüdümüzü paylaşan tedarikçilerle çalışmaya öncelik veriyor ve malzemelerimizi sorumlu ve etik uygulamalara bağlı tedarikçilerden temin etmeye çalışıyoruz. Kullandığımız malzemelerin yasal ve sürdürülebilir yollardan elde edildiğinden emin olmak için gerekli özeni gösteriyoruz. Sorumlu kaynak kullanımına öncelik veriyor ve tedarik zincirimizde oluşabilecek olumsuz çevresel ve sosyal etkileri en aza indirmeyi amaçlıyoruz.

Sahip olduğumuz kapasite ve ürün yelpazemizle geniş bir tedarikçi ağına sahibiz. Etkileşimde bulunduğumuz bu zincirde sürdürülebilirliğin temel taşları olan çevresel, sosyal ve yönetsimsel gerekliliklerin yerine getirilmesi, "Döktaş Etik Kuralları"nın tedarik zincirimizde bulunan tüm paydaşlarımız tarafından bilinmesi ve aynı ilke ve davranış kuralları ile çalışılması hedefimizdir. Bu hedefe yönelik olarak oluşturduğumuz ve tedarikçilerimizle yaptığımız sözleşmelerimizin daimî eki olan "Tedarikçi Etik İlke ve Davranış Kuralları"nı oluşturduk.

Bu dokümanda Yasalara Uyum, Çocuk İş Gücü, Ayrımcılıkla Mücadele, Zorla ve Zorunlu çalıştırma, Çalışma Süreleri ve Ücret, Örgütlenme Hakkı, Sağlık ve Güvenlik Şartları, Çevresel ve Sosyal Uygunluk, Rekabeti Engelleyici Davranışların Önlenmesi, Rüşvet ve Yolsuzlukla Mücadele, Çıkar Çatışmalarının Önlenmesi, Gizlilik ve Bilgi Güvenliğinin Sağlanması, Kara Para Aklama ve Terörizm Finansmanının Önlenmesi gibi konulara yer verdik ve tüm tedarikçilerin uyması gereken kuralları ayrıntılı bir şekilde açıkladık.

Tedarikçilerimiz entegre yönetim sistemlerimiz kapsamında tedarikçilerimizi kalite, çevre, enerji, İSG ve bilgi güvenliği konularında değerlendiriyoruz. Ayrıca sağladıkları ürün veya hizmete uygun olan standartlara sahip olmalarını bekliyoruz.

Etik ve Uyum Çalışmaları

Döktaş olarak, işimizi en yüksek etik ve şeffaflık standartları ile yürütmeye inanıyoruz. Etik davranış ve şeffaf uygulamaların güven inşa etmek, paydaşlarla güçlü ilişkiler sürdürmek ve faaliyetlerimizin uzun vadeli başarısını ve sürdürülebilirliğini sağlamak için gerekli olduğunun bilincindeyiz.

Evrensel olarak kabul edilen uygulamalara, uluslararası normlara, faaliyet gösterdiğimiz tüm ülkelerdeki yasalara ve yönetmeliklere uymayı taahhüt ediyor ve çalışma standardımız olarak benimsiyoruz.

Yönetim Kurulumuz ve çalışanlarımıza kuruluşumuzun her üyesinden beklediğimiz ilkeleri ve davranışları özetleyen etik ilke ve davranış kuralları rehberlik etmektedir. Etik ve Uyum Politikamız kap-

samında oluşturduğumuz bu kuralları belirlemek, aykırı durumlarda bildirim, inceleme ve yaptırım mekanizmalarının işlerliğini sağlamak Yönetim Kurulumuzun sorumluluğundadır. Uygulama ve yürütmeyi sağlamak için bir Etik Kurul kurulumuz bulunmaktadır.

Çalışanların ve paydaşların etik olmayan davranışları, ihlalleri veya endişeleri bildirmeleri için güvenli ve gizli bir platform sağlamak amacıyla bir ihbar mekanizması oluşturduk. Çalışanlarımızı, potansiyel suiistimalleri veya etik standartlarımızın ihlallerini bildirmeye teşvik ediyoruz. İşlerliği sağlamak amacıyla aykırı bir durumla karşılaştıklarında bildirimleri için kullanabilecekleri etikkurul@doktas.com iletişim kanalımızı oluşturduk. Bu kanalın işlevi, tüm bildirimlerin Etik Kurulumuzda gizlilikle ele alınmasını ve bildirilen sorunların çözümüne yönelik uygun önlemlerin belirlenmesini sağlamaktır. 2022 yılında Etik Kurula ulaşan ihbar bulunmamaktadır.

Etik Kurallarımız çalışanlarımızın; müşterileri, tedarikçileri ve hissedarları da kapsayacak şekilde tüm paydaşlarımız ile kurduğu iş ilişkilerimize temel teşkil eden ilkelerimizdir. Çıkar çatışmaları, bilgi akışını düzenleyici kurallar, paydaşlarla, müşterilerle, tedarikçilerle ilişkiler ve insan kaynakları ana başlıkları altında ayrıntılı açıklamaları düzenlemeleri içermektedir. Bu ilkelerin amacı çalışanlar, hissedarlar, müşteriler ve kurum arasında doğabilecek her türlü anlaşmazlık ve çıkar çatışmasını engellemektir. Kurallarımızın arasında ayrımcılık, rüşvet ve yolsuzluğa karşı açık maddeleri de tanımladık. Bunun yanı sıra işimizi eşitlikçi, şeffaf, hesap verebilir ve sorumlu bir şekilde yürütmek de kurallarımızın arasında olup kurum kültürümüzün bir parçasıdır. Tüm paydaşlarımızla hak ve sorumlulukları hesap verebilirlik, eşitlik, şeffaflık, adillik ve sorumluluk anlayışıyla yürütmek amacıyla kamuya yapılan özel durum açıklamaları, basın bültenleri, finansal raporlar, internet sitesi ile yapılan duyurular vasıtası ile tam ve zamanında bilgilendirme yapıyoruz. Etik kurallarımıza web sitemizden <https://www.doktas.com/tr/index.php/etik-ve-uyum-politikamiz/> bağlantısı ile ulaşabilirsiniz.

Çevre İçin Sorumluluk

Sürdürülebilir bir gelecek inşa etmek için faaliyetlerimiz içinde çevresel performansımızı da geliştirmemiz gerektiğini biliyoruz ve çevresel etkilerimizin farkındayız. Çevre politikamızda da belirttiğimiz gibi düsturumuz; çevrenin korunması için çevresel kirliliği kaynağında önlemek, atıklarımızı ve doğal kaynak tüketimini azaltmak, çevre ile uyumlu temiz çalışma alanları oluşturup, tüm paydaşlarımızın farkındalığını arttıracak programlar oluşturmak ve sürekli iyileştirmeyi sağlamaktır. Bu çerçevede ürünlerimizin tasarımında, tedarik sürecinde, üretimde ve değer zinciri aşamalarında kirliliğin önlemenin yanı sıra; enerji verimliliğini sağlama, sera gazı emisyonlarını azaltma, su tüketimini en aza indirme ve geri dönüşüme katkı sağlama gibi konulara odaklanıyoruz. Mevzuatlara uygun olarak gerçekleştirdiğimiz tüm bu faaliyetlerimizde ürün ömrünü tamamladıktan sonraki etkileri de göz önünde bulunduruyoruz. Çevresel etkilerimizi değerlendirirken ürün yaşam döngüsü yaklaşımını dikkate alıyor, doğrudan ve dolaylı olarak etkileyebileceğimiz ve kontrol altına alabileceğimiz çevresel boyutlarımızı değerlendiriyor ve etkinin ortadan kaldırılması ve/veya azaltılmasına yönelik aksiyonlar planlıyoruz. Çevre performansımızı risk ve fırsat odaklı olarak değerlendiriyor, endüstriyel simbiyoz yaklaşımı ile doğal kaynak tüketimini azaltmaya yönelik çalışmalar gerçekleştiriyoruz. Örneğin, işletme içinde kumun ve metalin tekrar kullanılmasını ve oluşan atıkların alternatif hammadde ve geri dönüşüm olarak tekrar kazanılmasını sağlıyoruz.

2002 yılından beri sahip olduğumuz ISO 14001 Çevre Yönetim Sistemi ve üçüncü taraf denetimleri de bize çevresel performansımızı geliştirme çabalarımızda rehberlik ediyor.

Enerji Verimliliği

Enerji yoğun bir sektörde faaliyet gösterdiğimiz için enerjinin verimli kullanılması öncelikli konularımız arasındadır. Enerji kullanımının iklim değişikliğine olan etkisini bildiğimizden satın aldığımız elektrik enerjisinin tümünü yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlamaya devam ediyoruz.

Orhangazi tesisimiz 2021 yılından beri ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi belgesine sahiptir. Tüm süreçlerimizde bu standardı temel alarak çevresel etkimizi azaltmak ve enerji verimliliğini sağlamak üzere çalışıyoruz.

2023 yılında 2.dalga verimlilik artırma projelerimize devam ettik ve verimlilik odaklı çalışmalarla karlılığımızı arttırdık.

Kullandığımız enerji türleri elektrik, doğalgaz ve motorin olup, hedeflerimiz doğrultusunda özgül enerji tüketimini takip ediyoruz. Elektrik enerjisini verimli kullanmak, gereksiz enerji tüketiminin önüne geçmek, enerji tüketiminin 7/24 izlenmesini sağlayarak bu konuda farkındalık yaratmak amacıyla uzaktan enerji tüketimi izleme projesi tamamlanmıştır. 2024 yılında izleme çalışmalarına başlanacaktır.

İklim Değişikliği ve Enerji Yönetimi- ORHANGAZI					
Enerji Türü	Birim	2020	2021	2022	2023
Doğrudan Enerji Tüketimi - Doğalgaz	kWh/yıl	54.372.698	67.421.468	70.139.501	65.575.382
Doğrudan Enerji Tüketimi - Motorin	ton/yıl	546	849	931	844
Dolaylı Enerji Tüketimi - Elektrik	GWh / yıl	175	271	279	282

Tablo 3. Yıllara göre enerji tüketim miktarları

2023 Yılı enerji Verimliliği Projeleri

- Verimsiz kompresörlerden turbo kompresörlere geçiş projesi ile 500 hanenin bir yılda tükettiği elektrik enerjisi kadar tasarruf sağlanmıştır.
- İdari ve soysal bina aydınlatma armatürleri LED dönüşüm projesi tamamlandı.
- Ergitme yolluk kırma projesi hayata geçirildi. Proje sonunda yollukların kırılması esnasında tozdan da arındırılmasıyla enerji tasarrufu sağlanmaya başlanmıştır. Çalışan sağlığının korunması açısından da oldukça faydalı bir proje olmuştur.
- Şirket araçlarında benzin/dizel yakıtlı araçlar yerine elektrikli araçlara geçiş süreci başlamıştır. 2024 yılı itibariyle 7 adet yerli elektrikli araç firma bünyesine katılmıştır.
- 2 adet verimsiz kompresörümüzü enerji verimliliği yüksek turbo kompresör ile değiştirdik.
- Enerji Tüketimi İzleme Projemizin kapsamını genişlettik.
- Tav Fırını Atık Isı Geri Kazanım Projemiz ile fırın sıcak baca gazını toplayarak sıcak hava elde ettik ve kurutma alanının ısıtılmasında kullandık. Bu projeye doğalgaz tasarrufu sağladık. Ortalama 100 hanenin bir yıllık doğalgaz tüketimi kadar kazanç sağlanmıştır.



Şekil 5. Döktaş Orhangazi Atık Bertaraf Yöntemleri

İklim Değişikliği ve Emisyon Salımı

İklim değişikliği ile mücadele kapsamındaki düşük karbonlu ekonomiye geçiş çalışmalarımızı tüm operasyonlarımıza yaygınlaştırmak istedik ve 2022 yılı Kasım ayında ISO 14064 standardına uygun olacak şekilde 2021 yılı tüketim değerlerini kullanarak sera gazı hesaplamalarımıza başladık.

Emisyonların iklim değişikliğine olan etkisinin bilinciyle, kaynaklarında proses ve toz toplama sistemler-

imizle oluşan emisyonları kontrol altında tutarak azaltacak çalışmalar yapıyoruz.

- Orhangazi tesisimizdeki 3 adet proses bacamızda Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı veri ağına bağlı olan Sürekli Emisyon Ölçüm Sistemi (SEÖS) kuruludur. Böylece emisyon değerlerimizi Bakanlık ile birlikte anlık olarak izliyor ve bacalarımızın ilgili tüm yönetmeliklere uygun çalıştırılmasını sağlıyoruz.
- Tüm bacalarımızın iki yılda bir akredite laboratuvarlara ölçümlerini yaptırıyoruz. 2022 yılında yapılan ölçümlerimize göre tüm emisyon kaynaklarımızda gerekli şartları sağlamış durumdayız.
- Orhangazi tesisi şarj holü cüruf alanında perde beton ve pülvarize sistem ile tozumu önleyici çalışmalar yaptık.
- Orhangazi tesisi maça bölümlerinde oluşan atık gaz yıkama/nötralizasyon sistemlerimizi 2022'de revize ettik ve verimliliği arttırdık.

Su Yönetimi

Su hem prosesimizde hem de insani tüketim nedeniyle kullandığımız önemli doğal kaynaklardan birisidir. Bu bilinçle su kaynaklarının korunması için su kullanımımızı takip ediyor ve azaltılması ile suyun geri kazanılması amaçlı fırsatların belirlenmesine yönelik çalışmalar yapıyor ve planlıyoruz.

Orhangazi'de 2023 yılı içerisinde hayata geçirdiğimiz "Su Kuleleri Besleme Suyu" projemiz ile ayda 1600 ton su tasarrufu yaptık.

Çalışma Koşulları ve İnsan Hakları

Döktaş olarak çalışanlarımızla; değerlerimizin temel alındığı, etik ilkelerimize bağlı ve karşılıklı güvene dayalı bir ilişki sürdürüyoruz. Tüm yasal gerekliliklere tam uyum ile gerçekleştirdiğimiz faaliyetlerimizi, değişen koşullara göre güncelliyoruz.

Çeşitlilik ve Kapsayıcılık, tüm İnsan Kaynakları süreçlerimizin temelini oluşturuyor ve insanların etnik kökenlerine, din, dil, ırk, yaş, cinsiyet, cinsel yönelim, engellilik durumuna veya kültürel farklılıklarına dayalı ayrımcılık uygulanmalarının karşısında duruyoruz. Her zaman adil davranış ve liyakati ön planda tutarak, herkes için eşit fırsatlar sunan bir iş ortamı oluşturmak için çalışıyoruz. Eşit ve adil toplumlara katkıda bulunmak için toplumsal cinsiyet eşitliğini ve kadınların eşit koşullarda sosyal ve ekonomik ortamlara katılımını destekliyoruz. İş Etiği Kurallarımız ve şirket politikalarımız kapsamında hiçbir operasyonumuzda zorla ve cebren çalıştırma veya çocuk işçi istihdamı söz konusu değildir. Bu konulardaki tüm yerel, ulusal ve uluslararası yönetmelik ve mevzuatlara uygun olarak hareket ediyoruz.

Çalışan bağlılığının iş hayatı memnuniyetinin belirleyici faktörlerinden biri olduğunun bilinciyle; 2 yılda 1 Çalışan Bağlılığı, Motivasyonu ve Memnuniyeti Anketi gerçekleştiriyoruz. Bu uygulamayla çalışma hayatının çalışanlarımızın bakış açısıyla değerlendirilmesini, şirketimize olan bağlılık düzeylerini ile şirket uygulamalarından ne derece memnun olduklarının ölçülmesini, güçlü yönlerimiz ile iyileştirmeye açık alanlarımızın belirlenmesini ve önceliklendirilmesini hedefliyoruz. Araştırmamız çalışanlarımızın görüşlerinin tarafsız ve gizlilik çerçevesinde değerlendirebilmesi amacıyla, 2023 yılında bağımsız bir araştırma firması tarafından gerçekleştirilmiştir. Çalışanlarımızın verdiği cevaplar, firma yetkilileri tarafından gizli tutularak analiz edilmiş ve elde edilen sonuçlar toplu halde raporlanmıştır.

Çalışanlarımızın görüşlerini önemsiyor ve aldığımız geri bildirimlere göre aksiyon planları oluşturuyor ve aksiyon planlarını hayata geçirerek, çalışanlarımızı bilgilendiriyoruz. Anketimizin odak konuları ise Çalışma Koşulları, Eğitim ve Gelişim, Gelir ve Yan Haklar, İletişim ve İşbirliği, İlk Yönetici, Şirket Bilinirliği ve İmajı, Çalışan Yaklaşımı, İş-Özel Yaşam Dengesi, Kariyer Gelişimi, Şirket Yönetimi ve Politikaları ile Yapılan İş'tir. Bu kapsamda takip ettiğimiz çalışan devir hızımız 2023 yılında %13,4 olarak gerçekleşti. Yine bu kapsamda izlediğimiz diğer bir veri ise çalışanlarımızın kıdem ortalaması ise 8 yıldan fazladır. Sürdürülebilirlik stratejimiz doğrultusunda çalışanlarımızın hem iş hem de özel yaşamlarında iyilik halini sürdürmelerini önemsiyor, çeşitliliği ve kapsayıcılığı anlayıp içselleştirmelerini sağlamaya çalışıyoruz.

Çalışanlarımızın sağlıklı yaşamaları bizim için çok öncelikli olduğundan, katkı sunabilmek için 2022 yılında başlattığımız "Biz İyiyiz" projesine 2023 yılında da devam ettik. Tüm GÜRİŞ Sanayi Grubu şirketlerinin dahil olduğu bu projede çalışanlarımızın hem ruh hem beden sağlığına hizmet edecek aktiviteler düzenledik. Sağlıklı ve Mutlu bir hayat için hep birlikte "Biz İyiyiz" sloganı ile 2023 yılında "Sigara Tuzağı ve Allen Carr ile Çıkış Yolu" seminerleri düzenledik. Seminere 48 kişi katılım göstermiştir. Seminer %29 başarı ile 14 kişinin sigarasız sağlıklı bir yaşam süremesini sağlamıştır.

Aynı zamanda proje çerçevesinde Mart 2023'te "İstanbul Kış Koşusu" ve Eylül 2023'te "Bi'Tatlı Mola" kapsamında waffle etkinliklerini gerçekleştirdik ve çalışma arkadaşlarımızla çok keyifli zaman geçirdik.

Çalışan Eğitimi ve Gelişimi, Yetenek Yönetimi

Grubumuzu daima ileriye götüreceğine inandığımız çalışanlarımızın mesleki gelişimleri yanında, davranışsal gelişimine de verdiğimiz önem doğrultusunda 360' Yetkinlik Değerlendirme Sistemimizi 2023 yılı sonunda uygulamaya aldık.

Gelişim odaklı kurum kültürüne de katkı sağlayacağını düşündüğümüz 360' Yetkinlik Değerlendirme Sistemi ile; çalışanlarımızın güçlü ve gelişime açık yönlerinin belirlenmesi ile gelişimini desteklemeyi hedefliyoruz. Bu sistem aracılığıyla çalışanlarımız kendi yetkinlik alanlarıyla ilgili, iş arkadaşları, yöneticileri, kendisine bağlı çalışanları, iç müşterileri vb. diğer çalışanlar tarafından değerlendirilme fırsatı elde ettiler.

360' Yetkinlik Değerlendirme Sistemimizle aynı zamanda 2023 Yılı Çalışan Bağlılığı, Motivasyonu ve Memnuniyeti Araştırması uygulamamız aracılığıyla, "Eğitim ve Gelişim" ile "Kariyer Gelişimi" başlıklarında çalışanlarımızdan aldığımız geri bildirimlerle ilgili geliştirici aksiyonlarımız arasında da yer almaktadır.

Döktaş olarak, Türkiye Döküm Sanayicileri Derneği TUDÖKSAD tarafından düzenlenen 3. Ulusal Döküm Kongresine katılım sağladık. Metal döküm sektörünün gündemindeki teknolojik, yönetsel ve ticari konularla birlikte, akademik ve pratik çalışmalara ilişkin bilgi ve deneyimlerin paylaşıldığı kongrede, Döktaş Orhangazi Mühendislik ve Ar-Ge Direktörümüz Bülent Şirin "Savunma ve Otomotiv Sektörlerindeki Yeni Trendler" konulu panelde moderatör olarak, GÜRİŞ Sanayi Grubu İnsan Kaynakları Grup Müdürümüz Serpil Özdemir "Metal Döküm Sektörünün Nitelikli İş Gücü İhtiyacı" konulu panelde konuşmacı olarak katkı sağlamışlardır.

Gelecekteki potansiyel çalışanlar olarak gördüğümüz stajyerlerimizi çalışma hayatına hazırlamak ve ilk adımlarını attıkları süreçte fark yaratacakları ve kendilerini öne çıkartmalarını sağlamak için "Çalışma Hayatına Başlarken" konulu seminerimize 2023 yılında da devam ettik. Seminerde Yaz Dönemi Stajyerlerimize etkili özgeçmiş hazırlama, mülakata hazırlık ve mülakatta dikkat edilmesi gereken konular ile bilgi paylaşırken, iş yaşamına hazırlanmalarına destek olmayı hedefledik. Seminer sonunda stajyerlerimize öz farkındalık testi uyguladık ve sonuçlarıyla ilgili genel geri bildirimlerimizi paylaştık. Ayrıca birebir geribildirim almak isteyen stajyerlerimizle görüşmeler gerçekleştirdik.

Döktaş İnsan Kaynakları olarak, Dijital Öğrenme Platformu aracılığıyla Eylül 2023'te online eğitimlere başladık. Dijital Öğrenme Platformu'nda yer alan eğitim ana başlıklarından bazıları aşağıda paylaşılmaktadır.

- Yasal/Zorunlu Eğitimler,
- ISO Gereklilikleri,
- MS Office,
- Sürdürülebilirlik,
- Yetkinlikler,
- Kişisel Farkındalık,
- Liderlik ve Gelişim

Belirtilen eğitimler, belirli bir plan doğrultusunda sistem üzerinden erişime açılarak çalışanlarımızın eğitimleri tamamlamaları sağlanmaktadır.

TOPLUMA ve YERELİN KALKINMASINA KATKI

Bölge halkının hem ekonomik hem de sosyal gelişimine katkıda bulunmak amacıyla işe alım sürecinde kriterleri sağlayan adaylar arasında öncelikli olarak bulunduğumuz bölge ve çevresinde yaşayan adayların başvurularını değerlendiriyoruz.

GÜRİŞ Sanayi Grubu Şirketleri ile Meslek Liseleri ve Mesleki Eğitim Merkezleri arasında yapılan protokoller kapsamında, Döktaş Mesleki Eğitim Merkezimiz Aralık 2021 itibarıyla kuruldu. Bu proje ile amacımız; sanayinin ihtiyaç duyduğu yeni teknolojileri bilen ve uygulayabilen, meslek ahlakı ve aidiyet duygusu yüksek teknik elemanları yetiştirebilmek ve istihdam etmektir. Aynı zamanda, gençlerin, ilgi ve yeteneklerine en uygun alanlarda, teknolojinin istediği mesleki donanım ve verimlilikte, sosyal yönden de gelişmiş bireyler olarak yetişmelerine katkı sağlamayı hedefliyoruz.

Mesleki Eğitim Öğrenci sayımız 2021 yılında 6 kişi, 2022 yılında 37 kişi iken, 2023 yılında 51 kişiye çıktı. Döktaş Orhangazi Mesleki Eğitim Merkezi ilk mezunumuz Sn. Ömer Birdane, “Elektronik Atölye” ekibine katılarak, istihdam edilen mesleki eğitim merkezi öğrencimiz olmuştur.

Döktaş olarak, üretimin operasyonel süreçlerinde ilk defa kadın çalışan istihdamına Ağustos 2023'te Orhangazi Tesisimizde 10 kadın çalışanımızla başladık. Kadınların işgücüne katılımını, sürdürülebilir kalkınmanın önemli bir unsuru olarak kabul etmekte ve desteklemekteyiz. Ekim 2023'te Orhangazi, Aralık 2023'te Manisa Tesislerimizdeki kadın çalışan istihdamı ile 2023 yılı sonu itibarıyla üretimin operasyonel süreçlerinde toplam 43 kadın çalışan sayısına ulaştık.

GÜRİŞ Holding olarak, grup şirketlerimizle STK'ları (sivil toplum kuruluşları) desteklemek amacıyla yapılan bir yardımseverlik koşusu olan İstanbul Maratonunun 44.'de biz de vardık.

Bilgi birikimimizi ve tecrübemizi sadece üniversite öğrencileri ile değil, sektörümüzle de paylaşıyoruz. Bu amaçla 31 Mayıs 2022 tarihinde Türkiye Döküm Sanayicileri Derneği TUDÖKSAD Akademide “Dökümhaneler için Yararlı İSG Uygulama Örnekleri” konulu bir seminer verdik ve iyi uygulamalarımızı paylaştık. Üniversite sanayi iş birliği çalışmalarını da gelişim ve katkı fırsatı olarak görüyoruz. Bu kapsamda İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Teknoloji Transfer Ofisi ile protokol imzalayarak Üniversite Sanayi İşbirliklerimize bir yenisini daha ekledik. Bu işbirliği ile Ar-Ge odaklı olarak Akademisyen Havuzu üzerinden proje ortaklıklarının geliştirilmesi, teknik işbirliklerinin artırılması ve ülkemize katkı sunacak teorik ve pratik tüm alanlarda birlikte çalışma imkanlarının araştırılmasını hedefliyoruz.

Gemlik İlçe Milli Eğitim Müdürlüğü tarafından düzenlenen “Mesleki Eğitim Tanıtım Günleri” açılış töreninde Döktaş olarak yer aldık. Mesleki eğitimin güçlendirilmesi ve yaygınlaştırılmasına verdiğimiz destek ve katkılardan ötürü Gemlik Kaymakamının elinden plaket aldık.

20 Mayıs 2022 Cuma günü Koç Üniversitesi'nde öğrenim gören bursiyerlerimizi ağırladık. Mühendislik bölümlerinde öğrenim gören bursiyer öğrencilerimiz için planladığımız gezi programımıza şirketimiz hakkında genel bilgilendirmeleri içeren sunum ile başladık ve birlikte yediğimiz öğle yemeğinin ardından fabrikada saha gezisi yaptık.

Eğitime verdiğimiz desteklerden biri de elektronik atık bağışlarımızla oluşan bilgisayarlı teknoloji sınıflarıdır. 2022 yılında değişik bölgelerde bulunan 20 farklı ilkokul ve ortaokula 120 adet bilgisayar bağışladık.

Önem verdiğimiz bir başka alan olan spora da katkıda bulunuyor ve ana sponsorları olarak Orhangazi Futbol kulübü bünyesindeki genç yetenekleri destekliyoruz.

Kaynakça

1) Shaker, R.R. (2015). "The spatial distribution of development in Europe and its underlying sustainability correlations". Applied Geography. Cilt 63. ss. 304-314.

YAZARLAR

Shaker, R.R.

SONUÇ

Özellikle döküm sektörü gibi çevre ile direkt olarak ilişkili süreçler ve çıktılar ihtiva eden alanlarda sürdürülebilirlik bakış açısı şirketlerin ana hedeflerinde belirleyici etkiye sahip olmaya başlamıştır. İklim değişikliği ve sürdürülebilirlik risklerinin belirlenmesi ve bu risklere paralel olarak sürdürülebilirlik odaklı stratejilerin belirlenmesi ve bu stratejilerin iş süreçlerimize entegrasyonu işletmemizin gelecekte daha dayanıklı ve sürdürülebilir iş yapma imkanları sunma açısından kritik bir önem almaktadır. Gelecek dönemlerde oluşturulacak stratejik planlarımızda bu kriterler önemli bir girdi oluşturacaktır.

Döküm Sektörü İçin Alternatif İnovasyon Stratejileri: İmovasyon ve Açık İnovasyon

Mustafa Özgül ABAY

Ferro Döküm Sanayi ve Dış Ticaret A.Ş., Kocaeli, Türkiye

ÖZET

Bu çalışmada geleneksel inovasyon stratejilerinin riskleri belirlenmiş olup, Türkiye gibi gelişmekte olan bir ülke için alternatif bir inovasyon stratejisi olabilecek imovasyon kavramının tanımı yapılmıştır. Ayrıca açık inovasyon stratejisi ile firmaların birbiri ile ya da farklı sektördeki yapacağı iş birliklerinin faydaları üzerine değinilmiştir. Bu kavramlar özelinde döküm sektörünün ulusal ve uluslararası alanlarda gelişim gösterdiği unsurlar ve Türkiye'nin sektördeki darboğazları belirlenip; mevcuttaki bilgi birikimi ve iş tecrübesinin birleşimi sayesinde inovasyon risklerinin aza indirgeneceğinden bahsedilmiştir.

ABSTRACT

In this study, the risks of traditional innovation strategies are determined and the concept of motivation, which can be an alternative innovation strategy for a developing country like Turkey is defined. In addition, the open innovation strategy and the benefits of collaboration between companies or in different sectors were mentioned. Based on these concepts, the elements in which the casting industry has developed nationally and internationally and Turkey's bottlenecks in the industry are determined; It has been mentioned that innovation risks will be minimized thanks to the combination of existing knowledge and work experience.

Keywords; imovation, technology transfer, casting industry trends, open innovation

1.GİRİŞ

Bu yazıda Türkiye gibi gelişmekte olan bir ülkenin geleneksel inovasyon stratejilerine bağlı kalarak günümüz teknolojik gelişim ivmesi çerçevesinde yepyeni bir teknoloji geliştirmesinin zorluğundan bahsedilmektedir. İlk bölümde belirtilen ve dö-küm sektörü özelindeki gelişimleri takip etmenin mevcut inovasyon stratejileri ile zor olmasından dolayı, alternatif inovasyon stratejisi olan imovasyon kavramı açıklanmıştır. Bu kavram ile gelişmekte olan ülke konumundan gelişmiş ülke konumuna geçmiş olan Orta Asya ülkelerinin stratejileri belirtilmiştir. Son bölümde ise dö-küm sektörünün üzerine eğildiği sürdürülebilirlik ve dijitalleşmenin salt dö-kümhane mühendis ve yöneticilerince yönetilemeyecek kadar derin bir konu olmasının getirdiği zorluğun, açık inovasyon kavramına olan ihtiyacı belirginleştirdiği anlatılmaktadır.

2. TÜRKİYE VE DÜNYADA DEMİR-ÇELİK SEKTÖRÜNDEKİ GELİŞMELER

Türkiye'nin küresel pazarda rekabetçiliğini güçlendiren en önemli konulardan biri ucuz iş gücü ve demir çelik sektöründeki tecrübesidir. Ancak rekabetçi koşulları daha da kızıştıran bilişim teknolojilerindeki gelişmelerin, ülkelerin küresel yapılanma süreçlerinin en önemli konusu haline getirmesidir. Değişen alıcı gereksinimleri, bilim ve teknolojinin hızlı bir ivme kazanması ile rekabetçilik; demir-çelik alanındaki ürün yelpazesinin artmasına yol açmaktadır. Bu doğrultuda Çin ve Orta Asya'ya yapılan yatırımlar ile beraber kızışan ortamda Avrupalı üreticilerin; vasıflı çelik, yassı çelik, paslanmaz çelik gibi katma değeri yüksek ürünlerin imalatını devam ettirerek konumlarını korumaya çalışmaktadırlar.

Firmaların teknoloji öğrenme yeteneği; açık fikirlilik, deney ya da sistem perspektifi ile oluşturulan dışsal teknolojik bilgiyi elde etmek ve içselleştirmek için itici güç yoluyla gelişmektedir[25]. Bu itici güç demir-çelik sektörünün mevcuttaki problemleri ve ülkenin rekabetçi konumunu güçlendirmesi adına firmaların odaklandığı öğrenme ihtiyacının hangi alanlar olduğunun belirlenmesiyle başlamaktadır. Teknolojinin gelişim hızının üretimdeki verimliliği artırması adına avantajı, kısa ürün geliştirme döngüleri ve oluşturduğu belirsizlik ortamı riskleri arttırmaktadır. Dolayısıyla yapılacak yatırımların kontrollü bir şekilde yapılması bu riski aza indirgeyebilir. Çin de hükümet çelik sektörünü yeniden yapılandırmak ve büyük firmaların üretimdeki payını yükselterek verimliliği arttırmak amacıyla belirli bir kapasitenin üzerindeki firmalara imkanlar sağlamıştır ancak gelişmeye paralel olarak aşırı ve düzensiz yatırımlar sonucunda enerji kaynaklarının verimsiz kullanılması ve kirlilik gibi sonuçların ekonomide dengesizlik oluşturmaması adına düzenlemeler yapmaktadır[4]. Firmaların mevcut teknolojilerin sürekli güncellendiği bir ortamda yaşanan çalkantıyı aza indirmenin yolu yapılacak Ar&Ge çalışmalarını bu alanlara yönleltmektir. Yeni teknolojilerin benimsenmesi söz konusu olduğunda metal endüstrisinin uzun teslim süre geçmişleri vardır ve sektör süreç kontrolü ve optimizasyonuna sürekli yatırım yaparken özellikle bankacılık ve medya gibi sektörlerle karşılaştırıldığında yeni dijital teknolojileri uygulamada yavaş kalmaktadır[16]. Ayrıca yapılan araştırmalar göstermektedir ki gerek optik gerekse ses sensörleriyle kestirimci bakım faaliyetlerinde bulunan ya da makinelere uzaktan bağlanma imkanı tanıyan teknolojiler ile mevcuttaki yeniliklerin alt metni tam anlaşılammıştır. Endüstri 4.0 ile artış gösteren makinelerin birbirleriyle bağlantısı kurulmakta, geleneksel istatistiksel yöntemleri ile üretim proseslerindeki hassas parametrelerin incelendiği yeni metodolojilerle gelişimi destekleyici yatırımlar gerekmektedir.

Tüm bu göstergelere rağmen Türkiye'nin demir-çelik sektöründeki artışı dünya ortalamasının üzerindedir. Özellikle çelik piyasasının gelişme kaydettiğini öne süren en net gösterge kişi başına düşen çelik miktarıdır. Gelişmiş ülkelerde 350-500 kg olan değer, Türkiye de 2012 de 474 kg, 2019 da ise 352 kg olarak tespit edilmiştir[15]. Durağan bir çevrede değişen müşteri istekleri teknolojik ve çevresel çalkantının olduğu dönemlerde rekabetçi konumu sürekli değiştirmektedir. Türkiye'nin hem ekonomik anlamda yaşadığı istikrarsızlıklara rağmen mevcuttaki bu istatistikler, zayıf ve güçlü yönlerinin belirlenmesiyle ve bu alanda üniversite-sanayi-devlet üçgeninin atacağı adımlarla daha yukarı taşınabilecektir.

Türkiye'nin mevcuttaki demir-çelik sektöründe gelişim göstermesi gereken alanlar;

- Türkiye, dünyanın en büyük demir-çelik üreticisi Çin den bile fazla hurda almaktadır. Artan yatırımlarla beraber artan çelik ihtiyacı ve değişken fiyatlar karşısında yatırımların amortismanı zora girmektedir. Ayrıca hurdaya bağlı birincil üretimin tercih edilmesi bu alanda ithalatı arttıran faktörlerdendir.
- AB çevre mevzuatı ile birlikte zorunlu kılınan gerekliliklerin dar bir zamanda gerçekleştirilmesi istenmesi
- Demir-çelik sektöründeki işletmelerin fazla ancak kurumsal vizyon konusundaki eksiklikleri
- Endüstri 4.0 uygulamaları ile birbirini takip eden sıradan işi yapan işçilerin sahadan ayrılması ile artabilecek işsizlik oranı ve yeni yatırımlar ile saha da çalışacak kalifiye personel ihtiyacının günümüzdeki orandan daha da artması
- Özellikle emisyonların azaltılmasına yönelik hafifletme çalışmaları çerçevesinde üretim hatlarına yapılacak yeni yatırım gereksinimlerin artış göstermesi
- Çevreci denetimlerin artışından kaynaklı; işletmelerin bu departmana hem yetişmiş personel hem de ek yatırım yapma zorunluluğunun oluşması
- Ukrayna-Rusya savaşı gibi küresel tedarik zincirinin işleyişini etkileyen emtia fiyatlarında yaşanabilecek artışlar
- Son zamanlarda Rusya'dan alınan enerji kaynaklarına koyulan ambargo sonrası değişen enerji fiyatlarına karşın alternatif enerji yöntemlerinin bulunmasıdır[19].

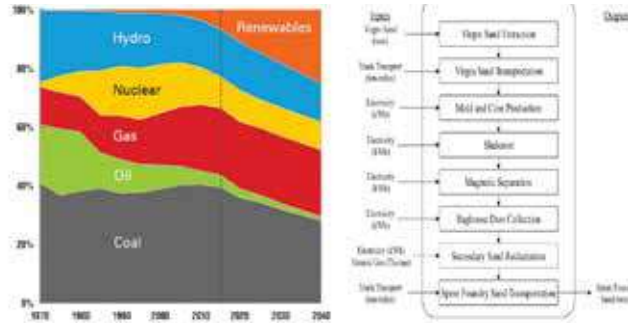
OECD raporuna göre dünya GSYİH büyümesinin 2022 de mütevazı şekilde %3, 2023 de %2,2 olmasını ve başta Avrupa olmak üzere çoğu ekonomide daha önce tahmin edilenden daha zayıf olması beklenmektedir[24]. Türkiye'de demir-çelik

sektörünün mevcuttaki tüm bu risk ve kriz ortamını fırsata dönüştürecek genç nüfusu ve coğrafi konumunun sağladığı stratejik avantajları bulunmaktadır. Amaç mevcut kriz ortamında atılacak kurumsal Ar&Ge politikaları ile ülkenin gelişimini sağlamaktır. Bu konuda devlet nezdinde Ekonomi, Enerji ve Tabii Kaynaklar, Sanayi ve Teknoloji ve Bilim bakanlıkları demir-çelik sektörünün gelişimindeki engelleri aşması adına aşağıdaki uygulamaları hayata geçirme üzerine hedef koymuştur;

- Türk sanayisinin kullanımı amacıyla yurtdışında yapılacak maden arama faaliyetlerinin artırılması için hukuki düzenlemelerinin yapılması
- Ülkemizin mevcut demir-çelik üretiminin %70'nin hurdaya bağlı üretimden geliyor olmasından dolayı üretimde cevher kullanan entegre tesisler lehine iyileştirmelerinin yapılması
- Yılda yaklaşık 700 milyon dolarlık ferro alyaj ithalatı yapılmakta olup yaklaşık %70'nin ferro-siliko-manganez ve ferro-silisyum teşkil etmesinden ötürü bu iki tanımlı ürünün çelik tanımı içerisinde yer alan ve almayan ürünlerin yatırımı kapsamında ve uluslararası yükümlülükler dikkate alınmak suretiyle teşvik tedbirlerinden yararlandırılması
- Demir dışı üretimde özellikle birincil üretim yöntemlerinin ülke kapasitesini karşılamaya yetmeyen yapısını güçlendirmek için teşviklerin artırılması
- Ülkemizde her yıl yaklaşık 1 milyar dolar civarında yapılan demir cevheri ithalatına karşılık düşük tenörlü içerikli demir cevheri işletilmesi ve zenginleştirilmesi üzerine tesislerin kurulması
- Makine sektörü ile demir-çelik sektörü arasında bir köprü oluşturacak rekabet öncesi iş birliği modeli ile az açığı bulunan ürün ve aksamalarda gerekli Ar&Ge çalışmalarının yapılması ve bu ürünlerde üretim teknoloji kapasite ve kalitenin iyileştirilmesi hedeflenmektedir.

2050 yılında dünya nüfusunun 9 milyara çıkması beklenmekte ve bu durum kişi başına düşen tüketimin de artacağını göstermektedir. Bu talep ve ihtiyaçların nasıl karşılanacağı günümüz dünyasının en zor problemlerinden biri olarak gösterilmektedir. Dönüşüm ve gelişimin şart olduğu bugünlerde madencilik ve metal sektörünün daha sürdürülebilir bir dünyada küresel büyüme talebini karşılaması bu durumun merkezinde yer almaktadır. Nitekim WFO (World Foundry Organization/ Dünya Dökümcüler Birliği) tarafından yapılan araştırma göstermektedir ki; endüstri içerisinde yer alan yöneticilerin %80'i sürdürülebilirlik odaklı stratejilerin mevcut ve gelecekteki rekabet avantajı için gerekli olduğuna inanırken, üst düzey yöneticilerin %63'ü sürdürülebilirliğin 5 yıl içerisinde sektör bileşenlerini değiştirmesini beklemektedir.[27].

Artan talebi karşılamak ve daha çevreci enerji kaynaklarına geçiş noktasında türlü arayışlara gidilmektedir. Fosil yakıtlar 18 yy'dan bu yana dünya çapında yaşam standartlarının iyileştirilmesine yardımcı olurken, bunlarla bağlantılı sera gazı emisyonlarını da küresel ısınmaya yol açmasına engel olunamamıştır. Dünya için çok daha yıkıcı problemlerin oluşmaması adına ülkelerin bu yüzyılın ortalarına kadar enerji sistemlerinin karbondan ayırması beklenmektedir.



Şekil 1. Yıllara Göre Metal Sektöründe Değişen Enerji Kaynakları [28] ve Döküm Kumunun Basitleştirilmiş Ürün Yaşam Döngüsü [33]

Enerji üretiminin son 40 yıldaki değişimine bakıldığında; kömür, petrol ve doğal gaz kaynaklarının kullanım payı azalırken yenilenebilir enerji kaynaklarının arttığı görülmektedir. Uluslararası enerji ajansının Dünya Enerji Yatırımı 2023 raporuna göre pandeminin ardından enerji yatırımları fosil yakıtlardan yenilenebilir enerji kaynaklarına kaymıştır. Dünya Enerji Görünümü (WEO) raporuna göre yenilenebilir enerji kaynaklarının küresel elektrik kaynakları arasındaki payı bugün %30 civarındayken, bu değer %50'ye yaklaşacaktır ancak hala on yıllardır %80 civarında seyreden fosil yakıt kullanımının 2040 %70'e gerileme ön görüşü CO2 emisyonlarındaki artışın devam edip, küresel sıcaklık artışının daha da hissedilir olacağını göstermektedir. Dünyanın yenilenebilir enerji kaynaklarına olan arayışına karşın demir çelik sektörü de bu değişimin bir parçası olması adına ilerlemektedir. Nitekim Alman çelik üreticileri tarafından yapılan bir geliştirme ile sadece hidrojen kullanılarak yüksek fırın çalışması yapılmaktadır. Almanya bu yeni teknik ile 2030 yılına kadar emisyonların %30 daha az olacağını ön görmektedir çünkü ABD enerji bilimleri topluluğu tarafından açıklanan bilgilere göre 1000 kg çelik üretimi için 780 kg kömür gerektiren yüksek fırınlar her yıl 1 milyar ton kömür ihtiyacında bulunmaktadır[27]. İstatistiklere rağmen sürdürülebilir enerji kaynaklarına geçiş noktasına metal sektörünün karşılaştıkları bazı zorluklar bulunmaktadır. Yapılan bir araştırmaya göre bu zorluklar; teknik, ekonomik, çevresel ve sosyal olmak üzere 4 ana başlık altında toplanmıştır. Karşılaşılan zorlukların %38,9'unu oluşturan ekonomik sebeplerin ana müsebbibi ilk yatırım maliyetlerinin yüksek oluşu olurken, %26,8'i Ar&Ge ve teknoloji yeter-

sizliğini ön gören teknik sebeplerden, %22,4'ü yeterli altyapının olmayışından ötürü çevresel faktör başlığı altında toplarken, %11,7'si ise bu teknolojilerin ekonomik ve toplumsal yararı konusunda yeterli bilgi sahibi olunamamasını gösteren sosyal sebepler altında toplanmıştır[29].

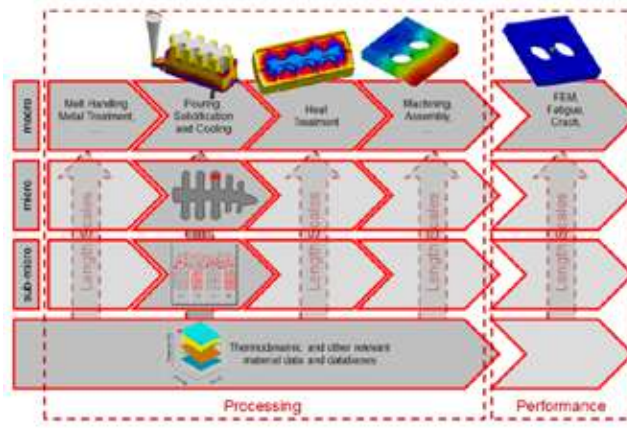
Bunlara ek olarak bataryalı elektrikli araçların önümüzdeki yıllarda yaygınlaşması da metal sektör çalışanlarının stratejilerini değiştirmelerinde katalizör olabilecek bir durumdur. Nitekim otomotiv endüstrisinin değişen hedeflerini karşılamak adına stratejilerini değiştirmeleri zorlanmaktadır. Dökümhaneler ağırlıkların azaltılmasına odaklanarak elektrikli araçların enerji tasarruflarına destek olabilmektedir. Avrupa da bulunan bazı dökümhaneler hafifletilmiş tasarım ve simülasyon ile geliştirdikleri dinamik sürecin sonunda hafifletilmiş farklı alaşım ürünlerle elektrik tahrik bileşenleri üretmeyi hedeflemektedir[2]. Otomotiv, havacılık ve rüzgar enerjisini yaygınlaştıracak bu yeni alaşım talepleri yüksek mukavemetli çelik alaşımlarının da piyasada yaygınlaşmasının başlayacağını göstermektedir. Otomotivde kullanılan yüksek mukavemetli çeliğin payı 2010'da %15'den, 2030 yılında %38'e yükselebileceği, normal çeliğin 2010 da %51'den, 2030 yılında %13'e düşeceği ön görülmektedir[2]. Dolayısıyla dökümhanelerin başka bir Ar&Ge konusu yüksek alaşımlı çelik hürdanın yeni hammadde olarak kullanılmasından doğacak avantaj ve dezavantajları iyi belirlemesi olacaktır.

Hammadde perspektifinden bakıldığında ise; 19. ulusal kil sempozyumunda konuşulduğu üzere Türkiye de silis kumu Şile havzasından başka bölgede bulunmuyor. Üretici firmalardan alınan bilgiler ise silis kumu stoklarının 2024'ün ilk çeyreğini tamamlayacak durumda olduğu yönündedir[36]. Avrupa ve Asya da bulunan dökümhaneler mevcuttaki bu problemi engellemek adına reklamasyon sistemlerini yatırım planlarına almaktadırlar. Artan yatırımlar ile birlikte daha da genişlemesi beklenen Türk döküm sektörünün hammadde ihtiyaçlarındaki bu kanayan yarasına merhem olması için az enerji tüketen ve enerji verimliliğini öncelik alan kum reklamasyon sistemleri devreye alınması gerekmektedir. Ayrıca yine bu gelişmelere paralel olarak bu sistemin çalışılabilirliğini kontrol etmek üzere yeni tip kum kontrol cihazları bu silisenin önemli bir halkası haline getirilmeye çalışılmaktadır. Reaktiften öte proaktif verilerle kum sistemini her daim kondisyonda tutacak sistem gerekliliğinin karşılanması adına mevcuttaki çalışmaların artması beklenmektedir. Dökülen parçaların kompaktlığı ile beraber artacak maça besleyici gibi maddelerin kuma karışma oranlarının artması, kalıplama makinelerinin hızlanması ile beraber karar verme zamanının daralışı geleneksel cihazlar ile kontrol etmeyi zorlaştıracaktır.

Tüm bu çalışmaların ortak paydası enerjidir. Enerjinin kullanım oranının artması ile birlikte daha çevreci, daha sürdürülebilir ürünler üretilmiş olacaktır nitekim böylesine bir amacın gerçekleşebilmesi için dökümhanelerin üretim süreçlerini çıkardıkları yaşam döngüsü analizlerinde artış görülmektedir. Yaşam döngü analizi; bir ürün ya da hizmet üretiminde kullanılan hammaddelerin elde edilmesinden başlayarak ilgili tüm üretim, sevkiyat, tüketici tarafından kullanım ve kullanım sonrası atık olarak her tarafı kapsayan yaşam döngüsünün farklı aşamalarındaki çevresel etkileri belirlemek, raporlamak ve yönetmek için kullanılmaktadır[35]. Dolayısıyla ortak payda olan enerji talebinin inmesine yönelik tüm çalışmaların çerçevesini bir ürünü üretmek için gerekli hammaddelerin sisteme dahil olması ile başlayıp, ürün tüketicinin elinde atık hale gelinceye kadar geçen geniş süre içerisinde belirlenmektedir.

Dünya nüfusunun güncel 8 milyar olan sayısının, 2100 de 10 milyarı aşacağı ve buna paralel olarak CO2 oranının 425 ppm olan seviyesinin her yıl 2 ppm oranında artması, deniz seviyesinin yılda 1,5 mm artacağı öngörüler, enerji konusunu gün geçtikçe daha önemli bir hale getirmektedir. Tüm bu gelişmeler ile birlikte kendimizce çevre dostu gördüğümüz ya da hızlı ve kaliteli ürün üretmek adına üretim proseslerimizi şekillendirdiğimiz süreçler yapılacak böylesi detaylı analizlerden sonra farklılık gösterebilmektedir. Nitekim küresel grafitli dökme demir ve Alüminyumdan yapılmış otomotiv parçasının yaşam döngü analizi karşılaştırıldığında, küresel grafitli dökme demir tasarımının enerji tüketimi açısından %40-43 daha düşük olduğu tespit edilmiştir[32]. Bu durum salt ikincil üretim yöntemleriyle ürün karşılaştırmaları yapmaktan öte birincil üretim tarafında da detaylı bir analizi gerekli kılmaktadır.

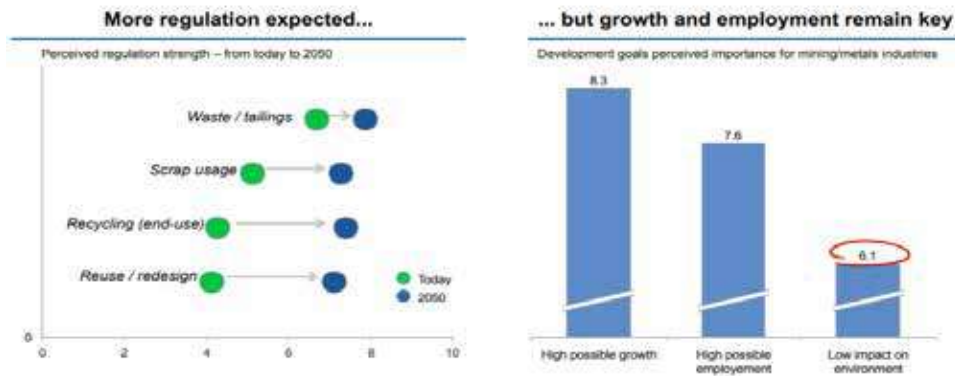
Önemli olan bu analizler sonucu çıkmış dar boğazların belirlenip, mühendisçe çözümler bulunması adına inovasyonlar yapılmasıdır. Bir malzemenin ürün akışında zorunlu olan ısı işlem, dövme, kaynaklama gibi tüm proses adımları üründen beklenen mekanik özellikleri birebir karşılayacak şekilde dizayn edilmesi gerekmektedir. Çünkü tüm bu adımlar için gerekli olan enerjinin maliyeti gittikçe artmaktadır. Dökümhanelerde yapılan çalışmalar göstermektedir ki yaşam döngüsü analizindeki dar boğazlar döküm komponentlerinin termodinamik ve termokimyasal verileri içeren yeni tip bir disiplin olan "bütünleşik hesaplamalı malzeme mühendisliği" disiplini ile aşılmaya çalışılmaktadır. Bu yaklaşımı genetiği değiştirilmiş gıda yaklaşımına benzetebiliriz. Bu disiplin sayesinde geleneksel üretim yöntemleri ile gerçekleşmiş tüm aşamalar metalurjik olarak ortaya konup yeni inovatif ürünlerin oluşması adına çalışmalara gebe olmayı amaçlamaktadır. Nitekim çalışmalar göstermektedir ki daha sürdürülebilir ürünler oluşturmak adına yeni tip dökme demirlerin ortaya çıkması için bu disiplin ile çalışmalar sürdürülmektedir. Çok gelişmiş simülasyon teknikleri ile üretim aşamalarının geniş bir perspektiften bakılması sağlanan bu sistemler ise hala geliştirilmeye açık konumdadır



Şekil 2. Dökümhanelerde Uygulamaya Alınan Bütünleşik Malzeme Mühendisliği Hesap Parametreleri [34]

Tüm bunlar göz önüne alındığında metal sektörünün genel itibariyle atık-yeşil üretim başlıkları altında gelişim göstermeyi hedefledikleri alanlar aşağıdaki gibidir;

- Yapılan araştırmalar göstermektedir ki ocak şarj oranlarındaki hurda girdisinin artış göstermesi karbon ayak izini düşürmektedir. Ancak artan çelik hurda miktarına bağlı olarak ilave edilecek aşı, karbon, ön şartlandırıcı gibi malzemelerin genel itibariyle yurt dışından farklı transport yöntemleriyle gelmesi totaldeki karbon ayak izini etkilemektedir. Dökümhaneler mevcut koşullarda optimum katılma koşullarını karşılayacak uygun şarj oranlarını karbon ayak izini de düşünerek bir sınır belirlemelidir.
- WFE (World Economic Forum)'nin hazırladığı rapora göre 2050 yılına yönelik hedeflerden biri metal ve madencilik endüstrisinin ürettiği kalıcı atıkların %50'den fazla olmamasıdır. Atık geri kazanımını mümkün kılan verimli ve ekonomik bir teknoloji geliştirilmedikçe madencilik ve metal sektörünün ürettiği kalıcı atık miktarını önemli ölçüde azaltmak mümkün olmayacaktır. Bu açığı kapatmaya yönelik çalışmalar madencilik ve metal endüstrileri arasında Ar&Ge faaliyetlerinin yürütülmesini gerektirebilir.
- Geri dönüştürülmüş malzemenin yeniden kullanılabilirliği hurda girdisine dayalı metallerin özellikle yüksek kaliteli alaşımların üretimini iyileştirilmesini gerektirmektedir. Bazı karmaşık metallerin ayrıştırılması önem arz etmektedir. Özellikle hurda talep ve arzının aynı bölgelerde bulunmayı özellikle gelişmekte olan ülkeler için mevcut altyapılarını geliştirme zorunluluğunu ortaya çıkarmıştır[17]



Şekil 3. Büyüme Trendlerinin Çevreye Olan Etkilerini Gösteren Tahmini [1]

Son zamanlarda Çin ve Orta Asya ülkelerinin yükselen gücü ile birlikte gelişmiş ülkeler küresel piyasada kendi rekabetçi konumlarını devam ettirmek adına attığı adımlar, ülkemizin demir-çelik sektöründeki rekabetçi konumunu da etkileyebilir. Türkiye'nin gerek hammadde ve makineleşme gerekse yeni enerji kaynakları bulma noktasında geliştirmeler yapması düne göre daha elzem hale gelmiştir. Modern teknolojinin gelişim hızı sıfırdan yeni teknolojiler üretmek adına yapacakları ile bu kazanç trenini kaçırabilir. Geliştirilen teknoloji ve hammaddelerin asırlar boyu sürdürdüğü tecrübesi ile zenginleştiren ve değişikliklere olan hızlı adaptasyonu ile dünya tarafından kalite standardı yüksek kabul edilen demir-çelik sektörü, önümüzdeki

50 yıl içinde büyük bir dönüşüme hazırlanmaktadır. Tükettiği enerji ve emisyon nedeniyle baş sorumlu olarak gösterilen sektör dinamikleri, bu sürecin sonucunda gerek üretim süreçlerinin, hammaddelerin, lojistiğin, makineleşmenin, mühendisliğin değişimine neden olacaktır. Bu değişimi hızlı bir şekilde yakalamak adına yaratıcı taktik ya da inovasyon olarak adlandırılan yeni stratejiler mevcut tecrübe ile kurumsal vizyonlar ile birleştiği vakit kullanıcı konumundan marka üreticisi olma yolunda bir adım olarak değerlendirilebilir. Nitekim salt kullanıcı modu ile lisans alımları üzerine şekillenen yatırımların ülke menfaatlerine yönelik uzun vadeli gelişimlere hızlı bir şekilde ön ayak olabilmesi bu stratejiden geçmektedir.

Tüm bu gelişmelerin özeti Türkiye'nin demir çelik sektöründe Avrupa ve dünyada rekabetçi konumunu yükseltip vites arttırması için geleneksel yöntemlerden ötesine ihtiyacı vardır. Çünkü teknolojinin hızı mevcuttaki avantajlarımızın da kaybolmasına yol açmasına sebep olabilir. Şüphesiz amaç; ekonomiyi canlandıracak ve geniş maksatlı teknoloji oluşturacak Ar-Ge ve inovasyon çalışmalarıyla mümkündür ancak geleneksel yöntemler Türkiye gibi gelişmekte olan ülkeler için yerinde sayma haline dönüştürebilir. Teknolojiyi iyi bir kullanıcı olmaktan öte özümseme yoluna gidilmesi; müşteri, tedarikçi ilişkileri ve geri bildirimlerin doğru yapıldığı bir inovasyon ekosistemi, ithal edilen teknolojiyi oluşturanlardan daha fazla kazanç sağlama haline dönüştürebilir.

3.TEKNOLOJİ TRANSFERİ

Küresel tedarik zincirinin tam anlamıyla oturmadığı dönemlerde gelişmiş ekonomilere ait olan büyük şirketler, pazarlarını iç piyasada ya da gelişmiş ülke ekonomilerine yapacakları yatırımlarla şekillendirmekteydi. Ancak belirli bir ekonomik doygunluktan sonra, kapitalist tamamlarının kar güdüsüyle çaldığı şarkılar, gelişmekte olan ülke ekonomilerini de sisteme dahil etmeye başladı. Ayrıca hızlı teknolojik değişimler, ekonomik üretim sürecinde farklı mekanlar arasındaki mesafenin kısalmasına neden olmuş ve sinai örgütlenmenin küresel düzlemdeki yeni biçimleri, ulusal değer zinciri arasındaki bağın güçlenmesi ve serbestleşmenin yaygınlaşması, işletmelerin içinde bulunduğu ortamı kökten değiştirmiştir. Her ne kadar bu ülkeler küresel tedarik zincirinin bir parçası haline getirilseler de amaç "bağımlılık okulu" kapsamında emperyalist güçlerin hegemonyası ile gelişmiş olamamalarını sağlamaktı nitekim araştırmalar da göstermektedir ki pratikte çok uluslu şirketlerin büyük yatırımlarına rağmen bu ülkelerin teknolojik faaliyetleri, yatırımların yapıldığı ülkenin teknoloji yetkinliğinin gelişmesine çok az katkıda bulunmaktadır[19] Böylece tedarik zincirinin bir halkası haline gelip, kısmi ihracat oranlarındaki artış ya da kısa vadede kar getirecek yaklaşımlar, sistemi gelişmekte olan ülkeler için bir fırsatmış gibi gösterse de son tahlilde teknoloji yoksunu ya da teknoloji bağımlısı olan ülkelerin doğumunu kaçınılmaz kılmaktadır.

Felsefedeki bu "bağımlılık okulu" kavramının yıkılışı; küresel tedarik zincirinin bilinçli paydaşı olmuş olan Orta Asya ülkelerinin kendilerine yapılmış olan yatırımlar ve ülkedeki eğitimli nüfusun ve Ar&Ge yeteneklerinin artmasına bağlı olarak teknoloji seviyesinin artması gibi faktörler sayesinde olmuştur. Ayrıca yine bu ülkelerde "Konfüçyüsçü" yaklaşımın getirdiği; devlet otoritesine itaat ve etkin çalışma disiplini anlayışı sayesinde sınırlı kaynaklara sahip ülkenin ancak ve ancak imalat sanayinde yapacağı atılımlar ile ilerleyeceği hedefi gerçekleştirmiş olmaktadır. Hükümetlerin merkantalist dış ticaret politika uygulamaları ve büyüyen zenginleşmek için sanayileşmiş ülkelere ait ticari marka patent haklarını ihlal etmeleri bile ilk aşamada devlet tarafından hor görülmüştür. Keza G Kore hükümetinin yabancı teknolojilerin ülkeye transferini kolaylaştırması adına sübvansiyonları, yine kendi ülkesindeki lisans ve lisansüstü öğrencilerin eğitimi için yurt dışına göndermesi, Çin de devlet kapitalizmi altında yatırımları şekillendiren devlet elinin, ülkedeki yabancı yatırımların Ar&Ge merkezlerinde kendi vatandaşlarını çalışma zorunluluğu getirmesi gibi uygulamalar ile küresel tedarik zincirinin bilinçli bir parçası olmuş ve sonrasında attıkları milli Ar&Ge faaliyetleri kapsamında teknoloji özümsemesini gerçekleştirmiş ülkelere dönüşmüşlerdir. Gelişmiş ülkelerin ucuz iş gücünü, mevcut altyapısını, eğitimli ve kalifiye personelini kullandığı bu ülkeler GSMH ve yıllık Ar&Ge ve patent oranlarında hızla artan bir yapıya bürünmeleri sonucunda yine bu ülkeler tarafından bir tehdit gibi algılanmaya başlamışlardır. Bu ülkelerin sisteme dahil olmasıyla birlikte küresel inovasyon ortamına ait refah, bolluk gibi anahtar sözcükler; satın alınabilirlik, işlevsellik, asgari özellikler, düşük maliyetli girdiler gibi anahtarlar dönüşmüştür. Teknoloji özümsemesini gerçekleştirmiş bu ülkeler, mevcut yapıyı öncelikle yerel formlarına dönüştürmüş, hantal bir bürokrasiden öte hızlı bir pazar geri dönüşü olarak aksiyonlarını hızlandırmıştır.

Manpower group talent shortage raporuna göre 2012 yılında Türkiye de ki işverenlerin %41'i aradıkları nitelikte çalışanları bulup işe almada sorun yaşarken, bu oran 2016 yılında %66 seviyesine yükselmiştir. Gelişmiş ülke ekonomilerine göre çok yüksek olan bu oran, iş dünyasını tatmin edecek bir eğitim programının olmadığını göstermektedir. OECD Employment Outlook raporuna göre; OECD ülkelerinin çalışanlarının ortalama olarak %25,3'ü iş dünyasının ihtiyaç duyduğundan daha yüksek bir beceri seviyesine sahipken bu oran Türkiye de %40 olarak tespit edilmiştir[24]. İş dünyasında beklenen dönüşüm için gerekli olan nitelikli eğitim programı ile öğrencilerin yetiştirilmesi yerine, iş dünyasından kopuk ve salt üst teori ile yetişmiş kişilerin kısa zamanda sanayinin problemlerini çözmeleri beklenememektedir. Ayrıca düşük iş gücü maliyeti uzun dönemde sürdürülecek yatırımları ülkeye çekmeye sağlayabilir ancak ülkenin gelişime bağlı olarak iç fiyatlar düzeyindeki artışı, uzun vadede iş gücü maliyetinin düşüklüğünü sürdürülebilir kılamaz[22]. Ayrıca ekonomik büyümenin sürdürülmesinde ucuz iş gücü ve hammadde, yeterli bir unsur olmaktan çıkmakta ve küresel rekabetçilik temel endüstriyel kapasitenin yetenekleri tarafından belirlenmeye başlamıştır[24].

Gelişmekte olan ülkeler için bu teknoloji transferi ya yabancı yatırım üzerine odaklı ve yine yabancı yatırımın kontrolünde giden bir transfer sürecini yaşatırken, ihracat ile öğrenme süreci ise alınan makine ve ekipmanın teknolojisinin taktik edilmesi

yoluyla olmaktadır. Yabancı yatırım ile birlikte artan kişi başına gelir, tüketicileri ithal ürünlere yönlendirmiştir ve bu trend cari açığın yükselmesine katkıda bulunmuştur. İhracatta büyük payı olan imalat sanayisinin yabancı yatırım içindeki payı hizmet sektörüne gelen yabancı yatırımın hızlı bir şekilde artmasıyla birlikte düşmüştür. Bunun nedenlerinden biri Türkiye'nin küresel değer zincirindeki yerinin daha çok montaj aşamasında olması ve katma değer ürün üretmesi konusundaki uzmanlaşma ekseninin genel itibarıyla inşaat, marangozluk, tekstil gibi mal gruplarında yatması olabilir. Yapılan çalışmalar göstermektedir ki Türkiye de Ar&Ge harcamaları son 10 yılda ciddi bir artış trendine girmiştir ancak bu artış hala rekabet edilen ülkelerin gerisindedir. Türkiye Ar&Ge harcamalarının GSMH'ya oranı OECD ortalamasının yarısından daha azdır. Teknolojik yetenek; teknolojinin özünü oluşturan bilginin etkin kullanımıyla, bu bilginin yenilikçi ürünlere dönüşümünü ifade eder[19]. Ulusal müdahaleler ile süreci oluşturan ürünlerin ticari bir başarı getirmesi, hedeflenen değerlere ulaşıldığının göstergesidir.



Şekil 4. Farklı Yeterlilikte Firmaların Teknoloji Düzeyleri [25]

Gelişmekte olan ülkeler ihtiyaç duydukları teknolojiyi kendi mali ve bilimsel kaynakları ile gerçekleştirecek durumları olmadıklarından dolayı teknoloji transferinin ülke ekonomisine marjinal maliyetleri olacaktır. Ayrıca bu maliyetlere karşın teknolojinin hazır paket halinde gelişi, bu teknolojinin özümsemesini kolaylaştıracak nitelikli personel ve bu sürecin katalizörü olan devlet politikaları ile desteklenmesi halinde anlam kazanacaktır. Teknoloji transferini mümkün kılan maliyetler; Doğrudan maliyetler: Patent, lisans, uzmanlık ve ticari marka kullanımı ile ilgili ödemeler, yatırım öncesi ve sonrası için teknik bilgi ve uzmanlık için yapılan ödemelerdir.

Dolaylı maliyetler: Ara malların ve araç gereçlerin ithalatındaki aşırı fiyatlandırma, uzmanlık bedeli olan ödemeler, sermaye mallarının teknik donanım ithalinden kaynaklanan ve teknoloji fiyatı ihraç eden tarafça belirlenen ödemeleridir[19].

Gelişmekte olan ülkeler etkin altyapıları ve geçmişteki teknoloji birikimlerini araştırarak öğrenme durumunu seçmektedir. Bu yaklaşım belirli bir teknolojik olgunluğa erişmiş bir ekonomide gerçekleşebilecek bir durum iken; gelişmekte olan ülkeler için yaparak öğrenme yaklaşımı geçerli olmaktadır. İyice kısalan ürün yaşam döngüsü ve teknoloji değişim hızı çerçevesinde rekabetçi ortamda ayakta kalabilmek adına var olmayan zamana karşı yapılacak tutum bunu karşılamaktadır. Bu yaklaşım ile teknolojik olgunluğa erişen firmalar, yaratıcı taklitten orijinal yeniliklere götüren süreci oluşturmaktadırlar[22].



Şekil 5. Teknoloji Transfer Aşamaları [19],[22]

Dolayısıyla üreticiler tedarikçisi olduğu firmalar için çalışırken üretim aşamasının hangi aşamasında yer alırlarsa alsınlar milli bir teknoloji adına atılacak en büyük adım teknolojiyi özümsemekten geçmektedir. Firmaların kazandığı tecrübeler yukarıda belirtildiği gibi türlü adımlardan geçtikten sonra geliştirme yoluna, sonunda da markalaşmaya doğru evrilmektedir ancak tüm bu gelişmeler mevcut teknoloji altyapısını kuruluş temelinde oturtacak kurumsal bir inovasyon stratejisi ile mümkün olmaktadır.

Şekil 5 de belirtildiği üzere teknoloji edinme sürecinin başlangıcı ithal edilen teknolojinin salt kullanıcı olma niyeti taşımadığının ilk göstergelerindedir. Özümseme aşaması ise beşeri sermayesi kuvvetli bir yapının öncelikle yerel piyasaya uyarılma sonrasında hem yerel de hem de globalde geliştirme aşamasına geçtiğini göstermektedir.

4.İNOVASYON VE İMOVASYON

İnovasyon yeni gelişmiş ürünler ya da prosesler ve organizasyonel sistemler olarak kabul edilse de yaygın görülen kabuller;

- Henüz endüstride denenmemiş yeni bir üretim yönteminin bulunması
- İşlenmeyen yeni bir pazarın bulunması
- Keşfedilmemiş ihtiyaca yönelik ürün ya da hizmetin geliştirilmesi

- Yeni bir hammadde ya da yarı mamul kaynağının elde edilmesi
- Sektörde yeni bir organizasyonun uygulanmasıdır[11].

İnovasyon yapma amacıyla gidilen süreçte yapılan yeniliklerin belirsizliklerle dolu olması, bu sürecin hesaplanamaz ve kısmen ön görülemez bir durum olmasını sağlamaktadır. Bu yenilik süreci sonucunda ticari ürüne dönüşme zamanı çok uzun olabilir ya da böylesine ticari bir ürün oluşmayabilir. Nitekim bu sürecin sonucunda elde edilecek tecrübelerin fayda getireceği düşünülerek motivasyon kaybetmeden farklı yollar denenmeye çalışılmalıdır. Risk gibi hesaplanabilir bir faktör yerine belirsiz bir sürecin olması özellikle gelişmekte olan ülkeler için problem teşkil etmektedir. Ayrıca risklerin deneysel ve istatistiksel tahmin yöntemleriyle azaltılmasının mümkün olmasına karşılık işletmeye ait bilgi kopuklukları olarak tanımlanan belirsizliğin tamamen bertaraf edilmesi mümkün değildir[31]. Eğer bu süreç belirsizlik ortamını hesaplanabilir risk ortamına döndürülemeyen politikalar ile şekillenmezse, karar alıcıların geçmişten gelen bilgi birikimleri ile şekillenen örgütsel hafızlarına göre sınırlı bir rasyonalite ile karar almalarını sağlayacaktır. Bu aşamaları yeni nesil devletçilik anlayışı ile geçen ülkeler; mevcut belirsizlik ortamını risk ortamına döndürmek için bazı politikalar uygulamaktadır. Firmalar bu sınır içerisinde muhafazakar tutum ile rekabetçi konumlarını korumaya çalışacaklardır ancak bugün yenilik peşinde koşan ve sonucunda inovasyona giden atılımlar yapan firmalar, rutinlerini bozan yenilikler arayışında olan firmalardır.

Gerçek Belirsizlik	Temel Araştırma, Temel İnovasyon
Çok Yüksek Düzeyde Belirsizlik	Radikal Ürün İnovasyonları, Firma Dışındaki Radikal Süreç İnovasyonları
Yüksek Derecede Belirsizlik	Başlıca Ürün İnovasyonları, Kendi Sistemine Ait Süreç İnovasyonları
Az Belirsizlik	Lisansı Alınmış İnovasyonlar, Ürün İnovasyonların Taklidi, Ürün ve Sistem Süreçlerinde Değişiklikler

Şekil 6. İnovasyon Sürecinde Belirsizlikler [31]

Bu yolda yeterli kaynak ve altyapı eksikliği bulunan ülkeler, taklit yöntemiyle belirsiz olan ortamı risk ortamına doğru döndürmeye çalışmaktadır. Amaç piyasada kabul görmüş, müşteriler tarafından onaylanmış olan teknolojinin özümsemiş, farklı bir yenilikle piyasaya kabullendirilmesidir.

İÇ İNOVASYON ENGELLERİ	DIŞ İNOVASYON ENGELLERİ
İşletmelerin Finansal Güçlerinin Yetersizliği	Yeni Ürün ve Süreçlere Tüketici İlgisinin Yetersizliği
Nitelikli ve İnovatif Personel Eksikliği	Yüksek Ekonomik Riskler
Teknoloji Hakkında Bilgi Eksikliği	Devletin Piyasa Düzenleme Politikaları
Pazar Hakkında Bilgi Eksikliği	Normlar ve Standartlar
Yetersiz Yönetim	Piyasada Yerleşik Firmaların Egemenliği
İşletmelerde Yetersiz Ar&Ge, Tasarım, Test ve Diğer İmkanlar	İnovasyon Faaliyetlerini Desteklemek İçin Gerekli Altyapı Eksikliği
Değişime Karşı İç Direnç	Mevcut Patent ve Lisans Düzenlemeleri
Organizasyonel Yapı	Yetersiz Eğitim
İnovasyon İçin Fikirlerin Yetersizliği	Yeni Mal ve Hizmetler İçin Talep Belirsizlikleri
İnovasyon Yapmaya Gerek Duyulmaması	İnovasyon İçin İş Birliği Ortağı Bulmada Yaşanan Zorluklar
Zaman Yetersizliği	Kamu Desteklerinin (Hammadde ve diğer bileşenler v.b.) Yetersizliği
Algılanan Risklerin Yüksek Olması	Kamu Bürokrasisi
İnovasyon Projeleri İçin Uzun İç Karar Verme Süreçleri	Yetersiz Eğitim

Şekil 7. Firmaların İnovasyon Sürecinde Yaşadığı İç ve Dış İnovasyon Belirsizlikleri [31]

Böylesine köklü değişiklikleri yapmak gelişmiş ülkeler adına bile ciddi riskler barındırmaktadır. Çünkü bu değişiklikleri yapmak adına atılacak adımlar için istenen kaynak ve zamanın sonunda bir karşılığı olamayabilir. Gelişmiş ülke ekonomilerindeki sermaye gücü, oluşabilecek etkileri tolere etmek için kullanılabilir ancak düşük iş gücü, düşük teknoloji seviyesi, teknolojik üretim yöntemlerinden yoksun, altyapısı oluşmamış olan ülkelerde bu durumu tolere edecek bir durum yoktur. Bugün modernleşme teorisi ile mevcut yetersizliklerini kenara bırakan ülkeler teknoloji transferini aktif bir şekilde gerçekleştirmişlerdir. Bu transfer ise taklitçilikten doğan “inovasyondur”.

İnovasyon; daha önce icat edilmiş veya zaten var olan pazarda, kurumsal değerler elde etmek için sistemin akıllıca kullanılmasıdır. Erken sanayileşme problemi ile boğuşan ve yeterli teknolojik olgunluğa erişemeyen bir ülke için taklit etmek daha kolaydır. Taklitçiliğin altında yatan gerçek amaç, süreci inovatif faaliyetlere götürebilecek yenilikçi faaliyetleri ortaya çıkarmaktır. Gelişmekte olan bir şirketin büyüyen bir pazarın doğru anlaşılmasının ardından daha yeni bir teknolojiye erişim elde etme avantajını tasvir ederek, taklitçinin yenilikçiye geçmesi sağlanır.

Fiziksel bir buluş olarak ortaya çıkan inovasyonun yayılma süreci, inovasyonun ortaya ilk çıkışıdır. Prof.Dr. Oded Shenkar'ın ortaya çıkardığı inovasyon; imitasyon ve inovasyon kavramlarının birleşiminden oluşmaktadır. Yayılma sürecinde teknolojiyi keşfedenlerin teknolojiyi özümsemesi ile beraber uyarılma sürecine doğru geçiş yapması ise diğer aşama olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca gerçekleştirilen inovasyon, yatırım yapıldığı ya da ihraç edildiği ülkelerle kültürel bir anlaşmazlığa düşebilir ya da yerleşme başlığı altında iç pazarda daha satın alınabilir formata dönüştürülebilir. Süreci başından sonuna kadar götürecektir sermaye olmadığı için

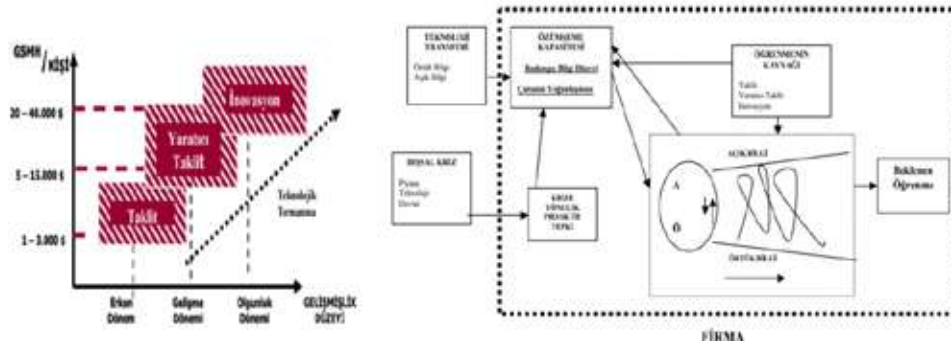
- Pazara sunulmuş teklifin gözlemlenmesi
- Yeni bir ürünü piyasaya sürme sürecinde hataların analiz edilmesi
- Müşteri deneyimlerinin net şekilde anlaşılması gibi avantajları vardır.

Bu durumlar sayesinde teknoloji daha efektif orijinal yeniliklere dönüşebilir ya da bambaşka bir üretim prosesine yönlenecek bir gelişmeye yol açabilir. Önemli olan transfer edilen teknolojinin Ar&Ge faaliyetlerine çerçeve oluşturabilecek politikalar ile devlet-sanayi-üniversite üçgeninin işleyebilmesidir. Küresel piyasanın etkin olduğu dönemler kurumlar arasındaki mesafelerin artmasına neden olmuştur. Dolayısıyla ülke gelişimi için her bir kurum kendi “serbest piyasası” içerisinde tanımının uyacağı çalışmalar yapmış ancak kurumlar arası etkileşimin tam anlamıyla yerleşmiş olmaması ülkenin ihtiyacı olanlara cevap olamamıştır. Modernleşme teorisi ile hareket eden ülkeler; devlet, sanayi ve akademi üçlüsünü bir sarmal hale getirdiği politika izlemektedir. Bu politika; tüm bu üçlülerin devletin düzenleyici ve denetleyici bir mekanizması altında bilgiyi üreten ve araştırma faaliyetlerini sürdüren üniversite ile bu süreci ticari bir ürüne dönüştüren sanayi arasındaki karşılıklı fayda oluşturma ilişkisi olarak tanımlanmaktadır[24].

M. Csikszentmihaly'nin Akış kitabında “ bir insan on beş gün içinde asılacağı bilirse bu onun zihnini müthiş şekilde odaklar... objektif olarak yıkıcı görünen bir olay, kurbanlarının hayatlarını yeni ve beklenmedik biçimde zenginleştirir...” demiştir[30]. İnovasyonu, gelişim sürecinin mihenk taşı olarak belirleyen G Kore yıllar yılı süren Kore savaşları sonrasında ciddi bir yıkım ile karşı karşıyaydı. Nitekim 1980'li yıllarda G Kore GSYH'yi Türkiye'nin üçte biri oranındaydı. Yine Çin 1. Afyon Savaşı sonrasında emperyalist güçler tarafından sömürgeleştirilmiş ve yıllar yılı sürececek kıtlıklar ve ekonomik buhranlarla boğulmuşlardır. 1. Dünya Savaşından yenik ayrılan Almanya ekonomisi iflas etmiş ve artan enflasyon, halkın alım gücünü ciddi şekilde düşürmüştür. Tüm bu ülkeler içlerinde buldukları kriz ortamını fırsata dönüştürecek hamleler ile ayağa kalkabilmişlerdir. Nitekim G Kore'de yapılan yatırımlarla teknoloji öğrenmeyi kolaylaştırması için özel sektörü krizlerin içerisine atmak, devletin uyguladığı bir strateji olarak bilinmektedir[12]. Dolayısıyla gerekli hammaddenin olmadığı, ekonomik olarak rekabetçi konumda bulunulmadığı anlarda çalışanların enerjilerini yeni bilgiler peşine düşerek bilgi dönüşümlerine katkı sağlamaları sağlanmıştır. Şüphesiz buradaki en önemli katalizörler Orta Asya ülkelerindeki iş disiplini ve devletin sağlamış olduğu imkanlar ile bu hedeflerin gerçekleşmesini sağlamaktır. Theodore Lewitt “hiçbir şirket, kendi alanındaki her şeyde ilk olamaz hatta tek başına bunu denemeye gücü dahi yetemez” diyerek evrimsel süreçte hayatta kalabilmek adına bireyin kendinden önceki nesli taklit etmesinin aslında doğanın bir kanunu gibi bir durum olduğunu vurgulamaktadır. Dolayısıyla teknolojik değişim hızının hızlı olduğu bu dönemde tekerleği yeniden icat etmek yerine eğitilmiş bireyleri geliştiren inovatif faaliyetlerden ilham alabilmesi ve taklitlerinin yenilikçi ürünlere dönüştürülmesi beklenmektedir. Yine araştırmalar göstermektedir ki gerçek inovatörler pazarların ancak %7'sini ele geçirebilmektedirler, taklitçiler bundan daha fazlasını yapmaktadır.

İnovasyon ile inovasyon zemini oluşturan Çin hükümeti ülkesine yapılan yatırımlar ya da globaldeki inovasyonlardan yaptığı taklitlerde aşağıdaki idealleri tanımlamaktadır;

- Çin de yatırım yapan telefon şirketleri; ürünleri kopyalayarak; ucuz, kalitesi düşük ürünler yaptılar. Çin de ki bu durum “tüketimin ekonomik olma” amacını taşımaktadır. Müşteri beklentisinin başında olan ucuz ürüne ulaşma eğilimi hasil olacak ve bu baskıyla teknoloji kopyalanmış olacaktır.
- Ürünü daha ekonomik hale getirmek için istenmeyen özellikler ortadan kaldırılmaktadır.



Şekil 8. Teknoloji Transferinden İnovasyona Giden Süreç [22]

- Ürünün mükemmel olma zorunluluğu yoktur. Temel müşteri ihtiyacı, gelişmiş bir modele hızlı şekilde kopyalanmalı sonrasında da daha gelişmiş bir modele evrilmelidir
- Global şirketlerin kabul edilen standartlara uyma zorunluluğu ve sürekli kaliteliyi üretme organizasyonel baskısına karşılık Çin de “Çin için yeterli derecede iyi” mottosu geçerlidir. Önce yeteri kadarını al sonrasında standartlara bağlı kalmaksızın ürünü geliştirme yoluna gitmektedirler.
- Mevcutta var olan inovasyonun bakım ya da kurulum maliyetleri düşürülerek iyileştirme yapılmaktadır.
- Çin de başarılı olup globale çıkan ürünlerde karşı tarafın ihtiyaçlarının belirlenmesi sağlanmalı ve ürünün ihrac olduğu bölgeye göre değişiklikler yapılmalıdır.
- Yerel piyasayı öğrenme yeri olarak görüp, hatanın yapılması sağlanmakta ve hızlı bir öğrenme yoluyla globalde yaşanan risklerden kurtulma hedeflenmektedir.

Döküm sektörünün güçlü konumu elinde bulundurduğu know-how sayesinde olmaktadır. Her ne kadar ham madde ve makineleşme anlamında ithalata olan düşkünlük fazla gibi görünse de bu makinelerin ve ham maddelerin ürünlere olan adaptasyonu hızlı şekilde gerçekleşmektedir. Dolayısıyla mevcut tecrübelerle öncelikle yerel piyasada belirsizlik ortamından risk ortamına dönülmesi elimizdeki teknolojileri daha aktif hale getirdiğimiz ve geliştirdiğimiz sistemler ile mümkün olabilmektedir. Demir-çelik sektöründeki gelişmelerinde gösterdiği üzere mevcut sistemlerde yapılacak değişimler ile satın alınan teknolojilerin ya da ham maddelerin maliyetleri artmakta ve bu çerçevede inovasyon yapmak daha da zorlaşmaktadır. İnovasyon, döküm endüstrisinin ithalat bağımlılığını azaltacak bir ilham kaynağı olabilir. Çünkü tarih göstermektedir ki bizimde teknolojisini satın aldığımız tüm inovasyonlar başkaları tarafından yapılmış çalışmaların gelişmiş hale getirilmesi sonucunda ortaya çıkmıştır.

5. AÇIK İNOVASYON

İnovasyon modelleri 1960'lı yıllara kadar işletmenin kendi inovasyon çabalarını kapsayan, Ar-Ge çalışmalarına bağlı işletme içi pazarlama üretim gibi fonksiyonların bütünleşik çalışmaları ile ortaya çıkan yeniliklerden oluşmaktaydı. 1980 sonrası işletmenin dış çevresine ait faktörlerin ve paydaşların yenilik sürecine katkısının değerlendirildiği inovasyon modelleri ortaya çıkmaya başlamıştır[46]. O zamana kadar lineer şekilde ilerleyen gelişmelerin çerçevesi araştırma-uygulama-geliştirme-üretim-yayımla şeklinde olması aynı zamanda kitleselliğin de ön planda olduğunun bir göstergesidir. Dolayısıyla tedarik zincirinin yeni oluşturulup kar paylarının dağıtıldığı bir ortamda yapılacak inovasyonun artırılmasına yönelik politikalar çikartılarak faaliyetlerin artması hedeflenmektedir.

İnovasyon modellerinin en kapsamlı türü sistematik ağ tabanlı öğrenme modeli iç ve dış faktörlerin uyarılarını dikkate alan öğrenme temelli sistem ile etkileşime önem veren bir inovasyon modelidir. Bu modele göre inovasyon daha karmaşık bir ortamda geliştirilmektedir. İşletmeden pazara olan inovasyon akışı yerini çift taraflı etkileşimin olduğu dinamik bir yapıya bırakmıştır. İnovasyon sürecinde sadece bilimsel ve teknolojik gelişmeleri takip etmek yeterli değildir. Ulusal inovasyon sistemleri ve birbirleri ile etkileşimi sosyal, kültürel, demografik değişimler yasal düzenlemeler inovasyonu etkilemektedir[46]. Dolayısıyla tüm kalifiye çalışanların kendi şirketleri için çalışmayacağı ve tüm gelişmelerin ilki ve en iyisi olma çabalarının günümüz dinamiklerinde mümkün olmadığını ve ne kadar gelişmiş bir Ar-Ge departmanı kurulursa kurulsun disiplinler arası bağlantıların iç içe geçtiği bir dönemde böylesi kalifiyeliğe sahip şirketlerin var olamayacağı algısı açık inovasyon kavramını ortaya çıkarmıştır.

İşletmeler kendi sınırları içerisinde oluşturduğu inovasyonlara ilişkin yatırım kararları verirken oldukça zorlanmaktadır. Çünkü inovasyon yapma aşamasında pazara sunulma aşamasında riskler ve belirsizlikler inovasyonun ticarileştirilme fikrine sıcak baktırmamaktadır[37]. Belirsizlik ve değişkenliğin sınırlı olduğu piyasada geleneksel inovasyon modelleri yeterli olabilir ancak belirsizlik ve değişkenlik söz konusuysa yabancı olunan bir ürün üretilmeye başlandığında akışta ekstra efor sarf edilmesi gerekecektir. Özellikle gelişmekte olan ekonomilerdeki firmalar için dışsal bilgi kaynaklarına erişim zayıf, içsel ar-ge

kapasiteleri ve sınırlı kaynaklardan ötürü açık inovasyon stratejisi kilit role sahiptir[39]. Günümüzde firmaların pazardaki gelişmeleri takip ederek yeni teknolojileri uygulanabilir hale getirme çabaları rekabetçi piyasada maliyet dengesini bozacağından ikilem yaratmaktadır. Dolayısıyla firmalar için “güvenli alan” olarak adlandırılan bu durum geleneksel inovasyon ortamının çizdiği lineerliği bozmaktadır. Dolayısıyla ürünün pazara çıktığı andan itibaren artan verilerin doğrulanması ve anlamlı hale gelmesi geleneksel kapalı inovasyon denilen sistemde mümkün görünmemektedir. Çünkü kapalı inovasyon sistemi ile tüketicinin markalara verdiği yenilikçi tutumun yeni ürünün devreye alma akışına girmesi mümkün değildir. Kapalı inovasyonlardaki yenilikçi vizyon; kısıtlı bütçe ayrılmış ve bu bütçelerle çığır açacak patent alabilecek yeni iş modellerinin oluşturulmasıdır.

Kapalı İnovasyon	Açık İnovasyon
İlk Olarak Biz İcat Ettiysek Pazara da İlk Biz Çıkmalıyız	Kar Elde Etmek İçin Araştırmaya İlk Olarak Bizim Başlamamız Şart Değildir
Bir İnovasyonu Pazara En Önce Sunan İşletme Kazanır	Daha İyi Bir İş Modeli Kurmak Pazara En Önce Çıkmaktan İyidir
Sektördeki En İyi ve Çok Sayıda Fikir Bizden Çıcarsa Kazanan Biz Oluruz	İç ve Dış Kaynaklı Fikirleri En İyi Biz Kullanırsak Kazanan Biz Oluruz.

Şekil 9. Kapalı ve Açık İnovasyon Arasındaki Farklar

5.1. Açık İnovasyon Yapma Şekilleri:

Açık inovasyonun gerçekleşmesinin ilk amacı şirket içerisinde inovasyon ekosisteminin oluşturulmasıdır. Bu da birimlere bağlı olmayan bir inovasyon ya da ar-ge ile mümkündür. Yapılan araştırmalarda HUAWEI şirketinde ar-ge den sorumlu kim diye sorulduğunda bir kişinin olmadığı görülmüştür. Ürün geliştirme birimini bir ekip tarafından idare edildiği ve şirketin ar-ge'ye ayıracağı finansmanın bile bu birim tarafından idare edildiği tespit edilmiştir[43]. Oluşturulan bu ekosistem şirket içinde pazarlama ve üretim departmanları ile birlikte olabileceği gibi farklı ürün menşei şirketlerin bir araya gelip yeni ürün meydana getirme amacı alabileceği danışmanlar ile ya da yarışma, atölye çalışmaları gibi etkinliklerle yapılabilmektedir. Tüm bu aşamalara gelmeden önce şirket içinde beliren fikirlerin kuluçka merkezlerindeki tartışması, sonraki adımlara geçişi sağlamaktadır. Bunun için aşağıdaki adımlar kullanılmaktadır;

- İhtiyaç Listesinin Oluşturulması
- İşletmenin Temel Yetkinliklerinin Tanımlanması
- Keşif Başlatılması
- Kuruluşla İlgilenenler İçin Farkındalık Kapsamının Genişletilmesi
- Mevcut İlişkilerinin Değiştirilmesi
- Aynı Alanda Çalışan İşletmelerle İş Birliği
- Müşterilerin İhtiyaç ve Taleplerinin Kontrol Edilmesi[38].

Açık inovasyon dıştan içe ya da dıştan içe olmaktadır. Dıştan içe başkalarının keşiflerini işletmenin inovasyon performansını arttırmak için kullanırken, içten dışa inovasyon işletme sınırları içerisinde üretilen inovasyonların uygun iş modeli olan başka organizasyonlar tarafından ticarileştirilmesini sağlamak üzere teknoloji veya lisanslama yoluyla iş ilişkisinin oluşturulmasıdır. Sadece işletmenin araştırma ve geliştirme faaliyetlerine yapmış olduğu yatırımların geri dönüşümleri sağlamakla kalmayıp yeni iş ilişkilerini ve inovasyon ekosistemi ile yüksek marjlı lisanslama geliri elde edilmektedir[37].

Dünyanın önde gelen şirketleri yaptıkları iş birlikleri ve etkinliklerle şirket bilgi birikimi ile mümkün olmayan geniş kapsamlı inovasyonlar için açık inovasyonu desteklemektedir. Bunlardan bazı örnekler aşağıdaki gibidir;

- Peugeot dünyanın dört bir yanından yüzlerce tasarımcıyı “open design” kapsamında toplayıp model tasarım konusunda fikir alışverişinde bulunulmasını sağlayan, yılın belirli dönemlerinde konu başlıkları ile çağrıda bulunup inovatif fikirlerin ortaya atılmasını sağlamaktadır.
- Çin de bulunan bazı şirketler bilgilerini ve teknik yardımcılıklarını Çin de bulunan tedarikçiler ve müşterilerle paylaşma yoluna gitmektedirler. Haier firmasının CEO’su “dünya bizim laboratuvarımız ve yetenek havuzumuz” mottosunu öne sürerek firma içinde kurdukları takımların teknolojik anlamda inovasyona ihtiyaç duyulan tüm bilgilerini almakta ve ihtiyaca göre global teknoloji arayıcılarına erişim imkanı sağlamaktadırlar[43].
- Celsa Steel UK şirketi çelik üretimi için en akıllı çözümleri bulmak adına 5 tema ile açık inovasyon yapmaktadır: Enerji depolama, tedarik zincirinde izlenebilirlik, 3D baskı, akıllı çelik ve yan ürünler[45]
- Severstal firması çelik sektörünü modernize etmek ve girişimlerle güçlü bağlar kurmak amacıyla başlattıkları steeltech accelerator programı ile çelik sektörüne ümit vaat eden inovasyonları desteklemeye yılda 25 milyar dolar vaat ediyor. Programın ana amaçları maliyetleri düşürmek, yeni ürün, atıkların azaltılması, dijital platformların sektöre daha etkin devreye girmesi

5.2. Döküm Sektöründe Açık İnovasyon:

Demir-çelik sektörünün algısı; komoditeleşen, insan emeği yoğun, operasyonel maliyetleri yüksek ve geleneksel bir sektör

olsa da belki tam da bu nedenlerden dolayı tabi müşterisi olan sektörlerin gelen maliyet ve kalite talepleriyle inovasyona en çok ihtiyaç duyan sektörlerden biri haline gelmiştir[45]. Ayrıca araştırmalar da sektörün gelişimini gerek mühendislik ürünlerinde gerekse inşaat sektöründe metal dökümün popülaritesinin arttığını göstermektedir çünkü fiyat düşüklüğü, esnek üretim süreci, geniş ürün yelpazesi gibi avantajları bulunmaktadır. 2016 yılında 18,73 milyar dolar olan potansiyel, 2025 yılında 39,94 milyar dolara çıkmaktadır. Pastadaki bu payı almak adına dünyadaki dökümhanelerin sektördeki dar boğazları olan; enerji maliyeti, insan kaynak sıkıntısı, iş gücü sıkıntısı, beceri eksikliği ya da ham madde maliyetleri gibi problemler için yatırımların artırılması hedeflenmektedir[47]. World Steel'in Amerika da yaptığı araştırmaya göre sektör gelirlerinin %6'sı yatırım projeleri, ar-ge ve süreç iyileştirme için harcanmaktadır. Yapılan gelişmeler ürün kalitesini arttırmaya yönelik dijital inovasyon ve süreç iyileştirme amaçları teknoloji kullanım eğilimi, çevresel ürün kimlik bilgileri, elektrikli araç parça üretimi, daha hafif ve daha yüksek korozyon direnci olan malzeme üretimi ve düşük elektrik kaybı sağlamak üzerine olmaktadır[45]. Tüm bunlara ek olarak döküm sektörünün yetmişmiş eleman bulamama problemi de devam etmektedir. Döküm sektörünün git gide karmaşıklaşan yapısı karşısında yetmişmiş ve yetenekli personel bulma konusunda problem yaşanmaktadır. Özellikle genç yaştakilerin dökümhanelerde çalışmak istememesi ve çalışanların yaş eğiliminin 40-50 arasında kaldığı görülmektedir. Dökümcüler, genç ve kalifiye işçi bulamama problemini otomasyonlu sistem ile çözmeye çalışsa da bu sistemin daha yetenekli çalışana ihtiyacının olması ve döküm parçalarının git gide kompleks olan yapısı nedeniyle nihai ürünü 10-100 parçaya bölmesi ile otomasyonlaşmanın zorlaşmasının da unutulmaması gerekmektedir[47].

Görülmektedir ki döküm sektörünün dünyadaki artan popülarlığı, piyasadaki inovasyon ihtiyacını arttırıyor ancak günümüz koşullarında gittikçe artan esnek üretim anlayışının olduğu yeni teknolojik makineler ve bu makinelerden çıkan kompleks ürünleri geliştirebilmek daha da zor bir hale gelmektedir. Örnek olarak bir dökümhane sürdürülebilir olma yolunda inovasyonlardan organik içerikli uçucuların azaltılmasına yönelik bir çalışmada ya da verimli bir toz toplama sistemi için yapacağı çalışmada ya da atık kumunu kullanacağı bir firma için başka firmalar ile iş birliği içerisinde olmalıdır. Açık inovasyon uygulaması ile şirketlerin muhafazakarca koruduğu prosesler ya da makine parkları mevcut problemlerin çözümü adına işbirlikçilerle anlaşma adına esnetilmelidir. Ancak örgütün yeniliğe adapte olmasında yaşanan zorluklar ya da katılımcılar ve paydaşların tüm bu oluşumlardan önce çeşitli beklentilere sahip olması ve buna paralel olarak beklenen durumları aynı zaman periyodunda karşılanamamasına neden olabilir[37]. Burada şirket içerisinde açık inovasyon için oluşturulmuş ihtiyaç listesine göre doğru paydaşlar ile yola çıkılması gerekmektedir. Ancak uygun paydaşların dökümhaneler tarafından bulunabilmesi için beklenen esneklik her ne kadar anlaşmalar çerçevesinde sıkı sıkıya belirlenmiş olsa dahi sağlıklı bir iş birliğinin güven üzerine tahsis edilmesi düsturu ile hareket edilmelidir. Amerika da küçük-orta-büyük işletmeli dökümhanelerin birbirleri ile olan iş birlikleri üzerine yapılmış bir anketin cevapları, Türkiye de ki dökümhanelerin iş birliği kurması adına örnek teşkil edebilir. Şüphesiz daha çok kapalı inovasyon stratejisini izlemeyi amaçlayan bir ülke için çok şaşırtıcı yaklaşımlar olmasa bile Türkiye de ki dökümhaneler de yer yer benzer yaklaşımlar olduğu gözlemlenmektedir. Dökümhanelerde çalışan yöneticilerin verdikleri cevaplar;

“Dökümhaneleri ziyaret ettiğimde yöneticiler, benimde bir dökümcü olmamdan dolayı öylece etrafta dolaşmama izin vermiyor. Başka firmalarla iş birliği yapmak istiyorum ancak bu mümkün görünmüyor.”

“Döküm sektörünün rekabetçi yapısı her türlü ortaklığa sahip olmanın önünde büyük bir engel oluşturuyor”

“Farklı dökümhanelerin tam olarak ne iş yaptıklarını bilmiyorum ancak ve ancak döktükleri işleri ve proseslerini kabaca biliyorum. Ne zamanki makine parklarını görüp, ulaşılabilir teknolojilerin ne olduğunu anladığımızda bilgi sahibi olabiliyoruz.”

“Diğer dökümhanelerin ne tür işlerde başarılı olduğunu, hangi konularda yetkin olduklarını, mevcut kapasitelerini görme imkanı bulmak adına işbirliği yaparken seçenekleri görmek için fırsat yakalamaya çalışıyoruz ancak zorlanıyoruz.”

Açık inovasyonun devamlılığı için beklenen iş birliklerinin doğru şekilde işleyebilmesinin yolu bu beraberliklerin şeffaf bir şekilde sağlanabilmesidir. Döküm endüstrisinin değişimlere ayak uydurmak konusunda açık inovasyonun üstleneceği roller;

- Sürdürülebilirlik ve çevresel etkilerin azaltılması
- Küresel rekabet gücünün artırılması
- Endüstri 4.0 ve sonrasında teknoloji trendleriyle entegrasyonun sağlanması

Dökümhanelerin gerek dünyada yapıldığı gibi düzenlenen etkinlikler ile bu inovasyona herkesin dahil olduğu bir etkinlikle ya da uygun paydaşların ile geliştirilecek yeniliklerin önü açılabilir. Bilgi çağını yaşadığımız şu dünyada sınırları kalın hatlar ile çekilmiş fabrikaların kendi içerisinde “bize yeter” mantığı, rekabetçi dünyada silinmenin başlangıcı olabilir. Olabildiğince sınırların genişlediği ve tüm bilgilerden faydalanıldığı bir inovasyon sistemi, günümüzün zor sorularına cevap bulmada fayda sağlayabilmektedir. Böylece ilerlemeci, açık, işbirlikçi ve adaptif inovasyon kültürünün oluşturduğu çerçeve, farklı sektörlerden ilham alma ve öğrenme gerçekleştirecek ve sonuçta yeni fırsatların yakalanması mümkün olacaktır.

6.SONUÇ

Günümüzde gelişmekte olan ülke konumunda olan ekonomilerde ucuz iş gücünü öne sürerek yapılması beklenen yatırımlar yeterli alt yapı ve milli Ar&Ge faaliyetleri ile desteklenmediği sürece; teknolojik yetenek düzeyi geriye gidecektir. Nitekim yatırımların ülke içerisine çekilmesi gelir düzeyinde artış varmış gibi görünüp tüketim oranlarını yukarıya taşıması büyük resimde ülkeyi teknoloji yoksunu bir konuma sürükleyebilmektedir.

Tüm bu riskler gelişmekte olan ülke ekonomilerinin açıklarını tolere edecek bir sermayenin olmaması ile birleştiğinde hem iç hem de dış inovasyon engelleri ile karşılaşılmasını sağlayabilmektedir. Yerleşik kurumsal inovasyon stratejisi olan bir şirket bile devlet akademisi nezdinde gereken desteği göremeyecek olursa ülke ekonomisinin gelişimine yeni sütunlar ekleyecek

gelişimleri gösteremeyecektir. 2019 yılı başında yayınlanan bir Avrupa birliği raporunda, Avrupa'nın ve dünyanın karşı karşıya bulunduğu büyük önem taşıyan sorunların çözümü için, kilit/anahtar nitelikli "ileri malzeme teknolojileri" ortaya konularak olası etkileriyle birlikte değerlendirilmiştir[26]. Dolayısıyla dünyamızda gerçekleşen çevresel sorunların çözümü için malzeme alanında yapılacak teknolojik gelişmeler noktasına dikkat kesilmek istenmiştir.

Güçlü Yönler	Zayıf Yönler	Fırsatlar	Tehditler
Stratejik Konum ve Lojistik Avantajı	Teknoloji Yatırımlarının Yetersizliği	Yeşil ve Sürdürülebilir Teknolojiye Geçiş	Akıcı Küresel Rekabet
Gelişmiş Üretim Altyapısı	Yüksek Enerji Maliyetleri	Yenilikçi Malzeme ve Süreç Geliştirmeleri	Hammadde Maliyetlerinin Artması
Teknolojik Yetkinlik	Bürokratik Prosedürler	Dijital Dönüşüm	Teknolojik İhtiyaçların Karşılanması
Geniş Ürün Yelpazesi	Teknoloji Transfer Zorlukları	Yeni Küresel Pazarlara Erişim ve İş Ortaklıkları	Yeni Çevresel Düzenlemeler

Şekil 10. Döküm Sektöründeki Gelişimin Swot Analizi

Araştırma ve geliştirme faaliyetleri sonucunda ortaya çıkan değer ve ürünlerin piyasada kabul görüp değer yaratmaya başlama süreci, ticarileşmenin de ilk adımını oluşturmaktadır. Özellikle malzeme alanında yapılan bu faaliyetlerin maliyetinin yüksek oluşu, bu çalışmaların akademi bünyesinde sınırlandırılmasına yol açmakta ve neoliberal politikalar altında birbirinden ayrılmış kurumlarda, ticarileşme kaygısı duyulmadan sadece akademik çalışmalara hizmet edecek hale getirilmektedir. Günümüz dinamik pazarında böylesine çözümleri alabilmek için pazarı ve müşteri beklentilerini iyi okuyabilmek ve sanayide mutlaka çoklu-disipliner takımların oluşturulması ile mümkün olacaktır.

İnovasyon stratejisinin oluşması için yeterli organizasyonel yapıyı oluşturamayanların gerek zaman gerek mali kaynak gerekse yetersiz eğitim gibi konulardan müzdarip olduğu görülmektedir. Modernleşme sürecini hızlandıran ve elinde yeteri kadar hammadde kaynağı olmayan gelişmekte olan ülkeler, fiziksel manada ortaya çıkan inovasyonu, gerek tutumlu inovasyon başlığı ile gerekse inovasyonun yerleşmesi başlıkları altında değiştirip süreci kendilerine göre daha ulaşılabilir hale getirmektedir. Literatüre yeniden kazandırılmış olan inovasyon tüm bu sürecin tanımıdır. Süreç mevcut bir teknolojinin daha etkin yeni gelişmelere yol açabileceği düşünülen yeni süreçlere dönüşmesini sağlayacak ilhamların alınmasını sağlamaktadır. Dolayısıyla tüm fizibilitelere geçmiş ve piyasalar tarafından kabul görmüş yeni stratejiler öğrenilip taklit yoluyla inovasyona doğru yol almaktadır. Bu "taklit" sözü illegal kavram çağrışımı altında kopyalamak olmayıp, yeni gelişmelere açık olabilecek bir sürecin başlangıcını oluşturacaktır.

Türkiye'nin demir-çelik sektöründeki gelişimi dünyada değişen ekonomik dengelere karşı gelişimini sürdürmektedir. Bu gelişimin en büyük payı dünyadaki rekabetçi konumunu güçlü tutan tecrübesi sayesinde. Ancak son zamanlarda büyük bir değişim gösteren enerji kaynaklarına olan bakış açısı özellikle ciddi bir tüketici olan demir-çelik sektörünü etkilemektedir. Bu göstermektedir ki demir-çelik sektörü tüm Ar&Ge faaliyetlerini enerji tabanlı konulara doğru yönlendirecektir. Son zamanlarda Rusya-Ukrayna savaşının yarattığı emtia fiyatlarındaki değişimler, siyasi ambargolar, endüstri içerisinde baskısı derinleşen çevresel mevzuatlar gelişimin bu yönde olmasını gerektirmektedir. Nitekim metal endüstrisinde özellikle atıkların doğru sınıflandırılması ve birincil ve ikincil üretim kaynakları ile yapılan üretimlerin sonucunda ortaya çıkan karbon ayak izi hesaplamaları üzerine yönelişler bunu doğrulamaktadır. Özellikle e-mobiliti araçların yaygınlaşması ile birlikte artan yüksek mukavemetli parçaların üretimi, metal sektöründe hammaddelere olan bakış açısını değiştirecek yeni faaliyetleri gerekli kılmaktadır.

TÜDOKSAD'dan alınan verilere göre Türkiye de son iki yılda demir döküm tarafında 30'un üzerinde üretim hattı, demir dışı döküm tarafında ise 100'ün üzerinde yeni üretim hatlarının siparişinin verilmesi beklenmektedir. Bu durum metal döküm sektörü ihracat oranlarının artış trendini sürdürdüğünü gösterecektir ancak girdi maliyetlerinin artışı, yapılacak yatırımların amortismanlarını daha da derin düşünmeyi gerektirecektir. Ayrıca salt daha çok adetli ürün satabilmek için hat yatırımları yapan dökümhaneler, küresel tedarik zincirinin değersiz bir halkasını oluşturabilirler. Çünkü bu yatırımları yapmak adına harcanan paralar, doğru bir piyasa okumasını gerekli kılacak fizibilite çalışmaları ile mümkün olmaktadır. Günümüzde ise bu fizibilitenin ana temasını ise enerji oluşturmaktadır. Artan enerji maliyetleri ve yetkin personel eksikliği düşünülmeyen yapılan yatırımların uzun vadede ne kadar kar getireceği mutlaka firmalar tarafından belirlenmelidir. Nitekim bu çalışmalar inovatif çalışmaların önünü açacaktır. Teknolojinin ilerleme hızı ve artan zorlu koşullardaki rekabetçi ortam, hızlı ve stratejik karar alma ihtiyacını daha da artırmaktadır. Mevcutta hesap bile edilemeyen belirsiz ortamı, risk ortamına döndürebilmek için sorunu öncelikle maddeleştirmek gerekmektedir. İnovasyon yapan şirketler için bu durumun ilk aşaması belirsiz ortamdaki risk ortamına geçiş aşamasındaki firmaların mevcut tecrübelerini kullanmasından geçmektedir.

İnovasyon her ne kadar ilk görünüşte legal olmayan bir kavram gibi görünse de gelişmekte olan ülke ekonomileri için bir kazanç olarak algılanabilir. Türkiye'nin demir-çelik sektöründeki mevcut tecrübesi gelişen teknolojiyi sahiplenip geliştirmesi ile mümkün olmaktadır. Kurumsal inovasyon stratejisini benimsemiş firmaların mevcudiyeti ile sektörde kullanılan tüm araç ve gereçlerin yerleşmesi noktasında desteklenebilir. Şüphesiz ülkeye yapılacak yatırımlar bu alt yapının oluşmasının ilk

adımları olarak değerlendirilebilir ancak bu altyapıyı dolduracak beşeri sermayeyi yetiştirecek akademi ve belirsizlik ortamını ortadan kaldıracak devlet eline ihtiyaç vardır. Türkiye'nin zor zamanlardaki dayanışma gücü ve kriz zamanlarındaki pratikliği doğru politikalar ile birleştiği vakit ilerlemesi kaçınılmaz olacaktır.

Geleneksel yaklaşımlar ile artan teknolojinin gerektirdikleri firma içine entegre edebilmek için ne yetişmiş personel bulunmakta ne de bulunan personelin devamlılığı yeteri kadar sağlanamamaktadır. Şüphesiz neslin getirdiği geçiş dönemi çerçevesinde iş yapış şekillerinin muhafazakarlığında bunda etkisi var ancak günümüz koşullarında hızlı ilerlemek için bu problem yadsınamaz durumdadır. Ayrıca parçaların kompleksliği ve gelişmiş makinelerin gerek bakımı gerek kurulumu gerekse verimli çalışması adına eskisi gibi firma tecrübesi yetmemektedir. Artık açık inovasyon ve imovasyon gibi yaklaşımlar sayesinde inovasyon sınırları kapalı bir ekosisteme dahil etmemek gerekmektedir. Çünkü sorunlar ya da gelişmeler firma sınırları içerisinde çözülemeyecek ve üretilen teknolojiyi sıfırdan üretmeyi başlamak kadar zorlaştırmaktadır.

7.KAYNAKÇA

- [1] World Economic Forum. "Mining&Metals In A Sustainable World 2050", Erişim: 04 Haziran 2023, <https://www3.weforum.org>
- [2] GF Casting Solutions. "What Influence Does The Foundry Industry Have On E-Mobility", Erişim: 05 Mayıs 2023, <https://www.gfs.com>
- [3] T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı. "On Birinci Kalkınma Planı (2019-2023)", Erişim: 05 Mayıs 2023, <https://www.sbb.gov.tr>
- [4] TMMOB Makine Mühendisleri Odası. "Çin Demir ve Çelik Sektörüne Genel Bakış ve Gelecek Senaryoları", Erişim 02 Mayıs 2023, <https://www.mmo.org.tr>
- [5] Çelik, N., "Gelişmekte Olan Ülkelerin Sanayileşme Süreçlerinde Teknolojik Öğrenme Deneyimleri: Güney Kore Örneği ve Çin'in Yetiştirme Çabaları", Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi, 8/28 (Spring 2009):091-109
- [6] Dal N, Korkmaz İ., "Yerli ve Yabancı Ürünlerin Satın Alma Niyetinde Ekonomik Milliyetçiliği ve Küresel Bilinçliliğinin Etkisi", Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, İİBF Dergisi, 14/3:753-772
- [7] Gülmez A., Ayhan B., (2015), İmitasyondan İnovasyona Doğru Asya'nın Yükselişi, Dora Yayınevi, Bursa
- [8] Dönmez M., "Etnosentrik Eğilim Bağlamında Yerli Üretim Logosunun Satın Alma Niyeti Üzerindeki Etkisi", Türkiye İletişim Araştırmaları Dergisi,35:164-183
- [9] İnel A., (2020), "Devletle Kalkınma Fikret Şenses'e Armağan", 1.Basım, İletişim Yayınları, İstanbul
- [10] Oktay F., (2022), Çin ve Dünyanın Geleceği Yeni Büyük Güç ve Ticaret Teknoloji Pandemi Savaşları", Türkiye İş Bankası Yayınları, İstanbul
- [11] Wierzbicki M., Pawel N., (2019), "Imitation and Innovation In Business Environment", 22(2019), 36-40, DOI:10.30657//pea.2019.22.07
- [12] Kim L., (1997), "Imitation To Innovation The Dynamics Of Korea's Technological Learning", Harvard Busine School Pres, Boston
- [13] Academia., "Türkiye Demir Çelik Sanayiinin Karşılaştırmalı Üstünlüğünün Ölçülmesi", Erişim: 10 Haziran 2023, <https://www.academia.edu>
- [14] Güngör D., "Tedarik Zincirlerinde Tutumlu İnovasyonun Etkileri", Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 21:261-267
- [15] Esra Bilmez, Türk Demir Çelik Sektörü İhracat Performansının Rekabet Stratejileri Üzerine Etkisi, (Balıkesir: Bandırma On Yedi Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2023), 46
- [16] McKinsey&Company, "Unlocking The Digital Opportunity In Metals", Erişim: 13 Ağustos 2023, <https://www.mckinsey.com>
- [17] Untied Nations Development Programme, "Sektörel Yol Haritaları: Türkiye de Makine ve Metal Sektörü", Erişim: 23 Ağustos 2023, <https://www.undp.org>
- [18] Ankara Sanayi Odası, "Fabrikasyon Metal Ürünleri Sektörü", Erişim: 06 Eylül 2023, <https://www.aso.org.tr>
- [19] Tiryakioğlu M., (2015), "Teknolojik Yetenek Transferi Türkiye İçin Alternatif Bir Politika Arayışı", Orion Kitabevi, Ankara
- [20] Atradius, "Industry Trends Metals and Steel Industry" Erişim: 10 Eylül 2023, <https://group.atradius.com>
- [21] Liu X., Yu H., Lai G., Wang S., Xie Y., "Imitation or Innovation Research On The Path Selection Of Enterprise Performance Improvement From The Perspective Of Organizational Ecology, Sustainability, 14/7223
- [22] ODTÜ-Tekpol, "Teknolojik Yetenek ve Öğrenme", Erişim Tarihi: 06 Eylül 2023, <https://stps.metu.edu.tr>
- [23] McKinsey&Company, "Future Of Work", Erişim Tarihi: 07 Eylül 2023, <https://www.mckinsey.com>.
- [24] Tiryakioğlu M. (Ed), (2021), "Türkiye'nin Yerli Üretimi ve Politik Ekonomisi, 1 Basım, İstanbul Bilgi Üniversitesi Yayınları, İstanbul
- [25] Aysenur Mavuş, Çevresel Çalkantı Teknolojik Öğrenme ve Firma Performansı İlişkisi (İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi-Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2019)
- [26] Baykara T., (2020), "İleri Malzemeler Bilim ve Teknolojileri, 1 Basım, Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara
- [27] Abdelshaty A., Franzen D., Mohaupt A., Schüssler J., Bührig-Polazcek A., Walther G., "A Feasibility Study To Minimize The Carbon Footprint Of Cast Iron Production While Maintaning The Technical Requirements", Journal Of Sustainable Metallurgy, 9:249-265
- [28] Modern Casting, "Technology Trends And Challenges For Iron Foundries, Erişim Tarihi: 20 Eylül 2023, <https://www.moderncasting.com>

- [29] Sümeyye Şanlı, Demir Çelik Sektöründe Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Yaygın Kullanılmama Sebeplerinin Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (BAHP) Yöntemi İle Analizi-Karabük İli Örneği- (Karabük, Karabük Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi,2020)
- [30] Csikszentmihaly M., (2022), Mutluluk Bilimi Akış, 10. Basım, Buzdağı Yayınevi, Ankara
- [31] Kalay F., Kızıldere C., “Türk İşletmelerinin İnovasyon Performansını Etkileyen Faktörler Üzerine Bir Araştırma”, Sosyal Bilimler Araştırma Dergisi, (Kasım 2015), 36-63
- [32] Kenough, John. “ Innovater or Die”, International Journal Of Metalcasting/Volume7 (2023):2363-2371. <https://doi.org/10.1007/s40962-023-01140-4>
- [33] Ghormley, S., Williams, R., Dvroak, B., “Foundry Sand Source Reduction Options: Life Cycle Assessment Evaluation”, Environments/7(2020), <https://doi:10.3390/environments7090066>
- [34] Schneider, M C., Sturn, J C., Schaefer, W., Hepp, H., Gurevich, V., “Integrated Computational Materials Engineering and Modelling of Shape Casting Process-Needs, Benefits, Limitations and Hurdles”, IOP Conference Series:Material Science Engineering(2015), <https://doi:10.1088/1757-899X/84/1/012035>
- [35] Sürdürülebilir Üretim Tüketim Yayınları, “Sürdürülebilir Üretim ve Tüketim Yayınları-1 Yaşam Döngüsü Analizi”, Erişim Tarihi: 11 Kasım 2023, <https://www.rec.org.tr>
- [36] TÜDOKSAD, “Şile Havzası İzinleri Açılmalı”, Erişim Tarihi: 10 Kasım 2023, <https://tudoksad.org.tr>
- [37] Bülent Gürler, 21.yy Türkiye’sinde İnovasyon Sistemi Performans Başarısı ve Açık İnovasyon Kavramı, (İstanbul, Maltepe Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2018)
- [38] Tareq M.A. Jouda, Küçük ve Orta Ölçekli İşletmelerde Açık İnovasyon Uygulamaları: Konya Örneği, (Konya, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2021)
- [39] Zehra Binnur Avunduk, Açık İnovasyon Stratejilerinin İşletme Performansına Etkisi: Türkiye’nin 500 Sanayi Kuruluşu Üzerine Bir Uygulama, (İstanbul, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2017)
- [40] Yazıcı T., “Pazarlama Stratejilerinde Kitle Kaynak Kullanımı: Markalı İçerik ve Tüketici Üzerine Bir Çalışma”, Gaziantep Üniversitesi, Gaziantep University Journal Of Social Sciences, 2020, 2212, 431-446
- [41] TÜSİAD, “Türkiye’de Açık İnovasyon Ekosisteminin Oluşmasının Önündeki Engeller ve Çözüm Önerileri”, Erişim Tarihi: 22 Nisan 2024, <https://www.tusiad.org>
- [42] Ser Danışmanlık, “Türkiye 2023 Ar-Ge ve İnovasyon Raporu”, Erişim Tarihi: 15 Nisan 2024, <https://sd.com.tr>
- [43] S. Yip G., M. Ken. B., “China’s Next Strategic Advantage: From Imitation to Innovation”, Cambridge, The MIT Press, 2016, 10-197
- [44] Roper S., “Understanding The Barriers To Innovation Collaboration In Foundries And Metal Forming Firms”, ERC Research, ERC Research Paper 81, 2019
- [45] Workinlot, “Demir Çelik Sektöründe İnovasyon Örnekleri ve Girişim Etkileşimi”, Erişim Tarihi: 15 Mart 2024, <https://workinlot.medium.com>
- [46] Ceyda Ovacı, Açık İnovasyon ve Tüketicilerin Birlikte Yaratma Davranışını Etkileyen Faktörler, (Eskişehir, Anadolu Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi, 2015)
- [47] Foundry Management&Technology, “2024 State Of The Industry Report”, Erişim Tarihi: 12 Mart 2024, <https://www.foundrymag.com>
- [48] Nareyanan R.G., Gunasekane J.S., “Introduction To Sustainable Manufacturing Process”, Sustainable Manufacturing Process, (2023), doi-org/10.1016/B9778-9-323-99990-8-800004-7
- [49] Madan J., Singh P.P., “ Sustainability In Foundry And Metal Casting Industry”, Sustainable Manufacturing Process, (2023), doi.org/10.1016/B978-0-323-99990-8-8.000003-5
- [50] Acemoğlu D., (2023), İktidar ve Teknoloji Bin Yıllık Mücadele, 1 Baskı, Doğan Yayınları Yayıncılık, İstanbul, 250-392

Üretim İşletmelerinde Güvenlik Kültürünün İyileştirilmesi “Amirimden®” Çalışan Sağlığı ve Güvenliği Yaklaşımları

Improving Safety Culture in Manufacturing Businesses “ Amirimden- enr ” Employee Health and Safety Approaches Müzeyyen Gencer¹, Elif Sungur²

¹GLC Eğitim, Türkiye

²Maltepe Üniversitesi, Türkiye

Anahtar Kelimeler: Tehlike Bilinci, Rol model liderlik, Eğitim ve geliştirme, İşçi sağlığı ve güvenliği, Güvenlik kültürü

Abstract

It is possible to talk about two main concepts as the basic rules for maintaining the working life in health, safety and well-being; these are effective leadership and high participation from the bottom up, sustained in the business environment. 40 shift supervisors, assistants and foremen who worked as field supervisors in the first stage of the studies initiated under the name of Positive Kaptan Employee Health and Safety Development Program in Kaptan Demir Çelik's businesses attended the "Employee Health and Safety Trainer Training" for two full days and received the title of "Trainer Field Supervisor". they have received. A framework using a behavior-oriented safety approach and safety culture literature was used in the program, and "Hazard Awareness Trainings from My Supervisor" were held, in which supervisors who completed the trainer training took an active role and reached 506 employees. During the studies, it was observed that the training field supervisors entered the role designed as strong role models that initiate the change in health and safety in Kaptan Demir Çelik. It has been observed that the trainer field supervisor identities gained with this model contribute to the safe working climate in the Kaptan Demir Çelik field.

Özet

Çalışma yaşamının sağlık, güvenlik ve esenlik içinde sürdürülebilmesinin temel kaideleri olarak iki ana kavramdan bahsetmek mümkündür; bunlar işletme ortamında sürdürülen etkili liderlik ve tepeden tırnağa yüksek katılımıcılıktır. Metal sektöründe yer alan Demir Çelik işletmesinde Çalışan Sağlığı ve Güvenliği Gelişim Programı adıyla başlatılan çalışmalara ilk aşamada saha amiri olarak görev yapan 40 vardiya amiri, yardımcıları ve formenler iki tam gün süreli "Çalışan Sağlığı ve Güvenliği -ÇSG-Eğitici Eğitimi" ne katılmış ve "Eğitici Saha Amiri" ünvanı almışlardır. Programda davranış odaklı güvenlik yaklaşımı ve güvenlik kültürü yazınından yararlanılarak bir çerçeve kullanılmış, eğitici eğitimi tamamlayan amirlerin aktif rol aldığı, 506 çalışana ulaşılan "Amirimden® Tehlike Bilinci Eğitimleri" gerçekleştirilmiştir. Çalışmalar sırasında eğitici saha amirlerinin işletmelerinde, sağlık ve güvenlikte değişimi başlatan güçlü rol modeller olarak tasarlanan role girdikleri gözlenmiştir. Bu eğitim modeli ile kazandırılan eğitici saha amiri kimliklerinin, sahalarında güvenli çalışma iklimine katkıları olduğu gözlenmiştir.

1. Giriş

İşletmede sürdürülen etkili liderlik ve tepeden tırnağa yüksek katılımçılık, Nisan 2018'de Uluslararası Standart Kurumu (ISO) tarafından yayınlanan ISO 45001 "İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemi"nde daha önceki standartlardan farklı şekilde, öne çıkarılmakta ve vurgulanmaktadır. ISO 45001 standardı amacını "iş sağlığı ve güvenliği risk ve fırsatlarını yönetecek çerçeveyi sağlamaktır" olarak açıklar ve "örgütsel bağlam"dan söz ederek tüm çalışan sağlığı ve güvenliği (ÇSG) sonuçlarının işletme yönetimiyle ilgisini açıkça ortaya koyarken liderlik ve çalışan katılımını merkeze alır [1].

Bu iki unsurun dinamik bir ilişki içinde olmasının sağlanması, işletmelerde yerleştirilebilmesi / yaygınlaştırılması ve sürdürülebilir olması için; yönetim ve saha çalışanları arasında bağlantı sağlayan, kritik role sahip olan ilk kademe yöneticileri olarak vardiya amirleri ve formen gruplarının rolleri, güvenlik kültürü yazınında vurgulanmaktadır [2]. İlk kademe yöneticilerin çalışanlara örnek oluşturması, çalışanların güvenli davranışlarını desteklemesi, performansa odaklanmalarının sağlanması için, insan odaklı / yönetilen (managed safety) güvenlik anlayışına uygun sağlık ve güvenlik nosyonları ile donatılmaları ve desteklenmeleri gereklidir.

2. "Çalışan İnsan"a Dair Özelliklerin Çalışan Sağlığı ve Güvenliği Eğitimlerindeki Yeri

Zohar [3] ilk güvenlik iklimi araştırmalarından biri olan çalışmasında örgütsel boyutlardan biri olarak ÇSG eğitimlerinin önemini ele almıştır. ÇSG eğitim çalışmaları önemli bir kurum içi iletişim fırsatı oluşturur. Bu eğitimlerin amaç ve hedefleri belirlenerek, eğitilenlere ve kuruma özgü farklılıklar dikkate alınarak yöntem ve malzemesinin geliştirilmesi gerekir. ÇSG eğitimleri uygulamaya dönük davranış değişikliği yaratmayı amaçlamalı, etkinliğinin ve işe yararlığının değerlendirilmesi sağlanarak planlı aktiviteler olarak düzenlenmelidir. Bu özelliklere sahip bir ÇSG eğitimi, güvenlik kültürünün dönüştürülmesinde ve geliştirilmesinde önemli bir işlev kazanır [4]. İlk kademe yöneticiler olan formen, vardiya amirleri vb. sağlık ve güvenlik konularında genellikle "kurala bağlı güvenlik (rule based safety) anlayışının ürünü olan, ağırlıklı olarak mühendislik bakış açısıyla yapılandırılmış sağlık ve güvenlik eğitimlerinden yararlanabilmektedirler. Bu eğitimler çoğunlukla sınıflandırılmış tehlikeler, yasal mevzuat, işletmede uygulanan sağlık ve güvenlikle ilgili talimat ve prosedürlere ilişkindir, tehlike unsurlarıyla etkileşime girecek olan, kural ve yönergeleri uyması beklenen "insan" ve onun davranışsal özelliklerine bu tip eğitim programlarında pek de yer verilmemektedir. Bu eğitim programları teknik bilgiyi artırabilir ancak insan yönetimi, örnek olucu liderlik, çalışan performansına odaklanma, geri bildirim verme vb. davranış bilimleri konulardaki bilgi ve becerileri içermediğinden bu konularda ilk kademe yöneticilerin donanımına katkı sağlamazlar.

Oysa işletmede yaşayan, günlük hayatın içinde harmanlandığı güvenlik kültürünün güçlendirilmesi, çalışan sağlığının ve esenliğinin geliştirilmesi, kazaların önlenmesi çalışanların sağlık ve güvenlikle ilgili sorumluluklarını içtenlikle benimsemelerine, gözetim altındayken ya da değilken, güvenli iş davranışları gerçekleştirmeleri halinde sağlanabilir. Kuşkusuz, güvenli ya da riskli, iş davranışları yönetim faktörlerinin, işletmeyi bir sistem olarak ele aldığımızda ortaya koyulabilen bir dizi karmaşık ve birbiriyle etkileşen parametrenin etkisi altında gerçekleşmektedir; teknolojik unsurlar, yapısal unsurlar, örgüt kültürü, liderlik ve yönetim biçimi gibi. Bu unsurlar arasında yer alan "çalışan insan"ı anlamaya ve yönetmeye yardımcı olabilecek konuların bilgi beceri ve davranış olarak tüm seviyelerde görev yapan yöneticilere kazandırılması, amaca yönelik hedefleri tanımlanmış, tutum değişimi yaratacak etkileşimli yöntemlerle katılımçılara sunulan, ilgili konularda sadece bilgi değil beceri de kazandırmayı garantileyen içerikte, işletmeye özgü düzenlenmiş, özgün eğitim programları yardımıyla gerçekleştirilebilir.

İlk kademe yöneticilerin eğitimi de bu kategoride ele alınmalıdır. İlk amirlerin üretimdeki çalışanlarının davranış dinamiklerini anlayabilmeleri, örnek olucu liderlik sergileyebilmeleri ve çalışanlarının üretim sahasında gösterdikleri iş performansına odaklanabilmeleri için uygun eğitim programlarına dahil olmaları gereklidir. Böylelikle ilk amirlerin yönetsel becerilerinin geliştirilmesi ve çeşitli kimlikler kazandırma-güçlendirilmeleri sağlanabilir. Kazandıkları yeni kimlikler ve yetkinliklerle sahanın gözü-kulağı, ustası ve rol modeli olan amirlerin, çalışanlar üzerinde pozitif güvelik - esenlik kültürü oluşturulmasında süreçlere liderlik ederek hız, esneklik, katılımçılık oluşturmaları mümkündür.

Anılan yaklaşımlarla metalürji sektöründe faaliyetlerini 60 yıldır sürdüren Kaptan grubuna özgü olarak hazırlanan ve uygulanan bir dizi eğitim programını tasarımından uygulamasına, sahaya yansıyan sonuçları açısından bir örnek olay ve müdahale çalışması olarak incelemek sektöre değerli katkılar sunacaktır.

3. Güvenlik Liderliği ve Tepeden Tırnağa Katılım

Liderlerin işletmenin kültürü, performansı ve dayanıklılığı üzerinde derin bir etkisi vardır. Koivupalo ve arkadaşları [7] küresel bir çelik şirketinde güvenlik yönetiminin tüm kazaları önlemeyi taahhüt ettiği, kurumsal güvenlik vizyonunun "Önce Güvenlik" teması etrafında tanıtıldığı ve hedeflin tüm kazaların önlenebilir olduğu bir güvenlik kültürü oluşturmak olduğunu belirttikleri çalışmada güvenlik sistemleri ve süreçlerine büyük önem verildiğini, çalışanların konuyu sahiplenmesi ve güvenlik liderliği, yönetim taahhüdünün sağlık ve güvenliğin

iyileştirilme sürecinde önemli faktörler olarak görüldüğünü ortaya koymuşlardır. İşletmelerde çalışanlar için farklı seviyelerde liderler bulunmaktadır; ilk kademe amirler birlikte çalıştıkları liderlerdir. Orta kademe amirler ve üst yöneticiler de sağlıklı ve güvenli bir çalışma ortamını etkileyecek liderlerdir.

Güvenlik liderliği için lider ast etkileşimi kuramı açıklayıcı olabilir (LMX-Leader-Member Exchange Theory) kurama göre; her lider ekibiyle çalışandan çalışana değişen bir ilişki geliştirmekte, etkileşimin olumlu olduğu durumlarda güven, beğeni ve saygı artmaktadır [8], [9]. Güvenlik liderliğinde liderlik stili de oldukça önemlidir; verili hedef uğruna bürokratik, sistem evraklarına, rakamlara gömülmüş, güç mesafesi açılmış, iletişimi sınırlı, takımıyla mesafeli, yüzü gülmeyen, kimi zaman bildiği halde bilmezden gelebilen, işi insanlarla yaptığını ve insan yetiştirmeyi unutan liderlik tarzının terk edilerek; gözle görülür, sürekli pozitif, güven veren, destekleyici, motive edici yönetim tarzına sahip, güvenlik için açık bir vizyonu dile getiren, çalışanların motivasyonunu sağlayarak, örnek alınacak biçimde davranan, çalışanların refahını dert edinerek net hedefler koyan, standartları belirleyen, iletişim kurarak güvenlik sonuçları üzerinde olumlu bir etki yapabilen bir liderlik tarzı yararlı olacaktır.

Tepeden tırnağa katılım, ancak liderlerin teşviki ve katılımı olanaklı hale getiren mekanizmaları çalışmalarını halinde gerçekleştirilebilir. Üretim alanında çalışan sağlığı ve güvenliğinin öznesi olan saha çalışanlarının işin içine girmesi, sorumluluk alması, güvenliği çalışmasının doğal bir parçası olarak görmesi, ancak saha amirlerinin teşviki ve kolaylaştırıcılığı ile sağlanabilir.

4. İşletmeye Özgü Eğitim Programının Tasarımı ve Uygulama Basamakları

"DÇ işletmesinin kanaat lideri konumunda bulunan, iletişim becerileri bakımından öne çıkan, kıdemli personel arasından seçilen 40 saha amiri olarak görev yapan vardiya amiri, yardımcıları ve formen ünvanlarına sahip ekibe odaklanılmıştır. Bu gruba yönelik hazırlanan iki tam gün süreli "Çalışan Sağlığı ve Güvenliği Eğitici Eğitimi" tamamlanmıştır. Bu eğitim programlarına katılarak eğitici kimliği kazandırılan saha amirlerine çalışanların performansına odaklanan, tehlikeleri ayırt etmelerini ve ortadan kaldırmalarını teşvik eden tutum ve davranışlar kazandırılması eğitimlerin hedefi olmuştur.

Eğitici eğitimi programında saha amirlerine ilgili içerik iletişim, geri bildirim, masa başında değil, üretim sahasında sürdürülen yöneticilik vb. konuları sunularak liderlikle ilgili bilgi ve becerileri artırılmıştır. Bu eğitim programını tamamlayan ilk kademe yöneticilere "Eğitimci Amir" ünvanı verilmiştir.

Saha amirlerinin eğitici becerilerinin kazandırıldığı eğitim programının ardından, Kaptan Demir Çelik'e özgü uygulama sahasında tehlikelerin azaltılması amacıyla kurgulanan bir tam günlük Tehlike Bilinci eğitimlerini tüm çalışanlara yaygınlaştırmaları planlanmıştır.

Programın ikinci aşamasında "Eğitici Saha Amiri" ünvanını alan 40 ilk amirin eğiticilik becerilerini projeyi tasarlayan uzmanlar eşliğinde pekiştirebilmeleri için prototip olarak hazırlanan ve formen, formen yardımcısı ünvanlarına sahip 211 üretim çalışanına 10 grup halinde sunulan "Tehlike Bilinci" eğitimlerine yardımcı eğitici" olarak katılarak sınıf yönetimi deneyimi kazanması sağlanmıştır. Ardından, eğitici saha amirleri ile ikişerli eğitmen takımları oluşturularak toplam 506 çalışanın " Tehlike Bilinci Eğitim" lerini bu kez uzman eğiticilerin gözetiminde aynı anda 5 sınıf açılarak eğitici saha amirlerinin gerçekleştirmeleri sağlanmıştır. Böylece "Amirinden® Tehlike Bilinci Eğitimleri" adı verilen bir tam gün süreli eğitim çalışması 506 saha çalışanına ulaşmıştır. Bu çalışmalar, uzman eğiticiler tarafından izlenerek eğitici amirlere mentorluk yapılmış, her eğitim gününün sonunda tüm eğitim takımları ve mentorlar bir araya gelerek eğitim uygulamasını değerlendirmişlerdir.

Bu çalışmaların en önemli yönü, çalışma sahasına özgü tehlike ve risklere odaklanırken teknik olarak tehlikelerin ne olduğundan ziyade "Neden güvenli biçimde yapılamıyor?" ve "Nasıl güvenli yapılabilir?" soruları olmuştur. Bu odaklanma yapılan eğitimlerin fark yaratan yönünü oluşturmuş, grup çalışmaları ve tüm katılımcı yöntemlerin yardımıyla eğitimlere katılan istisnasız her çalışan gerçekçi biçimde üretim sahasındaki tehlikeler, bunlarla ilişkili riskli uygulamalar hakkında açıkça konuşma olanağı bulmuşlardır. Bu konuşma ve çalışmalar, eğitime katılanların genel olarak eğitimden memnuniyetleriyle birlikte değerlendirildiğinde üretim sahasındaki tehlikelere karşı duyarlılıkların arttığı söylenebilir.

4.1 Çalışan Sağlığı&Güvenliği Eğitici Eğitimi Programı

Yönetimsel eğitim müdahaleleri, iş güvenliği üzerinde olumlu bir etkiye sahip olabilir ve yöneticilerin, emniyet için elverişli liderlik becerileri geliştirmelerine olanak veren etkili bir araç olabilir [5]. Demir-Çelik işletmesinde yürütülen uygulamada saha amirleri, iki gün süreli eğitimin yetişkin eğitimi ilkeleriyle uyumlu tasarlanan programa davet edilmiş, kendilerine Eğitim İhtiyaçları Saptama formu iletilerek hem eğitimin duyurusu yapılmış hem de katılacakları programdan ne gibi kazanımlar elde etmek istedikleri katılımcı yöntemle elde edilmiştir. Tablo 1'de katılımcı beklentilerinden örnekler sunulmaktadır.

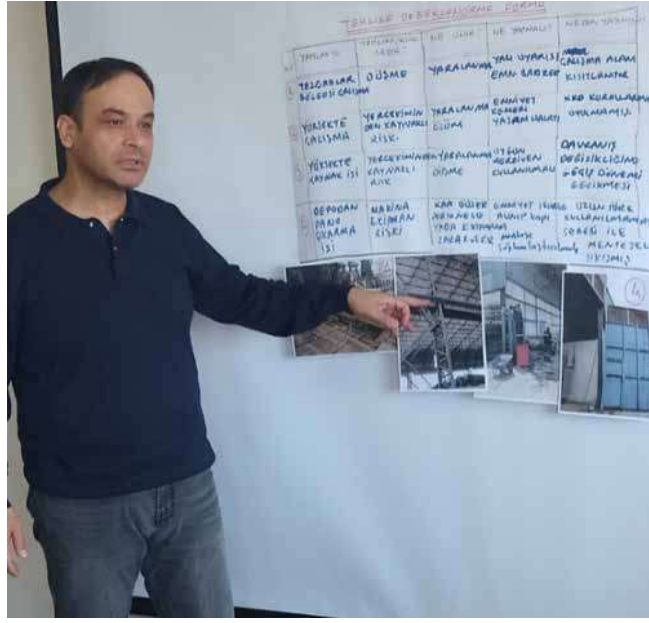
Pozitif İletişim İklimi Oluşturmaya İlişkin Beklentiler	İş Yapış Biçimine İlişkin Beklentiler
<ul style="list-style-type: none"> Tüm çalışanların moral ve motivasyonunu en üst düzeyde tutma nasıl sağlanır? Sorumlu olduğumuz işlerimizde sürecin akıcı ve güvenli sürdürülebilmesi için çalışan odaklı olmamız gerekiyor. Ekiplerimizde çalışan arkadaşlarımızın bu açıdan yönetimini nasıl sağlarız? Amir-personel ilişkilerini nasıl yönetiriz? Çalışanların kendi aralarında ve üst yönetimle iletişimi Sosyalleşme amaçlı neler yapılabilir? Çalışanlara mesleğimizi sevdirecek girişimler nasıl yapılmalı? Çalışanlarımızı işlerine motive edebilmeliyiz, konusunda bilgi verilmeli. Çalışan arkadaşlarla aile ortamı içinde çalışıyoruz, bunu destekleyecek çalışmalar. 	<ul style="list-style-type: none"> Kısımlarda çalışanların tehlikeli işlerde ilgililerin onaylarını alarak çalışmasını nasıl sağlayabiliriz? Kısımlar arası koordinasyon nasıl sağlanabilir? Arızaya yaklaşımda sakin ve paniksiz davranılması nasıl sağlanabilir? Kişisel koruyucu ekipman kullanımını nasıl artırabiliriz? Eğitimlerin daha derinlemesine ve profesyonelce verilebilmesi için neler yapabiliriz? Yüksek gerilimin tehlikeleri ve risklerinin daha detaylı anlatılıp bilgilendirme nasıl yapabiliriz? Sözlü işbaşı konuşmaları pek anlam ifade etmiyor, tamamen sözlü talimatlar yeni iş başı yapan personele geçmiyor, işin içine girince anlatımlar daha anlamlı hale geliyor, bunları nasıl daha etkili yapabiliriz?

Tablo 1. Eğitici Eğitimine Davet Edilen Katılımcıların Eğitimden Beklentilerine İlişkin Örnekler Tablosu

Eğitim programı, fabrika dışında gerçekleştirilmiş, ilk oturumda tanışma, beklentilerinin alınması, programın amaç ve öğrenim hedeflerinin açıklanması ve grubun konuya ilişkin bilgi seviyesinin ölçülmesini amaçlayan grup performans değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir.

İkinci oturumda katılımcılar “ON NUMARA Vardiya Amiri / Formen / Usta kimdir? Neler yapar? Nasıl yapar? Nasıl bir etki yaratır?” sorusuyla beyin fırtınası oluşturmaya davet edilmiştir. Saha amirlerinin önce işletmelerinde meslektaşları, ardından kendi görev/sorumlulukları açısından bir değerlendirme yapmaları, 1-10 arasındaki puanlama cetvelinde puan vermelerini istenmiştir. Bu uygulama eğitim modelinin ana aksını oluşturmuştur. Beyin fırtınası ile amirlerin neyi geliştirmeleri, çalışan sağlığı ve güvenliğini odağa alarak işe nereden başlamalarının gerektiği kendileri tarafından belirlenmiştir.

Yetişkinin öğrenmesi, olumlu eğitim ortamı yaratmak, eğitimin yapılandırılması, etkileşimli öğrenme yöntemleri [6] konularıyla ilerletilen programda sahadan güncel unsurlara ait fotoğraflarla tehlike analizi metoduyla küçük grup çalışmaları gerçekleştirilmiştir.



Fotoğraf 1: Eğitici Eğitiminden; Katılımcı Sunumu Uygulamalar ve zengin eğitim materyali ile saha amirlerinin eğiticiliğe ilişkin becerileri kazanması desteklenmiştir.



Fotoğraf 2: Eğitici Eğitiminden; Gösterim (demostrasyon) Metodunun Deneyimlenmesi

Son olarak saha amirleri gruplara ayrılarak kişisel koruyucu donanımlardan kulak tıkacı, toz maskesi, yüksekte çalışmada kemer kullanımı, baret, sıcak çalışmada eldiven kullanımı vb. konularında “gösterim/demostrasyon” metodunu kullandıkları birer eğitim oturumu hazırlayarak büyük gruba sunmuşlardır. Bu sunumların sonunda tüm katılımcılar birbirine sunulan eğitim oturumu ve eğitici sunum becerileri konusundaki olumlu yönler ve geliştirilmesi gerekenler konusunda geri bildirim vermişlerdir.



Fotoğraf 3: Eğitici Eğitiminden; Küçük Grup Çalışması Metodunun Deneyimlenmesi

4.2 Amirimden Tehlike Bilinci Eğitim Programı

Eğitici Eğitimi Programını tamamlayan ve uzman eğiticilerin çalışanlarla yürüttüğü Tehlike Bilinci Eğitim programına gözlemci olarak katılarak deneyimlerini pekiştiren “Amirler” eğitici rolüne büründükleri ve ilk defa sorumluluk olarak bir tam gün boyunca uygulamasını 15 ila 20 kişilik gruplarla sürdürdükleri “Amirimden Tehlike Bilinci” eğitimi deneyiminden önemli bir dönüşüm fırsatı yakalamışlardır.

Eğitimci rolüyle tehlike ve risklerle nasıl baş edileceğine ilişkin doğru yol ve yöntemleri, işin güvenli yapılmasının önemini artık “dışarıdan” kişiler değil, bizzat kendileri söylemiş, eğitim uygulamalarında bu konuları derinlemesine irdelemiş oldukları için bu yaşantı ÇSG konusuna yönelik farkındalıklarını ve rol model olma sorumluluklarını onlara unutulmaz biçimde deneyimletmiştir.

İkişer kişilik takımlar halinde Amirimden Tehlike Bilinci eğitimlerini gerçekleştiren eğitici saha amirleri, eğitimlerin standartlarını gözetmek amacıyla çalışmalarını izleyen uzman eğiticilerle gün sonunda toplu halde değerlendirmeler yapmış, beş sınıfta aynı anda sürdürülen eğitimlerin standardizasyonu ve kendi deneyimleri hakkında sözlü değerlendirmelerde bulunmuşlardır. Yönettikleri eğitimin olumlu, iyi giden, korunması gereken yönleriyle, geliştirilmesi gereken yönlerini, izlenimlerini ortaya koymuş, heyecanlarını meslektaşlarıyla paylaşmışlardır. Bu değerlendirmelerden bir örnek, Tablo 1’de sunulmaktadır.

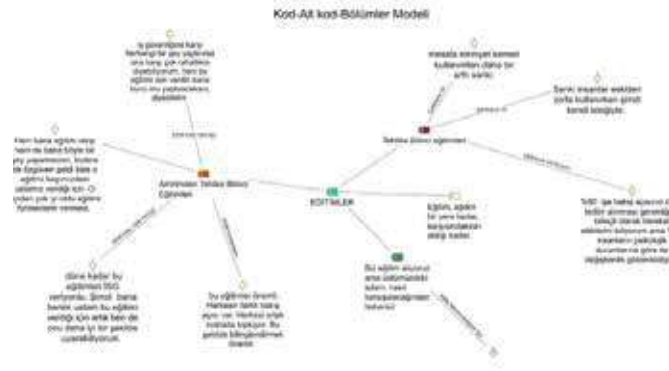
Buna göre, katılımın sağlandığı, amirlerin eğitim yapmasının olumlu karşılandığı, pek çok ÇSG ile ilgili konuda odaklanılarak, işyerinden uzakta bir mekanda konuşulabildiği, amirlerin eğitimci rolü altında daha fazla ÇSG sorumluluğu hissettiği vb. konular eğitimin olumlu değerlendirmeleri olarak öne çıkmıştır. Tablo 2’de katılımcıların geri bildirimlerinden örnekler sunulmaktadır.

Zaman planına uygun olmayan şekilde sürenin uzun gelmesi, eğitim konusu dışında farklı işyeri konularında konuşmaların toparlanarak tekrar eğitim konusuna dönülmesi gerektiği, salonda bulunan kalem sayısının eksik kaldığı vb. gibi unsurlar ise eğitimlerin geliştirilmesi gereken yönleri olarak ortaya çıkmıştır.

EĞİTİMİN OLUMLU, YOLUNDA GİDEN YÖNLERİ	EĞİTİMİN GELİŞTİRİLMESİ GEREKEN YÖNLERİ
<ul style="list-style-type: none">• Katılım yüksek, olumlu dönüş oldu.• Birçok şeye dikkat çekebildik• Fabrikanın dışında, eğitim kurumunda yapılması, direkt ustalarından eğitimin alınması çok iyi oldu.• Ustalarımızı her zaman göremiyoruz burada yapılandırılmış, odaklı bir çalışma oldu, operatör iş dışında ÇSG merkezli konuşulması faydalı oldu.• Katılımı sağladıkça sorumluluk oluşuyor.• Baştan çekinme oldu, on numara bölümünde özellikle ama sonra katılım çok iyiydi.	<ul style="list-style-type: none">• Zaman uzun gibi oldu.• Hemen sonuca ulaşmak istemelerini yönettik ama toparlamak gerekti. Her soruya cevap verme zorunluluğu yok. Fakat her söyleneni tahta kağıda görünür yazmak asmak gerek.• Kalem sayısı atırılmalı• Tahta kağıdına herşeyi görünür yazın, post-it az kullanın.• Aynı zamanda konuşma yada kendi aralarında konuşmalarını kontrol etmek üzere; yanına gitme ama uyarmama, sessiz kalma gerek.• Sınıflar en fazla 15 kişiyi alsın, fazlası diğer sınıflara yönlendirilsin. Sonradan gelen katılımcılar sınıflara sonrasında eşit yönlendirilsin.

Tablo 2. Amirimden Tehlike Bilinci Eğitimi'nin Katılımcılar Tarafından Değerlendirilmesinden Örnekler Tablosu

Eğitimlerin tamamlanmasından yaklaşık 3 ay sonra, Amirimden ÇSG Geliştirme projesinde yapılan eğitimlerin sonuçlarının izlenmesi amacı da taşıyan odak grup görüşmelerinde özellikle amirlerin verdiği eğitimlerle birlikte, çalışanlar amirlerden gelen riskli (güvensiz) iş taleplerinin azaldığını, eğitimlerin işe yaradığını değerlendirmiş, eğitimleri veren amirler ise sahalarda çalışanların riskli davranışlarında azalma görüldüğünü belirtmişlerdir. Şekil 1’de bu konudaki çalışan geri bildirimlerinden örneklerin yer aldığı bir kavram haritası sunulmaktadır.



Şekil 1: Amirimden Tehlike Bilinci Eğitimleri Sonuçlarının izlenmesi Amaçlı Odak Grup Görüşmelerinden Alınan Geri Bildirimlere Ait Kavram Haritası

5. Sonuçlar ve Tartışma

Otoritenin emri altındayken işi güvenli yapmak yetmez, çalışanların benimseyerek, bütüncül bir güvenlik kültürünü yaşaması sağlanmalıdır. Bu arayış, kural odaklı güvenlik (rule based safety) insan ya da davranış odaklı güvenliğe (managed safety) doğru bir yönetsel yaklaşım eğilimi yaratmaktadır. Bu gereksinim ve anlayış çerçevesinde DÇ işletmesinde başarıyla sürdürülen ÇSG çalışmalarının temellerini yeni yaklaşımlarla sağlama çalışmaları şeklinde, birlikte yapılan, göstermelik olmayan, sahici bir eğitim yaklaşımı deneysel düzeyde tasarlanarak uygulanmış, işletmeye özgü, seferberlik havası yaratılarak yürütülmüştür.

Uygulama sahasında tehlikelerin azaltılması nihai amacına yönelik tam günlük Tehlike Bilinci eğitimleri hazırlanmış ve eğitimlerin sahada yaygınlaştırılması, ÇSG Eğitici Eğitimi becerilerinin kazandırıldığı 40 saha amiri tarafından 506 saha çalışanına ulaştırılmıştır. Uzman eğitimcilerin çalışmalarıyla birlikte tüm işletme üretim personelinin bir tam günlük Tehlike Bilinci eğitimini tamamlaması sağlanmıştır.

Uygulanan bu modelde demir çelik endüstrisinde çalışan saha amirlerinin güvenliğin sağlanmasında oynadıkları kritik rol bir ön kabul olarak alınmıştır. Güvenlik liderliği ve çalışan katılımının öne çıkarıldığı üretim işletmelerinde başlatılan “Amirimden®” çalışan sağlığı ve güvenliği eğitimleri sahada çalışanların yüksek düzeyde kabulü ve beğenisiyle karşılaşmıştır.

Yetiştirilen Saha Amirlerine Yetişkin Eğitimi İlkelerinin beceri odaklı sunulduğu eğitici eğitimi programlarıyla

“ Eğitici Saha Amiri “ ünvanı kazanmaları sağlanmıştır. Saha amirlerinin eğitici kimliğini kabul edip benimsedikleri, sahadaki rollerini zenginleştiren, kendi riskli davranışlarının farkına vararak öz denetim sağlama rolüne ve riskli davranışlardan kaçınarak hem tehlikelerin kontrolüne hem de örnek davranışlarıyla çalışanlara ilham vermelerine yol açan bir etki ortaya çıkması amaçlanarak çalışılan “Amirimden” yaklaşımı, çalışanlardan sahada iş isterken güvenliği bir ön şart olarak daima iş sürecinin içinde tutmalarını sağlayan, destekleyen, rol model olan iş yapma biçimlerini sahaya aktarmaları daha kolay ve etkilidir.

Eğitici Saha Amirleri sorumlu oldukları bölümlerin iç eğitim gereksinimlerine bağlı olarak profesyonel eğitimcilerle birlikte yapılandırılan çeşitli ÇSG eğitimlerini çalışanlara ulaştırmak, geri bildirimleri almak, katılımı sağlamak ve güvenlik-esenlik konularının içselleştirilmesi konusunda etkin rol almaktadırlar. Eğitici saha amirleri işletmede sürdürülebilir şekilde bir çok eğitimi yapabilir, saha çalışanlarıyla paylaşabilir duruma gelmiştir.

Cooper [10] güvenlik kültürü iyileştirme çabalarının büyük oranda güvenlikle ilgili yönetsel davranışlara yoğunlaşması gerektiğini belirtmektedir. “Amirimden” yaklaşımıyla saha amirleri liderlik stili bakımından; verili hedef uğruna bürokratik, sistem evraklarına, rakamlara gömülmüş, sahada pek görülmeyen, güven/inancın kaybolduğu, güç mesafesi açılmış, iletişimi sınırlı, takımıyla mesafeli, yüzü gülmeyen, kimi zaman bildiği halde bilmezden gelebilen, işi insanlarla yaptığını ve insan yetiştirmeyi unutan liderlik tarzının terk edilmesi gerektiğini öğrenip sahada eğitici kimlikleriyle liderlik kimliklerini destekleyerek; gözle görülür, sürekli pozitif, güven veren, destekleyici, motive edici yönetim tarzına sahip, güvenlik için açık bir vizyonu dile getiren, çalışanların motivasyonunu sağlayarak, örnek alınacak biçimde davranan, çalışanların refahını dert edinerek net hedefler koyan, standartları belirleyen, iletişim kurarak güvenlik sonuçları üzerinde olumlu bir etki yapabilen liderler olarak başarılı çalışmalarını sürdürmektedirler.

Referanslar

1. TS ISO 45001:2018, "İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemi- Kullanım Kılavuzu ile Şartlar", <http://www.obey.com.tr/dosya/yukle/2018/03/Turkce.pdf>, erişim: Haziran 2019.
2. INSAG Report 20, "Stakeholder Involvement in Nuclear Issues, Nuclear Regulatory Commission", 2006.
3. Zohar, D. (1980). Safety Climate In Industrial Organizations: Theoretical And Applied Implications. *Journal of Applied Psychology*, 96-102.
4. Sungur, E., (2020). Çalışan Sağlığı ve Güvenliği Kültürünün Sürdürülebilirliği: Davranış Odaklı Yaklaşımın Rolü, Maltepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, yayınlanmamış doktora tezi.
5. Lekka, C. H. (2012). A review of the literature on effective leadership behaviours for safety. Derbyshire: Health and Safety Executive.
6. Sungur, E, Vatansever, Ç., Tiryaki, A.R., (2009). İş Sağlığı ve Güvenliği Eğitimi: Etkili Eğitim Tasarımı Ve Eğitim Etkinliğini Değerlendirme, *Mühendis ve Makine Dergisi*, sayı 592, s:10-22.
7. Koivupalo, M., Sulasalmi, S., Rodrigo, P., Väyrinen, S., (2015) "Health and safety management in a changing organisation: case study global steel company", *Safety Science*, 74: 128-139.
8. Hughes, Ginnet, Curphy (2009). *Leadership, Enhancing the Lessons of Experience*, Boston, McGrawHill
9. Yukl, G., & Mahsud, R. (2010). Why flexible and adaptive leadership is essential. *Consulting Psychology Journal: Practice and Research*, 62(2), 81-93. <https://doi.org/10.1037/a0019835>
10. Cooper, D. (2016). Navigating the Safety Culture Construct : A Review of the Evidence.

Data-Driven Root Cause Analysis For Reducing Sand-Related Defects

Deepak CHOWDHARY
MPM Infosoft Pvt. Ltd., Chennai, India.

ABSTRACT

This research describes a data analytics-driven Fishbone analysis technique for managing and eliminating sand-related defects in sand-casting foundries. Historical data for a chosen component with sand inclusion defects was evaluated across two time periods: one with high rejection and one with low rejection. Both qualitative and quantitative perspectives have been provided. Data analytics have been utilized to determine how variations in prepared sand quality affect changes in the number of reported defects throughout the chosen period of analysis. The investigation revealed that the reduction in defects is significantly related to the change in prepared sand parameters.

KEYWORDS: Data Analytics, Fishbone Analysis, Root Cause Analysis, Sand Foundry.

1. INTRODUCTION

Green sand casting is considered one of the most cost-effective and prevalent techniques in the manufacturing industry, utilized for creating a diverse range of products characterized by varying shapes and sizes. The casting process itself is quite intricate, often characterized as a procedure filled with uncertainties. These uncertainties stem from a multitude of factors, including variations in process parameters, the quality of return sand and raw materials, and the intricacies of design. Such uncertainties frequently result in the production of defective castings, which can account for a significant percentage of total output in a typical foundry, typically ranging from 6% to 8%. Within this range, around 50% of defects can be attributed to issues related to green sand. Although defects are relatively easy to identify and classify, pinpointing the exact root causes of these defects and related component rejections proves to be a challenging endeavour. Figure 1 shows the various reasons that can result in the repetitive rejections of cast components that can occur in a foundry.

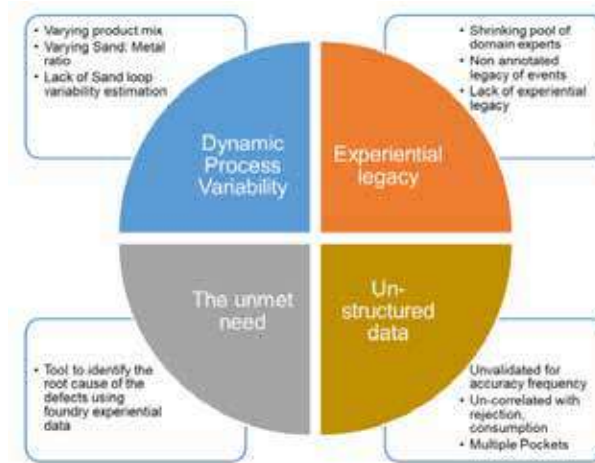


Figure 1: Reason for repetitive casting rejection

One of the ways of reducing the repetitive occurrence of casting rejection and associated defects is to perform a root cause analysis for individual defects and trying to eliminate its repetitive occurrence. Root cause analysis, which is a structured process for identifying the underlying various factors contributing to an event, is a critical component in problem-solving and quality improvement initiatives. Expanding on this concept, it is essential to explore the various methods available for executing root cause analysis effectively. One widely used method is the five-why analysis, where questioning the cause of an issue with successive "why" questions can lead to uncovering the root cause. Another approach is the failure mode and effect analysis (FMEA), a proactive method that draws insights from legacy data to predict potential failure modes and mitigate risks. Additionally, fault tree analysis (FTA) is a systematic method that presents a visual tree structure to trace the root cause of defects using Boolean logic. Furthermore, the fishbone diagram, also known as the Ishikawa diagram, provides a comprehensive visual representation of cause-and-effect relationships by categorizing potential causes into different branches. Each of these methods offers a unique way to approach root cause analysis, enabling organizations to delve deep into understanding the origins of problems and implementing effective solutions.

It can be seen that all main root cause analysis techniques need a thorough collection of foundry-related data and adequate analysis. To get the most out of these strategies, both qualitative and quantitative data must be collected and analyzed correctly.

In this regard, data analytics-driven decision-making can act as a critical tool in reducing defects in casting process by systematically analyzing the various defects that are related to quantitative parameters like sand properties. By analyzing experimental or historical data from previous periods of casting, manufacturers can identify the root causes of defects, predict maintenance, optimize processes, and integrate data analytics with real-time monitoring systems. Subsequently, the reduction of defects directly leads to cost savings by minimizing waste, rework, and scrap rates. Efficient use of materials and resources, driven by data-informed decisions, leads to better overall efficiency and reduced production costs. Data-driven decision-making ensures that changes to the casting process are based on evidence, improving the consistency and quality of the final products.

With improvements in several computational techniques in the last decades, various fast and robust data analytics techniques are increasingly being used in many industrial and manufacturing applications. Various researchers have worked over the years to analyze sand-related properties and associated defects using vari-

ous data analytics-driven techniques to improve the sand casting process. Kandpal et al. [1] investigated the influence of the sand quality on the casting defects. It was observed that molding sand properties like clay content, grain size, and moisture percentage play an important role in reducing sand-related casting defects. The experimental investigation suggested that casting defects such as blow holes, shrinkage, and sand inclusions can be reduced substantially by controlling the sand grain size and clay content of the molding sand. Additionally, it was mentioned that the design of a proper gating system and the correct pouring temperature also help in reducing casting defects. Sertucha and Lacaze [2] consolidated a comprehensive understanding of various defects that are associated with the casting of Spheroidal Graphite Cast Irons. The defects were grouped into three main types depending on their source of occurrence namely Sand related defects, Mold related defects and Metal related defects. Subsequently, each defects were further classified according to its origin and the way each of them can be identified. The possible remedies for each defect were also analyzed and discussed. Saikaew and Wiengwiset [3] optimized the quantity of bentonite, water, and recycled sand to get the improve properties of the molding sand so that it can in turn help in achieving the required hardness of the casted sample. The output variables measured were the Green compression strength and permeability. The design of experiment approach along with the response surface methodology and propagation of error method were used to conduct the experiments and subsequently perform the optimization process. The optimal values obtained were 93.3% mass of recycled sand, 5% mass of bentonite, and 1.7% mass of water. Joshi and Jugulkar [4] suggested in their work that by eliminating the carelessness and negligence in the shop floor scenarios and by following the proper planning and maintenance, a 30% reduction in the rejections in the casting components can be achieved. Furthermore, by implementing automation in the foundry operation further reduction in rejections can be achieved. Dabade and Bhedasgaonkar [5] used the design of experiments and computer-assisted casting simulation approach to investigate the defects related to sand, moulding, methoding, filling and solidification in the green sand casting process. The investigation suggested that the design of experiment methods like Taguchi technique can be very effective in getting the optimum settings that can reduce the defects and in turn decrease the rejections. Additionally, the use of computer-aided casting simulation techniques can be very handy in analyzing the defects like shrinkage porosities. This can further improve the quality and yield of the casting process as the user can simulate the process conditions and analyze them before performing the actual trial for any component. Barot et al. [6] demonstrated that the amount of rejection in foundries may be significantly decreased by employing quality control systems. The use of lean principles can result in considerable improvements in the work area and sigma level. According to the research, sand drop problems were decreased from 15.9% to 6.4%. The Six Sigma strategy effectively finds and removes flaws in the industry by employing techniques like Pareto analysis, checklists, cause-and-effect analysis, and why-why analyses. Implementing lean procedures can save up to 30 minutes of sorting and identifying raw resources. Furnace preparation time was lowered from 90 to 60 minutes. Kumaravadivel and Natarajan [7] evaluated the impact of casting parameters on casting defects using Six Sigma and determined optimal parameters to minimize defects. Green strength was identified as the dominant parameter, followed by moisture content. A second-order response surface model was developed, predicting defects with 95% confidence intervals, resulting in significant time and cost savings. The results showed minimal casting rejection percentages and the optimal combination of casting parameters met real casting operation requirements. The work of Hirigo and Singh [8] aimed to design and analyze the sand casting process of mill rollers, focusing on reducing casting defects and improving casting yield. Methods include critical observation, interviews, discussions, numerical experimentation, and simulation. Solid modeling and simulation processes were used to reduce shrinkage porosities in the cast mill roller. The study found that casting defects were minimized by 2.98%, and sand sintering problems and porosity defects were due to the usage of weak sintering strength of fine mixed molding silica sand. Simulation software was used to observe shrinkage porosity in both gating systems and roller parts. Kumar et al. [9] proposed an optimization technique for green sand casting of cast iron differential housing covers using the Taguchi parameter design approach. The parameters considered include green strength, moisture content, pouring temperature, and mold hardness. Analyzing the effects of selected parameters on casting defects, the results showed that this method is more efficient in determining the best casting parameters. Shen et al. [10] proposed a method by combining an artificial neural network and a genetic algorithm for optimizing injection molding processes. They used a BP neural network model to map non-linear relationships between process conditions and quality indexes, and a GA for optimization of process conditions, proving effective in industrial part quality improvement. Ransing et al. [11] used an AI-based computer-aided defect analysis system to identify design, process, or material parameters responsible for defective castings in manufacturing industries. They analyzed data on defective castings and identified that a large proportion of defects above a threshold of 10% are repetitive defects. The system recognizes this pattern and identifies 38 meta-causes and 112 root causes. Bayesian analysis is used to handle uncertainty in the occurrence of defects, meta causes, and root causes, while hill climbing search techniques are employed to identify root causes. Prabhakar et al. [12] investigated the influencing factors that affect defect formation in the sand-casting process using Scanning Electron Microscopy (SEM) and Analysis of Variance (ANOVA). It was revealed that the composition of the molding mixture is the most significant factor, followed by sand

grain fineness, melt quality, and interaction between process parameters.

According to the available literature, while many researchers have used various analytical tools to analyze sand-related properties and associated defects, a comprehensive analysis that includes a data-driven approach by taking into account all of the sand-related properties affecting a defect as well as the entire shop floor scenario, which can assist the end user in the decision, is lacking. Furthermore, the majority of the generated analyses were done using data gathered under controlled experimental circumstances, which may not be reproducible or impossible to replicate in actual shop floor scenarios. As a result, a comprehensive analysis of data collected from the real shop floor is required to provide actionable insights to the foundry in order to decrease rejections.

This paper describes a methodology to perform a data-driven root cause analysis for a particular casting defect. The data used for analysis were directly taken from an actual working foundry. The sand inclusion defect is considered for analysis. Although in this work the sand inclusion is used, this methodology can be easily extended to other sand-related casting defects.

2. METHODOLOGY FOR FISHBONE ANALYTICS FOR ROOT CAUSE ANALYSIS

In this work a unique data-driven method is employed specifically to identify the root cause analysis for sand inclusion defect [Figure 2(a) and 2(b)] observed for a particular component. Both quantitative data and the qualitative data were used to develop this fishbone diagram. Apart from analyzing the quantitative data i.e. change in prepared sand properties [Figure 2(b)], other qualitative data is also presented in this fishbone diagram. The change in quantitative data is presented in the properties node and the change in the qualitative data is presented in the nodes namely Process, Method, Machine Material, and Others.

The step-by-step methodology for root cause analysis is mentioned below:

1. Collect historical data on rejection.
2. Identify the period of rejections when the rejection was low.
3. The parameters correspond to low rejection period are considered as reference parameters and are compared against the period when rejection is high or the period of interest.
4. The fishbone charts for the selected defect will appear with all bones and highlighting active bone where data is available.
5. The statistical analysis of parameters guided by fishbone root is presented as a box plot, density plot and a correlation plot (between defects and the sand parameters).
6. Finally, consolidated results are presented to the user to guide them to focus on the parameters of interest to control the rejection.

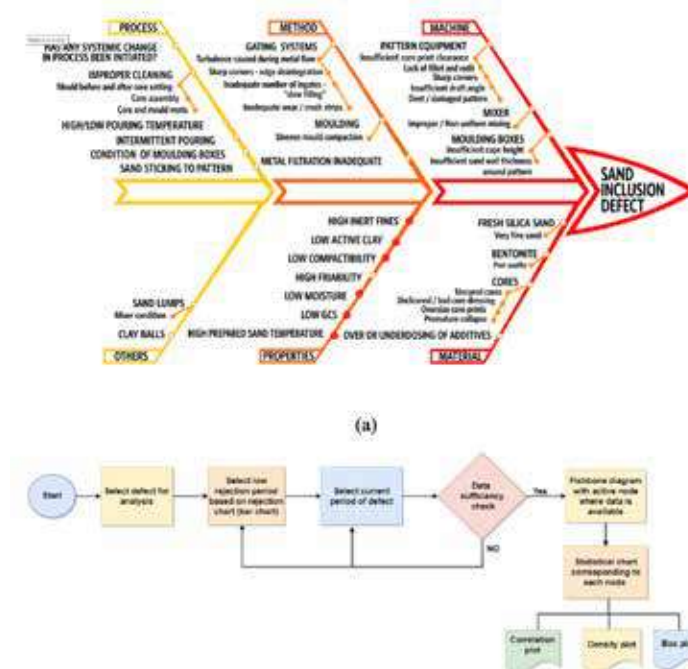


Figure 2: (a) Ishikawa Diagram (Fishbone chart) for sand inclusion defect (b) Data-driven root cause analysis for active nodes.

3. DATA INFORMATION

The study has been carried out for a component being manufactured in one of the leading foundry situated in central India.

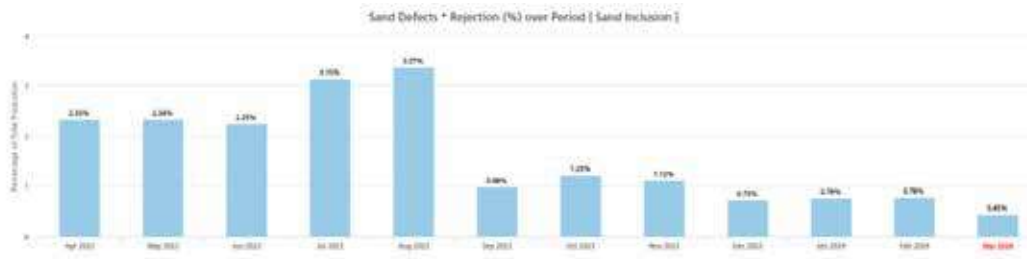


Figure 3: Rejection % for the component from 1 April 2023 to 31 March 2024.

The component that has been examined has a total production of around 3700 tonne per year. Two periods of sand inclusion defects were taken for analysis. The period of August 2023 has the highest sand inclusion rejections which is 3.37% [Figure 3]. It is termed a comparison period in analysis. The period of March 2024 is considered as a reference period where the sand-related rejections (sand inclusion) were low (0.45%). The prepared sand properties for both periods are discussed and analyzed in the subsequent sections.

4. RESULT AND DISCUSSION

The absolute change (%) in prepared sand properties between the reference period (low rejection period) and the comparison period (high rejection period) are displayed in the Figure 4. It was observed that the absolute change (%) in the GCS (Kg/cm²) was 5.65 %, Temp of sand after mix(°C) was 3.76%, Inert Fines (%) was 2.76%, Moisture was 0.64%, Active clay was 0.57% and Compactability (%) change was 0% which means negligible. The absolute change (%) was computed by taking the median values for all attributes between the reference and comparison periods. The investigation (Figure 4) shows that the five primary prepared sand parameters that have changed the most between the two periods are GCS (Kg/cm²), sand after mix temperature (°C), inert fines (%), moisture (%), and active clay (%). A detailed discussion of these three properties is mentioned in the subsequent sections. Since the data is directly taken from the foundry for analysis, hence the SI unit for the GCS (Kg/cm²) should be considered 1 kg/cm² = 98066.5 pascals (Pa), and for Temp of sand after mix(°C) should be considered Kelvin = Celsius + 273.15, wherever these units are used, if necessary.

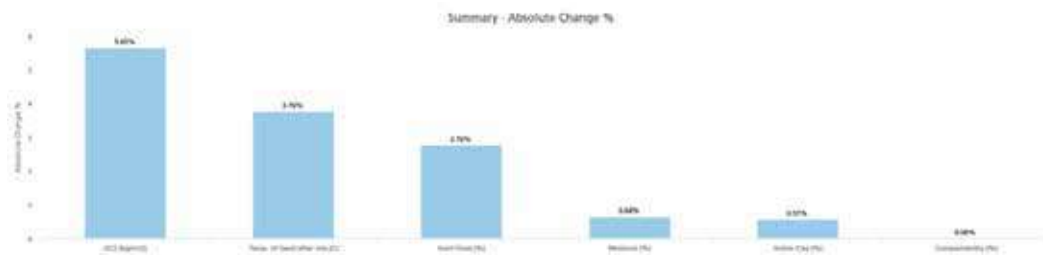


Figure 4: Absolute change (%) in the prepared sand properties between the reference period and the comparison period.

4.1. Variation in gcs (kg/cm²):

The Green Compression Strength (GCS) of molding sand is a vital parameter in sand casting, affecting the quality and acceptance rate of castings. It refers to the mold's ability to resist deformation and breaking during the casting process. High GCS ensures mold integrity and stability, reducing the chances of mold collapse, or deformation. Low GCS increases the likelihood of mold damage, deformation, or failure, leading to various defects. Optimal GCS balances mold rigidity and permeability, ensuring a smooth surface finish and accurate dimensions of the cast component. Consistent GCS ensures uniform compaction, while variable GCS leads to inconsistent mold quality. Proper sand composition and additives also play a role in achieving the desired GCS. Therefore, continuous testing and monitoring of GCS are essential for maintaining desired standards and reducing casting defects.

The variations in GCS (kg/cm²) between the reference period and the comparison period are shown in Figure 5. Figure 5(a) shows the Box plot, Figure 5(b) shows the density plot and Figure 5(c) shows the correlation plot between the sand inclusion and the GCS(kg/cm²). It can be seen that for the reference period when

the sand inclusion was low, the GCS (kg/cm²) values were more than 1.62 (kg/cm²) (Figure 5(c)). It was also observed that during the comparison period when the sand inclusion defect was more, the variation in GCS (kg/cm²) observed was high (Figure 5(a) and Figure 5 (b)) and in many cases, it was less than 1.62 (kg/cm²). Hence these analysis from the plots suggests that the end user should concentrate on keeping the GCS of the prepared sand high to reduce the sand inclusion defect. The operating range for low sand inclusion should be from 1.61 to 1.83.

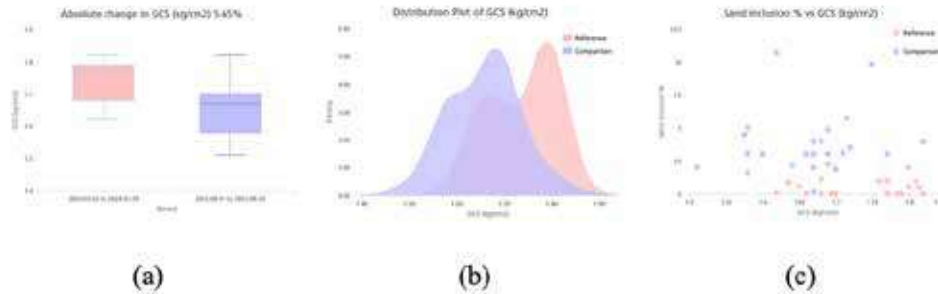


Figure 5: Variation in GCS (kg/cm²) between the reference period and the comparison period (a) Box plot (b) Distribution Plot (c) Correlation plot [1 kg/cm² = 98066.5 pascals (Pa)]

4.2. Variation in temperature of sand after mix:

The temperature of prepared molding sand is an important parameter in the sand casting process, affecting its properties and influencing casting rejection rates. High temperatures can decrease the green compression strength, leading to weaker molds and inadequate bonding. Optimal temperatures ensure proper moisture levels and binder activation, while improper temperatures can cause various defects. Inconsistent temperatures can cause differential thermal expansion and contraction, leading to dimensional inaccuracies and internal stresses in the mold that may lead to various defects in cast components. Hence regular monitoring and control of sand temperature during preparation and molding are essential for achieving optimal results in the sand casting process.

The variations in Change in Temperature of Sand after mix. (°C) between the reference period and the comparison period are shown in Figure 6. Figure 6(a) shows the Box plot, Figure 6(b) shows the density plot and Figure 6 (c) shows the correlation plot between the sand inclusion and the Change in Temperature of Sand after mix. (°C). It can be observed that for the reference period when the sand inclusion was low the Temperature of Sand after mix. (°C) varies from 41 (°C) to less than 46 (°C), while during the comparison period the temperature is more than 46 (°C). Hence, it can be suggested to the end user that the sand mix temperature should be kept between 41(°C) to 46 (°C) to keep the sand inclusion low.

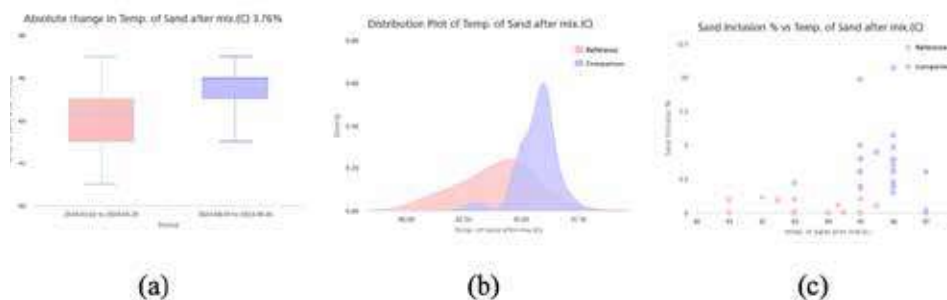


Figure 6: Variations in the temperature of sand after mix (°C) between the reference period and the comparison period (a) Box plot (b) Distribution Plot (c) Correlation plot [Kelvin = Celsius + 273.15].

4.3. Variation in inert fines:

Inert fines in molding sand significantly affect the quality and rejection rates of castings. These small particles, typically clay, silt, or dust, do not contribute to the bonding strength of the sand but can influence other properties. High inert fines can reduce the green compression strength of the sand, leading to weaker molds. A controlled amount of inert fines can improve mold stability without significantly reducing strength. High inert fines can also reduce permeability, leading to various sand-related defects. Hence, proper monitoring and adjustment of the sand composition are essential for maintaining the desired balance and ensuring high-quality castings with reduced rejection rates.

The variations in Inter Fines (%) between the reference period and the comparison period are shown in Figure 7. Figure 7(a) shows the Box plot, Figure 7(b) shows the density plot and Figure 7(c) shows the correlation plot between the sand inclusion and the Inter Fines (%). It can be observed that during the reference period when the sand inclusion was low, the Inert fines (%) were low and ranged from around 1.72 to 1.9 (Figure 7(c)). But during the comparison period, the values of inert fines were mostly high. The variations in the inert fines were also high during the comparison period (Figure 7(b)). Hence, it is recommended to keep the Inert fines (%) low to reduce the rejections related to sand inclusion (%) (1.72 to 1.9).

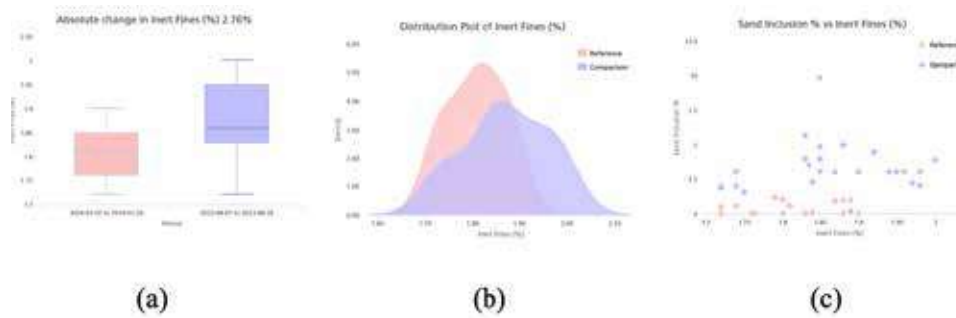


Figure 7: Variations in Inert fines (%) between the reference period and the comparison period (a) Box plot (b) Distribution Plot (c) Correlation plot.

4.4. Variation in moisture (%):

The moisture content of molding sand is a crucial factor in sand casting, affecting the quality and rejection rates of castings. It ensures the right balance of strength, plasticity, and permeability in the mold. Optimal moisture content ensures proper activation of binders, ensuring mold stability and preventing deformation. It also balances permeability, allowing gases to escape effectively, and minimizing various sand-related defects. Hence, regular monitoring and adjustments are crucial for achieving high acceptance rates.

The variations in Moisture (%) between the reference period and the comparison period are shown in Figure 8. Figure 8(a) shows the Box plot, Figure 8(b) shows the density plot and Figure 8(c) shows the correlation plot between the sand inclusion and the Moisture (%). The graphs show that moisture content during the comparative period is lower in most cases than in the reference period, with little sand inclusion. To prevent sand inclusion (%) -related rejection, it is advised to maintain a moisture content of 2.59 to 2.64.

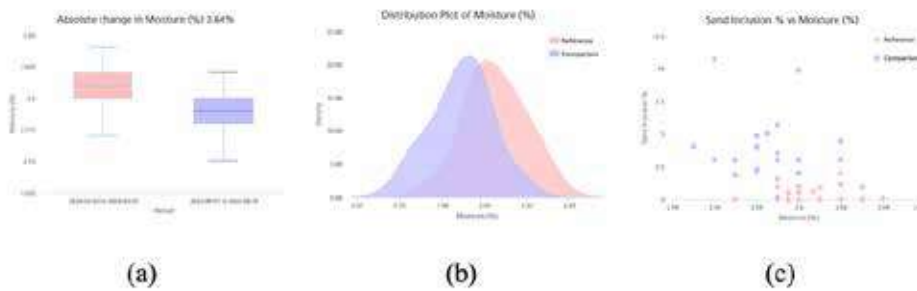


Figure 8: Variations in Moisture (%) between the reference period and the comparison period (a) Box plot (b) Distribution Plot (c) Correlation plot.

4.5. Variation in active clay (%):

Active clay in molding sand is a critical component that influences the properties and performance of the sand during the sand-casting process. It serves as a binder, providing strength and plasticity to the sand mixture. The amount and activity level of clay impact various aspects of the molding sand, affecting casting quality and rejection rates. Key points include green strength and mold stability, permeability and gas venting, surface finish and dimensional accuracy, moisture retention and plasticity, and compaction and uniformity. Hence, maintaining a proper clay content effectively reduces the likelihood of casting rejections and enhances the overall efficiency of the sand casting process.

The variations in Active clay (%) between the reference period and the comparison period are shown in Figure 9. Figure 9(a) shows the Box plot, Figure 9(b) shows the density plot and Figure 9(c) shows the correlation plot between the sand inclusion and the Active clay (%). It can be observed that during the comparison peri-

od, the active clay was low for most of the cases i.e. lower than 8.65. Hence, it can be concluded that to keep the sand inclusion low the active clay (%) should be kept between 8.65 to 8.75 (%).

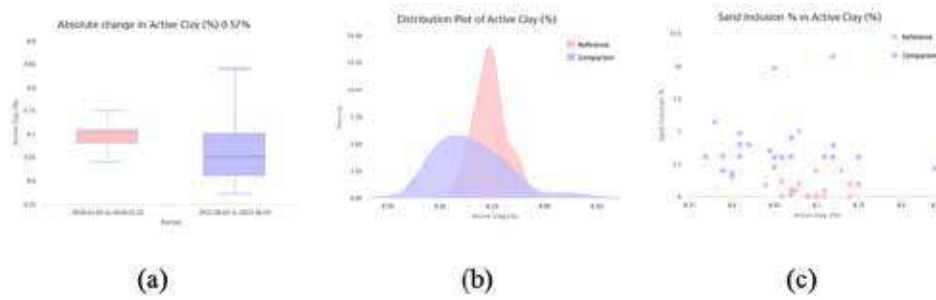


Figure 9: Variations in Active clay (%) between the reference period and the comparison period (a) Box plot (b) Distribution Plot (c) Correlation plot.

5. CONCLUSION

The following conclusion can be drawn from this present analysis:

1. Data analytics-driven fishbone analytics can be an efficient tool to perform root cause analysis to identify necessary actionable items that can be implemented to reduce the sand-related defects in the Green sand foundry.
2. Actionable useful information can be drawn using historical data by comparing the change in sand-related properties during the high period of rejection and the low period of rejection.
3. Sand inclusion (%) defect can be reduced by controlling the properties like GCS (kg/cm²), the temperature of sand after mix (°C), Inert fines (%), Moisture (%), and Active clay (%).

ACKNOWLEDGEMENT

The authors thank the entire MPM Infosoft team for their constant encouragement and support in conducting this work.

REFERENCES

1. B.C. Kandpal, N. Johri, B. Kumar, A. Patel, P. Pachouri, M. Alam, P. Talwar, M.K. Sharma, S. Sharma, "Experimental study of foundry defects in aluminium castings for quality improvement of casting", *Materials Today: Proceedings*, Vol. 46, 2021, 10702-10706.
2. J. Sertucha, J. Lacaze, "Casting defects in sand-mold cast irons—an illustrated review with emphasis on spheroidal graphite cast irons", *Metals*, Vol. 12(3), 2022, 504.
3. C. Saikaew, S. Wiengwiset, "Optimization of molding sand composition for quality improvement of iron castings", *Applied Clay Science*, Vol. 67, 2012, 26-31.
4. A. Joshi, L.M. Jugulkar, "Investigation and analysis of metal casting defects and defect reduction by using quality control tools", *International journal of mechanical and production engineering*, Vol. 2, 2014, 2320-2092.
5. U.A. Dabade, R.C. Bhedasgaonkar, "Casting defect analysis using design of experiments (DoE) and computer aided casting simulation technique", *Procedia Cirp*, Vol. 7, 2013, 616-621.
6. R.S. Barot, J. Patel, B. Sharma, B. Rathod, H. Solanki, Y. Patel, "Lean six sigma feasibility and implementation aspect in cast iron foundry", *Materials Today: Proceedings*, Vol. 28, 2020, 1084-1091.
7. A. Kumaravadivel, U. Natarajan, "Application of Six-Sigma DMAIC methodology to sand-casting process with response surface methodology", *The International Journal of Advanced Manu-*

facturing Technology, Vol. 69(5), 2013, 1403-1420.

8. T.H. Hirigo, B. Singh, "Design and analysis of sand casting process of mill roller", The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 105, 2019, 2183-2214.

9. S. Kumar, P.S. Satsangi, D.R Prajapati, "Optimization of green sand casting process parameters of a foundry by using Taguchi's method", The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 55, 2011, 23-34.

10. C. Shen, L. Wang, Q. Li, "Optimization of injection molding process parameters using combination of artificial neural network and genetic algorithm method. Journal of materials processing technology", Vol. 183(2-3), 2007, 412-418.

11. R. S. Ransing, M.N. Srinivasan, R. W. Lewis, "ICADA: Intelligent computer aided defect analysis for castings", Journal of Intelligent Manufacturing, Vol. 6, 1995, 29-40.

12. A. Prabhakar, M. Papanikolaou, K. Salonitis, M. Jolly, "Minimising defect formation in sand casting of sheet lead: A DoE approach", Metals, Vol. 10(2), 2020, 252.

End-To-End Cast Iron Traceability: Marking Unique Cdot Codes On Sand Molds and Tracking Parts From Green Sand Molding Through Entire Processes

Mete KAYALAR*, **Serra TUZCUOGLU***, **Tunç ACARKAN***, **Mustafa Mert ŞENGÜL***,
Ege Baran YALÇIN*, **Ali MEHRAN***, **Varan GÜNEŞ****, **Emre CEYLAN****, **Bilal Burak YALCIN****

***Cosmodot Inc, Houston, TX - USA**

****Eku Fren ve Döküm A.Ş., Kocaeli, Türkiye**

ABSTRACT

This paper investigates the end-to-end traceability of production processes in CAST IRON manufacturing facilities using unique CDOT codes applied to sand molds. The aim is to ensure seamless traceability from mold preparation to shipment, recording all production data starting from the sand mold, thus enhancing production efficiency and product quality. Durable CDOT codes and laser marking devices are utilized for individual product identification. The results demonstrate that CDOT codes inscribed in the sand molds can transfer to the surface of cast products during the casting process, ensuring continuous traceability throughout all production stages, thereby proving the applicability of individual traceability in the casting industry.

Keywords Cast Iron, Traceability, Sand Marking, Reading, CDOT Code, Barcode, Data Matrix, RFID

1. INTRODUCTION

Traceability in the casting industry has evolved significantly over the years, driven by technological advancements and increasing demands for quality and safety. This paper introduces a new code technology, the CDOT code, for implementing end-to-end traceability in cast iron manufacturing by marking in the sand mold and transferring it to the cast part during the casting process, focusing on its benefits, challenges, and outcomes.

The concept of traceability in the casting industry can be traced back to the early days of manufacturing when basic record-keeping was implemented to track production batches and ensure quality control. Initially, traceability systems were rudimentary, involving manual logging of production details and inspection reports. The primary objective was to identify and rectify defects in the production process to meet quality standards and regulatory requirements.

With the advent of digital technologies century and the increasing complexity of manufacturing processes, the need for more sophisticated traceability systems became evident. The introduction of barcodes and RFID tags in the late 20th marked a significant advancement in tracking capabilities, allowing manufacturers to monitor each badge more accurately and efficiently. These systems enabled the recording of detailed information about raw materials, work-in-progress, and finished goods, providing a comprehensive overview of the production process. For example, the study by Wadhwa et al. (2013) [1] explored the implementation of internal traceability systems in foundries, demonstrating how automation and digital technologies can enhance operational efficiency and product quality.

The need for end-to-end traceability in the casting industry is driven by several factors, including regulatory requirements, quality control, and customer expectations. Regulatory bodies often mandate traceability to ensure product safety and compliance with industry standards. For instance, the automotive and aerospace industries require detailed documentation of manufacturing processes to meet stringent safety and performance standards. Traceability allows manufacturers to quickly identify and address issues, minimizing the risk of recalls and enhancing overall product reliability [4].

From a quality control perspective, end-to-end traceability enables manufacturers to monitor and optimize every stage of the production process. By tracking materials, processes, and inished products, manufacturers can identify and rectify defects early, reducing waste and improving efficiency. Studies by Fisk and Chandran (1975) [2] emphasize the critical role of traceability in quality assurance and its impact on reducing production costs and improving product consistency. Customer expectations also play a significant role in driving the adoption of traceability systems. In today's market, customers demand transparency and assurance that products meet high-quality standards. Part-based traceability provides customers with confidence in the product's origins and manufacturing processes, enhancing brand reputation and customer loyalty.

Despite the clear benefits of traceability, implementing effective systems in the casting industry poses several challenges. One of the primary issues is ensuring the accuracy and durability of traceability marks. Traditional methods, such as labels and ink stamps, often fail to withstand the harsh environments of casting operations, leading to data loss and traceability gaps. For example, labels can peel off or become illegible due to high temperatures and rough handling. Laser marking, while more durable, requires precise control to ensure marks of the incumbent codes are readable and not damaged during subsequent processing steps like fettling, finishing, shot blasting, peening, heat-treatment, anodizing, alochroming and painting. The research by Laserax into the effects of surface

treatments, such as shotblasting and e-coating, on laser-marked parts provides valuable insights into optimizing marking techniques for durability and readability [4].

Another significant challenge is the impact of high temperatures and material contraction on traceability marks. During the casting process, parts are often subjected to temperatures exceeding 700°C / 1292°F. As the parts cool, they undergo contraction, which can render the applied codes unreadable. This issue is particularly problematic for labels, which can peel off or deteriorate due to the high temperatures and rough surface textures of the cast parts. For instance, in high-temperature environments, traditional labeling methods often fail, as the adhesive properties degrade and the labels themselves can burn or disintegrate. Laser marking on hot surfaces requires special considerations to ensure that the marks do not distort or become illegible after the parts cool down. This challenge is well-documented in studies that investigate the effects of thermal cycling on traceability marks in high temperature applications [1].

The third major challenge involves the application of traceability codes to sand molds. When traditional coding methods are applied directly to sand surfaces, they can cause significant damage to the molds. This damage can lead to defects in the final cast parts, as the integrity of the sand mold alloy is compromised. For example, traditional stamping or engraving methods can disrupt the mold surface, resulting in misalignments and casting defects. This issue has prevented the successful implementation of traceability codes directly on sand molds in the past. The deformation caused by marking can affect the accuracy of the mold, leading to defects in the produced parts. Consequently, the industry has struggled to achieve reliable traceability from the sand mold stage through to the final product.

The CDOT codes provide a suitable solution in providing continuous and reliable traceability in CAST IRON production. CDOT codes offer a robust solution for marking sand molds, ensuring that traceability data remains intact throughout the casting process.

The expected outcomes of implementing CDOT codes for end-to-end traceability in cast iron are multi-faceted, encompassing improvements in process control, product quality, and production efficiency. One significant benefit is the enhanced ability to monitor and control production processes in real-time including the preparation of sand mold. By ensuring that each cast part is uniquely identifiable and traceable throughout the whole lifecycle of the part, manufacturers can achieve better quality control, reducing the incidence of defects and rework. Additionally, traceability data can inform decision-making and process optimization. For example, by analyzing traceability data, manufacturers can identify patterns and trends, enabling them to optimize production parameters and improve overall efficiency. The study by Vedel-Smith and Lenau (2012) [3] supports the feasibility and benefits of using digital marking technologies for casting traceability, highlighting the potential for improved process control and product quality. Furthermore, the use of CDOT codes is expected to enhance compliance with regulatory requirements and industry standards. By providing a detailed record of the production process, CDOT codes can help manufacturers demonstrate compliance with safety and quality standards, reducing the risk of regulatory penalties and enhancing customer trust.

In summary, this study aims to demonstrate the practical benefits of implementing CDOT codes for end-to-end traceability in cast iron production. By investigating the use of CDOT codes, this research seeks to address the current challenges in traceability and provide a viable solution for the casting industry, providing a comprehensive solution for enhancing traceability, improving product quality, and optimizing production processes in the casting industry.

2. TECHNOLOGY SCOUTING

2.1. Analysis of Existing Technologies

In evaluating the current technologies used in traceability within the casting industry, four primary methods were analyzed: Data Matrix with laser engraving, RFID tagging, labeling, and the newly introduced CDOT code.

2.1.1. Data Matrix with Laser Engraving

Data Matrix with laser engraving involves using high-energy lasers to etch codes onto the surface of parts. This method is renowned for creating durable and precise marks, making it suitable for various industrial applications. However, its application in the casting industry is fraught with challenges. As discussed under the durability test section, Data Matrix marking is applied directly to the sand mold, the codes fail to transfer effectively to the casted part. Additionally, direct engraving on hot parts is unfeasible due to the risk of damaging the part and the engraving equipment.

Post-casting, when the part has cooled, the codes are susceptible to degradation during processes such as sandblasting, heat treatment, painting, anodizing, and other e-coating applications, which often result in the complete loss of readability and, consequently, traceability. Research indicates that while laser-marked codes initially appear robust, their durability is significantly compromised by these subsequent processes, leading to unreliable traceability outcomes.

2.1.2. RFID Tagging

RFID (Radio Frequency Identification) tagging is commonly used for tracking and identification in various industries due to its ability to store substantial data and be read without a direct line of sight. However, embedding RFID tags within sand molds has proven ineffective as the tags do not transfer to the cast part. When placed directly on the part, RFID tags face numerous obstacles. The harsh conditions of horizontal green sand cast iron manufacturing, including high temperatures, molten iron impact and mechanical impacts, often cause tags to dislodge or malfunction. Additionally, the presence of metals such as aluminum leads to RF reflections, hindering accurate identification. Studies have shown that despite their potential, RFID tags are prone to degradation during abrasive treatments such as sandblasting, heat treatment, and coatings, further reducing their reliability for continuous traceability as Emre Ozturk; Mike J. Dikkers states (RFID Tag Failure after Thermal Overstress) [6].

2.1.3. Labeling

Labeling involves attaching printed labels to parts for identification, offering a straightforward and cost-effective solution. However, as discussed under the durability test section, labels may face significant challenges in the casting industry. The risk of labels mixing with the molten material during casting, which leads to their destruction and potential contamination of the alloy, means they are used exclusively for labeling the products that emerge post-operation. On casted parts, labels struggle to survive the harsh foundry conditions. They may fall off due to rough surfaces and mechanical impacts, and high temperatures and abrasive treatments such as sandblasting and heat exposure further degrade the labels, causing the loss of printed codes.

2.1.4. CDOT Code

The CDOT code, developed by Cosmodot Inc., is a high-density two-dimensional (2D) symbology specifically designed to endure aggressive processes and unfavorable conditions. CDOT codes can be applied to parts, raw materials even to sand molds using laser marking devices, ensuring their transfer from the mold to the casted part during the casting process. This results in transferred code on the part's surface, which remains intact and readable throughout all subsequent

processes, unless the code on the surface is completely removed or altered during a machining operation. CDOT codes have demonstrated resilience during sandblasting, heat treatment, painting, anodizing, and other e-coating applications with varying parameters and levels. They maintain readability with any 2D camera without requiring special lighting or lens configurations, providing continuous traceability from the mold to the finished product. This technology offers a comprehensive solution for ensuring robust and durable marking, making it the preferred choice for manufacturers seeking reliable traceability in the casting industry.

2.2. Technology Evaluation

The evaluation process involved rigorous testing of the aforementioned technologies under real-world casting conditions to assess their durability, readability, and overall effectiveness in ensuring traceability.

2.2.1. Durability Tests and Readability Analysis

Durability tests focused on evaluating each technology's resilience under extreme temperatures, abrasive conditions, and chemical exposure. It is continued by readability analysis assessed the clarity and legibility of each technology during cast iron sand molding stage and various post-casting processes. Following casting, identifiers protrude from the part for readability with barcode readers. The marking process governs the shape and depth of the characters, while the casting process quality and consistency also influence them. Additionally, factors affecting laser marking depth include the type of sand, grain size, glue additives, sand compression, and the number of laser passes.

During the durability tests, Data Matrix codes are laser-marked onto the sand molds but fail to transfer effectively for readability onto the casted part during the casting process. Because the Data Matrix codes became unreadable after the cast iron process, subsequent challenging process tests were not implemented.



Figure 1 & 2: Unreadable, Low Contrast Data Matrix on Sand Mold and on Casted Part

RFID tags, when embedded in sand molds, failed to transfer to the cast part. When applied directly to the part, the tags often dislodged or malfunctioned due to metal interference and high temperatures, rendering them impractical for usage. RFID tags didn't provide reliable data retrieval due to metal interference and harsh conditions, compromising traceability.

Labels tested in horizontal green sand cast iron manufacturing failed to maintain integrity. They dislodged or deteriorated during the casting process and subsequent treatments, rendering

them unsuitable for continuous process based end-to-end identification and traceability.

Conversely, CDOT codes demonstrated durability. Codes applied to sand molds successfully transferred to cast parts and they maintained readability throughout subsequent processes, unless the code on the surface is completely removed or altered during a machining operation. The codes were readable without special lighting or lens configurations, ensuring continuous traceability. These evaluations underscore the superior performance of CDOT code in ensuring reliable and continuous traceability horizontal green sand cast iron manufacturing, making it a leading option for manufacturers seeking robust and durable marking solutions and marking type.

3. IMPLEMENTATION OF CDOT TECHNOLOGY

Ensuring continuous traceability of products such as brake discs and drums at the cast iron facilities, from unique coding of negative molds to the finished stage of manufacturing, is crucial for recording casting data, product alloys, emission values without loss, and recording all data during grinding, painting, stacking, processing, quality control, and packaging processes. Matching individually coded products enhances customer service efficiency. To date, uninterrupted product traceability has not been achieved due to the inability to mark green sand molds with marking types and systems and ultimately yielded reliable readable results.

One of the main challenges in cast iron manufacturing is to lose traceability during shot blasting processes as the casted parts sequences interfere right after casting process. This only allows the manufacturing site to track the manufacturing processes on a batch basis, instead of part base. It also prevents to make the casting-related defects/repair analyses for each part along with defects/repair process parameters. Losing traceability also affects the other digitalization efforts (Industry 4.0) of the cast iron foundries.

With the end-to-end part-based traceability, the manufacturing site aims to achieve the maximum resolution of each charge of the furnace and gain ability to retain all required process information from casting onwards. It will also enhance communication with traceable casting pots to track parameters of the melting process.



Figure 3: Cast Iron Production Harsh Environment

3.1. Purpose and Objectives of Field Pilot Study

The primary objective of this field study is to assess the effective use of the unique CDOT code transferred onto sand molds containing silica sand, bentonite, and coal dust with a moisture content between 3.5% and 4.5% and an AFS value of 42. The CDOT code is expected to transfer onto the casting part after melted ore is poured into the sand mold at 1400°C / 2552°F. Each sand mold will be marked with a unique CDOT code to test its operability, marking speed to align with production cycle time, and the reading rates of the serially casted products.

CDOT code marking will be applied directly onto the sand molds. The marking in this stage is not intended for the final product. The molds consist of negative and positive molds, which automatically integrate to each other to form the final mold. Testing should evaluate whether some markings are applied to the lower degree and others to the upper degree. In the first tested line produced by Savelli (<https://www.savelli.it/>), both negative and positive molds have a cycle time of 18 seconds. During these 18 seconds, the degree moves for 5 seconds and remains stationary for 13 seconds. Negative and positive molds pass sequentially on the same line. In the Heinrich Wagner Sinto (<https://www.wagner-sinto.de/en/>) line each mold has a cycle time of 22.5 seconds. During these 22.5 seconds, each mold moves for 5 seconds and remains stationary for 17.5 seconds. Top and bottom molds pass from different lines.

Based on that information, a minimum of 50 serial production samples were planned to be produced, aiming to perform coding in accordance with cycle time. Sample sand molds were planned to be marked with CDOT codes using laser marking techniques, followed by canning after code transfer. Serial production of at least 50 sand molds of the disc brake was planned, transferring CDOT codes using laser marking techniques. After the integration of negative and positive molds, melted ore at 1400°C / 2552°F will be poured into CDOT code marked sand molds and CDOT code expected to transfer in the casted part remaining its readability without any specific image formation on the camera.

The implementation of CDOT technology in iron casting procedure is expected to mark a significant advancement in traceability systems for the manufacturing industry.

3.2. Used Technologies & Applied Scenarios

CDOT does not require any specific hardware, enables to be printed with any type of printer including laser engraving, inkjet, thermal techniques and many more, and to be read with any cameras that can transfer the image into decoder, including smart cameras, 2D code readers, handheld readers, mobile terminals, mobile phones etc. For this test a 50W and 60W JPT MOPA (Master Oscillator Powered Amplifier) laser marking device used for marking sand molds along with 300, 150 and 110 lenses. The dimensions of the CDOT codes for this application identified as 20x20 mm, 30x30 mm, and 40x40 mm to test compatibility of different sizes. For the reading tests, a mobile phone with CDOT Mobile App for scanning is used.

Three different scenarios were tested during the study. The first one is to mark and read the sand mold samples. The second one is to mark the CDOT codes to sand molds aligned with the cycle time of the production and conduct readability tests before serial production trials. The last one is to test CDOT codes marked in the sand molds aligned with the cycle time and conduct readability tests of the transferred code on the casted part during the ore pouring process followed by all other processes like sandblasting, deburring, painting etc.

3.3. Preparation and Initial Testing

3.3.1. Mark and Read the Sand Mold Samples

The implementation process began with a thorough analysis of EKU's manufacturing environment. The foundry, with its high temperatures and abrasive conditions, presented a unique set of challenges for part traceability. Initial tests were conducted using sample sand molds provided by EKU's manufacturing team. These tests were crucial in determining the optimal parameters for applying CDOT codes to the sand molds.



Figure 4 & 5:: CDOT code on sand sample

Six sand mold samples were taken from the EKU laboratory, and experiments were conducted using different 50W and 60W fiber lasers to test power, speed, and depth for the initial application of depth and CDOT code on the sand surface for proper adaptation. Particularly due to the composition and compression values of the sand, depth studies for the creation of codes on the sand were carried out. After establishing the coding process and CDOT code depth values, scanning was performed using the CDOT mobile application. All scanning processes were successfully completed.,

3.3.2. Marking the CDOT Codes to Sand Molds Before Serial Production

Experiments were conducted to transfer the CDOT code onto a sand mold sample during bell production using a 50W Yb Fixed Pulse Fiber Laser and F-Theta163 Lens-1064 300 lens.



Figure 6: CDOT code first trial with 50W fiber laser with 300mm lens

Further experiments were carried out using a 50W Yb Fixed Pulse Fiber Laser and F- Theta163 Lens-1064 150 lens during bell production to transfer the CDOT code similarly onto the product. The CDOT code was successfully transferred onto the disk sand mold selected for production along the line. Upon completion of production, the disk was separated, and scanning was performed using the CDOT mobile application. All scanning processes were successfully completed.



Figure 7 & 8: CDOT code second trial with 60W fiber laser with 110mm lens

3.3.3. Marking the CDOT Codes to Sand Molds in the Serial Production

Using a 50W fiber laser machine and a 150-lens, cast iron production line was carried out for one day. The pulse width output of up to 50W in Mopa Fiber Source is fixed as 200ns (nanoseconds), and printing trials per pulse are performed with a power of 1.25mj (millijoules). Printing times were recorded, and outputs required for adaptation to cycle time were obtained. Using a 60W Yb Fixed Pulse Fiber Laser and F-Theta163 Lens-1064 110 lens, a 14-second cycle time was successfully achieved to be aligned with the line cycle times of 12-14 seconds based on the outputs obtained. To achieve accurate results, the output pulse width assigned as 2 - 500 ns (nanoseconds) with a power of 2mj (millijoules) per fixed pulse in 60W Mopa Fiber laser sources. Therefore, adjustable frequency range is widely used in new generation 60W Mopa lasers, and pulse power per production is balanced. This ensures smooth and complete transmission of CDOT codes in the expected cycle time. Particularly, it has been successfully implemented in materials with burning response such as sand.

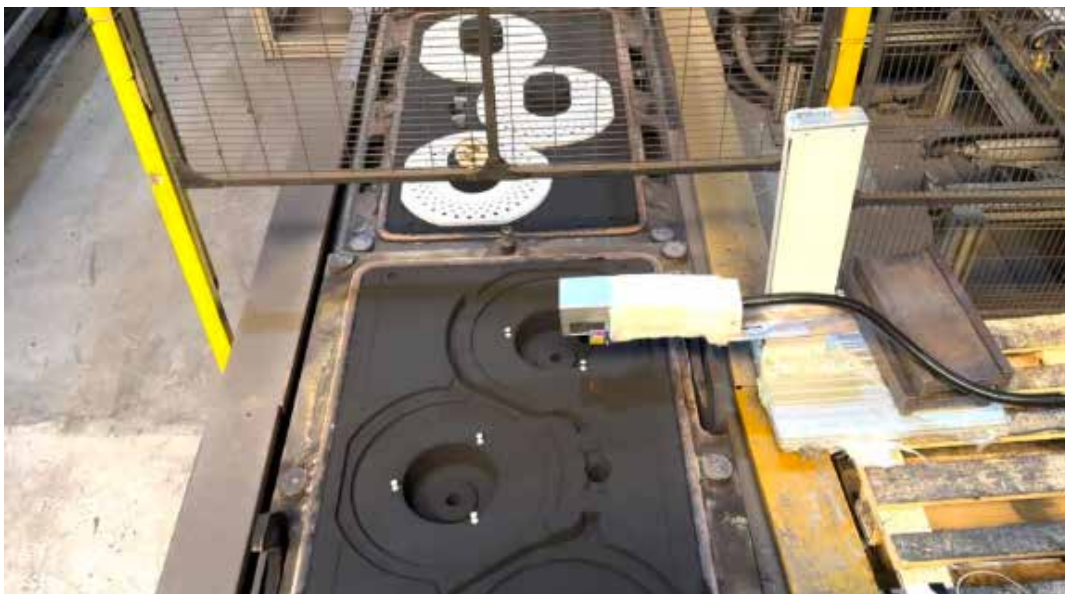


Figure 9: Laser marking setup on serial production



Figure 10: %100 Readable CDOT code engraved in the sand mold with 60W fiber laser and 110mm lens in the production

After matching the cycle time, the serial coding stage was passed, and 69 unique CDOT codes were transferred to sand molds according to the production time on disks produced during one shift.



Figure 11: CDOT code transfer from sand mold to brake disc during pouring ore stage

After the casting process, 69 disks were separated and scanned was carried out with CDOT mobile application. All reading operations are successful in all multiple trials that also include reading in different angles, distances and especially in line with production defects.



Figure 12: %100 readable CDOT code marked on sand mold, transferred to part during ore pouring



Figure 13: CDOT code reading on transferred CDOT code

3.4. Experiment Outcomes

Enabling end to end traceability in cast iron industry by having unique CDOT codes in each disc brake sand mold and the capability of preserving the same CDOT code after the ore pouring stage at high temperatures of 1400°C / 2552°F provides positive outcomes. First of all, the unique traceability prevents the mixed parts sequence caused by sandblasting, after the casting process on automatic molding lines, allowing each part to be traced individually. Secondly, it also enables to make the casting-related defects/repair analyses for each part along with defects/repair process parameters, allowing to conduct root cause analysis. As this system provides a proper infrastructure for data acquisition the digitalization efforts of the sand-casting industries will also be enhanced drastically. The manufacturing site will also achieve the maximum resolution of each charge of the furnace and gain ability to retain all required process information from casting onwards. It will also enhance communication with traceable casting pots to track parameters of the melting process.

3.5. Findings and Considerations

Ensuring the compatibility of the laser engraving with the required cycle time is critical. The significance of choosing a laser lens that consistently delivers uniform outputs cannot be overstated. Variability in focus during the printing of each series of sand molds has notable effects that must be meticulously managed. Effective automation planning that aligns with the production line's speed is essential for seamless operation. It is also critical to ensure that the CDOT code maintains a minimum size of 30 x 30mm for optimal readability and traceability.

Developing a project setup plan that facilitates the reapplication of the same code to products after they undergo machining processes is vital. Furthermore, during serial production, it is crucial that the installed laser automation adapts to the model information from the ERP system, ensuring compatibility with cycle time requirements. The area designated for marking the CDOT code must also adapt in real-time to system parameters, accommodating product variability and maintaining consistent quality and traceability throughout the production process.

4. CONCLUSION

The implementation of CDOT code in cast iron manufacturing process has opened new avenues for advancing traceability and quality control in the foundry industry. This comprehensive system, which includes marking, reading, and data integration capabilities, stands as a significant improvement over existing methods, promising substantial benefits and setting a new standard in manufacturing traceability.

The primary advantage of the CDOT code is its ability to provide unique part traceability from the very beginning of the casting process. This means that each product can be tracked individually from the sand mold stage through to the final inspection. This level of detailed traceability is crucial for identifying and rectifying issues at the earliest possible stage, thereby reducing waste and improving overall product quality. By linking process parameters directly with individual products, the system enables precise control over the manufacturing process, facilitating immediate adjustments to optimize production and quality outcomes.

In foundries with automated molding lines, a common challenge is the disorganization of products during the shakeout process, which can complicate traceability efforts. The CDOT code effectively addresses this issue by maintaining the order and traceability of each product through unique identification codes that persist through the entire manufacturing process. This ensures that each product can be reliably tracked and traced, significantly enhancing process control and reducing the potential for errors.

One of the most significant impacts of the CDOT technology is its ability to correlate casting process parameters with individual product identifiers on a detailed level. This enables foundries to conduct in-depth analyses of casting defects and rework rates, correlating these issues with specific process conditions. Such granular traceability allows for targeted interventions and process improvements, reducing the occurrence of defects and minimizing the need for rework. This level of detail also supports advanced quality control measures and continuous improvement initiatives, aligning with the principles of Industry 4.0 and fostering a culture of data-driven decision-making.

The digitization of foundry operations is another major benefit facilitated by the CDOT system. By providing a robust foundation for digital traceability, the system supports the integration of various digital tools and technologies. This enhances the ability of foundries to leverage data analytics, machine learning, and artificial intelligence for process optimization and predictive maintenance. The comprehensive traceability data generated by the CDOT system can be used to develop sophisticated models for predicting equipment failures, optimizing maintenance schedules, and improving overall operational efficiency.

The transition from batch-based traceability to maximum resolution traceability is a game-changer for the foundry industry. Traditional traceability systems often operate at the batch level, which can obscure the details of individual product histories and complicate defect analysis. The CDOT system, by contrast, provides a detailed, product-level traceability that enables foundries to maintain comprehensive records for each individual item. This high-resolution traceability ensures that any issues can be quickly traced back to specific process conditions, enabling faster and more effective problem-solving.

Moreover, the ability to store all relevant information from the casting process onwards ensures that foundries can maintain a comprehensive and accurate record of each product's history. This is particularly important for industries with stringent regulatory requirements, such as the automotive and aerospace sectors. The detailed traceability provided by the CDOT system supports compliance with these regulations, enhancing customer confidence and reducing the risk of non-compliance penalties.

In addition to the benefits already mentioned, the CDOT system also supports communication with traceable ladles, allowing for the monitoring of melting process parameters. This integration ensures that all aspects of the casting process, from melting to final inspection, are covered by

the traceability system. This holistic approach to traceability not only improves product quality but also supports more efficient and effective production processes.

The CDOT system also lays the groundwork for advanced automation in foundries. By providing a reliable method for product identification, the system enables the development of automated inspection and sorting systems. These automated systems can significantly enhance production efficiency and accuracy, reducing the need for manual intervention and minimizing the risk of human error.

The practical advantages of the CDOT system were clearly demonstrated during its implementation at the sand-casting foundry. Despite the initial challenges, such as ensuring the durability of the marks through the casting process and integrating the system with existing production management tools, the project achieved remarkable success. Even under the distortion of codes due to high temperatures during casting, to account for material expansion and contraction, the challenges were compensated by the CDOT code, leading to a final system that achieved a readability success rate of 100%. In conclusion, the CDOT technology implementation at the cast iron foundry has demonstrated its potential to transform traceability in the foundry industry. By providing detailed, product-level traceability, the system supports advanced quality control measures, process optimization, and compliance with regulatory requirements. The integration of digital tools and technologies further enhances the benefits of the system, aligning with the principles of Industry 4.0 and paving the way for future advancements.

The success of this project not only sets a new standard for the industry but also opens the door to further innovations and improvements in manufacturing traceability. Looking ahead, the continuous refinement and expansion of the CDOT code will ensure that cast iron remains at the forefront of traceability technology. By leveraging the comprehensive data generated by the system, the company can continue to optimize its processes, improve product quality, and maintain its competitive edge in the market. The future of foundry traceability is bright, and the CDOT code is poised to play a crucial role in shaping this future.

5. ACKNOWLEDGMENT

The support and contributions of the entire project team were especially EKV Fren ve Döküm San. A.Ş. team and Cosmodot team are instrumental in achieving these results. Their education to finding solutions and optimizing the system has laid the foundation for a future where foundries can achieve unprecedented levels of traceability and quality control.

References

1. Wadhwa, P., & Madaan, J. (2013). Internal Traceability Systems in Foundries: An Implementation Perspective. *International Journal of Production Research*, 51(23-24), 6885-6901.
2. Fisk, J., & Chandran, A. (1975). Quality Assurance and Traceability in Manufacturing. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 97(4), 671-678.
3. Vedel-Smith, L., & Lenau, T. A. (2012). Digital Marking Technologies for Casting Traceability. *Journal of Manufacturing Processes*, 14(4), 529-537.
4. Laserax. (n.d.). Traceability and Laser Marking of Die Castings. Retrieved from <https://www.laserax.com/blog/traceability-and-laser-marking-die-castings>.
5. Olsmats, C., & Kaasinen, M. (2006). RFID Technology in Manufacturing: Case Studies from the Casting Industry. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 31(7-8), 816-827.
6. E. Ozturk, M. J. Dijkers, K. M. Batenburg, C. Salm and J. Schmitz, "RFID Tag Failure after Thermal Overstress," 2019 IEEE International Integrated Reliability Workshop (IIRW), South Lake Tahoe, CA, USA, 2019, pp. 1-4, doi: 10.1109/IIRW47491.2019.8989885.

Dikey Kalıplama Hatlarında Yeni Nesil Besleyici Uygulamaları

Christof VOLKS*, Marc MAUHAY**

Çeviri: Kemal KARSLI***

Foseco Avrupa*, Foseco Tayvan, Foseco Türkiye*****

ÖZET

DISA, 1962 yılında döküm endüstrisine dikey olarak bölünebilen kalıplama makinelerini sunarak, yüksek üretkenlikleri ve düşük proses maliyetleri ile sektörde devrim yaratmıştır. Zaman içinde, DISA dökümlerinin verimini artırmak için besleyici gömleklerin ve doğrudan döküm sistemlerinin kullanımı da dahil olmak üzere bir çok çaba sarf edilmiştir. Kalıbın birleşme hattına yerleştirilen besleyici gömlekler, döküm verimini ve üretkenliği artırmış olsa da uygulamalarında zorluklarla karşılaşmıştır. Dikey parçalı kalıplama hatlarında bu teknolojinin kullanımı yatay hatlara kıyasla daha düşük seviyelerde olmasına rağmen, pazar baskıları dikey hatlarda daha ağır ve karmaşık sfero döküm parçalarının üretilmesine yol açmıştır. Noktasal besleme teknikleri bu sorunlara çözüm olarak ortaya çıkmış ve bu zorluklarla başa çıkmak için noktasal besleyicilerde çeşitli modifikasyonlar yapılmıştır. Bu makalede, bu ilerlemelerin döküm endüstrisine etkisi incelenecektir.

ABSTRACT

DISA's introduction of vertically parted moulding machines to the foundry market in 1962 revolutionised the industry with their high productivity and low process costs. Over time, efforts were made to increase the yield of DISA castings, including the use of feeder sleeves and direct pour systems. While feeder sleeves placed on the joint line of the mould improved casting yield and productivity, challenges arose with their application. The degree of utilization on vertically parted moulding lines was lower than on horizontal lines, but market pressures have led to heavier and more complex ductile iron parts being produced on vertical lines. Spot feeding techniques have emerged as a solution, and modifications have been made to spot feeders to address these challenges. In this paper, we will explore the impact of these advancements on the foundry industry.

Keywords: FEEDEX, feeding, sleeve, vertical, molding

1. GİRİŞ

DISA, 1962 yılında dökümhane pazarına dikey kalıplama makinelerini tanıttı. Bu konseptin sunduğu yüksek üretkenlik ve düşük proses maliyetleri, dikey kalıplama hatlarının başarılı olmasının yolunu açtı. Başlangıçta, DISA dökümlerini beslemek için kum besleyiciler kullanılıyordu. Besleyici gömleklerin kalıbın birleşme hattına uygulanması, bu ünitelerin önceden oluşturulmuş maça baskısına yerleştirilmesi için bir maça ayarlayıcı kullanılarak yaygın hale gelmiştir. Geliştirilmiş döküm veriminin yanı sıra, besleyici gömleklerin kalıp plakası üzerine ek döküm boşlukları yerleştirilebildiği için üretkenlik çoğu durumda artmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1: Sfero Döküm parçasına doğrudan döküm ünitesi ve besleyici gömleklerin uygulanması

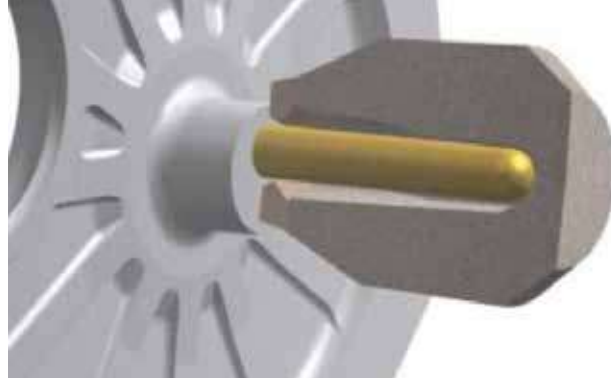
Besleyici gömleklerin bağlantı üzerine yerleştirilmesi uygulaması bazen sorunlara yol açabilir; örneğin, besleyici kalıp kapanmadan önce yerinden çıkabilir. Yatay kalıplama hatlarının aksine, dikey kalıplama hatlarında besleyici gömleklerin kullanımı çok daha seyrek. Bunun bir nedeni, DISA kalıplama hatlarında üretilen dökümlerin büyük bir kısmının gri döküm parçalar olmasıdır. Bağlantı hattına yan veya üst yükseltici olarak yerleştirilen standart besleyici uygulamaları, bu dökümlerin besleme gereksinimlerini karşılayabilmiştir.

Piyasa fiyat baskısı ve DISA hatlarıyla ilişkili daha düşük üretim maliyetleri, dikey kalıplama hatlarında üretilen daha ağır ve karmaşık sfero döküm parçalarının sayısını artırmıştır. Başlangıçta, bu tür parçaların üretimini sağlamak için izole bölümlere besleme yolu oluşturan metal dolgu gibi uygulamalar kullanılmıştır. Ancak, bu yaklaşım verimin düşmesine ve taşlama maliyetlerinin artmasına neden olduğundan sınırlı fayda sağlamıştır (Şekil 2).



Şekil 2: Tipik bir disk dökümünde merkezi kütleye doğru bir besleyici yolu oluşturmak için metal dolgu uygulaması

Dikey kalıplama hatlarında noktasal besleme kullanımına yönelik ilk çalışmalar 2006 yılında başlamıştır. Bu dönemde, standart bir silika kum kırıcı maça ile modifiye edilmiş bir noktasal besleyici kullanılmaktaydı. Bu yöntemde, besleyicinin iç boşluğuna yerleştirici pime destek sağlayan üç kılavuz yerleştirilmiştir (Şekil 3).



Şekil 3: Kırıcı maçalı noktasal besleyici ile beslenen merkezi kütle

Bu yöntem, dikey kalıplama hattına noktasal beslemeyi uygulayan ilk yaklaşımdı. Bu uygulama tekniği metal dolgudan kaçınmayı sağlasa da bazı dezavantajlara sahipti:

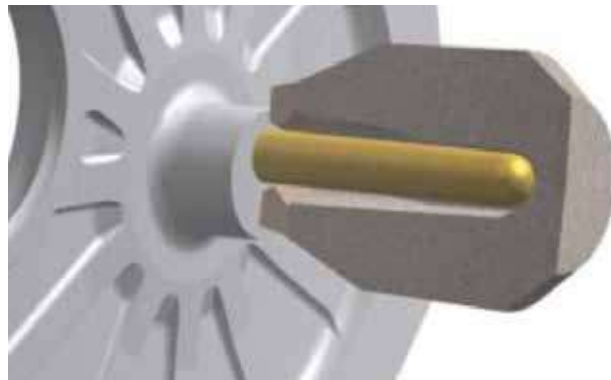
- Kırıcı maça etrafındaki alanda yetersiz kum sıkışması.
- Besleyicinin baskı plakası modeline manuel olarak uygulanmasıyla kalıplama sürelerinin uzayıp üretkenliğin azalması.

Bununla birlikte, besleme etkinliği açısından noktasal besleyicilerin uygulanmasıyla elde edilen ilk sonuçlar umut vericiydi. Ticari açıdan bakıldığında, otomatik besleyici gömleği uygulamasını mümkün kılmak için yöntemin daha da geliştirilmesi gerektiği açıktı. Bu nedenle, DISA kalıplama hatları için noktasal besleme uygulamasını daha da geliştirmek üzere bir proje başlatılmıştır.

Projenin ana hedefleri aşağıdaki gibidir:

- DISA kalıplama hattının çevrim süresini arttırmadan noktasal besleyicilerin uygulanması
- Kalıplama işlemi sırasında yeterli kum sıkışması sağlayabilecek besleyici gömleğinin tasarlanması.

Bu besleme gereksinimleri, katlanabilir bir metal kırıcı maça ile birlikte noktasal besleyicinin kullanılmasıyla sağlanmıştır. Kalıplama hattının döngü süresini korumak için bir maça ayarlayıcının kullanılması gerekmektedir. Kalıp, kalıplama haznesinden ileri doğru endekslediğinde, döner plakaya birkaç saniye boyunca yatay konumda erişebilmektedir. Bu süre, bir besleyici gömleğinin kalıp plakasına yerleştirilmesi için yeterlidir (Şekil 4).



Şekil 4: Besleyici gömleklerin yatay konumda döner plakaya uygulanması

Bir besleyici yerleştirme robotunun kullanılmasıyla, besleyici gömleklere döner plakaya uygulanması otomatik hale getirilebilir. Salıncak plakası kalıplama haznesinde yatay konumdan dikey konuma doğru hareket ederken, besleyicilerin yerleştirme pimleri üzerindeki konumlarını korumaları gerekmektedir. Bu gereksinimi karşılamak için iki seçenek bulunmaktadır:

- Pim tabanına yaylı bir bilye eklemek: Bu bilye, besleyici gömleği yerinde tutmakta ve yer belirleme piminden düşmesini engellemektedir.
- Yerleştirici pimin tabanında bir halka mıknatıs kullanmak: Bu mıknatıs, çelik metal maça ile birlikte besleyici gömleği yerinde tutmakta ve salıncak plakasının aşağı doğru hareketi sırasında besleyicinin sabit kalmasını sağlamaktadır.

Her iki yöntem de sahada başarıyla test edilmiştir, ancak yay tabanındaki mıknatıslı çözüm, bakım gerektirmeme gibi avantajlara sahiptir.

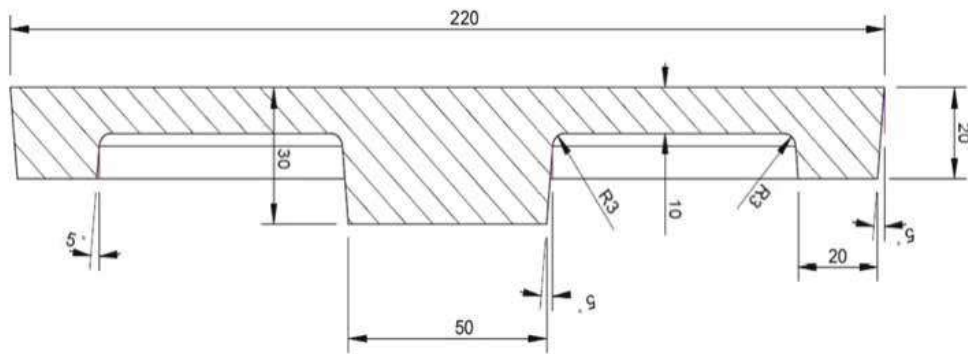
2. Deneysel Çalışmalar

Katlanabilir metal kırıcı maçalı noktasal besleyici gömleklere kalıplama davranışı, pratikte bir DISA kalıplama hattında test edilmiştir. Bu testlerde, metal maçanın kalıp yüzeyinde temiz bir temas alanı sağladığı ve besleyicinin altında mükemmel bir kum sıkıştırması olduğu doğrulanmıştır (Şekil 5).



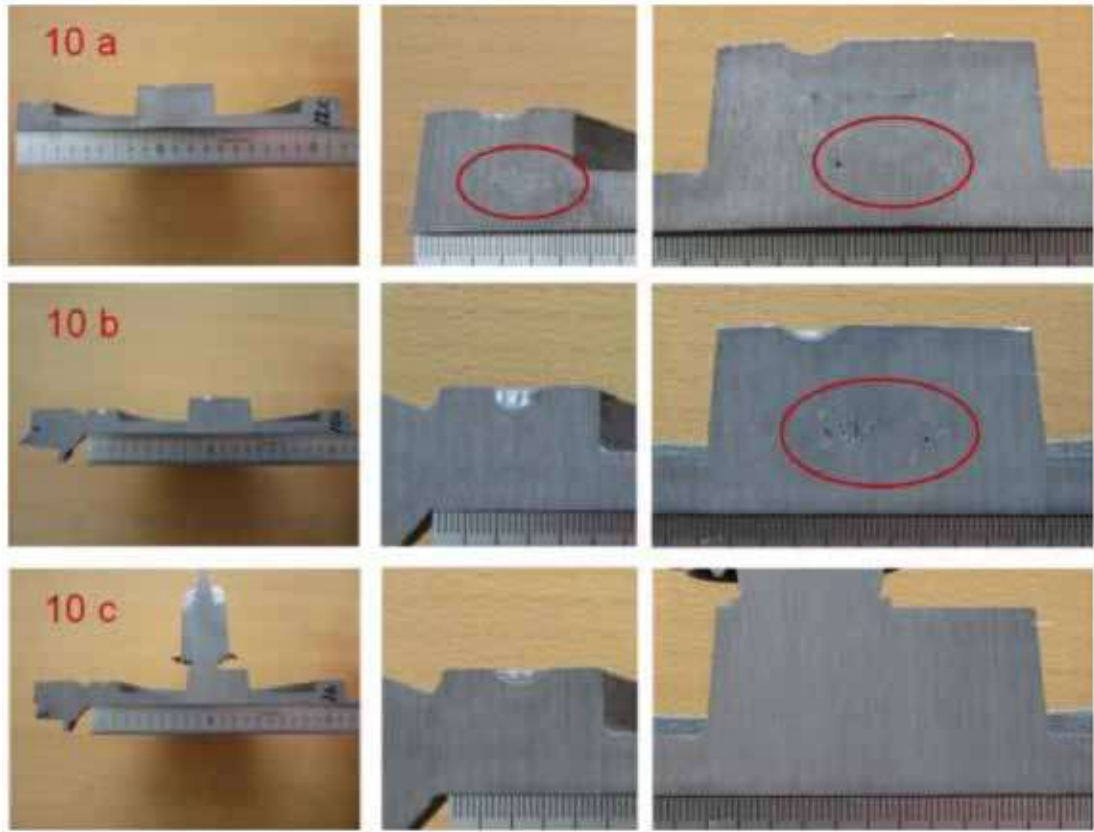
Şekil 5: Katlanabilir metal kırıcı maçalı genel bir plaka dökümünün kalıplama sonuçları

Noktasal besleyicilerin bir parça kesitinin merkezi konumundaki besleme performansını belirlemek için çeşitli test kurulumları değerlendirilmiştir. Bu denemeler, dökümün üstünden 10 mm'lik ince bir duvar kesitinden beslemenin mümkün olmadığı genel bir disk döküm üzerinde gerçeleştirilmiştir (Şekil 6).



Şekil 6: Genel bir disk dökümünün dizaynı

Farklı besleyici konfigürasyonları, 1405°C'de dökülen bir GGG 500 alaşımı ile test edilmiştir [Kimyasal bileşim: %3,7 C, %2,76 Si, %0,5 Mn, %0,015 P, %0,004 S, %0,044 Mg ve %0,25 Cu]. Bu hiperötektik sfero döküm bileşimi kullanılarak yapılan testler başarılı sonuçlar ortaya koymuştur. Döküm denemesi Şekil 7a, besleme gereksinimini ölçmek için boş bir test olarak gerçekleştirilmiştir. Hem flanş hem de başlık alanlarında çekinti gözlemlendi. Öte yandan, hem üstten hem de merkezi noktasal besleyici kullanılan döküm (Şekil 7c) sağlam bulunurken, sadece üstten besleyici kullanılan dökümde (Şekil 7b) merkez bölgesinde belirgin çekintiler gözlemlenmiştir.



Şekil 7a, 7b, 7c.: Farklı besleyici konfigürasyonlarını kullanarak döküm testleri

Test, yatay bir konumda kullanıldığında bile yüksek egzotermik bir noktasal besleyicinin, katlanabilir metal kırıcı maça ile birlikte etkili bir şekilde çalışabileceğini göstermiştir. Umut verici besleme sonuçları, mükemmel döküm kalitesi ve riser çıkarma özellikleriyle desteklenmiştir. Küçük temas alanı nedeniyle, çoğu besleyici kalıp bozma (shake-out) operasyonları sırasında düşmüştür. Metal kırıcı maçanın alt kısmına yerleştirilen çentik, düzgün bir kırılma bölgesi sağlayarak ilave taşlama işlemlerini azaltmakta veya tamamen ortadan kaldırmaktadır.

Bir başka çalışmada, kamyon kamyon braket dökümünde yapılan ek testler, noktasal besleme konseptinin uygulanabilirliğini ayrıca doğrulamıştır (Şekil 8). Bu durumda, metal dolgu olmadan ayırma hattından beslemenin mümkün olmaması nedeniyle, eğimli noktasal besleyiciler ve katlanabilir metal kırıcı maça kombinasyonu uygulanmıştır. Bu tasarım, döküm parçasına tutarlı bir besleme sağlamak için ek metalostatik basınç (maçanın eğimi nedeniyle) sağlamaktadır. Yine, gelişmiş metal maça tasarımı mükemmel döküm kalitesi sonuçları sağlamıştır (Şekil 9).



Şekil 8: (3) Eğimli noktasal besleyiciyle beslenen kamyon braketi dökümü



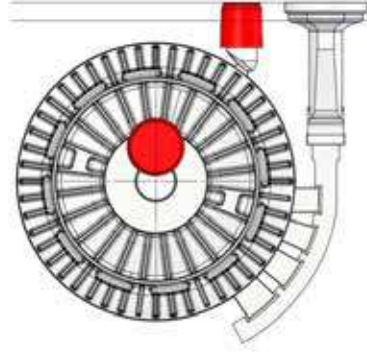
Şekil 9: Kesildikten sonra noktasal besleyici, minimum boyun ile kalır.

3. CHENG PAO DÖKÜMHANESİ, TAYVAN

Elde edilen olumlu sonuçlar, dökümhaneleri bu teknolojiyi benimsemeye teşvik etti. Bu dökümhanelerden biri de, 2021 yılında projemizin başlatıldığı Tayvan'daki CHENG PAO'dur. CHENG PAO, bu dönemde yeni kurulan DISA 2110 MK3'ü kullanmaya başlamış ve kendilerine FEEDEX* K ürünü önerilmiştir. Bu dökümhane, DISA 2110 MK3'ün kapasitesini tam olarak kullanmak için yüksek kaliteli ve zorlu dökümler yapmaktadır.

Başlangıçta kolay bir iş değildi ve süreç boyunca birçok zorlukla karşılaşıldı. İlk olarak, eski bir kalıplama makinesinden yenisine geçiş yapmak gerekiyordu. İkincisi, yeni kapasitelerini doldurmak için döküm arayışı da zorluklar yarattı çünkü hedefledikleri parçaların çoğu zaten yatay kalıplama hatlarında başarıyla üretiliyordu. Son olarak, daha yüksek döküm kalitesi ve güvenilirliği sağlarken, verimli makine kullanımına yönelik talep hiç bu kadar yüksek olmamıştı. CHENG PAO, geleneksel yaklaşıma meydan okumaya açıldı ve bu yeni besleme yaklaşımını geliştirmek için FOSECO ile çalışmak istiyordu.

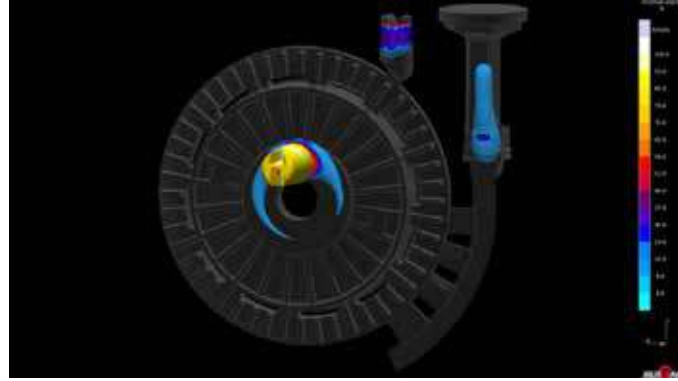
FEEDEX K'nın kullanılmaya başlanması, sonunda hepsi debriyaj parçaları olmak üzere üç metod projesinin talep edilmesiyle sonuçlandı. Bunlardan biri DISA 2110'daki bir debriyaj kapağı için, diğer iki parça ise FEEDEX besleyicilerin de kullanıldığı DISAMATCH 24/28 içindi. Bu denemeler, noktasal besleme için FEEDEX HD1 GK 4/7KW/ 34MH, üst besleyici olarak ekzotermik olmayan KALMIN* KSP 3/5KT besleyici gömleği ve filtreleme için SEDEX* US 40x40x11mm gerektirmektedir (Şekil 10).



Şekil 10: Model plakası düzeni

Döküm parçanın ortasındaki ağır bölüm dışarıdan beslenemez ve noktasal besleme gerektirmektedir. Optimum durumu geliştirmek için birkaç MAGMA simülasyonu gerçekleştirilmiştir. (Şekil 11)

İlk deneme Mart ayında on (10) kalıpla gerçekleştirilmiştir. Testler kum mukavemetinin düşük olduğunu, kalıp çekimlerinin yetersiz olduğunu, bazı besleyici gömleklerinin yetersiz uygulama nedeniyle kırıldığını ve döküm sıcaklığının çok düşük olduğunu ortaya koymuştur. Bir dizi düzeltici eylem uygulandı, ardından müteakip denemeler yapıldı ve Temmuz ayında döküm seri üretime geçti (Şekil 12 a+b).



Şekil 11: MAGMA sonucu / Katılma



Şekil 12: a+b. Besleyicinin kırılmasından sonra besleyicilerin ve parçanın kesit görüntüleri

1. SONUÇLAR

Bu başarı, FEEDEX kovanlarının iki debriyaj parçası ve beş diğer projede daha kullanılmasının önünü açtı. Bu proje sırasında CHENG PAO ve FOSECO arasında bir ortaklık gelişti ve bu ortaklık sayesinde, daha fazla döküm parçası bu yeni ram-up spot besleme teknolojisi kullanılarak başarılı bir şekilde metodize edilip beslendi.

2. KAYNAKÇA

1. Scherer, M., Alman Patenti No. 3418137, 02 Ekim 1986
2. Powell, C., Sällström, J., Pehrsson, J.E., Avrupa Patenti No.1567294, 5 Mayıs 2006

Tel Tretman Yönteminde Pota Geometrisi ve Tel Besleme Hızlarının Tel Magnezyum Tüketimine Etkisi

Mehmet Sadettin TURHAN
Kutes Metal Sanayi ve Ticaret A.Ş

ÖZET

Bu çalışma küresel grafitli dökme demirlerde sferolaşmanın sağlandığı tretman sistemlerinden biri olan tel tretman sisteminde kullanılan tel magnezyum (Mg) tüketiminin azaltılmasının incelenmesi amacı ile düzenlenmiştir. Araştırmada tel tretman sisteminde göz ardı edilebilecek ve uygulamaları genellikle deneme yanılma yöntemi ile belirlenen sıvı metal taşıma potası geometrisi ve tel Mg besleme hızları göz önüne alınmıştır. Pota geometrileri daraltılarak sıvı metal seviyesi yukarı çekilmiş tel besleme hızları 23 m/dk 25 m/dk 27 m/dk hızlarında denenerek tüketim farkları ortaya çıkarılmıştır. Pota geometrisinin değiştirilip daha dar uzun bir geometrinin kullanılması metal seviyesinin yukarıya taşınması ve tel hızının belli şartlar içinde en yüksek seviyeye ayarlanması tüketimleri aşağı yönde etkileyip verimliliği arttırdığı sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Küresel grafitli dökme demir, Tel tretman, Tel hızı, Tüketim, Verimlilik.

ABSTRACT

The study investigates the reduction of magnesium (Mg) wire consumption in the treatment system known as wire treatment, which ensures spheroidization in global graphite cast irons. Factors such as the geometry of the liquid metal transport ladle and the feed rates of Mg wire, often determined through trial and error in practice, are considered. By narrowing the ladle geometries and testing wire feed rates at speeds of 23 m/min, 25 m/min, and 27 m/min, consumption differences are elucidated. It is concluded that altering the ladle geometry to a narrower, elongated form, raising the metal level, and adjusting wire speed to the highest level under certain conditions positively influences consumption downwards and enhances efficiency.

Keywords: Ductile iron, Wire treatment, Wire speed, Consumption, Productivity.

1. GİRİŞ

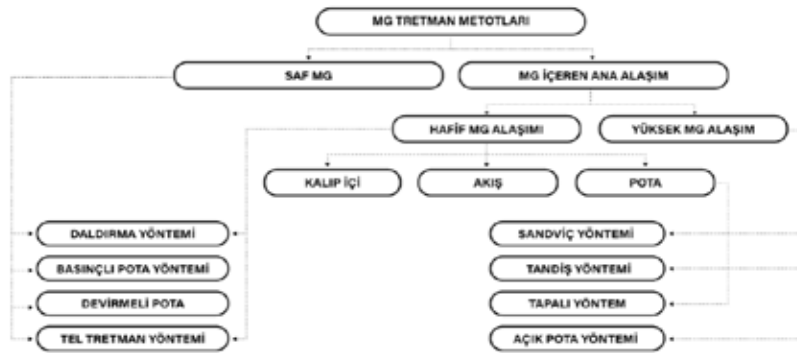
2. Dünya savaşı ile birlikte dökme demir ve demir çelik sanayiinde büyük gelişmeler yaşanmaya başlanmıştır. Savaş zamanında ülkelerin silah kapasitesi arttırmak ve geliştirmek amacıyla bu alanlara yatırım yapıp gelişmelerin önünü açılmıştır.

Küresel grafitli dökme demirin ortaya çıkışı lamel grafitli dökme demirleri neden gerekli özellikleri sağlayamadığı anlamaktan geçmektedir. Lamel grafitli dökme demirlerin mikroyapısı incelendiğinde faz içerisindeki grafitlerin yapraksı şekilde dağılım gösterdiği gözükmektedir. Grafitlerin yapraksı ve sivri uçları çatlak gibi davranıp mekanik özelliklerin düşük kalmasına neden olduğu tespit edilmiştir. Sıvı uçların küreselleştirmesi mekanik özelliklerinin artmasına neden olacağı ortaya çıkmıştır.

Küresel grafitli dökme demirler keşfedildikten sonra kullanım alanları hızla genişlemiştir. Üstün mekanik özellikleri, üretim kolaylığı, düşük maliyet avantajları sayesinde birçok alanda çeliğin yerini almıştır.

Küresel grafitli dökme demirler içerdikleri alaşım elementlerine bağlı olarak çeşitli matris yapılarında üretilebilirler. Matris yapısının yanında çökelen grafitlerin şekli boyutu ve sayısı malzemenin tokluk ve mukavemet değerlerini belirlemektedir. Küresel grafitlerin şekli boyutu ve sayısı küreselleştirici ilave oranlarına ilave yöntemlerine ve aşılama yöntemlerine bağlıdır. Aşırı küreselleştirici ilavesi mikroyapı da karbür oluşumuna yol açtığı gibi malzemede döküm boşluğu ve çekinti olarak adlandırılan hataların oluşmasına eğilimli hale getirebilir. Aşılama yönteminin malzeme türünü oranlarının doğru seçilmesi ile küresel grafitli dökme demirden beklenen mekanik özelliklerin sağlanmasının yardımcı olacaktır.

Küresel grafitli dökme demirde üretiminde küreselleştirme işlemleri için çok farklı yöntemler bulunmaktadır. Bunlar arasında yaygın olarak kullanılan ve bu çalışmanın ana konusunu oluşturan özlü mg teli ile küreselleştirme işlemi yapılmasıdır. Bu yöntem en önemli avantajı baz metaldeki kükürt Tretman sıcaklığı metal miktarının bilmemesi ve özlü Mg telinin bu değerlere göre verilebilmesidir.



Resim 1: Mg tretman yöntemlerinin sınıflandırılması (Lerner ve Panteleev, 2002)

Tel Mg teli ile işlem yapılırken Sfero döküm kalitesinin iyileştirilmesi sabit bir şekilde aynı kalitenin devam ettirmesi için Mg teli, Mg verimliliği, Tretman sıcaklığı, sıvı metal taşıma Tretman potalarının yapısı ve tel besleme hızları takip edilmektedir. Bu çalışmada dökümhanelerin gözünden kaçan sıvı metal taşıma potası geometrisi ve tel besleme hızları üzerinde çalışma yapılmıştır.

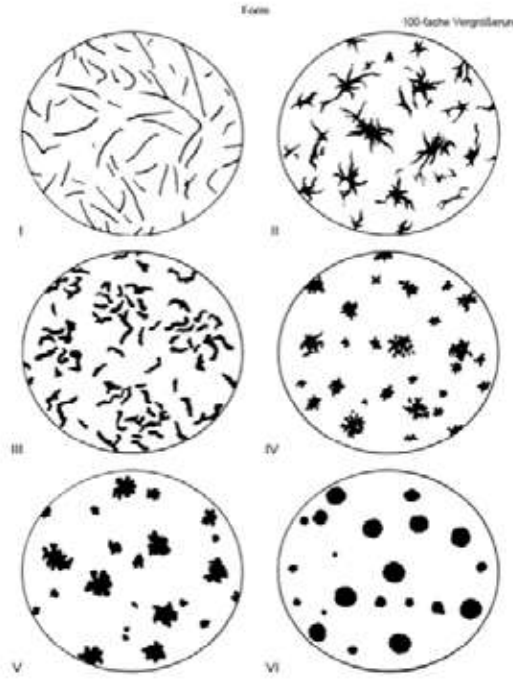
2.KÜRESEL GRAFITLİ DÖKME DEMİRLER

2.1 Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Karakterizasyonu

Dökme demir alaşımları başlıca demir karbon silisten tarafından oluşmaktadır. Diğer alaşım elementleri bakır kalay krom manganez gibi elementleridir. Alaşım elementleri üretilen parçadan istenilen mekanik özelliklerin sağlanabilmesi için belli oranlarda eklenmektedir.

Dökme demirler karbonun katılma morfolojisine göre iki ana gruba ayrılır. Karbonun sementit olarak katılması durumunda beyaz dökme demir. Karbonun grafit olarak katılması durumunda dökme demir olarak ayrılmaktadır. Dökme demirler katılma sırasında oluşan grafit tanelerinin şekline göre sınıflandırılmaktadır.

- Lamel grafitli dökme demir
- Küresel grafitli dökme demir
- Kompakt grafitli dökme demir



Resim 2: DIN-EN 9445-1:2008 standardına göre dökme demirlerin sınıflandırılması I) Lamel grafitli dökme demir III) Kompakt grafitli dökme demir VI) Küresel grafitli dökme demir

2.2 Küresel grafitli dökme demirlerin üretimi

Küresel grafitli dökme demir üretimi süreci kullanılan malzeme yöntem ve çalışma şartlarına göre farklılar gösterebilmektedir.

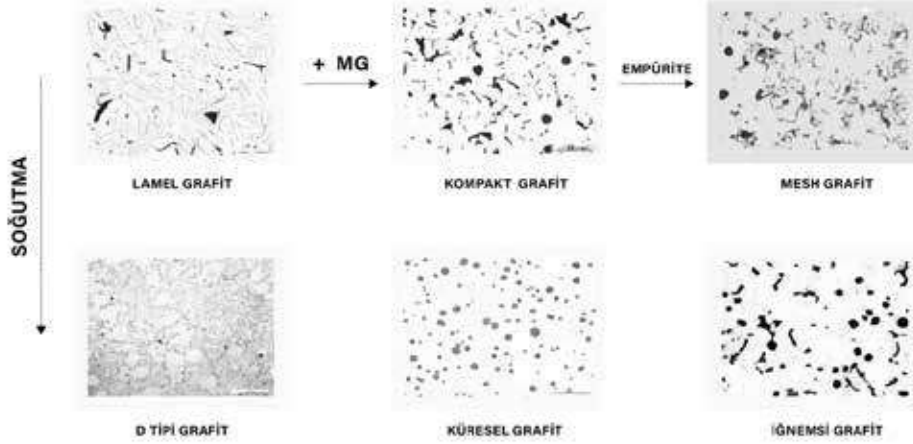
2.2.1 Ergitme

Ergitme işlemi genelde orta frekanslı indüksiyon ocakları kullanılarak yapılmaktadır. Ergitme işleminde yarı mamul olarak çelik hurdası düşük çöp element içeren pik demir (düşük kükürt fosfor manganez) ve sfero geri döndü malzeme (yolluk sakat parça besleyici) kullanılmaktadır. Kupol ocakları da küresel grafitli dökme demir üretiminde kullanılabilir fakat bazı sıvı metalde ergitme prosesinde dolayı yüksek kükürt ihtiva eder ($S > 0,02$) kükürt oranının azaltılması için farklı işlemler yapılması gerektiğinden dolayı tercih sebebi değildir.

Üretilecek parçaların mekanik özelliklerine göre sıvı metale alaşım elementleri eklenerek alaşım-lama işlemi yapılır. Küresel grafitli dökme demirin mikroyapısının ferrit olması isteniyorsa bakır, kalay, manganez oranlarının belli sınırların altında olması gerekmektedir. Küresel grafitli dökme demirin mikroyapısının perlitik olması isteniyorsa belli oranlarda bakır veya kalay ilave edilmesi gerekmektedir.

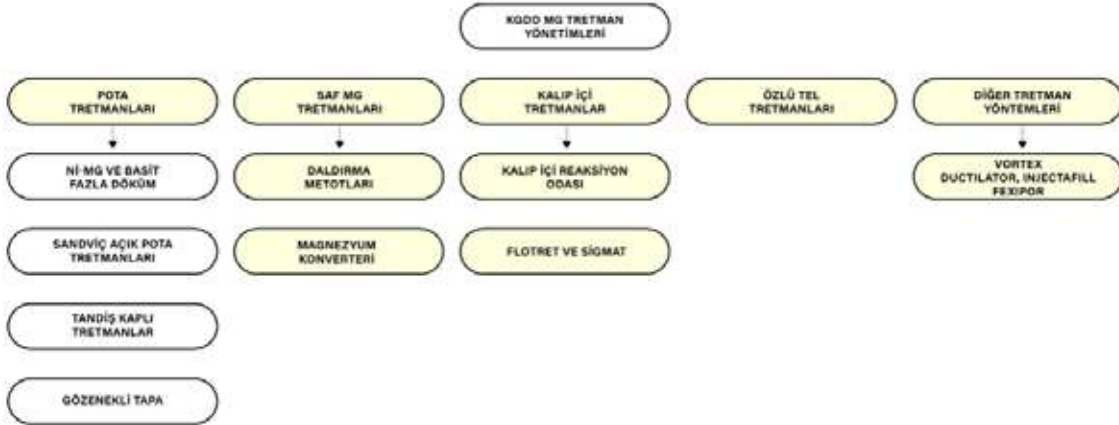
2.2.2 Küreselleştirme işlemleri

Küresel grafitli dökme demirin üretiminde grafitin küre şeklinde çökebilmesi için tretman olarak tabir edilen işlemde geçmesi gerekmektedir. Sıvı metale farklı yöntemlerle ilave edilen Magnezyum (Mg) veya Seryum (Ce) Lantanyum (La) elementleri sıvı metaldeki oksijen ve kükürt seviyeleri önemli oranda düşürür. Kükürt ve oksijenin sıvı metaldeki oranlarının düşmesi ile yüzey geriliği azalır, azalan yüzey gerilimi ile grafitlerin nihai katılma sırasında küreye benzeyen çökmesi sağlanır. Küreselleştirme işlemlerinin en çok tercih edilen alaşım elementi Magnezyumdur. Mg maliyet ulaşılabilirlik ve kullanım kolaylığı gibi avantajları nedeniyle tercih edilmektedir.



Resim 3: Soğuma hızına bağlı olarak Mg ilavesi sonrası oluşan mikroyapı (Lacaze vd. 2020)

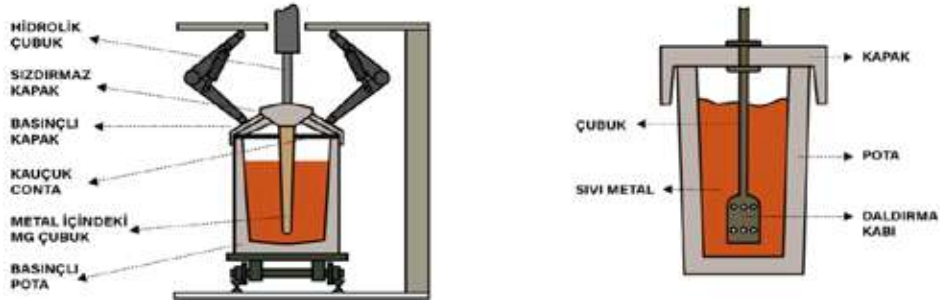
Magnezyum tretman sonrası oluşan mikroyapı ile soğuma hızı arasında bağlantı vardır (Resim 3). Mg ilavesi ile kompakt bir yapı oluşmuştur, aşırı soğuma şartları ile küresel yapıya geçiş sağlanmıştır.



Resim 4: Küreselleştirme Yöntemleri (Gang, 2003)

• Daldırma Yöntemi

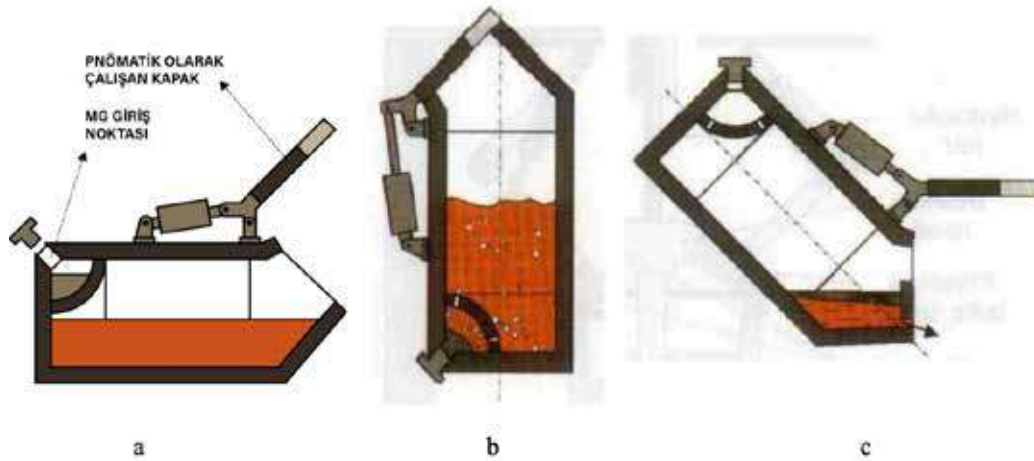
Magnezyumun yüzmesini engellemek için uygulanan bir yöntemdir. Küreselleştirme işleminde kullanılacak Mg refrakter özelliğe sahip bir kaba koyulur sıvı metal içerisine daldırılır. Yüksek verim ile çalışabilen bir sistemdir dezavantajı ise sıvı metalin aşırı derece soğumasıdır.



Resim 5: Daldırma yöntemi ve sızdırmaz pota örnekleri (Lerner and Pantelev ,2002)

• Konvertör Yöntemi

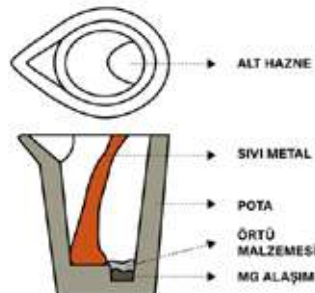
Konvertör (Devirmeli) sistemlerde pota yatay şekilde kullanılmaktadır. Potanın alt tarafında Mg koymak için bir cep bulunmaktadır. Sıvı metal potaya alındığında pota yatay durumda olduğundan dolayı tepkime oluşmaz pota dik duruma getirilip sıvı metal Mg ile tepkime oluşturması sağlanır. Yüksek verim daldırma yöntemine göre daha güvenli bir sistemdir.



Resim 6: Konvertör Yöntemi (Lerner and Pantelev ,2002) a) yatay pozisyon sıvı metalin alınması b) potanın dik pozisyona getirilmesi Mg tretmanı c) Mg tretman sonrası sıvı metalin konvertörden alınması

• Açık pota Yöntemi

Açık pota tretman yönteminde potanın tabanına Mg yerleştirilip sıvı metal pota alınır. Mg verimi potanın açık olmasından dolayı düşüktür ve tepkime sonucunda oluşan yüksek reaksiyon kuvvetinden dolayı tehlikeli bir yöntemdir.



Resim 7: Açık pota yöntemi (Lerner and Pantelev ,2002)

• Tandış pota yöntemi

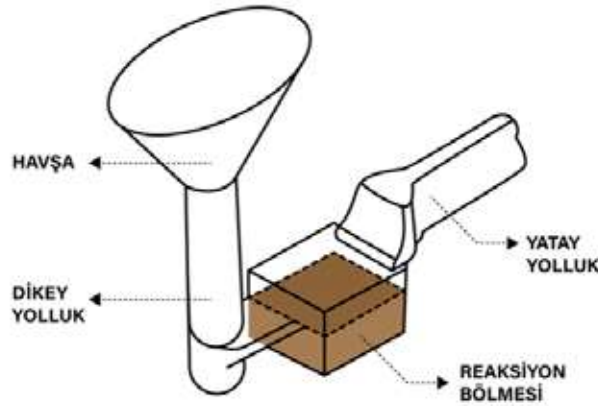
Tandış pota yönteminde açık potadan farklı olarak kapak vardır kapak Mg tretman sırasında Mg dumanını hapsederek Mg verimini arttırmakta ve metal sıçramaları önüne geçerek güvenli bir çalışma olanağı sunmaktadır. Ayrıca pota tabanında iki bölmeli göz bulunmaktadır. Gözler kapak deliğinin simetriğinde bulunmayan cebine Mg eklenir. Burada amaç potada belli bir miktar sıvı metal olduğunda tretmanın başlamasının istenmesidir böylelikle Mg veriminin artması sağlanmaktadır.



Resim 8: Tandış pota Yöntemi (Lerner and Pantelev ,2003)

• Kalıp içi tretman yöntemi

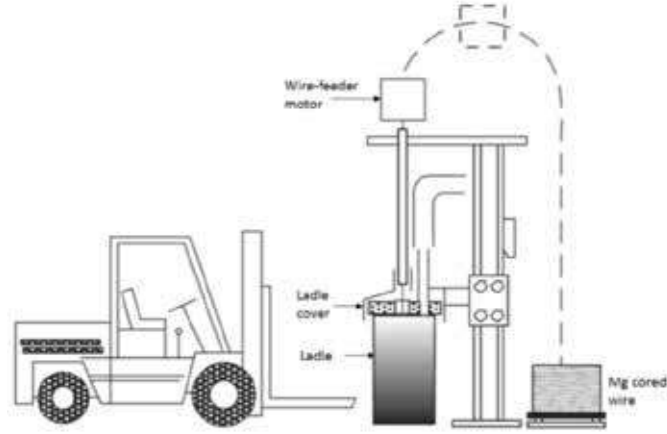
Kalıp içi tretman yönteminde kalıp montajı sırasında genellikle dikey yolluk ile yatay yolluk arasında Mg reaksiyonun gerçekleşeceği bir bölüm oluşturulur ve bu bölüme Mg yerleştirilir. Kalıp içi tretman yönteminin verimi çok yüksektir ve sıcaklık kayıpları minimum seviyelere iner. Bunları yanında en büyük dezavantajı cüruf hatalarının yaşanma olasılığının yüksek olmasıdır.



Resim 9: Kalıp içi tretman yöntemi (Lerner and Pantelev ,2003)

• Özlü tel ile tretman yöntemi (Tel Tretman)

Mg içeren belli bir çapa sahip tel kapalı potaya sıvı metaldeki kükürt, sıvı metal sıcaklığı ve sıvı metal miktarına göre PLC kontrolü ile hesaplanan miktarda tel vermesi işlemidir. Üretim süreçlerinde verimi çok farklı parametreler etkilemektedir. Bunlar yukarıda da bahsettiğimiz gibi sıcaklık kükürt oksijen miktarı sıvı metal miktarı potaya tel verme hızı tretman potasının geometrisi. Bu parametreler kontrol altına alındığında operatöre gerek duyulmayan sistem olduğu için seri ve hatasız üretim yapılabilir.



Resim 10: Özlü tel ile tretman yöntemi (Vitor Anjos, 2015)

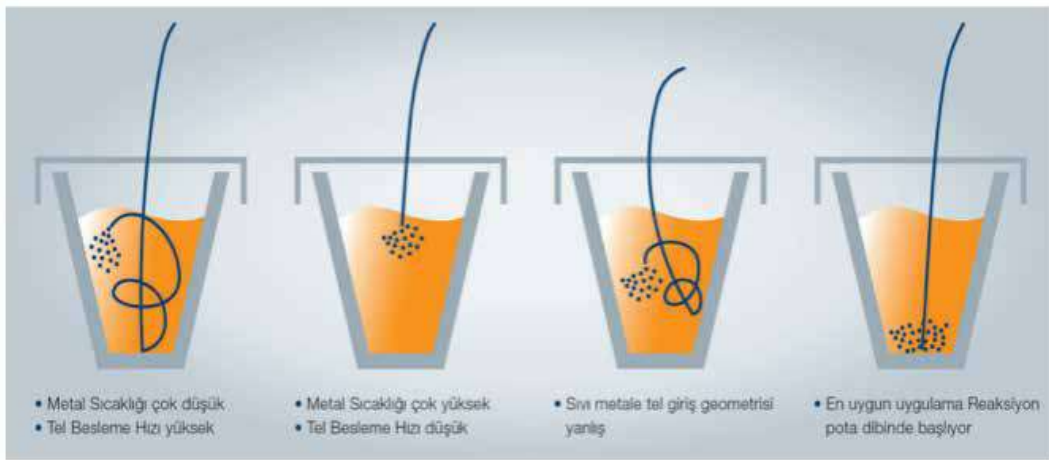
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Tel tretman yöntemi kullanılarak yapılan üretimlerde kontrol edilmesi zor olan ve her döngüde parametre verileri sabit kalsa dahi üretim şartları gereği etkisi değişkenlik gösteren Mg telininin (özlü tel) sıvı metal potasına verilmesi hızı (Tel besleme hızı) ve sıvı metal potasının geometrisi bu çalışmada incelenmiştir.

3.1 Tel besleme hızı

Mg teli iki kısma ayrılır. Bunlar Tel çerperini oluşturan çelik şerit ve Mg ve diğer alaşım elementlerini tozlarıdır. Mg teli sıvı metale girdikten sonra sıvı metalin ısı konveksiyonu yoluyla Mg telin çelik şeridine aktarılır ve çelik şeritte ısı artmaya başlar tel besleme hızının artırılması ve azaltılması Mg telinin sıvı metal potasının hangi bölgesinde tretman işleminin başlamasının istenildiğine göre karar verilmektedir.

Verimi yüksek ve sağlıklı bir küreselleştirme işlemi yapılması için Mg telinin sıvı metal potasının tabanına olabildiğinde yakın bir konumda tepkime başlaması istenilir. Tel çok yavaş bir hızda sıvı metala verildiğinde Mg tepkimesi sıvı metalin üstünde gerçekleşir ve düşük verim bozuk küresel yapılar görülür. Yüksek hızlarda Mg telinin verilmesi telin pota tabanına çarpıp kıvrılmasına ve yine düşük verim bozuk küre yapılarına neden olacaktır.



Resim 11: Mg Tel hızının etkisi ve sonuçları (M.Jonuleit , W.Maschke)

Yapılan denemelerde sabit Mg teli, tretman sıcaklığı, kükürt oranı ve sıvı miktarı ile çalışılmıştır. Tel besleme hızları 23 m/dk başlanmış olup kademeli olarak arttırılmıştır. Kalıcı Mg oranlarına tel verimleri PLC tarafından hesaplanıp verile toplanmıştır.



Tablo 1: Tel besleme hızları ve Mg verimi arasındaki ilişki

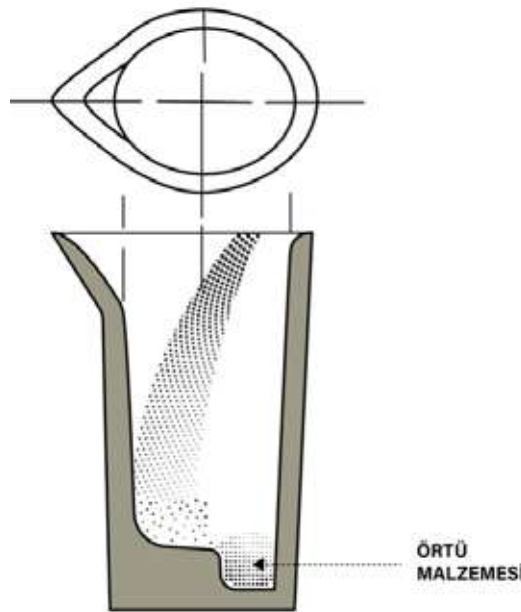
3.2 Tretman potası geometrisi

Mg tel tretman yönteminde uzun ve dar pota tasarımları tercih edilmelidir. Bu tür pota tasarımlarında sıvı metal seviyesi yüksek olacağından Mg buharı sıvı metal içinde daha fazla kalacaktır ve sıvı banyoyu yıkama süresi artacak sıvı metalde daha fazla Mg kalması sağlanacaktır.

Sıvı metal potasının dar ve uzun olması yüzey alanının az olması atmosfere açık sıvı metal yüzeyinin dar olması nedeniyle ısı kayıpları azalacaktır ve daha az cüruf oluşumunu sağlayacaktır.

Bu deneysel çalışmamızda kullandığımız sıvı metal taşıma potalarının şablonlarının daraltılıp boyları uzatıldı ve pota yüksekliği (h) çap oranı () 2:1 oranı sağlanıp denemeler yapılmıştır.

Yapılan denemeler sırasında sabit sıvı metal miktarı sabit Mg teli ve verimlilik sabit kimyasal analiz verileri kullanılmıştır.

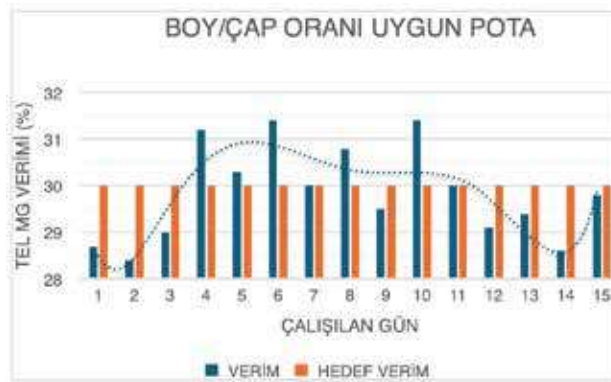


Resim 12: Kullanılan eski pota

Bir aylık deneme süreci içerisinde 15 gün süre ile pota boyu ve çap oranı uygun olmayan pota üretim yapılmış ve veriler tutulmuştur. Diğer 15 gün boyunca pota boyu çapı uygun pota ile çalışma yapılmış ve veriler tutulmuştur.



Tablo 2: Boy çap oranı uygun olmayan pota ile yapılan deneme çalışması sonuçları



Tablo 3: Boy çap oranı uygun pota ile yapılan deneme çalışması sonuçları

4. DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, tel tretman potası geometrisinin ve tel besleme hızının tel Mg tüketimine etkisi detaylı olarak incelenmiştir. Deneysel veriler ve yapılan analizler ışığında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

4.1. Tel Besleme Hızının Etkisi

Tel besleme hızları, sıvı metalin seviyesi ve sıcaklığı baz alınarak belirlenmiştir. Denemelerde sabit Mg teli tretman sıcaklığı ve kükürt oranı ile çalışılmıştır. Tel hızları 23 m/dk'dan başlanarak kademeli olarak arttırılmıştır. Elde edilen sonuçlar:

- Düşük Tel Hızları: Mg telinin sıvı metalin üst pozisyonlarında tepkimeye girmesi, Mg verimini düşürmüştür. Bu durumda, Mg buharı sıvı metal yüzeyine daha hızlı ulaşmış ve buharlaşma kayıpları artmıştır.
- Yüksek Tel Hızları: Telin sıvı metalin alt pozisyonlarında Mg tretman başlaması, Mg verimini yükseltmiştir. Bu durumda, toplamda sıvı metale giren Mg miktarı düşmüş, ısı kayıpları azalmış ve cüruf oluşumu minimum seviyede tutulmuştur.

4.2. Pota Geometrisinin Etkisi

Deneylerde kullanılan potaların boy ve çap oranları değiştirilerek farklı geometrilerle çalışmalar yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar:

- Boy/Çap Oranı Uygun Olmayan Pota: Bu potalarda yapılan denemelerde, sıvı metal seviyesi düşük olduğundan Mg buharı sıvı metal banyosunu yeterince yıkayamamış, bu da Mg veriminin düşmesine neden olmuştur.
- Boy/Çap Oranı 2:1 Olan Pota: İdeal tretman potası olarak belirlenen bu oranda, sıvı metal seviyesi yüksek tutulmuş, Mg buharı tüm banyoyu yıkayarak daha homojen bir dağılım sağlamıştır. Bu da Mg verimini artırmış, cüruf oluşumunu ve ısı kayıplarını azaltmıştır.

4.3. Optimum Pota Tasarımı ve Refrakter Malzeme Kullanımı

İdeal pota ölçülerinin oluşturulması, refrakter astar ölçülerinin arttırılması ile yapılmıştır. Bu durumun avantajları:

- Refrakter Malzeme Kullanımı: Refrakter malzemenin sinterleme süreleri artmış, astar kalınlığı arttıkça sürekli dökümlerde ısı kayıpları düşmüş ve refrakter kullanım ömrü uzamıştır.
- Isı Kayıpları: Dar ve uzun pota tasarımları, yüzey alanının azalması ve atmosfere açık sıvı metal yüzeyinin dar olması nedeniyle ısı kayıplarını azaltmıştır. Bu da enerji tasarrufu sağlamıştır.

4.4. Pratik Uygulamalara Yansımaları ve Döküm Sanayiine Katkıları

4.4.1. Pratik Uygulamalara Yansımaları:

- İşletme Verimliliği: Optimum tel besleme hızı ve pota geometrisi kullanılarak, Mg verimi maksimum seviyeye çıkarılabilir. Bu, işletme maliyetlerini düşürür ve üretim süreçlerini daha verimli hale getirir.
- Enerji Tasarrufu: Azalan ısı kayıpları ve optimum Mg tretman sayesinde enerji tüketimi azaltılabilir. Bu da işletme maliyetlerini düşürürken çevresel etkiyi de azaltır.
- Ürün Kalitesi: Homojen Mg dağılımı, ürün kalitesini artırır ve istenmeyen mikroyapı oluşumlarını minimize eder. Bu, son ürünlerin mekanik özelliklerini iyileştirir ve müşteri memnuniyetini artırır.
- Bakım ve Onarım: Refrakter malzeme kullanımının optimize edilmesi, potaların daha uzun süre kullanılmasını sağlar. Bu da bakım ve onarım maliyetlerini azaltır.

4.4.2. Döküm Sanayiine Katkıları:

- Maliyet Azaltma: Tel Mg tüketiminin optimize edilmesi, ham madde ve enerji maliyetlerini düşürür. Bu da toplam üretim maliyetlerini azaltarak döküm sanayiine ekonomik avantaj sağlar.
- Çevresel Sürdürülebilirlik: Daha düşük enerji tüketimi ve azaltılmış cüruf oluşumu, çevresel etkileri azaltır ve sürdürülebilir üretim yöntemlerini teşvik eder.
- Rekabet Avantajı: Optimum üretim teknikleri ve maliyet avantajları, döküm sanayii işletmelerine rekabet avantajı sağlar. Bu, ulusal ve uluslararası pazarlarda daha güçlü bir konum elde etmelerine yardımcı olur.
- Teknolojik İlerleme: Bu tür çalışmalar, döküm sanayiinde teknolojik ilerlemeyi teşvik eder ve yenilikçi üretim yöntemlerinin geliştirilmesine katkıda bulunur.

Sonuç olarak, bu çalışma tel tretman yönteminde pota geometrisinin ve tel besleme hızının doğru optimizasyonu ile önemli avantajlar sağlayarak döküm sanayii için değerli katkılar sunmaktadır. Bu bulgular, endüstriyel uygulamalarda kullanılarak daha verimli üretim süreçlerine katkı sağlayacaktır.

5.KAYNAKLAR

- [1] Yılmaz , A.Y. , 2019 , Küresel grafitli dökme demirlerde termal analiz yöntemi ile karbon eşdeğerliğinin tayini mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisinin incelenmesi , Yüksek Lisans , Sakarya Üniversitesi
- [2] Şahiner Ş. , 2023 , EN-GJS-400-15 Sünek dökme demirlerde farklı tür aşılایıcıların mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisi , Yüksek Lisans , Kocaeli Üniversitesi
- [3] G.W. Chang , “ Research of the feeding speed adopting cored-wire method to spheroidize ductile iron melt ” , Acta metallurgica , Vol.21 , pp362-368 , 2008

- [4] V.Anjos , 2015 , Use of thermal analysis to control the solidification morphology of nodular cast iron and reduce feeding needs , PhD thesis , Duisburg-Essen University
- [5] I.B. Imosogie , “Ductile iron production technology:a review” , Ife journal of technology , Vol.23(2) , 24-35 , 2015
- [6] Lerner, Y. S. and Panteleev, G. V. “Magnesium Treatment in Ductile Iron Production”, Part I. Foundry Management and Technology, www.foundrymag.com, 25-31, 2002.
- [7] Lerner, Y. S. and Panteleev, G. V. “Magnesium Treatment in Ductile Iron Production. Part 2. Foundry Management and Technology”, www.foundrymag.com, 24-26, 2003.

Strength, Life and Damage Calculations of Optimized Rear Lower Control Arm by Using Finite Element Analysis

Fahrettin AYDEMİR*, Gürcan ENACAR*

*Döktaş Dökümcülük Ticaret ve Sanayi A.Ş., Manisa, Türkiye.

ABSTRACT

Finite element analysis studies were conducted on a rear lower control arm component manufactured from Al-Si7Mg, adhering to automotive standards for strength, durability, and damage calculations. Areas failing to meet requirements underwent optimization then analyses are repeated. Subsequently, fatigue limit tests were performed on the material. Although the observed fatigue limit was approximately 105 MPa, for safety considerations, this value was accepted as 100 MPa. Analytical studies assuming catalog value fatigue limit of 80 MPa revealed an estimated fatigue life of approximately 800,000 cycles in the bushing connection area, while considering 100 MPa, fatigue life exceeding 1,000,000 cycles was observed.

Keywords: Control Arm, Finite Element Method, Optimization, Fatigue, AlSi7Mg

1. INTRODUCTION

Control arm is one of the fundamental safety components of a vehicle's suspension system. The AlSi7Mg alloy is a frequently preferred aluminum alloy in suspension systems, primarily due to its weight advantage and strength properties [8]. In the automotive sector, the AlSi7Mg alloy is commonly utilized, particularly in the casting of safety components, often in conjunction with T6 heat treatment. This combination enhances the strength values, facilitating the more comfortable fulfillment of safety requirements for automotive parts. The AlSi7Mg material used in conjunction with T6 heat treatment is acknowledged as an ideal option for structural applications subjected to high fatigue conditions, such as suspension components, automotive wheels, engine blocks, cylinder heads, and chassis [1].

Within the scope of this project, initially, the existing 3D model was refined to develop the rear lower control arm component. Subsequently, finite element analyses were conducted by applying four different load conditions to the part's seven connection points from specific directions. Following loading conditions simulating accidents and minor collisions, the objective was to ensure that the observed elastic tensile elongation on the part remained below specified values. For maximum load applications, it was anticipated that the observed stress values on the part would be lower than the material's minimum yield strength, while for fatigue loading scenarios, the aim was for the component to withstand 1,000,000 cycles.

As known, factors such as casting, heat treatment, machining, and painting parameters are among those influencing the properties of the material [1]. Therefore, to address this, standard-compliant samples were obtained from a control arm component cast with similar parameters, and fatigue tests were conducted under various stresses at a frequency of 20 Hz [6]. Subsequently, the fatigue limit value for the material used was determined. This fatigue limit data was integrated into the Altair software, allowing for the reiteration of lifespan and damage calculations through finite element analysis on the optimized design, in accordance with the specified requirements.

2. EXPERIMENTAL STUDIES

2.1. Material Characterization:

Tensile test data was utilized to obtain the material properties necessary for finite element analysis. The tests were conducted on AlSi7Mg-T6 control arm components manufactured using the LPDC method by Döktaş. The tensile test specimens were obtained in accordance with DIN 50125 standard [11].

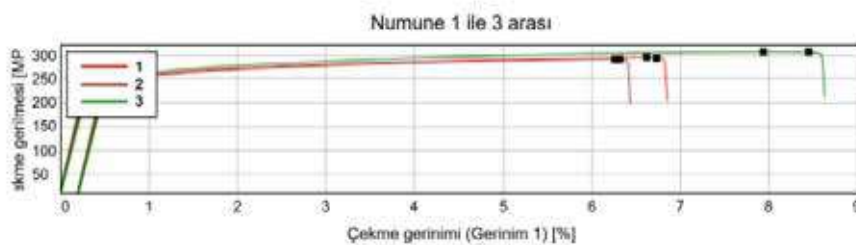


Figure 1:: The stress-strain curve obtained from the tensile tests

These data obtained from the tensile tests have been processed through engineering and true stress-strain transformation calculations to make them suitable for analysis.

$$\epsilon_{tr} = \ln (1+ \epsilon_{eng}) \quad [1]$$

$$\sigma_{tr} = \sigma_{eng} (\epsilon_{eng} +1) \quad [2]$$

After the necessary transformations, a stress-plastic strain graph suitable for finite element analysis has been obtained as follows:

ϵ_{tr} = True Strain

ϵ_{eng} = Engineering Strain

σ_{tr} = True Stress

σ_{eng} = Engineering Stress

After the necessary transformations, the stress-plastic strain graph suitable for finite element analysis has been obtained like Figure 2.

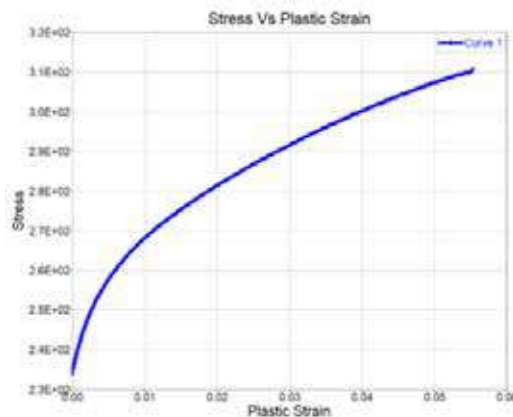


Figure 2: The stress-plastic strain graph used in Altair Simlab

2.2. Fatigue Test Based on Cycle:

The specimens used to determine the fatigue limit value of the control arm casting were extracted from AISi7Mg-T6 control arm parts produced at Döktaş using the LPDC method. Fatigue specimens were prepared in accordance with ASTM E 466 standard [10]. As shown in Figure 3, the tests were conducted on a Shimadzu EHF-EV200k2-040-0A model fatigue testing machine. When calculating the fatigue limit values, adherence to the requirement of 1,000,000 cycles was aimed. Furthermore, to ensure the safety margin of the testing machine, the cycle limit was set at 1,500,000 cycles [1][6].



Figure 3: Fatigue Limit Test Specimen [1]



Figure 4: Test Configuration and Fatigue Limit Test Specimen [1]

The data obtained from the test are listed in the table below. According to the catalog values of the material, the fatigue limit is 80 MPa. However, based on these tests, the fatigue limit of the control arm casting part is observed to be approximately 105 MPa. To ensure safety, this value has been accepted as 100 MPa.

Product Code	Maximum Stress (MPa)	R	Frequency (Hz)	Cycle Limit	Cycle	Status
Sample 1	95	0.1	20	1,500,000	1,151,157	Damaged
Sample 2	100	0.1	20	1,500,000	1,102,826	Damaged
Sample 3	105	0.1	20	1,500,000	1,500,000	Intact
Sample 4	110	0.1	20	1,500,000	590,584	Damaged
Sample 5	105	0.1	20	1,500,000	1,386,388	Damaged
Sample 6	110	0.1	20	1,500,000	495,603	Damaged
Sample 7	105	0.1	20	1,500,000	1,065,295	Damaged
Sample 8	105	0.1	20	1,500,000	1,500,000	Intact
Sample 9	105	0.1	20	1,500,000	1,500,000	Intact

Table 1: Fatigue Limit Test Results for the Material

2.3. Finite Element Analyses:

Firstly, a new model was designed while preserving the strength points from the raw data, and analyses were conducted based on this model. Subsequently, a second model was designed by making optimizations specific to areas that did not meet the requirements, and analyses were similarly conducted using this optimized new model. Finally, to observe the effects of the fatigue limit, fatigue analyses were performed by integrating the fatigue limit test data into the second model [2][3].

The 3D rear lower control arm model was designed using Siemens NX, based on the raw model, and transferred to the simulation environment. In the analysis results, the part initially designed based on the raw model is referred to as Model 1, and the optimized part is referred to as Model 2. The S-N curve and mechanical properties of the AlSi7Mg-T6 material were defined in Altair Simlab software using test data.

The rear lower control arm model was meshed with an average grid size of 3 mm. Additionally, a denser mesh structure was applied to areas with boundary conditions and regions identified as critical [4][5]. In this project, a non-linear solver type was used geometrically. Below, you can see the locations of boundary condition for the rear lower control arm model.

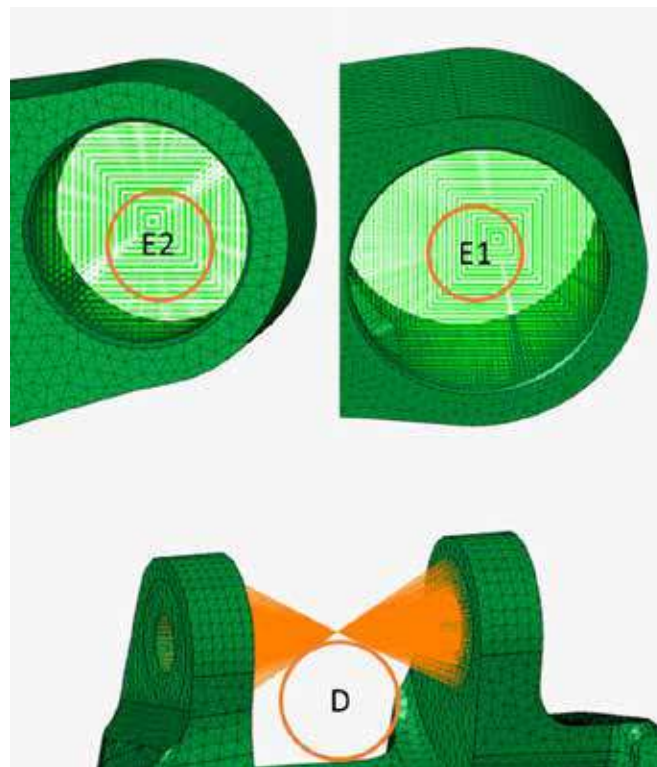


Figure 5: The hard points of the model used in the analyses

In the analysis studies, the degrees of freedom were constrained in the X, Y, and Z directions for location E1. For location E2, the degrees of freedom were constrained in the Y and Z directions. For location D, only the degree of freedom in the Z direction was constrained.

Seven different loading conditions were applied to four types of loading conditions at seven different locations in the analysis model, including accidents, minor accidents, maximum load, and fatigue conditions. Different boundary conditions and pass limit criteria were determined for each type of loading condition. After the loading conditions simulating accidents and mi-

nor accidents, the objective was to ensure that the observed elastic tensile elongation on the part remained below specified values. For maximum load applications, it was expected that the observed stress values on the part would be lower than the material's minimum yield strength, while for fatigue loading scenarios, the aim was for the component to withstand 1,000,000 cycles. In total, 65 different analysis scenarios were run.

Fatigue load conditions are indicated by load cycles, and each load cycle is created as shown in the figure.

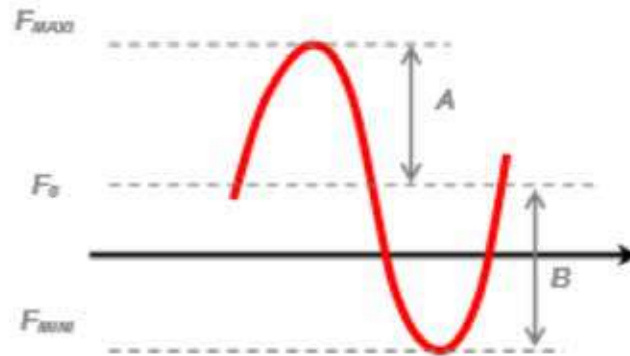


Figure 6: The fatigue load cycle

Under critical fatigue conditions, various force values were applied within the following ranges for 7 loading points:

- In the F_x direction: from -972 to +700 daN
- In the F_y direction: from -1070 to +7335 daN
- In the F_z direction: from -1486 to +1107 daN

Under critical loading conditions, various force values were applied within the following ranges for 7 loading points:

- In the F_x direction: from -2218 to +1774 daN
- In the F_y direction: from -5962 to +4617 daN
- In the F_z direction: from -1366 to +808 daN

Additionally, various torque values within the range of -1 to +1 daN.m were applied in each of the three rotation directions.

3. RESULTS

In the finite element analysis conducted for the rear lower control arm suspension component, numerous different scenarios were analyzed. The critical situations observed as a result of the force and moment inputs described in the experimental studies section can be readily examined in this section.

In the analysis results, the part initially designed based on the raw model is referred to as Model 1, and the optimized part is referred to as Model 2.

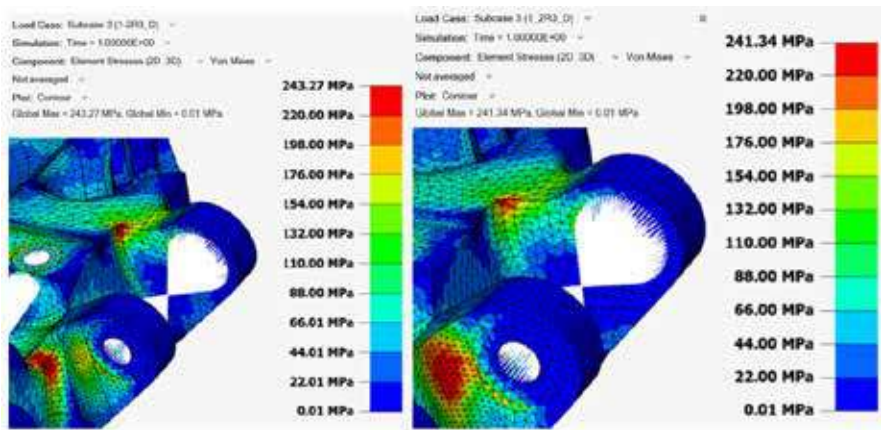


Figure 7: The stress result for the most critical accident condition (Model 1 and Model 2)

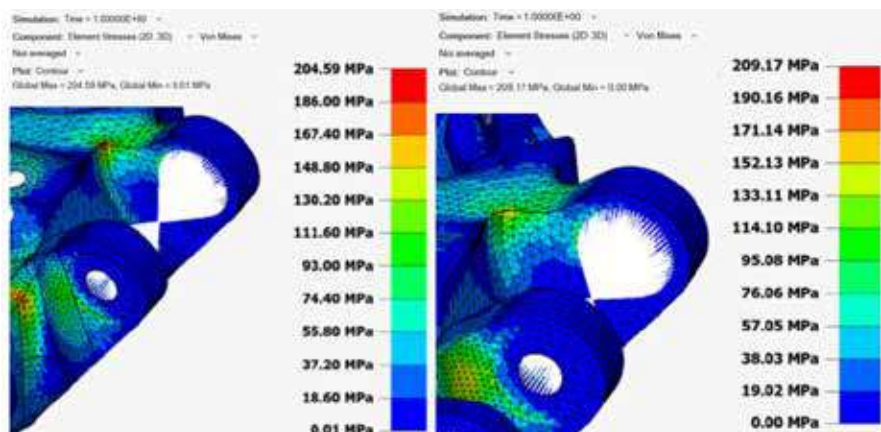


Figure 8: The stress result for the most critical minor accident condition (Model 1 and Model 2)

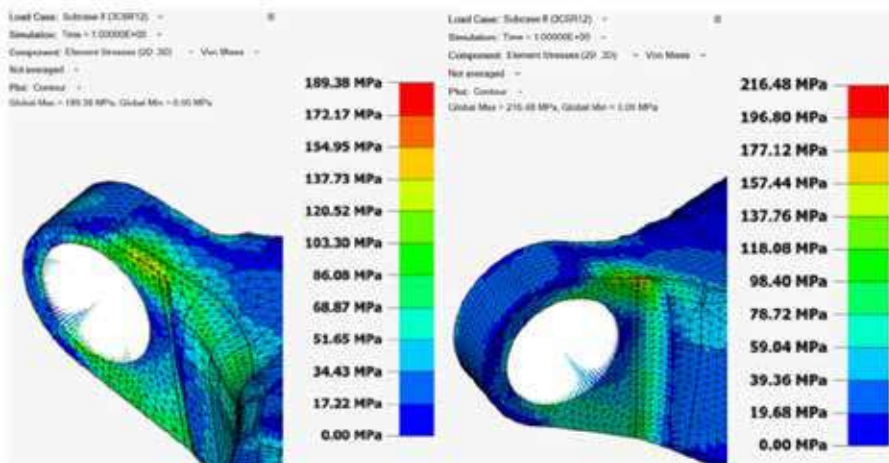


Figure 9: The stress result for the most critical maximum load condition (Model 1 and Model 2)

When examining the most critical maximum load condition conducted for Model 2, stress concentrations due to singularities were observed. However, when these stress concentrations are disregarded, the model meets the necessary requirements. The effects of fatigue limit and model optimization can be easily examined from the following results.

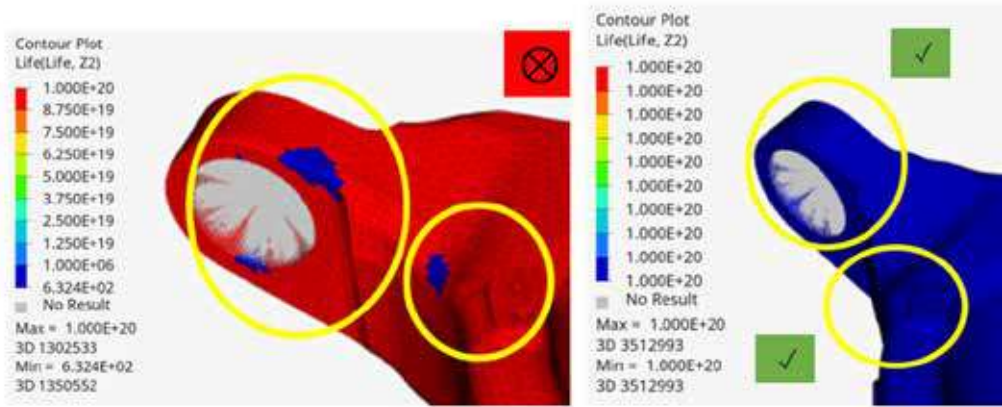


Figure 10: The fatigue analysis results for Model 1 and Model 2, each with a fatigue limit of 80 MPa, under the first loading condition

The fatigue limit for Model 1 and Model 2 was determined to be 80 MPa. Upon applying the first loading condition, it was observed that Model 1 did not meet the required criteria, whereas the optimized Model 2 comfortably fulfilled the necessary fatigue requirements.

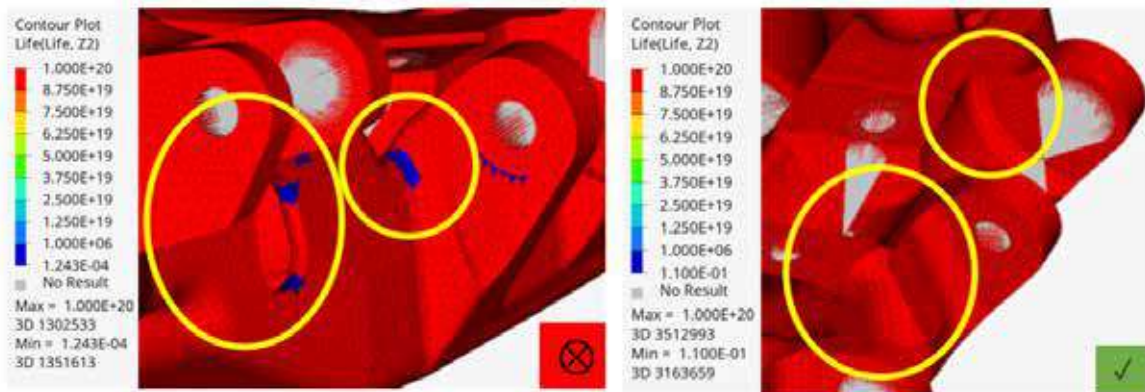


Figure 11: The fatigue analysis results for Model 1 and Model 2, each with a fatigue limit of 80 MPa, under the second loading condition

When the fatigue limit is set to 80 MPa and the second loading condition is applied, it is observed that Model 1 does not meet the necessary criteria. However, when the results affected by singularities of the optimized Model 2 are disregarded, it can be seen that the 80 MPa fatigue limit value meets the requirements.

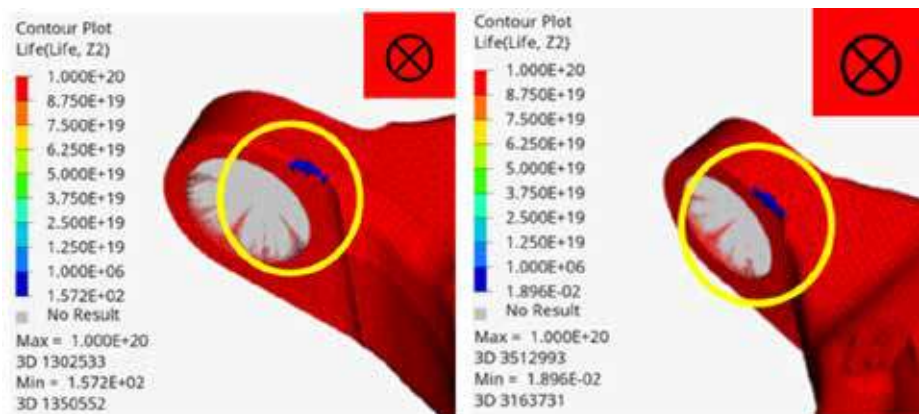


Figure 12: The fatigue analysis results for Model 1 and Model 2, each with a fatigue limit of 80 MPa, under the third loading condition

For the third loading condition, in Model 1, the requirement of 1,000,000 cycles cannot be met at four different locations. In Model 2, which is created by making optimizations in necessary areas, the requirement is met at three locations, but at the bushing connection point, the requirement of 1,000,000 cycles is not met. The comparative results of the bushing connection point that does not meet the requirements are shown in Figure 12. When the fatigue limit values obtained from the tests are integrated into the analysis model, the results for Model 2 are shown in Figure 13.

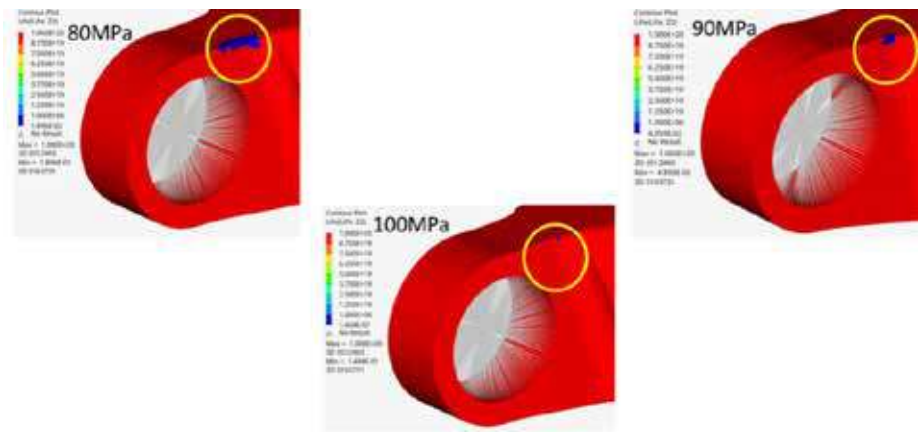


Figure 13: The fatigue analysis results for the optimized model with different fatigue limits

When the results affected by singularities are disregarded for the optimized model, it can be observed that the fatigue limit value of 100 MPa obtained from the test results meets the requirements for each fatigue loading condition.

4. DISCUSSION

In this study, a finite element analysis was conducted to assess the compliance of a rear lower control arm part made of AISi7Mg with automotive standards. Initially, improvements were made on the existing 3D model to create the rear lower control arm part. Subsequently, finite element analyses were performed by applying 4 different load conditions to 7 connection points of the part. Then, a second model was designed by making optimizations in areas where requirements were not met, and analyses were conducted using this optimized new model.

According to the analysis results, a lifespan of less than 1,000,000 cycles was calculated at the bushing connection point. However, it was observed that this issue was resolved by increasing the fatigue limit of the material. Therefore, the fatigue limit of the material was tested, and the test results revealed that the fatigue limit of the material was approximately 105 MPa. However, for safety reasons, this value was considered as 100 MPa.

In the analysis studies, when the fatigue limit accepted as 80 MPa in the catalog was used, approximately 800,000 cycles of lifespan were calculated at the bushing connection point. However, when it was considered as 100 MPa, a lifespan of over 1,000,000 cycles was observed. When the optimized 3D model was analyzed and verified with test data, it met the requirements.

These findings provide important insights to be considered in material selection, design optimization, and finite element analysis.

5. SYMBOLS

ϵ_{tr} = True Strain

ϵ_{eng} = Engineering Strain

σ_{tr} = True Stress

σ_{eng} = Engineering Stress

6. ACKNOWLEDGMENTS

First and foremost, we would like to express our sincere gratitude to the management of Döktaş Dökümcülük and our colleagues who have contributed to the writing of this article. They have provided invaluable support throughout every part of our project work with great dedication. Finally, we would like to extend our thanks to the entire Ege Matal family for their unwavering support in all our testing activities.

7. REFERENCES

- 1) Ceylan, O., & Aydoğan, F. (2022). Validation of A356T6 automobile wheel fatigue strength using the finite elements method. *European Mechanical Science*, 6(3), 207-212. <https://doi.org/10.26701/ems.1117395>
- 2) Fan J, Guo X, Wu C, Zhao Y, Guo Q. Stress assessment and fatigue behavior evaluation of components with defects based on the finite element method and lock-in thermography. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*. 2015;229(7):1194-1205.
- 3) Mereuta, V. (2020). Static and fatigue life analysis of steering knuckle using FEM. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 8(11), 9-13. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2020.31413>
- 4) Podkowski K., Barszcz Z., Seńko J.: FEM (Finite Element Method) Numeric Analyses of the Syrenka S201 Car Model. *Proceedings of the 13th International Scientific Conference: Computer Aided Engineering, Lecture Notes in Mechanical Engineering*, Poland, 2016, DOI: 10.1007/978-3-319-50938-9_43.
- 5) Podkowski, K. A., Okruch, Ł. (2021). Fatigue tests and numerical analyses of the PAWO autonomous electric vehicle. *The Archives of Automotive Engineering – Archiwum Motoryzacji*, 93(3), 39-58.
- 6) ASTM., (2002). *Standard Practice for Conducting Force Controlled Constant Amplitude Axial Fatigue Tests of Metallic Materials*. Test.: 4-8.
- 7) V. R. Kulkarni and A. G. Tambe, "Optimization and Finite Element Analysis of Steering Knuckle," in *Altair Technology Conference*, 2013
- 8) Lee D-C, Lee J-I. Structural optimization concept for the design of an aluminum control arm. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*. 2003;217(8):647-656.
- 9) Viqaruddin, M., & Ramana Reddy, D. (2017). Structural optimization of control arm for weight reduction and improved performance. *Materials Today: Proceedings*, 4(8), 9230-9236. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.07.282>
- 10) ASTM., (2002). *Standard Practice for Conducting Force Controlled Constant Amplitude Axial Fatigue Tests of Metallic Materials*. Test.: 4-8.
- 11) DIN 50125:2022-08, Prüfung Metallischer Werkstoffe_ - Zugproben.

Reduction of Air Pocket Mass Using Vacuum Method in High-Pressure Die Casting

Barış ÇAVUNT *, Mehmet DÖNMEZ*

***Döktaş Dökümcülük Ticaret ve Sanayi A.Ş, Manisa, Türkiye.**

ABSTRACT

In the casting process, controlling air within the mold is crucial. In High Pressure Die Casting (HPDC), vacuum and air pocket applications are employed to mitigate air-related issues. Air pockets direct air into mold cavities, preventing defects caused by trapped air. The vacuum machine reduces pressure by operating valves on the mold, lowering air pressure encountered by molten aluminum during filling. This study calculated vacuum and machine parameters. Magmasoft software simulations, with and without vacuum, were performed to assess vacuum efficiency. Results showed a reduction in air pocket mass, decreasing recycling costs and carbon emissions.

Keywords: Air pocket, Mass Reduction, High Pressure Vacuum Application, Carbon Emission, Chillvent, High Pressure Aluminum Die Casting.

1. INTRODUCTION

Aluminum has been widely used throughout history in the automotive industry for the production of vehicle components. Today, manufacturers are striving to convert many in-vehicle components produced using various metal alloys and processes to alloyed aluminum materials. Especially due to the advantages of aluminum such as lightness, low cost, corrosion resistance, easy processability, and recyclability, manufacturers are increasingly inclined to use alloyed aluminum in vehicle components as seen in Figure 1.[1] This increasing demand has also had a significant impact on the casting industry where aluminum alloys are used.

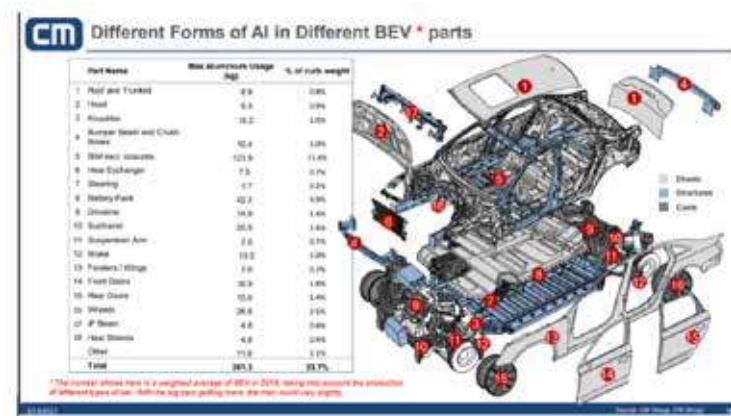


Figure 1: Material distribution of parts on a vehicle.[1]

Due to the design structure, mechanical requirements, and production volumes of aluminum parts, the use of high-pressure casting, one of the casting processes, is increasing. One of the advantages of high-pressure casting is its higher annual production capacity compared to other casting methods, thanks to the fast filling and rapid solidification of the part. These advantages highlight high-pressure casting in the process selection for the component.

Due to this trend, the sizes and geometries of the parts used for high-pressure casting increase the necessary boundary conditions for casting every day. With such innovations, many new technologies have emerged for high-pressure casting. In the casting of parts with difficult geometries and large dimensions, the vacuum method is one of the methods used to improve part quality.

The internal structures of parts cast using the vacuum method and casting errors become a more controllable process compared to non-vacuum casting methods. As seen in Figure 2, parts with thin wall thickness and requiring durability are produced using the vacuum method [2].

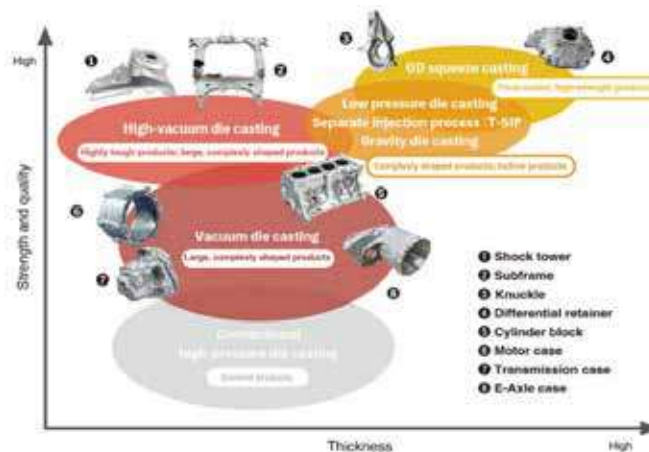


Figure 2: Comparison of casting types.[2]

The parameters used in high-pressure casting may vary depending on the part design, wall thickness, and projection area. In addition to these parameters, one of the parameters that cannot be controlled during casting is air entrapment.

When the aluminum in the holding furnaces is poured into the shot sleeve and the piston is moved under high pressures, the molten aluminum advances in the cavity within the mold. Meanwhile, the air in the mold cavity can be trapped in certain areas depending on the shape of the part and can create gas porosity. The main reasons for gas porosity include the turbulence caused by the metal poured quickly into the mold, insufficient ventilation systems in the mold design, the use of water-based lubricants, and the formation of water vapor in the mold. In addition, the poor quality of the mold and casting material, impurities in the molten metal, and uncontrolled temperature changes are among the factors that trigger gas porosity [3].

To solve the problems mentioned in the previous paragraph, the vacuum method is employed. With the vacuum method, the air inside the mold starts to be evacuated when the piston begins to move. The vacuuming process ends when the molten aluminum starts to move toward the air channels called "chillvents." Thus, the risk of air entrapment inside the mold is minimized, and the likelihood of gas porosity formation within the part is prevented.

The use of the vacuum method in high-pressure aluminum casting increases part quality while minimizing casting defects [4]. This method allows for the production of more robust, more precise, and higher-quality aluminum parts by utilizing the possibilities offered by technology in the casting industry. Therefore, with advances in the casting industry and the increasing use of aluminum, the vacuum method is gaining significant importance.

2. EXPERIMENTAL STUDIES

In this study, during the initial testing and prototyping stages of the part, vacuum was not applied, and air pockets and air entrapment within the part were managed.

The examined bracket part has a casting weight (part + runner + air pockets) of 9.6 kg, a total projection area (part + runner + air pockets) of 2,180 cm², a single part weight of 6 kg, and a part projection area of 1,470 cm². The part material is AlSi10MgMn (EN AC 43500). The goal of the project is to meet the mechanical requirements and customer expectations for the bracket part. This bracket part is designed to carry and protect the AdBlue tank on trucks (Figure 3). To fulfill its function and provide the required strength properties, the part must comply with Level 2 porosity level as specified in ASTM E-505 standard.

Although the initial castings tested with air pockets met the specified standard conditions, the increased part weight and the amount of recycled material led to the formation of unwanted elements such as additional labor and carbon emissions. With the development of vacuum technology and the implementation of vacuum application in the factory, it was first planned to analyze this part with the Magmasoft simulation. In line with these analyses, air control will be addressed using the vacuum method.



Figure 3: Visual of the part on the vehicle.

2.1 Effect of Vacuum Application on Casting

The vacuum method is used to eliminate problems that may arise from the trapped air in high-pressure casting. The vacuum process involves evacuating the air inside the casting mold with the help of a vacuum pump. This method improves metal flow and allows for more controlled casting. Vacuum application plays an important role in the casting process during the preparation phase for casting. In this application, the speed of the aluminum inside the mold can reach 50 m/s during casting, and the amount of air carried at this speed is 140 kg/m^3 . As this carried air hinders metal flow, the internal pressure of the mold is kept high to improve metal flow.

This high internal pressure can cause cracks on mold surfaces (Figure 4), figure detachments (Figure 5), and exceed the mold closing force (Figure 6). Under these conditions, vacuum applications are necessary to control the amount of air entering the mold with the aluminum.



Figure 4: Effect of cracks on mold surface.



Figure 5: Figure breakage.



Figure 6: Flash formation due to exceeding mold closing force.

The vacuum unit, which is automatically triggered during casting, activates when the piston passes the shot sleeve fill mouth (Phase T1) and continues to operate until the start of the second phase during filling.

During this process, a pressure below 50 mbar is created in the mold cavity where the casting process will be carried out. Thus, the movement of molten aluminum under 1000 bar pressure within the mold is facilitated. The molten aluminum, moving in a low-pressure environment, provides a less turbulent flow with the elimination of the air effect. This non-turbulent flow reduces casting defects that may occur on the part surface and allows for improved surface quality.

2.2 Simulation Studies

As a general assumption, directing the trapped air to the regions of the mold suitable for forming air pockets and towards the endpoints is an acceptable condition for healthy casting. In this way, the directed air can be improved with the air pockets added to the mold. In Figure 7 below, the regions with maximum air pressure on the part are shown. These regions are suitable for creating air pockets on the mold.

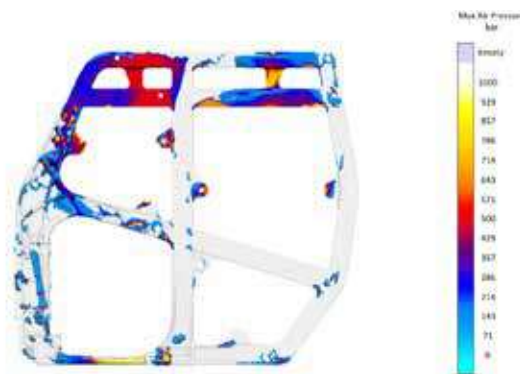


Figure 7: Maximum air entrapment result of the part without vacuum

As shown in Figure 7, the aluminum encountering high air pressure within the mold needs more piston pressure to continue its progress and complete the filling process, requiring the use of piston force beyond the optimal level. While excessive piston force can overcome the trapped air, it negatively affects other elements in the filling process. Consequently, this leads to faster wear of mechanical, moving parts on the machine than necessary and increased wear inside the mold.

The rising aluminum pressure within the mold causes abrasion on the surfaces it advances over, leading to potential defects, figure fractures, and unusable parts in subsequent cycles. The ma-

chine's clamping force tries to overcome the internal mold pressure and keep the mold closed. Over time, this force may fail to overcome the internal mold pressure, causing the mold to open. This results in undesirable flashes or various casting defects on the part. The part was subjected to casting simulation using Magmasoft software. The results of the trapped air from the casting simulations were examined. The visuals in Figure 8 show that the trapped air within the part can be captured in the air pocket.

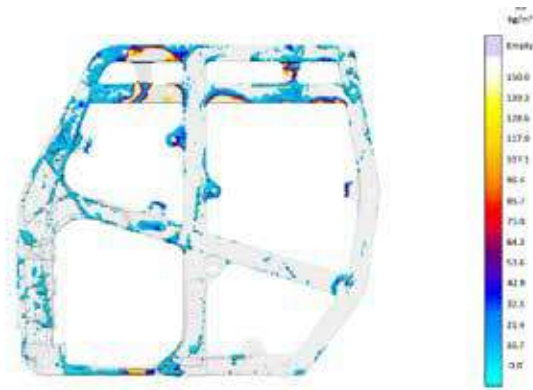


Figure 8: Air results of the part without vacuum

Based on the simulation results, additional air pocket regions were appropriately designed for the part. In Figure 9, it is observed that the trapped air is directed towards the air pockets.



Figure 9: Air results of the part with air pockets obtained through simulation

With the use of air pockets, the air within the part was directed, and the porosity levels were brought within the desired standards. Although the trapped air was mitigated with air pockets, the high internal pressure used to overcome the air and the excess weight of the air pockets introduced new problems.

One of the methods used to address these deficiencies and keep the air under control is the "vacuum method" mentioned in section 2.1. The vacuum method was first tested through casting simulations using Magmasoft software (Figure 10).

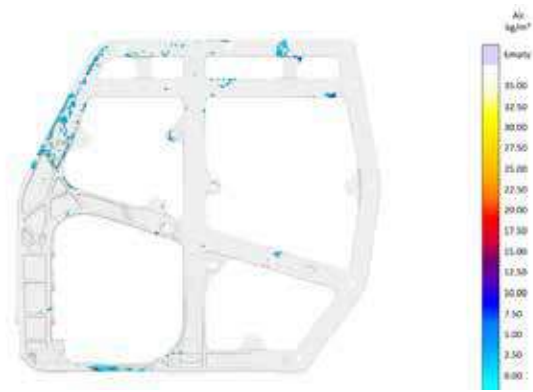


Figure 10: Air results of the part without air pockets with vacuum

In studies conducted with the vacuum test, it was observed that turbulence in the metal caused air entrapment. Since the flow direction of the metal is due to part design, eliminating turbulence completely is not possible. The air result shown in Figure 10 demonstrates how the air distributes in the cavity during filling. It shows the air within the mold and the air in the molten metal. Thus, a comprehensive view of air movement throughout the filling process is obtained. This result does not indicate the actual size of the air pockets but the amount of air bubbles in the casting.

The result of the maximum air entrapment shown in Figure 11 indicates the maximum air pressure in a specific region for all areas within the mold during the filling process. This result does not represent the final air outcome at the last stage of filling. By comparing the maximum air pressure result with the air result, potential risks in the actual casting can be considered.



Figure 11: Maximum air pressure results of the part without air pockets with vacuum

The part results tested with the vacuum study were compared. Despite the simulations and trials, the X-ray standards expected by the customer could not be met. These X-ray images are shown in Figures 12 and 13. Air entrapments caused by turbulent flow were observed in both experimental work and simulation.

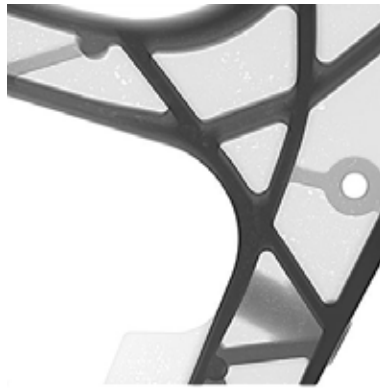


Figure 12: X-Ray images of the part without air pockets with vacuum

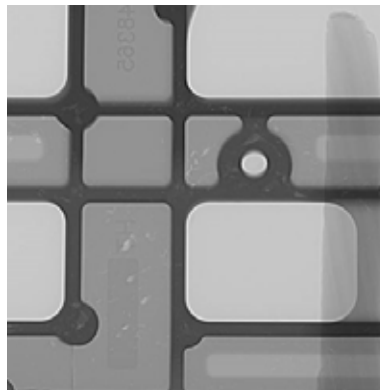


Figure 13: X-Ray images of the part without air pockets with vacuum

3. RESULTS

In this study, one of the traditional methods, the use of air pockets, was initially applied to regions within the mold where air was trapped. Due to the disadvantages mentioned in Section 2.2, the new technology of vacuum application was tested first in a simulation environment and then in a casting environment. It was observed that this application alone was not sufficient to meet customer requirements and achieve optimal casting quality.

The contributions of the vacuum were observed in both the simulation environment and experimental castings compared to the non-vacuum part. As mentioned above, additional air pockets were added to the vacuum application to meet customer expectations. The additional air pockets added to regions causing gas porosity in the vacuumed air pocket-free part are shown in Figure 14 below.

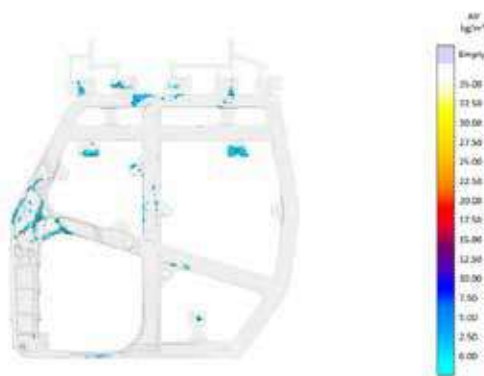


Figure 14: Air results of the part with air pockets and vacuum

When comparing the air results of the part with air pockets and vacuum to the part with air pockets and no vacuum, better results were obtained. Figure 15 below shows the maximum air pressure results of the part with air pockets and vacuum.

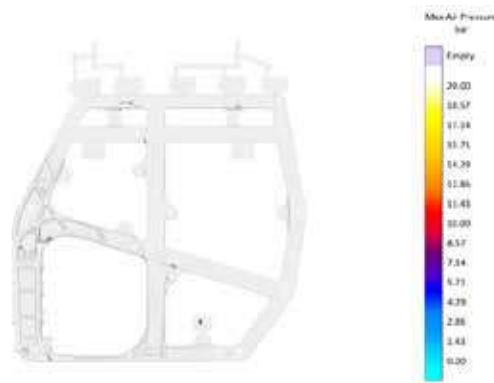


Figure 15: Maximum air pressure results of the part with air pockets and vacuum

When all results are compared, it was concluded that both the part with air pockets and no vacuum and the part with air pockets and vacuum reached the porosity requirements that can meet customer standards. The 3D image of the part with air pockets and no vacuum and the final 3D image of the part with air pockets and vacuum are shown in Figures 16 and 17 below.

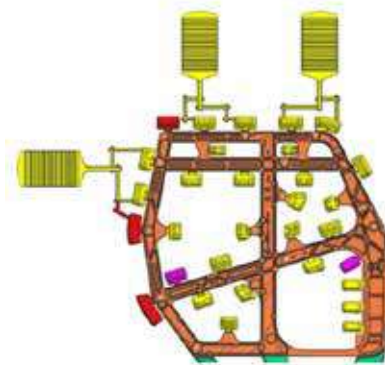


Figure 16: 3D image of the part with air pockets and no vacuum

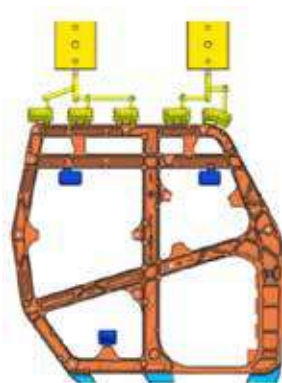


Figure 17: 3D image of the part with air pockets and vacuum

The total casting weight of the part with air pockets and no vacuum (Figure 16) was 10.85 kg, while the total casting weight of the revised part with air pockets and vacuum (Figure 17) was 9.56 kg. This result demonstrates the positive effects of vacuum technology on material efficiency. Recycling 1.29 kg of material throughout the production lifecycle eliminates approximately 95 tons of remelted material and the associated waste gases, providing significant environmental and economic benefits. Reducing waste gases minimizes air pollution and greenhouse gas emissions, thus lessening the negative impacts on the environment. This significantly contributes to

combating the carbon footprint. Additionally, it protects worker health by reducing the risk of respiratory diseases in the workplace. Economically, the use of recycled materials reduces production costs and increases energy efficiency, ensuring the sustainability and economic savings of production processes in the long run. Finally, reducing waste gases facilitates legal compliance, preventing potential fines and maintaining company reputation.

In conclusion, the widespread use of vacuum technology in the aluminum casting industry offers significant advantages in terms of production efficiency and environmental sustainability. Therefore, it is recommended to standardize the vacuum method in high-pressure aluminum casting.

4. DISCUSSIONS

4.1. Reduction of Air Pockets with Vacuum Technology:

The application of vacuum technology in high-pressure aluminum die casting significantly reduces the mass of air pockets within the mold. This is achieved by effectively regulating the air during the casting process, thus minimizing air entrapment and associated casting defects.

4.2. Environmental and Economic Benefits:

The reduction in air pocket mass leads to a decrease in recycling costs and carbon emissions. The study found that a reduction of 1.29 kg of recycled material per part results in approximately 95 tons of material that does not need to be remelted over the product's lifecycle. This has significant environmental benefits, including reduced waste gases, minimized air pollution, and lower greenhouse gas emissions, contributing to a smaller carbon footprint.

4.3. Improved Material Efficiency and Part Quality:

The application of vacuum technology improves material efficiency by reducing the total weight of the cast part

5. SYMBOLS

cm² = Area unit

kg = Mass

kg/m³ = Volume unit

mbar = Pressure unit

m/s = Speed

6. ACKNOWLEDGEMENTS

We owe a debt of gratitude to everyone who contributed to the writing of this paper, starting with the management of Döktaş Dökümcülük and our colleagues. They supported us with great dedication throughout every part of our project work.

7. REFERENCES

- 1) Liang Y., Daishiyan L. "Automotive Research Institute - Integrated Casting Report" Integrated Casting Special Topic, Vol. 2, 2022. P.18.
- 2) Samir C., Swarnendu S. "An investigation on the solidification and porosity prediction in aluminium casting process" Journal of Engineering and Applied Science, Vol.70, 2023. P. 21.
- 3) Geoffrey K. Sigworth "Best Practices in Aluminum Metalcasting" Vol.82, 2014, P.26-45. ISBN: 978-0-87433-416-6
- 4) X.P. Niu, B.H. Hu, I. Pinwill, H. Li, "Vacuum assisted high pressure die casting of aluminum alloys" Journal of Materials Processing Technology Vol. 105, 2000, P. 119-127.
- 5) ASTM. "Standard Reference Radiographs for Inspection of Aluminum and Magnesium Die Castings." ASTM International, Standard No.: E505-11, 2011. <https://doi.org/10.1520/E0505-22>

Hurda Alüminyum Hammadde Kullanılarak EN AW 6082 Alaşımından Yüksek Kalitede Dökümlerin Elde Edilmesi ve Karakterizasyonu

^a Özlem KIRMIZI, ^a Çağdaş SERİNTÜRK, ^{b,c} Muhammet ULUDAĞ

^a PMS Metal Profil Alüminyum San. ve Tic. A.Ş., Bursa, Türkiye

^b Bursa Teknik Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Müh., Bursa, Türkiye

^c ULUCON Ar-Ge ve Danışmanlık Hizmetleri A.Ş., Bursa, Türkiye

ÖZET

Alüminyum; hafiflik, korozyon direnci, elektrik iletkenliği, kolay şekillendirilebilirlik gibi karakteristik özelliklerinin beraberinde özelliklerini kaybetmeden geri dönüştürülebilir olmasıyla öne çıkan metallerden biridir. EN AW 6082 alaşımı, endüstride sıkça kullanılan alüminyum alaşımlarındandır. Artan taleplerle birlikte bu alaşımdan üretilen malzemelerin geri dönüşümü önem kazanmaktadır. Bu çalışmada, dökümlerde kullanılan ikincil ve birincil hammadde oranlarının mekanik özellikler üzerindeki etkisi incelenmiştir. %30, %100 ikincil ve %100 birincil hammadde kullanılarak yapılan dökümlerde, sıvı metal kalitesindeki farkı gözlemleyebilmek için farklı gaz giderme sürelerinde, gaz giderme işlemi uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar, ikincil hammadde kullanılarak üretilen nihai ürünlerin kalitesinin birincil hammadde kullanılarak üretilen nihai ürünlerin kalitesinde olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Al 6082, Geri Dönüşüm, Sıvı metal kalitesi, Mekanik özellik, Bifilm indeks

ABSTRACT

Aluminum is one of the metals that stands out with its characteristic features such as lightness, corrosion resistance, electrical conductivity, easy formability, as well as being recyclable without losing its properties. EN AW 6082 alloy is one of the most commonly used aluminum alloys in the industry. With increasing demands, recycling of materials produced from this alloy is gaining importance. In this study, the effect of secondary and primary raw material ratios used in castings on mechanical properties was examined. 30%, 100% secondary and 100% primary raw materials were degassed at different degassing times to observe the difference in liquid metal quality. The results showed that the quality of the final products produced using secondary raw materials was similar to the quality of the final products produced using primary raw materials.

Keywords: Al 6082, Recycling, Liquid metal quality, Mechanical property, Bifilm index

1. GİRİŞ

Dünya Savaşı sonrası sanayileşmenin iyice artması ile artan talep ve artan üretim masrafları üreticileri daha az enerji kullanarak üretim yapabilecekleri metallerin arayışına sokmuştur. Alüminyum dayanımı, hafifliği, üretim kolaylığı ve özellikle geri dönüştürülebilir özelliği ile ön plana çıkmıştır [1]. Aynı zamanda alüminyum alaşımları, yapısal metal olarak kullanımda çeliklerden sonra ikinci sırada yer almaktadır [2]. Bu bahsedilen çeşitli üstün özelliklerinden kaynaklı alüminyum; otomotiv, havacılık, savunma, spor, paketleme, makine imalat sektörü gibi birçok sektörde talep görmektedir.

Malzemelerin şekillendirilmesinde farklı üretim metotları bulunmaktadır. Bunun yanı sıra malzemelerin kaynağına göre üretim yöntemleri de bulunmaktadır. Hammadde ve enerji kaynaklarının tükenme riskine karşı birçok kaynak tehdit altındadır. Dolayısıyla ikincil kaynaklardan üretim yöntemlerinin önemi gün geçtikçe artmaktadır. Alüminyumun kaynağına göre üretim yöntemleri birincil veya ikincil (hurda) üretim olarak ikiye ayrılabilir [3]. Cevherden üretilen alüminyum, birincil alüminyum olarak isimlendirilirken hurdadan üretilen alüminyum, ikincil alüminyum olarak isimlendirilir [4]. Birincil alüminyum; Bayer prosesi ile boksit cevherinden elde edilen alüminanın (Al_2O_3) elektrokimyasal bir indirgenme reaksiyonu olan ergimiş tuz elektroliz yöntemi ile üretilen, %99,0-%99,8 oranında saf, ham alüminyuma verilen isimdir. İkincil alüminyum ise; ömrünü tamamlamış veya işlem görmüş alüminyum atık malzemeler kullanılarak üretilen alüminyuma verilen isimdir [4,5]. İkincil alüminyumun birincil alüminyuma göre bu kadar yaygınlaşmasının ana sebeplerine bakılacak olursa; tehlikeli gazların salınımının azalması, katı atık oluşumunun azalması, birincil alüminyum üretiminde kullanılan enerji miktarının yaklaşık %5'ini kullanarak üretimin hem enerjiden hem de süreden tasarruf edilerek uygulanabilmesi ve defalarca kez özelliklerini kaybetmeden yeniden üretilebilir olması sayılabilir [3,6]. İkincil alüminyumun üretim süreci ergitme ve döküm işlemlerinden geçmektedir. Ergitme yöntemi ile alüminyumun geri kazanımında ikincil alüminyum kendi içinde sınıflandırılmalıdır. Kullanım ömrünü doldurmuş alüminyum malzemeler (eski hurda), üretim süreçlerinde oluşan işlem atıklarından oluşan alüminyum malzemeler (yeni hurda) ve cüruf, ergitme, rafinasyon ve aktarma süreçlerinde işlem atıklarından oluşan alüminyum, oksit karışımları olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Buna göre sınıflandırılmış hurdalar fırınlara beslenir ve bir karıştırıcı ile karıştırıldıktan sonra ergitmeye geçilir. Üretilecek alaşım türüne göre sıvı metale eksik alaşım elementlerinin ilavesi yapılır. Ergitme işlemi tamamlandıktan sonra işleme veya döküm yapılarak ikincil alüminyum kaynağından üretilmiş ürünler elde edilir [3,4,5]. Böylece alüminyumun neredeyse sonsuz geri dönüşüm potansiyeli sayesinde sürdürülebilirliğin ekonomik, ekolojik ve sosyal şartları sağlanmış olur [5]. Son yıllarda artan tüketim çılgınlığında alüminyum metalinin yeri de gün geçtikçe artış göstermektedir. Öyle ki alüminyum tüketimi, son yirmi yılda 25 milyon tondan %159 artışla 2020 yılına gelindiğinde neredeyse 65 milyon tona yükselmiştir. Bu tüketim çılgınlığının artmasıyla gündemden düşmeyen karbon ayak izi uygulaması ile yaşadığımız dünyanın tek olduğunu hatırlatan birçok olgunun varlığından sadece haberdar olmak zorunda hisseden üreticilere karşılık süregelen bu uygulamanın insanlık ve doğa arasındaki savaşa dur demenin en standardize yol olduğu görülmektedir. Buna karşılık ülkelerin hepsi var olan kaynaklardan yararlanarak ekonomide dünya lideri dev kuruluşlara sahip olmak istemektedirler. Ancak Avrupa Birliği, 2019 yılı itibariyle Avrupa Yeşil Mutabakat çağrısında bulunmuştur. Çağrı, 2030 yılına kadar karbon salınımının yarı yarıya azaltılıp 2050 yılına gelindiğinde net sıfır karbon salınımı seviyesine ulaşılması üzerine yapılmıştır. Avrupa Birliği, Yeşil Mutabakat çağrısı ile sanayiden tarıma ulaştırmadan enerjiye kadar karbonsuz bir ekonomi ile ticarete yeniden yön verecektir [7,8,9]. Bu yeni düzen ile ikincil alüminyuma duyulan talep artmaktadır fakat ikincil alüminyumun prosese dahil edilirken yağlı, boyalı ve nemli olmamasına dikkat edilmelidir. Bu hammaddelerin şarjı sırasında işlem adımlarının doğru uygulanamaması halinde sıvı metal kalitesinde bir düşüş yaşanabilir. Bu durum, ikincil alüminyum kullanımı ile üretim yapmak isteyen üreticilerde güvensizlik yaratabilir. Dışpınar'ın sıvı metal kalitesini ölçmek için geliştirdiği bifilm indeksi yöntemi ile alüminyum ve alaşımlarının yüzeyinde oluşan oksit tabakasının türbülans so-

nucu veya herhangi bir etkiyle sıvı metalin içine giren çift katlı oksit tabakalarının (bifilm) sayısı tayin edilebilmektedir. Ayrıca Yüksel'in flakslama işlemiyle de sıvı metal kalitesini arttırdığı literatürde yer eden bilgilerdendir [10]. Bu çalışma kapsamında, %30, %100 ikincil alüminyum kaynağı kullanılarak üretilen EN AW 6082 alaşımına uygulanan rafinasyon işlemleri ile %100 birincil alüminyum kaynağı kullanılarak üretilen EN AW 6082 alaşımına uygulanan rafinasyon işlemlerinin sıvı metal kalitesine ve nihai ürünlere etkisi incelenmiştir. %100 birincil alüminyumdan üretilen nihai ürünlerin kalitesi ile %30 ve %100 ikincil alüminyum ilavesi ile üretilen nihai ürünlerin arasındaki mekanik dayanım farkı, uygulanan rafinasyon işlemleri ile sıvı metal kalitesinin ne kadar iyileştirilebildiği ve ikincil alüminyumdan oluşturulan sıvı metalin rafinasyon işlemleri ile birincil alüminyumdan üretilen sıvı metal kalitesine ne kadar yaklaştığı gözlemlenmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada EN AW 6082 alaşımı %100 birincil alüminyum, %100 ikincil alüminyum ve %30 ikincil alüminyum %70 birincil alüminyumdan oluşan toplamda üç farklı şarj ile dökümler elde edilmiştir. Çalışma kapsamında direkt soğutmalı döküm yöntemiyle üretilen 6082 alaşımına ait kimyasal bileşim aşağıdaki Tablo 1'de verilmiştir.

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
0,7–1,3	0,50	0,10	0,40–1,0	0,6–1,2	0,25	0,20	0,10	Kalan

Çizelge 1: EN AW 6082 alaşımı kimyasal analizi (%ağ.)

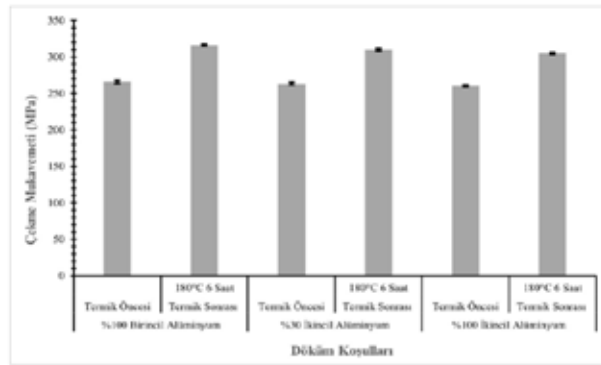
Ergitme fırınında 700-710°C sıcaklıklar arasında ergitilen 6082 alaşımı, 710-730°C alaşımlama işlemine tabii tutulmuştur. Alaşımlama işleminden sonra sıvı metal içerisindeki istenmeyen inklüzyon ve kirliliklerin giderilmesi için rafinasyona yardımcı ve cüruf yapıcı özelliklere sahip 10-12 kg flaks, 18-20 l/dk akış hızında sıvı metale ilave edilmiştir. Flaks ilave oranı sabit tutularak 7 ve 14 dakika döküm operatörünün yönetimindeki uzun demir lans manipülatör ile 18-20 l/dk akış hızında sıvı metale verilen azot gazı ile gaz giderme işlemindeki sürenin sıvı metal üzerindeki etkileri incelenmiştir. Döküm işlemleri gerçekleştirilirken eş zamanlı olarak sıvı metal kalitesinin tayin edilmesi amacıyla azaltılmış basınç test (RPT) kalıbına numune alımı yapılmıştır. Ergitme fırınından yolluğa aktarılan sıvı metale, AlTiB tane inceltici master alaşımı ilavesi yapıldıktan sonra bu çalışmada sabit tutulan 350-400 dev/dk' da dönen ve 15-25 l/dk akış hızında azot gazı beslemesi yapan degazerden geçirilerek döküm öncesi son kez gaz giderme işlemi uygulanmıştır. Degazerden geçirilen sıvı metal, 40 ppi seramik köpük filtreden geçirildikten sonra döküm tablasına aktarılmıştır. Daha sonrasında sıvı metal, 670-690°C sıcaklıkta 83-90 mm/dk hızda billet döküm işlemine tabii tutulmuştur. Döküm sonrası 5-7 saat tutma olacak şekilde toplamda 10 saat 570-580°C'de homojenizasyon ısıl işlemine tabii tutulan billetler, soğutma kabinlerinde 3 saatin sonunda 150-170°C'nin altına düşürülmüştür. Homojenizasyon ısıl işlemi sonrası billetlerden mikroyapı incelemesi için numune alımları gerçekleştirilmiştir. Dendritik yapıdaki konsantrasyon farklılıklarının giderilmesi, katılaşma esnasında oluşan kararsız fazların çözünmesi ve alaşım elementlerinin yapı için homojen olarak dağılması amacıyla billetlere uygulanan homojenizasyon ısıl işlemi sonrası ekstrüzyon prosesi ile şekillendirilen billetlerden elde edilen profiller, yaşlandırma (180°C 6 saat) prosesine tabii tutulacaktır. Yaşlandırma ısıl işlemi öncesi ve sonrası profillerden alınan numunelerin mekanik testleri Zwick marka çekme test cihazıyla, kimyasal analizleri Ametek marka spektrometre cihazıyla test edilmiştir. Sıvı metalden alınan RPT numuneleri, Ulucon marka Azaltılmış Basınç Test (RPT) cihazında minimum 0,80 bar vakum altında katılaştırıldıktan sonra sıvı metalin bulunduğu farklı bölgelerdeki yoğunluk değerleri Arşimet prensibine göre tayin edilmiştir. Yoğunluk testi sonrası RPT numuneleri ortadan ikiye bölünerek kaba zımparalama işlemine tabii tutulmuş ve tarama cihazı kullanılarak yüzey görüntüleri bilgisayar ortamına

aktarılmıştır. SigmaScan Pro5 programı ile vakum altında katılaşmanın etkisiyle, sıvı metal içerisindeki bifilmelerin daha da şişmesiyle elde edilen gözeneklerin toplam uzunluğu, alanı ve sayısı belirlenerek bifilm indeksi, bifilm alanı ve bifilm sayısı değerleri hesaplanmıştır. Böylece gaz giderme işleminin ne kadar etkili olduğu tespit edilip farklı oranlarda ikincil ve birincil alüminyum hammadde şarjı içeren dökümlerdeki optimum gaz giderme süresinin tayin edilebilmesi için mekanik değerlerle ilişki kurulabilecek veriler elde edilmiştir. Mikroyapı analizi için numune kesme cihazıyla bakalite alınabilecek boyuta getirilen numuneler, kaba zımparadan ince zımparaya kadar zımparalandıktan sonra elmas solüsyon ile parlatılmıştır. 1,75 ml HF, 1,5 ml HCl ve 5 ml HNO₃ asitleri ile hazırlanan keller çözeltisinde dağlanmışır. Numune hazırlama süreci biten numunelerden Clemex programına sahip Nikon marka mikroskop kullanılarak 200X büyütmede mikroyapı görüntüleri alınmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

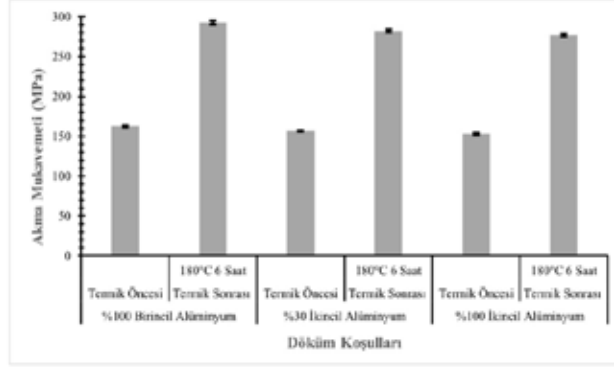
Çalışmanın konusu olan hurda alüminyum hammadde kullanılarak EN AW 6082 alaşımından yüksek kalitede dökümlerin elde edilmesi için uygulanan farklı gaz giderme parametrelerine (ergitme fırınında 7 ve 14 dakika) ve farklı oranlarda birincil ve ikincil alüminyum hammadde şarjına (%100 birincil alüminyum, %100 ikincil alüminyum ve %30 ikincil alüminyum %70 ikincil alüminyum) bağlı olarak gerçekleştirilen dökümler sonucu elde edilen profillerden alınan numunelere uygulanan çekme testi sonuçları; Çekme mukavemeti, Akma mukavemeti ve % Uzama olmak üzere sırasıyla Şekil 1, Şekil 2 ve Şekil 3'de verilmiştir. Brinell biriminden ölçülen numunelere ait sertlik testi sonuçları Şekil 4'te verilmiştir.

Şekil 1'de EN AW 6082 alüminyum alaşımından farklı oranlarda hurda alüminyum hammadde kullanılarak dökülen biletlerden üretilen profillerden elde edilen numunelerin yaşlandırma işlemi öncesi ve yaşlandırma işlemi sonrası çekme mukavemeti sonuçları görülmektedir. Şekil incelendiğinde en yüksek ortalama çekme mukavemeti değerinin T6 yaşlandırma işlemine tabii tutulmuş %100 birincil alüminyumdan üretilen profillerden elde edildiği görülmektedir. Ancak diğer döküm koşullarına bakıldığında sırasıyla T6 yaşlandırma işlemine tabii tutulmuş %30 hurda alüminyum ve %100 hurda alüminyum şarjı ile üretilen profillerin, %100 birincil alüminyumdan üretilen profiller ile arasında yaklaşık 6 MPa ve 10 MPa'lık fark olduğu gözlemlenmiştir.



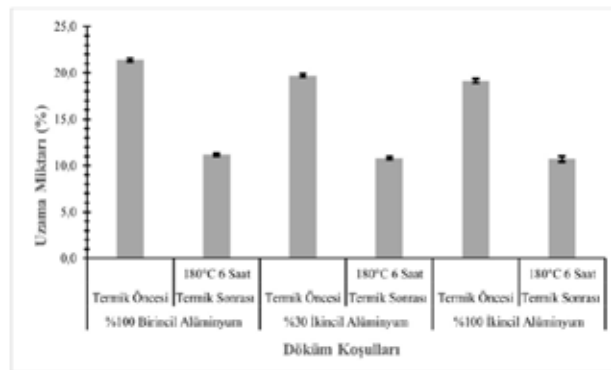
Şekil 1: Farklı hammadde şarjı ile üretilen malzemelerden elde edilen ısıl işlem görmüş ve ısıl işlem görmemiş numunelerin çekme mukavemeti değerleri

Akma mukavemeti sonuçları incelendiğinde (Şekil 2) kullanılan hammadde şarjına göre akma mukavemetinde değişiklikler olduğunu göstermektedir. Buna göre hurda kullanım miktarı arttıkça birincil alüminyum kullanılarak üretilen nihai ürünlerden daha düşük akma dayanımına sahip nihai ürünler elde edildiği görülmektedir. En yüksek ortalama akma mukavemeti 293 MPa olan T6 yaşlandırma işlemine tabii tutulmuş %100 birincil alüminyumdan üretilen billetlerden elde edilen profillere ait olduğu gözlemlenirken hurda kullanılarak yapılan dökümlerden elde edilen profillerin ortalama akma mukavemetinin birincil alüminyum kullanılarak üretilen profillerin akma mukavemetine göz ardı edilebilecek kadar yakın değerlerde sonuçlar sergiledikleri düşünülmektedir.



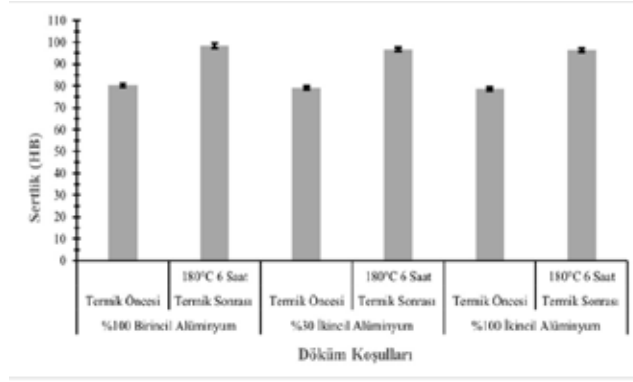
Şekil 2: Farklı hammadde şarjı ile üretilen malzemelerden elde edilen ısıtılmış ve ısıtılmamış numunelerin akma mukavemeti değerleri

Şekil 3'te verilen ortalama uzama miktarlarına göre her bir döküm koşulundan elde edilen numunelerde T6 yaşlandırma işlemi sonrası gözle görülür bir farkla düşüş olduğu görülmektedir. Bunun nedeni alüminyum alaşımlarının mekanik özelliklerinin geliştirilmesinde uygulanan yaşlandırma işlemidir. Buna göre, yaşlandırma işlemi sonrası EN AW 6082 alaşımında bulunan Mg ve Si elementlerinin etkisiyle mikroyapıda Mg₂Si intermetalik fazlarının tane içerisinde oluşturduğu ince çökeltiler herhangi bir yük anında dislokasyonların hareketini kısıtlayarak sertlik, akma ve çekme mukavemetinde artışa sebep olduğu gözlemlenirken uzama miktarında düşüş gözlemlenmektedir [11].



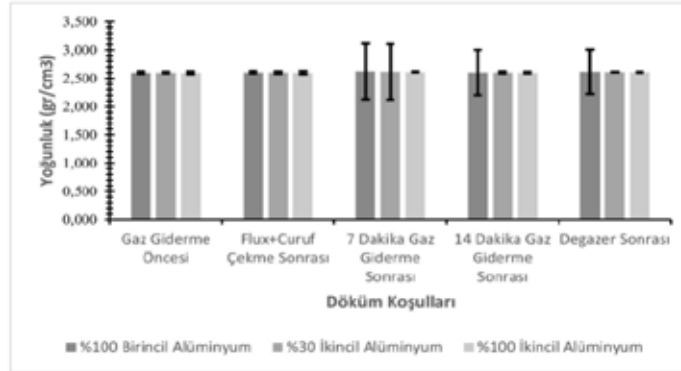
Şekil 3: Farklı hammadde şarjı ile üretilen malzemelerden elde edilen ısıtılmış ve ısıtılmamış numunelerin uzama miktarı değerleri

Sertlik testi sonuçları verilen Şekil 4 incelendiğinde T6 yaşlandırma işlemi sonrası elde edilen numunelerin sertlik değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Akma ve çekme mukavemetinde olduğu gibi sertlik değerlerinde de bu artış TSE EN 755-2 standardında belirtilen değerler arasındadır. En yüksek sertlik değeri 98 HB olan T6 yaşlandırma işlemine tutulmuş %100 birincil alüminyum kullanılarak üretilen profillere aitken en düşük sertlik değeri 96 HB olan T6 yaşlandırma işlemine tutulmuş %100 ikincil alüminyum kullanılarak üretilen profillere ait olduğu görülmektedir.



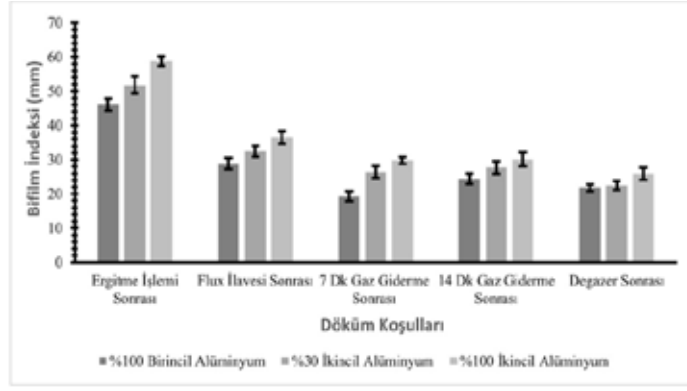
Şekil 4: Farklı hammadde şarjı ile üretilen malzemelerden elde edilen ısıtılmış ve ısıtılmamış numunelerin sertlik değerleri

Şekil 5'te ergitme fırınında ve yollukta farklı bölgelerden ve farklı zamanlarda alınan numunelerin farklı gaz giderme sürelerine göre yoğunluk değerleri verilmiştir. Değerler incelendiğinde en düşük ortalama yoğunluk değerine sahip numunelerin ergitme fırınında gaz giderme öncesinde alınan numunelerden elde edildiği gözlemlenmiştir. Flaks beslemesi ve cüruf alma işlemi sonrası her üç dökümden de sıvı metal temizliğinin sağlanmasıyla elde edilen değerlerde artış görülmektedir. Her üç dökümden de 7 ve 14 dakika gaz giderme işlemi sonucu elde edilen değerlere bakıldığında ise optimum gaz giderme süresinin 7 dakika olduğu gözlemlenmiştir. 14 dakika gaz giderme işlemi sonrası düşen yoğunluk değerinin sıvı metalde türbülansa sebep olarak yüzeydeki oksit tabakanın tekrar kırılıp sıvı metale nüfuz etmesinden kaynaklı olduğu düşünülmektedir.



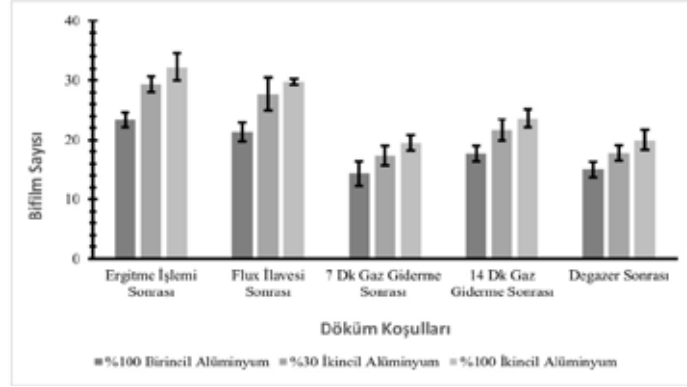
Şekil 5: Farklı sürelerde gaz giderme işlemi uygulanmış numunelerin yoğunluk değerleri

Bifilm indeks değerleri (Şekil 6) incelendiğinde en yüksek ortalama bifilm indeks değerinin ergitme işlemi sonrası flaks ve gaz giderme işlemi uygulanmamış %100 hurda hammadde şarjıyla elde edilen sıvı metalden alınan numunelerden elde edildiği görülmektedir. Sıvı metalin kirlilik seviyesine bağlı olarak bu oksitlerin giderilmesi için optimum parametrelerin belirlenmesi gerektiğinden dolayı gerçekleştirilen analizler sonucu farklı hammadde şarjıyla üretilen sıvı metalden alınan numunelerde, 7 dakika gaz giderme işleminin, 14 dakika gaz giderme işlemine göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Optimum sonuçların gözlemlendiği 7 dakika gaz giderme işlemi sonrası %100 hurda ve %30 hurda kullanılarak ergitilen metalden alınan numunelerdeki bifilm indeks değerleri incelendiğinde, %100 birincil alüminyum kullanılarak ergitilen metalden alınan numunelerdeki bifilm indeks değerlerine yakın sonuçlar elde edilmiştir.



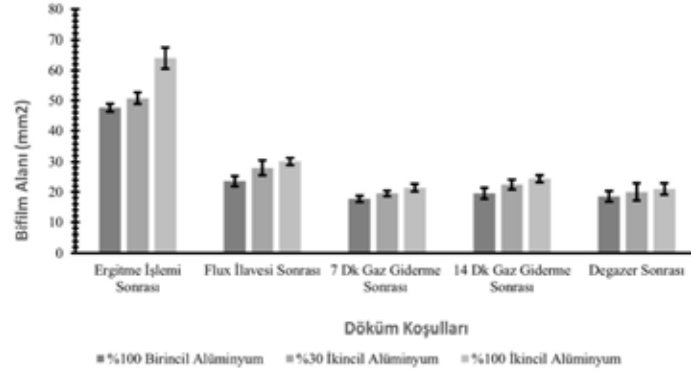
Şekil 6: Farklı sürelerde gaz giderme işlemi uygulanmış numunelerin bifilm indeks değerleri

Şekil 7’de farklı alüminyum hammadde alaşımlarının içerdiği bifilm sayısı görülmektedir. Basitçe ergitme sırasında açığa çıkan oksit filmlerine “eski oksitler”, döküm esnasında meydana gelen yeni yüzeylerden oluşan oksit filmlerine “yeni oksitler” denilmektedir [12]. Buna göre farklı oranlarda hurda kullanılarak elde edilen ergiyik metallerde eski oksit filmlerin giderilmesi için uygulanan gaz giderme sürelerinden 7 dakika gaz gidermenin sıvı metal temizliğinde daha etkili olduğu bifilm sayısından anlaşılmaktadır. 14 dakika gaz giderme sonucu elde edilen sonuçların 7 dakika gaz gidermeye göre daha yüksek olmasının sebebinin ise literatürle uyumlu bir sonuç olabileceği düşünülmektedir. Gaz giderme işleminde sıvı metale gereğinden fazla yapılan müdahalelerde türbülansa sebebiyet verilerek sıvı metalin yüzeyindeki oksit tabakalarının yırtılıp açık atmosferden sıvı metale kolayca hidrojen emilimi gerçekleşmesine ortam oluşturulabilmektedir. Bunun sonucundaysa yırtılan oksit tabakaları, ara yüzeyine hava ile katlanarak sıvı metal içerisine sürüklenir bu durum sıvı metal kirliliğine neden olmaktadır [13].



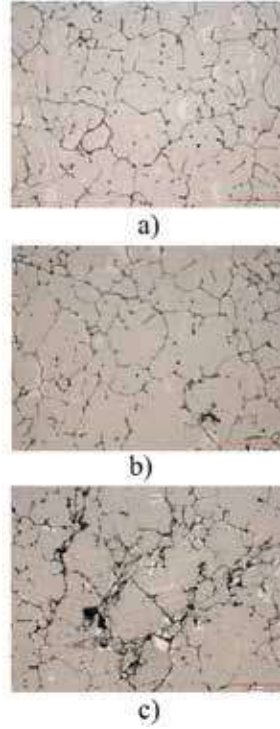
Şekil 7: Farklı sürelerde gaz giderme işlemi uygulanmış numunelerin bifilm sayısı değerleri

Şekil 8’de verilen bifilm alanı değerleri incelendiğinde bifilm indeksi ve bifilm sayısı sonuçlarında olduğu gibi en yüksek sonuçların elde edildiği ergitme işlemi sonrası bifilm alanı, flaks ilavesi ve ardından cüruf alma işlemi sonrasında düşüşe geçmiştir. Bifilm alanı sonuçlarına bakıldığında da her bir döküm koşulu (%30 hurda, %100 hurda ve %100 birincil alüminyum) için optimum gaz giderme süresinin 7 dakika olduğunu göstermektedir. Ancak döküm öncesi son bir kez gaz giderme işlemi uygulanan degazerden geçirilen sıvı metalden elde edilen sonuçların, bu çalışma kapsamında sabit tutulan degazer rötör dönme hızında (rpm) ve degazerden beslenen gazın debisinden kaynaklı olabileceği düşünülmektedir.



Şekil 8: Farklı sürelerde gaz giderme işlemi uygulanmış numunelerin bifilm alanı değerleri

Şekil 9'da üç farklı dökümden elde edilen 200X büyütmede alınmış mikroyapı görüntüleri görülmektedir. Homojenizasyon ısıl işlemi sonrası elde edilen görüntüler incelendiğinde a) %100 birincil alüminyum b) %30 hurda alüminyum ve c) %100 hurda alüminyumun mikroyapı görüntülerinin dökümün mekanik değerler ve sıvı metal kalitesi ölçümleriyle ilişkili olduğu düşünülmektedir.



Şekil 9: Farklı hammadde şarjı ile üretilen biletlerin homojenizasyon ısıl işlemi sonrası 200X büyütmedeki mikroyapı görüntüleri a) %100 birincil alüminyum ile yapılan döküm b) %30 hurda alüminyum ile yapılan döküm c) %100 hurda alüminyum ile yapılan döküm

1. SONUÇLAR

Gerçekleştirilen bu çalışma kapsamında, EN AW 6082 alaşımından ikincil (hurda) alüminyum ve birincil alüminyum hammadde kullanımı ile üretilen nihai ürünlerin sıvı metal temizliği için uygulanan gaz giderme süresinin sıvı metal kalitesine etkisi ile ikincil (hurda) alüminyum ve birincil alüminyum hammadde kullanımının nihai ürünler üzerindeki mekanik değerlere etkisi incelenmiştir. Buna göre bu çalışma sonucunda;

- Birincil alüminyum ve ikincil alüminyumdan üretilen nihai ürünlerin mekanik özelliklerindeki farkları gözlemleyebilmek amacıyla %30 ikincil alüminyum, %100 ikincil alüminyum ve %100 bir-

incil alüminyum olmak üzere 3 farklı döküm işlemi gerçekleştirilmiştir.

- İkincil alüminyum kullanılarak üretilen nihai ürünlerin mekanik değerlerinin TS EN 755-2 standardı içinde kalmasını ve birincil alüminyum kullanılarak üretilen nihai ürünlerin mekanik değerlerine yakın değerler elde edilmesini sağlayan optimum gaz giderme süresinin tespiti için yapılan sıvı metal kalitesi ölçümlerinde, 7 dakika gaz giderme işleminin 14 dakika gaz giderme işlemine göre sıvı metal kalitesini yükseltici yönde rol oynadığı belirlenmiştir.
- Elde edilen mekanik değerler (sertlik, uzama miktarı, çekme ve akma mukavemeti) ve sıvı metal kalitesini gösteren değerlere (yoğunluk, bifilm indeksi, bifilm sayısı, bifilm alanı, mikroyapı) göre ikincil alüminyumdan elde edilen nihai ürünlerin sıvı metal kalitesinin sağlandığı durumlarda, birincil alüminyumdan üretilen nihai ürünlerin kalitesine yakın malzemelerin üretilebildiği gözlemlenmiştir.

5. KAYNAKÇA

- [1] T. Yağcı, Ü. Cöcen, O. Çulha, A.Korkmaz, "Alüminyum Döküm Alaşımlarına Dair Son Yıllardaki Akademik ve Endüstriyel Gelişmelere Genel Bakış ve Değerlendirme", Bursa Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Cilt 26, 2021, Sayı 3,
- [2] Davis, J.R., "Alloying: understanding the basics", ASM international, 2001, p351-416
- [3] Ü. G. Başcı, H.İ. Yavuz, R. Yamanoğlu "Al6061 Talaşının Toz Metalurjisi ile Geri Kazanımı", Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 10, 2022, 1689-1700
- [4] M. Gürbüz, "Atık İçecek Kutularından Üretilmiş Alüminyumun Mekanik Özelliklerine Soğuk İşlemin Etkisi", Dokuz Eylül Üniversitesi-Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, Cilt 20, 2018, Sayı 58
- [5] E. Car, "İkincil Alüminyum Üretimine Genel Bir Bakış", Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği Metalurji Mühendisleri Odası, syf 42-50
- [6] M. Adıgüzel, "Dünya'da ve Türkiye'de Alüminyum Sektörü, Dış Ticareti ve Türkiye'nin Rekabet Gücü", Üçüncü Sektör Sosyal Ekonomi Dergisi, 57(4), 2782-2813
- [7] S. A. Vurdu, "Alüminyumda Küresel Ticaret Değerlendirmesi ve Yeşil Ekonomi ile Değişim", 10 International Aluminium Symposium, İstanbul Expo Center 3-4 March 2022, syd65-73
- [8] K. Plassmann, G. Edwards-Jones, "Carbon footprinting and carbon labelling of food products", Life Cycle Assessment and Related Approaches Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, 2010, Pages 272-296
- [9] F. Yılmaz, "Yeni Normal ve Sınırdaki Karbon Düzenlemesi", 10 International Aluminium Symposium, İstanbul Expo Center 3-4 March 2022, syd74-86
- [10] Ç. Yüksel, M. Çiğdem, D. Dışpınar, U. Aybarç, "Ultrasonik Gaz Giderme Yöntemi ile Metal Kalitesinin Artırılması" Technological Applied Sciences, 13(2): 172-179
- [11] B. Akyuz, S. Şenaysoy, "Alüminyum Alaşımlarında Yaşlandırma İşleminin Mekanik Özellikler ve İşlenebilirlik Üzerindeki Etkisi", Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Cilt:1, 2014, Sayı:1
- [12] Ç. Yüksel, "Alüminyum ve Alaşımlarının Sıvı Metal Kalitesinin Arttırılması", Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Programı, 2016
- [13] İ. D. Cengiz, "Alüminyum Metal Kalitelerine Göre Gaz Alma Süreçlerinin Optimizasyonu", Gebze Teknik Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı, 2018

Alüminyum Döküm Alaşımlarının Akışkanlık Ölçümü İçin “Akışkanlık İndeksi”

Melek DURMUŞ¹, Derya DIŞPINAR², Mehmet GAVGALI¹, Murat ÇOLAK³

¹ Necmettin Erbakan Üniversitesi, Konya, Türkiye

² Vesuvius - Foseco ArGe Merkezi, Aluminum Grubu, Enschede, Hollanda

³ Bayburt Üniversitesi, Bayburt, Türkiye

ÖZET

Alüminyum alaşımlarının akışkanlık karakterizasyonu için genellikle spiral test kalıpları kullanılır. Döküm şartlarına bağlı olarak kalıp dolumu sırasında katılaşmanın tamamlandığı nokta referans alınarak uzunluk cinsinden ölçüm yapılır. Fakat bu bilgi ancak ve ancak farklı şartlarda dökümler yapılarak bulunan değerlerin birbirleri ile kıyaslanması ile değer kazanır. Bu amaçla, bu çalışmada 4 kanallı ve her kanalın farklı kalınlıkta olduğu bir tasarım çalışması yapılmıştır. Bu doğrultuda, kalıp içerisine döküm yapıldıktan sonra 2-4-6 ve 8 mm kalınlıklarında sıvı metalin ne kadar ilerlediği karakterize edilebilmektedir. Bu sayede döküm şartlarına bağlı olarak herhangi bir tasarım yapıldığında, döküm parçasının değişkenlik gösteren kalıp kalınlıklarına göre ne kadar akışkanlık göstereceği bilgisi sunulması hedeflenmiştir. Bu çalışma sonucunda elde edilen verilerin değerlendirilmesinde ise her kalınlıkta ne kadar ilerlediği hesaplanırken, bu çoklu verilerin tek bir rakam altında birleştirilmesi ve tek bir değer vermesi adına yeni bir “akışkanlık indeksi” türetilmiştir. Bu indeks, her kalınlıktaki akışkanlık mesafesi kesit kalınlığına bölünerek toplamının alınması şeklinde değerlendirilmiştir. A356 alaşımı ile yapılan farklı şartlardaki dökümler ile (700 ve 750oC döküm sıcaklığı, gaz giderme öncesi ve sonrası) yeni indeksin değerlendirilmesi yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: A356, akışkanlık, akışkanlık indeksi, sıvı metal temizliği

“Fluidity Index” For Fluidity Measurement Of Aluminum Casting Alloys

ABSTRACT

Spiral test molds are generally used for fluidity characterization of aluminum alloys. Depending on the casting conditions, length measurement is made by taking as reference the point where solidification is completed during mold filling. However, this information only gains value by comparing the values found by making calculations under different conditions. For this purpose, in this study, a design study with 4 channels and each channel with different thickness was carried out. In this respect, it can be characterized how far the liquid metal has advanced in thicknesses of 2-4-6 and 8 mm after being cast into the mold. In this way, when any design is made depending on the casting conditions, it is aimed to provide information on how much fluidity the casting part will show according to the varying mold thicknesses.

In the evaluation of the data obtained as a result of this study, a new “fluidity index” was derived to combine these multiple data under a single number and give a single value, while calculating how much progress it had made at each thickness. This index was evaluated as the sum of the fluidity distance in each thickness divided by the section thickness. The new index was evaluated with castings made with A356 alloy under different conditions (700 and 750 oC casting temperature, before and after degassing).

Keywords: A356, fluidity, Fluidity Index, Liquid metal cleanliness.

1.GİRİŞ

Döküm, sıvı metallerin kalıp boşluğuna dökülmesiyle gerçekleştirilen bir imalat işlemi olarak bilinmektedir. Bu yöntemle ergitilebilen her türlü malzemeden karmaşık şekilli parçalar kolaylıkla üretilebilmektedir [1]. Döküm işleminde, malzemenin kalıbı tam olarak doldurma yeteneği kritik bir öneme sahiptir. Mukavemeti ve hafifliği nedeniyle, ince cidarlı döküm gerçekleştirilmesi gereken havacılık, savunma ve otomotiv gibi sektörlerde alüminyum alaşımları önemlidir [2]. Alüminyum alaşımları ayrıca düşük ergime noktası, iyi mekanik özellikler, hafiflik, kolay imalat gibi özelliklere de sahiptir [3-6]. Ancak ince cidarlı alüminyum dökümlerinde kalıp dolumu ile ilgili çeşitli üretim sorunları ile karşılaşılabilir. Döküm yapılacak kalıbın kalınlık veya geometri karmaşıklığına bağlı olarak, ince olan kısımların hızlı soğutulması, ergimiş metalin akışkanlığını azaltmakta ve ergimiş metalin kalıp boşluğunu tam doldurmadan katılaşmasına neden olabilmektedir [7].

Akışkanlık, ergimiş bir metalin katılaşmadan önce ne kadar uzağa akabileceğini belirtmek için kullanılan bir ifadedir [8,9]. Sıvı metalin akıcılığını etkileyen birçok değişken bulunmaktadır. Bunlar; ergimiş alaşımın sıcaklığı, alaşımın bileşimi, kalıp malzemesi, katılaşma esnasında yapı içinde oluşan çökeltiler, inklüzyonlar, oksitler, bifilm, yolluk sistemi, viskozite, döküm süresi, kristalleşmenin şekli ve katılaşması, soğuma hızı, sıvı metal içerisinde bulunan yabancı maddeler gibi faktörlerdir [10-17]. Ayrıca katılaşma aralığı ve faz bileşiminin akışkanlık üzerinde etkisi vardır. Döküm uygulamasının belirli koşulları altında alaşımın sıvı veya sıvı-katı ikili fazının sıvı akışı ve katılaşması akışkanlığı etkilemektedir [7].

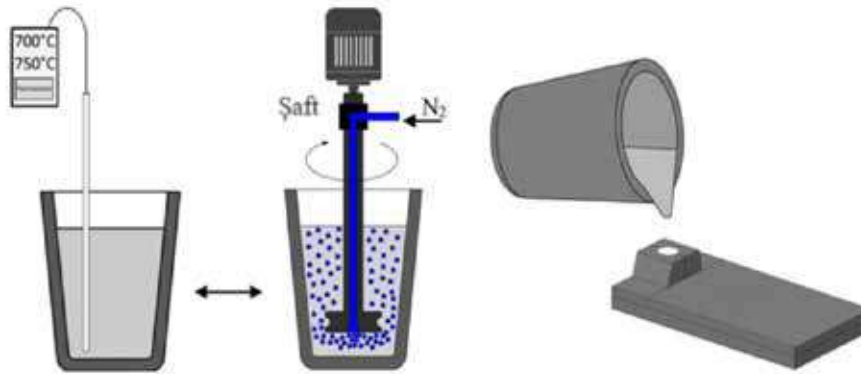
Alaşım içerisinde bulunan çeşitli safsızlık elementlerinin zararlı etkilerini ortadan kaldırmak için ergiyik alaşıma sıvı metal temizliği, nötrleyici alaşım elementi ilavesi, filtre kullanımı gibi işlemler uygulanmaktadır. Bu işlemler, alaşım içerisindeki gaz, inklüzyon ve kalıntı gibi kirliliklerin ortadan kaldırılması veya asgari düzeye indirgenebilmesine imkân sağlamaktadır. Bu kapsamda en yaygın kullanılan işlem sıvı metal temizleme yöntemleridir. Sıvı metal temizleme işlemlerinin döner tip gaz giderme, sabit lans ile temizleme, tablet/flaks ile temizleme gibi alternatifleri mevcuttur. Döner tip gaz giderme işlemi, ergiyik alaşımın içerisine azot veya argon gazı verilerek döner bir mekanizma ile karıştırılması sonucu alaşım içerisinde bulunan gaz ve katışıkların sıvı metal yüzeyine çıkarılarak alaşımdan uzaklaştırılır. Sıvı metal temizliği uygulanan alaşımların mekanik özelliklerinin arttığı, kolay dökülebilirlik kazandığı, gözeneklilik oluşumunun azaldığı ve alaşımın akıcılığına olumlu yönde katkı sağladığı yapılan çalışmalarda gözlemlenmektedir [18-20].

Akışkanlık genellikle milimetre veya metre cinsinden ölçülen bir uzunluktur. Akışkanlık ölçümü için spiral kalıp, U şeklinde kalıp, çubuk veya farklı kalınlıklara sahip kanallı test kalıplarının kullanıldığı test yöntemleri mevcuttur [19-23]. Bu kalıplar ile sıvı metalin akıcılığı farklı deney parametreleri ile test edilmektedir. Ancak farklı kanal sayısına sahip test kalıpları kullanıldığında kanal sayısının fazla olması sıvı metal ilerleme mesafelerini değerlendirme açısından karmaşık olmaktadır. Bu yüzden bu çalışmada farklı kesit kalınlıklarına sahip 4 kanallı akıcılık kalıbına yapılan dökümlerden elde edilen değerler ile bir akıcılık indeksi geliştirilmiştir. Böylelikle döküm şartlarına bağlı olarak oluşan çoklu verilerin tek bir rakam altında birleştirilmesi ve tek bir değer vermesi adına yeni bir "akışkanlık indeksi" kriteri türetilmiştir. Çalışma kapsamında elde edilen veriler A356 alaşımının 700 ve 750°C döküm sıcaklığı, gaz giderme öncesi ve sonrası 4 kanallı akıcılık test kalıbına dökülmesi ile elde edilmiştir.

2.DENEYSEL ÇALIŞMALAR

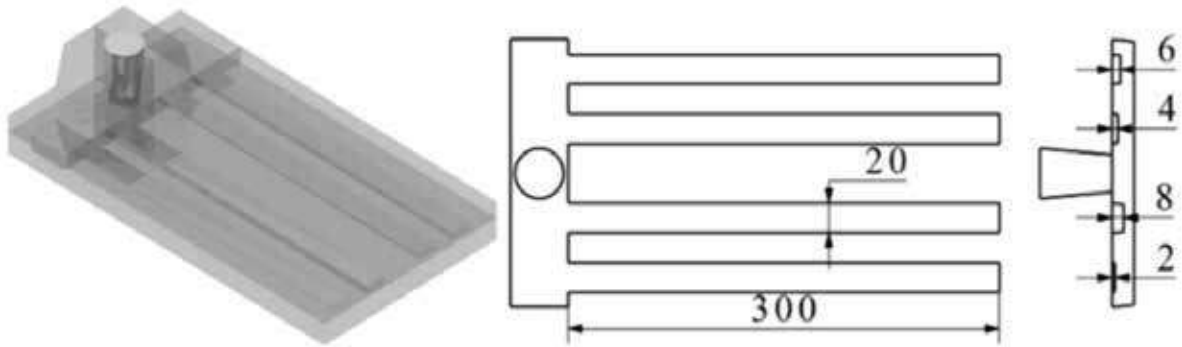
Çalışmada sektörde yaygın olarak kullanılan A356 alüminyum alaşımı kullanılmıştır. A356 alaşımı ergitme işlemi 10 kW güce sahip 8 kilogram kapasiteli elektrikli direnç ocağında SiC pota içerisinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmada A356 alaşımı 700°C ve 750°C olarak iki farklı döküm sıcaklığı ve

alaşıma sıvı metal temizleme işlemi uygulanmadan ve uygulanarak 4 farklı döküm gerçekleştirilmiştir. Deney prosedürü şematığı Şekil 1’de verilmiştir. Sıvı metal temizleme işleminde sıvı metale döner tip gaz giderme işlemi uygulanmış, gaz debisi ve çark hızı ise literatürdeki araştırmalar baz alınarak yapılan ön denemeler sonucunda 5 lt/dk ve 300 rpm olarak, 5dk uygulanmıştır.



Şekil 1: Deney şematığı

A356 alaşımının akıcılığını test etmek için 4 kanallı akıcılık kalıbı kullanılmıştır. Akıcılık test kalıbı ölçüleri Şekil 2’de verilen kanal uzunluğu 300 mm ve kanal kalınlıkları sırasıyla 2 mm, 4 mm, 6 mm ve 8 mm olan 4 kanallı akıcılık test kalıbıdır. Kullanılan 4 kanallı akıcılık test kalıbı ve teknik resmi Şekil 2’de verilmiştir.



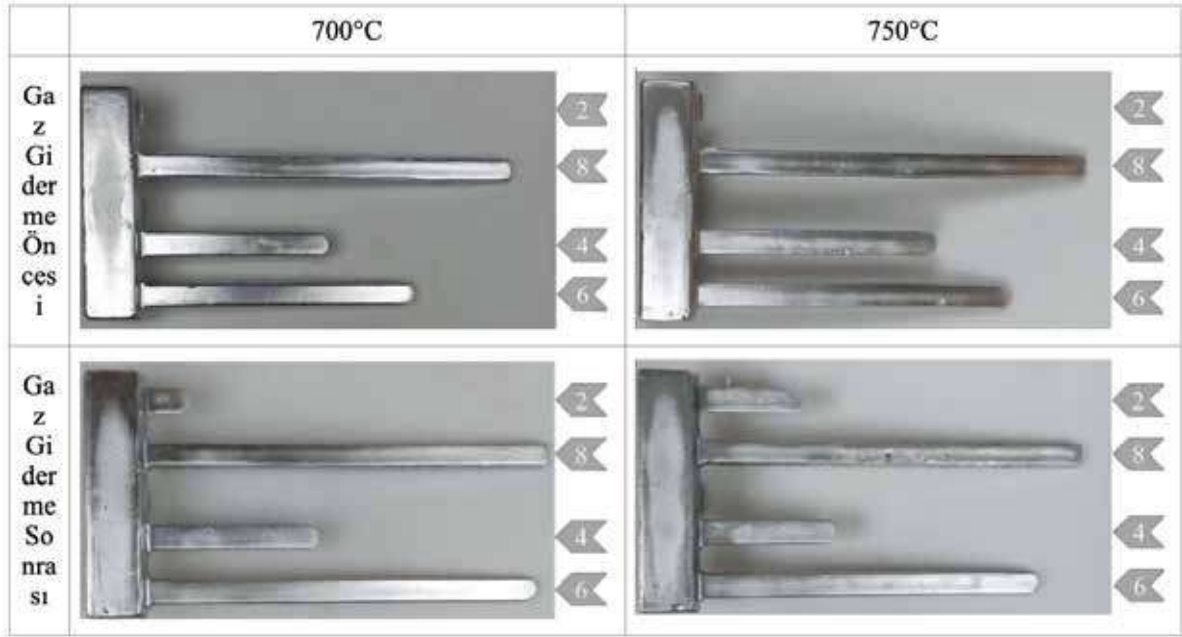
Şekil 2: 4 kanallı akıcılık kalıp ve teknik resmi

Çalışmada kullanılan kalıp tasarımında her kesit kalınlığının farklı olması, farklı kesit kalınlıklarında sıvı metalin ilerleme mesafelerinin analiz edilmesini sağlamaktadır. Farklı kanal kalınlıklarının varlığı, analizde akışkanlığın yorumlanmasını karmaşık hale getirmektedir. Bu nedenle, bu çalışmada, akışkanlık testi sırasında farklı kesit kalınlıkları kullanıldığında, bir akışkanlık indeksi önerilmektedir. Her kesitin kendi sıvı metal ilerleme mesafesi kalınlığa bölünerek her kanal değerinin toplamı tek bir sayı olarak kullanılarak akışkanlık uzunluğunun göstergesi olarak “Akışkanlık İndeksi” olarak adlandırılmıştır (Eşitlik 1):

$$Akıcılık\ İndeksi = \sum \frac{Sıvı\ Metal\ İlerleme\ Mesafesi}{Kanal\ Kesit\ Kalınlığı} \quad (Eşitlik\ 1)$$

3.SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Dökümlerden elde edilen numune fotoğraf görüntüleri Şekil 3'te verilmiştir.

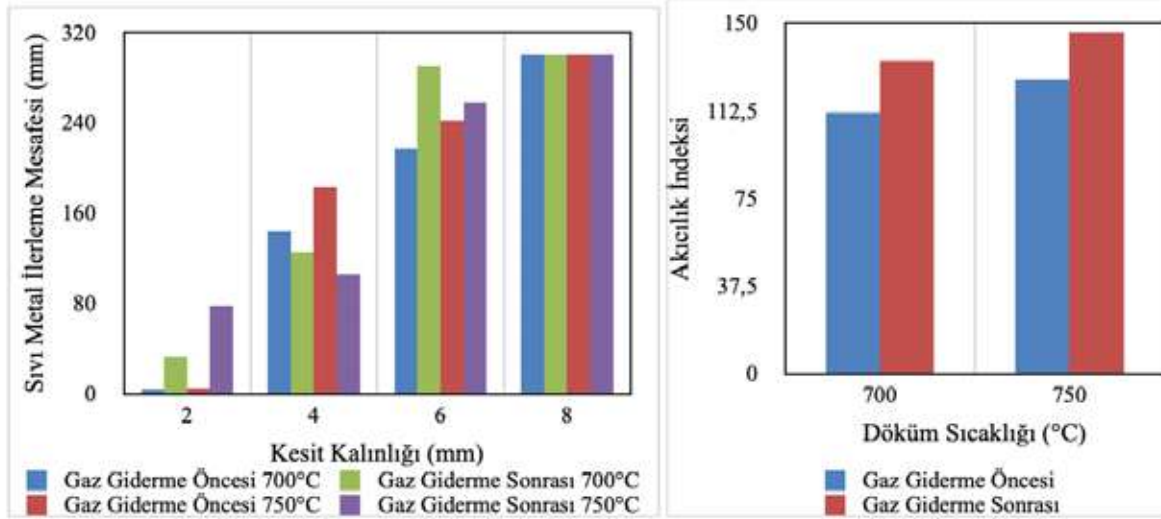


Şekil 3: 4 kanallı akıcılık numune fotoğraf görüntüleri

Şekil 3'te fotoğraf görüntüleri verilen akıcılık numuneleri makro inceleme yöntemleri kullanılarak her bir kanal sıvı metal ilerleme mesafeleri ölçülmüştür. Elde edilen sıvı metal ilerleme mesafeleri ve Eşitlik 1'e göre akıcılık indeksi hesaplamaları Çizelge 1'de verilmiştir. Kesit kalınlığına bağlı sıvı metal ilerleme mesafesi ve akıcılık indeksi sonuçları Şekil 4'te grafik olarak verilmiştir.

Döküm Sıcaklığı (°C)	Gaz Giderme Öncesi				Gaz Giderme Sonrası			
	Kesit Kalınlığı (mm)				Kesit Kalınlığı (mm)			
	2	8	4	6	2	8	4	6
700	4	300	144	217	33	300	126	290
	$\frac{4}{2} + \frac{300}{8} + \frac{144}{4} + \frac{217}{6} = 111,7$				$\frac{33}{2} + \frac{300}{8} + \frac{126}{4} + \frac{290}{6} = 133,9$			
750	5	300	183	242	78	300	106	258
	$\frac{5}{2} + \frac{300}{8} + \frac{183}{4} + \frac{242}{6} = 126,1$				$\frac{78}{2} + \frac{300}{8} + \frac{106}{4} + \frac{258}{6} = 146$			

Çizelge 1: Numunelerin sıvı metal ilerleme mesafeleri ve akıcılık indeksi hesaplamaları



Şekil 4: a) Sıvı metal ilerleme mesafesi, b) akıcılık indeksi sonuçları

Şekil 4.a'da kesit kalınlık değişimine bağlı verilen grafik incelendiğinde döküm sıcaklık artışı ve sıvı metal temizliğinin farklı kademelerde etkisinin nasıl olduğu görülmektedir. Bu değerler ile genel bir sonuç verilememekte, yapılan tüm değerlendirmeler her kesit kalınlığı kendi içerisinde karşılaştırıldığında karşılaştırma zorlaşmaktadır. Şekil 4.b'de verilen Akıcılık İndeksi grafiği diğer grafik ile karşılaştırıldığında her deney parametresinde tüm kademeler için farklı sıvı metal ilerleme mesafesi elde edilmektedir. Akıcılık indeksi ile her deney parametresi için tek bir değer elde edildiği ve bu durumun deney parametrelerinin genel karşılaştırması için daha kolay olduğu görülmektedir. Şekil 4.b'de verilen grafik incelendiğinde sıvı metalin döküm sıcaklığını 700°C'den 750°C'ye çıkarılmasının akıcılık indeksinin 111,7'den 126,1'e arttığı görülmektedir. Sıvı metale uygulanan gaz giderme işleminin 700°C'de 111,6'dan 133,9'a ve 750°C'de 126,1'den 146'a akıcılık indeksi değerini artırdığı belirlenmiştir. Elde edilen veriler ile sıvı metalin döküm sıcaklığının artırılması sıvı metal ilerleme mesafesini artırmaktadır. Sıvı metale uygulanan gaz giderme ile temizleme işleminin her iki döküm sıcaklığında da akıcılık indeksi değerlerini artırdığı görülmektedir.

Deney sonuçları literatürle karşılaştırıldığında, benzer bulguların elde edildiği görülmektedir. Alüminyum alaşımlarının akışkanlığının bileşiminin yanı sıra döküm sıcaklığı ve kalıp sıcaklığı gibi döküm koşullarından da etkilendiği ve sıcaklık artışı ile sıvı metal akışını artırdığı çeşitli çalışmalarda tespit edilmiştir [24-27]. İlgili çalışmalar alüminyum döküm alaşımlarının akışkanlığını etkileyen en önemli faktörün sıcaklık olduğunu ortaya koymaktadır. Farklı bir çalışma da akıcılığı etkileyen faktörler arasında alaşımın bileşimi, sıvı metal sıcaklığı, sürtünme katsayısı, yüzey gerilimi, oksit ve gaz tabakaları, cüruf ve yabancı maddeler, katılma sırasında oluşan çökeltiler ve kalıbın özellikleri olduğu belirtilmiştir [28]. Alaşımın akıcılığını etkileyen diğer faktör ise alüminyum döküm alaşımlarında sıvı metal temizliğidir. Alaşıma uygulanan sıvı metal temizliği alaşımın akıcılığını artırdığı yapılan deneysel çalışmalarla tespit edilmiş olup, alaşım içinde bulunan parçacık ve farklı elementlerin varlığının sıvı metalin akışkanlığını azalttığı vurgulanmaktadır [29].

4.SONUÇLAR

Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde;

- 4 kanallı akıcılık kalıbı ile yeni önerilen akışkanlık indeksi, farklı kalınlıklardaki akışkanlık mesafesini içeren tek bir değer sağlayarak deney parametrelerinin etkisini genel ifade olarak verilmemesini sağlamaktadır.
- Sıvı metalin döküm sıcaklığının arttırılmasının A356 alaşımının akıcılık değerlerini arttırdığı görülmüştür.

- Alaşıma uygulanan gaz giderme ile sıvı metal temizleme yönteminin sıvı metal ilerleme mesafesini artırmıştır.
- Elde edilecek akıcılık indeksinin inceleme kolaylığı sayesinde döküm araştırılması sırasında kullanılacak kesit kalınlıklarının daha çeşitlenmesi mümkün hale geleceği düşünülmektedir.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma Necmettin Erbakan Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından 23DR19002 kodlu proje kapsamında desteklenmektedir.

6. KAYNAKÇA

1. Campbell, J. (2015). Complete casting handbook: metal casting processes, metallurgy, techniques and design. Butterworth-Heinemann.
2. W. Harrigan & S. Ochiai (1994). Handbook of metallic composites.
3. Stojanovic, B., Bukvic, ., & Epler, I. (2018). Application of aluminum and aluminum alloys in engineering. Applied Engineering Letters: Journal of Engineering and Applied Sciences.
4. Sadki, A., Hattali, M. L., Bradai, M., Younes, R., & Mesrati, N. (2016). Characterization and modeling of the mechanical behavior of aeronautical alloy based composite. Universal Journal of Chemistry, 4(1), 10-19.
5. Kumar, M., Baloch, M. M., Abro, M. I., Memon, S. A., & Chandio, A. D. (2019). Effect of artificial aging temperature on mechanical properties of 6061 aluminum alloy. Mehran University Research Journal of Engineering & Technology, 38(1), 31-36.
6. Bakhteeva, N. D., & Todorova, E. V. (2018, April). Formation of composite structure of amorphous alloy after treatment of different types. In IOP Conference Series. Materials Science and Engineering (Vol. 347, No. 1). IOP Publishing.
7. Ravi, K. R., Pillai, R. M., Amaranathan, K. R., Pai, B. C., & Chakraborty, M. (2008). Fluidity of aluminum alloys and composites: A review. Journal of Alloys and Compounds, 456(1-2), 201-210.
8. Vignesh, R., Gandhi, M. S., Vignesh, A., & Rajarajan, P. (2016). Effect of squeeze cast process parameters on fluidity of aluminium LM6 alloy. Int. J. Adv. Technol, 7, 157.
9. Di Sabatino, M., Arnberg, L., & Apelian, D. (2008). Progress on the understanding of fluidity of aluminium foundry alloys. International Journal of Metalcasting, 2, 17-27.
10. Fazeli, A. H., Saghafian, H., Boutorabi, S. M. A., & Campbell, J. (2021). The fluidity of aluminium ductile irons. International Journal of Metalcasting, 1-10.
11. Han, J., Liu, Z., Jia, Y., Wang, T., Zhao, L., Guo, J., ... & Chen, Y. (2020). Effect of TiB₂ addition on microstructure and fluidity of cast TiAl alloy. Vacuum, 174, 109210.
12. Dahle, A. K., Tøndel, P. A., Paradies, C. J., & Arnberg, L. (1996). Effect of grain refinement on the fluidity of two commercial Al-Si foundry alloys. Metallurgical and Materials Transactions A, 27, 2305-2313.
13. Zou, G., Chai, Y., Shen, Q., Cheng, T., & Zhang, H. (2022). Analysis of the fluidity and hot tearing susceptibility of AlSi₃. 5MgO. 5CuO. 4 and A356 aluminum alloys. International Journal of Metalcasting, 1-15.
14. Gavgali, M., Çolak, M., & Durmuş, M. (2023). Demir Difüzyonu, Döküm Sıcaklığı ve Sıvı Metal Temizliğinin A356 Alüminyum Alaşımında Akışkanlığa Etkisinin İncelenmesi. In Kitap Bölümü (pp. 263-280).
15. Durmuş, M., Çolak, M., Uslu, E., & Gavgali, M. (2023). The Effect of Iron Diffusion on Fluidity in Casting of A356 Aluminum Alloy. In 8th International Scientific Conference "Telecommunications, Informatics, Energy and Management" – TIEM 2023.
16. Haga, T., Imamura, S., & Fuse, H. (2021). Fluidity investigation of pure Al and Al-Si alloys. Materials, 14(18), 5372.
17. Di Sabatino, M. (2005). Fluidity of aluminum casting alloys.
18. Colak, M., Kayikci, R., & Dispinar, D. (2015). Influence of different cross sections on fluidity char-

- acteristics of A356. Transactions of the Indian Institute of Metals, 68, 275-281.
19. Çolak, M., & Kaya, S. (2021). Investigation of the effect of inoculant and casting temperature on fluidity properties in the production of spheroidal graphite cast iron. Transactions of the Indian Institute of Metals, 74(2), 205-214.
 20. Tokatlı, M., Uslu, E., Çolak, M., & Yüksel, Ç. (2022). Investigation of the effect of liquid metal quality on feedability in casting of A356 aluminum alloys. Turkish Journal of Electromechanics and Energy, 7(3).
 21. Di Sabatino, M., & Arnberg, L. (2004). A review on the fluidity of Al based alloys. Metallurgical Science and Tecnology, 22(1).
 22. Erzi, E., Yüksel, Ç., Gürsoy, O., Çolak, M., & Dışınar, D. (2023). Characterisation of aluminum alloys by octopus fluidity test. Politeknik Dergisi, 1-1.
 23. Mirzadeh, H., & Niroumand, B. (2009). Fluidity of Al-Si semisolid slurries during rheocasting by a novel process. Journal of Materials Processing Technology, 209(11), 4977-4982.
 24. Behera, R., Chatterjee, D., & Sutradhar, G. (2012). Effect of reinforcement particles on the fluidity and solidification behavior of the stir cast aluminum alloy metal matrix composites. American Journal of Materials Science, 2(3), 53-61.
 25. Asan, Y.E., & Çolak, M. (2022). Modeling the Effect of Pour Height, Casting Temperature and Die Preheating Temperature on the Fluidity of Different Section Thicknesses in Permanent Mold Casting of Al12Si Alloys. Erzincan University Journal of Science and Technology, 15(Special Issue I), 14-27.
 26. Sin, S. L., & Dubé, D. (2004). Influence of process parameters on fluidity of investment-cast AZ91D magnesium alloy. Materials Science and Engineering: A, 386(1-2), 34-42.
 27. Timelli, G., & Bonollo, F. (2007). Fluidity of aluminium die castings alloy. International Journal of Cast Metals Research, 20(6), 304-311.
 28. Gyarmati, G., Fegyverneki, G., Molnár, D., & Tokár, M. (2019). The melt cleaning efficiency of different fluxes and their effect on the eutectic modification level of AlSi7MgCu alloy. Livarski Vestnik, 66(2), 70-87.
 29. Haga, T., Imamura, S., Watari, H., & Nishida, S. (2020, September). Effect of Casting Conditions on Fluidity of Aluminum Alloy in Die Casting. In International Conference on Leading Edge Manufacturing/Materials and Processing (Vol. 83624, p. V001T05A013). American Society of Mechanical Engineers.

EFFECT OF DIFFERENT SCRAPS ON LIQUID METAL QUALITY

Murat ÇOLAK*, **Emin USLU***, **Melek DURMUŞ*** **Ümit KUTSAL****, **Süphan ERCAN****, **Yiğit SAĞNAK****, **Serhat BARDAKCI****, **Gizem AMMAS****

***Bayburt Üniversitesi, Bayburt, TÜRKİYE**

****Cevher Jant Sanayii A.Ş., İzmir, TÜRKİYE**

ABSTRACT

Energy and sustainability are among the most important issues today. Especially in the aluminium casting industry, many studies are carried out to save energy and reduce the carbon footprint. The highest carbon footprint emission in aluminium casting occurs due to raw material. The use of secondary or scrap aluminium instead of primary aluminium reduces total energy consumption by over 80%. Within the scope of this study, the effect of various secondary aluminium sources was examined. Machining chips and scrap wheels were selected as secondary aluminium sources, and casting experiments were carried out by mixing these sources in different proportions. The obtained alloys were cast into tensile test moulds and reduced pressure test moulds by gravity casting and the results were examined.

Keywords: A356, scrap wheel, machining chips, liquid metal quality

ÖZET

Sürdürülebilirlik günümüzdeki en önemli konular arasında yer almaktadır. Özellikle alüminyum döküm sektöründe karbon ayak izini azaltabilmek için birçok çalışma yapılmaktadır. Genellikle alüminyum dökümdeki en yüksek karbon ayak izine hammadde girdisi sebebiyet vermektedir. Birincil olarak adlandırılan alüminyum hammaddelerinin yerine ikincil veya hurda olarak adlandırılan alüminyum kullanımı, toplam enerji sarfiyatını %80'nin üzerinde azaltmaktadır. Bu çalışma kapsamında da birincil alüminyum yerine alternatif olabilecek çeşitli ikincil alüminyum kaynaklarının etkisi incelenmiştir. İkincil alüminyum kaynağı olarak talaş ve fire jant kullanılmış ve bu kaynaklar farklı oranlarda birbirleri ile karıştırılarak döküm deneyleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen alaşımlar gravite döküm ile çekme kalıplarına ve vakum altında katılaşma testi kalıplarına dökülerek sonuçlar incelenmiştir.

Anahtar kelimeler: A356, hurda jant, talaş hurdası, sıvı metal kalitesi

This study was carried out within the scope of 1071 - Support Programme for Increasing the Capacity to Benefit from International Research Funds and Participation in International R&D Collaborations (Tübitak-NCBR).

1. INTRODUCTION

Aluminium alloys have properties such as low melting temperature, excellent mechanical properties, high specific strength, easy processing and good corrosion resistance. Due to these properties, aluminium alloys are widely used in various industries such as food, chemical, automotive, shipbuilding, aviation and aerospace [1-8]. Aluminium is widely used due to its superior properties and this situation causes the demand for aluminium to increase. The raw material required for the aluminium industry is provided by primary and secondary aluminium (scrap) sources. Primary aluminium, can be obtained from naturally occurring bauxite. Approximately 17000 kWh of energy is required to produce one tonne of aluminium from bauxite. Aluminium is a recyclable metal. To obtain the same amount of aluminium by recycling, 750 kWh energy is consumed [9]. Secondary aluminium has a much lower energy requirement than primary aluminium. Therefore, the demand for secondary aluminium is increasing due to high energy costs and environmentalist concerns [10].

Liquid metal quality is very important in aluminium alloys. Factors affecting the casting quality of aluminium alloys are very various. Some of them can be listed as alloy composition, microstructure, casting processes and impurities in the structure. [11,12]. The most harmful impurity element in the structure for A356 alloy is known as Fe. The interaction between iron and aluminium can lead to the formation of intermetallic compounds that affect the alloy properties. It has been observed that these compounds can adversely affect the mechanical properties of the alloy, casting performance, porosity and shrinkage voids [13-20]. It is known that Fe-based intermetallics in recycled aluminium alloys can lead to reduced ductility [21-23]. Narducci et al. stated that the presence of Fe in Al-Si alloys promotes the formation of intermetallic phases such as β -Al₅FeSi (β -Fe), which deteriorates the mechanical properties of the material [24].

In this study, A356 scrap aluminium was used in different ratios instead of primary aluminium in order to provide advantages in terms of both energy saving and recycling.

In the experimental study, aluminium alloys were formed by combining chips and scrap wheels at different ratios. Liquid metal quality and mechanical properties were evaluated in castings made with scrap with varying contents.

2. EXPERIMENTAL STUDY

The chemical composition of the scrap sources is given in Table 1. A total of six casting experiments were carried out using scrap alloys at the ratios given in Table 2.

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Sr	Ti	Ca	Cr	V	Pb	Na	Al
Chips	7.48	0.1	0.00 1	0.00 2	0.26	0.00 8	0.11	0.00 2	0.00 1	0.01	0.00 1	0.00 1	Remain
Scrap Wheel	7.11	0.46	0.00 1	0.00 4	0.23	0.01 0	0.12	0.00 1	0.00 2	0.01	0.00 1	0.00 1	Remain

Table 1: Chemical composition of scrap alloy sources used in the experiments (% wt.)

Experiment t	Chips (%)	Scrap Wheel (%)
1	100	0
2	90	10
3	75	25
4	50	50
5	25	75
6	0	100

Table 2: Secondary aluminum ratios (%)

The melting process of A356 scrap alloys was carried out in a SiC crucible in an 8 kilogram capacity electric resistance furnace with a power of 10 kW. The liquid metal prepared after melting was cast into the mould in the mechanical test mould and the reduced pressure test (RPT) mould. Figure 1 shows the photographic image of the RPT device and mould used in the experiments.



Figure 1: RPT device and its mould.

For the determination of liquid metal quality, density measurement and bifilm index analysis were performed on the samples obtained from the solidification test device under vacuum. Density measurements were carried out according to Archimedes' Principle from the weights of the sample in air and water. In density calculations, the density of water at 20 °C was taken as $d_w = 0,99821 \text{ g/cm}^3$. For cross-sectional surface examinations, the samples were cut vertically in the centre and the surface was prepared by metallography processes. Cross-sectional surfaces were examined and bifilm index values were determined by image analysis technique. Analyses were performed under 100 mbar. In the bifilm analysis, the inside of the cut samples were coloured and the amount of porosity inside was measured. Technical drawing of the tensile test mould is given in Figure 2.

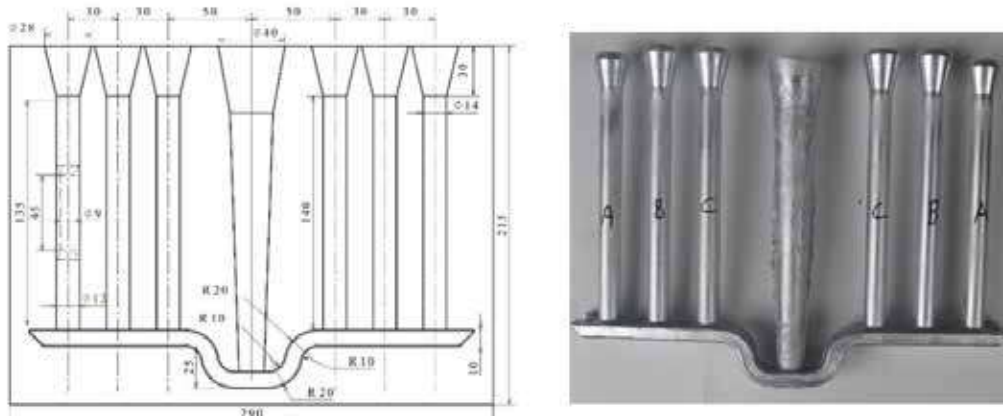


Figure 2: Mechanical test mould and 6-bars sample image.

As shown in Figure 2, the specimens are coded as C on the runner side, B in the centre and A on the outer edges. Thus, possible differences in the tensile test results according to the solidification time can be evaluated. After the cast specimens were separated from the runners, they were machined on a CNC turning lathe to form tensile test specimens. Tensile tests were performed on a Zwick Z100 model tensile testing machine using the EN ISO 6892-1 standard. The maximum capacity of the tensile machine is 100 kN. The tensile test will determine the yield strength, tensile strength and % elongation values of the specimens. The shape of the tensile test samples prepared according to DIN ISO 50125.

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

Firstly, chemical composition analysis tests were performed on the test samples. Chemical composition analysis were performed with ARL brand optical spectrometer according to EN 1706 standard. In this method, combustion is created on the surface with the arc sent on the part with the optical emission spectrometer (OES) device. According to the wavelengths emitted from the surface, the elements in the sample can be seen. The chemical compositions of the samples obtained from the castings are given in Table 3.

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Sr	Ti	Ca	Cr	V	Pb	Na	Al
1	7.049	0.101	0.001	0.001	0.251	0.007	0.123	0.001	0.001	0.011	0.0009	0.0000	Remain
2	7.212	0.135	0.001	0.002	0.256	0.006	0.119	0.001	0.001	0.011	0.0010	0.0000	Remain
3	7.089	0.188	0.001	0.002	0.248	0.006	0.118	0.001	0.001	0.011	0.0010	0.0000	Remain
4	6.927	0.259	0.001	0.002	0.234	0.005	0.129	0.001	0.001	0.011	0.0010	0.0000	Remain
5	6.820	0.337	0.000	0.003	0.225	0.006	0.127	0.001	0.001	0.011	0.0010	0.0000	Remain
6	7.048	0.447	0.001	0.003	0.228	0.006	0.126	0.001	0.002	0.011	0.0011	0.0000	Remain

Table 3: Chemical composition of samples(%wt)

The chemical composition values given in Table 3 show that increasing the proportion of fire rim in the alloy content increases the Fe content. The control of Fe content in A356 aluminium alloy is important because high Fe content may cause the formation of some undesirable phases and this may increase the brittleness of the alloy. It is desirable that the Fe content of A356 aluminium alloy should not exceed 0.2%. It is known that the increase in Fe content in the liquid metal affects the alloy properties [25]. The results of density measurement and % pore values obtained from RPT samples according to Archimedes principle are given graphically in Figure 3. In pore calculations, the reference density value was taken into account as 2.7 gr/cm³.

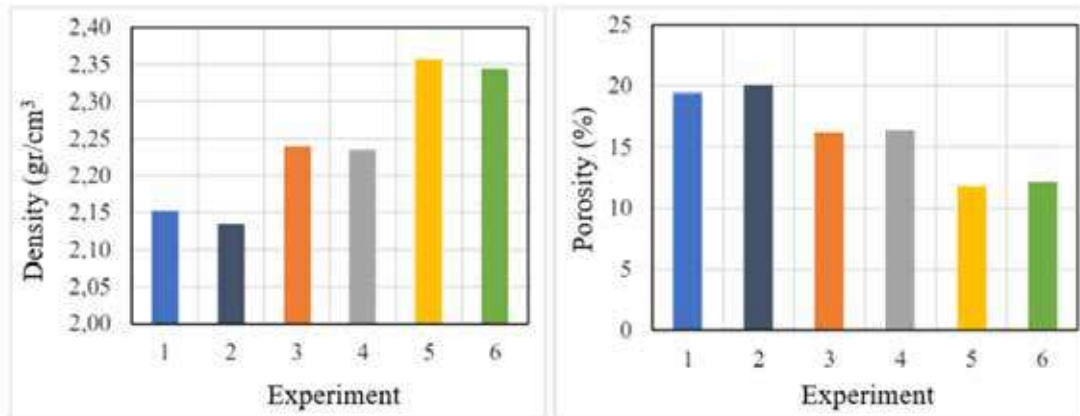


Figure 3: RPT sample density measurement and % pore measurement results.

According to the results given in Figure 3, the density value (gr/cm³) was calculated as 2.15 in the 1st experiment, 2.13 in the 2nd experiment, 2.24 in the 3rd experiment, 2.23 in the 4th experiment, 2.36 in the 5th experiment, 2.34 in the 6th experiment and the pore amounts (%) were calculated as 19.38 in the 1st experiment, 20.04 in the 2nd experiment, 16.17 in the 3rd experiment, 16.37 in the 4th experiment, 11.75 in the 5th experiment and 12.19 in the 6th experiment. When the results were analysed, it was determined that density values were low and pore values were high in all experiments since liquid metal cleaning was not performed. The average pore values were above 10% in all experiments. When the results are analysed in general, it is observed that although the amount of pores seems to decrease as the scrap wheel ratio increases, the related pore values are also very high. Cross-sectional surface images of RPT specimens are given in Figure 4.

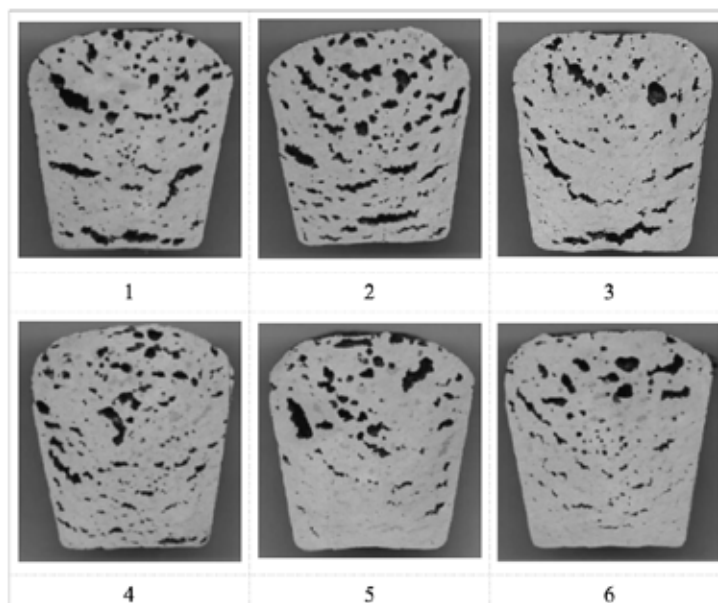


Figure 4: RPT samples.

Examination of the images given in Figure 4 shows that liquid metal cleaning is not applicable for any of the experiments. In order to compare the related experiments with each other numerically, bifilm index values were calculated. The average bifilm results of the measurements made in each experiment are given graphically in Figure 5.

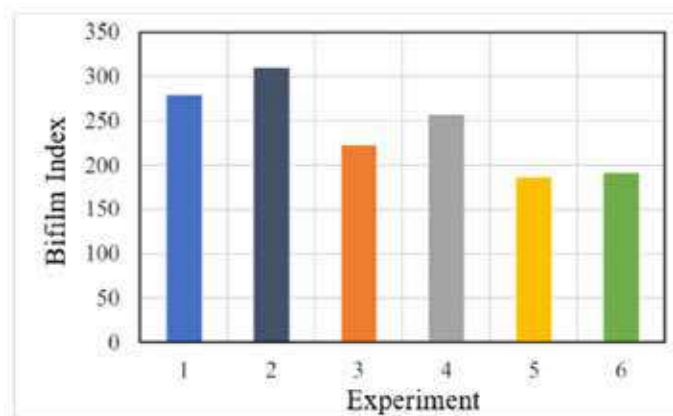


Figure 5: Bifilm index results

The results given in Figure 5 show that the bifilm indices were calculated as 278 in experiment 1, 310 in experiment 2, 222 in experiment 3, 257 in experiment 4, 185 in experiment 5 and 190 in experiment 6. It was determined that the bifilm values ranged between 185 mm and 310 mm and the related values were quite high for all experiments. It is understood that liquid metal cleaning process should be applied to the alloy from all examinations made for RPT specimens. Dişpınar and Campbell stated that the pore content of RPT specimens depends not only on hydrogen but also on bifilm content [26]. Other studies have also shown that the trend of porosity change in RPT samples is similar to the bifilm index. This similarity confirms the reliability of porosity measurements and their usability in the evaluation of the bifilm index [27-32].

The specimens were cast into mechanical test moulds to determine the tensile strength, yield strength and % elongation values with varying scrap contents. The cast specimens were cut from the runners and formed into tensile bars after the CNC machining. Average tensile strength, yield strength and % elongation values obtained by tensile test are given in Table 4 according to position.

Exp.	Position A			Position B			Position C		
	Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)	Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)	Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)
1	94.95	157.86	3.02	91.68	140.69	2.53	91.76	138.26	2.26
2	89.74	155.32	2.54	90.91	139.30	2.28	86.76	133.59	2.32
3	89.67	140.14	2.16	88.40	126.53	1.75	88.27	138.62	2.13
4	91.52	131.76	1.51	90.21	128.78	1.66	88.21	128.78	1.57
5	85.76	138.73	2.11	86.43	127.47	1.60	84.97	127.47	1.75
6	90.21	134.02	1.60	93.30	140.45	1.74	92.29	144.75	2.03

Table 4: Tensile test results

Yield strength results vary between 85 MPa and 92 MPa, tensile strength results vary between 130 MPa and 145 MPa. When the strength values are examined in terms of in-mould position, it is observed that the results obtained are close to each other, but the specimen in the outer cross-section has slightly higher values due to faster solidification compared to the other specimens. Although the tendency is not the same in all experiments in terms of % elongation, it is understood that the elongation values of the specimens in the outer section are generally higher than the specimens in the runner and the middle part. The average values of the test results regardless of the position in the mould are given graphically in Figure 6.

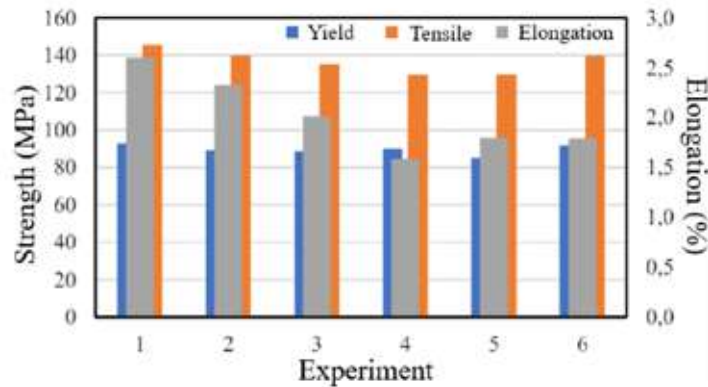


Figure 6: Tensile test results

The yield strength was measured as 92.80 MPa for experiment 1, 89.23 MPa for 2, 88.78 MPa for 3, 89.98 MPa for 4, 85.19 MPa for 5 and 91.93 MPa for 6. In terms of yield strength values, the best results were observed in experiment 1 with 92.8 MPa, while the worst results were observed in experiment 5 where Fe content was high. When the graph is examined in terms of tensile strength, the highest tensile strength was 145.61 MPa in experiment 1, while the lowest results were measured as approximately 129 MPa in experiments 4 and 5. When the situation was evaluated in terms of % elongation, it was determined that the lowest elongation value was 1.58% in experiment 4 and the highest elongation value was 2.6% in experiment 1.

According to the mechanical test results, it is thought that the main reason for the change in mechanical results is Fe content. It is seen that the mechanical properties of the alloys are affected with the increase of Fe content in the alloy content. According to the studies in the literature on the subject, it is stated that Fe impurities in secondary aluminium alloys cause mechanical properties to be affected due to the crystallisation of intermetallics with Fe [21]. In another study, it is emphasized that Fe is an important factor affecting the mechanical properties of aluminium alloys [33]. It has also been observed that Fe content has a significant effect on the microstructure and mechanical properties of aluminium alloys [34,35]. In addition, the presence of Fe in aluminium alloys has a significant effect on the quality of the liquid metal. The interaction between aluminium and iron affects the microstructure and properties of the alloy. The solubility of Fe in aluminium alloys is relatively low and the second phases in the alloy increase at the grain boundary of the alloy. The detrimental effects of Fe on the mechanical properties of aluminium alloys are stated to be due to the formation of Fe intermetallic compounds [36,37].

4. CONCLUSION

The results obtained from the experiments are given below.

- In the study, since there was no liquid metal cleaning in the casting tests, it was determined that the density values were low in all experiments and the amount of pores was quite high above 10%. It was determined that liquid metal cleaning was required in RPT sample cross-sectional surface images and bifilm examinations. This situation shows that liquid metal cleaning is necessary when using scrap alloys.

- Mechanical test results showed that the highest tensile strength was 145.61 MPa in experiment 1 and the lowest results were observed in experiments 4 and 5 with approximately 129 MPa.
- In the yield strength results, the highest strength with 92.8 MPa was obtained in the experiment 1 using 100% chips scrap, and the worst result was obtained with 85.19 MPa in the experiment 5 with high Fe content. The yield strengths in Experiments 2, 3, 4 and 6 are 89.23 MPa, 88.78 MPa, 89.98 MPa and 91.93 MPa, respectively.
- When the elongation values were analysed, it was seen that the values varied between 1.58% and 2.6% and the lowest elongation value was obtained in experiment number 4.
- Fe content was found to be the most important factor in mechanical test results. Depending on the increase in Fe content, a decrease in mechanical values was encountered. Although 100% scrap wheel scrap had the highest Fe content, it did not encounter the worst results in the results. It is thought that the reason for this may be due to the impurities coming from the chips scrap in the structure affecting the Fe intermetallic formation.

ACKNOWLEDGMENTS

It was made within the scope of the Support Programme for Increasing the Capacity to Benefit from International Research Funds and Participation in International R&D Collaborations (Tübitak-NCBR). We would like to thank Tübitak for their support. We would like to thank Cevher Jant Sanayii A.Ş., Ali ÖKTEM, Elvan ARMAKAN for their support.

REFERENCES

1. Park, H. J., Rhee, S., Kang, M. J., & Kim, D. C. (2009). Joining of steel to aluminum alloy by AC pulse MIG welding. *Materials transactions*, 50(9), 2314-2317.
2. Stojanovic, B., Bukvic, M., & Epler, I. (2018). Application of aluminum and aluminum alloys in engineering. *Applied Engineering Letters: Journal of Engineering and Applied Sciences*.
3. Kadhim, M. H., Latif, N. A., Harimon, M. A., Shamran, A. A., & Abbas, D. R. (2020). Effects of side groove and loading rate on the fracture properties of aluminium alloy Al 6061. *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik*, 51(v6), 758-765.
4. Sadki, A., Hattali, M. L., Bradai, M., Younes, R., & Mesrati, N. (2016). Characterization and modeling of the mechanical behavior of aeronautical alloy based composite. *Universal Journal of Chemistry*, 4(1), 10-19.
5. Pantelakis, S., Setsika, D., Chamos, A., & Zervaki, A. (2016). Corrosion damage evolution of the aircraft aluminum alloy 2024 T3. *International Journal of Structural Integrity*, 7(1), 25-46.
6. Shan, J., Hou, D., Zhang, J., Xin, X., Cao, G., & Genzhe, H. (2018). Effects of the extrusion ratio on the intergranular corrosion behaviour of 6082 aluminium alloy. *Materials and Corrosion*, 69(3), 365-375.
7. Kumar, M., Baloch, M. M., Abro, M. I., Memon, S. A., & Chandio, A. D. (2019). Effect of artificial aging temperature on mechanical properties of 6061 aluminum alloy. *Mehran University Research Journal of Engineering & Technology*, 38(1), 31-36.
8. Bakhteeva, N. D., & Todorova, E. V. (2018, April). Formation of composite structure of amorphous alloy after treatment of different types. In *IOP Conference Series. Materials Science and Engineering* (Vol. 347, No. 1). IOP Publishing.
9. Öztürk, M. (2005). Kullanılmış alüminyum malzemelerin geri kazanılması. Çevre ve Orman Bakanlığı.
10. Car, E. (2019). Birincil alüminyum üretimine genel bir bakış. *Metalurji Dergisi*, 156, 34-48.
11. Gómez, P., Elduque, D., Sarasa, J., Pina, C., & Javierre, C. (2016). Influence of composition on the environmental impact of a cast aluminum alloy. *Materials*, 9(6), 412.
12. Mohamed, A. M. A., Samuel, F. H., Samuel, A. M., Doty, H. W., & Valtierra, S. (2008). Influence of tin addition on the microstructure and mechanical properties of Al-Si-Cu-Mg and Al-Si-Mg casting alloys. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 39, 490-501.
13. Chen, C., Wang, J., Shu, D., & Sun, B. (2011). Removal of iron impurity from aluminum by electroslag refining. *Materials transactions*, 52(6), 1320-1323.
14. Jayakumari, L.S. (2020). Influence of iron-aluminum alloy on the tribological performance of non-as-

bestos brake friction materials—a solution for copper replacement. *Industrial Lubrication and Tribology*, 72(1), 66-78.

15. Çolak, M. (2019). Modification of eutectic Al-Si alloys by Sr and CuSn5. *Materials Research Express*, 6(10), 1065a2.

16. Zhang, Z., Huang, C., Chen, S., Wan, M., Yang, M., Ji, S., & Zeng, W. (2022). Effect of microstructure on high cycle fatigue behavior of 211Z. X-T6 Aluminum alloy. *Metals*, 12(3), 387.

17. Çolak, M., & Kayıkcı, R. (2009). A356 döküm alaşımında elektromanyetik karıştırmanın mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 15(3), 345-351.

18. Dietrich, B. G., Becker, H., Smolka, M., Keßler, A., Leineweber, A., & Wolf, G. (2017). Intermetallic sludge formation in Fe containing secondary Al-Si alloys influenced by Cr and Mn as preparative tool for metal melt filtration. *Advanced Engineering Materials*, 19(9), 1700161.

19. Tokatlı, M., Uslu, E., Çolak, M., & Yüksel, Ç. (2022). Investigation of the effect of liquid metal quality on feedability in casting of A356 aluminum alloys. *Turkish Journal of Electromechanics and Energy*, 7(3).

20. Al-Helal, K., Patel, J. B., & Fan, Z. (2020). Fe-Rich intermetallic formation and mechanical properties of recycled AA6111 alloy strips produced by melt conditioning twin roll casting. *JOM*, 72(11), 3753-3759.

21. Haga, T., Ikawa, M., Watari, H., Suzuki, K., & Kumai, S. (2005). High-speed twin roll casting of thin aluminum alloy strips containing Fe impurities. *Materials transactions*, 46(12), 2596-2601.

22. Nascimento, M. S., Santos, G. A. D., Teram, R., Santos, V. T. D., Silva, M. R. D., & Couto, A. A. (2019). Effects of thermal variables of solidification on the microstructure, hardness, and microhardness of Cu-Al-Ni-Fe alloys. *Materials*, 12(8), 1267.

23. Liu, K., Cao, X. J., & Chen, X. G. (2011). Solidification of iron-rich intermetallic phases in Al-4.5 Cu-0.3 Fe cast alloy. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 42, 2004-2016.

24. Narducci Junior, C., Antunes, A. D. S., & Abdalla, A. J. (2021). Effect of the heterogeneous nucleation of the primary γ -Al grain via the Al-4Nb-0.5 B master alloy in Al-Si alloys with high Fe contents. *Materials Research*, 24, e20200544.

25. Taylor, J. A., 2004, *The Effect of Iron in Al-Si Casting Alloys*, Cooperative Research Centre for Cast Metals Manufacturing (CAST), The University of Queensland, Brisbane, Australia, 10 p.

26. Dispınar, D., & Campbell, J. (2004). Critical assessment of reduced pressure test. Part 2: Quantification. *International Journal of Cast Metals Research*, 17(5), 287-294.

27. Ahmadpour, A., Raiszadeh, R., & Doostmohammadi, H. (2014). Effect of stirring on behaviour of double oxide film defects in A356 aluminium melt. *International Journal of Cast Metals Research*, 27(4), 221-229.

28. Shafaei, A. ve Raiszadeh, R. (2014). Al-Mg alaşımlarındaki çift oksit film kusurlarının iyileşmesinin azaltılmış basınç testiyle doğrulanması. *Metalurji ve Malzeme İşlemleri B*, 45, 2486-2494.

29. Erzi, E., Gürsoy, Ö., Yüksel, Ç., Colak, M., & Dispınar, D. (2019). Determination of acceptable quality limit for casting of A356 aluminium alloy: supplier's quality index (SQI). *Metals*, 9(9), 957.

30. Çolak, M., Kayıkcı, R., & Dispınar, D. (2016). Melt cleanliness comparison of chlorine fluxing and Ar degassing of secondary Al-4Cu. *Metallurgical and Materials Transactions B*, 47, 2705-2709.

31. Tigli, A., Tokatlı, M., Uslu, E., Colak, M., & Dispınar, D. (2023). Correlation between K-value, density index and bifilm index in determination of liquid Al cleanliness. *Archives of Foundry Engineering*, 23.

32. Tan, E., Tarakçılar, A. R., Dispınar, D., Colak, M., & Kayıkcı, R. (2011, May). Reproducibility of reduced pressure test results in testing of liquid aluminum gas levels. In *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)* (pp. 321-324).

33. Mbuya, T. O., Odera, B. O., & Ng'ang'a, S. P. (2003). Influence of iron on castability and properties of aluminium silicon alloys: literature review. *International Journal of Cast Metals Research*, 16(5), 451-465.

34. Darvishi, A., Maleki, A., Atabaki, M. M., & Zargami, M. (2012). The mutual effect of iron and manganese on microstructure and mechanical properties of aluminium-silicon alloy. *Metallurgical and Materials Engineering*.

35. Yang, H., Ji, S., & Fan, Z. (2015). Effect of heat treatment and Fe content on the microstructure and mechanical properties of die-cast Al-Si-Cu alloys. *Materials & Design*, 85, 823-832.

36. Balloy, D., Tissier, J. C., Giorgi, M. L., & Briant, M. (2010). Corrosion mechanisms of steel and cast iron by molten aluminum. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 41, 2366-2376.

37. Wang, Q., Li, X., & Zhang, G. (2020). Study of corrosion mechanism of cast iron in molten aluminum. *Materials Research Express*, 7(1), 016534.

The Impact of Secondary Aluminum Alloy Utilization on Carbon Footprint in the Aluminum Casting

Deniz GÜLER*, Yiğitcan BEŞİKTEPE*

*Döktaş Dökümcülük Ticaret ve Sanayi A.Ş, Manisa, Türkiye.

ABSTRACT

The main purpose of this study is to reduce the carbon emissions released in production by using a certain amount of secondary aluminum alloy instead of primary aluminum alloy in the field of aluminum casting. Within the scope of the study, product-based carbon emissions of automotive parts produced with both HPDC and LPDC production methods were calculated to evaluate different aluminum casting methods. In calculating the product-based carbon footprint, the carbon equivalent amounts released in the processes were found. The calculated values were examined separately for two different production methods and primary and secondary aluminum alloys were compared among themselves.

Keywords: Carbon Footprint, Secondary Aluminium Alloy, Primary Aluminium Alloy, Aluminium Casting, CO2

1. INTRODUCTION

In recent times, sustainability has become a crucial issue globally for both industries and individuals [1]. While political agendas prioritize efforts to create a more environmentally friendly world, industries play a critical role in implementing innovative technologies [2]. However, certain industries remain heavily reliant on natural gas in their operations. Particularly, metal producers must meet high energy demands due to their melting processes [3]. Primary aluminum, also known as unprocessed aluminum, is directly derived from bauxite ore through the complex Bayer process. This process involves reacting bauxite ore with sodium hydroxide solution to produce aluminum hydroxide solution. Subsequently, the Hall-Héroult electrolysis method is used to convert aluminum hydroxide into pure aluminum.

With the rapid expansion of e-mobility transformation, the concept of a circular economy has gained prominence as a key element in Europe's goal to achieve carbon neutrality by 2050 [4]. This objective can be achieved through an integrated approach spanning from raw material selection to recycling, from product design to reuse, alongside sustainability considerations. Aluminum alloys are considered environmentally friendly solutions due to their lighter weight compared to traditional materials [5]. However, the energy required for raw material extraction and component production is often overlooked. Secondary aluminum, often referred to as recycled aluminum, is typically produced from scrap or used aluminum products [6].

An increase in the use of aluminum is expected in the automotive industry. This trend will accelerate efforts in the aluminum sector to reduce emissions, necessitating broader adoption of low-carbon technologies in energy and production sectors [7]. Globally, 21% of greenhouse gas emissions originate from industry, with 1% attributed to aluminum production. Recycling aluminum can reduce 94% of the risks associated with global warming and fossil fuel depletion [8]. The carbon footprint of secondary aluminum alloys is approximately twenty times lower than that of primary materials, resulting in significant CO₂ savings [9].

The main aim in the aluminum casting sector is to minimize carbon emissions during production by substituting varying proportions of primary aluminum alloys with secondary aluminum alloys. Findings suggest that using secondary aluminum can significantly reduce carbon emissions by improving energy and heat management in production processes, thereby envisaging a sustainable future for the aluminum casting industry.

2. EXPERIMENTAL STUDIES

This study focuses on calculating the product-based carbon footprint of aluminum parts produced using both HPDC (High-Pressure Die Casting) and LPDC (Low-Pressure Die Casting) methods. The selected parts are the crankcase as the HPDC part and the spring arm as the LPDC part. The primary reason for choosing these parts is to observe the difference in carbon footprint between HPDC and LPDC processes. These parts were selected because, despite being produced using different casting methods, they have similar processes and weights.

The calculation of the product-based carbon footprint is based on the International Standard defined in ISO 14067. According to this standard, the carbon footprint calculation involves determining the CO₂ equivalent (CO₂e) emissions from materials used, transportation information, packaging, production processes, electricity, natural gas, etc. To accurately perform these steps, it is crucial to create a production flow diagram for each part. Therefore, separate production flow diagrams exist for the crankcase and spring arm due to their different manufacturing processes.

2.1. Production Flow Diagrams:

The production flow diagram of the crankcase produced by the HPDC method is shown in Figure 1.

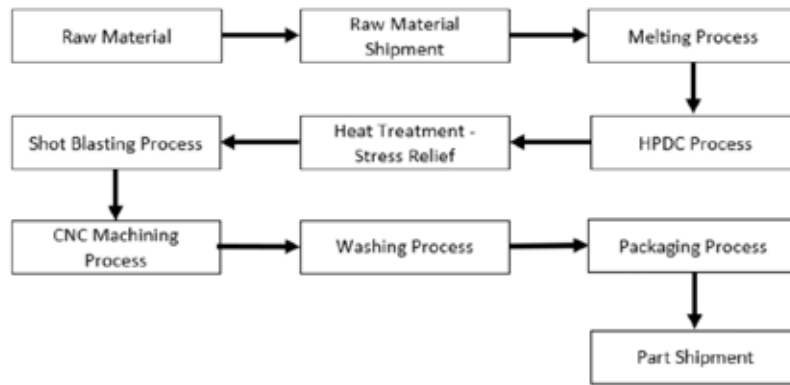


Figure 1: Production flow diagram of the crankcase manufactured by the HPDC method

The production flow diagram of the spring arm produced by the LPDC method is shown in Figure 2.

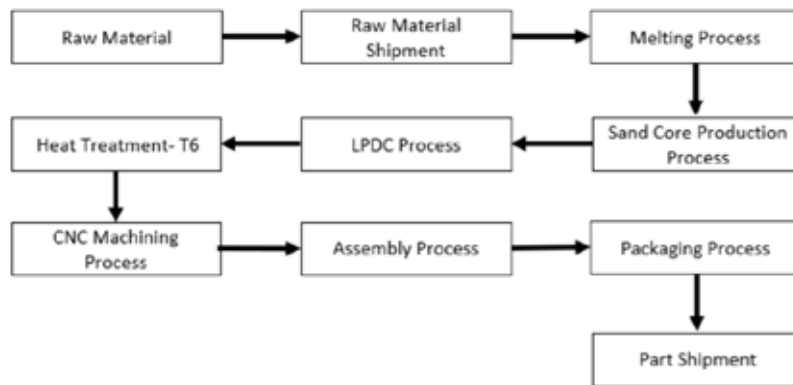


Figure 2: Production flow diagram of the spring arm produced by the LPDC method.

The raw materials and energy sources used are identified with the extraction of production flow diagrams. This enables the systematic and precise calculation of the carbon footprint that may be generated in processes. The importance of accurately extracting the flow diagram at this stage is significant. Subsequently, sources capable of generating equivalent carbon dioxide in each process should be identified.

2.2. Raw Materials and Energy Sources in Processes:

For the processes related to the crankcase (CC) and the spring arm (SA), the raw materials and energy sources are listed as follows. Since the parts share common processes in their production, the abbreviations of the part names are written next to the used sources.

i Raw Materials

- EN AC 43300 Aluminum Alloy (SA)
- EN AC 46000 Aluminum Alloy (CC)
- Assembly Parts (CC and SA)
- Sand Core (SA)

ii Raw Material Shipments

- Sea Freight (CC and SA)
- Road Freight (CC and SA)

iii Melting Process

- Electrical Energy (CC and SA)

- Natural Gas Energy (CC and SA)
- ï Sand Core Production Process
- Electrical Energy (SA)
- ï HPDC Casting Process
- Electrical Energy (CC)
- ï LPDC Casting Process
- Electrical Energy (SA)
- ï Heat Treatment - Stress Relief Process
- Electrical Energy (CC)
- Natural Gas Energy (CC)
- ï Heat Treatment - T6 Process
- Electrical Energy (SA)
- Natural Gas Energy (SA)
- ï Shot Blasting Process
- Electrical Energy (CC)
- ï CNC Machining Process
- Electrical Energy (CC and SA)
- ï Washing Process
- Electrical Energy (CC)
- ï Assembly Process
- Electrical Energy (SA)
- ï Leakage Process
- Electrical Energy (CC)
- ï Packaging
- Cardboard Raw Material (CC and SA)
- ï Part Shipments
- Road Freight (CC and SA)

Sources causing CO₂e emissions in the processes have been identified. Besides the processes mentioned above, there are still some sources that can generate CO₂e. However, the CO₂e emissions from these unaccounted sources are minimal. They have been omitted from the calculations due to their negligible impact on the total value. This approach has made the product-based carbon footprint calculation more feasible without altering the result. The sources in this process are derived from suppliers who calculate product-based carbon footprints, official websites of the Ministries of Energy and Natural Resources of various countries, IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), EPA (Environmental Protection Agency), DEFRA, and UK Government GHG Conversion Factors for Company Reporting. In the production process, one of the most crucial aspects is the ability to track the energy consumption of each process separately within the facility to accurately determine the energy amounts. This is critical for calculating the product-based carbon footprint.

2.3. Calculation Method:

First, to perform the calculation, the Activity Data, Global Warming Potential (GWP), and Net Calorific Value (NCV) are multiplied together to obtain the CO₂e amount. Activity Data refers to the amount of raw material used in a product, GWP converts harmful gases such as CO₂, CH₄, and N₂O released during combustion into their CO₂e equivalent, and NCV represents the net energy released as heat when a fuel or material undergoes complete combustion with oxygen under standard conditions, excluding the heat of vaporization of the water produced [10]. These values are obtained from the sources listed above and the usage amounts of the products.

2.3.1 Carbon Footprint Calculation for HPDC Crankcase:

Raw materials; in the first step of the process, the emission values of the raw materials are determined. The production of primary aluminum alloy EN AC 46000 results in 13.15 tCO₂e/tAl. This value can vary depending on the manufacturer and the material. For secondary aluminum alloy, the value is calculated as 1.00 tCO₂e/tAl. For assembly parts, which are made of iron alloy, the calculated value is 3.10 tCO₂e/tIron. The amount of raw material used as activity data is 8.4 kg for aluminum and 1.6 kg for the assembly part.

Raw material shipments; the next step is to determine the CO₂e amount resulting from the shipment of these raw materials. The distance from the supply region to the production site for each supplied part must be calculated. An important consideration is to account for distances according to the types of transportation. Both road and sea transport are used for these shipments. For aluminum raw material, the transport distances are 4260 km by sea and 45 km by road. For assembly parts, 2000 km by road is used. The amounts of CO₂, CH₄, and N₂O gases are found for each part from the UK Government GHG Conversion Factors for Company Reporting source and converted to CO₂e. The total CO₂e emitted for a single crankcase is then calculated.

Melting process; in this stage, the energy sources used in the melting process are identified. The energy consumption for a part is tracked in kWh for electricity and in standard cubic meters (sm³) for natural gas from the energy tracking system of the facility. These values are then multiplied by a specific factor published by the Ministries of Energy and Natural Resources to convert them to CO₂e. In Turkey, the emission factor for the connected consumption point of the distribution network is 0.484 [11]. For natural gas, this emission factor is calculated as 2.156 [12]. This way, the CO₂e emitted from the melting process for this product is found.

HPDC casting process; in high-pressure die casting, electrical energy is used. The energy consumption of the machines used in this process is tracked in the energy monitoring system of the facility. The electrical energy consumed for a single part is calculated based on the cycle time of the crankcase. This value is then multiplied by the emission factor for electrical energy to find the CO₂e emitted per product in the high-pressure casting process.

Heat treatment stress relief process; the heat treatment process for the crankcase is used for stress relief. Both electricity and natural gas are used in this process. Similar to the melting process, the energy consumption for a single product in the heat treatment process is tracked in the facility's energy monitoring system to find the CO₂e emitted.

Shot blasting process; the shot blasting process is a surface improvement method used to clean, dull, and enhance the aesthetic appearance of high-pressure aluminum cast parts by blasting glass beads of approximately 100-200 microns at high speed onto the part. Electrical energy is used in this method. The electrical energy consumed for a single part is tracked in the facility's energy monitoring system.

CNC machining process; a 4-axis CNC Horizontal Machining Center is used in this process. Electrical energy is used in this machine. The electrical energy consumed for a single product is tracked in the energy monitoring system based on the cycle time, similar to other processes that use electrical energy.

Washing process; this process is used for parts with a cleanliness specification. Electrical energy is used in this process. The electrical energy consumed for a single product is tracked in the energy monitoring system based on the cycle time, similar to other processes that use electrical energy.

Leakage Process; the leakage test is generally used to prevent external contact. This is very important for the crankcase, as it contains cooling channels, a combustion chamber, and an oil region. Electrical energy is used in this process. The electrical energy consumed for a single product is tracked in the energy monitoring system based on the cycle time, similar to other processes that use electrical energy.

Packaging; the packaging process is performed to prevent damage to the parts during shipment. Cardboard boxes are used for this purpose. Twenty-four crankcases fit into one cardboard box. In one packaging process, 13.3 kg of cardboard boxes are used. The amount of CO₂e produced for packaging a single crankcase is found using the UK Government GHG Conversion Factors for Company Reporting source.

Part shipments; the CO₂ equivalent of part shipments is calculated in the same way as the shipment of raw materials. In part shipments, 2000 km of road transport is used. The total number of crankcases carried by the vehicle is divided by the CO₂e value produced by the vehicle over 2000 km to calculate the CO₂e emitted for a single crankcase.

Total calculation; the product-based carbon footprint of the crankcase is calculated by summing the CO₂ equivalents emitted from all processes.

2.3.2 Carbon Footprint Calculation for LPDC Spring Arm:

Fundamentally, the spring arm produced by low-pressure die casting (LPDC) will be calculated similarly to high-pressure aluminum casting. Different processes should be added, non-existent processes removed, and identical processes updated accordingly. Therefore, values with the same impact are abbreviated and more concise in the following explanations.

Raw materials; in the first step of the process, emission values of the raw materials are determined. The production of primary aluminum alloy EN AC 43300 results in 13.15 tCO₂e/tAl. For secondary aluminum alloy, the emission factor is calculated as 1.00 tCO₂e/tAl. Assembly parts, made of iron alloy, have an emission factor of 3.10 tCO₂e/tIron. The activity data used for raw materials are 9 kg for aluminum and 2 kg for assembly parts. Additionally, due to the use of sand cores, the weight of sand cores used in the part is 5.6 kg, with an emission factor of 0.00098 tCO₂e/tSand Core obtained from the UK Government GHG Conversion Factors for Company Reporting.

Raw material shipments; the calculation for raw material shipments is similar to that of the crankcase, except for the assembly part shipment distance, which is 450 km. This allows for the determination of the CO₂ emissions resulting from the raw material shipment for the spring arm.

Melting process; in the melting process, unlike the crankcase, the activity data is calculated based on 9 kg of aluminum alloy for the spring arm. The CO₂e emitted from the melting process for the spring arm is determined based on the weight of the part using the energy monitoring system of the facility.

Sand core production process, electricity is used in the production process of sand cores. The CO₂e emitted per production cycle of sand cores is determined based on the energy consumption recorded in the facility's energy monitoring system.

LPDC casting process; in low-pressure die casting (LPDC), electrical energy is used. The energy consumption of the machines used in this process is tracked in the facility's energy monitoring system. Compared to high-pressure die casting, the cycle time for LPDC is approximately twice

as long, and the electrical consumption of the casting machine is about 40% higher. The electrical energy consumed is multiplied by the emission factor to determine the CO₂e emitted per product in the LPDC process.

Heat treatment - T6 process, the T6 heat treatment process for the spring arm is used for high-strength requirements. Unlike stress relief heat treatment, the T6 process involves both solutionizing and aging treatments, resulting in a cycle time approximately twice as long. Both electricity and natural gas are used in the T6 process. The CO₂e emitted from the T6 heat treatment process for a single product is determined from the energy monitoring system of the facility.

CNC machining process; a 4-axis CNC Horizontal Machining Center is used in this process. The machining time for the spring arm is half that of the crankcase. The CO₂e emitted for a single product is determined based on the energy consumption recorded in the facility's energy monitoring system.

Assembly process, the spring arm is a part that involves bushing assembly. This process uses electrical energy. As with other processes that use electrical energy, an energy monitoring system is used to determine the electrical energy used for a product based on the cycle time.

Packaging; cardboard boxes are used for packaging the spring arm parts, similar to the crankcase. Twenty-four spring arms fit into one packaging box. The CO₂e emitted for packaging one spring arm is calculated based on the UK Government GHG Conversion Factors for Company Reporting.

Part shipments, in part shipments, 450 km of road transport is used for the spring arm. The total number of spring arms transported by the vehicle is divided by the CO₂ emissions produced by the vehicle over 450 km to calculate the CO₂e emitted for a single spring arm.

Total calculation, the product-based carbon footprint of the spring arm is calculated by summing the CO₂ equivalents emitted from all processes.

3. RESULTS

3.1. Carbon Footprint Results of HPDC Crankcase:

The total CO₂ values released from the processes have been calculated for both primary and secondary aluminum alloys. Additionally, calculations have been made by proportionally using primary and secondary aluminum alloys. This allows determining the maximum amount of primary aluminum alloy that can be used if there is a target CO₂e value for the part. In this study, 85.4 kg of CO₂e was found when using 100% primary aluminum alloy in the production of the Crankcase produced by the high-pressure die-casting method. The table below shows the amount of CO₂e released in steps of 10%, from 100% to 0%, as shown in Figure 3. As seen in Figure 3, 19.1 kg of CO₂e is released when using 100% secondary aluminum alloy. In this study, the primary aluminum alloy causes approximately 4.5 times more carbon footprint compared to the secondary aluminum alloy for the Crankcase produced by high-pressure die casting.

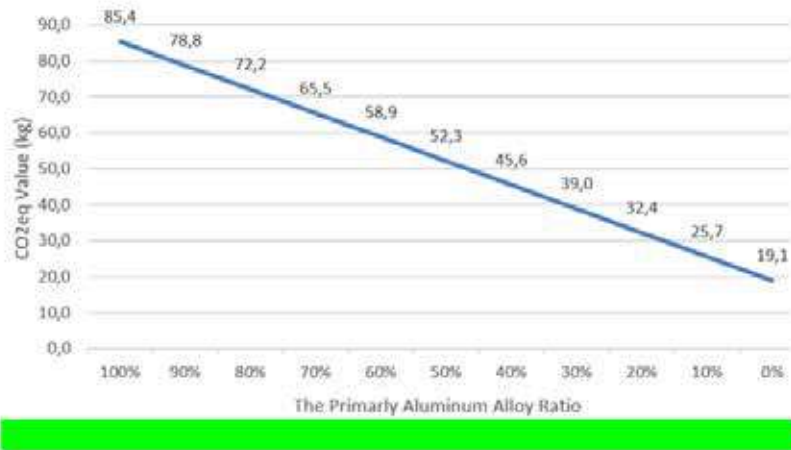


Figure 3: CO2e amount based on the primary aluminum alloy ratio of the crankcase produced by the HPDC method

To compare the processes in more detail, Figure 4 shows the emission rates released in the processes for primary aluminum alloy. As seen, the Crankcase produced with primary aluminum alloy results in a significant amount of CO2e emission at around 83%. The total production processes contribute 5%, the raw material of the shipment and assembly part contributes 6%, and other processes have a very minor impact.

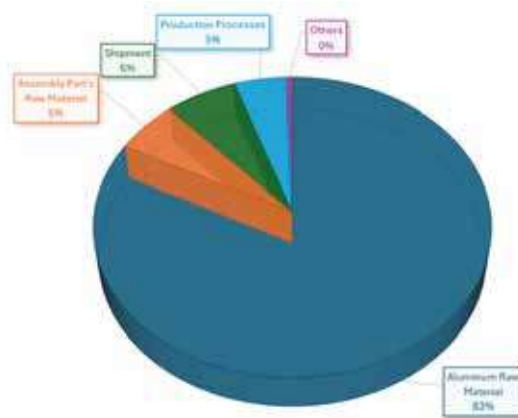


Figure 4: Proportional impact of processes on CO2e in primary aluminum production for the crankcase produced by HPDC method

Similarly, the proportional impact of the processes on secondary aluminum alloy is shown in Figure 5. With the reduction of CO2e emissions from the aluminum raw material, the CO2e ratio in other processes has taken similar values. Thus, 27% of the crankcase production is due to the raw material of the secondary aluminum alloy. The total production processes contribute 20%, shipment 27%, the raw material of the assembly part 24%, and other processes cause 2% of CO2e emissions.

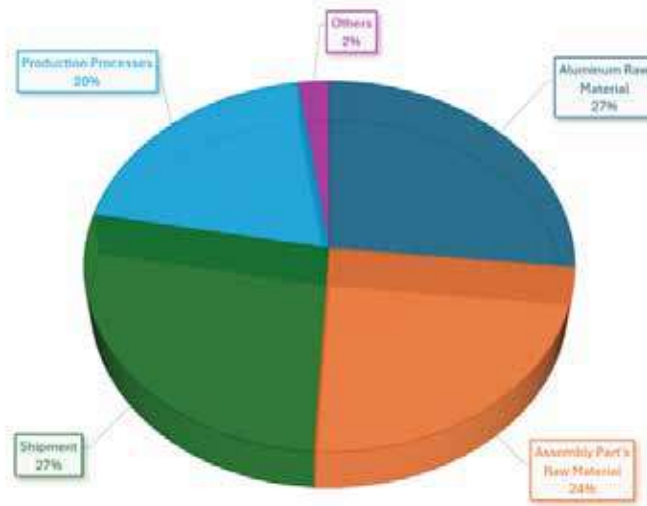


Figure 5: Proportional impact of processes on CO₂e in secondary aluminum production for the crankcase produced by HPDC method

3.2. Carbon Footprint Results of LPDC Spring Arm:

The total CO₂e values released from the processes of the Spring Arm have been calculated for both primary and secondary aluminum alloys, similar to the crankcase. Proportional calculations have also been performed. When using 100% primary aluminum alloy in the low-pressure die-casting method, 90.3 kg of CO₂e was found. The table below shows the amount of CO₂e released in steps of 10%, from 100% to 0%, as depicted in Figure 6. As seen in Figure 6, 19.2 kg of CO₂e is released when using 100% secondary aluminum alloy. In this study, the primary aluminum alloy causes approximately 4.7 times more carbon footprint compared to the secondary aluminum alloy for the Spring Arm produced by low-pressure die casting.

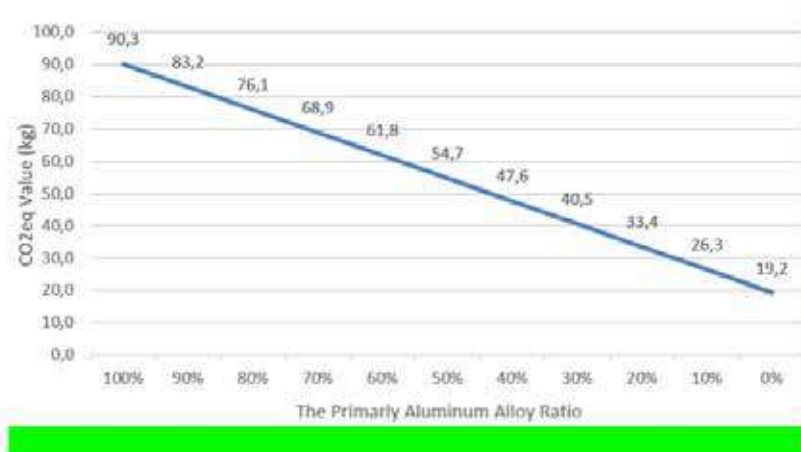


Figure 6: CO₂e amount based on the primary aluminum ratio of the spring arm produced by the LPDC method

Figure 6 represents the aluminum raw material as the process that causes the highest carbon footprint for the spring arm. For a more detailed comparison of the processes, Figure 7 shows the emission rates released in the processes for primary aluminum alloy. As seen, the spring arm produced with primary aluminum alloy results in a significant amount of CO₂e emission, around 85%. The total production processes contribute 6%, the raw material of the assembly part is 7%, shipment contributes 2%, and other processes have a very minor impact.

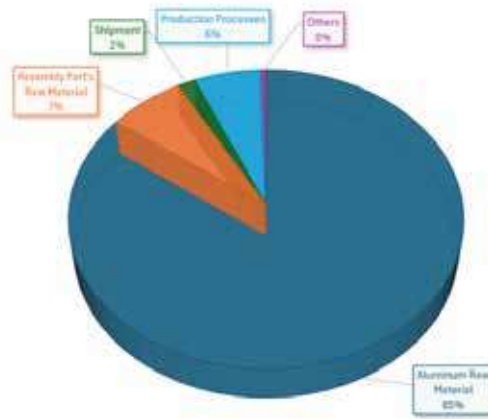


Figure 7: Proportional impact of processes on CO₂e in primary aluminum production for the spring arm produced by the LPDC method

Similarly, the proportional impact of processes on secondary aluminum alloy is shown in Figure 8. With the reduction of CO₂e emissions from the aluminum raw material, the CO₂e ratio in other processes has taken similar values. Thus, 30% of the spring arm production is due to the raw material of the secondary aluminum alloy. The total production processes contribute 28%, the raw material of the assembly part 24%, shipment contributes 8%, and other processes cause 2% of CO₂e emissions.

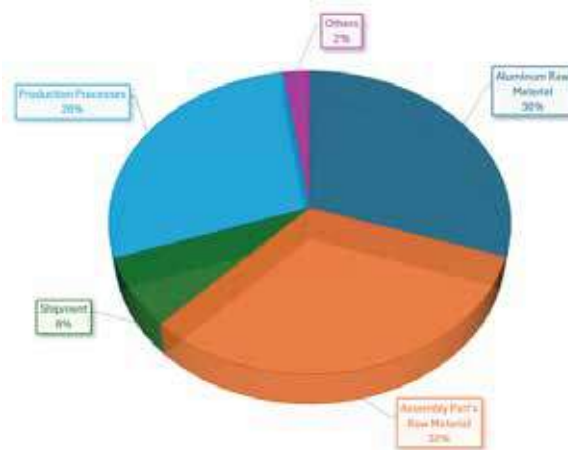


Figure 8: Proportional impact of processes on CO₂e in secondary aluminum production for the spring arm produced by the LPDC method

4. DISCUSSION

This study demonstrates that in both the spring arm produced by low-pressure die casting and the Crankcase produced by high-pressure die casting, primary aluminum alloy raw material accounts for over 80% of CO₂e emissions. Utilizing secondary aluminum alloy can reduce this impact by up to 30%, leading to approximately a 4.5-fold decrease in CO₂e emissions. Despite being manufactured using different production methods, both parts result in nearly the same amount of carbon footprint due to the CO₂e emissions generated during the production of aluminum alloy raw material. Since the weights of the aluminum alloys are similar, the results are also closely aligned. Therefore, secondary aluminum alloy plays a crucial role in sustainability from an environmental perspective.

One of the major pitfalls in product-based carbon footprint calculations is solely relying on product weight. Each part can have different process parameters and even if they share the same processes, they may have different cycle times. As seen in this study, there is a significant production-related carbon footprint formation reaching up to 28% in the use of secondary aluminum alloy. Therefore, the process flow and the CO₂e emissions from these processes must be individually analyzed for each product.

5. SYMBOLS

CO₂ = Carbon dioxide

CO_{2e} = Carbon dioxide equivalent

CH₄ = Methane

N₂O = Nitrous oxide

T6 = The thermal process applied to aluminum alloys involving solution heat treatment and aging is called

tCO_{2e}/tAl = The carbon dioxide equivalent emissions resulting from the production of 1 ton of aluminum

tCO_{2e}/tDemir = The carbon dioxide equivalent emissions resulting from the production of 1 ton of iron

sm³ = standard cubic meter

6. ACKNOWLEDGMENTS

We would like to express our gratitude to everyone who supported us in completing this paper. We are grateful to the management of Döktaş Foundry and our colleagues. They worked diligently at every stage of our project, making valuable contributions to the creation of this paper. Finally, we thank all the readers who have read this paper and contributed with their valuable feedback.

7. REFERENCES

- 1) Grilli A. (2024). Reducing energy consumption in secondary aluminum manufacturing through the implementation of improved workflow practices. *Procedia CIRP*. Volume 122, Pages 867-872. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2024.01.118>.
- 2) Abdelshafy A., Franzen D., Mohaupt A., Schüssler J., Polazcek A.B., Walther G., (2023). Abdelshafy, A., Franzen, D., Mohaupt, A. et al. A Feasibility Study to Minimize the Carbon Footprint of Cast Iron Production While Maintaining the Technical Requirements. *J. Sustain. Metall.* 9, 249–265. <https://doi.org/10.1007/s40831-022-00642-5>
- 3) Salonitis K., Jolly M., Pagone E & Papanikolaou M.,(2019). Life-Cycle and Energy Assessment of Automotive Component Manufacturing: The Dilemma Between Aluminum and Cast Iron. *Energies*, 12(13),2557. <https://doi.org/10.3390/en12132557>
- 4) Fracchia E., & Mus C. (2024). Low Carbon Footprint Aluminium Components For E-Mobility. *Acta Metallurgica Slovaca*. Vol.30, No.1, 24-28
- 5) Lattanzi L., Jarfors W. A., Awe A.S., (2024). On The Possibility of Using Secondary Alloys in the Production of Aluminum-Based Metal Matrix Composite. *Crystals*, 14(4), 333. <https://doi.org/10.3390/cryst14040333>
- 6) Eckelman J.M., Ciacci L., Kavlak G., Nuss P., Reck K.B, & Gradel T.E.(2014). Life cycle carbon benefits of aerospace alloy recycling. *Journal of Cleaner Production* Volume 80, Pages 38-45. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.05.039>.
- 7) Billy G.R., Müller B.D., (2023). Aluminum use in passenger cars poses systemic challenges for recycling and GHG emissions. *Resources, Conservation and Recycling*. Volume 190, 106827. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106827>.
- 8) Zhang Y., Sun M., Hong J., Han X., He J., Shi W. & Li X. (2014). Environmental footprint of aluminum production in China. *Journal of Cleaner Production*. Volume 133, Pages 1242-1251. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.04.137>.
- 9) Gautam M., Pandey B., Agrawal M.(2018). Chapter 8- Carbon Footprint of Aluminum Production: Emissions and Mitigation. *Environmental Carbon Footprints* Pages 197-228, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812849-7.00008-8>.
- 10) Resmi Gazete.(2014). Sayı:29068.
- 11) Türkiye Elektrik Üretimi ve Elektrik Tüketim Noktası Emisyon Faktörleri Bilgi Formu.(2022). ETKB-EVÇED-FRM-042 Rev.0
- 12) Gomez R.D., Walterson D.J.,(2006). IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Pages 10-17.

Effect of Mechanical Vibration and T6 Heat Treatment on Mechanical Properties of A201 Alloy

Alihan ÖZSARI, Candaş ERSÖZ, Ali KALKANLI

**Metallurgical and Materials Engineering Department
Middle East Technical University, Ankara, Türkiye**

ABSTRACT

This study aims to observe the effect of mechanical vibration during solidification and T6 heat treatment applied after the squeeze casting process on the microstructure and mechanical properties of A201 alloy. The experiments were carried out by melting A201 and casting into a preheated die of a hydraulic press to obtain rectangular prism specimens. The first four of the eight specimens were subjected to mechanical vibration with a frequency of 25 Hz, which aims to reduce porosity and refine cellular morphology in the microstructure within the equiaxed grains, which is a consequence of squeeze casting, while the rest were cast without mechanical vibration. Six specimens were subjected to T6 heat treatment after the casting process. The first one of each sample set was subjected to one T6 cycle, the second to two T6 cycles, and the third to three cycles, totaling 16 cycles. The T6 heat treatment was performed to create intermetallic precipitation in the microstructure. For observation, microstructural analysis was carried out under an optical microscope for the as-cast and heat-treated versions of the specimens. For mechanical properties, round tensile test specimens were obtained. As a result, the fifth specimen from the second T6 cycle without vibration gave the best mechanical properties with 478 MPa UTS and 4.14% elongation. The 2nd specimen from the second T6 cycle with vibration follows it with 479 MPa UTS and 2.07 % elongation. On the other hand, the worst properties were observed for the sixth specimen, the alloy from the third T6 cycle without vibration, having 289 MPa UTS and 0% elongation due to the possibility of air entrapment presence. The 3rd specimen from the third T6 cycle with vibration was observed to have almost as good mechanical properties with 437 MPa UTS and 0.9% elongation as the specimens from the first and second T6 cycles without vibration. Thus, for the first and second T6 cycles, the vibration seems to reduce the porosity but adversely affects the mechanical properties. However, it is observed that the vibration has a positive effect on the mechanical properties for the third T6 cycle.

Introduction

The Aluminum A201, a copper-based alloy, was developed for high-performance requirements of the aerospace industry in the late 1960s. A201 aluminum alloy, which has become the subject of many research with the highest mechanical properties among cast aluminum, also has a significant value in corrosion resistance with the addition of silver (between 0.4 and 1.0 wt%) [1]. Despite their good mechanical properties, aluminum alloys, including alloy A201, have rarely been used in critical applications due to variability in various properties, especially elongation and fatigue life, combined with low castability and high cost. Problems such as low ductility, tensile strength and fatigue life resulting in premature fracture in tension and fatigue can be caused by structural defects (pores and oxide bifilms) in castings. Therefore, minimizing or even eliminating structural defects is vital for using aluminum alloys such as A201 [2]. These defects can be minimized or eliminated by casting methods or applying heat treatment. Also, the casting method for this alloy is specifically important for the θ and θ' intermetallic compound structure. For instance, in gravity die casting, these compounds are found in the microstructure in Chinese Script morphology and are elongated. This morphology creates stress concentration and causes brittleness [1]. On the other hand, applied pressure during the casting process can cause the compounds to be round. Also, one of the methods for solidification under pressure is squeeze casting, which is the solidification of the alloy under pressure by a ram in a hydraulic press, and the mold material is made of tool steel [3]. Applying pressure promotes finer and equiaxed grains, reduces porosity, and rounded shape for intermetallic compounds [4]. Therefore, the casting method is critical for the desired microstructure and mechanical properties. Also, the application of heat treatment affects the microstructure and mechanical properties of alloys. T6 heat treatment, which is comprised of a solutionizing heat treatment followed by artificial aging, is applied as a heat treatment to further increase the mechanical properties of A201. In T6 heat treatment, solutionizing and quenching produce a supersaturated alloy. Then, artificial aging allows the precipitation of secondary phases. These secondary phases, θ and θ' , provide mechanical strength to the alloy [5]. Moreover, there is a suitable temperature and time value for each process.

Experimental

A series of A201 alloys were processed by squeeze casting. Mechanical vibration was applied by graphite rod into the pouring cup before delivery of the liquid alloy into the die cavity. The following steps were applied for processing of melt conditioned A201 alloy.

1. Charge preparation: The charge of this experiment is testing specimens from another A201 experiment.
2. Smelting in induction furnace.
3. Heating the hydraulic press mold to 160 °C – 180 °C.
4. Applying mechanical vibration: Mechanical vibration with 25 Hz was applied to the first three specimens.
5. Pouring into the mold
6. Applying 500 kN pressure during solidification.
7. Spectral analysis with a Foundry-Master spectrometer on three different specimens.
8. T6 Heat Treatments for specimens with and without vibration
 - 1 cycle of T6 for Specimen 1(with vibration) and 4(without vibration)
 - 2 cycles of T6 for Specimen 2(with vibration) and 5(without vibration)
 - 3 cycles of T6 for Specimen 3(with vibration) and 6(without vibration)
9. Machining for tensile test specimen
 - Down to 12 mm diameter cylinder
 - 9 mm diameter for 60 mm gauge length
10. Tensile test with extensometer setup
11. Microstructural analysis, Grain Size measurement, Phase Analysis

The T6 heat treatment with temperature and time values for A201 is shown in the graph below.

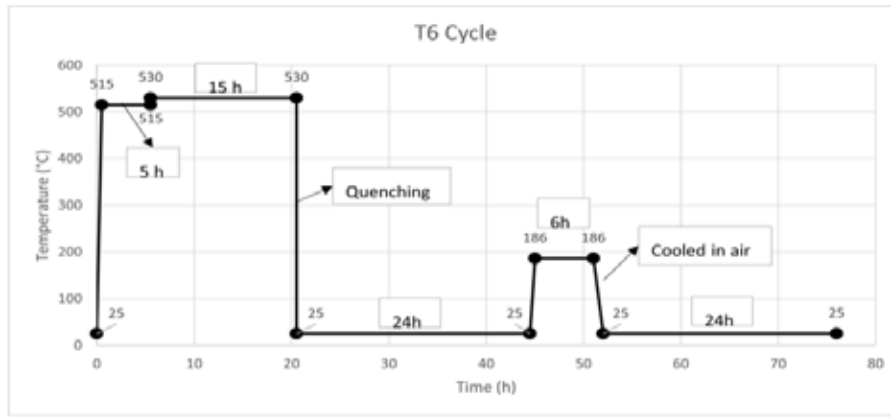


Figure 1: T6 Heat Treatment

Results&Discussion

Since the aim of this study is to reveal the effect of the mechanical vibration on microstructure and mechanical properties of alloy produced metallographic investigations by optical microscopes and grain size measurement were carried out and tensile test were performed to see effect of vibration application during solidification in squeeze casting condition.

An optical emission spectrometer was used to determine the composition of the A201 aluminum alloy by testing three different specimens three times each (Table 1). The copper (Cu) composition is higher than the literature value (4.0 to 5.0 wt%), which provides higher strength during age hardening.

Analysis No	Al%	Cu%	Ag%	Mn%	Mg%	Fe%	Si%
1	91.2	6.04	0.99	0.588	0.51	0.0921	0.0122
2	90.3	6.96	1.03	0.586	0.57	0.106	0.007
3	90.1	6.76	1.1	0.57	0.616	0.108	0.0407
Average	90.53	6.59	1.04	0.581	0.565	0.102	0.020

Table 1: Spectral Analysis Results of A201 Aluminum Alloy

Furthermore, the microstructures of every specimen were analyzed and photographed at 400x magnification using an optical microscope (Figures 2 and 3). Microstructures consist of cellular solidification morphologies.



Figure 2: Microstructure of Specimen 1,2,3(with vibration) in Optical Microscope at 400x Magnification



Figure 3: Microstructure of the Specimen 4,5,6(without vibration) in Optical Microscope at 400x Magnification

It can be said that grain boundaries are clearly visible, and the effect of squeeze casting is observed as equiaxed grains with cellular solidification structure. Moreover, intermetallic secondary phases are present in the grains as precipitates. The secondary phases are homogeneously distributed and rounded due to squeeze-casting, as seen in Figure 4. The rounded secondary phases increase the mechanical properties compared to the specimens having Mg₂Si-Chinese Script morphology.

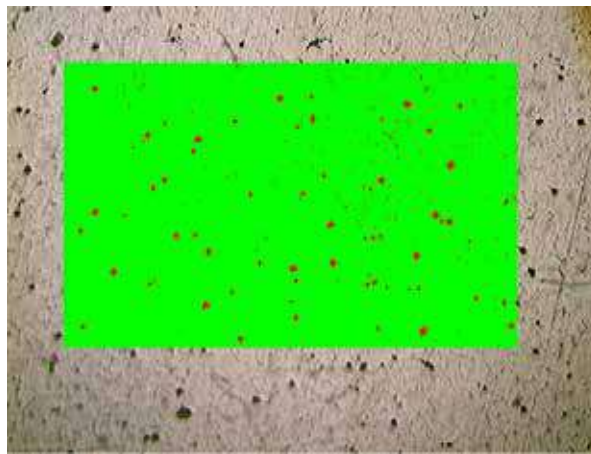


Figure 4: 1 Intermetallic Compounds in As-Polished Image of Specimen

The average grain sizes were calculated and shown in Table 2. It can be said that the average grain sizes are in the range of 30 to 45 microns. Also, the grain refining effect of vibration can be seen in the first three specimens (with vibration). Thus, a positive effect on mechanical properties is expected due to grain refining.

Specimen	1	2	3	4	5	6
Avg. Grain Diameter (Microns)	31.64	35.75	35.57	38.51	37.02	43.86

Table 2: The Average Grain Sizes

Furthermore, the mechanical properties were changed as a result of applied heat treatment cycles and mechanical vibration during the casting process. The ultimate tensile strength (UTS) values are shown in Figure 5.

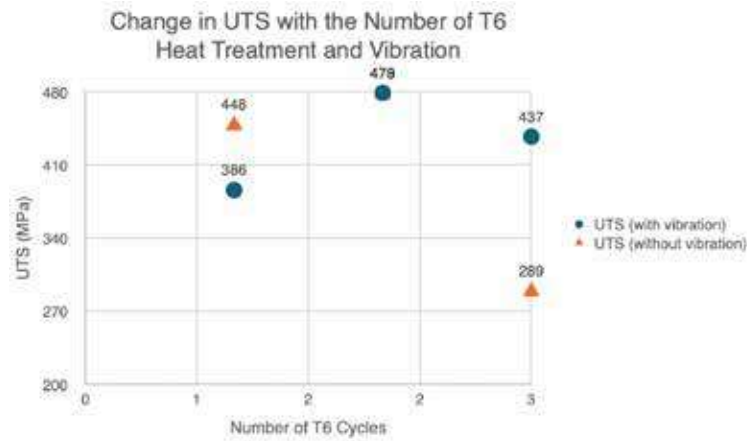


Figure 5: Effect of the Number of T6 Heat Treatment Cycles and Vibration on UTS

Moreover, the change in elongation with the number of T6 heat treatments is shown in Figure 6.

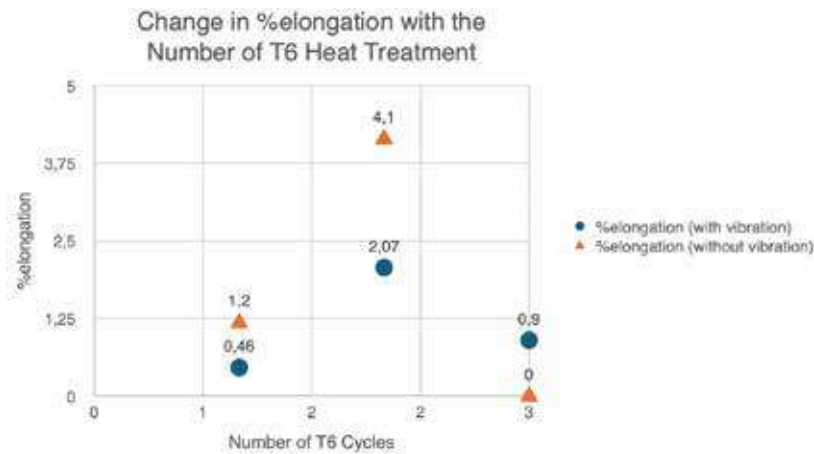


Figure 6: Effect of the Number of T6 Heat Treatment Cycles on %elongation

Considering the UTS and %elongation values, the mechanical properties significantly increase with the applied T6 heat treatment for the second time. The increase in mechanical properties is expected to be increase with the number of T6 heat treatment. However, the results got worse when the three times T6 heat treatment was carried out. Thus, the 5th specimen, the alloy without vibration and two cycles of T6 heat treatment, yields the best results with a UTS of 478 MPa and elongation of 4.14%. It is followed by the 2nd specimen, the alloy with vibration and two cycles of T6 heat treatment. On the other hand, the worst properties belong to the 6th specimen, the alloy without vibration and three cycles of T6 heat treatment. The difference between specimens 1-2 and 4-5 supports the expectations. However, the mechanical properties drop significantly between specimens 2-3 and 5-6. There might be various reasons for the decrease in mechanical properties. Firstly, the intermetallic compounds might have grown too large and act as defects in the matrix. Thus, they might join and create networks causing brittleness. Secondly, there might be intermetallic structures in different morphologies, such as Chinese Script morphology, causing brittleness, as seen in Figure 7. Lastly, there might be gas porosities acting as a crack initiator. Furthermore, the crack in specimen 6 is shown in Figure 8. As seen in Figure 9, areas in different colors might be due to oxidation, indicating trapped air inside. Furthermore, the fraction of specimen 6 without yielding may be proof of porosity.



Figure 7: Intermetallic Compound in Chinese Script Morphology in Specimen 3



Figure 8: Crack in Specimen 6



Figure 9: Fracture Surfaces of Specimen 3 and Specimen 6

Conclusion

1. The benefit of vibration application was achieved for the specimens produced by vibration and two times T6 heat treatment.
2. Mechanical properties in terms of UTS values increase with both vibration application and T6 heat treatment.
3. Vibration application was effective for all specimens yielding smaller grain sizes for these A201 alloys.

4. Mg₂Si-Chinese script morphology was unexpectedly observed in the specimen produced by vibration application and three times T6 heat treatment. More experimental work must be done to reveal the formation of this morphology during squeeze casting.

References

- [1] P. Bale, "FEEDING PROPERTIES OF THE HIGHLY GRAIN REFINED A20X ALLOY," 2011. Accessed: Aug. 01, 2024. [Online]. Available: https://etheses.bham.ac.uk/id/eprint/3327/1/Bale_12_MRes.pdf
- [2] M. Tiryakioclu and J. Campbell, "Ductility, structural quality, and fracture toughness of Al-Cu-Mg-Ag (A201) alloy castings," *Materials Science and Technology*, vol. 25, no. 6, pp. 784-789, Jun. 2009, doi: <https://doi.org/10.1179/174328408x378645>.
- [3] "Squeeze casting: an overview," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 101, no. 1-3, pp. 1-9, Apr. 2000, doi: [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(99\)00291-5](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(99)00291-5).
- [4] P. Kapranos, "5.03 Advanced Casting Methodologies: Investment Casting, Centrifugal Casting, Squeeze Casting, Metal Spinning, and Batch Casting," *Comprehensive Materials Processing*, vol. 5, doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-096532-1.00539-2>.
- [5] L. Metallurgia and P. Kapranos, "Alluminio e leghe Memorie Thixoforming A201 aluminium alloy: is there a future in aerospace applications?" Available: https://www.aimnet.it/allpdf/pdf_pubbli/lug12/KAPRANOS.pdf

Yeni Nesil Yüksek Performanslı Ekolojik Furan Reçinesinin Geliştirilmesi

Ömer ERTABAK*, Aslı KAKICI*,
Serkan ÇELİK, Özge AKSIN ARTOK*

*Çukurova Kimya Endüstrisi A.Ş. Ar-Ge Merkezi, Manisa/Türkiye

ÖZET

Yüksek tonajlı dökme demir ve çelik alaşımlarının dökümünde, yüksek kalıp dayanımı ve yüksek boyut hassasiyeti gibi önemli avantajlara sahip furan reçineleri ön plana çıkmaktadır. Yeni nesil ekolojik fenol-furan reçineleri, gelişmiş sfero ve yüksek kaliteli çelik dökümlerin imalatı için tasarlanmış kalıp ve maçaların üretimi için yüksek performansla geliştirilmektedir.

Furan reçinelerinin tarihsel gelişimine bakıldığında, ilk jenerasyon furan reçineleri Fenol-Formaldehit kullanılarak sentezlenen pre-polimerin Furfuril Alkol (FA) ile belirli yüzdelerde fiziksel karışımları olarak elde edilmiştir. Günümüzdeki çalışmalar incelendiğinde, FA'nın polimerizasyon reaksiyonuna monomer olarak katıldığı gözlemlenmektedir. Önerilen bu çalışma ile Fenol-Formaldehit reaksiyonu sonucu elde edilen hidrokümetilfenol yapısının FA ile asidik koşullarda kopolimerizasyonu gerçekleştirilerek yeni nesil furan reçinesi elde edilmiştir.

Geleneksel furan reçinelerinin içerdiği yüksek oranda FA, reçinenin reaktivitesinin ve performans özelliklerinin belirlenmesinde temel değişkendir. Ekolojik furan reçineleri, geleneksel furan reçinelerine kıyasla, yüksek FA miktarının reçine yapısına dahil edilmesi sonucu ciddi oranda azaltılmış serbest FA içeriği (serbest furfuril alkol içeriği ≤ 25) barındırmaktadır.

Yeni nesil ekolojik furan reçineleri, modern teknolojiler ile çevre ve insan sağlığı göz önünde bulundurularak, güncel Reach ve Avrupa Birliği regülasyonlarına uygun şekilde, yenilikçi bir anlayış doğrultusunda Çukurova Kimya A.Ş Ar-Ge Merkezi laboratuvarlarında geliştirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Ekolojik furan, fenolik furan, formaldehit, furan reçinesi, furfuril alkol, havada sertleşen reçine

Development of Next-Generation High-Performance Ecological Furan Resin

ÖZET

In the casting of high-tonnage ductile iron and steel alloys, furan resins stand out with important advantages such as high mold strength and high dimensional accuracy. Next-generation ecological phenol-furan resins are being developed for the production of molds and cores designed for the manufacture of advanced spheroidal and high-quality steel castings.

The high content of Furfuryl Alcohol (FA) in traditional furan resins is a key variable in determining the reactivity of the resin and the strength values of the molds. Compared to traditional furan resins, ecological furan resins incorporate a significantly reduced level of free FA content (free furfuryl alcohol content ≤ 25) by including a high amount of FA in the resin structure.

With an ecological and sustainable approach, the next-generation ecological furan resins have low formaldehyde-phenol and nitrogen content. Due to ecological furan system belongs to low nitrogen and sulfur content, these resins help keep organic gas emissions low, thus providing ease of use with reduced odor formation. In this way, it contributes to minimizing casting defects caused by gas release.

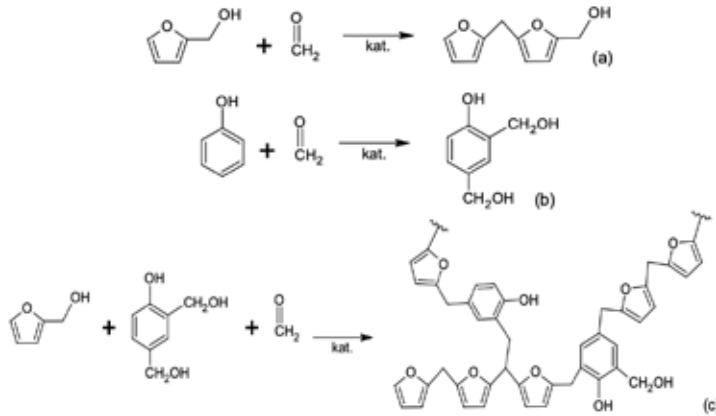
Next generation ecological furan resins are developed in Çukurova Kimya A.Ş R&D Center laboratories with an innovative approach in accordance with current Reach and European Union regulations, are designed with modern technologies, considering environmental and human health aspects.

Keywords: Ecological furan, phenolic furan, formaldehyde, furan resin, furfuryl alcohol, No-Bake resin

1. GİRİŞ

Furan reçineleri, döküm sektöründe yaygın olarak kullanılan Furfuril Alkol (FA) esaslı havada sertleşen reçinelerdir. Döküm sektöründe kullanılan geleneksel furan reçineleri, Fenol - Formaldehit (FF) veya Üre - Formaldehit (UF) reaksiyonundan elde edilen yapının, FA ile fiziksel karışımından oluşmaktadır. Bu reçineler yüksek serbest FA içeriğine sahip (toplam reçine içeriğinin %50 ve fazlası) olmakla birlikte reçine dayanımının FA miktarı ile ayarlanması mantığına dayanmaktadır. Yüksek FA içeriğine sahip reçineler kullanılarak hazırlanan kalıpların yüksek dayanım sağladığı bilinmektedir [1-3].

Yeni nesil ekolojik furan reçineleri, FF veya UF yapıları ile FA'nın kondenzasyonu ile elde edilerek gerçekleştirilmektedir. Bu reçineler kullanılarak elde edilen maçaların dayanım gücü, serbest FA miktarından bağımsız olarak, polimerizasyon reaksiyonu esnasındaki kimyasal varyasyonlar ile sağlanmaktadır [4]. Polimerik yapıda yüksek oranda FA içeren ve serbest FA oranı düşük olan yeni nesil ekolojik furan reçineleri hem fenolik hem de furanik özellikleri birleştirerek üstün performans sunmaktadır. Bu bağlamda üretilen reçineler, geleneksel reçinelere kıyasla ciddi oranda azaltılmış serbest FA içeriği (yaklaşık serbest FA içeriği <25), yüksek dayanım gücü ve düşük formaldehit- fenol içeriğine sahiptir.



Şekil 1: a) Furfuril alkolün uygun katalizör ve formaldehit varlığında kondenzasyon reaksiyonu, b) Fenol - formaldehit eklenme reaksiyonu, c) Furfuril alkol ile hidrosimetilfenol türevinin kondenzasyon reaksiyonu ile yeni nesil ekolojik furan reçinesinin sentez

Yeni nesil ekolojik furan reçineleri, yüksek sıcaklıklara karşı üstün direnç göstererek gelişmiş termal stabiliteleri sayesinde yüksek sıcaklık uygulamaları için idealdir. Kimyasal maddelere karşı gösterdiği yüksek direnç, bu reçineleri korozif ortamlarda kullanım için uygun hale getirmektedir. Yüksek mekanik mukavemet ve sertlik, yapısal bileşenler için önemli avantajlar sunmaktadır. Serbest FA uçucu organik bileşikler arasında yer almaktadır. Düşük serbest FA içeriği sayesinde, reçinenin uçucu organik bileşik (VOC) emisyonları azaltılarak hem çevre hem de insan sağlığı açısından daha güvenli bir ürün elde edilmesi sağlanmaktadır. Serbest FA içeren atıklar, su kaynaklarına ve toprağa karıştığında çevresel kirliliğe yol açmaktadır. FA biyolojik kaynaklardan elde edilebildiği için, yeni nesil ekolojik furan reçinelerin kullanımı daha sürdürülebilir malzeme üretimi sağlamaktadır [5].

1 Aralık 2010 tarihinde, Avrupa Parlamentosu ve Konseyi'nin (EC) (16 Aralık 2008 tarihli ve 1272/2008 sayılı maddelerin ve karışımların sınıflandırılması, etiketlenmesi ve ambalajlanması hakkında) tüzüğü yürürlüğe girmiştir. Bu tüzük, % 25'ten fazla serbest FA içeren furan reçinelerini toksik ("solunum yoluyla toksik") olarak sınıflandırmaktadır. Bu tüzüğe göre; % 25'ten fazla serbest FA içeren furan reçineleri "zehirli" sembolü ile işaretlenmekte, daha düşük seviyelerde serbest FA içeren furan reçineleri zararlı olarak kabul edilmektedir [6].

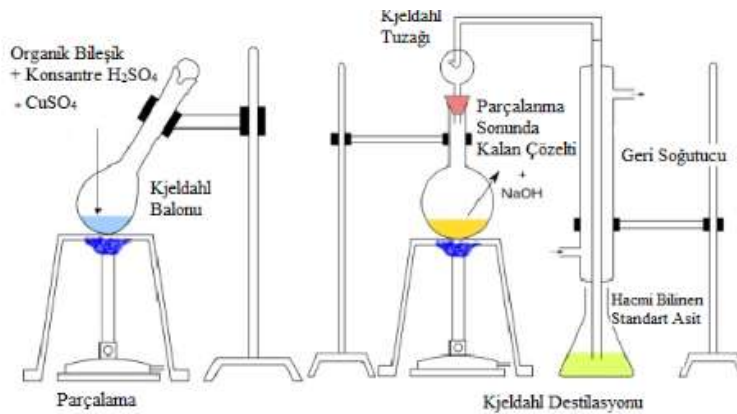
Günümüzde, sektörün global ihtiyaçları doğrultusunda üretilen bu tarz reçineler yenilikçi yaklaşımların yanı sıra ekolojik ve sürdürülebilir bir doğa anlayışı da göz önüne almaktadır.

Bu yeni nesil reçineler, gelişmiş sfero ve aynı zamanda yüksek kaliteli çelik ve dökme demir alaşımların döküm imalatı için tasarlanmış kalıp ve maçaların üretimi için de uygundur. Azot, sfero, çelik ve dökme demir alaşımı dökümünde yüzey ve yüzeye yakın bölgelerde mikro yapının bozulmasına neden olabilmektedir. Yeni nesil ekolojik furan reçineleri, aynı zamanda düşük azot ve sülfür emisyonları ile daha az koku sağlamakta, böylelikle döküm hatalarını en aza düşürecek şekilde tasarlanmaktadır [7,8].

Furan reçinesi ile yapılan kum kalıba metal dolduğunda reçine yüksek sıcaklık ortamında bozunmaktadır. Organik bağlayıcılar kullanılarak hazırlanan kum kalıp bozunmaya uğradığında oluşan karbon, kum yüzeyleri arasında sıvı metal tarafından ıslanmayan bir yüzey oluşturmaktadır. Karbonun yarattığı bu etki pürüzsüz bir döküm yüzeyi oluşturmaya katkı sağlamaktadır. Karbon ile birlikte kükürt ve azot da bozunma sırasında kum kalıp taneciklerinin arasında yer alarak yüzey hatalarına sebep olmaktadır. Furan reçinelerinde azot miktarının düşük olması özellikle azota bağlı döküm hatalarının önlenmesi konusunda önemli bir avantaj olarak karşımıza çıkmaktadır. Kalıplarda kullanılan refrakter kaplaması kalıp-metal ara yüzeyi oluşturup azot gazının sıvı metale yayılma hızını yavaşlatarak bir kısmının kalıptan atılmasını sağlamaktadır. Sıvı metalden atılmayan azot ve hidrojen pinhole hatasına neden olmaktadır. İğne başı büyüklüğünde oluşan gaz hatları, sıvı metal içinde kalıpta yer alan organik bağlayıcı kaynaklı çözünmüş olan gazların katılma sırasında çözünürlüklerinin azalması ile oluşmaktadır [9].

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Reçine üretimi sırasında ve son ürünün kimyasal – mekanik özelliklerinin değerlendirilmesi gerekmektedir. Reçine sentezi sırasında reaksiyona giren FA monomer miktarı takibi Agilent 7890B gaz kromatografisi ile takip edilirken, serbest formaldehit miktarı ISO 11402 standardına göre tayin edilmektedir. Reçinede bulunan azot miktarı Kjeldahl metodu (Şekil 2) ve üniversiteden hizmet alımı yapılarak döküm sonrası yüzeyde kalan azot miktarı Taramalı Elektron Mikroskobu – Enerji Dağılım Spektroskopisi (SEM-EDX) Zetium Evo MA10 cihazı ile tayin edilmektedir.



Şekil 2: Kjeldahl metot şeması

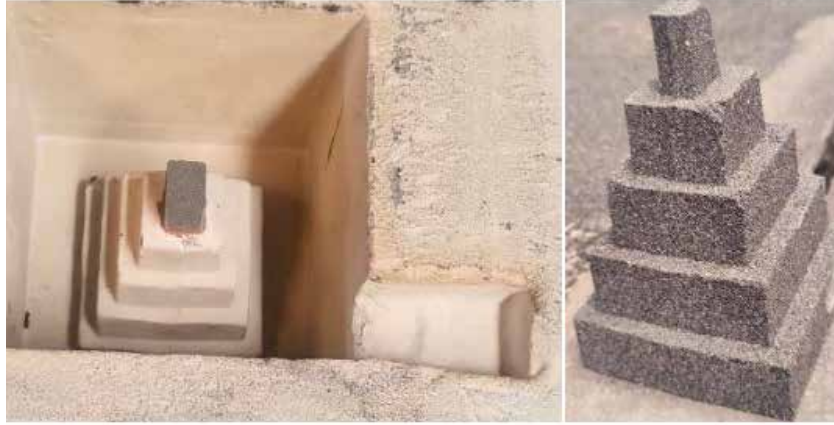
Katı madde miktarı fanlı ve fansız etüvlerde farklı sıcaklıklarda paralel numuneler ile ortalama değerler alınarak yapılmaktadır. Paralel numunelerin farkı % 5'i geçmesi durumunda test tekrar edilmektedir.

Reçinenin mekanik özellikleri maça dayanım testi ile değerlendirilmektedir. Maça dayanım testin-

de en büyük parametre, kullanılan kumun özellikleri ve ortam sıcaklığıdır. Yeni kum ve rejenere kum numunelerinde AFS numarası veya Mastersizer cihazı ile tane boyu dağılımı tespit edilmektedir. 900 °C'de sabit tartıma ulaşan belirli miktar numunenin kütle kaybında yanma kaybı tayini yapılmaktadır. Yeni kumda maça dayanımını direkt etkileyen kil miktarı tayini de yapılmaktadır. Rejenere kumda birikmiş azot miktarı Kjeldahl yöntemi ile tespit edilmektedir. Furan reçinesi kullanılan rejenere kum numunelerinde kütlece % 10'luk sulu çözeltisinde 25 °C' de pH değeri ölçülmektedir.

Reçinelerin uygulamasına yönelik yapılan performans testi olarak yeni kum ve rejenere kum kullanılarak maça hazırlanmaktadır. Reçineli kum basma maça sandıklarını doldurularak kalıplanmaktadır. 4 adet kalıplanan numune maçalar sıyrılma sürelerinin sonunda kalıptan çıkartılarak kum karıştırma saatinin 1., 2., 3. ve 24. saatinde Simpson cihazında dayanım değerleri ölçülerek kayıt altına alınmaktadır.

Dökümhane uygulamasında yüzey incelemesi ve azot hatalarının tespiti için özel tasarlanmış maça ve kalıp tasarımı Şekil 3'te görülmektedir. İstenen alaşım dökülerek SEM-EDX metodu kullanılarak metal yüzeyinden alınan görüntülerle incelemeler yapılmaktadır.



Şekil 3: Yeni nesil ekolojik furan reçinesi ile kalıplanan kum kalıp ve maça görüntüsü

3. BULGULAR

FA, formaldehit ve fenol ile organik ve/veya inorganik katalizörler varlığında yeni nesil ekolojik furan reçineleri sentezlenmektedir. Reçinenin ilk sentez basamağında, fenol, formaldehit ile hidroksimetil fenol türevine dönüştürülerek; ikinci basamakta FA, formaldehit, hidroksimetil fenol ve katalizör ortamında kondenzasyon reaksiyonu gerçekleştirilerek reçine üretilmektedir.

Üretilen üründe polikondenzasyon tepkimeleri sonucu su açığa çıkmaktadır. Azot kaynağı olan üre hammaddesinin girdi oranı yüzdesel olarak sabit değerde tutulmaktadır. Aşağıda yer alan Çizelge 1'de geleneksel reçine ile yeni nesil ekolojik furan reçinesinin ürün spesifikasyon değerleri yer almaktadır.

	Yeni nesil ekolojik furan reçinesi	Geleneksel Reçineler
Serbest Furfuril Alkol Miktarı, GC %	< 25.0	60 - 90
Serbest Formaldehit, %	≤ 1.0	≤ 0.5
Viskozite, FC4, sn	90	15 – 25
Yoğunluk, 20 °C, g/mL	1.17	1.22 – 1.25
pH, 25 °C	8.0 – 8.5	6.0 – 7.5
Katı Madde Miktarı, %	58 – 62	10 - 40
Azot Miktarı, Kjeldahl, %	≤ 0.8	≤ 1.0

Çizelge 1: Yeni nesil ekolojik furan reçinesi spesifikasyon değerleri

Laboratuvarda yapılan reçine performans çalışmalarında yeni kum numuneleri kullanılmaktadır. Laboratuvarda yer alan kum numunelerine ait test sonuçları Çizelge 2’de yer almaktadır.

	Yeni Kum
AFS No.	45 - 50
Kil Miktarı, %	≤ 0.20
pH, 25 °C	6.5 – 7.0

Çizelge 2: Laboratuvar testlerinde kullanılan kum test sonuçları

Maça dayanım testinde reçine miktarı kuma göre % 1.2, reçineye göre sertleştirici miktarı % 40 olarak gerçekleştirilmiştir. Ortam sıcaklığı ve kum karışım sıcaklığı kaydedilmiştir. Basma dayanım değerlerinin ölçüm birimi N/cm² dir. Çizelge 3’te verilen karışım sıcaklığı, sıyırılma süresi ve saatlere göre verilen dayanım değerleri birçok defa tekrarlanarak ortalama değerler kaydedilmiştir.

Kum (Yeni Kum) % 1.2 Reçine % 40 Sertleştirici			Ortam Sıcaklığı: 25 °C			
Reçine Kodu	Karışım Sıcaklığı, °C	Sıyırılma Süresi, dk	1 saat	2 saat	3 saat	24 saat
Yeni nesil ekolojik furan reçinesi	31	15	21	28	33	50
Geleneksel Reçine	30	25	16	20	28	48

Çizelge 3: Rejenere ve yeni kum ile yapılan basma dayanım testi, N/cm²

Dökümhane denemesinde yüksek krom içerikli dökme demir alaşımı ile yüze incelemeleri yapılmıştır (Çizelge 4). Yeni nesil ekolojik furan reçineleri ile kalıplanarak alınan döküm parçasından kesitler incelenmiştir. Döküm parçası ve alınan analiz kesiti Şekil 6’da gösterilmiştir. İç yüzey ve döküm parçasının ortası olmak üzere iki farklı noktadan numune alınmıştır. Bu seçilen bölgelerin ortalama azot miktarı aşağıdaki Çizelge 5’te verilmiştir.

Element	C	Cr
Oran (%)	2.8 – 3.10	21.0 – 22.0

Çizelge 4: Yüksek kromlu dökme demir alaşımın içerik değerleri

Kesit Bölgeleri	Yeni Nesil Ekolojik Furan Reçinesi
İç Yüzey (1)	0.15
Orta Nokta (2)	0.09

Çizelge 5: Dökülen parçanın farklı bölgelerinden alınan % azot değerleri



Şekil 6: a)Döküm parçası b)Döküm parçasından alınan kesit parçası

4. SONUÇ

Günümüz döküm sektörünün ihtiyaçlarından olan çevre ve insan sağlığını iyileştirmeye yönelik düşük serbest FA içerikli yeni nesil ekolojik furan reçinesinin fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri incelenerek geleneksel furan reçineleri ile kıyaslanmıştır.

Geleneksel furan reçineleri ile yeni nesil ürün karşılaştırıldığında serbest halde bulunan FA miktarı daha düşük olmasına rağmen yeni nesil ekolojik furan reçinesinin dayanım değerlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Rejenere kumda kükürt birikmesini önlemek için yeni kum kullanımı artırılabilir veya sıyrılma süresi daha uzun olan organik asitli ve kükürt miktarı daha düşük sertleştiriciler seçilebilmektedir. Yeni nesil ekolojik furan reçineleri, modern teknolojiler ile çevre ve insan sağlığı göz önünde bulundurularak, güncel Reach ve Avrupa Birliği regülasyonlarına uygun şekilde, yenilikçi bir anlayış doğrultusunda Çukurova Kimya A.Ş Ar-Ge Merkezi laboratuvarlarında geliştirilmiştir.

5. TEŞEKKÜR

Döküm denemesi çalışmalarında bizlere kapılarını sonuna kadar açan Derman Döküm Yedek Parça İmalat Ltd. Şti. ailesine teşekkürü bir borç biliriz.

6. KAYNAKÇA

- 1) Abdalla, S., ve ark. "Furanic copolymers with synthetic and natural phenolic materials for wood adhesives - a maldi tof study." Maderas, Cienc. tecnol. 2015, vol.17, n.1, s. 99-104.
- 2) Pizzi, A., Lipschitz, L. Ve Valenzuela, J.. "Theory and Practice of the Preparation of Low Formaldehyde Emission UF Adhesives" Holzforschung, vol. 48, no. 3, 1994, s. 254-261.
- 3) Gaefke, C.B., Botelho, E.C., Ferreira, N.G. ve Rezende, M.C. (2007), "Effect of furfuryl alcohol addition on the cure of furfuryl alcohol resin used in the glassy carbon manufacture." J. Appl. Polym. Sci., 106: 2274-2281.
- 4) A. O. C. Iroegbu, S. S. Ray, J. Polym. Sci. 2024, 62(6), 1044. 5) Pizzi, A. (2006). "Recent developments in eco-efficient bio-based adhesives for wood bonding: opportunities and issues. Journal of Adhesion Science and Technology" , 20(8), 829-846.
- 6) Holtzer, M. ve ark. (2015) "Emission of BTEX and PAHs from molding sands with furan cold setting resins containing different contents of free furfuryl alcohol during production of cast iron", China Foundry, Vol.12, No:6.
- 7) Izumi A., ve ark., Soft Matter, 2012,8, 8438-8445 8) Pizzi, A., Mittal K. L., Phenolic Resin Adhesives, Handbook of Adhesive Technology, 3rd Ed., 2017
- 9) J. Campbell, "Complete Casting Handbook" , Elsevier Butterworth-Heinemann 2015.

Challenges of 3D Printing for Foundry Applications

Levent LAYİK¹, Holger BARTH²

¹Metko Hüttenes-Albertus Kimya Sanayi ve Ticaret A.Ş., Turkey

²Hüttenes-Albertus Chemische Werke GmbH Düsseldorf, Germany

ABSTRACT

Rising fuel and energy costs worldwide and our global climate targets are demanding. As a consequence, casting geometries become more and more complex. The need for topology-optimized castings is increasing. Customers require castings with thin wall thicknesses and organic designs that are oriented exclusively towards functionality. Designers expect to test different design variants before the final release of their design in order to find the optimum. At the same time, development times are getting shorter and shorter. This is where conventional manufacturing processes reach their limits. With the support of mould material 3D printing, we gain a degree of freedom within the design and can produce samples fast and efficiently. It is a fact that the Additive Manufacturing or 3D Printing of sand bounded moulds and cores moved along the latest years from the phase of Rapid Prototyping to serial production.

This paper provides an introductory overview of the different binder systems for 3D printing or Additive Manufacturing for the foundry industry, in which we distinguish between organic and inorganic binder systems. In the meantime, organic binder systems have established themselves on the global market with more than 80 %. These are differentiated into phenolic and furan resin binders and differ significantly in terms of their processing. While phenolic resin binders require temperatures of 35-130°C for polymerization with post-curing being unavoidable, furan resin systems already crosslink at room temperature after activator contact. Neither hot air nor microwave drying is required to achieve the final strength. The clear disadvantage of furan resin-bonded moulds and cores are the high finishing costs. The acid-curing process results in a transition zone of bonded and unbonded mould material particles. We have addressed this disadvantage in our research and development work. The aim was to raise the finishing effort of furan resin-bonded moulds to the level of phenolic resin-bonded moulds and cores and thus significantly reduce the amount of manual work. The following contents show our results.

KEY WORDS: Energy costs, Climate Targets, Binder Systems, 3D Printing, AM, Additive Manufacturing, Topology optimized castings, acid-curing process, Modified Sand



Figure 1: ExOne S-Max+ HA Center of Competence, Image from HA Group

1. INTRODUCTION

The proportion of foundries that invest in moulding material or 3D printers or use 3D-printed cores and moulds in the production process is growing steadily. At the same time, the demand for the performance of binder systems, auxiliaries and moulding materials is growing. The constant development of printers and consumables already makes it possible to produce small and medium-sized series using 3D sand printing.

Well-known automotive manufacturers have been using 3D printed cores for years in the series production of complex components to increase the efficiency of their products. Success stories serve as role models in the foundry world. Globally active foundries deal with the topic of 3D sand printing based on customer requirements, mostly from the automotive industry but also from the field of renewable energies, mechanical engineering, etc. More and more powerful and larger printers are being planned.

With the growing productivity of 3D printers and the increasing complexity of castings, the demands on consumables are inevitably increasing. Outcome-oriented furan, phenolic and inorganic systems are already available today.

2. EXPERIMENTS AND INDUSTRIAL EXPERIENCES

Research is faced with the challenge of minimizing the process-related disadvantages compared to conventionally manufactured cores and accelerating production processes. In addition to the reduction of emissions, a consistently high strength in the x-y and z axes as well as the smoothing of the surface by using coatings / special coatings optimized for 3D printing are important components. The spectrum of our research is extended to the entire process up to the coring properties.

As new binders must undergo extensive qualification tests offline (outside the printer on the drop-watcher) and online on the printer for at least 2 years, we have dealt intensively with the forming material as part of our research. As this has no direct contact with the print head, only a test of the recoater properties is necessary for qualification. For this reason, we took a closer look at the moulding materials to see how we could reduce the finishing effort for 3D printed furan resin cores and moulds.

In comparison to classic moulding processes where analysis methods have already been established, we first had to develop a method and agree on this standard with the printer manufacturers. To make the differences measurable, we have validated a method on a sieve tower in which we count the number of free holes in a perforated plate. Our aim now is to achieve the maximum number of free holes with the same analysis parameters. As the diameters of the holes become smaller and smaller as the number increases, the degree of difficulty increases significantly. We now count the number of free holes for evaluation.



Figure 2: Conventional sand / GS 14 RP

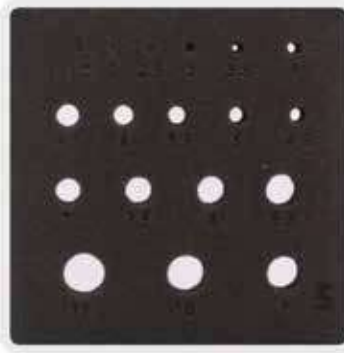


Figure 3: Modified sand / Rapid Silica AM 514

In addition to a significant improvement in desanding properties, we are 50 % faster - with the new developed Rapid Silica AM 514 moulding material we see very good structural accuracy that results in much better surface quality of the castings and leads to less adhesion on the surface of the unfinished components.



Figure 4: Conventional sand / GS 14 RP

Figure 5: Modified sand / Rapid Silica AM 514

3. CONCLUSION

The production of complex casting parts requires increasingly complex mould and core geometries. 3D printing makes it possible to optimize the topology of these geometries. This inevitably increases the demands on the finishing properties of the components, which means that the printer operator previously had to rely on the use of phenolic resin as a binder with the best finishing properties and had to accept process-related disadvantages such as an increased build chamber temperature, a slower process, shorter print head service life and a thermal post-curing process.

With the development and qualification of Rapid Silica AM 514 ready-to-use-sand, we were able to prove that we can achieve almost the same finishing properties with furan binders as we are used to when using phenolic resin binders based on the described methods. In addition, the properties of the furan binder process in 3D printing are maintained.

The HA Group is striving to further develop these solutions in order to continuously improve the properties of the casting parts and thus extend the degree of freedom gained by the use of 3D printed moulds and cores.

4. REFERENCES

Figure 1 shows the image of our own printer with the ExOne brand.

Greater Efficiency, Lower Costs, And Faster Business Growth Through 3D Sand Printing

Nonni Sri ATHARI
ExOne GmbH, Gersthofen, Germany

ABSTRACT

Foundries worldwide of all sizes increasingly combine traditional sand mold making with 3D printing of complex cores (hybrid production) or 3D printing both molds and cores (full-printed production). The change is driven by many factors, such as increasing demands for faster delivery and the complexity of cast components. Sand 3D printing offers solutions to numerous challenges foundries face and can give casting businesses competitive advantages. This paper highlights the main benefits of integrating sand 3D printing with binder jetting technology into foundry operations with interviews from foundries that have implemented the strategy supplemented by scientific literature that documents its benefits.

KEYWORDS:

Additive manufacturing, sand 3D printing, binder jetting, digital casting, hybrid mold and core production.

1. INTRODUCTION

Sand 3D printing is an additive manufacturing (AM) process that creates molds or cores from foundry sand and a binding material using a 3D printer. Virtually all sand 3D printing done today is executed with binder jetting technology, one of seven process categories of additive manufacturing based on ISO/ASTM 52900 standard. [1]

Binder jetting is “a process in which a liquid bonding agent is selectively deposited to join powder materials.”[1] In sand binder jetting, an industrial printhead selectively deposits a liquid bonding agent onto a thin layer of sand. After printing, another thin layer of sand is deposited in the building area. The process is repeated layer-by-layer using a map from a digital design file until the object is complete. The sand binder jetting process is routinely used worldwide to build high-value and one-of-a-kind parts and tooling. [2]



Figure 1: Binder jetting process

It is unclear when sand 3D printing became a more widely adopted strategy in the marketplace, but its growing use has been documented for years. ExOne, the pioneer and global leader in sand binder jet 3D printing technology, has observed that foundries worldwide increasingly pair conventional sand molds with 3D-printed sand cores (hybrid production). Most ExOne customers have adopted the hybrid mold and core production strategy, and the rest 3D print both sand molds and cores.

ExOne discovered that the shift to this manufacturing approach is being driven by many factors, such as rapidly evolving global market conditions, which are driving new levels of part complexity combined with the wide range of business and technical benefits offered by this modern approach. [3]

1. METHODOLOGY

This paper aims to report the benefits of sand 3D printing, focusing on hybrid production using binder jetting technology. Due to the manuscript's maximum length requirement, this paper highlights certain benefits only.

The author followed the case study research design and methods[4]to achieve the paper's objective. Both primary and secondary data were collected to gain multiple sources of evidence. The primary data were obtained from the author's own research project in 2023 for the ExOne company, in which three foundries were interviewed: GF Casting Solutions Leipzig in Germany, Eisengiesserei Mezger in Switzerland, and Saudi Mechanical Industries (SMI) in Saudi Arabia. In addition to that, the primary data were also obtained from ExOne's sand 3D printing webinar in April 2024, in which two renowned Turkish foundries, Döktas and Ekstrametal, shared their experiences with and expertise in sand 3D printing. The secondary data were gathered from literature reviews of academic journals, published industry case studies, and online articles.

As with every research design and method, case study research has its strengths and limitations. Al-

though it provides invaluable insights into the hybrid production strategy using sand 3D printing technology, the findings are subjective to the foundries in this paper and previous studies conducted by other organizations.

2. THE HYBRID MOLD AND CORE MANUFACTURING PROCESS

Understanding the hybrid production process compared to the traditional mold and core-making process is essential to understanding the benefits of integrating sand 3D printing into foundry operations. While traditional sandcasting requires permanent tooling for fabrications (e.g., patterns or models, core boxes), making cores via 3D printing is a digital process. Thus, the need for time-consuming design and manufacturing of core boxes and core assembly is eliminated. With the aid of 3D design software, a virtual model of the core can be designed and rapidly iterated when needed. Even necessary changes can be implemented quickly. The digital file is then used to 3D print the core.

Foundries reported that the total time required for the hybrid production processes varies and can be difficult to generalize, but it is undoubtedly faster. Depending on the size and complexity of the cast parts and the supply chain situation, it can take a few days, one week, or a few weeks. [3] However, the amount of time needed for the 3D printing process is generally rapid, given that several steps are eliminated (see figure 2). The speed of the 3D printing process varies as well, depending on factors like the size of the core, the particle size of the print medium, and perhaps the type of binder. In the next section, we will delve deeper into the time-saving benefits of the hybrid mold and core production.

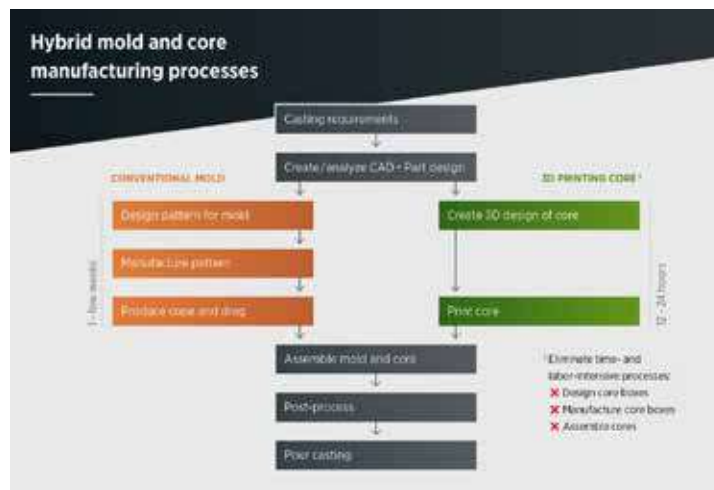


Figure 2: Hybrid mold and core manufacturing process

4. THE MAIN BENEFITS OF SAND 3D PRINTING

Foundries adopting the hybrid production strategy and the full-printed approach, as well as scientific studies, have reported several benefits of the approach compared with conventional manufacturing alone. Moreover, one benefit leads to many other benefits, which are often interrelated.

1.1. Complex core consolidation:

In complex cast parts that require several cores, the design and assembly of those cores needed for the conventional process are time, labor, and cost-intensive. The more complex the cast part is, the more resources (e.g., time, skilled labor, costs) are needed in the production. Thanks to the freedom of design in 3D printing, foundries can now create a virtual design of the complex geometry and 3D print it as one piece—a monolithic core—instead of producing many cores as in the conventional core process. Integrating or consolidating cores through 3D printing eliminates the need for complex core boxes and core assembly, which is extensive post-processing requiring many resources and is prone to gas issues due to gluing cores.

The foundries interviewed and previous studies reported that core complexity plays a significant role in deciding whether to produce it conventionally or 3D print it. The higher the core complexity level is, the more beneficial it is for foundries to consolidate and make it via 3D printing. Though it is not easy to measure the core complexity, previous studies demonstrated that foundries can measure the complexity factor of part design by using key geometric attributes of the part as inputs: Part dimensions, bounding box volume, part volume, part surface area, number of cores, volume of core, thickness of part (minimum and maximum), and undercuts. [5]

The hydraulic rotary transmission core is an example of a very complicated core in GF Casting Solutions Leipzig in Germany. Conventionally, twelve partial cores were needed to form the undercuts and thin channels. The assembly is time-consuming and error-prone. With the ExOne S-Max 3D printer, the foundry is able to produce the cores in one piece only, enabling it to enjoy further benefits outlined in other sections of this paper. [6]

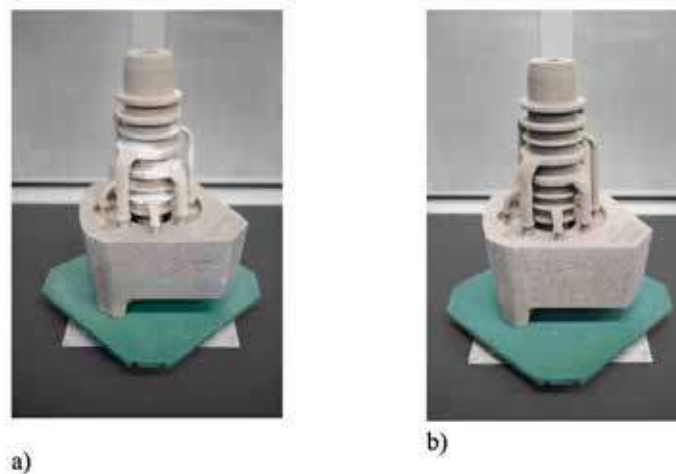


Figure 3: GF Casting Solutions Leipzig's hydraulic rotary transmission core. a) Assembled core. b) 3D-printed core in one piece. Images courtesy of GF Casting Solutions Leipzig GmbH.

Ekstrametal, a medium-sized foundry in Türkiye, simplified the casting of an iron body through hybrid production in collaboration with a customer. Initially, the cast iron body was assembled from three different conventional castings due to the complex core requirements. Each part was produced separately, machined separately, and assembled. To avoid this laborious process, they created a design for 3D printing that enabled them to produce the body from a single casting. This simpler design gave significant advantages to the customer:

- The customer didn't have to invest in new patterns or core boxes for this trial.
- Lower risk of scrap formation.
- The result of the casting was 22% lighter because they could also decrease the wall thickness.
- Since there was no assembly, the machining time decreased significantly. [7]

4.2. Faster delivery time/accelerated lead time:

Sandcasting often suffers from high lead times due to many aspects, such as the lengthy process of tool-making and disrupted supply chains. A significant benefit of integrating a cutting-edge 3D printing technology into conventional foundry operations is a much faster delivery time of cast parts due to several factors:

- The elimination of hard tooling requirements
- Elimination or reduction of hand assembly and other post-processing
- The ability to consolidate core segments, oftentimes into just one piece
- Elimination or reduction of time-consuming and wasteful quality errors
- The use of high-speed binder jet 3D printing systems

Previous studies reported that consolidating multiple cores into a single core via 3D printing can reduce a lengthy core production process because there is no longer a need to design and manufacture numerous core boxes and assemble the cores. [5] [9]

All foundries in ExOne's research project reported that 3D printing their complex cores allows them to deliver their castings much faster than when they traditionally produced the intricate cores. In this competitive market environment, fast lead times from prototypes to production are crucial.

According to Ekstrametel, the lead times with the traditional method, even if it could be done fast, take around a minimum of two months due to the needs of patterns and core boxes. Meanwhile, with 3D printing, the fastest lead time (including machining) that the foundry had achieved to date was ten days, a very good lead time for foundries. Initially, its customer had two extensive parts weighing roughly 400-500 kg. For printing purposes, Ekstrametel created a 3D design of the parts. Within ten days only, the foundry could cast, clean, machine, and send the parts. The foundry also reported that in terms of prototyping, it had experienced lead times of one or two weeks only. [7]

When Mezger iron foundry in Switzerland still used a traditional procedure, the printed cores for iron castings were procured from external suppliers. As such, reacting to customer requests or last-minute changes was impossible. Its total manufacturing time was about three to six weeks. With the hybrid production strategy, Mezger pairs a conventionally produced mold with a monolithic core printed with the ExOne S-Max[®]Pro. High-quality cores are completed in just 12 hours, while a raw cast part is completed in three to five days. The speed of the digital workflow and the S-MaxPro allows the company to deliver cast parts to customers at top speeds. Unlike traditionally manufactured core packages, which are often made up of multiple parts for complex molds, this process significantly reduces the number of molded parts, reducing the amount of post-processing required. [3] [19]

With the aid of 3D printing technology, Saudi Mechanical Industries (SMI) in Saudi Arabia also delivers cast parts for pumps, valves, and automotive parts much faster. The complete project from A to Z usually takes about 16 weeks if it is done conventionally. 50% of the lead time is saved by 3D printing as the foundry does not have to make tooling anymore. [3]

4.3. Lower costs:

Given that 3D printing improves production time and eliminates expenses such as hard tooling and labor for core production, it is a cost saver. While no precise academic work has been done on this topic, previous research has identified the economic opportunity for 3D sand printing compared to conventional manufacturing of molds and cores. [5] Many ExOne customers report the process improves efficiency due to the following factors:

- The elimination of tooling (core boxes):
 - o No design and fabrication costs for core boxes
 - o No storage for core boxes
 - o Easy and rapid iteration of virtual core design
- Reduced labor needs through core consolidation:
 - o Reduced assembly labor and associated cost
 - o Reduced post-processing
 - o Reduced scrap costs

Integrating sand 3D printing into foundry operations has a huge potential to reduce overall production costs. However, foundries must consider all aspects and processes in the production and the costs in the downstream processes and not only count the production cost per core. [3]

3.1. Reduce costs by not making tooling

According to previous studies, “Among several cost factors in sand casting, two major cost components are the tooling and fabrication costs which involve a variety of operations to produce the mold and cores and subsequently fabrication of cores and inspection”. [5][10] The tooling costs depend on materials, size, tool complexity, and accuracy, which are dictated by the part design complexity. [5] Making tools also requires highly skilled labor and is the most expensive processing step with a significantly high lead time—making design changes costly and laborious. [9] In addition, the tooling might not be used again or could be used only a few times as it gradually degrades, causing problems for foundries that make complex castings in smaller batches. [9]

In the hybrid process, core boxes are no longer needed as the core can be 3D-printed directly from a digital CAD design. The production costs in the hybrid model involve the costs for designing and making the pattern for the mold (if it doesn’t exist yet), for making the cope and drag, and for the 3D printing materials, among others. As sand printing permits the consolidation of multiple cores into a single core, foundries can reduce their design costs because there is no longer a need to design multiple core boxes. [5]

Ekstrametal shared that it has experienced this cost-saving benefit in short-series productions due to sand 3D printing. By 3D printing the cores for short-series productions, the foundry does not have to invest in patterns and core boxes anymore; thus, its customers do not have to pay for them either, which is a considerable advantage and directly impacts on the cost of the casting. [7]

Reduce cost by eliminating storage of core boxes. In the foundry industry, it is known that the storage area for patterns and core equipment takes up much space in the production area. With the hybrid mold and core production, the ExOne study found that foundries can replace physical inventory with digital storage. By printing the cores directly from CAD files, it is no longer necessary to store core boxes. Moreover, as prolonged storage of core boxes results in a loss of dimensional conformability [9], foundries can reduce the need to repair degraded core tooling by 3D printing cores.

Easy and rapid iteration. The benefits of 3D design flexibility continue. Foundries mentioned that they can modify their core designs at speed whenever needed without a cost penalty. The digital process in 3D printing offers high flexibility and responsiveness, allowing a direct change of a CAD model without scraping existing or creating new core boxes.

Saudi Mechanical Industries shared that not making the tooling for the cores is a big saving and is more convenient, too, because it can easily change the design of the cores. [3] Hoosier Pattern in Decatur, Indiana, also uses binder jetting technology to enable continuous iteration of a serial production design in value-adding ways. Each year the company receives a variety of new core prototype designs that are quickly printed, cast, and tested for performance. A company representative shared that the customers would not change anything that requires a tooling investment, noting that the traditional core boxes are no longer used because the customer can now tweak the model to get improved performance using binder jetting. [8]

3.2. Reduce cost through less laborious post-processes

The complexity and dimensional accuracy of cores influence overall processing costs in conventional manufacturing. Binder jetting is a production-ready technology that helps foundries operate more efficiently. The benefits are often seen in downstream operations as 3D printed cores produce castings with a high dimensional accuracy that often require less post-processing. Foundries can reduce high post-processing costs massively with the hybrid production approach, another significant advantage of the approach for foundries.

Assembling delicate, complex cores requires skilled labor, often a hard-to-find and expensive resource. By 3D printing complex core assemblies as single parts (core consolidation), studies showed that foundries could reduce the need for and cost of labor, as well as reduce scrap costs often caused by assembling a high number of cores. [5] Sand 3D printing could substantially eliminate or mitigate flash that would generate additional finishing or inspection, which results in reduced labor costs, among others. [5] This is particularly beneficial for foundries in high-wage countries. A survey showed that in countries where skilled labor costs are high, the most dominant cost driver to integrate 3D sand printing technology in foundries is the reduced labor cost. [9]

Grede Iron Mountain in the USA once glued together 7-15 different core pieces that then required a post-cure in an oven; a process the foundry would have no problem completing but would not be competitive in costing because of all the steps needed. By 3D printing all the cores in one piece, the company could eliminate the need for all that labor, which it was having challenges acquiring in the first place. [11]

According to GF Casting Solutions Leipzig, the initial cost of conventional core making is usually high. 3D printing complicated sand cores make the foundry's core production cost-effective due to eliminating the time-intensive and laborious core assembling and fettling steps. [6]

Reduced scrap cost. Ekstrametel can reduce scrap rates in castings and produce better parts through the design flexibility of 3D printing. The absence or lack of traditional parting lines in 3D printing allows the foundry to use risers and chillers in challenging areas. There was no core assembly, no use of chaplets, and no burrs in the final casting. Because of the design flexibility and lack of core assembly, Ekstrametel can go bolder and for thinner sections. It decreased the wall thickness to 8.5 mm, leading to a lighter and cheaper casting. Besides, it is also a good improvement for the customer since they are usually concerned about weight reduction. [7]

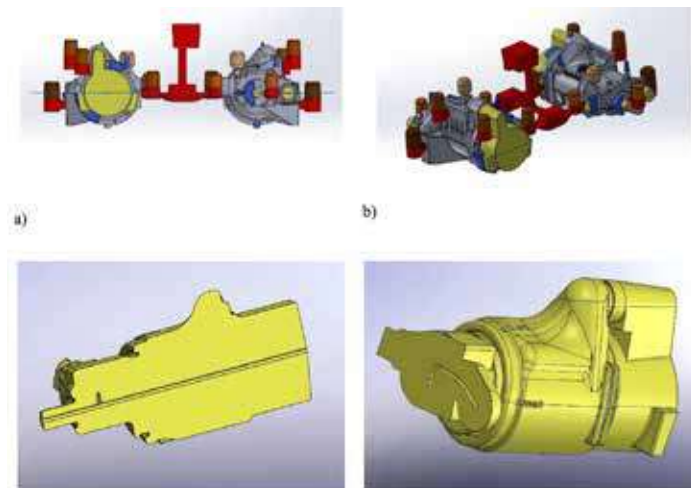


Figure 4: Advantages of using 3D sand printing in short series production
a) b) The lack of a traditional parting lines provides design flexibility.
c) d) Cores with complex gas outlets can be produced directly with 3D printing.
Images courtesy of Ekstrametel.

4.4. Better core quality:

High-quality cores contribute to high-quality castings. The foundries in ExOne's study and previous research have proven that the consolidation of multiple cores via binder jetting 3D printing technology enables better core quality in terms of scrap rates, surface quality, and precision or level of detail.

Fewer defects/Lower scrap rates. Defects from core shift during assembly or the formation of gas

pockets when casting can form due to chemical reactions caused by the core gum in the conventional procedure. This can be avoided by 3D printing complex, consolidated core designs, thereby eliminating core assembly. Moreover, core consolidation through sand 3D printing could substantially eliminate or mitigate flash that would generate additional finishing or inspection, resulting in reduced labor costs, stacking tolerances, and improved dimensional control. [5]

When Xylem Water Solutions still made its water pump impeller cores traditionally with core shooters, it needed to glue four core segments together with gum. This method caused high scrap rates created by core gum gas or drafts. Thanks to the freedom of design of 3D printing, Xylem could reduce the multi-part assembly to a single-piece core design. Xylem 3D prints the impeller core at once, eliminating the need to assemble the core parts and the related defects from core gum gas pockets. The quality of Xylem's impeller cores has improved significantly through 3D printing. [12]

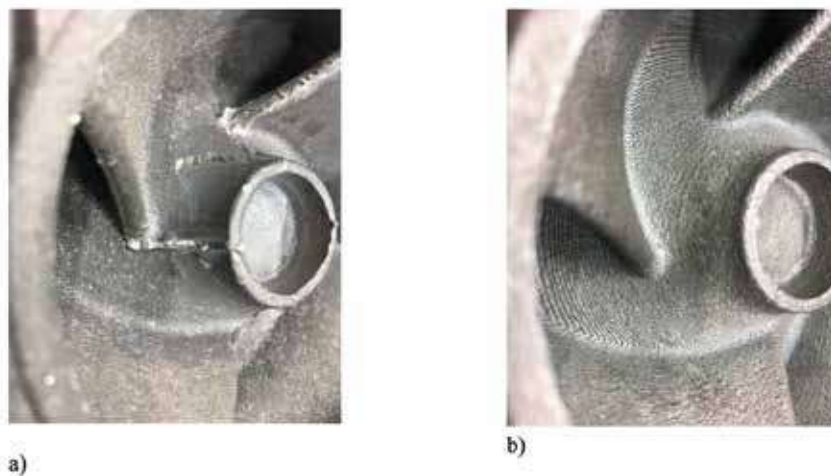


Figure 5: Xylem Water Solutions' water pump impeller cores

a) The cast part made with a conventionally manufactured impeller core has deficiencies and requires laborious post-processing.
b) The cast part produced using a core from the 3D printer impresses with its high quality. No post-processing is necessary.
Images courtesy of Xylem Water Solutions.

Better surface quality. Foundries aim to produce the finest possible surface finish for their casting parts. However, this is often challenging in the conventional mold and core-making method as it depends on several factors, such as the sand particles and the mold processing method. [13] Foundries reported that the surface of manually assembled cores often has parting lines or marks. They found that 3D printed cores have a better surface quality, so the integrated shape and dimensions can be guaranteed, and the parts can be more accurate in size. [3]

Saudi Mechanical Industries (SMI) reported that 3D printing is more attractive for the foundry because of its ability to produce more complex and better parts. With the conventional method, its cores always had marks and the foundry had to fix them manually. By 3D printing the cores, the joining area is not seen anymore. [3] Similarly, Grede Iron Mountain eliminates assembly steps with 3D printing, allowing it to avoid core shifts or variations in the parting line. [15]

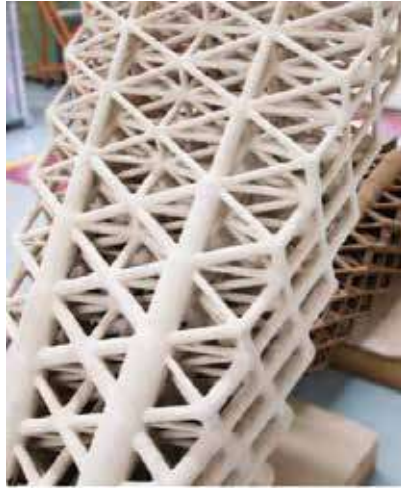


Figure 6: SMI's high-quality 3D printed core.

GF Casting Solutions Leipzig prints the cores for the hydraulic rotary transmission with ceramic sand and a cold-hardening phenol (CHP) binder. The foundry exploits the good properties of the 3D printer's single-component binder system, such as high-temperature resistance, good disintegration properties, and low core cleaning effort. Due to the long resistance at high temperatures compared to conventional cold box binders, high dimensional accuracy, and clean interiors can be ensured for very thin channels. [6]

A study also demonstrated that the surface quality of 3D printed cores showed lower surface roughness compared to conventional furan no-bake cores. To ensure the high surface quality of castings with 3D printed cores, researchers suggest paying great attention to 3D printing process parameters, such as the application of the binder. [13] [14].

High level of detail. Binder jet 3D sand printing technology enables a variety of production with the possibility to produce high-precision and shape-complex parts with an accuracy of ± 0.5 mm or an error of less than 0.3%. [16] Combined with casting simulation software, binder jetting helps ensure done-in-one-pour castings and estimate pouring success with over 95% accuracy. [17]

An AFS study of a complex iron housing in the USA indicated that 3D-printed sand cores have one-grade tighter dimensional tolerance than conventional sand castings. The iron housing is produced conventionally using a six-piece core assembly made via the Coldbox chemically bonded process with complex hard tooling. Through 3D printing, the core assembly could be redesigned as a three-piece printed core. Moreover, the study also tested that the three-piece printed core performed better than the conventional six-piece core assembly on critical features, such as the oil cooler cored hold opening. [18]

4. 5. Drive business growth:

Combining traditional and modern production methods using 3D printing technology allows foundries to transform into agile and cost-effective productions. Due to their new capability and agility in manufacturing complex geometries, they could win new businesses. Moreover, they have stopped turning away small-volume jobs and could win customers with low-cost and fast turnaround projects. Without the need for multiple core boxes, foundries can accept orders to produce complex cores with a 3D printer, making short-run, small—to medium-size productions also profitable.

Mezger Swiss foundry reported that by integrating 3D printing technology into its traditional

foundry operation, Mezger has expanded its service offerings and can position itself as a leading service provider and innovation leader in the region. Thanks to 3D printing, Mezger can now support its clients along the entire value chain – from development to engineering, all the way up to production. [19]

In the USA, Grede Iron Mountain shared that with its ability to 3D print all the cores in one piece, the foundry can now win jobs and bring them home instead of outsourcing the work overseas. [15] To continue growing for the next 150 years, Waupaca Foundry argues that it must keep innovation a top priority. The foundry fuses tradition and technology to innovate by bringing binder jet sand 3D printing in-house. Thanks to 3D printing technology, the foundry can expand its business by taking on pours typically not cost effective with the cost of hard tooling. [20]

5. CONCLUSION

Foundries worldwide of all sizes increasingly combine traditional sand mold making with 3D printing of complex cores (hybrid production) or 3D printing both sand molds and cores (full-printed production) with sand binder jetting technology. Many factors have driven foundries to adopt sand 3D printing, such as the increasing complexity of cast components, labor challenges, demand for quality improvements with less scrap, and increasing demands for faster delivery. Foundries that invest in sand binder jetting technology have demonstrated that integrating technology into foundry operations can help them conquer many challenges due to its unique benefits that can increase competitiveness in the market. Through the design freedom of 3D printing, combining traditional sand molds and 3D-printed complex cores enables complex core consolidation, leading to faster delivery times or accelerated lead time, lower production costs, and better core quality. It also allows new, intricate geometries that were impossible to produce with conventional methods. Lastly, integrating innovative 3D printing technology into traditional sandcasting drives business growth. As this is exploratory work, further studies should be conducted to analyze the benefits of sand 3D printing much deeper and to discover other potential advantages of the technology.



Figure 7: Foundries that own the high-speed ExOne S-Max Pro use it for all kinds of rapid production with any binder, from prototyping to serial production.

6. REFERENCES

1. ISO/ASTM 52900:2021(en), Additive manufacturing — General principles — Fundamentals and vocabulary, <https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso-astm:52900:ed-2:v1:en>
2. ExOne, What is Binder Jetting?, <https://www.exone.com/en-US/Resources/case-studies/what-is-binder-jetting>
3. Nonni Sri Athari, The Benefits of Hybrid Mold and Core Production, <https://www.exone.com/en-US/whitepaper-hybrid-mold-and-core-production>
4. R.K. Yin, Case Study Research: Design and Methods, 4th ed., Sage Publications, 2009, pp 99-125.
5. E.S. Almaghariz, B.P. Conner, L. Lenner, “Quantifying the Role of Part Design Complexity in Using 3D Sand Printing for Molds and Cores”, International Journal of Metalcasting. 10, 2016, pp. 240 – 252.
6. ExOne, Additive manufacturing of complicated sand cores for hydraulic rotary transmissions, <https://www.exone.com/en-US/GF-Casting-Solutions-Leipzig>
7. ExOne, How does sand 3D printing offer greater efficiency for Turkish manufacturers? <https://www.exone.com/en-US/on-demand-webinar-sand-3D-printing-in-Turkiye-2024>
8. ExOne. 3D Printing Quality Cores and Molds Provide Competitive Advantage. <https://www.exone.com/en-US/Hoosier-Pattern-3DPrinting-Cores>
9. S.R. Sama, T. Badamo, and G. Manogharan, “Case Studies on Integrating 3D Sand-Printing Technology into the Production Portfolio of a Sand-Casting Foundry”, International Journal of Metalcasting, 14(1), 2019, pp. 12 – 24,
10. M. D. Al-Tahat and A-R Abbas, “Activity-Based Cost Estimation Model for Foundry Systems Producing Steel Castings”, Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering, Volume 6, No. 1, Feb 2012, pp. 75 – 86.
11. ExOne, Inside a Digital Foundry – Grede Iron Mountain and Sand 3D Printing, https://youtu.be/_ClnmiggRPU
12. ExOne, 3D Printing Technology Dramatically Improves Manufacturing of Impellers, <https://www.exone.com/en-US/3D-Printing-Case-Study-Xylem>
13. M. Gawronova, P. Lichy, I. Kroupova, T. Obzina, J. Beno, I. Nguyenova, V. Merta, J. Jezierski, F. Radkovsky, “Evaluation of additive manufacturing of sand cores in terms of the resulting surface roughness”, Heliyon, Volume 8, Issue 10, 2022, e10751.
14. T. Sivarupan, M. El Mansori, N. Coniglio, and M. Dargusch, “Effect of process parameters on flexure strength and gas permeability of 3D printed sand molds, Journal of Manufacturing Processes”, Volume 54, 2020, 420 – 437.
15. ExOne, A Century of Experience Embracing Disruptive Metalcasting Technology, <https://www.exone.com/en-US/Grede>
16. M. D. Al-Tahat and A-R Abbas, “Activity-Based Cost Estimation Model for Foundry Systems Producing Steel Castings,” Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering, Volume 6, No. 1, Feb 2012, pp. 75 – 86.
17. ExOne, ExOne Expert: Mihaela Nastac, <https://www.exone.com/en-US/Resources/News/Ex-One-Expert-Mihaela-Nastac>
18. T. Nooyen and J. Shah, “Dimensional Tolerances of 3D-Printed Sand Cored Iron Castings”, Casting Source, July/August 2022, pp. 25-27. <https://www.qgdigitalpublishing.com/publication/?m=55225&i=753958&p=24&ver=html5>
19. ExOne, Innovative and Sustainable: A 74-Year Old Foundry Steps Into The Future With 3D Printing, <https://www.exone.com/en-US/sand-3D-printer-foundry-case-study-mezger>
20. ExOne, Looking Ahead to the Next 150 Years with 3D Printing” <https://www.exone.com/en-US/waupaca>

Implementing IIoT For Foundries

Carsten NIELSEN
DISA Industries A/S, Taastrup, Denmark

ABSTRACT

Digital is now the most effective route to improving foundry cost, efficiency and profitability. But collecting data via multiple standalone systems creates data silos that makes a live full process view impossible and stops foundries gaining full value from their digital investment.

By bringing historical and live data together in a single cloud-based IIoT solution, a foundry can quickly deliver a real-time digital picture of its process and build a consistent, trustworthy single source of truth for monitoring, reporting and analysis.

Using case study examples from multiple foundry IIoT implementations, this paper explains how collecting, storing and analysing data via an IIoT system can deliver huge benefits for any foundry, from identifying bottlenecks, faultfinding and measuring energy consumption to preventive maintenance and scrap reduction.

It will cover bringing together data in a single IIoT cloud platform from multiple vendors' equipment and other sources like ERP systems, databases, spreadsheets and even paper forms; how a step-by-step cloud implementation minimizes project risk; and how to effectively translate insight from the data into process improvements.

The next step can be full process optimization using service-based Artificial Intelligence (AI) and machine learning software. Adding AI optimization delivers performance improvements that are impossible with traditional manual techniques.

Keywords: green sand, IIoT, data, digital, smart foundry, AI, process optimization

1. INTRODUCTION

The green sand process is many centuries old. Today, it can employ simple manual techniques, such as floor moulding, or can be fully automated using moulding and pouring systems capable of producing over 500 high quality moulds per hour, efficiently and inexpensively.

But the simple concept of the green sand process – mix the sand, make the mould, pour the metal – overlays enormous complexity. Each sub-process involves tens or even hundreds of machine, material and other variables, from sand moisture content to pouring temperature.

This complexity makes it challenging to manually monitor production and find improvements. Troubleshooting relies on experience and is often little better than guesswork. As more experienced staff retire, a skills gap appears and it's even harder to control casting quality, cut costs and lower emissions.

After decades of manual management and optimization, digital is now the most effective – often the only – way to find the substantial gains required, whether it's lower scrap levels or higher productivity, sustainability and equipment utilization.

2. IIOT PROJECT PLANNING

There are five main steps in any foundry IIoT project.

- Set initial project goals and construct the ROI case, gain support from senior management.
- Choose the project team and give a committed, enthusiastic leader with senior management backing. Survey user needs, document existing processes and specify system requirements.
- Survey suppliers, test vendor solutions, then select supplier(s). Create project timeline: prioritize which sub-processes and machines to connect first.
- Connect machines and configure centralized data integration.
- Configure reporting, monitoring, visualization and alerting tools plus access for each user.

Staff must be involved right from the outset. Bring them together to find out what information would help them do their job more quickly, easily and more effectively. Run workshops to discuss and decide, for example, which KPIs and dashboard layouts they want to start out with.

A flexible, foundry-specific system and supplier makes a digital project much faster and easier. Experience from successful previous projects removes many time-consuming barriers to success, whether it's mapping incoming data from a PLC or dashboard designs with the right variables already in place. A proven solution is an efficient starting point which foundries can then easily modify to fit their needs.

3. FOUNDRY DIGITALIZATION – FIRST STEPS

The aim of the first stage of digitalization is to replace manual, paper-based data collection and storage with an automated digital system. For example, a critical measure like pouring cup fill level might be checked every hour by eye, the value recorded on paper and perhaps later typed into a spreadsheet. Adding a laser sensor to the pouring cup allows continuous measurement and monitoring. The sampled data can be routed via the machine PLC, monitored locally and stored for future reporting and analysis of the pouring sub-process.

Many foundries will already have digitally-enabled equipment like this: standalone systems on individual machines that make live data available locally during production. These individual machines may also store a limited amount of data to allow reporting, for example, number of moulds produced per shift.

A foundry may want to collect, combine and report on data from standalone systems to build a – partial or whole – view of its process that staff inside and outside the facility can access. But due to standalone system incompatibility, it is usually impossible to view data from different machines and sub-processes together in real time. The data is trapped in “silos” and is inaccessible. Any data integration must be carried out offline, using spreadsheets or similar tools to construct a more complete view of the process.

Manual integration is a slow, inefficient and error-prone process that takes days or even weeks. Merged data and derived variables are too old to be of use for day-to-day operations or spotting emerging problems. If sub-process data is hard to access and inconsistent, it is often not trusted by technical staff who prefer to retain traditional “rule of thumb” methods.

This makes fault-finding ineffective: finding root causes is slow and may never fully succeed. Process monitoring is restricted to single machines and individual operators. This results in more scrap, longer periods of unplanned downtime and, therefore, higher overall costs.

A single IIoT (Industrial Internet of Things) solution is a superior basis for foundry-wide digitalization. A secure in-house network connects standardized and compatible sensors, PLCs, gateways and edge devices to a central storage platform. Sensor data can then be forwarded to the central database where it is stored and combined with other data from across the whole process.

This approach enables a phased, step-by-step deployment but does not create incompatible data silos. As before, foundries can begin by digitalizing one or two machines or individual sub-processes, but are then able to build out their infrastructure in stages to eventually support their entire operation.

4. SYSTEM SELECTION AND IMPLEMENTATION: KEY CHALLENGES

4.1. Scalability:

The initial systems and supplier(s) must be able to support continued growth as a foundry’s ambitions increase. A modular approach is preferred, allowing foundries to “switch on” new functions as required.

4.2. Compatibility:

A foundry typically contains equipment and systems from different vendors. The IIoT system should be able to gather data from any of these vendors’ machines, new or old – not just the machines made by the IIoT system supplier. Whether it is a vertical line from Denmark or a flask line from Italy, it should be possible to connect and operate the system equally easily. Machine connection should be fast and simple: fitting sensors and an edge device or, if required, an upgraded PLC.

4.3. Standardization:

Data from every source must be recorded, transmitted and stored in a standardized format. This allows real-time automatic integration in the central database so any data collected can be combined, correlated and analyzed in a unified view.

4.4. Timestamping:

Each digital data sample collected must be timestamped with the time of collection, based on a central clock. Timestamping supports subsequent reporting and visualization, for example, to display a change in temperature over time. It also permits multiple variables to be merged and transformed to create derived variables.

4.5. Encryption and security:

Data should be encrypted by the edge device as it is forwarded to the central database. Data should only be able to flow one way, preventing any malicious access to foundry equipment. Foundries must check that the entire IIoT system and any supporting services such as cloud platforms have been properly accredited by reputable standards bodies.

4.6. Supplier experience:

Suppliers should demonstrate experience in foundry equipment and process optimization as well as in implementing foundry digitalization. This will greatly increase the probability of project success and the speed of implementation.

4.7. Prioritization:

In a phased deployment, the digitalization project should prioritize data collection from the most important sub-processes and equipment. This gives the most rapid ROI and provides evidence of the project's success to senior management. A supplier with experience of many previous foundry projects is of great advantage when advising which machines to connect and when.

5. THE ROLE OF IIOT INFRASTRUCTURE

IIoT infrastructure such as Norican's Monitizer Suite employs a broad range of interconnected hardware and software that combines machine control systems, networking and cloud services with specialized interfaces, processors, sensors and many other elements.

IIoT networks facilitate internet-based data exchange in various applications. In this context, we are simply interested in a one-way stream of data to a central database. IIoT equipment for initial foundry digitalization includes (but is not limited to):

5.1. Edge devices:

An edge device (or, more specifically, an IIoT gateway) is hardware that controls data flow between two networks. A domestic broadband router is a simple edge device. Common IoT gateway functions include data processing, caching, routing, encryption and streaming.

IIoT edge devices can be added to almost any foundry plant to enable data collection, along with sensors and any other hardware required. Using DISA moulding machines as an example, they feature numerous sensors, have digitally-compatible PLCs and also incorporate an IIoT edge device (NoriGate – see Figure 1) that timestamps and securely forwards machine data.



Figure 1: NoriGate IIoT edge device.

5.2 Cloud systems:

A single on-demand “software as a service” IIOT application that uses cloud storage and computing services – “cloud hosting” – is by far the best solution for foundry IIoT.

Cloud systems minimize the need for extra IT staff and new on-site hardware like servers. They can be quickly and easily deployed across multiple locations. The “pay as you go” charging model cuts upfront capital expenditure; often the monthly fee can simply be added to the operating budget. Costing is predictable which reduces project risk.

Cloud systems are ideal for collaboration and data sharing, making it simple for any user in any location to securely access the system via the internet and a standard browser. With modern APIs and other standards, integration with existing on-premise systems should be straightforward.

Cloud applications reduce ongoing system maintenance costs; software updates and patches can be installed centrally rather than locally. Cloud systems have much higher availability than conventional in-house systems and, if internet access is temporarily lost, will continue to work offline.

Cloud systems can scale up almost instantly to provide effectively unlimited storage and processing power, then scale back down as required. This avoids expensive, short-term IT hardware purchases that then rapidly become redundant. Cloud security is the strongest available; data and applications will almost always be safer in an AWS cloud data center than an in-house data center and computing network.

6. THE CENTRAL DATA PLATFORM

The central data platform should be instantly compatible – “plug and play” – with all other system components such as edge devices. The platform should be able to automatically import, check and store all input data while computing any required derived variables in real time. It should display base data and derived/computed variables immediately and offer secure remote access via any desired devices – phones, tablets, laptops and so on.

It should have its own standardized API that allows secure, automated data export to, for example, other analytics applications. The platform should also store historical data for subsequent reporting (manual and automated). It should make that stored data available for comparison with live data to enable benchmarking and other functions, for example, to help determine the correct thresholds for automated alerts.

A web browser-compatible HTML interface will ensure the widest display device compatibility. Dashboards and KPIs are vital. Both should be able to be created and edited easily without any knowledge of SQL or the system’s back-end coding or data configuration. This will allow every user to construct their own personalised view of the data available, enhancing system effectiveness and promoting rapid adoption across the foundry.

The platform should also include further visualization features such as charting, tabular reporting and color coding. Again, users should be able to customize these features without requiring IT support. Staff should be able to access and alter dashboards and KPIs using their own local language.

Notifications and alarms are essential features. They support automatic monitoring of large data sets with alerts if a variable value exceeds a defined threshold. In order to minimize false alarms,

it should be possible to configure alarms based multiple conditions or thresholds.

The central platform's data and applications should be cloud-hosted. This makes it easier to link together multiple global sites to feed a single system, though this is also possible with an in-house system. In both cases, the performance of physically separate sites and equipment can be monitored and compared from a single remote location by management. See section 5.2 above for cloud's many advantages for foundries.

7. SUPPORT NON-TECHNICAL USERS

It must be easy for foundry personnel to create and edit dashboards and KPIs themselves without any knowledge of SQL or the system's back-end coding or data configuration. They should be able to select the KPI type, pick their sensors and start using the dashboard immediately. This will allow every user to construct their own personalized view of the data available, enhancing system effectiveness and promoting rapid adoption across the foundry.

Users should also be able to customize visualization features such as charting, tabular reporting without requiring IT support. Staff should be able to use their own local language and see data referenced to their local time zone.

Likewise, a few clicks should be sufficient to set alarm escalation protocols that alert different groups of people in different waves, depending on how an issue develops and whether the first alerted group reacts. To reduce false alarms, users must be able to fine-tune alert triggers, for example by requiring multiple conditions or thresholds to be met.

MAT Foundry Group's EURAC facility in Poole, UK, started tracking real-time machine performance and productivity by monitoring metrics like tons poured per hour. But as staff began to personalize their own information view and add custom KPIs, digital applications snowballed. The entire team contributed ideas, from spotting and fixing technical issues to monitoring dust emissions and implementing predictive maintenance for shot blasting.



Figure 2: MAT Group's EURAC Poole, UK facility has connected Monitizer | DISCOVER to more and more equipment over the last six years to create a real-time, data-based view of its entire process.

8. HOW DIGITAL IMPROVES OPERATIONS AND PROFITABILITY

A reliable, integrated data platform that offers a real-time digital picture of the process transforms many aspects of foundry operation. Accessible from any location, it supports much more effective decision-making and its information helps management respond more quickly to any problems.

Monitoring a merged live view of the process reveals bottlenecks and, with the aid of automated

notifications, alerts staff to developing problems. This lets operators identify and remedy machine faults before they become serious and cause downtime. Staff can use machine operating data to correctly schedule conventional maintenance and also apply it to support a predictive maintenance program.

The right data platform allows data from multiple sources to be combined, compared and analyzed to find the true root cause of casting defects. Digitization is proven to reduce scrap and also benefits sustainability. Less scrap means less electricity is consumed for remelting.

If a foundry melting 100,000 tons of iron annually has a 5% scrap rate and 740kWh of electricity is needed to melt one ton, then cutting the scrap rate to 2.5% saves energy equivalent to 1900 tons of CO2 emissions every year. (DataProphet). Access to reliable process data makes scope 1 and 2 carbon reporting much more feasible, especially when multiple sites are involved.

Foundry floor workers, supervisors, and off-site senior managers all benefit from this vivid, holistic digital view of operations via their laptop, mobile, or tablet. Over time, the IIoT process database captures the expert knowledge of employees and equipment vendors. It effectively becomes a repository for the accumulated wisdom of the business and becomes the foundry's most valuable asset.

The data shows clearly what works and what doesn't, steering the foundry towards the most efficient and productive ways to operate. For example, a supervisor might check historic operating data to find the setpoints that previously worked well for a particular component and evaluate them for use today.

As the foundry industry continues to lose experienced staff, the IIoT system also supports novice operators, for example, by showing them that their machine is currently "on track" and functioning correctly, by automatically alerting supervisors when they have a problem, or by providing the information required to quickly repair a machine fault.

9. DIGITALIZATION CASE STUDY: DRAXTON

Draxton in Barcelona started working with Monitizer and DISA in June 2022, with the aim of using IIoT tools to monitor production and facility parameters. Each user has applied their process knowledge to create their own personalized dashboard and set up their own queries, so they receive exactly the information they want to see – with no need for technical support. They have also configured sophisticated alarms that alert production and maintenance staff to act before an issue become serious.

This alerting has allowed the maintenance team to implement a "just-in-time" preventive maintenance program. For example, Monitizer | DISCOVER helps Draxton identify premature wear in the furnaces; when any parameters move out of specification, the system automatically notifies both the maintenance and production teams.



Figure 3: Each user at Draxton's Barcelona foundry made their own personalized dashboard to see exactly the information they need.

Before implementing Monitizer, the Barcelona facility struggled to remove a bottleneck caused by insufficient moulding sand for their two lines. By analyzing process data, it was possible to vary the sand plant's cycle time to match the amount of water added to the sand plant. This removed the bottleneck and stabilized sand quality.

This digital insight helped optimize the sand-water ratio and improved sand quality while cutting water, waste and energy consumption. The result was better casting quality and a more sustainable, more efficient process.

Draxton was awarded "Most Innovative Supplier" by Schaeffler for their use of Industry 4.0 solutions, including its use of Monitizer to drive process optimization.

10. DIGITALIZATION CASE STUDY: MAT FOUNDRY GROUP

MAT Foundry Group wanted to collect, monitor and analyse foundry data from its Poole, UK and multiple other global sites. MAT worked with DISA to upgrade existing equipment and fit the required IIoT hardware.

The foundry can now view live KPIs within customized dashboards, letting it monitor and improve daily operations. The central platform is cloud-based with a central portal that gives a digital picture of foundry operations to any user in any location.

User-specific dashboards display the most relevant information: senior management can choose to view aggregated data such as casting tonnage or scrap levels per shift while production managers want site-specific productivity KPIs such as poured tons per hour, moulds not poured and stop/wait times. The timestamped, consistent data shows any machine stops and starts (bottlenecks) and helps to pinpoint when problems occurred.

Staff on the factory floor monitor live machine data which is color-coded to help them quickly recognize and fix any small technical issues. The central maintenance team can plot trends, track live graphs and spot deviations from expected values in real time. For example, monitoring mould compressibility helped identify a weak seal. Changing it avoided possible unplanned downtime and associated production loss.

Cycle times, batch count and loading/unloading times for shot blasting are also captured and displayed via dashboards. Data on shotblasting vibration levels, which strongly influences blast wheel wear rate, supports MAT's predictive maintenance strategy.

Because of its urban location, the Poole facility must stop production if dust emissions are too high. Automatic monitoring was a key system requirement, removing the need for maintenance staff to manually check each dust collector several times daily. Now the system checks constantly for overly high differential pressures that indicate possible filter blockages and issues alerts via email if pressure exceeds a threshold value.

11. DIGITALIZATION CASE STUDY: CONDALS

Condals Group produces over 43,000 tons of iron castings annually on three DISAMATIC moulding lines: two in Spain and one in Slovakia. Condals had networked both locations and had already added Monitizer | CIM modules to enable, for example, recipe management, casting line monitoring, in-mould cooling time control, automatic pouring and automatic casting sorting.

But because the company used multiple (non-DISA) systems with different databases, the data

was split into silos. Access was difficult and there was no overall live view of their operations. Instead, the company extracted the data from each system, then cleaned and standardized it before merging the data sets and manually calculate derived variables like cumulative totals of iron poured.

A merged view of the whole process took days to create, so maintenance staff were not able to respond to issues in time. The merged data was also not reliable: the same analysis could give different answers depending on how the data set was brought together and the time period analyzed. A single source of information was required.

Implementing Monitizer | DISCOVER brought all Condals' data from both Slovakia and Spain together in a unified cloud-based database. NoriGate edge gateways collected data from all types of equipment and other data sources. Monitizer | DISCOVER's automated variable calculations and data integration made almost all manual data processing unnecessary.

Condals staff can now view KPIs, user-specific dashboards and automated reports to visualize all its foundry data in real time. Thousands of different data points are available. Staff can access their information from anywhere and are alerted to problems instantly. With all data stored in the same place, historical analysis has become much simpler and the results are trustworthy.

Condals then moved to the next stage: full process optimization using Artificial Intelligence-driven analytics. Initial testing on two patterns reduced scrap rates by 39% and 45% respectively.

12. DIGITALIZATION CASE STUDY: GREDE

Grede is currently implementing IIoT and AI-driven optimization at all 9 of its US foundries. It is connecting its melt, sand and moulding sub-processes in the first phase, then AI in the second.

They are also planning to deploy full casting traceability in a pilot project at one facility. This will allow every individual casting to be tracked through the process.

The main drivers of the project were to create a single standardized process database, replace slow manual data with automated collection, time-stamping and data integration, give new staff more support, and to react very quickly to any operational problems. Upon full implementation, Grede's foundries will be able to see historical and real-time production data side by side, helping them to solve quality issues and prevent scrap.

13. DIGITALIZATION CASE STUDY: SHOTBLASTING

A well-known German manufacturer of hand tools worked with Wheelabrator to digitize its shot blast processes. The goal was to make real-time process data available to drive process optimization. A better-controlled and more stable blast process would reduce the amount of reworking required and so improve product quality.

By making the blast process digitally "visible", it can be monitored in real time to spot any deviations from the permitted ranges and countermeasures can be initiated immediately. One of the most important goals was to constantly optimize the abrasive mix which has a major influence on the blast quality, intensity and stability.

A Wheelabrator MB400G tumblast machine was digitized in a pilot project. Monitizer | DISCOVER dashboards were created that generate and track metrics and KPIs, such power use, turbine speeds and operating status. A traffic light system alerts operators and managers if target values are exceeded.

The data quickly revealed a maintenance error that regularly caused a clogged rotary screen. This led to abrasive overconsumption and process instability. Discovering and correcting this error has significantly improved process stability and reduced the rework rate. Monitizer is now installed on the manufacturer's other blast machines.

14. FUTURE OPTIONS: OPTIMIZATION

Digitalisation and analysis as described above is extremely effective in improving single sub-processes like moulding or pouring. It also helps to show the links between one sub-process and another. But the complexity and volume of the data needed to optimize the entire green sand process overwhelms conventional analytics.

Artificial Intelligence (AI) is the solution, built on top of a mature data platform as described above. An AI-driven Expert Execution System (EES) like Monitizer | PRESCRIBE can consider all the process parameters from an entire production line in order to maximize one target variable – casting quality.

The AI examines historical data to learn how parameters like compactability, moisture content, melt pouring speed or pouring ratio influence each other – and affect final casting quality. It then determines which combination of machine and material settings will produce the best results for each pattern.

During production, instead of simply reacting to quality issues, the EES updates its recommendations for the control plan every 30 minutes in response to AI predictions based on real-time data from the line. That maintains stable, high-quality production, even as factors like air temperature or sand moisture content vary.

15. CONCLUSION

Traditional manual techniques are insufficient for the needs of a modern green sand foundry. Digitalisation provides the data and tools required to manage and further improve casting production. An IIoT system that can collect and send data to a single, central database is the optimal solution. The central database must be easily accessed and be combined with tools that allow monitoring, visualization, reporting and analytics.

Any IIoT system and associated services must offer a pathway to future expansion if a foundry extends digitalisation to its entire process or wishes to implement full process optimization. The supplier that the foundry partners should have substantial foundry experience and demonstrate success in foundry digitalisation.

The reliable single process database shows clearly what works and what doesn't, steering the foundry towards the most efficient and productive ways to operate. As the database builds over time, it becomes a foundry's most valuable asset. The eventual goal can be AI-driven, real-time process control across one or more entire lines.

3 Boyutlu Kum Yazıcılarda Geri Dönüşüm Kumu Kullanım Oranının Yanma Kaybına, Maça Mukavemetine ve Maça Ağırlığına Etkisi

Erdiç SEKMEN*, Cem AYDIN*, İsmail ULUDAĞ*

***Döktaş Dökümcülük Tic. ve San. A.Ş., Orhangazi, Bursa.**

ÖZET

3 boyutlu (3D) kum yazıcılar günümüzde döküm sektöründe sıkça kullanılmaya başlanmıştır. Bu teknoloji döküm sektöründe maçaların ve kalıpların üretilmesinde kullanılmaktadır. 3 boyutlu yazıcılar çok karmaşık geometriye sahip olan maçaların ve maça paketlerinin maça sandığı olmadan üretilmesine olanak sağlamaktadır.

3 boyutlu yazıcılarda maça üretimi esnasında %100 yeni kum kullanılabilceği gibi belirli oranlarda karıştırılmış yeni kum ve geri dönüşüm kumu da kullanılabilir. İş hücresinde sadece sülfirik asit ile karıştırılmış ve yazdırılan maçalar arasında kalan, üzerlerine furan reçinesi püskürtülmemiş serbest haldeki kumların atılması yerine belirli oranlarda, geri dönüşüm kumu olarak tekrardan sisteme dahil edilmesi çevreye olan olumsuz etkiyi azaltmaktadır.

Bu çalışmada; geri dönüşüm kumu oranının yanma kaybına, maça mukavemetine ve maçaların ağırlığına etkisi incelenmiştir. Bu sayede prototip olarak üretilecek olan parçaların daha az yeni kum kullanarak maliyetlerinin düşürülmesi mümkün olacaktır. Çünkü ülkemizde halen 3 boyutlu kum yazıcılarda kullanılacak kalitede yeni kum çıkarılamamakta ve bu kumlar ithal edilmek zorundadır.

Anahtar kelimeler: 3 Boyutlu Kum Yazıcılar, Kum, Reçine, Geri Dönüşüm

SUMMARY

3D sand printers are used regularly in the foundry industry on a daily basis. This technology is used in the processing of cores and molds in the casting industry. 3D printers allow the service of cores and core packages with very complex geometry without a core box.

While producing cores in 3D printers, 100% new sand can be used, or new sand and recycled sand mixed in certain proportions can also be used. Instead of only throwing away the free sand mixed with sulfuric acid and remaining between the printed cores in the work cells, without the furan recipe being sprayed on them, re-incorporating the systems as recycling sand in certain proportions reduces the negative impact.

This product; The slaking combustion loss of recycling sand varies with the core strength and weight of the cores. In this way, it will be possible to reduce costs by using less new sand for parts that can be produced as prototypes. Because in the 3D sand printers that are still in progress, new sand of high quality cannot be produced and these sands are not processed for import.

Keywords: 3D Sand Printer, Sand, Basin, Recycling

GİRİŞ

Kum kalıba döküm yöntemi çok eski zamanlardan beri kullanılan metal şekillendirme metodlarından biridir. Kum kalıba döküm ile çok basit geometriye sahip parçalar üretilebildiği gibi çok karmaşık geometriye sahip parçalar da üretilebilmektedir. Bu döküm parçalarının üretiminde model ve maça sandıkları kullanılmaktadır. Model ve maça sandıklarının üretilmesi zaman almakta ve bu döküm takımlarında modifikasyonların yapılması kolay olmamaktadır. Karmaşık geometriye sahip parçaların üretilmesi için çoğu zaman bir adet maça yeterli olmadığından birden fazla maça için birden fazla maça sandığı üretilmesi gerekmektedir.

Günümüzde havacılık, savunma, medikal, otomotiv gibi birçok alanda kullanılmaya başlayan 3 boyutlu yazıcılar döküm sektöründe de kullanılmaya başlanmıştır. 3D (3 boyutlu) yazıcılar döküm sektöründe doğrudan parça üretiminde kullanılmamakta olup, özellikle maçaların üretilmesinde de kullanılmaya başlanmıştır. Maça sandığında üretilmesi oldukça zor olan, geometrisinde ters açılar bulunduran maçalar bu yöntem ile kolayca üretilebilmektedir. Maçaların 3D yazıcılarda üretilebilmesi ile birlikte maça sandığı ve model ihtiyacı ortadan kalkmıştır. Maça sandığı ihtiyacı ve model ihtiyacının ortadan kalkması ile ilk numunenin üretilip müşteriye sevk edilme süresi azalmıştır.

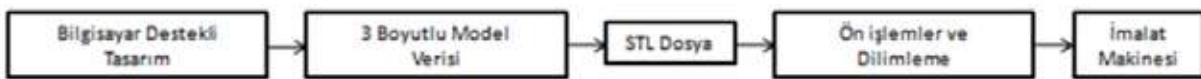
3 boyutlu kum yazıcılarda kullanılan kum, ilk önce aktivatör ile karıştırılmaktadır. Daha sonra aktivatör ile karıştırılan bu serbest kum iş kutusuna serilmekte ve maça olarak alınacak bölgeler furan reçine ile sertleştirilmektedir. Furan reçine ile sertleştirilmeden kalan kısımlar, temizleme işlemleri esnasında geri alınmaktadır. Geri dönüşüm olarak geri alınan bu serbest kumlar tekrar sisteme ilave edilip yeni kum ile karıştırılıp kullanılabilir.

Bu çalışmada 3 boyutlu kum yazıcılarda geri dönüşüm kumu oranının yanma kaybına, maça mukavemetine ve maçaların ağırlığına etkisi incelenmiştir.

Eklemeli İmalat Yöntemi

Eklemeli imalat yönteminin temelleri 1980'li yıllara dayanmaktadır. 3D System firması tarafından üretilen SLA-1 cihazının ilk 3 boyutlu yazıcı sistemi olduğu bilinmektedir [28]. Eklemeli imalat son yıllarda önem kazanmış modern imalat yöntemlerinden biridir. Eklemeli imalat 3 boyutlu modelin, geometrik verileri kullanarak inşa edilecek tozların katman katman eklenmesiyle elde edildiği imalat şeklidir. Eklemeli imalat yöntemleri ile karmaşık geometriye sahip parçalar hızlı bir şekilde elde edilmektedir.

Eklemeli imalat yönteminde üretilmesi düşünülen model stl uzantılı dosyaya dönüştürülmektedir. Stl dosyada modelin varsa hataları düzeltilir, üretilecek olan parçanın tablaya yerleşimi ve inşa yönü belirlenmektedir. Daha sonra bu tür işlemlerden geçen model katmanlara ayrılmaktadır. Katmanlara ayrı hazır hale getirilerek, üretim yapılacak olan makineye gönderilmektedir. Eklemeli imalat yönteminde işlem veri akışı Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1: Eklemeli imalat veri akışı

Eklemeli imalat yöntemlerinde plastik malzemeler, seramikler, kompozitler, alüminyum ve alaşımları, titanyum ve alaşımları ile çelikler kullanılabilir. Çizelge 1' de eklemeli imalat yöntemlerinin karşılaştırılması gösterilmiştir.

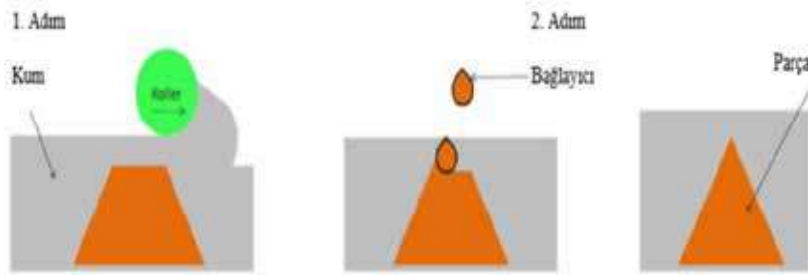
Yöntem	Çalışma Esası	Kullandığı Malzeme	Çözünürlük	Mukavemet	Pürüzlülük
SLS	Tozun lazer ile sinterlenmesi	Poliamid, polistren, karbon fiber, paslanmaz çelik, nikel	Zayıf	İyi	Zayıf
SLA	Fotopolimer malzemenin UV ışını ile katılaştırılması	Reçine bazlı malzemeler, akrilik, epoksi	İyi	Orta	İyi
FDM	Ekstrüzyon ile yığıma tekniği	Poliamid, polikarbonat, polietilen	Orta	İyi	Orta
3DP	Bağlayıcı ile toz bağlama ve kurutma	Yüksek permormanslı kompozit	Zayıf	Zayıf	Zayıf

Çizelge 1: Eklemeli imalat yöntemlerinin karşılaştırılması

Eklemeli imalat yönteminin tasarımında esneklikler bulunmaktadır. Çok karmaşık şekilli ve hacim kalıplılığı ile üretilmeyecek olan, ters açılardan bulunduğu parçalar üretilmektedir. Eklemeli imalat yöntemleri otomotiv, havacılık ve savunma sanayi, medikal sektörü gibi çok farklı sektörlerdeki parçaların üretiminde kullanılabilir.

Döküm Sektöründe Eklemeli İmalat

Son yıllarda eklemeli imalat yöntemleri her sektörde kendine yer bulmaya başlamıştır. Döküm sektöründe bu sektörlerin başında gelmektedir. Döküm sektöründe kullanılan 3D (3 boyutlu) yazıcılar binder jetting yöntemine göre çalışmaktadır. Döküm sektöründe kullanılan 3D yazıcılarda maça ve kalıp üretimi yapılmaktadır. Katman katman serilen kumlar bağlayıcılar ile birbirine bağlanmaktadır. Bir kat kum bir kat bağlayıcı olacak şekilde üretim yapılmaktadır. Şekil 2' de bağlayıcı ile katmanlı üretim yöntemi gösterilmiştir.



Şekil 2: Bağlayıcı ile katmanlı üretim yöntemi

Döküm sektöründe üretilen parçaları incelediğimizde, gelişen teknoloji ile birlikte basit geometriye sahip parçaların yanında, tasarım sınırlarının zorlandığı, birkaç parçanın birleştirildiği karmaşık geometriye sahip parçaların da üretildiğini görmekteyiz. Bu karmaşık geometriye sahip parçaların üretimi için, maliyetinin de düşük olması nedeniyle, kum kalıplama yöntemi seçilmektedir. Bu karmaşık geometrilerin oluşturulabilmesi için daha fazla ve üretimi zor olan maçalara ihtiyaç duyulmaktadır. Konvansiyonel (geleneksel) yöntemde her bir maçanın üretimi için ayrı bir maça sandığına ihtiyaç duyulmaktadır. Tasarım, prototip üretim ve sınırlı sayıda ön seri üretim aşamalarında 3D (3 boyutlu) yazıcılar sayesinde maça sandıkları ve model ihtiyacı ortadan kalkmaktadır. 3D yazıcılar maça sandığı ve model imalatı yapılmadan, bunların imalatında geçecek süreyi kaybetmeden hızlı şekilde prototip üretimi gerçekleştirmeye ve müşteriye daha kısa sürede numune vermeye imkan sunmaktadır. Şekil 3'te 3D yazıcılarda üretilmiş olan kum kalıbı gösterilmiştir.



Şekil 3: 3D yazıcı ile üretilmiş maçalar ve kalıp

DENEYSEL ÇALIŞMA

3 Boyutlu Kum Yazıcılarda Geri Dönüşüm Kumu Kullanımı

3 boyutlu kum yazıcılar ile üretim yaparken %100 yeni kum kullanılabilceği gibi, belirli oranlarda geri dönüşüm kumu ile yeni kum karışımları da kullanılabilir. %100 yeni kum kullanılarak üretilen maçaların maliyetleri çok yüksek ve maça kaliteleri de olması gerekenden fazla olduğu için genellikle dökümhaneler belirli oranlarda geri dönüşüm kumu ile yeni kum karışımlarını kullanmaktadır.

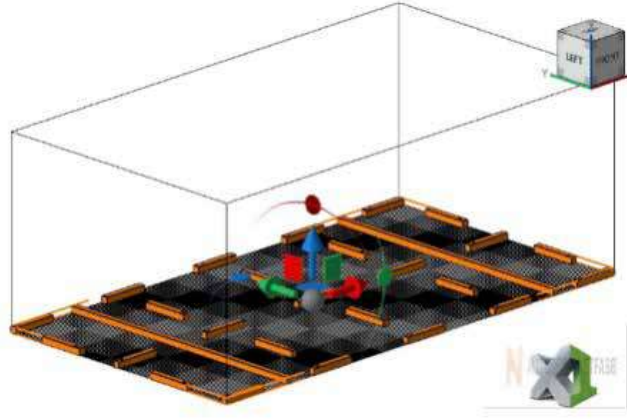
Yaptığımız bu çalışmada geri dönüşüm kumu kullanım oranının yanma kaybına, maça mukavemetlerine ve maça ağırlıklarına etkisi incelenmiştir.

Yapılan testler Şekil 4'te ölçüleri gösterilen test çubukları ile yapılmıştır.



Şekil 4: Deneylerde kullanılan test çubuğu

%30 geri dönüşüm-%70 yeni kum, %40 geri dönüşüm-%60 yeni kum ve %50 geri dönüşüm-%50 yeni kum olmak üzere 3 farklı deney tasarımı oluşturulmuştur. Her kum karışımı için Şekil 5'te gösterildiği gibi x ekseninde 15 adet, y ekseninde 10 adet test çubuğu 3 boyutlu yazıcıda yazılmıştır. 3 boyutlu kum yazıcılarda iş kutusu içerisinde farklı bölgelerde ve farklı eksenlerde mukavemet değerleri değişkenlik gösterdiğinden dolayı bu şekilde bir deney tasarımı oluşturulmuştur.



Şekil 5: Test çubuklarının iş kutusu içerisindeki yerleşimi

İş kutusundan temizlenip alınan bu çubukların kırılma mukavemetleri, yanma kayıpları ve ağırlık ölçümleri laboratuarda gerçekleştirilmiştir. Kırılma mukavemetleri Şekil 6' da gösterilen DISA markalı maça kırılma mukavemeti ölçüm cihazında, yanma kaybı ölçümleri Şekil 7'de gösterilen Protherm markalı fırında, maça ağırlıkları ise Şekil 8' de gösterilen hassas terazide ölçülmüştür. Tüm ölçümlerin sonuçları Çizelge 2' de gösterilmiştir.



Şekil 6: Kırılma mukavemeti ölçüm cihazı



Şekil 7: Yanma kaybı ölçüm fırını



Şekil 8: Ağırlık ölçümü yapılan hassas terazi

30-70 TEST BAR ÖLÇÜM SONUÇLARI		
X Eksen	Ağırlık	Kırılma mukav. [N/mm ²]
	113 ± 5	≥ 200
X1	122,6	336
X2	120,2	316
X3	118,4	300
X4	117,8	280
X5	121,7	360
X6	121,7	326
X7	121,5	326
X8	120,9	326
X9	120,4	316
X10	122,3	336
X11	123,1	376
X12	122,8	316
X13	122,2	326
X14	121,9	336
X15	123,9	396
Y Eksen	Ağırlık	Kırılma mukav. [N/mm ²]
	113 ± 5	≥ 200
Y1	122,1	376
Y2	120,4	326
Y3	120,1	306
Y4	118,9	316
Y5	121,4	326
Y6	119,3	306
Y7	119,1	276
Y8	118,9	316
Y9	117,6	276
Y10	119,5	276
YANMA KAYBI %		
X02	1,7	
X05	2,15	

40-60 TEST BAR ÖLÇÜM SONUÇLARI		
X Eksen	Ağırlık	Kırılma mukav. [N/mm ²]
	113 ± 5	≥ 200
X1	115,0	260
X2	112,2	240
X3	112,7	240
X4	111,1	230
X5	116,1	260
X6	115,0	230
X7	116,4	260
X8	115,2	250
X9	116,1	250
X10	117,1	280
X11	115,2	270
X12	116,6	300
X13	114,4	270
X14	115,4	270
X15	116,0	330
Y Eksen	Ağırlık	Kırılma mukav. [N/mm ²]
	113 ± 5	≥ 200
Y1	116,9	270
Y2	115,1	250
Y3	115,7	280
Y4	113,9	290
Y5	116,4	280
Y6	113,9	270
Y7	113,0	250
Y8	114,0	270
Y9	113,0	270
Y10	114,7	250
YANMA KAYBI %		
X05	1,65	
Y10	1,7	

50-90 TEST BAR ÖLÇÜM SONUÇLARI		
X Eksen	Ağırlık	Kırılma mukav. [N/mm ²]
	113 ± 5	≥ 200
X1	118,2	300
X2	113,4	250
X3	111,6	240
X4	112,0	220
X5	118,5	320
X6	118,6	320
X7	110,4	270
X8	115,0	270
X9	110,2	260
X10	118,1	290
X11	120,6	310
X12	117,0	310
X13	114,1	270
X14	115,0	280
X15	119,4	310
Y Eksen	Ağırlık	Kırılma mukav. [N/mm ²]
	113 ± 5	≥ 200
Y1	118,2	290
Y2	115,0	260
Y3	114,6	270
Y4	114,1	270
Y5	117,7	300
Y6	116,5	280
Y7	113,0	250
Y8	113,7	250
Y9	112,6	260
Y10	115,4	280
YANMA KAYBI %		
X05	1,65	
Y10	1,7	

Çizelge 2: Ölçüm sonuçları

3 farklı kum karışımı için de kırılma mukavemetleri, ağırlık ve yanma kayplarının x ve y eksenindeki sonuçlarının aritmetik ortalamaları alınmış ve Şekil 9'da bu sonuçlar gösterilmiştir.

30-70 TEST BAR ÖLÇÜM SONUÇLARI		
X Eksen	Ağırlık	Kırılma mukav. [N/mm ²]
	113 ± 5	≈ 200
X1	122.8	336
X2	120.2	310
X3	118.4	300
X4	117.8	280
X5	121.7	300
X6	121.7	320
X7	121.5	320
X8	120.9	320
X9	120.4	310
X10	122.3	330
X11	123.1	370
X12	122.8	310
X13	122.2	320
X14	121.9	320
X15	123.9	350
Y Eksen	Ağırlık	Kırılma mukav. [N/mm ²]
	113 ± 5	≈ 200
Y1	122.1	370
Y2	120.4	320
Y3	120.1	320
Y4	118.9	310
Y5	121.4	320
Y6	119.3	300
Y7	119.1	270
Y8	118.9	310
Y9	117.6	270
Y10	119.5	270

40-60 TEST BAR ÖLÇÜM SONUÇLARI		
X Eksen	Ağırlık	Kırılma mukav. [N/mm ²]
	113 ± 5	≈ 200
X1	115.0	260
X2	112.2	240
X3	112.7	240
X4	111.1	230
X5	116.1	260
X6	113.0	230
X7	116.4	260
X8	115.2	250
X9	116.1	250
X10	117.1	280
X11	115.2	270
X12	118.0	300
X13	114.4	270
X14	115.4	270
X15	116.0	330
Y Eksen	Ağırlık	Kırılma mukav. [N/mm ²]
	113 ± 5	≈ 200
Y1	116.9	270
Y2	115.1	250
Y3	115.7	280
Y4	113.9	250
Y5	118.4	290
Y6	113.9	270
Y7	113.0	250
Y8	114.0	270
Y9	113.0	270
Y10	114.7	250

50-80 TEST BAR ÖLÇÜM SONUÇLARI		
X Eksen	Ağırlık	Kırılma mukav. [N/mm ²]
	113 ± 5	≈ 200
X1	118.2	300
X2	113.4	250
X3	111.6	240
X4	112.0	220
X5	118.5	320
X6	118.6	320
X7	116.4	270
X8	115.0	270
X9	118.2	290
X10	118.1	290
X11	120.6	310
X12	117.0	310
X13	114.1	270
X14	115.0	280
X15	119.4	310
Y Eksen	Ağırlık	Kırılma mukav. [N/mm ²]
	113 ± 5	≈ 200
Y1	118.2	290
Y2	115.0	280
Y3	114.6	270
Y4	114.1	270
Y5	117.7	300
Y6	116.5	280
Y7	113.0	250
Y8	113.7	250
Y9	112.6	260
Y10	115.4	260

YANMA KAYBI %	
X02	1,7
Y05	2,15

YANMA KAYBI %	
X05	1,65
Y10	1,7

YANMA KAYBI %	
X05	1,65
Y10	1,7

Şekil 9: 3 farklı kum karışımı için sonuçların aritmetik ortalamasının grafiksel gösterimi

SONUÇLAR

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen verilere göre aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır. 1) Geri dönüşüm kumu kullanım oranı arttıkça maçaların kırılma mukavemetleri hem x ekseninde hem y ekseninde düşmektedir.

2) %30 geri dönüşüm kumu oranı olan maçaların ağırlıkları diğerlerine göre daha yüksektir. Fakat %40 ve %50 geri dönüşüm kumu olan maçaların ağırlıkları birbirine çok yakındır.

3) Geri dönüşüm kumu kullanım oranı arttıkça yanma kaybı azalmaktadır.

4) İnce kesitli olmayan ve yüksek mukavemet gerektirmeyen maçalar yazılırken geri dönüşüm kumu oranı %40-%50 olarak kullanılabilir. Fakat motor kafası maçaları gibi ince kesitli ve döküm esnasında sıvı metalin basıncı ile kırılma riski olan maçalarda %30 oranında geri dönüşüm kumu kullanılmalıdır.

KAYNAKLAR:

- 1) E. Bassoli, A. Gatto, L. Iuliano, M.G. Violante, 3D printing technique applied to rapid casting, Rapid Prototyp. J. 13 (2007) 148-155. doi:10.1108/13552540710750898.
- 2) T. Wohlers, 3D Printing and Additive Manufacturing State of the Industry: Annual Worldwide Progress Report, Wohlers Associates, Fort Collins, Colorado, 2018.
- 3) Y. Huang, M.C. Leu, J. Mazumder, A. Donmez, Additive Manufacturing: Current State, Future Potential, Gaps and Needs, and Recommendations, J. Manuf. Sci. Eng. 137 (2015) 1-10. doi:10.1115/1.4028725
- 4) C. Buchanan, L. Gardner, Metal 3D printing in construction: A review of methods, research, applications, opportunities and challenges, Eng. Struct. 180 (2019) 332-348. doi:10.1016/j.eng-struct.2018.11.045.
- 5) B. Rooks, Rapid tooling for casting prototypes, Assem. Autom. 22 (2002) 40-45. doi:10.1108/01445150210416664.
- 6) M. Upadhyay, T. Sivarupan, M. El Mansori, 3D Printing for Rapid Sand Casting - A Review, J. Manuf. Process. 29 (2017) 211-220. doi:10.1016/j.jmapro.2017.07.017.

Clean Steel Castings At Ultralow Pouring Temperatures For High Performance Applications Using The Innovative Rotoclene Process

**Authors: David HRABINA & Colin POWELL, Foseco // Co-Authors: Dalibor ČÁP,
Milan TURTÁK, Jiří KOLÁR, UNEX**

This article describes a new technique for improving the quality of Steel melts in the ladle prior to pouring.

The Process involves a rotary treatment process that stirs the metal in the ladle whilst passing a curtain of fine Argon bubbles through it. Together with flux and wire additions the process leads to effective inclusion removal, homogenized temperature, modification and desulfurization. The technique allows the steel to be cast at much lower temperatures even semi liquid, resulting in fine cast microstructures and reduced defects.

INTRODUCTION

Molten metal in the melting furnace will be clean but tapping into the pouring ladle significantly contaminates it. [1] The metal tapping process is not well controlled and splashed metal exposed to the atmosphere reacts with oxygen forming oxide films having melting temperature greater than temperature of the liquid metal in the ladle. Formed oxide films cannot dissolve or remelt in the ladle and floating up to the surface through their buoyancy would take excessive time due to their large surface area and negligible volume.

Injecting treatments and deoxidising alloys such as Al, SiCa, FeTi, and FeZr into the stream of tapped steel makes the situation even worse. Massive amounts of air entrained into the molten metal in the ladle (Fig 1a & 1b) immediately react with those high oxygen affinity elements forming even more non-metallic inclusions and oxide films.



Fig 1a: Water modeling of tapping process

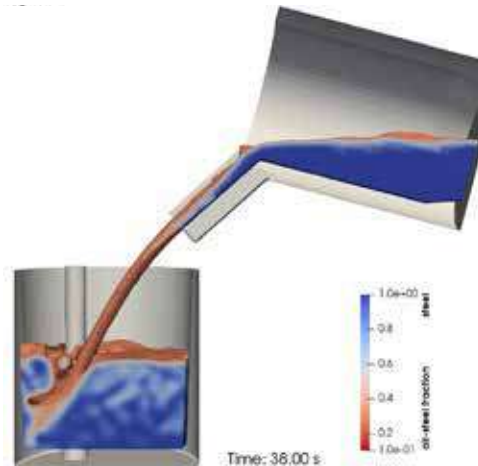


Fig 1b: CFD simulation of metal tapping

The metal temperature in the ladle may vary significantly in different locations due to the cooling effect of the refractory lining. The difference between the metal temperatures between the bottom and top of the ladle might be tens of degree before the pouring process starts. (Fig. 2a & 2b) Especially sensitive are smaller bottom pour ladles because of the cooling effect of stoppers and nozzles. The coldest metal sinks to the lowest area around the stopper nose and is the first metal to flow into the nozzle when the stopper is lifted up.

This metal cools even further as it passes through the unpreheated running system and leads to mis-runs and cold shut defects on the casting surface. The pouring temperature is measured by thermo probe at the top of the ladle before pouring starts but this is not representative of metal temperatures at other ladle locations.

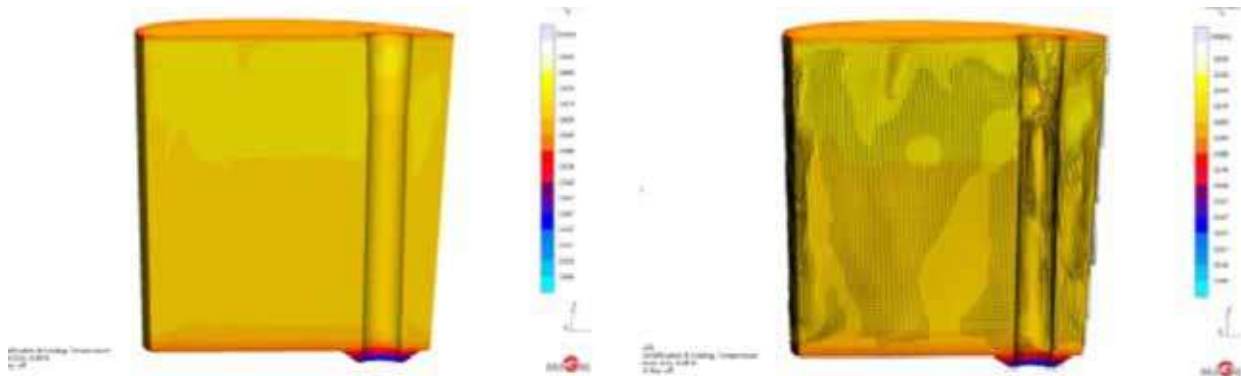


Fig 2 MAGMA simulation of metal temperature distribution at the ladle 6 min after tapping

The ROTOCLENE process has been developed to treat molten metal effectively in the ladle. For reducing hydrogen and nitrogen pick up we would ideally deoxidise the melt with cored wire before or during the rotary treatment rather than into the stream during metal tapping from either arc or induction melting furnace. A hollow ceramic rotor stirs the molten metal as argon is purged through it gets dispersed to form curtains of very fine bubbles. (Fig 3a) These float up slowly in a helical trajectory that extends their passage through the metal rotating around the vertical axis of the ladle. Slag particles inclusions and oxide films adhere to surface of the argon micro bubbles and float up into the slag layer at the top. The small size of the argon bubbles gives them a long residence time in the melt and together with the extended floating trajectory means that very effective metal purification is achieved (Fig 3b). The rotation of the melt also effectively homogenizes metal temperature and eliminates critical cold spots at the bottom (Fig 4a). Molten metal in the ladle keeps rotating through its moment of inertia even several minutes after the end of the rotary treatment. The metal temperature stays consistent at any ladle location without cold spots (Fig 4b) and pouring temperature can be significantly reduced compared to conventional practice.



Fig 3a: Very fine Ar bubbles helically dispersed

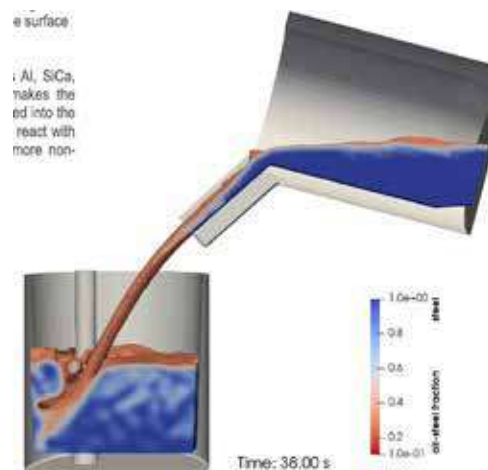


Fig 3b: Effective bifilm and inclusions removal by Ar bubbles

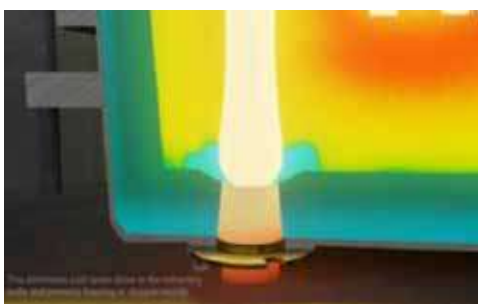


Fig 4a: Cold spots of metal after the tapping



Fig4b: Metal temperature homogenization by ROTOCLENE - Rotary Treatment Process

Our animation showcases all the features and benefits of the ROTOCLENE process, including its ability to clean up molten metal at the ladle and improve casting quality.



Synthetic slag can also be stirred into the molten metal to partially dissolve nonmetallic inclusions and perform deep desulfurization (Table 1) at the neutral or basic lining ladle similarly to a ladle furnace in secondary metallurgy [2]. The stirring action also allows a deeper deoxidation by extruded pure Ca wire to modify alumina inclusions (Fig. 5) to a more

nodular shape more effectively than SiCa [3]. Pure Ca normally reacts too violently with steel and cannot be applied in foundry ladles, however, injecting the Ca into a moving stream dissolves it before it reaches the critical vapour concentration. Pure Ca also does not contribute to premature filter clogging in the way that SiCa typically does.

Test No	Time	C	Mn	Si	P	S	Cr	Mn	Ni	V	Cu	Al	Al soluble
1	12:40	0.67	0.85	0.18	0.016	0.017	0.30	0.20	0.22	0.01	0.05	*0.234	*0.220
2	13:08	0.31	0.16	0.00	0.002	0.012	0.09	0.27	0.20	0.00	0.05	*0.150	*0.143
3	13:45	0.40	0.42	0.42	0.006	0.007	0.89	0.26	0.19	0.01	0.05	0.027	0.023
final	14:37	0.45	0.82	0.52	0.008	0.002	1.13	0.26	0.19	0.01	0.05	0.033	0.031

Test No 3 – EAF before tapping → 1% of synthetic slag SULFAMIN 70 into the pouring ladle within tapping
 Test No 4 – Taken from the ladle after ROTOCLENE treatment at the end of pouring process. Sulfur level reduced from 70 to 20ppm.

Table 1: Desulfurization at the ladle by synthetic slag within ROTOCLENE treatment

Metal solidification is very complex process of transformation from liquid phase to solid involving the formation of dendrites and segregation of low solubility elements at the grain boundaries. Atoms are converted from liquid disordered phase to solid ordered phase releasing significant latent heat being accompanied by volumetric shrinkage. [4, 5, 6]. The liquidus point can be identified reliably by the initial chemical composition of the cast metal while the solidus point is varied by the actual metal composition being continuously saturated by segregating elements. The temperature of the liquidus at any casting part is identical.

However, the solidus temperature in thin sections of the same casting is higher than solidus temperature in thick sections. Extended solidification time in the thick casting sections allows dendrites to develop more and segregation at their grain boundaries changes their chemical composition due to the higher concentrations. This phenomenon results in the solidification range being narrower in thin sections and wider in thicker ones within the same casting. Solidification time highly influences the structure and therefore the final mechanical properties of steel castings. Longer solidification times allow dendrites to grow bigger and inter-dendritic segregation is higher (Fig 6, 7a, 7b, 7c, 8) [7, 8].

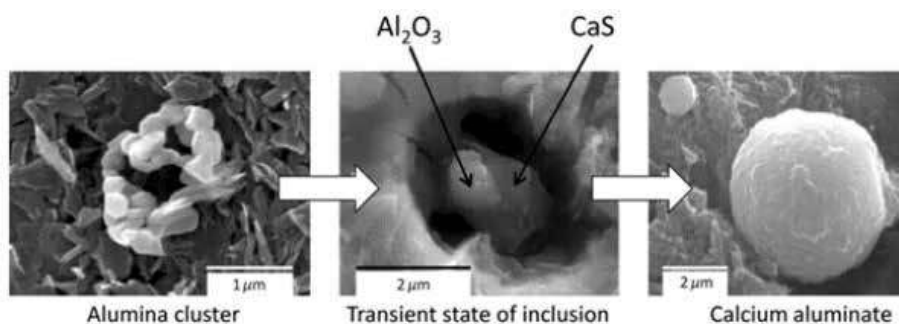


Fig 3b: Alumina inclusion modification by Ca to globular shape less harmful to low temperature notch toughness test and fatigue performance

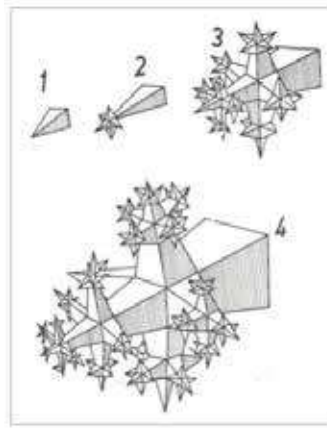


Fig 6: Dendritic growth from primary, secondary, tertiary to quaternary dimensions according to solidification time by Robert Wlodawer [7]

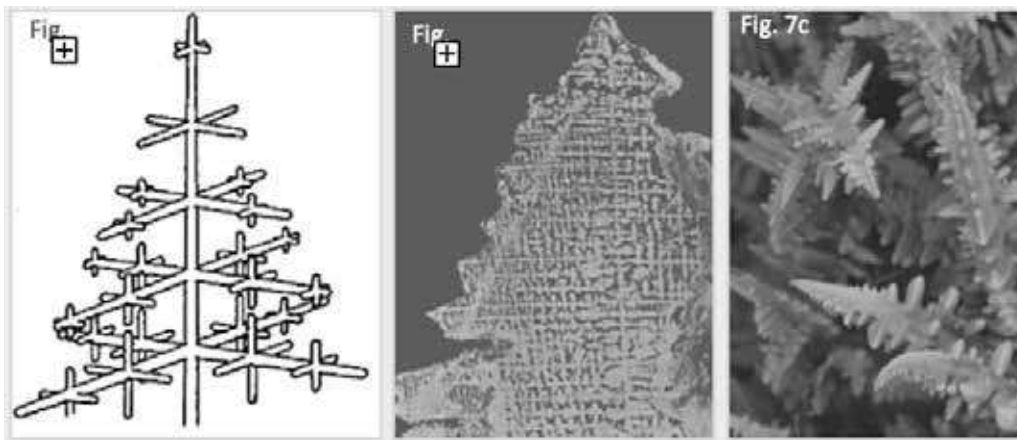


Fig 7a: Model of dendrite structure with primary, secondary, and tertiary axis [5]

Fig 7b: Section through the structure of steel dendrite [6]

Fig 7c: Dendrites growth at the shrinkage [6]

This impacts mechanical properties negatively. Solidification time depends on many parameters but most importantly on cast section modulus and pouring temperature. Modulus is mainly defined by castings geometry while pouring temperature depends on foundry practice. Superheat (the difference from pouring temperature to temperature of the liquidus) is applied to ensure the casting cavity is filled up before solidification starts. The mold absorbs superheat energy from the liquid steel and is heated up before molten metal temperature drops below the liquidus to start the solidification process. Higher pouring temperature leads to more energy absorption by the mold before solidification starts and lowers the capacity for the mold to absorb heat from the solidifying casting. (Fig. 9)

To maximise the reduction of pouring temperature and casting solidification time, the molten metal in the ladle is stirred by powerful ceramic rotor This prevents the embryonic crystals nucleating in the melt from agglomerating and limits the growth of dendrites and segregation when the temperature falls below the liquidus. Latent heat released by solid phase formation slows down metal cooling in the ladle and provides sufficient time to heat up the stopper, nozzle, and lining of the ladle very close to the molten metal temperature.

The requirement to superheat the steel for casting is eliminated and the ultralow pouring temperature, already in the range between liquidus and solidus, ensures that heat energy can be absorbed quickly by cold molds. This leads to immediate solidification achieving a very fine grain size and minimal segregation at the grain boundaries. Metal cast at an ultralow pouring temper-

ature must be protected effectively from reoxidation and air entrainment ideally by a ceramic shroud. Semi-liquid metal is still sufficiently fluid to fill up the mold cavity but pouring time must be very short to avoid cold shuts and misrun defects. Oxide films and entrained air bubbles are not able to float up to the casting surface through semi liquid steel. It may not be possible to produce every casting at ultralow pouring temperature but massive, thick-walled castings which benefit from fast solidification process are exceptionally well suited to this technology. The limit to how far below the liquidus the molten metal stays fluid enough to be cast by gravity is determined by the chemical composition of the steel being cast. Carbon and high strength low alloy steels having a narrow solidification range and high heat conductivity are more sensitive to ultra-low pouring temperature than medium and high alloy steel having solidification ranges that are much wider and heat conductivity that is lower. The feasibility of casting at ultra-low pouring temperature will need to be considered based on the casting size and shape, and individual foundry experience.

Nevertheless any superheat reduction reduces primary grain size and segregation and consequently improves mechanical properties. Casting defects detected by ultrasonic, X-ray or magnetic particle inspection (MPI) are significantly reduced and castings achieve the higher grades of quality acceptance demanded by final customers.

More than one thousand steel melts in range from 3 to 20 tons have already been treated by the ROTOCLENE process. Overall casting results show significant improvement in terms of casting surface, internal homogeneity and metal cleanliness followed by higher mechanical properties compared to conventional technology. (Table 2. Fig 10a & 10b)

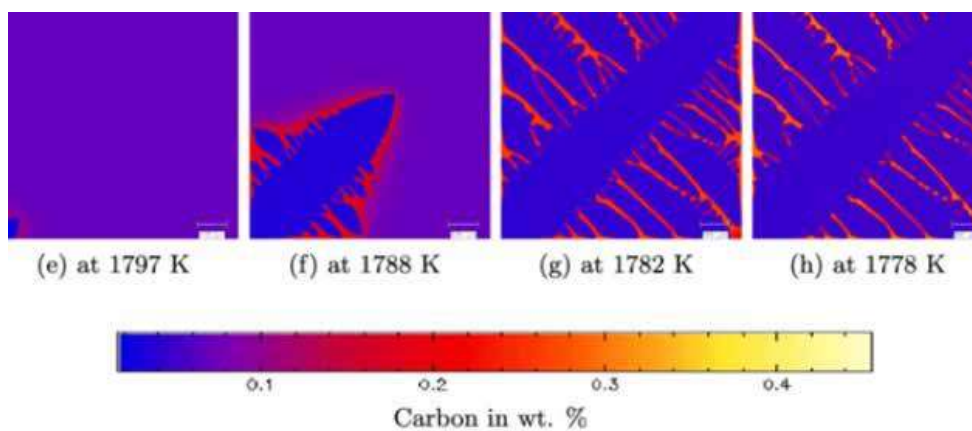


Fig 8: Dendrite's growth and inter-dendritic segregation of carbon model [9]

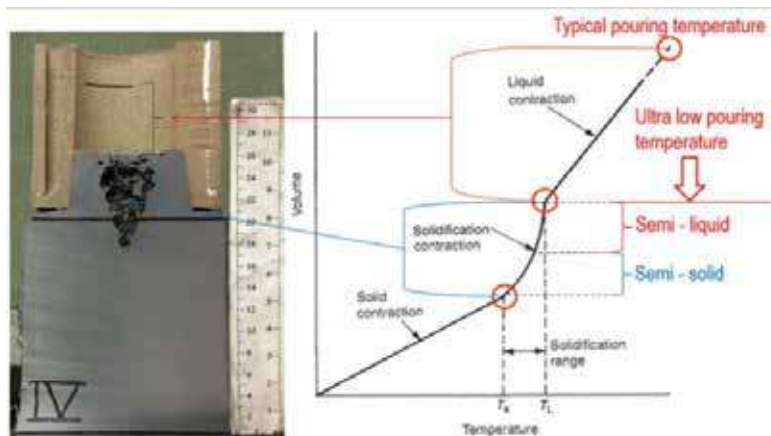


Fig 9: Extended solidification time by superheating steel over the temperature of liquidus. Volumetric contraction starts from pouring temperature, but shrinkage cavity cannot be formed until temperature drops under the liquidus and solidification process starts

	047 - Metal treated by Purging Plug at the ladle	092 - Metal treated by ROTOCLENE
Total Area Analyzed (mm ²)	116.64	116.64
Total Number of Classified Features	4709	2142
Total Area Analyzed Features without unclassified (micrometer ²)	49576	34942
Si>70	143	81
Al>70	208	107
70>Al>50	407	298
Mn>25 and S>10	2373	1426
Mg>25	1	0
Ca>50	2	7
50>Ca>10	1471	141

Table 2: Inclusion's removal and metal cleanliness comparison ROTOCLENE versus Purging Plug process. (Samples taken from the test)



Fig 10a: PP treatment 20' metallography

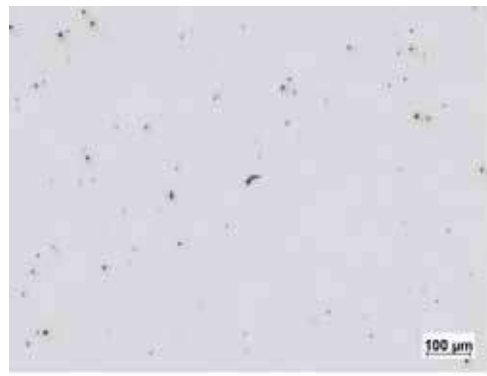


Fig 10b: ROTOCLENE treatment 7'

Molten metal exposed to atmospheric oxygen forms oxide films at any time. (Fig. 11a & 11b). Super clean and temperature homogenous metal in the pouring ladle contaminated during the pouring process may still contribute to casting defects [9, 10, 11]. The HOLLOTEX* Shroud is highly recommended to protect cast steel from air entrainment and metal re-oxidation within the casting process, especially in combination with molten metal treated by ROTOCLENE in the pouring ladle.

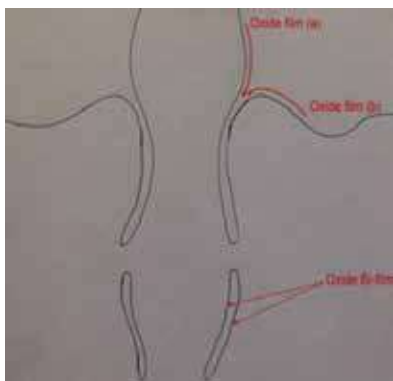


Fig 11a: Air entrainment and bifilm formation
Fig. 11b: Air entrainment within principal pouring process

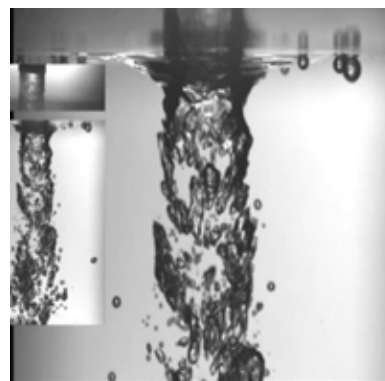


Fig 11b: Air entrainment within principal pouring process

CASE STUDY: PISTON

This thick piston casting from carbon steel (GS-70) was produced regularly last 10 years and never passed inspection without excessive welding. It's shape is apparently simple (Fig. 12a) but solidification time of about 15 hours (Fig. 12b) leads to excessive dendrite growth and severe segregation complicates feeding within the last solidification stage.



Fig 12a: Shot blasted casting

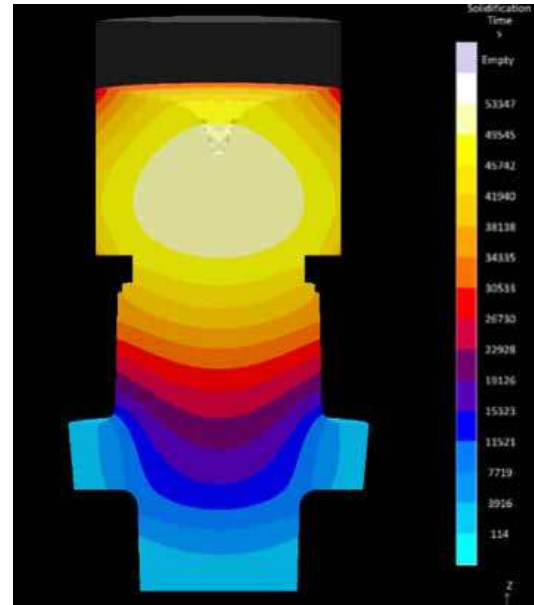


Fig 12b: Magma simulation of solidification time

Primary shrinkage has never been present, but ultrasonic echo was always lost within inspection of the bottom hub and upper part under the riser. Repeated heat treatment has been applied to try to refine the grain size and allow ultrasonic inspection but unsuccessfully. Defective parts from the drag (Fig. 13a) and under the riser (Fig. 13b) were machined out by carousel to a depth of 135mm until porosity detected by penetration was removed. Excavated diameter was 300mm in the drag and 400mm under the riser. Porosity detected by penetration test was finally much bigger than identified by ultrasonic test. Additional annealing heat treatment had to be applied after the welding.



Fig 13a: Porosity in bottom hub



Fig 13b: Porosity under the riser

The ROTOCLENE process has been applied to clean up the molten metal and reduce pouring temperature to liquidus level. 7400 kg of steel from EAF was treated in an 8,5 ton capacity ladle for 32 minutes until the temperature dropped to 1495°C, then the ladle was transferred to the molding shop for pouring which took 7 minutes from the end of rotary treatment. Pouring temperature was 1480°C which was calculated as the liquidus temperature of this melt. Casting was through the HOLLLOTEX Shroud to protect cast steel from reoxidation air entrainment and bifilm formation. The mold was filled within 44 seconds. Cast weight was 6400 kg and weight of the casting 3700 kg. There was no trace of molten metal freezing in the ladle. This casting passed ultrasonic inspection successfully without welding (Fig 15).

Operation of the ROTOCLENE process even under the liquidus temperature has been tried for other castings. The challenge is to measure metal temperature when it drops under 1500°C. Thermo probes for steel suffer from slag freezing on the metallic cup protecting the thermocouple and mostly does not record the temperature. Metal was treated until the temperature dropped under 1480°C before casting. There was some residual metal frozen in the ladle bottom but this could be cleaned up by oxygen lance when the ladle was emptied. One mold from the ladle can be cast from such ultra low pouring temperature significantly under the liquidus, but the casting must be thick and not sensitive to cold shuts or mis-runs. Pouring of more than one mold from the ladle might be problematic as metal may start to solidify at the nozzle to shroud connection.

SUMMARY

ROTOCLENE – Rotary treatment of molten steel is an innovative technology allowing higher level of metal purification and temperature homogenization at the pouring ladle. Rotating molten steel heats up the ladle lining and stopper avoiding premature metal solidification at the ladle and stopper freezing risk. Treatment can be continued until metal temperature cools down to the desired pouring temperature regardless the metal holding time. Steel may be further desulfurized by synthetic slag stirring and alumina inclusions modified to less harmful globular shape by pure Ca. In combination with HOLLLOTEX Shroud pouring temperature may be significantly reduced and cleaner castings achieved with finer grain size and higher levels of homogeneity.



Fig 14a: Defective part excavated up to 135mm



Fig 14b: Defects on the diameter are still present and needs to be further machined



Fig 15: Sound casting

MAJOR BENEFITS OF THE ROTOCLENE INCLUDE:

- Molten metal temperature homogenization at any ladle position
- Inclusion and bi-film removal with metal purification
- Increased filtration capacity and reduced risk of filter clogging or breakage
- Desulfurization by synthetic slag
- Modification of inclusions by pure Ca
- Reduces risk of stopper freezing at the nozzle
- Pouring temperature reduction
- Reduced defect levels revealed on X-Ray and Magnetic Particle Investigation accepted without repair
- Improvement in mechanical properties

REFERENCES

1. J CAMPBELL. (2015). Complete Casting Handbook: Metal Casting Processes, Metallurgy, Techniques and Design (2nd ed.). Oxford, UK: Elsevier
2. CHAO FAN, ALEXIS GOSA, LIFENG ZHANG, QINGCAI LIU and DAYONG CHEN. The Minerals, Metals & Materials Society (2018) Mathematical Modeling on the Fluid Flow and Desulfurization During KR Hot Metal Treatment
3. N. VERMA, PETRUS C. PISTORIUS, RICHARD J. FRUEHAN, MICHAEL POTTER, MINNA LIND, and SCOTT R. STORY, Transient Inclusion Evolution During Modification of Alumina Inclusions by Calcium in Liquid Steel: The Minerals, Metals & Materials Society and ASM International (2011)
4. UPENDRA KUMAR MOHANTY, HRUSHIKESH SARANGI, Solidification of Metals and Alloys (2020)
5. M. STROUHALOVA, Studium Fazovych Zmen v Oceli Behem Jejicho Tuhnuti – VSB TU Ostrava – Doctor Thesis (2018)
6. E. Munsterova, Obecne Udaje o Fazovych Premenach Behem Tuhnuti, Brno (2005)
7. R. WLODAWER, Directional Solidification of Steel Casting book. (1966)
8. M. Amirthalingam, E. M. van der Aa, C. Kwakernaak, M. J. M. Hermans, I. M. Richardson, Elemental Segregation During Resistance Spot Welding of Boron Containing Advanced High Strength Steels (2015)
9. D. HRABINA, P. FILIP. Foundry Practice 267, ADVANCES IN THE POURING OF STEEL CASTINGS WITH A SHROUDED METAL STREAM (2019)
10. CH. BECKERMANN & S. H. MAJIDI, University of Iowa – Simulation of Air Entrainment during Mold Filling: Comparison with Water Modeling Experiments, Steel Foundries Society of America, Chicago IL, USA 2017
11. K.T.KIGER & J.H.DUNCAN – Air Entrainment Mechanism in Plunging Jets and Breaking Waves (2012)

Alümina Refrakterli Boyaların Çelik Dökümlerde Yüzey Özellikleri Üzerine Etkisinin Araştırılması

Uğur ÜÇÖK*, Sevkan ÜLKER*, Bahadır KIYAK, Özge AKSIN ARTOK*
*Çukurova Kimya Endüstrisi A.Ş. Ar-Ge Merkezi, Manisa/Türkiye

ÖZET

Döküm boya ları döküm hatalarını azaltmak ve hatayı öngörerek oluşmasını engellemek amacıyla kullanılan yardımcı sarf malzemelerden biridir. Boyanın kullanım amaçları arasında, yüzey özelliklerini iyileştirmek, maça gazı tahliyesine yardımcı olmak ve dökümde belirli kusurları önlemek yer almaktadır. Döküm boya ları hem yüksek refrakter karaktere sahip hem de termal genleşme-büzüşme dengesinin uygulandığı yüzey ile uyumlu olması gerekir. Termal özelliklerin yanında, uygulandığı yüzeye iyi tutunması ve örtücülüğünün iyi olması, reolojik özellikleri ve gaz geçirgenliğinin de döküm şartlarına uygun olması, boya uygulamalarında oldukça önemlidir. Son yıllarda hammadde rezervlerinin durumu ve fiyat performans dengesi, özellikle çelik dökümlerde tercih edilen zirkon refrakterli boyalara muadil arayışlarını doğurmuştur. Yapılan bu çalışmada alümina oksit refrakterli kalıp ve maça boyasının çelik dökümlerde yüzey özellikleri ve mikro yapı üzerindeki etkilerinin araştırılarak zirkon refrakterli boyalarla karşılaştırılması yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Döküm boyası, çelik döküm, alümina refrakterli boya, zirkon refrakterli boya, mikro yapı, yüzey özellikleri.

Investigation of the Effect of Alumina Refractory Coatings on the Surface Properties of Steel Castings

ABSTRACT

Refractory coatings are one of the auxiliary foundry materials used to minimize casting defects and even prevent them from occurring by foreseeing the defects. Purposes of coating include improving surface properties, assisting with core gas evacuation, and preventing certain defects in the casting. Refractory coatings must have a high refractory character and their thermal expansion-contraction balance must be compatible with the surface on which they are applied. In addition to the thermal properties, it is very important in coating applications that it has good adhesion capability to the surface and has good covering, rheological properties and gas permeability. Recently in parallel with the status of the reserves, the price-performance balance has led to search for equivalent to zircon based refractory coatings, which are preferred especially in steel castings. In this study, the effects of alumina refractory coating on surface properties and microstructure of steel castings were investigated and compared with zircon based refractory coatings.

Keywords: Refractory coating, steel casting, alumina refractory coating, zirconia refractory coating, microstructure, surface properties.

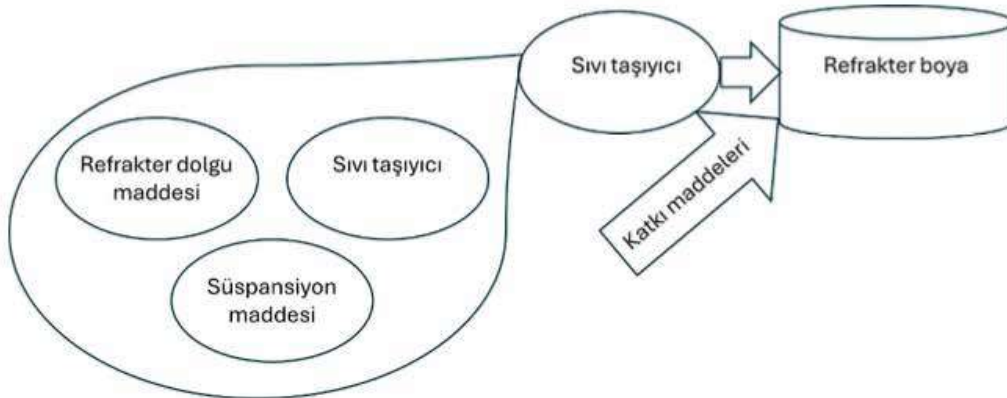
GİRİŞ

Bir kalıbın sıvı metalle doldurulduğunda kalıbın yüzeyi termal, mekanik ve fizikokimyasal etkilere maruz kalır. Metalin oksidasyon ürünleri ile reaksiyona girmesi sonucu kalıp malzemesi, düşük erime noktalı kuvars kumu tanelerini iyi yağlayan silikatlar gibi malzemeleri oluşturur. Bu durum sonucunda metalin tanecikler arası boşluklara nüfuz etmesi ve dökümden çıkarılması zor olan toplayıcı yüzey oluşturarak mekanik dayanımı artırır. Kum kalıpları ve maçaları oldukça gözenekli olduğundan, bu malzemelerde toplanma ve diğer yüzey kusurları olmadan döküm üretimi yalnızca kalıpların ve maçaların yüzeylerinin korunmasıyla mümkündür [1-3].

Dökümlerin yüzey kalitesinin iyileştirilmesinde dökümhane boyaları önemlidir. Kalıp ve maça kaplamasının uygulanmasıyla metal ve kalıp arasında yüksek bir termal bütünlük bariyeri oluşturarak kum sisteminin yaşadığı termal şokun azaltılması sağlanmaktadır. Bu oluşan termal şok, damarlanma/fin hatası, metal penetrasyonu, sinterlenme vb. gibi bir dizi yüzey kusurlarına yol açar.

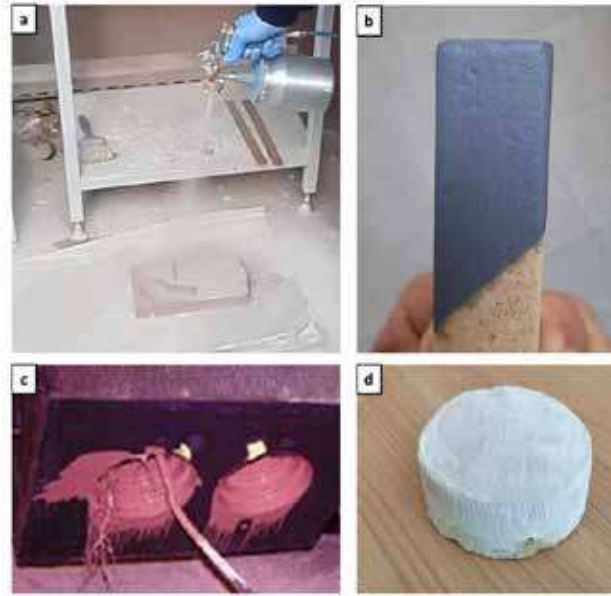
Metal penetrasyonu ve kum emmesi olarak da bilinen sinterlenme hatası, kum içerisindeki metal oksitlerin akışkan özellik göstererek penetrasyonu sonucu oluşan bir yüzey hatasıdır. Bu hatanın birçok nedeni bulunmaktadır. Örnek verecek olursak; yumuşak kalıp ve maça sıklığı, homojen olmayan kalıplama, düşük sinterlenmeye sahip olan kum kullanılması, kum tanelerinin hatalı dağılımı, yetersiz ve hatalı boyamalardır [4]. Refrakter boyaların kullanılması bu kusurların ortaya çıkmasını engellemektedir. Yüksek kaliteli yüzey elde etmenin yolu, büyük ölçüde kum parçacıklarının derecesine bağlı olduğundan, belirli bir kum derecesinin uygun şekilde seçilmesinin gerektiği varsayılabilir. Ancak, gazları tahliye etme yeteneği gibi dikkate alınması gereken başka faktörler de vardır. Döküm boyaları hem yüksek refrakter karaktere sahip hem de termal genişleme-büzüşme dengesinin uygulandığı yüzey ile uyumlu olması gerekir. Termal özelliklerin yanında, uygulandığı yüzeye iyi tutunması ve örtücülüğünün iyi olması (yağlama, çözelti, penetrasyon), reolojik özellikleri ve gaz geçirgenliğinin de döküm şartlarına uygun olması, boya uygulamalarında oldukça önemlidir [5].

Refrakter boyanın kalıp veya maça üzerinde tutunmasını sağlamak için; alt tabakaya iyi yapışma, hava sıkışmasını en aza indirecek şekilde geçirgen olma, hızlı kuruma, kurutma sırasında kabarma, çatlama veya pullanma eğilimi olmaması, iyi süspansiyon ve yeniden karıştırma, metal nüfuzuna karşı yeterli koruma sağlama, depolamada iyi stabilite, iyi kaplama gücü ve seçilen yöntemle iyi uygulama gibi özelliklere sahip olması gerekir. Bu özelliklere sahip olabilmesi için refrakter dolgu maddesi, sıvı taşıyıcı, süspansiyon maddeleri (reoloji kontrol sistemi), bağlayıcı ajanlar ve katkı maddeleri refrakter boyanın yapısında bulunması gerekmektedir. Refrakter boya bileşenlerine Şekil 1'de yer verilmiştir.



Şekil 1: Refrakter boya bileşenleri.

Refrakter boyaların uygulama yöntemlerini; parçanın geometrisi, kaplamanın görünümü ve üretim hızı gibi birçok değişken belirler. Nihai kaplamanın istenen kalınlığı ve parçanın karmaşıklığı, uygulama yöntemi için en iyi çalışma parametrelerini belirleyecektir. Böylece parça sıcaklıkları, daldırma süreleri veya kaplama kalınlığı dikkate alınır. Döküm boyalarında fırçalama, püskürtme, daldırma ve yıkama yöntemleri uygulanmaktadır. Bu yöntemlere Şekil 2'de yer verilmiştir.



Şekil 2: Döküm boyalarında gerçekleştirilen a) püskürtme, b) daldırma, c) yıkama ve d) fırçalama yöntemi.

Farklı refrakter dolgu maddesi kullanarak dökümlerde yüzey kalitesinin iyileştirilmesi üzerine çalışmalar yapılmıştır. Zirkon refrakter dolgu maddesi kullanarak geliştirilen refrakter boyalar çelik döküm yapılan dökümhanelerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Yaklaşık 4,5 g/cm³ yoğunluğa ve su bazlı kaplamada en fazla pH 9 değerine ve 2727 ± 10 °C ergime sıcaklığına sahiptir [6-8]. Alümina oksit refrakter dolgu maddesinin ergime noktası 2077 °C, kaynama noktası 2977 °C olan, 3,96 g/cm³ yoğunlukta ve Mohs sertlik cetvelinde sertliği 9 olan beyaz renkli toz formundaki bu malzeme, yüksek sıcaklık uygulamalarında, kimyasal madde ve mekanik yüklere karşı dayanıklı olmasından dolayı tercih edilen refrakter hammaddelerdendir [9].

Zirkon refrakter dolgu maddesi silikadan daha yüksek yoğunluğu sahip olduğundan metal penetrasyonunu engeller [10]. Zirkon refrakterli boyayla kaplanan maça kullanılarak dökülen düşük ve orta alaşımlı çelik döküm yüzeyinin görüntüsüne Şekil 3'te yer verilmiştir. Döküm sonucunda, zirkon refrakterli boyanın maça yüzeyinde iyi tutunması ve termal özelliklerinden dolayı metalostatik basınca dirençli olması sebebiyle, yüzeyde pürüzlülük yer almamakta ve döküm yüzeyinde metal penetrasyonu hatası görülmemektedir.



Şekil 3: Zirkon refrakterli boyayla kaplanan maça kullanılarak dökülen düşük ve orta alaşımlı çelik döküm yüzeyi.

Son yıllarda hammadde rezervlerinin durumu ve fiyat performans dengesi, özellikle çelik dökümlerde tercih edilen zirkon refrakterli boyalara muadil arayışlarını doğurmuştur. Zirkon refrakterli boyalara alternatif olarak, alümina oksit refrakterli kalıp ve maça boyasının çelik döküm parçalarında döküm denemeleri Manisa Döküm Sanayi ve Ticaret A.Ş. ve Hasteknik Makina Model Döküm Metal San. ve Tic. Ltd. Şti.'de gerçekleştirilmiştir. Yüzey özellikleri ve mikro yapı üzerindeki etkilerinin araştırılması ve zirkon refrakterli boyalarla karşılaştırılması İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Tümlleşik Araştırma Merkezinde gerçekleştirilmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Literatür çalışmalarında zirkon ve alümina oksit refrakterli boya dolgu maddesinin özellikleri hakkında bilgiye yer verilmiştir. Çalışmanın ana amacı, alümina oksit refrakterli kalıp ve maça boyasının çelik dökümlerde yüzey özellikleri ve mikro yapı üzerindeki etkilerinin araştırılarak zirkon refrakterli boyalarla karşılaştırılmasını incelemektir. Deneysel çalışmalar sırasında izlenen yöntemin şematik gösterimi Şekil 4'te belirtilmiştir.



Şekil 4: Deneysel çalışmaların akış diyagramı.

Refrakter dolgu maddelerinin elementel analizi Malvern Panalytical Zetium Spektrometresi (XRF) ile belirlendi. Refrakter boyayla kaplanan maça kullanılarak dökülen düşük ve orta alaşımlı çelik dökümün morfolojik ve yüzey topografya özellikleri (SEM), ikincil ve geri saçılmış elektron modları, enerji dağılımlı x-ışını spektroskopisi (EDX) Zetium Evo MA10 cihazı ile basamak yüksekliklerinin ve yüzey topografyasının profili Bruker Dektak XT ile incelenmiştir. Ayrıca gaz miktarı ölçümü Multiserw PR-45 cihazıyla ve gaz geçirgenliği ölçümü Multiserw LPIR-3e cihazıyla gerçekleştirilmiştir. Döküm parçalarının kesimi Struers Labotom-5 cihazı ile yapılmıştır.

3. BULGULAR

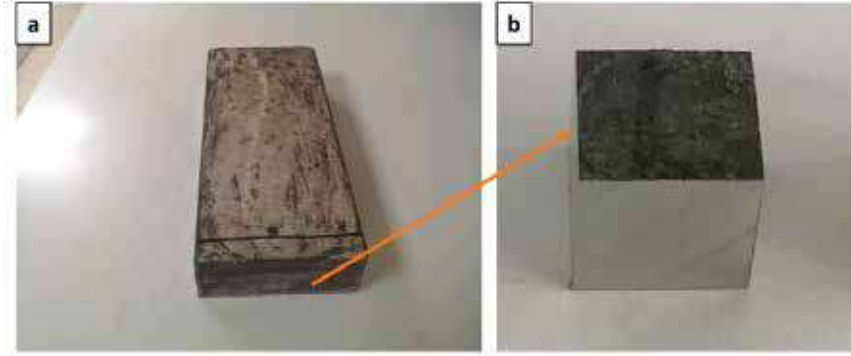
Elementel analiz sonuçlarına göre, zirkon refrakter dolgu maddesinin içerisinde ~ % 65 ZrO₂ ve ~ % 25 SiO₂ yer almaktadır. Alümina oksit refrakter dolgu maddesinin içerisinde ~ % 97 Al₂O₃ yer almaktadır.

Alümina oksit refrakterli boyanın gaz miktarı 28 cm³/g, gaz geçirgenliği 114 m²/108 Pa olmaktadır. Zirkon refrakterli boyanın gaz miktarı 17 cm³/g, gaz geçirgenliği 32 m²/108 Pa olmaktadır.

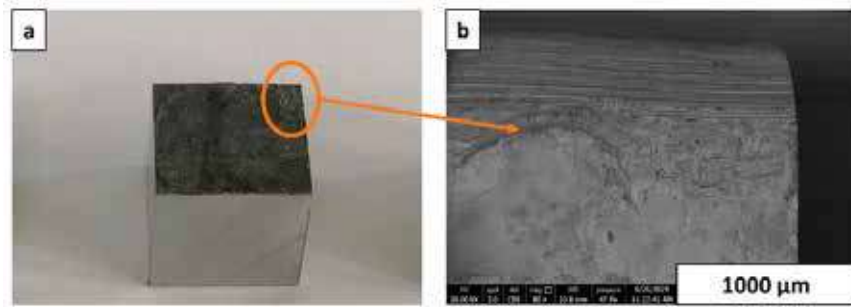
Zirkon refrakterli boyayla kaplanan maça kullanılarak dökülen düşük ve orta alaşımlı çelik döküm parçasının kesit görüntüleri Şekil 5'te gösterilmiştir. Ayrıca, 1.5x1.5 cm boyutunda kesilen test numunesine Şekil 5 (b)'de yer verilmiştir. Kesilen numunenin SEM görüntüsü Şekil 6'da yer almaktadır. SEM görüntüsü 1000 µm büyütmede incelendiğinde, parçada herhangi bir metal penetrasyonu olmadığı görülmüştür. Kesilen parçanın EDX analizi sonuçları Şekil 7'de gösterilmiştir. Dökülen parçada % 35.76 Al ve % 30.48 O elementleri yer almaktadır.

Yapılan bir çalışmada metal penetrasyonu görüldüğünde; döküm yüzeyinin EDX analizi sonuçlarına göre Si elementi oranının yaklaşık % 15 oranında olduğu görülmektedir [11]. Bu yüzden, zirkon refrakterli boyayla kaplanan maça kullanılarak dökülen düşük ve orta alaşımlı çelik döküm parçasının yüzeyinde yüksek oranda Si elementine rastlanmadığından, metal penetrasyonu olmadığı desteklenmektedir.

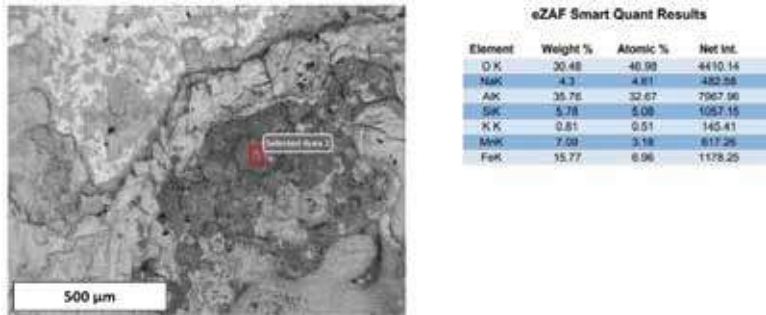
Zirkon refrakterli boyayla kaplanan maça kullanılarak dökülen düşük ve orta alaşımlı çelik döküm parçasının mekanik profilometre analizi sonuçlarına Şekil 8'de yer verilmiştir. Kırmızı ile gösterilen bölgeler ortalama 148 μm yüksekliğine sahip olmakla birlikte, mavi ile gösterilen bölgeler ortalama 200 μm derinliğe sahiptir.



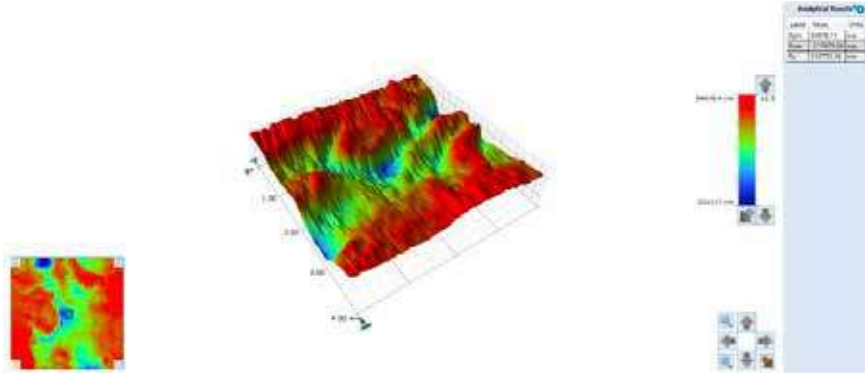
Şekil 9: Zirkon refrakterli boyayla kaplanan maça kullanılarak dökülen düşük ve orta alaşımlı çelik döküm parçasının kesit görüntüleri.



Şekil 10: Zirkon refrakterli boyayla kaplanan maça kullanılarak dökülen düşük ve orta alaşımlı çelik döküm parçasının a) kesit ve b)1000 μm SEM görüntüsü.



Şekil 11: Zirkon refrakterli boyayla kaplanan maça kullanılarak dökülen düşük ve orta alaşımlı çelik döküm parçasının EDX analizi.



Şekil 12: Alümina oksit refrakterli boyayla kaplanan maça kullanılarak dökülen düşük ve orta alaşımlı çelik döküm parçasının mekanik profilometre analizi.

Yapılan bu çalışmada alümina oksit refrakterli kalıp ve maça boyasının çelik dökümlerde yüzey özellikleri ve mikro yapı üzerindeki etkilerinin araştırılarak zirkon refrakterli boyalarla karşılaştırılması yapılmıştır. Alümina oksit refrakter dolgu maddesinin kalın tane boyutuna sahip olmasından dolayı, alümina oksit refrakterli boyanın gaz geçirgenliği yüksek gelmektedir. Bu nedenle, döküm esnasında oluşabilecek gaz hatalarının azalmasında etkin rol oynadığı düşünülmektedir. Zirkon ve alümina oksit refrakter boyayla kaplanan maça kullanılarak dökülen düşük ve orta alaşımlı çelik döküm parçasının SEM, EDX ve mekanikprofilometre analizlerine göre, her iki parçada da herhangi bir metal penetrasyonu hatası olmadığı görülmektedir.

Yapılan çalışmada alümina oksit refrakterli boyaların 1 tona kadar dökülen parçalarda zirkon refrakterli boyalara alternatif olarak kullanılabilmesi gösterilmiştir. Çalışmalar daha büyük döküm parçalarında devam edecektir.

4. KAYNAKÇA

- 1) I. D. Kascheev, N. Yu. Novozhilov, E. V. Tsarevskii, V. A. Perepelitsyn, V. A. Ryabin and N. F. Seliverstov, "Refractory Coatings for Foundry Moulds and Cores," Journal of Refractories and Ceramics, Vol. 23, 1982, pp. 36-139.
- 2) U. C Nwaogu, N. S Tiedje, "Moulding Methods and Materials," The American Foundrymen's Society, 1st Edition, 1962.
- 3) S. D. Chastain, "A Sand Casting Manual for the Small Foundry, Jacksonville Publishers, Florida, Vol. 1, 2004.
- 4) K. Doug, "Döküm Hataları Atlası" , New York, 1974, American Foundry Society.
- 5) T. A. Burns, "The Foseco Foundryman's Handbook," Pergamon Press, Staffordshire, 1986.
- 6) J. Hlavac, "Melting Temperatures of Refractory Oxides", Pure and Applied Chemistry, Vol. 54, No. 3, 1982, pp. 681-688.
- 7) C. E. Houssa, "Minerals in Plastics," Bulletin de la Societe Royale des sciences de liege, Vol. 72, 2003, pp. 71-80.
- 8) J. R. Brown, "The Foseco Foundryman's Handbook", Pergamon Press, Oxford, 2000.
- 9) U.Uğur, "Al₂O₃ ve ZrO₂ katkılı silisyum karbürün sinterlenme davranışlarının incelenmesi ve karakterizasyonu" , Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilecik, 2022.
- 10) P. L. Jain, "Principle of Foundry Technology," 4th Edition, McGraw-Hill, New Delhi, 2006.
- 11) J.O. Barlow, D.M. Stefanescu, A.M. Lane, W.C. Schreiber, M. Owens, and T.S. Piwonka, "Metal Penetration In Sand Molds For Steel Castings" , U. S. Department of Energy, Washington, D.C, 1996.

Çelik Deoksidasyonunda Optimum Deoksidant Turunun ve İlave Miktarlarının Belirlenmesi

**Ferhat TÖLÜCE* , Buğra ERBAKAN ** , Alper YOLOĞLU ** , Serdar KESİM ** ,
M.Murat ZOR ** , Vedat UZ ****

***Heraeus Electro-Nite Termoteknik A.Ş. , Sincan, Türkiye**

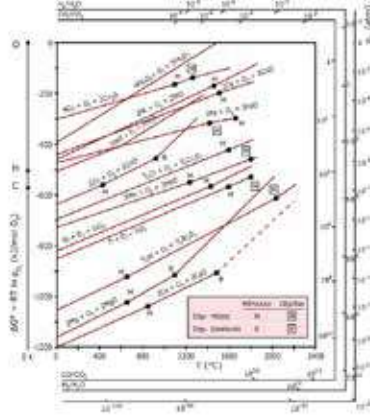
****ÇİMSATAŞ Çukurova İş Makinaları SAN. TİCARET. AŞ. , Mersin, Türkiye**

ÖZET

Sıvı çelikteki aktif oksijen seviyesi, çelik dökümünün kalitesi için önemli bir faktördür. Bu sebeple eritme işleminden sonra sıvı çelikte deoksidasyon işlemi gerçekleştirilir. Günümüzde çelikhanelerde ve çelik dökümhanelerinde, bu amaca yönelik olarak genellikle metalik alüminyum alaşımları kullanılmaktadır. Son yıllarda literatürdeki alternatif deoksidant çalışmalarında maliyet avantajı sağlaması ile alüminyum cürufu ön plana çıkmaktadır (1). Bu çalışmada metalik alüminyum ile alüminyum cürufunun etkinlikleri incelenmiş, indüksiyon ocağı için optimum ilave miktarları belirlenmiş ve deoksidasyon prosesinin başarısı yapılan ölçümler ve tetkiklerle doğrulanmıştır.

Giriş

Çelik deoksidasyonunu sağlamak için oksijen afinitesi, çeliğin temel alaşım elemanlarından daha yüksek olan bir metal seçmek gerekmektedir. Bu amaçla metal oksitlerin termodinamik kararlılığını belirlemek için Ellingham diyagramı kullanılır (Şekil 1).



Şekil 1: Ellingham diyagramı

Bu diyagramdan da görülebileceği gibi bu amaçla kullanılacak en iyi elementler kalsiyum, magnezyum, alüminyum ve titanyumdur. Ca, Mg ve Ti maliyetleri çok yüksek olduğundan pratikte genellikle Al tercih edilir. Ancak alüminyum da ucuz bir kaynak değildir ve otomotiv ve havacılık gibi sektörlerde kullanımının her geçen gün artmasıyla değeri yükselme eğilimindedir. Bu amaçla kullanılacak alüminyumun en ekonomik formu araştırıldığında, alüminyum döküm fabrikalarının atığı olan alüminyum cürufları iyi bir alternatif olarak ön plana çıkmıştır [1,2,3].

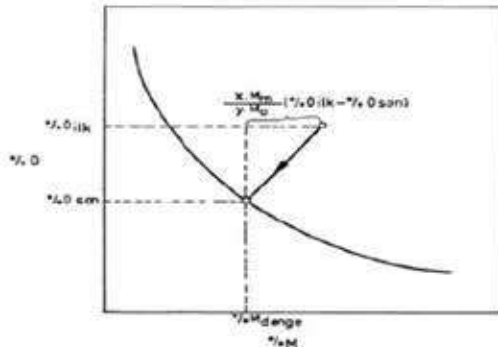
DeneySEL Yöntem

Bu çalışma kapsamında bir alüminyum döküm firmasından (Döktaş Dökümcülük) alüminyum cürufu ve uluslararası bir teknoloji tedarikçisinden (Heraeus Electro-Nite) aktif oksijen ölçüm ekipmanı (Celox-Lab E) temin edilmiştir (Şekil 2).

Çalışmalar sırasında öncelikle standart deoksidasyon prosesinin verimliliği incelemek maksadı ile Celox-Lab E cihazı ile ölçümler yapılmıştır. Teorik deoksidant gerekliliği ile pratik ölçümler kıyaslanarak mevcut prosesin verimliliği tespit edilmiş ve gerekli ilave miktarları belirlenmiştir.

$$Eklenen M(verimi) = (\%M)_{denge} + \frac{x \cdot M_M}{y \cdot M_O} (\%O(ilk) - \%O(hedef))$$

Eşitlik 1



Şekil 3: Eklenen deoksidant malzeme oranına göre yapıdaki aktif oksijenin değişim grafiği.

Eşitlik 1'deki;

M: Metal (Bu çalışmada alüminyum)

(%M) denge: Metalde çözülmüş olarak yapıya karışacak metal miktarı

MM: Eklenen metalin atom ağırlığı

MO: Oksijenin atom ağırlığı

%O(ilk) : İlk durumda çözülmüş oksijen (ppm)

%O(hedef) : Son durumda max. çözülmüş oksijen hedefi (ppm)

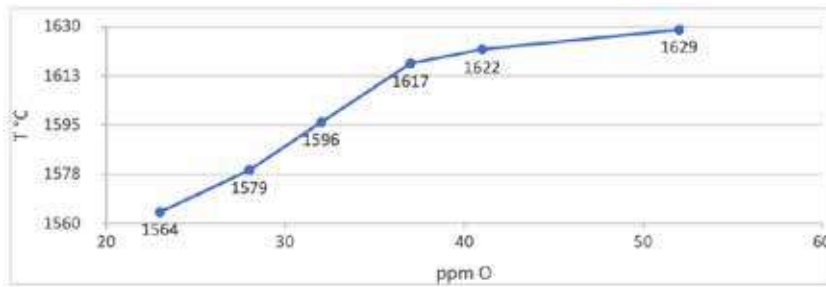
Deneysel Çalışmalar Ve Bulgular

Çalışmaların gerçekleştirildiği döküm fabrikasında indüksiyon ocağı kullanılmakta olup ergitme işlemini hızlandıracak herhangi bir kimyasal proses (oksijen üfleme vb.) kullanılmamaktadır. Mevcut ergitme prosesinde oksijen seviyesi artış eğilimini belirlemek amacıyla proseste herhangi bir değişiklik yapılmadan düzenli aralıklarla aktif oksijen seviyesi ve sıcaklık kontrolleri yapılmıştır (Şekil 4).



Şekil 4: İndüksiyon fırınlarında sıcaklık ve oksijen seviyesi ölçümleri

Yapılan ölçümler sonucunda beklendiği gibi sıvı çelikteki çözülmüş oksijenin zamanla artış eğiliminde olduğu görülmüştür (Şekil 5).



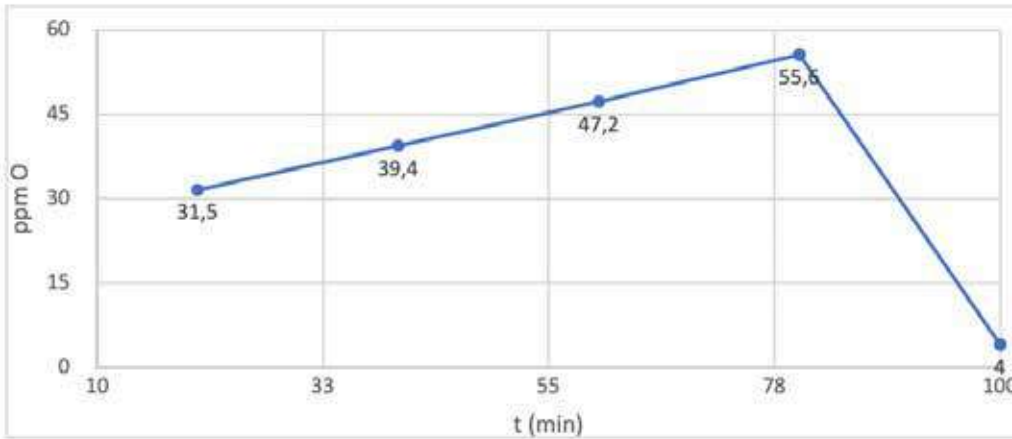
Şekil 5: Eritme işlemi sırasında aktif oksijen seviyesinin değişimi.

Proses süresince aktif oksijen seviyesindeki değişim belirlendikten sonra aynı ocakta, aynı ergitme prosesinde 3 farklı deoksidant uygulaması 3 ayrı ve özdeş pota ile yapılmıştır. Ergitmenin son aşamasında sıvı metal potaya aktarılırken deoksidant uygulaması yapıldığından tüm çalışmalar aynı ergitme işleminde gerçekleştirilmiş olup, deoksidasyon dışında diğer tüm parametrelerin tamamen aynı olması sağlanmıştır.

Literatürdeki kaynaklarda deoksidasyonun 20 ppm oksijen seviyesine kadar oldukça hızlı, 20 ppm seviyesinin altında ise daha yavaş gerçekleştiği belirtilmektedir [4,5]. Bu bilgilere göre alüminyum

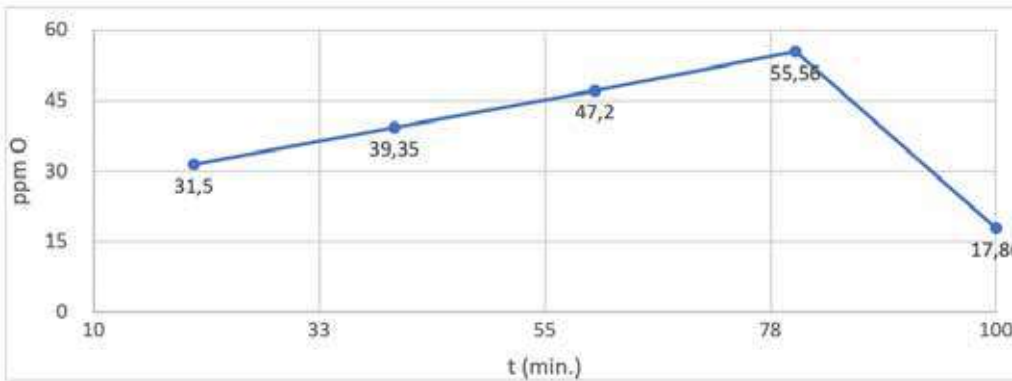
ilavesinden hemen sonra yapılan aktif oksijen ölçümlerinde oksijen seviyesi 20 ppm'in altında ölçülürse deoksidasyon başarılı olarak kabul edilecektir.

İlk olarak mevcut prosteki hali ile potaya akış sırasında 600 ppm alüminyum ilavesi yapılarak deoksidasyon öncesi ve sonrası oksijen seviyeleri Celox Lab-E ile belirlenmiş ve sonuçlar teorik hesaplamalar için kaydedilmiştir. Bu deneyden elde edilen bulgular, halihazırda uygulanan deoksidasyon işleminin yeterli olduğunu, hatta oksijen düşüşünün çok hızlı olması ve kalıntı alüminyumun fazla olması nedeni ile kullanılan Al miktarının gereğinden fazla olabileceğini göstermektedir (Şekil 6).



Şekil 6: Al ile deoksidasyon sonrasında 1. potadaki oksijen seviyesi değişimi

1 numaralı eşitlik ve alüminyum verimine göre yapılan hesaplamalar sonucunda ikinci potaya 500 ppm alüminyum ilave edilmesine karar verilmiş ve oksijen seviyesi tekrar ölçülmüştür (Şekil 7).



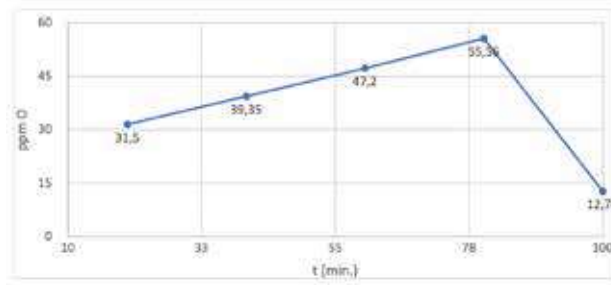
Şekil 7: Al ile deoksidasyon sonrasında 2. potadaki oksijen seviyesi değişimi

İkinci potada yapılan 500 ppm Al ilavesi ile de 20 ppm değerinin altına düşülmüş ve katılan çelikte yapılan spektral analizde kalıntı Al tespit edilmiştir (Şekil 8). Kalıntı Al oranı 600 ppm verilen bir önceki potaya göre daha azdır. Spektral analizde alüminyum görmek deoksidasyon işleminin başarısını doğrular ancak kalıntı alüminyum katılmasından önce azot ile birleşerek alüminyum nitrür gevrekliğine neden olabileceğinden istenmez. Bu neden ile 500 ppm Al ilavesi daha güvenilir bulunmuştur.



Şekil 8: pota için optik emisyon spektrometre sonuçları .

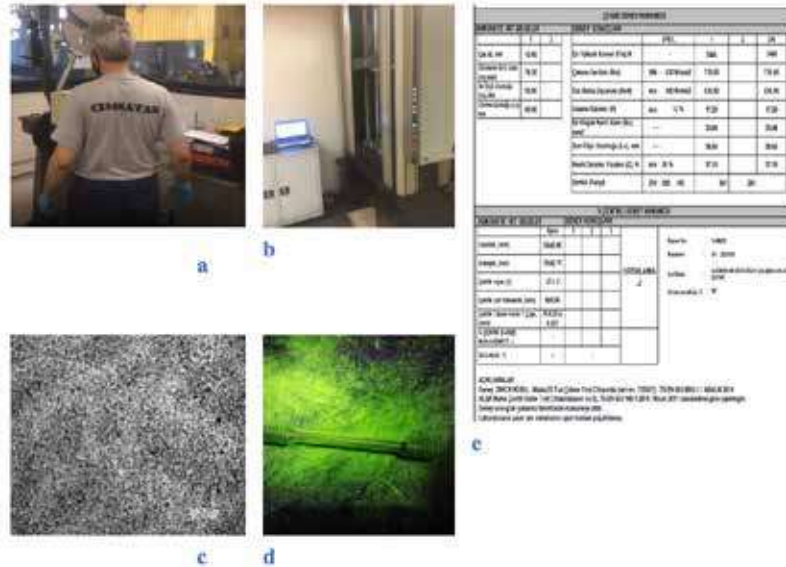
Tespit edilen optimum metalik alüminyum ilave oranına göre cüruf tenörü de (%50) dikkate alınarak ilave edilmesi gereken optimum alüminyum cüruf miktarı tespit edilmiştir. Alüminyum cürufunun deoksidasyon başarısını değerlendirmek amacıyla 3. potada metalik alüminyum yerine eşdeğer miktarda alüminyum cürufu kullanılarak deoksidasyon gerçekleştirilmiştir.



Şekil 9: Al cürufu ile deoksidasyon sonrasında 3. potadaki oksijen seviyesi değişimi

500 ppm metalik alüminyum eşdeğeri cüruf ilave edilmiş ve oksijen seviyesinin 12,74'e düştüğü gözlenmiştir.

Çalışmalar sonrasında tüm numunelerde tahribatlı ve tahribatsız muayeneler ve metalografik incelemeler yapılmış olup, üretimi gerçekleştirilen numunelerde herhangi bir olumsuzlukla karşılaşmamıştır (Şekil 10).



Şekil 10: a- Charpy Darbe Testi, b-Çekilme teç,t c-mikroyapı, d-Floresan Manyetik Parçacık Muayenesi, e-Mekanik Test Sonuçları

Sonuçlar

Yapılan ölçümler sonucunda sıvı metaldeki oksijenin proses ilerledikçe arttığı görülmektedir. Bu durum oksijen çözünürlüğünün sıcaklık arttıkça arttığını ve çözülmüş oksijenin zamanla artacağına dair literatürdeki bilgileri doğrular niteliktedir. Literatürde sıvı çeliğin deoksidasyonu için çok fazla kaynak mevcuttur ancak bu kaynaklarda önerilen ilave miktarları ve/veya bağıntılar kullanılan deoksidantın türüne, tenörüne, ocak cinsine, deoksidasyonun nasıl yapıldığına, iklime vb. firma içi pek çok değişkene bağlıdır. Dolayısı ile işletme şartlarına göre değişiklikler olabilmektedir. Teorik yaklaşımla başlayıp deneysel olarak optimum ilave miktarını bulmayı amaçladığımız bu çalışmada indüksiyon ocağı ile eritilen 1 ton 14NiCrMo 10-6 malzeme için 500 ppm alüminyum ilavesi ile en iyi sonuç alınmıştır.

Alternatif bir deoksidant olarak seçilen alüminyum cürufu ile yapılan denemeler sonucunda ise yine başarılı bir deoksidasyon yapılmış. 500 ppm metalik alüminyum ile yapılan denemede oksijen seviyesi 17.86 değerine kadar düşerken, eşdeğer miktarda alüminyum cürufu ile yapılan denemede oksijen seviyesi 4 'e kadar düşmüştür. Buradan hareketle alüminyum cürufunun deoksidasyon açısından eşdeğer miktarda kullanılan metalik alüminyuma göre daha başarılı olduğu söylenebilir. Bu durumun nedeni alüminyum cürufu içerisindeki metalik alüminyumun yüzey alanının metalik alüminyum barlara göre daha yüksek olmasıdır. Yapılan metalografik, tahribatlı ve tahribatsız incelemeler sonucunda alüminyum cürufu içerisindeki eser miktardaki inklüzyonların (stronsiyum, titanyum, silisyum, magnezyum ve oksitleri) döküm parça özelliklerine herhangi bir olumsuz etkisinin olmadığı gözlenmiştir.

Teşekkür

Çalışmada emeği geçen Çimsataş, Heraeus Electro-Nite ve Döktaş ailelerinin değerli personellerine teşekkür ederiz.

Referanslar

- 1.Hasirci, H. (2020). Çelik dökümde alternatif gaz giderme malzemesi olarak alüminyum cürufu kullanımının incelenmesi.Politeknik Dergisi,23(3), 641-647.
- 2.Huh, W. W., & Jung, W. G. (1996). Effect of slag composition on reoxidation of aluminum killed steel.ISIJ international,36(9), 136-139.
- 3.Aydemir, O. (2007).Use of aluminium dross for slag treatment in secondary steelmaking to decrease amount of reducible oxides in ladle furnace(Master's thesis, Middle East Technical University).
- 4.Silva, A. C. E. (2018). Non-metallic inclusions in steels-origin and control.J. Mater. Res. Technol,7(3), 283-299.
- 5.Turkdogan, E. T. (1999). Rationale on composition of slags in oxygen steelmaking processes. Ironmaking & steelmaking,26(5), 358-362.
- 6.Turkdogan, E. T. (1996). Fundamentals of steelmaking, the institute of materials.London,656, 96.
- 7.Conejo, A. N., & Hernandez, D. E. (2005). Analysis of Aluminum Deoxidation Practice in the Ladle Furnace. InAISTech 2005 Volumes I & II and ICS 2005 Conference Proceedings; Volume I(pp. 947-957).
- 8.Aydemir, O. (2007).Use of aluminium dross for slag treatment in secondary steelmaking to decrease amount of reducible oxides in ladle furnace(Master's thesis, Middle East Technical University).
- 9.Tuluçe, F., Erbakan, B., Yoloğlu, A., Zor, M. M., Kesim, S., & Uz, V. (2022). Determination of the optimum deoxidant addition in steelmaking process and the investigation of an alternative deoxidant material.Advanced Engineering Days (AED),5, 29-32

Hadfield Çeliklerine Uygulanan Farklı Çökeltme Sertleşmesi Sıcaklıklarının Mikro Yapı ve Mekanik Özelliklere Olan Etkisinin İncelenmesi

Faruk ÖZTÜRK*, İsmail KANKAL**, Mehmet UYSAL**, Uğur GÜROL***

* Silvan Sanayi A.Ş., Kocaeli / Türkiye

** Sakarya Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Sakarya / Türkiye

*** Foseco TR, Kocaeli / Türkiye

ÖZET

Yüksek manganlı çelikler yüksek mukavemet, yüksek tokluk ve yüksek çalışma sertleşmesi gibi özellikleri sebebi ile hafriyat, petrokimya, demiryolu, çimento ve madencilik gibi sektörlerde sıklıkla kullanılmaktadır. Yüksek manganlı çelikler genel olarak 1:10 oranında karbon ve mangan içerirler. Hadfield çelikleri olarak da adlandırılan bu çeliklerin çeşitli alaşım elementlerinin ilavesi veya ısıtma işlemi çalışmaları ile mekanik özelliklerin iyileştirilmesi, özellikle akma mukavemetinin artırılması hedeflenmektedir. Bu çalışma kapsamında özellikle düşük yükler altında çalışan yüksek manganlı çeliklerin, çözelti tavlama işlemi sonrasında çökeltme sertleşmesi ısıtma işlemine tabii tutulması ve oluşacak karbür fazları ile mekanik özelliklerindeki değişimin incelenmesi amaçlanmıştır. Kum kalıba döküm yöntemi ile toplamda 15 adet 35x52x250 mm ebatlarında numune bloğu üretilmiştir. Numunelere ilk etapta çözeltiye alma ısıtma işlemi, daha sonrasında ise üç farklı sıcaklıkta çökeltme sertleşmesi (450°C, 550°C ve 650°C'de) ısıtma işlemi uygulanmıştır. Seçilen çökeltme sertleşmesi sıcaklıklarının manganlı çeliğin mikro yapı ve mekanik özelliklerine olan etkisi incelenmiş; farklı sıcaklıklarda yapılan ısıtma işlemlerinin neticesinde manganlı çelikte karbür çökeltme miktarına bağlı olarak tokluk değerinin düştüğü, sertlik değerinin ise artış gösterdiği tespit edilmiştir.

ABSTRACT

High manganese steels are frequently used in earthmoving, petrochemical, railway, cement and mining industries due to their high strength, high toughness and high work hardening properties. High manganese steels generally contain carbon and manganese in a ratio of 1:10. It is aimed to improve the mechanical properties of these steels, also called Hadfield steels, by the addition of various alloying elements or heat treatment studies, especially to increase the yield strength. Within the scope of this study, it is aimed to subject high manganese steels working under low loads to precipitation hardening heat treatment after solution annealing heat treatment and to investigate the changes in carbide phases and mechanical properties. A total of 15 specimen blocks with dimensions of 35x52x250 mm were produced by sand mold casting method. The specimens were first subjected to solution heat treatment and then to precipitation hardening heat treatment at three different temperatures (450°C, 550°C and 650°C). The effect of the selected precipitation hardening temperatures on the microstructure and mechanical properties of manganese steel was investigated; as a result of heat treatments at different temperatures, it was determined that the toughness value decreased and the hardness value increased depending on the amount of carbide precipitation in manganese steel.

Keywords: Manganese Steels, Heat Treatment, Mechanical Properties, Hardening

1. GİRİŞ

Hadfield çelikleri genel kullanımda %11-14 Mn ve %1,1-1,4 C içeriğine sahip olup, yüksek mukavemet ve yüksek tokluk özellikleri sebebi ile sanayi uygulamalarında yoğun olarak kullanılmaktadırlar. Bu çeliklerin kullanım alanlarının seçiminde en belirleyici özellikleri; sertlik, tokluk ve aşınma kabiliyetleridir. Özellikle darbeli yükler altında soğuk şekil değiştirme özelliği geliştirerek yüzeylerinde önemli ölçüde sertlik artışı görülür. Bu sayede, darbeli yükler altında yüksek tokluk değerlerine sahip ve yüzeyi soğuk şekil değiştirme etkisi ile aşınmaya dirençli, sert bir tabaka oluşturarak çalışırlar. [1].

Yanı sıra bu çeliklerin en büyük dezavantajı düşük akma dayanımı göstermeleridir. Çünkü düşük akma mukavemeti parçaların henüz çalışma sertleşmesi oluşmadan deformasyona uğramasına ve bu sebeple kullanılamaz hale gelmesine veya kırılmasına sebep olabilmektedir. Bu nedenle bu parçalarla ilgili rastlanan en büyük problem kullanım esnasında darbeli yüklerin şiddetine bağlı olarak kırılmaları olarak gösterilebilir. Bu tarz problemlerin ortadan kaldırılması için yüksek manganlı çeliklerin üretiminde ve ısıl işlem proseslerinde optimizasyon çalışmalarının gerçekleştirilmesi ve aşınma direnci, darbe çentik mukavemetleri ve çekme özelliklerinin iyileştirilmesi gerekmektedir. Hadfield çeliklerinin ASTM A128 standardına göre bileşimleri Tablo 1'de verilmiştir. Tablodan da görülebileceği gibi, analiz değerlerine bir takım alaşım elementleri eklenmiş ve analiz yapıları çeşitlendirilmiştir. Bunun sebebi olarak aşınma direnci ve tokluk özelliklerinde iyileşmenin amaçlandığı söylenebilir [2].

Sınıf	Bileşim (%)						
	C	Mn	Cr	Mo	Ni	Si	P
A	1,0-1,35	Min. 11,0	-	-	-	Max. 1	Max. 0,07
B-1	0,9-1,05	11,5-14	-	-	-	Max. 1	Max. 0,07
B-2	1,05-1,20	11,5-14	-	-	-	Max. 1	Max. 0,07
B-3	1,12-1,28	11,5-14	-	-	-	Max. 1	Max. 0,07
B-4	1,20-1,35	11,5-14	-	-	-	Max. 1	Max. 0,07
C	1,05-1,35	11,5-14	1,5-2,5	-	-	Max. 1	Max. 0,07
D	0,70-1,30	11,5-14	-	-	3-4	Max. 1	Max. 0,07
E-1	0,70-1,30	11,5-14	-	0,9-1,2	-	Max. 1	Max. 0,07
E-2	1,05-1,45	11,5-14	-	1,8-2,1	-	Max. 1	Max. 0,07
F	1,05-1,35	6-8	-	0,9-1,2	-	Max. 1	Max. 0,07

Tablo 1: ASTM A128 Standardına göre manganlı çelikler [2].

Yüksek manganlı çeliklerin düşük, orta ve yüksek yükler altına çalışma göstermeleri durumunda farklı mikro yapı ve mekanik özelliklere sahip olmaları gerekmektedir. Örneğin şiddetli yükler altında çalışırken tokluk dayanımının birinci öncelik olması gerekirken, düşük yükler altında tokluk dayanımından ziyade aşınma dirençleri ve sertlikleri daha büyük önem arz edecektir. Bu sebeple parçaların kullanım alanlarına ve uygulamalarına bağlı olarak üretim parametreleri ve ısıl işlem süreçleri doğru seçilmelidir [3,4].

Bu çalışmanın amacı özellikle düşük yükler altında, yüksek sertlik ve yüksek aşınma direnci beklenen parçalar için; çözeltiye alma ısıl işlemi sonrası mikro yapı ve mekanik özelliklerini değiştirmek için çökelme sertleşmesi ısıl işlemine tabii tutmak ve bu sayede malzemelerin mekanik özelliklerinde kullanım ömürlerini uzatacak bir gelişme sağlamaktır. Çökelme sertleşmesi ısıl işlemi ile amaçlanan manganlı çelik mikro yapısında karbür çökmesini sağlamak ve çökelen bu karbürlerin oluşturacağı farklılaşma ile, malzemenin özellikle sertlik ve aşınma özelliklerini iyileştirmektir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneyisel çalışmalarda kullanılan 35x52x250 mm boyutlarındaki döküm numuneleri düşük fosfor ve düşük kükürt içeren çelik hurdalarıyla beraber standart silis, mangan, krom ve molibden ferro-alyajları kullanılarak 3500 kg kapasiteli endüstriyel ölçekli indüksiyon ocağında ergitilmiştir. Deneyisel çalışmalarda kullanılan numune bloklarının kimyasal kompozisyon sonuçları Tablo 2’de verilmiştir.

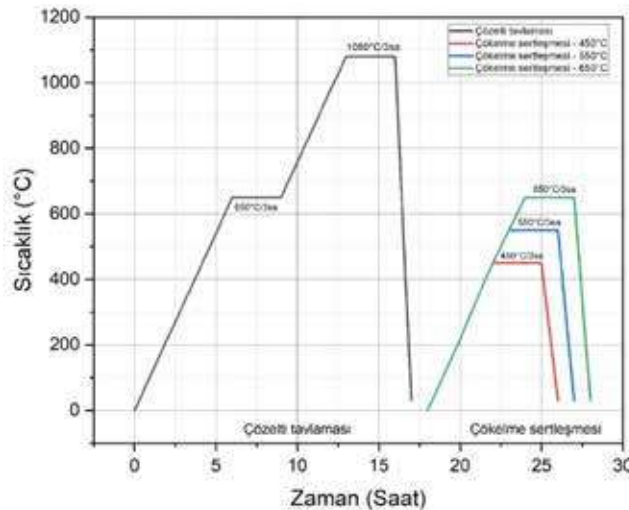
C	Mn	Si	Cr	P	S	Fe
1,16	13,21	0,43	2,13	0,040	0,001	Kalan

Tablo 2: Numune bloklarının kimyasal analiz değerleri (% ağırlıkça).

Döküm işlemi tamamlandıktan sonra katılaşmanın tamamlanması için, numune blokları 2-3 saat kalıp içerisinde bekletilmiş ve numune blokları kalıptan 250-300°C aralığında çıkarılmıştır. Böylece numune bloklarının besleyici ve yollukları sıcak kesilmiş ve numune bloklarında termal şok oluşması engellenmiştir.

İlk olarak numune blokları $\pm 4^\circ\text{C}$ sapmalı oksijen kontrollü otomatik ısıtma fırınında çözeltiye alma ısıtma işlemine tabii tutulmuştur. Numune blokları ısıtma sırasında 650°C’de 3 saat bekletilerek, yüzey ve çekirdek arasındaki sıcaklık farkı azaltılmış olup, aynı zamanda yapıda bulunan perlit dönüşümünün hızlanması ve östenit içerisinde fazla karbon çözündürülmesi hedeflenmiştir [2].

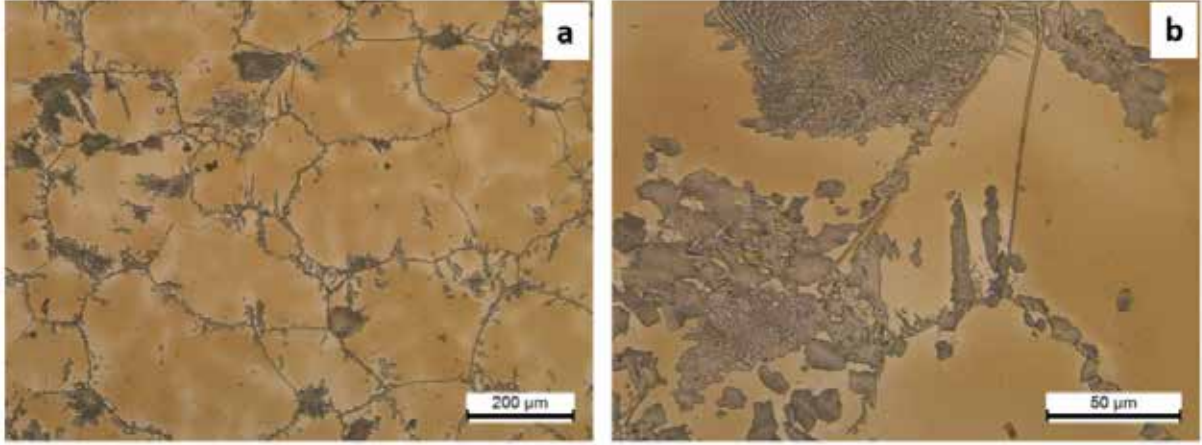
Daha sonra aynı ısıtma hızıyla numuneler tane içlerinde ve tane sınırlarında bulunan karbürlerin östenit matriste çözündürülmesi için 1080°C’de 3 saat boyunca tutulmuşlardır. Sürenin sonunda tüm numuneler 25-30°C aralığındaki 90 ton kapasiteli ısıtma havuzunda su ile ani bir şekilde soğutulmuştur. Daha sonra numune bloklarına sırası ile 450°C, 550°C ve 650°C’de 3 saat boyunca çökeltme sertleşmesi ısıtma işlemi uygulanmıştır. Çökeltme sertleşmesi sonunda numuneler vakum havada soğumaya bırakılmıştır. Yapılan ısıtma işlemlere ait grafik Şekil 1’de gösterilmiştir.



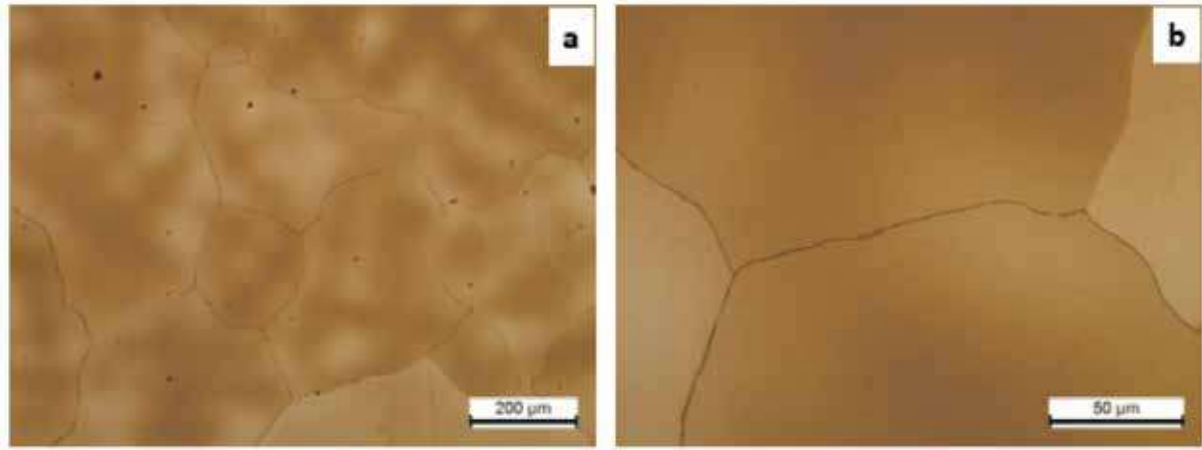
Şekil 1: Numune bloklarına uygulanan ısıtma işlemi grafiği.

3. BULGULAR

Şekil 2. a,b’de görüldüğü üzere döküm yapısı östenitik matris üzerinde özellikle tane sınırlarında gözlemlenen yoğun karbürlerden oluşmaktadır. Şekil 3. a,b’de ise 1080°C’de çözeltiye alma ısıtma işlemi sonrası karbürlerin çözündüğü ve yapının karbürlerden arınmış %100 östenite dönüştüğü görülmektedir.

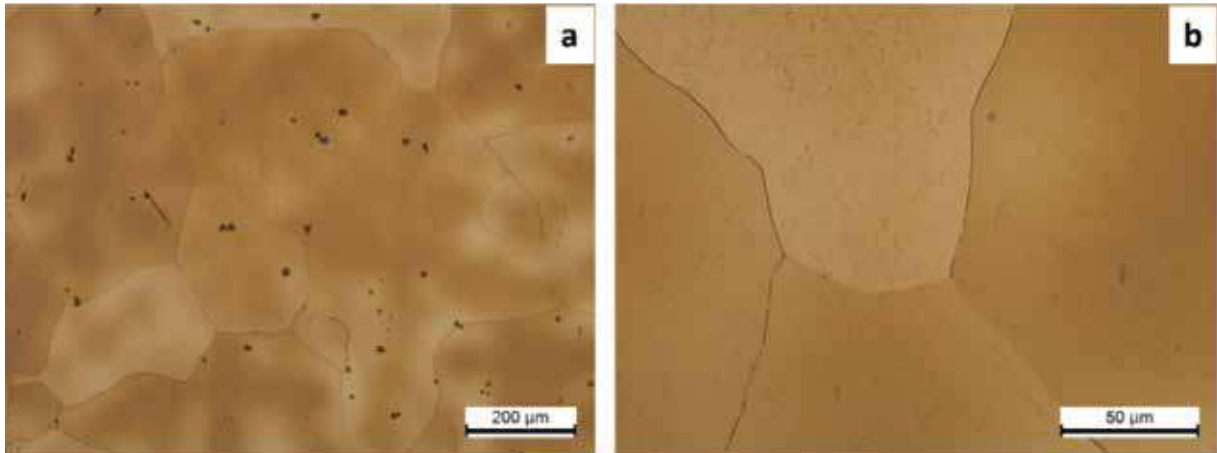


Şekil 2: Numune bloklarının döküm sonrası optik mikroskop görüntüleri.

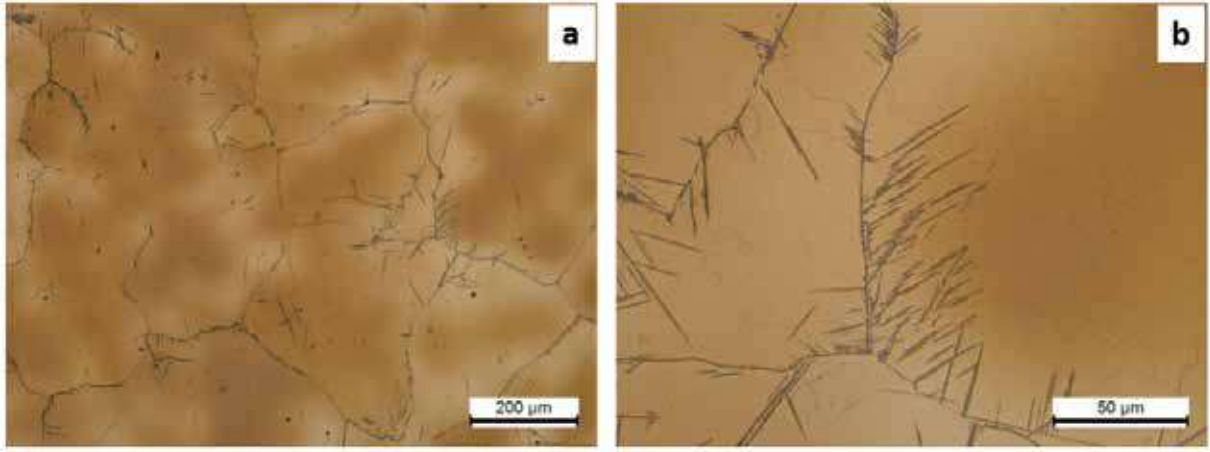


Şekil 3: Numune bloklarının çözelti tavlama sonrası optik mikroskop görüntüleri.

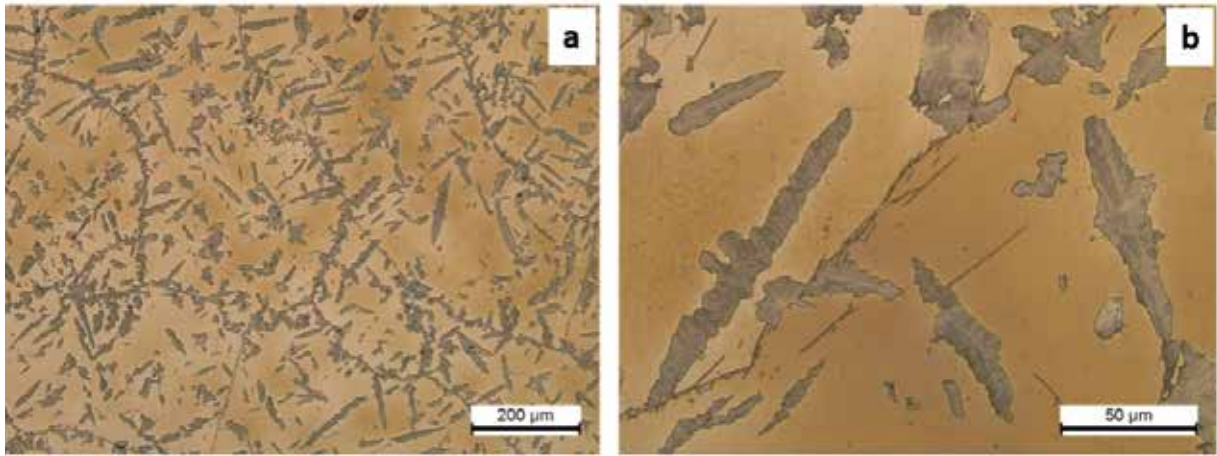
Çözeltiye alma ısıl işlemi sonrası, çökeltme sertleşmesi ısıl işlemi uygulanan numunelerin mikro yapı görüntüleri Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4: 450°C'de çökeltme sertleşmesi yapılmış numunelerin optik mikroskop görüntüleri.



Şekil 5: 550°C'de çökeltme sertleşmesi yapılmış numunelerin optik mikroskop görüntüleri.



Şekil 6: 650°C'de çökeltme sertleşmesi yapılmış numunelerin optik mikroskop görüntüleri.

Elde edilen optik mikroskop görüntülerine göre artan sıcaklık ile karbür çökeltme miktarı artış göstermekte olup; 450°C'de yalnızca tane sınırlarında görülen çökelmiş karbürler 650°C'ye gelindiğinde tüm matrisi kaplamaktadır.

Farklı ısıl işlem aşamalarında işlem gören numunelerden elde edilen mekanik test sonuçları Tablo 3'te verilmiştir. Döküm sonrası yapıda mevcut bulunan karbürler sebebi ile çentik darbe sonucu 4,5 J ve sertlik sonucu 263 HV iken; yapılan çözelti tavlama işlemi ile karbür çözünmesi sağlanmış ve elde edilen homojen östenitik yapı ile çentik darbe sonucu %4577 artarak 206 J'e çıkmıştır. Yanı sıra çözünen karbürler sebebi ile sertlik sonucu 263 HV'den %13 azalarak 228 HV'ye düşmüş ve daha homojen bir sertlik dağılımı elde edilmiştir. 450°C'de sertlik değeri çok küçük bir düşüş göstererek 228 HV'den %8 azalarak 211 HV'ye gerilemiştir. 550°C'de yapılan çökeltme sertleşmesi ise sertlikte çok küçük bir artışa sebep olmuş ve sertlik değeri 228 HV'den %2 artarak 233 HV'ye yükselmiştir. 650°C'de yapılan çökeltme sertleşmesi sonrası ise sertlik değeri 228 HV'den %32 artarak 300 HV'ye çıkmış ve bu sertlik değeri ile numunenin döküm hali sertlik değerinin bile %14 üzerine çıkmıştır.

	Sertlik (HV5)	Çentik darbe (J - @ Oda Sıc.)
Döküm hali	263	4,5
1080°C Çözelti tavlaması	228	206
450°C Çökelme sertleşmesi	211	194
550°C Çökelme sertleşmesi	233	37
650°C Çökelme sertleşmesi	300	4

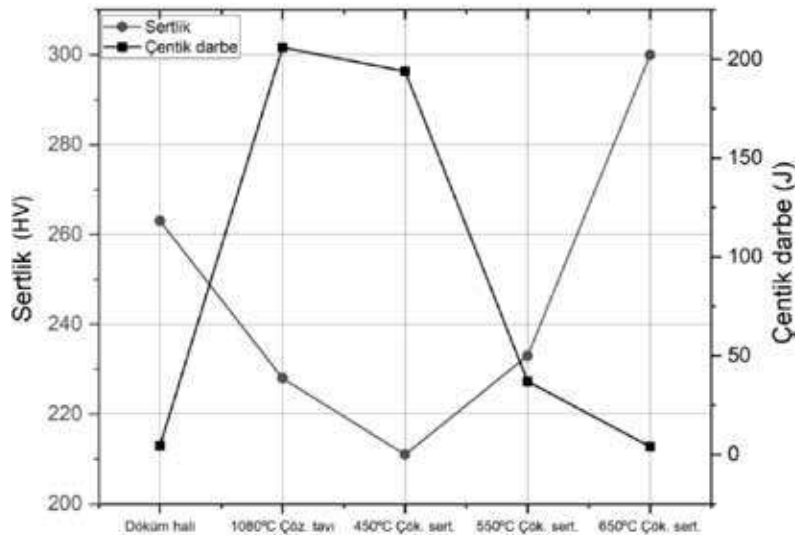
Tablo 3: Numunelerin farklı ısı işlemlerde sertlik ve çentik darbe test sonuçları.

Çözelti tavlaması sonrası 450°C, 550°C ve 650°C'de çökelme sertleşmesi ısı işlemleri uygulanan numunelerin çentik darbe sonuçları lineer olarak düşüş göstermiş; özellikle 550°C'de yapılan çökelme sertleşmesi sonrası çentik darbe 206 J'den %82 azalarak 37 J'e kadar düşmüştür. 650°C'lik çökelme sertleşmesi sonrası çentik darbe sonucu, numunenin döküm haline kadar gerilemiş ve %98 azalarak 4 J'e düşmüştür.

Elde edilen mekanik test sonuçlarına göre; numunelerin döküm yapısında bulunan çözünmemiş karbür içeriği, plastik deformasyon esnasında taneler arasında gevrekliğe neden olmakta ve bunun sonucunda çentik darbe veya tokluk değeri düşmektedir. 1080°C'de yapılan çözelti tavlamasında ise yapıda bulunan karbürler östenit matris içerisinde çözünmekte ve plastik deformasyon miktarı artmakta olup tokluk değerleri büyük ölçüde iyileşmektedir. 450°C'de yapılan çökelme sertleşmesi, beklenildiği gibi belirli bir miktarda karbür çökmesine sebep olsa da, bu miktar tokluk değerlerini ciddi anlamda düşürecek gevrekliğe sebep olamamaktadır. Bunun sebebi olarak 450°C'de yapılan çökelme sertleşmesinin sonucunda ince tane sınırı karbürleri oluşması, bu karbürlerin ince boyutları ve düşük enerjileri nedeni ile östenit matris ile iyi bir kafes uyumu sağlamaları gösterilebilir [6].

550°C'de yapılan çökelme sertleşmesi ise numunenin tokluk değerlerinde ciddi bir düşüşe sebep olmuştur. Bu durum 450°C'nin karbür çökmesi için yetersiz veya sınırda kaldığını, 550°C'nin ise ciddi oranda karbür çökmesine sebep olduğunu göstermektedir. 650°C'de karbür çökelme prosesi devam etmekte olup, gerçekleşen çökmenin boyutu manganlı çeliğin çentik darbe özelliklerini neredeyse döküm hali değerlerine kadar geriletmiştir.

Şekil 5'te sertlik ve çentik darbe sonuçlarının karşılaştırmalı grafiği verilmiştir.



Şekil 5: Numunelerin döküm hali ve farklı ısı işlemler sonucundaki mekanik özelliklerinin karşılaştırılması.

Şekil 5'ten görülebileceği gibi yapılan çökeltme sertleşmesi ısı işlemleri manganlı çeliğin çentik darbe, yani tokluk özelliğini lineer bir şekilde düşürmüştür. 450°C'de az miktarda sayılabilecek bu düşüş sıcaklığın 550°C'ye çıkması ile ciddi oranda hızlanmıştır. Çökeltme sertleşmesinin bir diğer etkisi olarak da 450°C'nin karbür çökeltmesi açısından ciddi bir fark oluşturmadığı göz önünde bulundurularak düşünülürse; artan çökeltme sertleşmesi sıcaklıkları ile manganlı çeliğin sertlik sonuçları da lineer bir şekilde artış göstermiştir.

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

- Manganlı çeliklerin döküm hali incelendiğinde, döküm kalıbı içerisinde yavaş soğumanın etkisi ile östenit matris içerisinde tane sınırları ve tane içleri boyunca rastgele dağılmış yüksek krom içerikli karbür yapıları tespit edilmiştir.
- 1080°C'de 3 saat çözelti tavlama yapılan numunede, östenit matriste tüm karbürler çözünmüş ve %100 östenit fazından oluşan geleneksel manganlı çelik mikro yapısı elde edilmiştir.
- Devamında çözelti tavlama ile karbürlerden arındırılmış numuneler ayrı ayrı olarak 450°C, 550°C ve 650°C sıcaklıklarda 3 saat bekletilerek çökeltme sertleşmesi ısı işlemi uygulanmıştır. Burada amaçlanan belirlenen sıcaklıklarda manganlı matris içerisinde karbür çökeltmesinin gerçekleştirilmesi olmuştur. 450°C'de çökeltme sertleşmesi uygulanan numunede yalnızca tane sınırlarında yüksek büyütmelede görülebilecek kadar ince karbür çökeltmesinin sağlanabildiği görülmüştür. Çökeltme sertleşmesi sıcaklığının 550°C'ye çıkmasıyla bu durum ciddi oranda artmış ve neredeyse tüm tane sınırları boyunca ve tane sınırlarına yakın bölgelerde iğnemsî yapıların arttığı görülmüştür. Son olarak 650°C'de gerçekleştirilen çökeltme sertleşmesinde ise yapıda artık ciddi oranda karbür çökeltmesi başlamış, östenit matris kararlılığını kaybetmiştir.
- Döküm yapılarında bulunan ve östenit matris içerisinde rastgele dağılmış karbür ağları yüksek manganlı çeliğin döküm yapısında ciddi oranda süneklik kaybına neden olmuştur. Bu sonuçta literatürde manganlı çeliklerin döküm halleri ile yüksek yükler altında neden çalışamayacağını göstermektedir.
- Manganlı çelik numunelerine çözelti tavlama ısı işlemi uygulandığında ise beklenildiği şekilde çentik darbe sonuçlarında muazzam bir iyileşme görülerek bu sonuçlar %4577 miktarında artmış, sertlik ise geleneksel manganlı çelikten beklenen skalaya gerilemiştir.
- Çökeltme sertleşmesi ısı işlemi uygulanan numuneler mekanik açıdan incelendiğinde ise, 450°C'de çökeltme sertleşmesi uygulanan numunenin çentik darbe ve sertlik sonuçlarında ciddi bir değişim olmadığı ve çözelti tavlama sonuçlarına göre neredeyse değişmediği görülmüştür. Bu sonuç 450°C'nin çökeltme sertleşmesi için yeterli olmadığını göstermektedir.
- Çökeltme sertleşmesinde 550°C'ye gelindiğinde ise çentik darbe sonuçları çözelti tavlama sonuçlarına göre %82 gerilemiş ve bunun yanı sıra sertlik değeri %2 kadar artmıştır. Bu sonuçlar ve elde edilen mikro yapı sonuçları beraber değerlendirildiğinde 550°C'de çökeltme sertleşmesi ısı işleminin gerçekleştirildiği düşünülmektedir.
- Çökeltme sertleşmesinde 650°C'ye gelindiğinde ise çentik darbe sonuçları manganlı çeliğin döküm haline kadar gerilemiş, sertlik sonuçları ise çözelti tavlama haline göre %32 artmıştır. Fakat 650°C'de çentik darbe sonuçlarındaki kritik düşüş bu sıcaklığın uygulanabilirliği açısından sorun teşkil edebilmektedir.

KAYNAKÇA

1. Bhero, S. W., Nyembe, B., Lentsoana, K. (2014). Common Failures of Hadfield Steel in Application. International Conference on Mining, Mineral Processing and Metallurgical Engineering (ICMMME'2014), 17-19.
2. Kayadelen, A. (2018). Yüksek manganlı östenitik çeliklerin aşınma davranışlarına vanadyum ve molibden element ilavesinin etkisinin incelenmesi [Yüksek lisans tezi]. Eskişehir Osman Gazi Üniversitesi.
3. Ozgowicz, W., Kurc-Lisiecka, A., Grajar, A. (2012). Environmental and industrial corrosion – practical and theoretical aspects. InTech.

4. Okechukwu, C., Dahunsi, O. A., Oke, P. K., Oladele, I. O., Dauda, M. (2017). Prominence of Hadfield steel in mining and minerals industries. *International Journal of Engineering Technologies*, 3(2), 83-90.
5. Martin, M., Raposo, M., Druker, A., Sobrero, C., Malarria, J. (2016). Influence of pearlite formation on the ductility response of commercial Hadfield steel. *Metallography, Microstructure, and Analysis*, 5, 505-511. <https://doi.org/10.1007/s13632-016-0316-7>
6. Kuyucak, S., Zavadil, R. (2004). Heat treatment processing of austenitic manganese steels. *66th World Foundry Congress, Volume: Steel Casting*, 1-16.

Endüstriyel Vana Sektöründe Döküm Tasarımlarının Yazılımsal Yöntemlerle Geliştirilmesi ile Sürdürülebilir Enerji Verimliliğinin Artırılmasına Yönelik Analiz Çalışması

Kerem Ali KUBİLAY*, **Hüseyin TUNCA***, **Sezer Hivda ÖZDEN***, **Ulaş ÖĞÜT***,
Kenan PEKER*, **Ozan ULUTAŞ****, **Ozan ÇOBAN*****
***Gedik Termo Vana Tic. Ve San. A.Ş., Sakarya, Türkiye**
****Gedik İleri Döküm Teknolojileri Tic. Ve San. A.Ş., Sakarya, Türkiye**
*****İstanbul Gedik Üniversitesi Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal
Teknolojileri Bölümü, İstanbul, Türkiye**

ÖZET

Lamel grafitli dökme demir malzemeden imal edilen 3 parçalı küresel vanaların üretiminde temel yöntem döküm ve ardından talaşlı imalat proseslerini içerir. Farklı basınç sınıflarına göre uçtan uca uzunluk için TS EN 558 ve flanş çapı için BS EN 1092-2 standartlarının belirlediği boyutlarda üretimin sağlanabilmesi için yüksek et kalınlığındaki malzemeler döküm ile üretilir, daha sonra talaşlı imalat yapılır. Süreç sürdürülebilir enerji verimliliği açısından negatif etki oluşturmaktadır. Çalışma ile yazılımsal ve akış analizleri ile talaşlı imalat payı düşürülmüş döküm malzemelerin eldesi sağlanmıştır. Döküm malzemeler tahribatsız muayene, sertlik, çekme, darbe testi ve mikroyapısal karakterizasyonu ile metalurjik açıdan değerlendirilmiştir. TS EN 12266 standardına göre gövde dayanımının belirlendiği kabuk ve sızdırmazlık testleri gerçekleştirilerek vanaların üretiminde enerji verimliliği artışı sağlanması hedeflenmiştir. Sonuçlara göre dökümde tasarım geliştirme yoluyla düşürülen talaşlı imalat payı sayesinde %27,5±3 enerji verimliliği sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Döküm, Vana, Talaşlı İmalat, Enerji Verimliliği, Yazılımsal Tasarım

ABSTRACT

The production of three-piece ball valves made of lamellar graphite cast iron material involves the basic method of casting followed by machining processes. In order to ensure production in dimensions determined by TS EN 558 for end-to-end length and by BS EN 1092-2 for flange diameter according to different pressure classes, materials with high wall thickness are produced by casting and then making machining operations. This process has a negative impact on sustainable energy efficiency. With the software improvements and flow analyses achieved the production of cast materials with reduced machining share has been ensured. Cast materials were evaluated metallurgically through non-destructive, hardness, tensile, impact testing, and microstructural characterization processes. An increase in energy efficiency in the production of valves by conducting shell and leak tests according to TS EN 12266 standard for determining body strength and ensuring expected performance. To the results, it has been revealed that a 27±3% increase in energy efficiency was achieved through the reduction of machining rates via design improvements in casting.

Keywords: Casting, Valve, Machining, Energy Efficiency, Software Design

1. GİRİŞ

Akışkanları kontrol etmek, sınırlandırmak veya hat emniyetini sağlamak amacıyla, petrol, doğal-gaz, inşaat, otomotiv, marin, havacılık ve uzay gibi çeşitli endüstrilerde vanalar yaygın olarak kullanılmaktadır. Vanalar, sızdırmazlık türleri, basınç sınıfları, geometrik şekiller, kullanım alanları, vb. birçok koşul sebebiyle farklı türlerde üretilmektedir[1]. Glob, çek, küresel, pistonlu, sürgülü ve kelebek vanalar farklı sektörlerdeki uygulamalarda yaygın olarak kullanılan vana türleridir. Küresel vanalar bu sektörlerde en çok tercih edilen vanalar arasında yer almaktadır[2].

Küresel vanaların basınca maruz kalan gövde parçaları, zorlu kullanım koşulları, müşteri talepleri, uluslararası yönetmelikler ve standartların karşılanması gereği döküm metodu ile üretilmektedir. Farklı basınç, sıcaklık, akışkan cinsi gibi kullanım alanlarına göre farklı döküm malzemeleri tercih edilmektedir[3]. Firmamızda üretilen PN16 DN100 3 Parçalı Tam Geçişli Küresel Vanalar, 2014/68/EU Basıncılı Kaplar Direktifi, TS 3148 Küresel Vanalar ve TS 12516 Vanalarda Gövde Dayanımı Tasarımı standartları gereksinimlerine uygun olarak tasarlanmakta ve EN-GJL-250 kalite lamel grafitli dökme demirden üretilmektedir.

Dökme demirlerin düşük üretim maliyetlerinin yanında gösterdikleri mukavemet, korozyon direnci, aşınma direnci, titreşim tutma gibi özellikleri sayesinde farklı sektörlerde yaygın olarak tercih edilmelerini sağlamaktadır[4]. Diğer sektörlerde olduğu gibi vana sektöründe de oldukça fazla tercih edilen lamel grafitli dökme demirlerin mikro yapısında, üretim şekline, ergiyik metalin kimyasal analizine, döküm sonrası metalin soğuma hızına ve döküm metodolojisine bağlı olarak farklı şekillerde, boyutlarda ve oranlarda Lamel grafit, ferrit ve perlit fazları oluşmaktadır[5]. Kum kalıba döküm sonrası sıvı metalin katılaşması sırasında, hekzagonal yapıya sahip kristal yapının hekzagonal taban düzlemlerinin birbiri üzerinde ve iki yönde büyümesinden grafit şeklinde çökmesiyle lamel grafit yapısı oluşur. Bu lamel grafitler, dökme demirin mikroyapısında ince ve uzun tabakalar halinde bulunur ve dökme demirin mekanik özelliklerini belirlemede kritik rol oynar. Grafit lamelleri, boyutlarına ve şekillerine göre farklı tiplerde sınıflandırılabilir ve dökme demirin soğuma hızı, kimyasal bileşimi ve ısı işlemleri gibi faktörlere bağlı olarak farklılık gösterir[6]. Grafit lamelleri, malzemenin kırılma direncini artırırken, yüksek ısı ve elektrik iletkenliği ile yağlama özellikleri sunar. Ayrıca, dökme demirin kimyasal analizine eklenen silisyum miktarı, bu grafit yapılarının oluşumunu teşvik ederek malzemenin sertlik ve mukavemetini etkileyebilir[7].

Ferrit, faz dönüşüm sıcaklığına kadar hacim merkezli kübik (BCC) kristal yapısına sahip olan, maksimum %0.02 karbon içeren bir katı çözüldür. Düşük karbon çözünürlüğü ile karakterize olan ferrit, sünek ve orta derecede mukavemete sahip bir matris elemanıdır[8]. Lameller grafitli dökme demirlerde, kimyasal bileşime ve soğuma hızına bağlı olarak, serbest halde otektoid yapı içerisinde veya sementit ile birlikte bulunabilir. Ferritin mekanik özellikleri, dökme demirin kimyasal analizine eklenen silisyum miktarı ile değiştirilebilir; bu ekleme, ferritin sertliğini ve mukavemetini artırabilir. Ferrit fazı manyetik özellikler de gösterir ve düşük sıcaklıklarda stabil kalır, ancak 912°C'nin üzerinde östenite dönüşür. Mikroyapısında ince ve düzenli taneler olarak gözlemlenen ferrit, lamel grafitli dökme demirlerin mekanik özelliklerini belirlemede kritik bir rol oynamaktadır. %0,8 karbon oranı ile orta karbonlu bir yapıya sahip olan perlit fazı ferrite göre daha sert ve daha yüksek mukavemete sahiptir. Ancak daha az sünek davranış göstermektedir[7].

Perlit, dökümden sonra parçanın soğuması sırasında ötektoid sıcaklığında, yan yana sıralanmış ferrit ve sementit fazlarının tabakalı bir şekilde karışmasından oluşur. Bu lamellar yapı, malzemenin mekanik özelliklerini belirler. Oluşan perlit miktarı, malzemenin grafitleşme mertebesine bağlıdır. Perlit, ferrite göre daha sert ve mukavemetlidir, ancak daha az sünektir. Perlit yapısı, demir-karbon alaşımlarında önemli bir mikroyapısal faz olarak bulunur ve lamel grafitli dökme demirlerin performansını doğrudan etkiler[7].

Bu fazların boyutları, morfolojileri ve mikro yapıdaki homojenlikleri malzemenin mekanik özelliklerini doğrudan etkilemektedir. Grafit lamelleri, döküm sonrası katılaşma sürecinde hekzagonal yapının iki yönde büyümesiyle oluşur ve mikroyapıda ince ve uzun tabakalar halinde bulunur. Bu lameller, malzemenin sünekliğini ve çekme mukavemetini düşürürken titreşim sönümlenme kapasitesini artırır[9]. Ferrit matris, düşük karbon içeriği ile daha yumuşak ve işlenebilir olmasına rağmen mukavemeti olumsuz etkiler. Perlit matris ise ferrit ve sementit fazlarının lamellar karışımından oluşur, daha sert ve mukavemetlidir, ancak sünekliği azaltır. Grafit lamellerinin boyutları, morfolojileri ve mikro yapıdaki homojenlikleri malzemenin mekanik özelliklerini doğrudan etkiler. Malzemenin kimyasal analizi, döküm sonrası soğuma hızı ve kesit kalınlığı gibi parametreler, mikroyapıdaki fazların dağılımını ve dolayısıyla mekanik özelliklerini belirler. Soğuma hızı arttıkça perlit miktarı artar ve grafit lamelleri küçülür, bu da sertliği ve mukavemeti artırırken sünekliği azaltır. Bu nedenle, istenen mekanik özelliklerin elde edilmesi için döküm parametrelerinin dikkatlice kontrol edilmesi gerekmektedir[10]. PN16 3 parçalı tam geçişli küresel vanaların 16 bar maksimum çalışma basıncı ve 180°C maksimum kullanım sıcaklığı gibi kullanım parametreleri göz önünde bulundurulduğunda EN-GJL-250 kalite malzemenin uygun olduğu gözlemlenmektedir.

Küresel vanaların gövde ve flanş gibi doğrudan akışkana, dolayısıyla sıcaklık ve basınca maruz kalan parçaları döküm yöntemiyle üretilmektedir. Vananın sızdırmazlık performansı, gövde dayanımı ve akış karakteristikleri gibi özelliklerinin üzerinde döküm kalitesinin çok fazla etkisi bulunmaktadır. Döküm sektöründe üretim yapan firmalarda bu vanalara ait döküm parçaların dökümleri otomatik kalıplama hattı olan otomatik kalıplama hattında gerçekleştirilmektedir. Bu hatlara özel olarak tasarlanan modellerin yolluk tasarımları, figür yerleşimleri, figür sayıları ve döküm metodları döküm kalitesini ve verimini doğrudan etkilemektedir[11]. Döküm kalitesinin iyileştirilmesi sonraki üretim operasyonlarının da daha verimli bir şekilde ilerlemesine olanak sağlamaktadır. Döküm yöntemi ile üretilen parçalarda sıkça karşılaşılan kum düşmesi, gaz boşlukları, çekintiler, segregasyon gibi kusurlar, talaşlı imalat proseslerinin verimlerini olumsuz yönde etkileyebilir[12]. Özellikle, döküm parçaların yüzeylerinde ve kesitlerinde oluşabilecek gaz ve çekinti boşlukları, talaşlı imalat sırasında kullanılan takımlara zarar verir ve operasyon sürelerini uzatır[13]. Bu tür hatalar ayrıca parçaların hurdaya ayrılmasına da neden olabilir. Ayrıca, döküm metodunun optimize edilmediği parçalarda kötü yüzey kalitesi veya olası hataların tolere edilmesi için fazladan işleme payı verilmektedir. Bu durum, talaşlı imalat süreçlerinde işleme sürelerinin uzamasına, zaman ve malzeme kaybına yol açabilir. Bu nedenle, döküm kalitesinin iyileştirilmesi ve optimizasyonu, talaşlı imalat süreçlerinin verimliliği ve maliyet etkinliği açısından büyük önem taşımaktadır[13].

Bu çalışma kapsamında TS 3148, TS EN 12516, TS EN 1092-2, TS EN 558, TS EN 12266 tasarım ve test standartlarının gereksinimleri içerisinde olacak şekilde PN16 DN100 3 Parçalı Tam Geçişli Küresel Vananın tasarımının optimize edilmesi ilgili tasarım hesapları ve SolidWorks üzerinden yapılan analiz çalışmaları ile doğrulanması hedeflenmektedir[14], [15]. Optimize edilen tasarımdaki döküm parçalarının modelleri ve döküm metodolojisi üzerinde iyileştirme yapılarak döküm veriminin artırılması, döküm parçalardan elde edilen mikro yapıların istenilen kalitede olması ve mekanik özelliklerin standartların gereksinimlerini karşılayacak şekilde sonuçlar vermesi hedeflenmektedir. Modeller üzerinde yapılacak optimizasyon çalışmaları Novacast döküm simülasyon programı kullanılarak analiz edilerek teorik olarak doğrulanması amaçlanmıştır. Simülasyon sonrası elde edilen veriler yorumlanarak yolluk tasarımların yüksek verimli olacak şekilde tasarlanması hedeflenmektedir. Ek olarak iyileşen yüzey kalitesi sebebiyle standardın boyutsal olarak sınırladığı yüzeylerdeki talaşlı imalat işlemleri kaldırılarak işleme operasyonlarında ve enerji verimliliğinde iyileştirme hedeflenmektedir. Bu çalışmalar doğrultusunda PN16 3 Parçalı Tam Geçişli Küresel Vanaların enerji verimliliğinde, kalitesinde ve maliyetinde tasarım hesapları, statik, akış ve döküm simülasyonları gibi teorik çalışmalar ile doğrulanarak iyileştirme yapılması amaçlanmaktadır.

1. DENEYSEL ÇALIŞMA

Gerçekleştirilen bu çalışmanın ilk aşamasında 3 parçalı tam geçişli küresel vananın kum kalıba döküm yöntemi ile üretiminde; döküm öncesinde döküm simülasyonu, akış analizi ve stres dağılımı analizi ve döküm sonrasında elde edilen prototiplerde radyografik muayene, kimyasal analiz, çekme testi, sertlik testi, mikroyapısal karakterizasyon ve sızdırmazlık ve hidrostatik testleri gerçekleştirilmiştir. Tüm sonuçlar ilgili standartlar ve gereksinimler üzerinden değerlendirilmiştir.

Döküm simülasyonunda Novacast simülasyon yazılımı kullanılmıştır. Kum kalıba döküm yöntemi ile üretilen parçaların kalitesi ve üretim verimi gibi konular bakımından döküm metodu önem arz etmektedir. Model tasarımında kullanılan tasarım hesapları, besleyici türleri, yolluk tasarımları, soğutucu ve filtre gibi komponentler dökümün kalitesini ve hurda oranını doğrudan etkilemektedir. PN16 DN100 3 Parçalı Tam Geçişli Küresel Vanaların döküm parçaları SolidWorks üzerinden tasarlandıktan sonra 3D döküm dataları oluşturulmuş ve bu datalar üzerinden döküm simülasyonları yapılmıştır. Daha sonra Solidworks yazılımının analiz modülü üzerinden akış analizleri gerçekleştirilmiştir. EN 12266 standardında belirtilen test parametreleri göz önünde bulundurularak analizler gerçekleştirilmiştir.

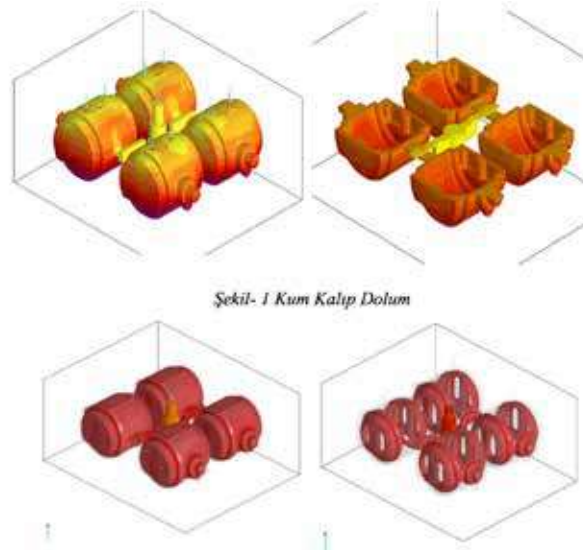
Yeni tasarıma göre üretilen model kullanılarak kum kalıp hazırlama işlemleri gerçekleştirilmiş ve EN-GJL-250 lamel grafitli dökme demir ergiyiği hazırlanmıştır. Döküm işleminden önce Hitachi/FMS optik emisyon spektrometresi kullanılarak kimyasal analiz gerçekleştirilmiştir.

DIN EN 1561 standardının gereksinimleri gereği vananın döküm işlemi ile birlikte dökülen çekme çubuğu numunesine çekme testi gerçekleştirilmiştir. Çekme testleri için Instron/600LX çekme test cihazı kullanılmıştır. Çekme numunesi üzerinden Bulut Makine/BMS3000-OBLC sertlik cihazı kullanılarak sertlik testi gerçekleştirilmiştir. Prototip üretim yapılan parçalar üzerinden alınan numunelerde Leica/DMİ8 optik mikroskop kullanılarak mikroyapısal karakterizasyon gerçekleştirilmiş ve grafit, ferrit ve perlit fazlarının oranları ve dağılımı analizleri gerçekleştirilmiştir.

Prototip olarak üretilen PN16 DN100 3 Parçalı Tam Geçişli Küresel Vananın gövde, flanş gibi döküm parçaları ve saplama somun, teflon gibi sızdırmazlık ve bağlantı parçaları temin edilerek vana montajı tamamlanmıştır. Montaj işleminden sonra vananın kullanıma uygunluğunu kontrol etmek adına EN 12226 standardına uygun olacak şekilde sızdırmazlık ve hidrostatik test gerçekleştirilmiştir. Ayrıca EN 12681 standardına göre muayene edilip, ASTM E 446 kataloğuna göre değerlendirilerek radyografik muayene işlemleri gerçekleştirilmiştir.

2. SONUÇLAR

2.1. Döküm Simülasyonu: Novacast simülasyon programı kullanılarak yapılan bu analizler parça üzerindeki en büyük modüle sahip bölgeleri, çekinti oluşabilecek kesitleri ve yönlenmiş katılaşmanın durumu hakkında yorum yapılmasına olanak sağlamaktadır. Çekinti bölgeleri, soğuma yüzeyleri, modülleri ve katılaşma gradyanı tespit edilen döküm parçaları için en optimum döküm metodu geliştirilerek model tasarımı yapılmıştır. Elde edilen model tasarımı üzerinde tekrar analizler yapılarak katılaşma gradyanı ve kum kalıbın ergiyik metal ile etkileşimi gözlenmiştir. Ek olarak yapılan iyileştirme çalışmaları kapsamında incelen kesitler yönlenmiş katılaşma açısından değerlendirilmiş, döküm sırasında hot spot oluşmayacak şekilde metot revize edilmiştir. Novacast üzerinden yapılan döküm simülasyon görüntüleri Şekil-1 ve Şekil-2'de paylaşılmıştır.



Şekil 2: Döküm Sonrası Katılaşma

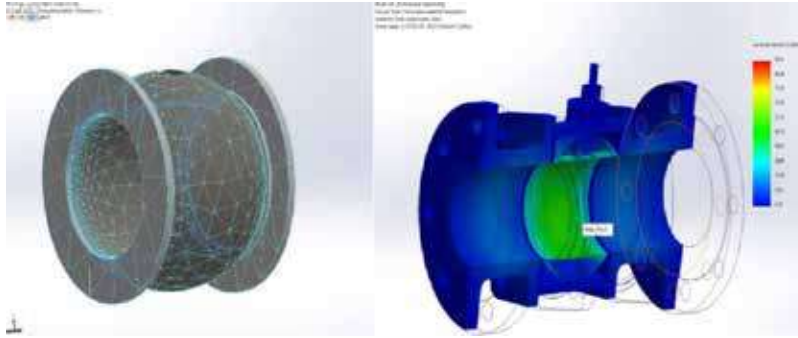
3.2 Akış analizi: Küresel vanalar glob, çek valf gibi diğer vana türlerine göre. Akış karakteristikleri bakımından daha üstün özellikler göstermektedir. Küresel vanaların iç akış çapının silindirik ve lineer olması, içinden geçen akışkanın stabil ve sürekli bir şekilde ilerlemesini sağlar, bu da kavitasyonun minimum seviyede oluşmasını sağlamaktadır. Küresel vanalar bu özellikler sayesinde basınç düşüşünü minimum seviyeye indirerek lineer ve stabil bir akış sağlamaktadır. PN16 DN100 3 Parçalı Tam Geçişli Küresel Vanaların iyileştirilmesi çalışması kapsamında revize edilen tasarımın basınç dağılımını ve akış karakteristiklerini inceleyebilmek adına simülasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar vanaların kullanım koşulları göz önünde bulundurularak Solid-Works programının analiz modülü üzerinden simüle edilmiştir. Yeni tasarlanan vananın gövde, flanş ve küre gibi parçalarının üzerine düşen statik yüklerin, vanaların kullanım alanlarına uygun bir şekilde simüle edilebilmesi adına sınır koşulları EN 12266 standardına göre belirlenmiştir. Koşul şartları ilgili standartta belirttiği gibi vananın maksimum çalışma basıncının (16 Bar) 1,5 katı (24 Bar) olacak şekilde belirlenmiştir.

Analiz optimizasyonu için geometri mesh atılması esnasında bağımsızlık çalışabilmek için düşük mesh yapısından yüksek mesh yapısına doğru uzanan bağımsızlık çalışması yapılmıştır. Bağımsızlıkla alakalı mesh parametreleri kullanılarak geometriyi ören eleman sayısı artırılmıştır. Bu artırma neticesinde model üzerinde farklı gerilme dağılımları elde edilmiştir. Tablo-1'de farklı mesh çalışmalarına ait veriler paylaşılmıştır.

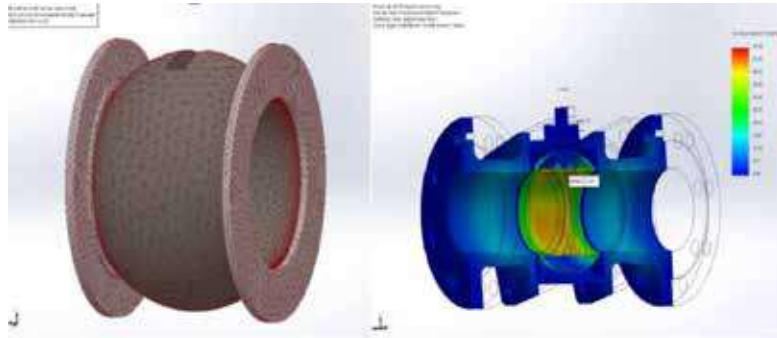
Mesh Parametresi							
Mesh Kontrol	Kademe	Global Tanım	Eleman Boyutu	Eleman Boyutu	Büyüme Faktörü	Hacimdeki Eleman	Eleman Sayısı
YOK	Low	1	35	2	2	8	55846
Kontrol Mid Mesh	Mid	2	25	1,5	1,5	10	158294
Kontrol High Mesh	High	3	15	1	1	12	479143
Kontrol High Mesh	Final	4	10	0,5	0,5	12	667989

Tablo 1: Mesh Ağı

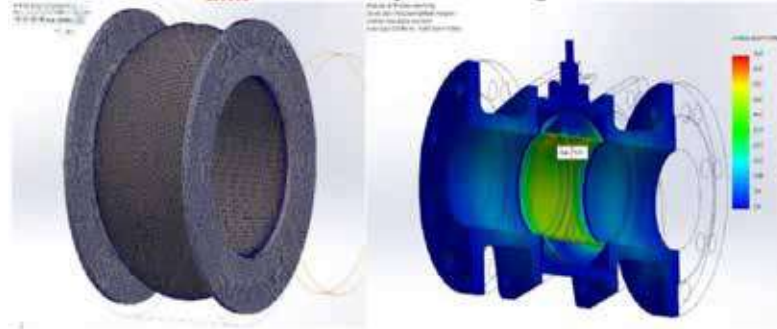
Mesh yapısının arttırılması üzerine yapılan çalışma doğrultusunda oluşturulan kurgular Şekil-2-6'daki gibidir. İlk çözüm ağından itibaren mesh kontrollü bir şekilde arttırılmıştır. Montaj üzerinde yapılan analizlerde stres dağılımı en fazla küre yüzeyinde gözlemlendiği için mesh kontrol çalışmaları teflon ve küre hacmine uygulanmıştır. Bu çalışmalar doğrultusunda artan mesh yoğunluğunun stres dağılımı tespit edilmesi üzerinde olumlu etkisinin olduğu gözlemlenmiştir.



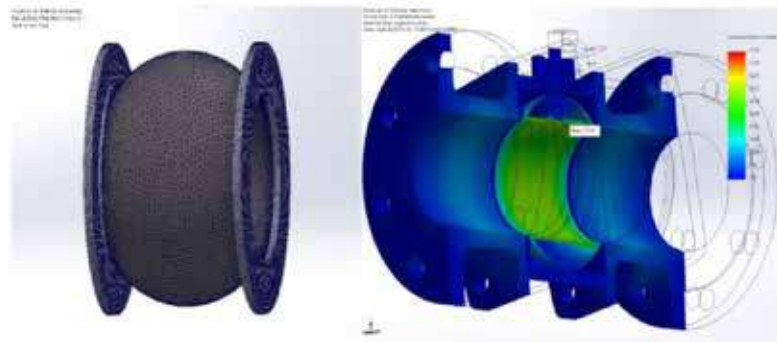
Şekil 3: Low Mesh Yapısı ve Stres Dağılımı



Şekil- 4 Mid Mesh Yapısı ve Stres Dağılımı

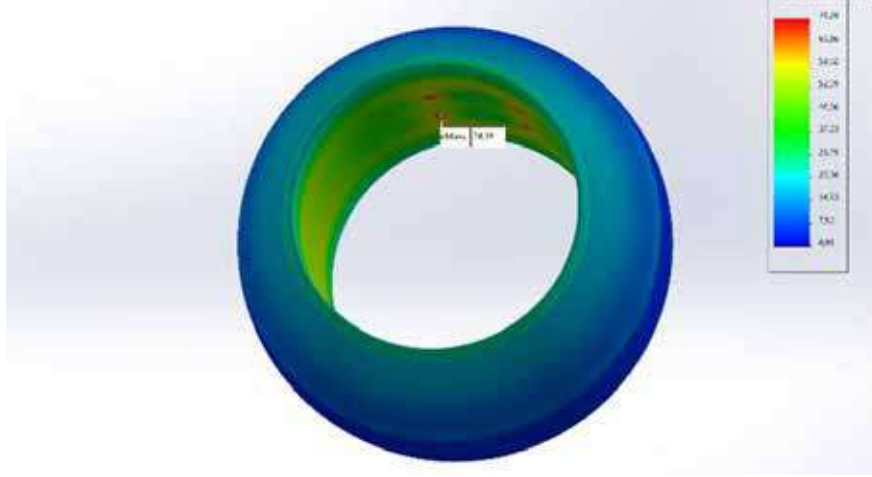


Şekil- 5 High Mesh Yapısı ve Stres Dağılımı

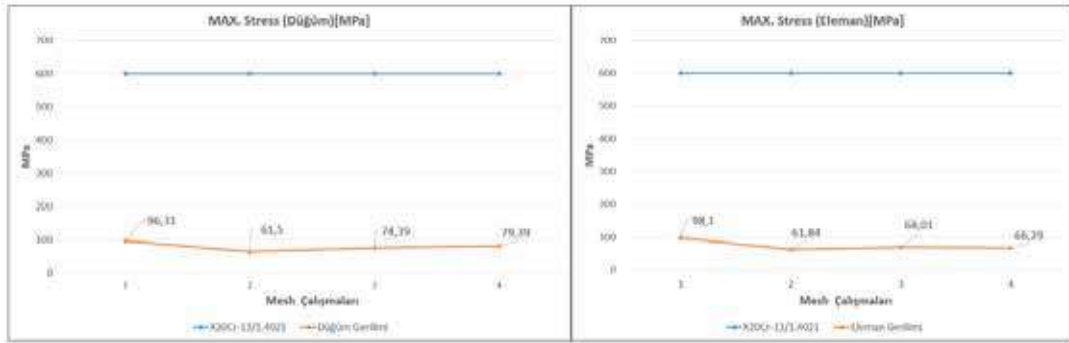


Şekil- 6 Final Mesh Yapısı ve Stres Dağılımı

Şekil-6'da görüldüğü üzere oluşturulan mesh yapısının küre üzerindeki gerilim dağılımını net bir şekilde gözlemlenmektedir. Vana tasarımı üzerinde gerçekleştirilen analizlerde montaj bazında bakıldığında maksimum gerilme küre üzerinde oluşmuştur. 24 bar test basıncı ile gerçekleştirilen analiz çalışmasında küre üzerindeki maksimum gerilmenin 79,39 MPa olduğu gözlemlenmiştir. Küre üzerinde oluşan statik kuvvet, seçilen küre malzemesinin akma mukavemet sınırını geçmemektedir. Şekil-6'da verilen grafiklerde küre malzemesinin akma dayanım sınırı ve üzerine düşen maksimum yük gösterilmiştir. Ek olarak eleman gerilmesi ile düğüm gerilmesi arasındaki farkın az oluşu analiz stabilitesi hakkında bilgi vermektedir.

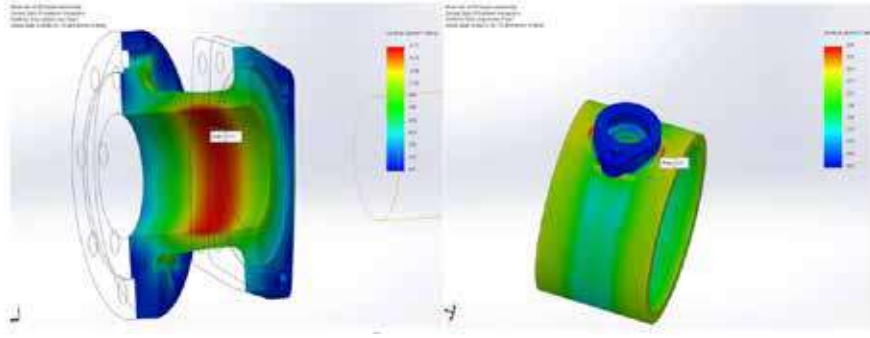


Şekil 7: Küre Üzerinde Oluşan Gerilim Dağılımı



Şekil 8: Düğüm/Element Stres Dağılımı

Basınç altında kalan gövde ve flanş parçalarına da aynı metot kullanılarak analizler yapılmıştır. Vana kullanım durumunda iken gövde, flanş ve küre parçalarına basınç etki etmektedir. Bu sebeple EN 12266 standardında belirtilen test parametreleri göz önünde bulundurularak analizler gerçekleştirilmiştir. Flanş parçasının akış kısmından uygulanan 24 bar basınç sonucunda oluşan maksimum gerilmenin 15.71 MPa olduğu gözlemlenmiştir. Aynı parametre ve metot kullanılarak gövde parçasına yapılan analiz sonucunda maksimum gerilmenin 4MPa civarında olduğu gözlemlenmektedir. Şekil-9'da flanş ve gövde üzerinde stres dağılımı ve maksimum gerilme bölgeleri belirtilmiştir.



Şekil 9: Flaş ve Gövde Üzerinde Oluşan Gerilim Dağılımı

3.2 Kimyasal Analiz: PN16 DN100 3 Parçalı Tam Geçişli Küresel Vanaların gövde ve flaş parçaları TS 3148, EN 1092 ve EN 12516 standartları doğrultusunda EN-GJL-250 kalite lamel grafitli dökme demir malzemeden üretilmektedir. Bu malzemeye ait mikro yapı, mekanik ve kimyasal özellik gereksinimleri DIN EN 1561 standardında belirtilmiştir. Revize edilen tasarımın SolidWorks ve Novacast simülasyon programlarında teorik olarak doğrulanmasından sonra prototip üretimi süreci başlatılmıştır. Yeni tasarıma göre üretilen model kullanılarak kum kalıp hazırlama işlemleri gerçekleştirilmiş ve EN-GJL-250 lamel grafitli dökme demir ergiyiği hazırlanmıştır. Döküm işleminden önce Hitachi/FMS spektrometre kullanılarak kimyasal analiz doğrulanmıştır.

Spektrometreden alınan kimyasal analiz raporu Şekil-10'da paylaşılmıştır.

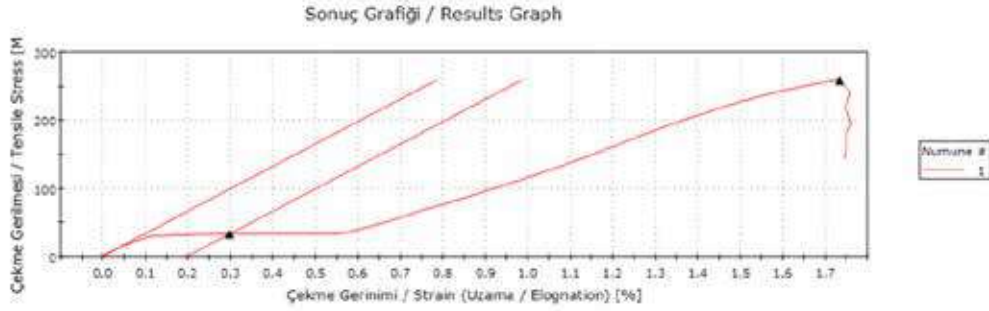
	Malzeme Material	Standartı acc. to	Parça Adı Description	Döküm Tarihi Casting Date	Şarj No Heat No	Adet Qty.					
1	EN-GJL-250	DIN EN 1561	İyileştirilmiş 3P Küresel Gövde	2.04.2024	B334P	1					
Kimyasal Özellikler / Chemical Comp. %											
	Standart Değerler [Requirements] %	C	Si	Mn	P	S	Mg	Cr	Ni	Mo	Cu
1	B334P	3,49	1,93	0,548	0,029	0,072	0,001	0,035	0,013	0,006	0,454

Şekil-10 Kimyasal Analiz Raporu

3.4 Mekanik Özellikler: PN16 DN100 3 Parçalı Tam Geçişli Küresel Vanalar, maksimum 16 bar kullanım basıncında çalışmaya uygun olarak üretilmesi gerekmektedir. EN 12266 standardının gereksinimleri gereği vanaların dayanımlarına güvenlik katsayısı eklenerek maksimum çalışma basıncının 1,5 katında hidrostatik teste tabi tutulması gerekmektedir. Bu şartlar altında çalışan vanaların mekanik özelliklerinin doğrulanması gerekmektedir. DIN EN 1561 standardının gereksinimleri gereği vananın döküm işlemi ile birlikte dökülen çekme çubuğu numunesine çekme testi yapılmaktadır. Standard gereksinimleri karşılayacak şekilde üretilen çekme çubuğuna yapılan test sonrası minimum 250 MPa çekme dayanımı elde edilmesi gerekmektedir. Prototip üretimi yapılan vana parçaları ile birlikte dökülen B334P şarj numarasına sahip çekme çubuğu numunesinden elde edilen mekanik test sonuçları Şekil-11'de paylaşılmıştır.

Mekanik Özellikler / Mechanical Properties										
Test Type / Test Tipi	Çekme Testi / Tensile Test					Çentik Darbe / Impact Test				Sertlik / Hardness
Properties	Kısmi Elongasyon Redüksiyonu %0.2	Alma Noktası Yield Str. [MPa]	Çökme Noktası Tensile Break Str. [MPa]	Uzama Elongation [%]	Test Sıcaklığı Test Temp. [°C]	1	2	3	Avg. (Ave)	-B Min/Max
		Min.	Min.	Min.		Min.	Min.	Min.	Min.	
Standart Değerler / Requirements			250		20					
1 B334P			259							192

Şekil- 11 Mekanik Özellikler Raporu

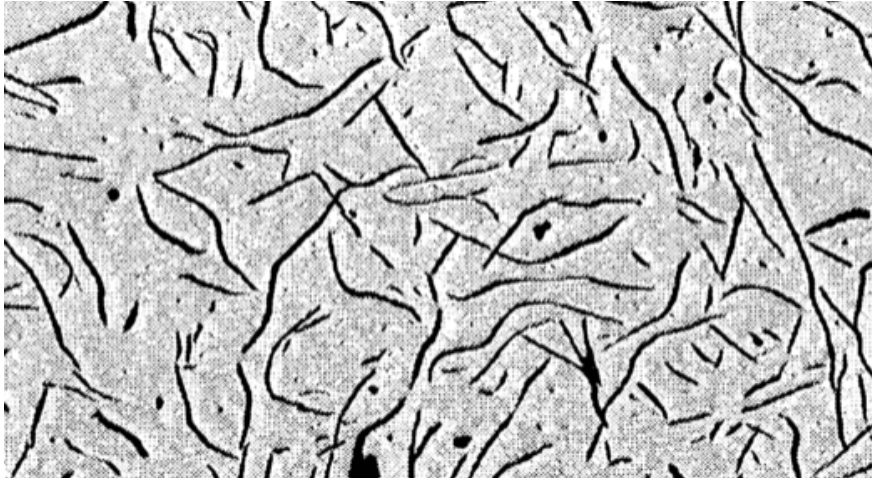


Sonuç Tablosu 1								
	Sarj No / Charge No	Alma Noktası (Offset 0.2 %) / Yield Point [MPa]	Kırılmada Yük / Load on Break [kN]	Uzama / Elongation [mm]	Maksimum Yük / Maximum Load [kN]	Kırma Yeri / Breaking Point [MPa]	Otomatik Young Modülü / Automatic Young's Modulus [MPa]	Açıklama / Notes
1	B334P	24,32093	40,20018	1,73000	40,35539	259,24716	22,744,23828	

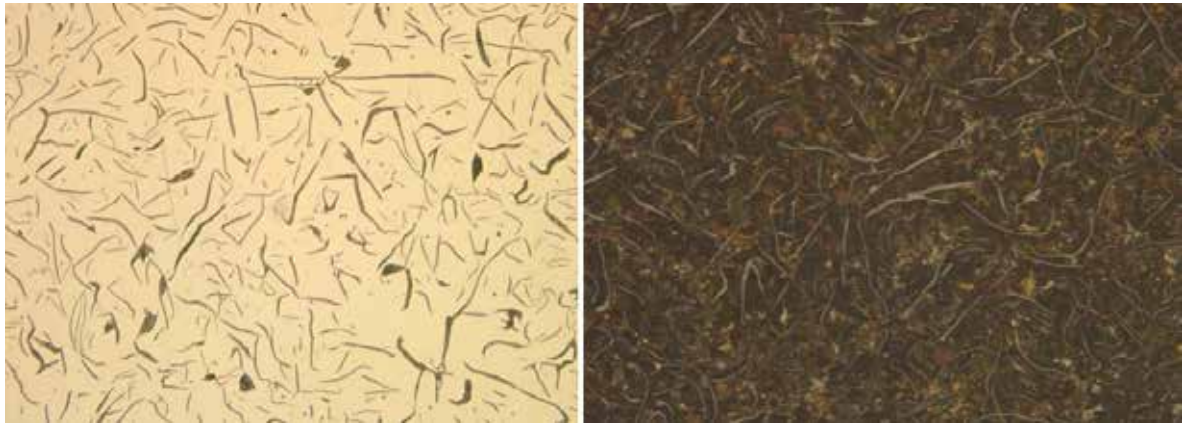
Şekil- 12 Gerilme Genleme Grafiği

3.5 Mikro yapı: Mikroyapı malzemenin mekanik özelliklerini doğrudan etkileyen ve metalin davranışlarını belirleyen temel unsurlardandır. Lamel grafitli dökme demirlerin mekanik özellikleri bakımından tane sınırları, tane boyutları faz dağılımları, vb. birçok parametre önem arz etme ve kontrol altında tutulmaktadır. DIN EN 1561 standardının, müşteri taleplerinin, mekanik özellik ve üretim gereksinimlerinin sağlanması açısından lamel grafitli mikro yapının elde edilmesi gerekmektedir. Mikro yapının kontrolü bir şekilde oluşturulmasında kimyasal analiz kadar soğutma hızı da etki etmektedir. PN16 DN100 3 Parçalı Tam Geçişli Küresel Vana iyileştirme çalışması kapsamında yapılan basınç altında kapasitesinin altında gerilim uygulanan bölgelerde iyileştirme çalışması yapılmıştır. Bu da gövde ve flanş parçalarının bazı bölgelerindeki kesitlerin ve cidar kalınlıklarının azalmasına sebep olmuştur. Kesitin ve cidar kalınlığının daraldığı bölgelerdeki modül ve hacim/soğuma yüzeyi oranı değiştiği için parçaların soğuma hızı değişmektedir. Bu da doğrudan mikro yapıları etkileyebilecek bir parametredir.

DIN EN 1561 standardında lamel grafitli dökme demirlerde gözlemlenmesi gereken mikro yapı özellikleri için ISO 945 standardına atıf yapılmıştır. Bu standarda göre elde edilmesi gereken mikro yapı görselleri Şekil-12'de paylaşılmıştır. Prototip üretim yapılan parçalar üzerinden alınan numuneler Leica/DMI8 mikroskop ile incelenmiş ve elde edilen mikro yapı görselleri Şekil-13'te paylaşılmıştır.

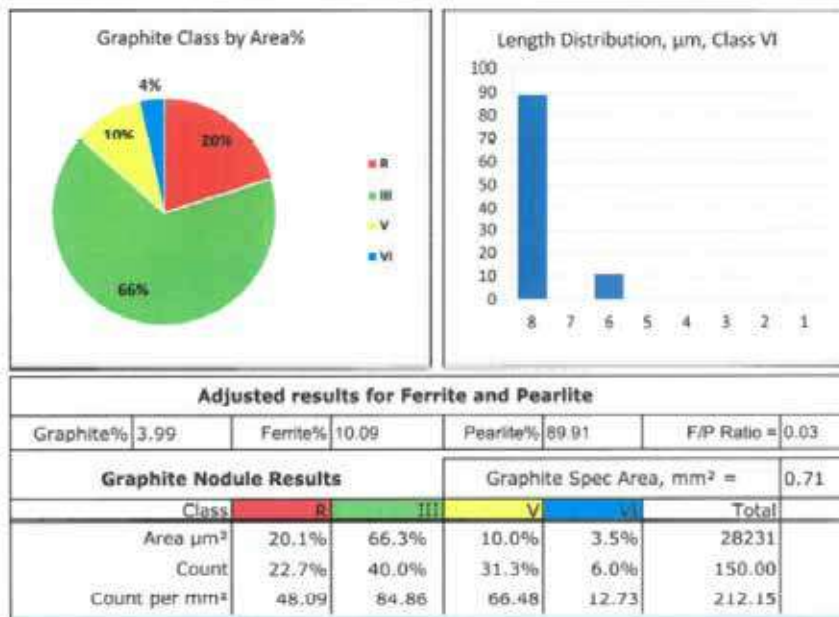


Şekil 13: ISO 945 Standardı Örnek Mikro Yapı[16]



Şekil 14: IPrototip Mikro Yapı Görüntüsü

Şekil-13'teki mikro yapı görselleri incelenerek Şekil-14'te belirtilen rapor hazırlanmıştır. Mikro yapıda bulunan grafit, ferrit ve perlit fazlarının oranları ve dağılımı ile alakalı bilgileri içermektedir. Ek olarak grafit tanelerinin boyutları türleri ve yüzey alanları ile alakalı ayrıntılı bilgilerde raporda paylaşılmıştır.



Şekil 15: Dökme Demir Mikro Yapı Raporu

3.6 Vana Sızdırmazlık ve Hidrostatik Testi: 24 bar basınç altında yapılan hidrostatik test gövde dayanım testi olarak yapılmaktadır. Vananın basınca maruz kalan flanş, küre, gövde, vb. komponentlerinin yüksek basınç altındaki davranışlarını incelemek adına gerçekleştirilir. Test standartları gereği küre 45° konumda iken, maksimum çalışma basıncının 1,5 katı basınçta, 10 dakika boyunca basınca maruz bırakılan vananın gövde ve flanş parçalarındaki sızıntı ve deformasyon durumları gözlemlenir. Herhangi bir sızıntı ve deformasyon gerçekleşmemesi durumunda vana testi geçmiş sayılmaktadır[17]. Sızdırmazlık testi ise yine aynı basınç ve süre boyunca vananın kapatma fonksiyonunun yerine getirilmesi durumunu incelemek amacıyla yapılmaktadır. Bu test esnasında küre tamamen kapalı konuma getirilerek, vana kapalı konumda iken sıvı akışına müsaade etme durumu incelenir. Küre teflonu ve küre arasından herhangi bir sıvı akışı gerçekleşmediği durumda test başarıyla tamamlanmış anlamına gelmektedir. Montajı tamamlanan prototip vana üzerinde yapılan sızdırmazlık ve hidrostatik testlere ait raporlar Şekil-15'te paylaşılmıştır.

Vana Kodu	Vana Açıklaması	Malzeme	Sarj No
TBVE13F10 0	PN16 DN100 3 Parçalı TG Küresel Vana	GG25	B334P

Test	Basınç Değeri (Bar)	Frekans %	Sonuç	Standart
Sızdırmazlık Testi	17,6	100	OK	EN 12266-1 Endüstriyel Vanalar- Metal Vanaların Testleri
Gövde Basınç Testi	24	100	OK	

Şekil 16: Hidrostatik ve Sızdırmazlık Test Raporu

3.7. Radyografik Muayene: Döküm metodolojisini doğrulamak, yüksek basınca maruz kalacak gövde ve flanş parçalarının, çatlak, gözenek, çekme boşlukları, vb. döküm hataları içerip içermediğinin kontrol etmek adına prototip olarak dökülen döküm parçaları radyografik muayene yapılmıştır. Parçaların iç yapılarında oluşabilecek mikro çatlaklar, çekintiler ve gaz boşluğu gibi döküm kusurları vananın uzun süreli kullanımına engel teşkil edebilir. Bu kusurların var ise tespit edilmesi ve giderilmesi adına yapılan radyografik muayene testi sonucu oluşan görüntüler Şekil-16'da paylaşılmıştır.

3.8 Ölçüsel Kontroller ve Maliyet İyileştirme Değerlendirilmesi: Akışkanları kontrol etmek, sınırlandırmak veya hat emniyetini sağlamak amacıyla, petrol, 1. doğalgaz, inşaat, otomotiv, marin, havacılık ve uzay gibi çeşitli endüstrilerde yaygın olarak kullanılan, lamel grafitli dökme demirden üretilen, PN16 3 Parçalı Tam Geçişli Küresel Vanaların tasarımları, döküm metodları, ve üretim teknikleri incelenmiştir. Yapılan incelemeler ve araştırmalar sonucunda vanalar üzerinde yapılabilecek iyileştirme konuları tespit edilerek optimum vana tasarımı yapılmıştır. Kalite, üretilebilirlik, enerji ve maliyet konuları bakımından iyileştirilmesi hedeflenen PN16 DN100 3 Parçalı Tam Geçişli Küresel vana uluslararası yönetmeliklere ve TS 3148, EN 1902, EN558, EN12516, DIN 1561, vb. standartlara uygun olacak şekilde yeniden tasarlanmıştır. Revize edilen tasarımın üretilebilir-

lik, kalite, üretim maliyeti, döküm verimliliği konularında geliştirilmiş olduğunu doğrulamak adına deneysel çalışmalar yapılmıştır.

Bilgisayar destekli simülasyon programlarından destek alınarak revize edilen tasarım üzerinde, TS 12226 test standardı doğrultusunda yapılan akış ve statik test sonuçlarında gözlemlendiği gibi vana üzerinde malzemelerin akma mukavemetini aşmayan ve güvenli bölgede kalan bir tasarım oluşturulduğu doğrulanmıştır. Solidworks üzerinde yapılan analiz çalışmasında gerilim dağılımını optimum seviyede tespit edebilmek adına mesh ağı yapısı çalışılarak farklı metotlar denenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre vanaya ait gövde ve flanş parçalarının üzerinde gerilim bölgeleri tespit edilerek belirli güvenlik katsayısı ile vana üzerinde fazla olan ağırlıklar bertaraf edilmiştir. Bu iyileştirme ile talaşlı İmalat operasyonlarındaki işleme payını azaltarak üretim maliyetlerini iyileştirmenin yanında vananın %25 daha hafif üretilmesine olanak sağlamaktadır. Vana üzerinde ürün ağacı bazında yapılan iyileştirme miktarları Tablo-2'de paylaşılmıştır.

PN16 DN100 T.G. KÜRESEL VANA (GG25) ÜRÜN AĞACI							
ESKİ HALİ				YENİ HALİ			
PARÇA ADI	KULLANILAN ADET	BİRİM AĞIRLIK(KG)	TOPLAM AĞIRLIK(KG)	PARÇA ADI	KULLANILAN ADET	BİRİM AĞIRLIK(KG)	TOPLAM AĞIRLIK(KG)
Gövde	1	7,3	7,3	Gövde	1	4,6	4,6
Flanş	2	10,7	21,4	Flanş	2	10,6	21,2
İç Tabak Yay Diski	2	0,12	0,24	İç Tabak Yay Diski	2	0,098	0,196
Dış Tabak Yay Diski	2	0,14	0,28	Dış Tabak Yay Diski	2	0,149	0,298
Küre Teflonu	2	0,05	0,1	Küre Teflonu	2	0,05276	0,10552
Flanş Teflonu	2	0,044	0,088	Flanş Teflonu	2	0,0415	0,083
Küre	1	6,4	6,4	Küre	1	4,4	4,4
Hareket Mili	1	0,248	0,248	Hareket Mili	1	0,314	0,314
Mil Contası Teflon	1	0,0001	0,0001	Mil Contası Teflon	1	0,0012	0,0012
Kilit Sacı	1	0,048	0,048	Kilit Sacı	1	0,0665	0,0665
Kol	1	1,4	1,4	Kol	1	0,68	0,68
Pul (Kol Somunu)	1	0,022	0,022	Pul (Kol Somunu)	1	0,01088	0,01088
Kol Somunu	1	0,016	0,016	Kol Somunu	1	0,00289	0,00289
Saplama	6	0,136	0,816	Saplama	4	0,144	0,576
Somun	12	0,016	0,192	Somun	8	0,0011	0,0088
Kilit Sacı Pulu	1	0,004	0,004	Kilit Sacı Pulu	1	0,004	0,004
Baskı Parçası	1	0,034	0,034	Baskı Parçası	1	0,0322	0,0322
Grafit Ring	1	0,01	0,01	Grafit Ring	1	0,01626	0,01626
Rondela	1	0,004	0,004	Rondela	1	0,00046	0,00046
Setskur	1	0,006	0,006	Setskur	1	0,01035	0,01035
		TOPLAM KG:	38,6			TOPLAM KG:	28,97

Tablo 2: Ürün Ağacı Karşılaştırma Tablosu

Tasarım hesaplamaları ve bilgisayar destekli analiz çalışmaları sonucunda optimum seviyede gerçekleştirilen yeni tasarım vananın döküm parçaları için döküm metodu geliştirilmiştir. Bu çalışmada ISO 8062 standardı göz önünde bulundurularak model üzerindeki işleme payları minimum seviyede kullanılmıştır. Döküm kalitesi iyileştirilerek dış flanş çaplarındaki işleme operasyonları kaldırılmıştır. Ek olarak Novacast döküm simülasyon programı kullanarak döküm metodu üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Simülasyondan alınan veriler doğrultusunda net brüt oranı %79 seviyelerinde bir döküm modeli tasarlanmıştır. Bu çalışmalar neticesinde döküm operasyonlarının verimi artırılırken, dökümden sonra gelecek talaşlı imalat operasyonları içinde iyileştirilme yapılmıştır.

4. GENEL DEĞERLENDİRME

Prototip olarak üretilen vananın gövde ve flanş parçalarına spektrometre kullanılarak kimyasal analiz yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda kimyasal analizin istenilen aralıklarda olduğu tespit edilmiştir. Aynı ocaktan alınan aynı şarj numarasına ve kimyasal analize sahip çekme çubuğu numunelerine DIN EN 1561 standardının gereksinimlerini karşılayacak şekilde çekme ve sertlik testleri yapılmıştır. Yapılan test sonucunda çekme dayanımının 259 MPa olduğu gözlem-

lenmiştir. İlgili standardın EN-GJL-250 kalite malzemesine göre minimum çekme dayanımı 250 MPa olması gerekmektedir. Bu değer vananın kullanım koşulları için uygun bir değer olarak gözlemlenmiştir.

Döküm sonrası parçadan alınan numune üzerinden yapılan mikro yapı analizinde lamel grafitli dökme demirde görülmesi uygun kabul edilen tüm fazlar gözlemlenmiştir. Lamel grafit, ferrit ve perlit oranları kabul kriterlerine uygundur. DIN EN 1561 standardı bu malzeme türünün mikro yapısı için ISO 945 standardına atıf yapmaktadır. Malzemenin mikro yapısı, tane dağılımı ve tane boyutları standardın gereksinimlerini karşılamaktadır.

2014/68/EU Basıncılı Kaplar Yönetmeliği gereği üretilen tüm vanaların EN 12226 standardının gereksinimlerini karşılayacak şekilde hidrostatik test ve sızdırmazlık testlerinin yapılması zorunlu kılınmıştır. Bu testler vananın gövde dayanımı ve açma-kapama mekanizmasının kontrolü için önem arz etmektedir. İyileştirilen PN16 DN100 3 Parçalı Tam Geçişli Küresel Vanaanın Standard gereksinimlerini karşılayacak şekilde yapılan sızdırmazlık ve hidrostatik testleri başarıyla geçtiği gözlemlenmiştir. Test esnasında herhangi bir sızıntı veya basınç altında kalan komponentlerde deformasyon gözlemlenmemiştir.

Döküm parçalarda sıkça karşılaşılan gaz boşluğu, mikro çatlaklar, çekinti, vb. kusurların kontrol edilmesi adına döküm parçalar üzerinde radyografik muayene yapılmıştır. Yapılan muayene sonucunda parçaların iç yapılarında döküm kaynaklı herhangi bir sorun olmadığı tespit edilmiştir.

Revize edilen tasarım sonrası kullanım koşullarına uygunluk, uzun ömür ve kalite konuları bakımında vananın tüm komponentleri çeşitli testler yapılmış ve tüm testler başarılı bir şekilde sonuçlanmıştır. Diğer taraftan yapılan iyileştirme çalışmaları kapsamında vananın üretim maliyetleri yaklaşık olarak %25 oranında iyileştirilmiştir. Döküm üretim süreçlerinde kullanılan metalurjik prosesler optimize edilerek malzemeden ve enerji tüketiminden tasarruf sağlanmıştır.

Bu çalışma kapsamında, PN16 DN100 3 Parçalı Tam Geçişli Küresel Vanalar üzerinde bilgisayar destekli tasarım ve analiz programları kullanılarak iyileştirme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Gelişen analiz ve tasarım programları ile prototip üretimi ve test aşamalarındaki süreçler bilgisayar ortamında simüle edilmiştir. Sektörde yaygın olarak kullanılan bu vanaya ait yeni tasarım çeşitli deney ve testlerle kullanıma uygun olduğu kanıtlanmış olup gözle görülür bir iyileştirme gerçekleştirilmiştir.

5. KAYNAKÇA

- [1] M. Mühendisliği and A. Dalı, "KARAMANOĞLU MEHMETBEY ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ YÜKSEK LİSANS TEZİ AĞUSTOS 2023 VANALARIN AKIŞ KARAKTERİSTİKLERİNİN BELİRLENMESİ Ugur ÇİÇEK."
- [2] A. R. Permana¹, A. Riza, and D. W. Utama, "Study of Ball Valve Characteristics," 2023. [Online]. Available: www.ijisrt.com
- [3] S. ŞİRİN and M. YOLDAŞ, "Bir Vana Gövdesi Parçasında Oluşan Sıcak Yırtılma Hatasının Modellenmesi ve Tasarım Optimizasyonu," European Journal of Science and Technology, Jan. 2022, doi: 10.31590/ejosat.1044780.
- [4] M. M. Cüneyt and A. Balıkesir, "MAKNA MÜHENDSLİĞİ ANABLM DALI GG 22 LAMEL GRAFITLİ DÖKME DEMİRDEN ÜRETİLEN MOTOR SİLİNDİR GÖMLEKLERİNİN CNC TORNALAMA TEZGAHINDA İYİLEŞTİRİLMESİ YÜKSEK LİSANS TEZİ," 2006.
- [5] M. Çolak, E. Gavgalı, and İ. Arslan, "GRİ DÖKME DEMİRLERİN KATILAŞMA MODELLEMESİ VE GERÇEK DÖKÜMLER İLE KARŞILAŞTIRMASI," NWSA Academic Journals, vol. 13, no. 4, pp. 280–290, Oct. 2018, doi: 10.12739/nwsa.2018.13.4.1a0419.

- [6] B. Kurt, "FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ LAMEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRLERDE TERMAL ANALİZ YÖNTEMİ İLE KARBON EŞDEĞERLİĞİNİN TAYİNİ, MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN İNCELENMESİ YÜKSEK LİSANS TEZİ."
- [7] "5) Lamel Grafitli Dökme Demirlerde Silisyum'un Mekanik Özelliklere Etkisi".
- [8] L. Collini, G. Nicoletto, and R. Konečná, "Microstructure and mechanical properties of pearlitic gray cast iron," *Materials Science and Engineering: A*, vol. 488, no. 1-2, pp. 529-539, Aug. 2008, doi: 10.1016/j.msea.2007.11.070.
- [9] A. A. Wazzan, "Microstructure-Property Relationships in Cast Irons." [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/228653190>
- [10] E. Tan and Y. Lisans Tezi, "DÖKME DEMİRDEN İMAL EDİLEN HADDE MERDANELERİNİN AŞINMA DAVRANIŞINA BAKIR KATKI ORANININ ETKİSİ."
- [11] A. Diószegi, "ON MICROSTRUCTURE FORMATION AND MECHANICAL PROPERTIES IN GREY CAST IRON."
- [12] G. M. Goodrich, "Cast Iron Microstructure Anomalies and Their Causes Cast Iron Quality Control Committee 5J Report Principle Author."
- [13] L. R. M. Dias and A. E. Diniz, "Effect of the gray cast iron microstructure on milling tool life and cutting force," *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, vol. 35, no. 1, pp. 17-29, Mar. 2013, doi: 10.1007/s40430-013-0004-3.
- [14] "Industrial valves-Shell design strength-Part 1: Tabulation method for steel valve shells," 2005.
- [15] Flanges and their joints : circular flanges for pipes, valves, fittings and accessories, PN designated : part 1: steel flanges. British Standards Institute, 2007.
- [16] "ISO 945-1 Microstructure of cast irons-Part 1: Graphite classification by visual analysis COPYRIGHT PROTECTED DOCUMENT," 2008.
- [17] "TS EN 12266-1 Endüstriyel vanalar - Metal vanaların deneyleri".

Östenitik Paslanmaz Çeliklerde Farklı Deformasyon Hızları ve Deformasyon Miktarlarının Deformasyona Bağlı Martensitik Dönüşüme Etkisinin İncelenmesi

Ecemnur ÜNLÜ*, Burhanettin İNEM**

***KARDÖKMAK A.Ş., Karabük, Türkiye**

****GAZİ ÜNİVERSİTESİ, Teknoloji Fakültesi, Ankara, Türkiye**

ÖZET

Bu çalışmada, AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğine 0,2 mm/dak, 2 mm/dak ve 20 mm/dak çekme hızlarında soğuk deformasyon işlemi uygulanmıştır. Mikroyapı incelemeleri %20, %25, %30 ve %35 deformasyon miktarları baz alınarak yapılmış ve AISI 316 östenitik paslanmaz çelik numunelerinde soğuk deformasyondan kaynaklanan martensitik dönüşümün hacim oranının deformasyon hızı ve deformasyon miktarına bağlılığı araştırılmıştır. AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğinde deformasyon miktarı arttıkça oluşan martensit hacmi artmış, deformasyon hızı arttıkça adyabatik ısınmanın deformasyona bağlı dönüşümü baskılamasından ötürü martensit hacmi azalmıştır.

Anahtar kelime; AISI 316, Soğuk deformasyon, Deformasyona bağlı martensitik dönüşüm

ABSTRACT

In this study, cold deformation processes were applied to AISI 316 austenitic stainless steel at tensile speeds of 0.2 mm/min, 2 mm/min and 20 mm/min. Microstructure investigations were made on the basis of 20%, 25%, 30% and 35% deformation amounts, and the dependence of the volume ratio of martensitic transformation resulting from cold deformation on the deformation rate and amount of deformation in AISI 316 austenitic stainless steel samples was investigated. As the amount of deformation increased in AISI 316 austenitic stainless steel, the martensite volume formed increased, and as the deformation rate increased, the martensite volume decreased due to the suppression of transformation due to deformation by adiabatic heating.

Keywords; AISI 316, Cold deformation, Deformation induced martensitic transformation

1. GİRİŞ

Yüksek korozyon direnci, sıcak şekillendirmelerde tufal oluşturmama, soğuk şekillendirmelerde deformasyon pekleşmesi (γ) özelliğine sahip olma gibi birçok olumlu özelliği bir arada bulunduran paslanmaz çeliklerin günümüz endüstrisinde yeri çok büyüktür. Özellikle gıda, sağlık, otomotiv, havacılık gibi sektörlerde kullanımı çokça tercih edilen bu çelikler, ekonomikliği, tasarımdan beklenen kaliteyi karşılaması ve estetikliği aynı anda verebilen sınırlı sayıdaki malzemelerden birisidir [1,2]. Östenitik paslanmaz çeliklerin başlıca dezavantajı bu çeliklerin 400-850°C sıcaklıklara ısıtıldıklarında taneler arası korozyona karşı hassas olmalarıdır. Bu sıcaklık aralıklarında yavaş soğuma ve/veya bekleme krom karbür oluşumuna ve oluşan krom karbürlerin tane sınırlarına çökmesine neden olur [3]. Aynı zamanda bu tip çeliklerde soğuma esnasında faz değişimi olmadıgından ısıtılma işlemiyle sertleştirilemezler [2].

Deformasyona bağlı martensitik dönüşüm sürecinde, malzeme yapısında bulunan östenitik faz soğuk deformasyonun etkisiyle martensitik faza dönüşerek deformasyon pekleşme eğilimini artırır ve malzemenin boyun vermeden daha kararlı şekil değiştirmesine (homojen şekil değişimi) katkıda bulunur. [4]. Soğuk deformasyonla meydana gelen martensitik dönüşüm, martensitin çekirdeklenmesiyle başlar. Çekirdeklenme, yeni oluşan kayma bantları, kayma bantlarının kesişim noktaları, ikiz sınırları veya önceden de var olan bölgelerde gerçekleşebilir. Kayma bantı kesişimleri çekirdeklenme için en çok tercih edilen çekirdeklenme bölgeleridir [5]. Çekme modu, basma moduna göre deformasyona bağlı martensitik dönüşümün daha fazla olmasını sağlar [4].

Dönüşüm çekirdeklerinin sayısı deformasyona bağlı dönüşümü doğrudan etkiler. Östenitik paslanmaz çelikler için deformasyona bağlı martensitik dönüşüm sırasında iki olası dönüşüm dizisi vardır [5,6]:

I.Durum $\gamma \rightarrow \alpha'$ -martensit
II.Durum $\gamma \rightarrow \epsilon$ -martensit $\rightarrow \alpha'$ -martensit

Deformasyon miktarı arttıkça yapıdaki östenit hacmi azalırken martensit hacmi artar. Deformasyon miktarı istif hatalarının oluşumunu kolaylaştıracağından ϵ -martensit oluşumuna katkı sağlar. α' -martensit miktarı deformasyon miktarı ile sürekli artar, ϵ -martensit miktarı ise belli bir deformasyon miktarında maksimuma ulaşır ve azalmaya başlar [4]. Bu davranış, ϵ -martensit oluşumunun geçici olduğunu ve daha fazla deformasyonun sonunda α' -martensite dönüşeceğini gösterir. Bu nedenle $\gamma \rightarrow \epsilon$ -martensit $\rightarrow \alpha'$ -martensit dönüşümünün daha az deformasyonlarda gerçekleştiği sonucuna varılabilir [5].

Deformasyon hızının en önemli etkisi, soğuk deformasyonla $\gamma \rightarrow \alpha'$ dönüşümünü baskılayan adyabatik ısınmadır. Bu nedenle deformasyon hızı değişiklikleri α' -martensit oluşumunu, deformasyon pekleşmesi oranını, çekme mukavemetlerini ve sünekliklerini etkiler [7]. Deformasyon sıcaklığının düşürülmesi, martensit oluşumuna katkıda bulunur [4,6].

2. MATERYAL VE YÖNTEM

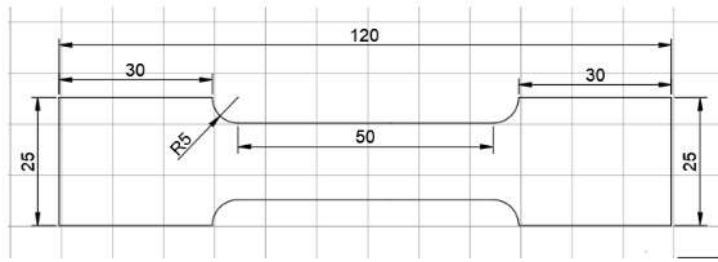
2.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler: Deneylerde AISI 316 kalite 5 mm et kalınlığına sahip paslanmaz çelik plaka kullanılmıştır. Paslanmaz çelik plaka Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümünden sağlanmıştır. Deneylerde kullanılan plakanın kimyasal analizleri Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü bünyesinde bulunan Bruker O4 Tasman spektral analiz cihazıyla yapılmıştır.

Paslanmaz çelik plakaların kimyasal analiz sonuçları Çizelge 1'de verilmiş olup kimyasal analiz değerleri standartlarda verilmiş değerleri karşılamaktadır.

Çelik Kalitesi		% Ağırlık							
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
AISI	Standart	0,08	1,0	2,0	0,045	0,03	16,0-18,0	10,0-14,0	2,0-3,0
	Bileşim	max	max	max	max	max			
316	Analiz Sonucu	0,046	0,301	1,712	<0,005	<0,002	16,93	11,31	2,2

Çizelge 1: Çalışmada kullanılan AISI 316 malzemenin ağırlıkça kimyasal içeriği

2.2. Numune Üretimi: Deneyleri yapılacak plakadan, Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Bölümü bünyesinde bulunan Mitsubishi MV1200 S CNC Tel Erozyon Tezgahı kullanılarak ASTM E8 standardına uygun ölçülerde (Şekil 1) toplamda üç adet çekme testi numunesi kesimi yapılmıştır.



Resim 1: ASTM E8 çekme testi numunesi ölçüleri



Resim 2: Tel erozyon kesim işlemi

2.3. Soğuk Deformasyon İşlemi: AISI 316 kalite numunelerin soğuk deformasyon işlemleri ISO 6892 standardına uygun olarak çekme testi ile gerçekleştirilmiştir. Çekme testi Gazi Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu bünyesinde bulunan 100 kN kapasiteli CheckWay çekme cihazında her bir numunenin çekme hızları farklı, yükleme miktarları aynı olacak şekilde yapılmıştır. Her bir numunenin yükleme miktarı 0,05 kN, çekme hızları ise sırasıyla 0,2 mm/dak, 2 mm/dak ve 20 mm/dak olarak uygulanmıştır.



Resim 3: CheckWay çekme cihazı

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

3.1. Çekme Testi Sonuçları: 0,2 mm/dak, 2 mm/dak ve 20 mm/dak olmak üzere 3 farklı çekme hızında soğuk deforme edilen numunelerin çekme testi sonuçları Çizelge 2'de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Çekme hızının artmasıyla birlikte numunelerde sıcaklık artışı meydana gelmiştir. 0,2 mm/dak çekme hızıyla deforme edilen numunede el ile hissedilebilen bir sıcaklık artışı olmadığı, 2 mm/dak çekme hızıyla deforme edilen numunede el ile tutulabilecek derecede bir sıcaklık artışı olduğu ve 20 mm/dak çekme hızı ile deforme edilen numunede ise el ile tutulamayacak kadar sıcaklık artışı olduğu gözlenmiştir. Her üç numunede de ısınmadan kaynaklı olarak akma ve çekme dayanımlarının düştüğü gözlenmektedir.

Çekme Hızı	Akma Dayanımı	Çekme Dayanımı	% Kopma Uzaması
	AISI 316	AISI 316	AISI 316
0,2 mm/dak	316 MPa	621 MPa	%87
2 mm/dak	305 MPa	600 MPa	%77,85
20 mm/dak	294 MPa	561 MPa	%67

Çizelge 2: Çekme testi sonuçları



Şekil 4: Deformasyon öncesi (a), deformasyon sonrası (b) ve ImageJ analizi ile martensitik fazın tanımlandığı optik mikroskop görüntüleri (c)

AISI 316 kalite östenitik paslanmaz çelik numunelerin optik mikroskop görüntülerinden yararlanılarak yapılan ImageJ analizinde kalıntı östenit ve martensit faz oranı taramaları Çizelge 3,4 ve 5'te verilmiştir.

Deformasyon Miktarı	Yüzey	Merkez
%20		
%25		
%30		
%35		

Çizelge 3: 0,2 mm/dak deformasyon hızı ile deforme edilen numunelerin ImageJ analizi ile martensitik fazın görüntülenmesi

Deformasyon Miktarı	Yüzey	Merkez
%20		
%25		
%30		
%35		

Çizelge 4: 2 mm/dak deformasyon hızı ile deforme edilen numunelerin ImageJ analizi ile martensitik fazın görüntülenmesi

Deformasyon Miktarı	Yüzey	Merkez
%20		
%25		
%30		
%35		

Çizelge 5: 20 mm/dak deformasyon hızı ile deforme edilen numunelerin ImageJ analizi ile martensitik fazın görüntülenmesi

Optik mikroskop görüntülerinde yapıda oluşan martensit fazının genellikle deformasyon yönünde olduğu gözlenmiştir. ImageJ programı kullanılarak hesaplanan martensit faz-hacim oranları Çizelge 6'da verilmiştir. Çizelge 6'da %25 deformasyon miktarında 0,2 mm/dak deformasyon hızıyla deforme edilen numunenin yüzey bölgesinde %52,79 martensit fazı gözlenirken, 20 mm/dak deformasyon hızı ile deforme edilen numunenin yüzey bölgesinde ise martensit hacminin %44,53 olduğu görülmektedir. Aynı şekilde %35 deformasyon miktarına sahip 2 mm/dak deformasyon hızı ile deforme edilen numunenin yüzey bölgesi martensit oranı %57,19 iken, merkez bölgesi martensit oranının %52,95 olduğu görülmektedir.

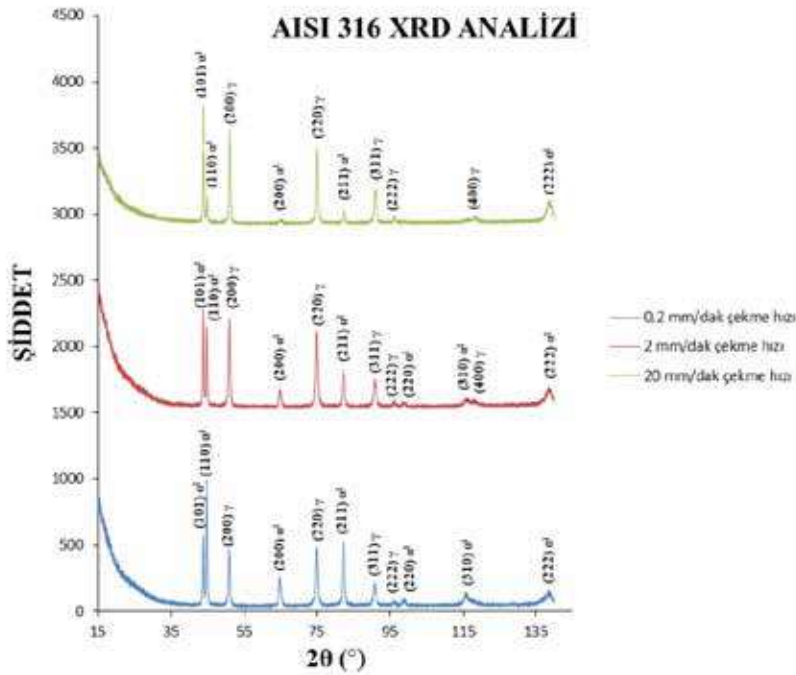
Yüzeydeki deformasyon miktarının merkeze göre fazla olması ve numune yüzeyindeki soğuma miktarının merkez bölgeye göre daha hızlı olmasından dolayı yüzeyde bulunan martensit faz hacminin merkeze göre daha fazla olduğu gözlenmektedir. Deformasyon hızı artışıyla birlikte numunelerde meydana gelen adyabatik ısınmanın martensitik dönüşümü baskılaması sebebiyle martensit faz-hacim oranının da azaldığı görülmektedir.

Deformasyon Hızı	Bölge	%20 Deformasyon	%25 Deformasyon	%30 Deformasyon	%35 Deformasyon
0,2 mm/dak	Yüzey	%51,16	%52,79	%55,25	%59,06
	Merkez	%48,86	%48,95	%54,89	%57,87
2 mm/dak	Yüzey	%36,72	%37,41	%47,91	%57,19
	Merkez	%36,49	%40,17	%47,56	%52,95
20 mm/dak	Yüzey	%31,60	%44,53	%51,16	%52,92
	Merkez	%30,19	%35,62	%42,38	%48,70

Çizelge 6: AISI 316 kalite çeliğin farklı deformasyon hızı ve miktarlarındaki martensit fazı hacim oranları

3.3. XRD Testi Sonuçları: Soğuk deformasyon işlemi sonrası martensitik dönüşümü tespit edebilmek amacıyla numunelere XRD testi yapılmıştır. Bu işlem Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nde bulunan Bruker D8 Advance XRD Cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Numunelerin faz tayinlerinde Cu-K α radyasyonu kullanılmıştır. X ışını giriş açısı 150 olarak seçilmiş ve taramalar 150-1400 aralığında yapılmıştır.

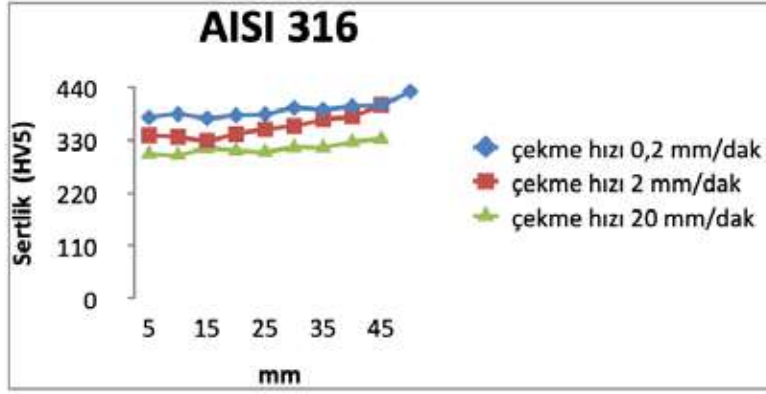
Yapılan XRD testlerinin sonucunda her üç numuneden de östenit (γ) ve martensit (α') pikleri elde edilmiştir. Pik yansımalarından soğuk deformasyonla oluşan martensit fazının kristal kafes yapısına göre hangi tür martensit faz (ϵ -martensit veya α' -martensit) olduğu Şekil 5'te gözlenen pik yoğunlukları ve şiddet değişimlerine göre anlaşılabilir.



Şekil 5: XRD testinden elde edilen grafikler

3.4. Sertlik Testi Sonuçları: Numuneler Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nde bulunan Emco Test Duravision 2000 Sertlik Cihazında, 5 kg yük kullanılarak sertlik ölçüm işlemleri yapılmıştır. Numunelerden deformasyon yönüne dik olacak şekilde her 5 mm'de bir üç farklı bölgeden mikrosertlik (HV5) ölçümleri alınmış ve aritmetik ortalamaları hesaplanmıştır.

Şekil 6'dan yararlanılarak 0,2 mm/dak çekme hızı ile soğuk deforme edilen numunenin sertlik değerlerinin en yüksek sertlik değerlerinde olduğu, 20 mm/dak çekme hızı ile soğuk deforme edilen numunenin sertlik değerlerinin ise en düşük değerlerde olduğu gözlenmektedir. Deformasyon hızına bağlı olarak meydana gelen sertlik değerlerindeki değişim malzeme yapısında soğuk deformasyonla oluşan martensit fazı hacim oranının deformasyon hızı ile ilişkili olduğunu göstermektedir. Deformasyon hızındaki artışla birlikte numunelerde meydana gelen adiabatik ısınmanın martensitik dönüşümü baskılaması deformasyona bağlı sertleşmenin de azalmasına sebep olmaktadır.



Şekil 6: Farklı hızlarda deforme edilen numunelerin sertliklerinin karşılaştırılması

4. SONUÇLAR

- Deformasyon öncesi miknatıslanmayan AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğin soğuk deformasyon sonrası deformasyon bölgelerinden miknatıslanmış gözlenmiştir. Bu YMK yapıdaki östenit fazının HMK yapıdaki martensit fazına dönüştüğünün göstergesidir.
- Çekme testi sonuçlarından yararlanılarak tüm numunelerde soğuk deformasyonla birlikte %kopma uzaması değerlerinin düştüğü gözlenmiştir. Adyabatik ısınmadan kaynaklı olarak ısınma gözlenen numunelerde akma ve çekme dayanımlarının düştüğü görülmüştür.
- Yapılan XRD analizlerinde östenit ve martensit pikleri gözlenmiştir.
- AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğinin XRD analizlerindeki martensit pik şiddetlerinin değişimi, oluşan martenzitin kristal yapısının değiştiğini, yani ϵ -martenzit (SPH) veya α' -martenzit (HMK) dönüşümü olduğunu göstermektedir.
- Optik mikroskop görüntülerinden yararlanılarak AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğinin martensit fazı hacim oranı hesaplamaları ImageJ programı kullanılarak yapılmıştır. Yapılan hesaplamalara göre deformasyon miktarı arttıkça martensit fazı hacim oranı artmış fakat deformasyon hızı arttıkça adyabatik ısınmanın martensitik dönüşümü baskılamasından dolayı martensit fazı hacim oranı azalmıştır. Yüzeyde oluşan martensit fazının oranı soğumanın numune merkezine göre daha hızlı olmasından dolayı merkezde oluşan martensit faz oranına göre daha yüksektir.

5. SEMBOLLER

Semboller

γ

α

σ

ϵ

σ_{ak}

HMK

YMK

AISI

μm

EN

MPa

HMT

SPH

α' -martenzit

ϵ -martenzit

Açıklama

Östenit

Alfa

Gerilme

Gerinim

Akma Dayanımı

Hacim Merkezli Kübik

Yüzey Merkezli Kübik

American Iron and Steel Institute

Mikrometre

Europeane Norm

Megapaskal

Hacim Merkezli Tetragonal

Sıkı Paket Hegzagonal

Alfa-martenzit (HMK)

Epsilon-martenzit (SPH)

mm	Milimetre
ASTM	American Society for Testing and Materials
ISO	International Organization for Standardization
dak	Dakika
XRD	X Işını Kırınımı
HV	Vickers Sertliği
kg	Kilogram

6. TEŞEKKÜR

Lisans Mezuniyet Projesi kapsamında gerçekleştirdiğim bu çalışmanın danışmanlığını üstlenen, çalışmalarım esnasında değerli bilgi ve tecrübeleriyle beni yönlendiren, öğretici ve yol gösterici desteğini benden hiçbir zaman esirgemeyen, yaptığım çalışma için tüm olanakları kullanmamı sağlayan saygıdeğer hocam Prof. Dr. Burhanettin İNEM'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Deneylerde kullanılacak numunelerin tel erozyon kesim yöntemiyle kesim işlemi bakımından İmalat Mühendisliği Bölümü Arş. Gör. Muhammed Furkan ERHAN, çekme deneylerinin yapılması bakımından Prof. Dr. Alpay ÖZER ve laboratuvar çalışmalarımda katkıları bulunan Gazi Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü hocalarımıza teşekkürlerimi borç bilirim.

Termal Pnömatik Kum Rejenerasyon Sistemi Uygulaması

Hakan GÜNDÜZ*, **Emrah EROĞLU****, **Hande BİRENGEL ZİLE****

***3D Grup Mühendislik Danışmanlık Sanayi ve Tic.Ltd.Şti**

****Erkunt Sanayi A.Ş., Ankara, Türkiye**

ÖZET

Döküm endüstrisi, maça üretiminde kritik öneme sahip silis kumunu yoğun olarak kullanmaktadır. Geleneksel tedarik yöntemlerinin çevresel ve maliyet açısından zorluklar oluşturması, kum rejenerasyon sistemlerini önemli bir alternatif haline getirmiştir. Araştırmalar mekanik, pnömatik ve termal metotlar arasında, termal ve pnömatik rejenerasyonun silis kumunu uzun döngüler boyunca kalitesini bozmadan yeniden kullanabildiğini göstermiştir. Kum rejenerasyon sistemleri çevre dostu, sürdürülebilir ve maliyet etkin çözümler sunar; kaynakların tükenme riskini azaltır ve dökümhanelerin karbon ayak izini önemli ölçüde düşürür. Bu çalışmada, şirket için en uygun termal ve pnömatik rejenerasyon kombinasyonu seçilerek başarıyla uygulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Maça Kum, Kalıp Kum, Rejenerasyon, Reklamasyon, Kum Sistemi, Termal Reklamasyon, Pnömatik Reklamasyon, Mekanik Reklamasyon

Thermal Pneumatic Sand Reclamation System Adaptation

ABSTRACT

The foundry industry makes extensive use of silica sand, which is critical in core production. Traditional supply methods pose environmental and cost challenges, making sand regeneration systems an important alternative. Research has shown that between mechanical, pneumatic and thermal methods, thermal and pneumatic regeneration can reuse silica sand over long cycles without degrading its quality. Sand regeneration systems offer environmentally friendly, sustainable and cost-effective solutions, reducing the risk of resource depletion and significantly reducing the carbon footprint of foundries. In this study, the optimal combination of thermal and pneumatic regeneration was selected and successfully implemented for the company.

Key Words: Core Sand, Mold Sand, Green Sand, Reclamation, Reclamation, Sand System, Thermal Reclamation, Pneumatic Reclamation, Mechanical Reclamation

1. GİRİŞ

Türkiye’de döküm sektörüne yönelik silis kumu madenciliği, özellikle Şile bölgesinde yoğunlaşmış durumdadır. Şile’deki silis kumu rezervleri, yüksek kaliteli malzemeler olup, kolaylıkla ve düşük maliyetle çıkarılabilmektedir. Ancak, bölgenin eğitim, konut ve turizm merkezi olması ve aynı zamanda İstanbul il sınırları içinde yer alması, madencilik faaliyetlerinde çeşitli zorlukları beraberinde getirmektedir. Bu sorunların başında Orman Bakanlığı’nın 2021 yılında İstanbul genelinde madencilik faaliyetlerini durdurması gelmektedir. Özellikle Şile’deki yaklaşık 380 bin tonluk silis kumu rezervine erişim izni verilmemesi, döküm firmalarını alternatif çözümler aramaya yönlendirmiştir.

Bu zorluklara ek olarak, yurt dışından getirilen kumların yüksek maliyeti de sektördeki rekabeti olumsuz etkilemektedir. Ancak, bu tür zorluklara karşı döküm firmaları, çevresel sürdürülebilirlik ve maliyet azaltma açısından önemli bir adım olan kum rejenerasyon sistemlerine yönelmektedir. Bu sistemler, atık kumun yeniden işlenmesini sağlayarak, döküm sektöründe hem çevresel etkiyi azaltmakta hem de maliyetleri düşürmektedir. Bu bağlamda, kum rejenerasyon sistemlerinin kullanımı, sektördeki önemli bir strateji olarak öne çıkmaktadır.

1.1. Kum Rejenerasyon Sistemlerine Duyulan İhtiyaç

Dökümhanelerde kum rejenerasyon sistemlerine olan ihtiyaç hızla artmaktadır. Bu gereksinim, öncelikle silis kumunun piyasa koşullarına bağlı olarak birim fiyatında yaşanan dalgalanmalardan kaynaklanmakta ve bu durum, işletmeler üzerinde olumsuz finansal etkiler yaratmaktadır. Ayrıca, küresel ölçekte silis kumu üretimindeki düşüşler, döküm endüstrisinde kritik arz risklerini beraberinde getirmektedir. Bu bağlamda, dökümhaneler rekabetçi kalabilmek ve üretim sürekliliğini sağlamak amacıyla alternatif çözümler arayışına girmektedir.

Şile (İstanbul) dışındaki kaynaklara bakıldığında, Türkiye’nin çeşitli bölgelerinde silis kumu rezervleri bulunmakla birlikte, bu rezervlerin Şile’deki yüksek kaliteli silis kumuna eşdeğer nitelikte olmadığı gözlemlenmiştir. Yurt dışı kaynaklara yönelik yapılan incelemeler, Batı Avrupa menşeli hazır ürünlerin temin edilebileceğini göstermektedir. Ancak, bu ürünlerin yüksek maliyetleri ve büyük miktarlarda tedarik edilememesi, Türk sanayisinin ihtiyaçlarını tam anlamıyla karşılamakta uzaktır.

Bu nedenlerle, döküm endüstrisinde kum rejenerasyon sistemlerine olan talep artmakta ve bu sistemler ekonomik ve çevresel açıdan önemli avantajlar sunmaktadır. Dökümhaneler için kum rejenerasyon sistemlerine yatırım yapmak, sektörde rekabet gücünü koruyabilmek ve sürdürülebilir bir üretim modeli oluşturabilmek adına kritik bir önem taşımaktadır.

1.2. Kum Rejenerasyon Sistemleri Çıktı Ve Faydaları

Dökümhanelerde kullanılan maça ve kalıp kumları için ayrı odaklı reklamasyon sistemleri mevcuttur. Bu çalışmada, kalıplamada atık olarak oluşan kumun, maça kumu olarak kullanıldığı reklamasyon Sistema üzerinde çalışma yürütülmüştür. Reklamasyon sisteminde amaçlanan, ADV’nin (asit değerinin) düşürülmesi, yanma kaybının azaltılması, kumun içerisinde bulunan bağlayıcı ve kil miktarının azaltılması, kullanılmış kumun içerisinde yer alan ince partiküllerin ayrıştırılması ve istenen AFS değerinin korunmasıdır. Bu amaçla yürütülen reklamasyon faaliyetleri sayesinde kazanılan temel faydalar aşağıda listelenmiştir.

1.2.1. Malzeme Maliyetlerinde Azalma

Rejenerasyon sistemi, girdi malzemesi olarak kullanılan silis kumunun miktarını azaltarak önemli maliyet tasarrufları sağlar. Kullanılmış kumun yeniden işlenmesi, yeni kum alımını minimuma indirir ve dökümhanelerin malzeme maliyetlerini düşürür. Bu durum, özellikle yüksek hacimli üretim yapan dökümhaneler için ciddi bir ekonomik avantaj yaratır.

1.2.2. Atık Yönetim Maliyetlerinde Azalma

Rejenerasyon sistemi, dökümhanelerde oluşan atık kum miktarını önemli ölçüde azaltır. Yeniden kullanılan kum, bertarafa gönderilecek atık miktarını düşürerek atık yönetimi maliyetlerini azaltır. Bu, çevresel yükü hafifletirken atık bertarafı için harcanan maliyetleri de düşürür.

1.2.3. Çevresel Sürdürülebilirlik

Rejenerasyon sistemi, dökümhanelerin çevresel ayak izini azaltarak çevresel sürdürülebilirliği destekler. Atık kumun geri dönüştürülmesi, doğal kaynakların tüketimini azaltır ve daha sürdürülebilir bir üretim süreci sağlar. Ayrıca, atık kumun doğaya bırakılmasının önlenmesi, çevresel kirliliğin azaltılmasına katkıda bulunur.

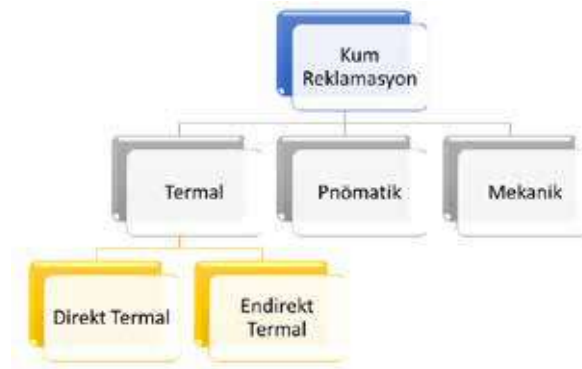
1.2.4. Kalite ve Performans Artışı

Rejenerasyon sistemi ile işlenen kum, belirli kalite standartlarına uygun hale getirilir. Bu sistem, kumun içinde kalan bağlayıcı ve kil içeriğini azaltır, aglomerasyonları (yığılmaları) giderir ve ince partikülleri uzaklaştırır. Sonuç olarak, elde edilen kum daha homojen bir yapıya sahip olur ve döküm kalitesini artırır. Ayrıca, AFS (American Foundry Society) standardını koruyarak, kumun döküm performansını iyileştirir.

1.2.5. Operasyonel Esneklik

Rejenerasyon sistemleri, dökümhanelere operasyonel esneklik sağlar. Kumun tekrar kullanılabilirliği, üretim süreçlerinde kesintisiz bir malzeme akışı sağlar ve tedarik zincirine bağımlılığı azaltır. Bu, üretim planlamasında daha fazla esneklik ve verimlilik sağlar.

1.3. Rejenerasyon Sistem Çeşitleri



Şekil 1: Atık Kalıp Kum - Maça Kum Rejenerasyonu Sistem Çeşitleri Şeması

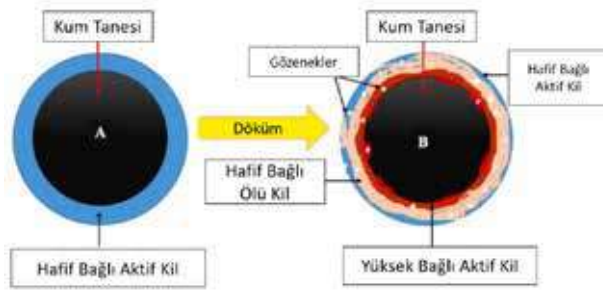
Kalıp kumu reklamasyon prosesi için sektörde en yaygın kullanılan 3 temel Teknik mevcuttur. Bu teknikler, farklı operasyonel sıralar ve kombinasyonlar ile çalışılarak sistem dizaynı yapılmakta ve entegratör firmalar tarafından uygulanmaktadır.

3.1. Termal Reklamasyonun Uygulanması

Termal reklamasyon, kumun yüksek sıcaklıklarda ısıtılmasıyla organik ve karbon bazlı kirliliklerin tamamen yanmasını sağlar. Bu süreç, kumun saflığını artırarak döküm işlemlerinde daha yüksek kaliteli sonuçlar elde edilmesine yardımcı olur. Kumun 500°C - 800°C aralığında ısıtılması, içindeki organik bağlayıcılar, karbon bazlı kirleticiler, kömür tozu ve bentonit gibi maddelerin tamamen yanmasını sağlar. Bu, kumun içerdiği safsızlıkların etkin bir şekilde temizlenmesini ve yeniden kullanım için uygun hale getirilmesini sağlar.

Bentonit termal reklamasyon sürecinde kimyasal bağlarını kaybetmez ve yanmazsa, kumun geri kazanılabilirliği ve kalitesi olumsuz etkilenir. Bentonitin yapışkan kalması, kumun yeniden kullanımını zorlaştırır, döküm kalıplarında yüzey kusurlarına yol açar ve kumun akışkanlığını engeller.

Ayrıca, termal iletkenlik ve mekanik dayanım gibi özellikler bozulabilir, bu da döküm işlemlerinde sorunlara neden olur. Bu durumda, ek mekanik veya kimyasal işlem gereksinimi doğar, bu da maliyet ve zaman kaybına yol açar. Uygun sıcaklık ve süre ayarlamaları ile bentonitin etkin şekilde yanması sağlanmalı ve emisyonlar kontrol altında tutulmalıdır.



Şekil 2: Döküm Prosesinde Silis Kum Tanesi Dış Yüzey Anlatım Görseli

Termal reklamasyon teknikleri iki ana kategoriye ayrılmaktadır: direkt termal ve endirekt termal. Bu teknikler, kum taneciklerinin ısıya maruz kalma şekline göre farklılık göstermektedir. Direkt termal sistemde, kum taneleri doğrudan alev temas ederken, endirekt termal sistemde akışkan yataklı sistem kullanılarak alev ile doğrudan temas edilmeden dolaylı olarak ısı aktarımı sağlanmaktadır.

Direkt Termal Reklamasyon: Direkt termal reklamasyon sistemlerinde, termal ünite içerisindeki ateşleyicilerden çıkan alev doğrudan kum yüzeyine temas eder. Bu yöntem, kumun yüzeyindeki bağlayıcıların ve organik bileşiklerin hızlı ve etkili bir şekilde yanmasını sağlar. Ancak, bu yöntem, kumun homojen olarak ısınmasını garanti etmez ve bazı bölgelerde aşırı ısınma veya yanma oluşma ihtimali yüksektir.

Endirekt Termal Reklamasyon: Endirekt termal reklamasyon sistemleri, akışkan yataklı sistem kullanılarak ısı değişimini gerçekleştirir. Isı değişimi sırasında, kuma alt bölgeden sağlanan hava akışı ile sıvı benzeri özellik kazandırılır. Bu durum, ısıtma veya soğutma yüzeylerinde sıcaklık değişimini önemli ölçüde artırır ve hassas sıcaklık kontrolü sağlar. Akışkan yatak mekanizması, kumun her bir taneciğinin eşit şekilde ısıtılmasını sağlayarak ısıtma sürecinde büyük bir rol oynar. Bu teknik, daha homojen bir ısıtma ve dolayısıyla daha etkili bir reklamasyon sağlar.

Bu tekniklerin seçimi, dökümhanenin spesifik ihtiyaçlarına ve mevcut operasyonel koşullarına bağlı olarak yapılmalıdır. Her iki yöntem de çeşitli avantajlar sunar ve doğru uygulandığında dökümhane verimliliğini ve sürdürülebilirliğini arttırmaktadır.

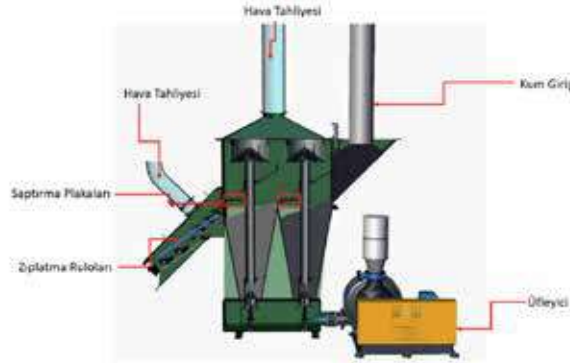
3.2 Pnömatik Reklamasyon

Yerçekimi beslemeli bir sistemde, türbin üfleyici, havayı toplama noktasına ileterek, burada patlama tüpünün altındaki nozülünden hızla geçmesini sağlar. Bu süreçte, kum veya medya, patlama tüpünden yukarı doğru hızlanarak hedefe doğru ilerler. Kum, hedefe çarptığında yüzeyi temizler ve tekrar düşerken toz toplayıcı ince partikülleri uzaklaştırır.

Sistem içerisinde yer alan saptırma plakaları, kumun tutulma süresinin ve çıkış kalitesinin ayarlanmasına olanak tanır. Plakalar geniş açıldığında, kum hızla geçer ve üst kısma çok daha kısa sürede ulaşır. Plakalar kapatıldığında ise, sistemdeki kum daha uzun süre kalır, üst kısma daha fazla çarpar ve reçineden daha kolay ayrılır.

Ayrıca, sistemde "zıplama ruloları" adı verilen bir bileşen bulunmaktadır. Bu bileşen, kum içerisindeki tozları zıplama hareketiyle havalandırarak sistemin verimliliğini artırır. Bu sayede, kumun

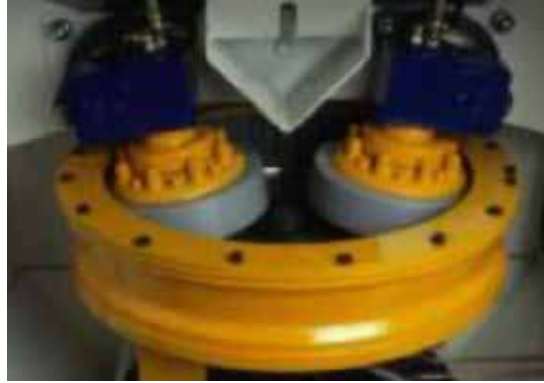
temizleme işlemi daha etkin hale gelir ve sistemin genel performansı yükselir. Zıplatma ruloları üzerinde yer alan hava tahliye mekanizması, operasyonda oluşan tozu sistemden dışarı çekerek temizleme işlemini destekler.



Şekil 3: Pnömatik Reklamasyon Ünitesi Temel Öğeleri

3.3 Mekanik Reklamasyon

Mekanik kum reklamasyon tekniğinde, kum mekanik reklamasyon ünitesi içerisine alınır. Bu ünite içerisinde yer alan USR silindirleri yardımı ile, kum mekanik olarak temizlenmektedir. Bu işlem için kullanılan USR silindirleri, eş şekilde çalışarak öğütme benzeri bir operasyon gerçekleştirilmesine olanak sağlar. Bu işlemde USR silindirlerinin imal edildiği malzeme türü önemlidir. Sürekli olarak yapılan mekanik işlem, USR ömrünü etkilemektedir.



Şekil 4: Mekanik Reklamasyon Ünitesi USR Ruloları Görseli

2. ÖN TEST ÇALIŞMALARI VE SİSTEM TASARIMI

2.1. Ön Test Çalışmaları

2.1.1. Reklamasyon Öncesi ve Sonrası Kum Tanelerinin Fiziksel İncelemeleri

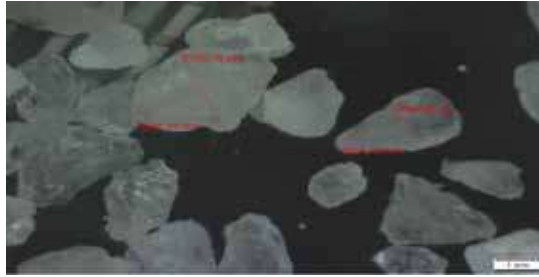
Ön test çalışmaları kapsamında, farklı reklamasyon tekniklerinin kum çıktısına etkisini araştırmak amacıyla bu tekniklerin öncesi ve sonrasında kumların mikroskop altındaki genel fiziksel görüntüleri değerlendirilmiştir. Tüm teknikler incelendiğinde, reklamasyon öncesinde kum tanelerinin köşeli ve sivri kenarlara sahip olduğu gözlemlenmiştir. Hem mekanik hem de termal reklamasyon işlemleri sonrasında ise, bu köşeli yapıların yerini yuvarlak kenarlara bıraktığı tespit edilmiştir.



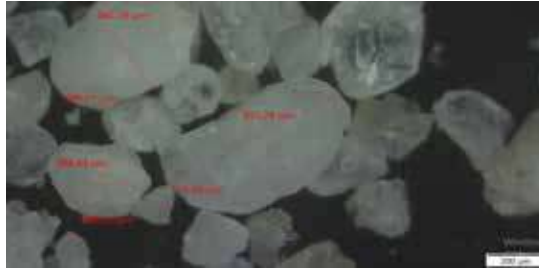
Şekil 5: Atık Kalıp Kumunun Reklamasyonu Kum Mikroskop Görüntüleri

2.1.2 Isının Silis Kumuna Fiziksel Etkisinin İncelenmesi

Endirekt ve direkt termal reklamasyon farklarının temel olarak anlaşılabilmesi ve ısının silis kumuna fiziksel etkilerinin doğrudan incelenmesi amacıyla laboratuvar koşullarında bir ön test gerçekleştirilmiştir. Bu ön testin amacı, ısının 47-52 AFS silis kumuna etkilerini değerlendirmektir. Deney kapsamında, 47-52 AFS silis kumu 800°C sabit sıcaklıkta bekletilmiş ve kum taneciklerinde deformasyon veya fiziksel değişim olup olmadığı mikroskop altında detaylı olarak incelenmiştir.



Şekil 6: 47-52 AFS Silis Kumunun Mikroskop Görüntüsü (Deneme Öncesi)



Şekil 7: 47-52 AFS Silis Kumunun Mikroskop Görüntüsü (Deneme Sonrası)

Deneme sonucunda eser miktarda bazı kum taneciklerinde renk değişimi gözlemlenmiştir. Haricinde herhangi bir olumsuz durum fiziksel olarak tespit edilmemiştir.

2.1.3 Erkunt Atık Kalıp Kumunun Reklamasyon Öncesi İncelenmesi

Erkunt atık kalıp kumu, entegratör firmanın test alanına gönderilmiştir. Bu alanda uygulanması planlanan sistemle Erkunt atık kalıp kumunun reklame edilmesi gerçekleştirilmiştir. Bu işlem sonrasında elde edilen reklame kumu, Erkunt kum laboratuvarlarında çeşitli testlere tabi tutulmuştur. Testlerin amacı, farklı kum reçetelerinde Erkunt atık kalıp kumunun reklamasyon operasyonu sonrasındaki performansını değerlendirmektir. Test sonuçlarında hazırlanan çekme çubukları ile üretilen maçalarda kesme mukavemet (kN/cm^2) testleri yapılmıştır. Sonuçlar aşağıdaki tabloda sunulmuştur.

COLD BOX DENEME 1					
Big Bag 1					
%100 Rejenerasyon Kumu					
Atık Rejine Oranı %0,6					
DERHAL	1 SAAT	2 SAAT	4 SAAT	24 SAAT	
0,3	0,32	0,35	0,35	0,36	0,36
0,32	0,35	0,36	0,36	0,36	0,36

COLD BOX DENEME 2					
Big Bag 1					
%100 Rejenerasyon Kumu					
Atık Rejine Oranı %0,6					
DERHAL	1 SAAT	2 SAAT	4 SAAT	24 SAAT	
0,19	0,26	0,34	0,34	0,26	0,26
0,19	0,26	0,25	0,24	0,26	0,26

COLD BOX DENEME 3					
Big Bag 1					
%80 Rejenerasyon %20 Kromat					
Atık Rejine Oranı %0,6					
DERHAL	1 SAAT	2 SAAT	4 SAAT	24 SAAT	
0,27	0,3	0,32	0,34	0,35	0,35
0,28	0,3	0,35	0,36	0,37	0,37

COLD BOX DENEME 4					
Big Bag 2					
%80 Rejenerasyon %20 Forbad					
Atık Rejine Oranı %0,6					
DERHAL	1 SAAT	2 SAAT	4 SAAT	24 SAAT	
0,3	0,35	0,42	0,42	0,45	0,45
0,35	0,4	0,42	0,42	0,45	0,45

Çizelge 1: Farklı Reçetelerle Gerçekleştirilen Maça Kesme Mukavemeti Denemeleri (kN/cm²)

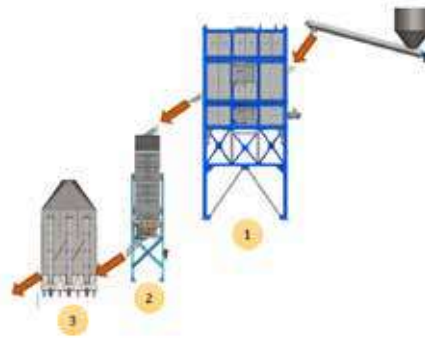
2.2 Sistem Tasarımı

Sistem tasarımı, entegratör firma tarafından özenle gerçekleştirilmiştir. Bu sistemde süreç, termal reklamasyon ile başlamaktadır. İlk aşamada, indirekt termal reklamasyon yöntemi kullanılmaktadır. Termal reklamasyon ünitesinde seramik fiber ve ateş tuğlaları yer almakta olup, akışkan yataklı sistem sayesinde alevin doğrudan kuma temas etmesi engellenmiştir. Bu işlem, sıcak hava teması ile tamamlanmaktadır.

İkinci aşamada, termal reklamasyon ünitesinden çıkan kum, kum soğutucu ünitesine alınmaktadır. Bu ünitelerden geçerken kumun sıcaklığı yaklaşık 700 °C'dir. Soğutucu ünitenin etrafında yer alan ısı eşanjörleri, kumun etrafında dolaşarak ve kanallarda dolaşan soğuk su yardımıyla etkili bir şekilde soğutulmasını sağlar.

Üçüncü ve son aşamada, kum pnömatik reklamasyon ünitesine girmektedir. Bu üniteye ulaşmadan önce kum, soğutma ünitesinde yaklaşık 50 °C'ye kadar soğutulmuştur. Pnömatik reklamasyon operasyonu sonrasında, işlem görmüş kum kullanıma hazır hale gelir. Bu sistem, termal ve pnömatik reklamasyon süreçlerini birleştirerek verimli ve etkili bir kum geri kazanımı sağlamaktadır.

Tüm operasyonlar tamamlandıktan sonra, sisteme verilen %100 atık kum, %80-%85 oranında reklame kum çıktısı sağlamaktadır. Aradaki fark ise sistemden toz olarak ayrıştırılmaktadır.



Şekil 8: Termal-Pnömatik Reklamasyon Sistemi Temel Şeması

3. SİSTEM TEST SÜRECİ VE ÇIKTILARI

3.1.Kontrol Parametrelerinin Belirlenmesi

Reklamasyon kumu test süresince ve sistem devreye alınması sonrası kontrol edilmesi gereken jenerik parametrelerin belirlenmesi ile sürece başlanmıştır.

Kontrol parametreleri belirleme işleminde, her bir parametre için atık kalıp kumu (reklamasyon giriş kumu) ve sistem çıkış kumu değerleri kayıt altına alınmıştır.

Bu parametreler iki kategori altında ayrılmaktadır.

3.1.1. Kum Kontrol Parametreleri

Reklamasyona giriş kumu (atık kalıp kumu) ve reklamasyon çıkış kumu kontrol parametreleri aşağıda listelenmiştir.

- *AFS Kil
- *AFS Tane İncelik No
- *Aktif Kil
- *Yanma Kaybı
- *Uçucu Madde Miktarı
- *PH
- *Oolitleşme Miktarı

3.1.2. Maça Kontrol Parametreleri

Maça kontrol parametreleri aşağıda listelenmiştir.

- *Maça Kesme Mukavemeti
- *Maça Kırık Firesi

3.1.3. Parça Kontrol Parametreleri

Parça kontrol parametreleri aşağıda listelenmiştir.

- *İç Sinterleşme Kontrolleri
- *Parçada Maça Kırık Firesi
- *Temizleme (Tamamlama) Süreleri
- *Döküm Parçada Yüzey Pürüzlülüğü Kontrolleri

3.2.Sistem Test Sürecinde Reklamasyon Kumu Fiziksel Özellikleri

Sistem test sürecinde reklamasyon kumu fiziksel özellikleri en az laboratuvar testleri kadar sıkı şekilde takip edilmesi gereken önemli kontrollerden biridir. Bu kontroller kolaylıkla gerçekleştirilmekte olup, kullanıcıya çok kısa sürede birçok konu hakkında fikir verebilir niteliktedir.



Şekil 9: Kalıplama Atık Kumu (Solda) ve Reklamasyon Çıktı Kumu (Sağda) Görünüşü

Sistem test sürecine ilk başladığında, elde edilen reklamasyon kumu görüntü bakımından silis kumundan rahatlıkla ayırt edilebilmektedir.



Şekil 10: Reklamasyon Çıktı Kumu İlk Deneme (Solda) ve Silis Kumu (Sağda) Fiziksel Görünüşü

Sistem test sürecinde elde edilen ilk deneme kumu, seri üretimde kullanılmamış olup sadece test kumu olarak değerlendirilmiştir. Tespit edilen fiziksel farklılıkların yanı sıra yapılan laboratuvar kontrolleri neticesinde, termal reklasman ünitesinin yanma odasında gerekli ayarlamalar yapılmıştır. Brülör sıcaklıkları yeniden gözden geçirilmiştir.

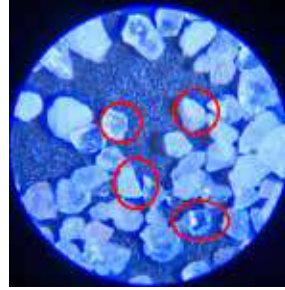
Bu ayarlamalar sonrasında tekrar çıktı kumu elde edilmiştir. Elde edilen bu kumun 47-52 AFS silis kumu ile fiziksel görünümünün karşılaştırıldığı görsel aşağıda sunulmaktadır.



Şekil 11: Reklamasyon Çıktı Kumu (Solda) ve Silis Kumu (Sağda) Fiziksel Görünüşü

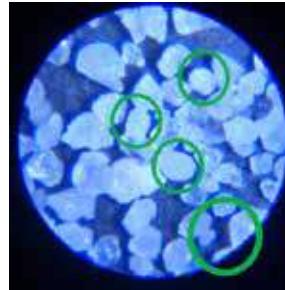
3.3 Kumun Mikroskop Altındaki Görüntülerinin Karşılaştırılması

Yapılan deneme çalışmalarından sonra seride kullanıma geçilmeden önce reklamasyon kumu ile 47-52 AFS silis kumunun mikroskop altında tane yapıları incelenmiştir. 47-52 AFS dağılımlı kumda kumun yapısının köşeli olduğu görülmektedir. (Şekil 12)



Şekil 12: 47-52 AFS Dağılımlı Silis Kumu Mikroskop Altında Görüntüsü

Termal Pnömatik reklasman işlemi sonrasında elde edilen kumun mikroskop altındaki görüntüsü aşağıda verilmiştir. Görselde de görüldüğü gibi kumun tane yapısında küreselleşme ve dış çeperinde istenen yuvarlaklaşma görülmektedir. (Şekil 13)



Şekil 13: Reklamasyon Kumu Mikroskop Altında Görüntüsü

3.4 Seri Üretimde Reklamasyon Kumu Testleri

Entegratör firmada gerçekleştirilen kum testlerinin ardından tesis kurulumunu takiben Erkunt kum laboratuvarlarında ilave testler gerçekleştirilmiştir. Bu testlerde, yukarıda belirlenen parametreler titizlikle takip edilmiştir. Reklamasyon ünitesinin seri üretime devreye alınmasının ilk aşamasında, testler vardiya başına üç kez yapılacak şekilde bir yapı kurulmuştur. İlerleyen

dönemlerde kontrol frekansı, vardiyada bir kez olarak genişletilmiştir. Test frekansının genişletilmesi, işletmelerin kendi kum test sonuçlarına dayanarak alması gereken bir karar olarak değerlendirilmiştir.

Test işlemlerinde, her bir belirlenen kum parametresi için, reklamasyon giriş kumu (atık kalıp kumu) ve reklamasyon çıkış kumu (maça üretimi giriş kumu) olmak üzere iki farklı kum değerlendirilmiştir. Tüm test çalışmalarında, kum testleri hem giriş hem de çıkış kumu olarak incelenmiştir.

Test sonuçları ve değerlendirmeler aşağıdaki tabloda sunulmuştur. Sistem seri üretime geçtikten sonra belirlenen parametrelerde herhangi bir anormal durum tespit edilmemiştir.

KONTROL LİMİTLERİ	AFS Kİ		AFS Tane İncecik		Aktif Kİ		Yanma kaybı		Uçucu Madde		pH		Oolitlenme	
	Giriş Kumu	Çıkış Kumu	Giriş Kumu	Çıkış Kumu	Giriş Kumu	Çıkış Kumu	Giriş Kumu	Çıkış Kumu	Giriş Kumu	Çıkış Kumu	Giriş Kumu	Çıkış Kumu	Giriş Kumu	Çıkış Kumu
	Max. 8,50 (%)		1/ 50-55 3/ 47-52		5-7,5 (%)	0		0-0,1(%)		0-0,1(%)		6,5-8,0		
1	9,68		51		5,1		5,3		4,3		10,27			
2	11,85		64		5		6,9		4		10,14			
3	13,26	0,28	66	53	7	0	7,5	0,1	0,06	10,27	6,9	16,48	1,74	
4	11,14		65		5		5,9		3,3		10,33		15,9	
5	9,76	0,18	58	53	5,25	0	4,8	0	2,8	0,09	10,31	6,85	15,7	2,42
6	11,58	0,21	65	54	6,7	0	6,5	0,02	3,3	0	9,95		7,8	
7	9,84		58		6,8		5,4		3,6		9,94			
8	10,38	0,24	60	54	7,7	0	5,9	0	3,9	0	9,94		7,33	
9	12,1		61		6,9		5,2		3		10,16			
10	11,21		61		6,8		5,7		3,1		10,08			
11	10,6	0,26	63	48	6,9	0	6	0	4,4	0	9,78		7,24	
12	10,24	0,22	61	51	7,1	0	6,1	0	3,8	0	9,97		7,95	
13	11,94	0,2	56	50	7,05	0	3,3	0,03	2,3	0	10,15		7,51	
14	9,94	0,34	57	54	6,5	0	3,8	0,03	2,6	0	7,12		7,34	
15	9,46		56		7,95		4,7		2,9		10,05			
16	8,8	0,32	55	53	7,8	0	4,2	0	2,6	0	7,26		7,19	
17	7,24	0,24	49	48	6,1	0	3,3	0,04	3,17	0,02	10,03		6,89	1,58
18	9,04	0,08	59	53	6,4	0	3,9	0,03	2,5	0,06	10,17		7,04	
19	8,24	0,3	56	51	6,2	0	3,4	0,04	2,32	0,02	10,15		6,56	11,8
20	8,02	0,22	55	50	7,4	0	4	0	2,6	0	7,09		6,94	
21	7,46	0,25	54	52	7,2	0	4,1	0	2,7	0	6,91		6,79	

Çizelge 2: Reklamasyon Giriş ve Çıkış Kumu Test Sonuçları (AFS ve %)

Reklamasyon sisteminin devreye alınması ve ön testlerin tamamlanması sonrasında, takip edilen kum testlerinde herhangi bir anormallik gözlemlenmemesi ile bir sonraki aşamaya geçilmiştir. Bu aşamada, kalitesinden emin olunan reklame kum kullanılarak çekme çubuğu maçası üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen çekme çubukları ile mukavemet testleri tamamlanmıştır. Mukavemet testlerinde, farklı oranlarda reklame kum ve silis kumu karışımı reçeteler değerlendirilmiştir.

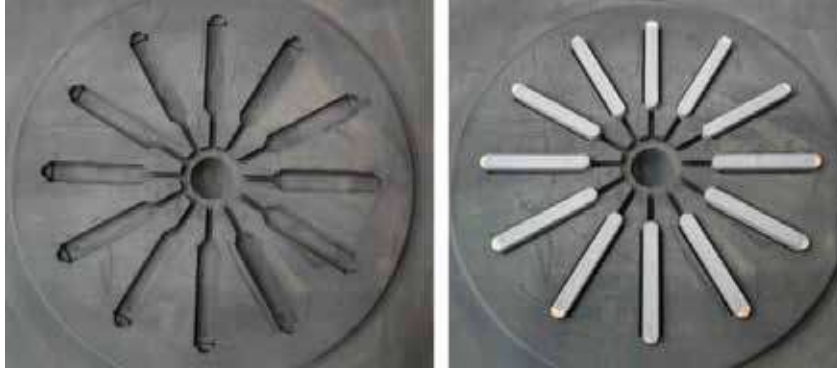
KUM ORANI	REÇİNE MİKTARI (%)	DERHAL (kN/cm ²) 0,12-0,35	30 dk (kN/cm ²) 0,12-0,35	1 sa (kN/cm ²) 0,12-0,35	2 sa (kN/cm ²) 0,12-0,35	24 sa (kN/cm ²) 0,12-0,35
%100 YENİ KUM	0,8%	0,19-0,15	0,21-0,25	0,26-0,28	0,30-0,35	0,32-0,30
%90 YENİ KUM %10 REKLAMASYON KUM	0,8%	0,20-0,21	0,24-0,24	0,24-0,25	0,25-0,29	0,30-0,28
%80 YENİ KUM %20 REKLAMASYON KUM	0,8%	0,24-0,24	0,28-0,28	0,34-0,35	0,34-0,34	0,27-0,29
%70 YENİ KUM %30 REKLAMASYON KUM	0,8%	0,22-0,23	0,27-0,28	0,28-0,28	0,27-0,29	0,28-0,26
%60 YENİ KUM %40 REKLAMASYON KUM	0,8%	0,23-0,23	0,30-0,31	0,33-0,34	0,39-0,40	0,32-0,33

Çizelge 3: Erkunt Reklamasyon Kumu Farklı Reçetelerde Çekme Çubuğu Mukavemet Sonuçları (kN/cm²)

Farklı ve reçetelerden alınan olumlu sonuçların daha detaylı değerlendirilebilmesi için çiçek kalıp denemesi yapılmıştır. Bu denemede, farklı reçetelere sahip ikişer çekme çubuğu maçası üretilmiştir. Çalışmada kullanılan çekme çubuğu reçeteleri aşağıda belirtilmiştir.

- *2 tane %100 rejenerasyon kumlu (1-2 numaralı maça)
- *2 tane %20 rejenerasyon %80 silis kumlu (3-4 numaralı maça)
- *2 tane %70 rejenerasyon %30 fosbead kumlu (5-6 numaralı maça)
- *2 tane %30 rejenerasyon %70 silis kumlu (7-8 numaralı maça)
- *2 tane %50 rejenerasyon %50 silis kumlu (9-10 numaralı maça)
- *2 tane %40 rejenerasyon %60 silis kumlu (11-12 numaralı maça)

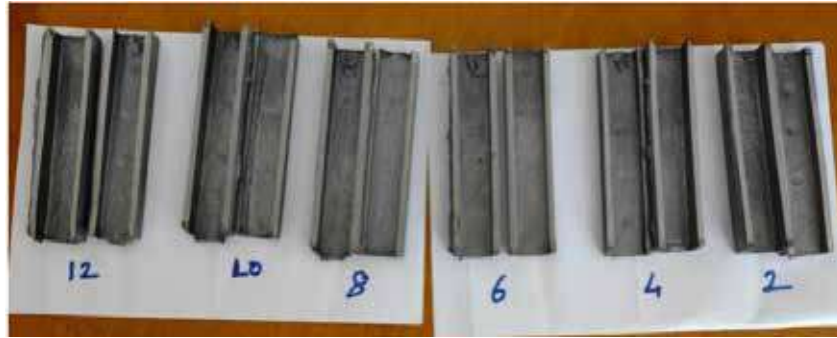
Tüm maçalar %0.8 asit & reçine oranı kullanılarak üretilmiştir. Akabinde tüm maçalar su bazlı maça boyası ile boyanmıştır. Boyama işlemi sonrası maça boya kurutma fırınından geçirilerek kurutulmuştur.



Şekil 14: Deneme Çiçek Kalıp Döküm Öncesi Görüntüsü

Kalıba yerleştirilen maçalar standart GG25 baz metal analizi ile 1395 derece sıcaklıktaki maden ile dökülmüştür.

Dökümü gerçekleştirilen 12 numuneden çift haneli olanlar mala hattından kesilerek döküm parça iç yüzeyler incelemeye tabii tutulmuştur.



Şekil 15: Deneme Çiçek Kalıp Parçaları İç Görüntüleri

4. SONUÇLAR

Reklamasyon sistemi devreye alındıktan ve ön testler tamamlandıktan sonra gerçekleştirilen kum testlerinde herhangi bir anormallik gözlemlenmemiştir. Bu durumun ardından, kalitesinden emin olunan reklame kum ile çekme çubuğu maçası üretimi yapılmıştır. Mukavemet testleri, farklı oranlarda reklame kum ve silis kumu karışımli reçetelerle üretilen çekme çubukları üzerinde gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, tüm reçeteler için uygun bulunmuştur. Döküm deneme sonuçlarında, parçalarda damarlaşma ve maça kırık hatası tespit edilmemiştir. Yüzey pürüzlülüğü açısından, deney tasarımında belirtilen tüm reçetelerdeki çekme çubuğu parçalarının iç yüzeyleri uygun görülmüştür.

Çekme çubuk denemelerine ek olarak, farklı reçetelerle yapılan rejenerasyon kumu ile parça üretimi denemelerinde de herhangi bir olumsuzlukla karşılaşılmamıştır. Sistem, Erkunt bünyesinde Mayıs 2024 sonu itibariyle seri üretimde kullanılmak üzere devreye alınmıştır.

Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, başlangıç aşamasında %20 reklame kumu ve %80 silis kumu karışımı kullanılarak süreç devreye alınmıştır. İlerleyen dönemlerde, kum döngüleri tamamlandığında, daha yüksek oranlarda reklame kumu kullanımı hedeflenmektedir. Daha yüksek oranlarda reklame kumu kullanımı için gerekli tüm ön çalışmalar tamamlanmış olup, herhangi bir olumsuzluk tespit edilmemiştir. Tüm istenen kum parametrelerinin belirlenen limitler içerisinde olduğu görülmüştür.

Reklamasyon sisteminin seri üretime geçmesinden itibaren yapılan üretim değerlendirmelerinde, reklame kumun sinterleşmiş yapısının, temizleme (tamamlama) operasyonlarında parça iç temizliğine olumlu etkisi gözlemlenmiştir. Reklame kumun yüksek sinterleşme derecesi ve metale karşı dayanıklılığı, parça iç temizliklerine olumlu yansımıştır. Parçaların temizleme (tamamlama) operasyon sürelerinde %15-25 oranında iyileştirme tespit edilmiştir.

5. KISALTMALAR

AFS: AFS: American Foundry Society (Amerikan Dökümcüler Birliği)

USR: Used Sand Reclamation (Kullanılmış Kum Geri Kazanımı)

ADV: Acid Demand Value (Asit Talep Değeri)

6. TEŞEKKÜR

Süreç boyunca bilgi ve birikimlerini esirgmeden sürecin uygulanmasındaki yüksek seviyede destekleri sebebiyle Erkunt Sanayi A.Ş. Genel Müdürümüz ve aynı zamanda TUDÖKSAD Yönetim Kurulu Başkan Yardımcımız Sayın Emine Dilek GÜNDÜZ'e teşekkür ederiz.

7. KAYNAKÇA

- 1) S. B. Rayjadhav, D.A. Mhamane and V.D. Shinde, "Assessment of sand reclamation techniques and sand quality in thermal reclamation", Int. J. Productivity and Quality Management, Vol.20, 2020, P. 6-11
- 2)Owens, G. (2008). Development of policies for the handling, disposal and/or beneficial reuse of used foundry sands. University of South Australia . Salibury South: Centre of Enviromental Risk Assesment and Remediation.
- 3) Thiel, J. Z. (2007). Investigation into the technical limitations of silica sand due to thermal expansion. American Foundry Society Transactions (pp. 07-145). Schaumburg: AFS.
- 4) Zabetti, M. F. (2003). Foundry processes: The recovery of green moulding sands for core operations. Resources, Conservation and Recycling, 38(3), 243-254.

A New Inoculant to Solve Microshrinkage Porosities in Nodular Iron Castings

R. SUÁREZ*, G. ALONSO*, P. PINEL, G. Zarrabeitia*, A. LOIZAGA***

***Azterlan, Basque Research and Technology Alliance (BRTA), Durango, Spain**

****Ferrogllobe PLC Company, Chambery France**

ABSTRACT

The presence of Microporosity or microshrinkage defect well in Ductile Iron Castings or in Gray Iron appear as a result of a lack of feeding in the latest stages of solidification. During the eutectic period as the solid fraction increases the feeding through the mushy zone become more and more complex when feeding systems with high yield are applied. These paper tackles the importance of enhancing the graphite formation during the whole solidification period to counteract the secondary liquid contraction and obtain sound castings with the minimum cost.

Key words. solid fraction, eutectic, microshrinkage, graphite formation, inoculation.

1. INTRODUCTION

Controlling nucleation and growth of graphite during the eutectic period of ductile and lamellar iron is one of the most important tasks in foundry industry and have been object of considerable academic research. It is well recognized that nucleation takes place on preexisting substrates and is critical to obtain good material properties among them, soundness, through the introduction of small but well controlled amounts of certain active elements such as Ca, Ba, Sr, Zr, Ce, Mg, La, Al to the melt.

The mechanism why these active elements contribute to nucleation is still under debate but is generally accepted that they form solid inclusions that act as heterogeneous nucleation sites. Works applying SEM and EDS techniques at the center of graphite nucleus [1,2,3,4] found Ca, Mg and RE sulfides as well as TiC and N compounds. Jacobs [6] suggested the two-stage nucleation model where the graphite nucleates on complex particles containing Ca, Mg, Sr, Zr sulfides and Al, Si, Ti oxides shell. Skaland et al [7] expand the duplex model with the silicate theory. Alonso et al [8, 9], found nitrides and carbonitrides acting as main nuclei for graphite when the content of Ti in the metal base was higher than 0.020%Ti. Riposan et al. [10] proposed the three stage model consisting in a core of an oxide (Al₂O₃) surrounded by a complex sulfide and graphite nucleating in the sites of sulfides.

Though significant progress in understanding graphite nucleation and growth has been made in the past, some questions remain unclear about the mechanisms that take place during solidification as the solid fraction evolves during the eutectic period after coherency point.

By “nucleation capacity” it is understood the number of nuclei created during Mg treatment and late inoculation. It is reflected by the undercooling and depends as well on the chemical composition of the base metal. During the solidification period (eutectic period) where liquid and solid phase coexist and isolated liquid pockets are formed in the last to freeze areas of the castings, the formation of new solid nuclei determines the final properties of the casting in terms of soundness and inverse chill formation.

2. EXPERIMENTAL WORK

Caliper castings for automotive brakes systems were produced in a vertical molding machine (Disamatic 230 type Z) with six cavities per mold and a pattern yield of 65%. The melting shop of the foundry is composed by three induction medium frequency furnaces with 25 ton of capacity each and the material of charge is 50% steel scrap from automotive stamping, 40% foundry returns and 10% of pig iron. Some graphite and CSi was added to adjust the chemical composition. Spheroidization treatment is performed by 1,2% of FeSiMg alloy with 5-6% Mg, 1,2% of RE following the sandwich method in a ladle of 2-ton capacity. The metal is introduced in a pouring unit with heating of 15-ton capacity. Every 20 minutes a new ladle is introduced into the pouring unit. The metal is poured into the mold by means a rod-stopper system and the flow rate is guided by automated laser system.



Figure 1: Sketch of pouring unit with heating and rod-stopper

The chemical composition of the metal prior stream inoculation is shown in the Table 1.

C	Si	Mn	Mg	S	P	Cu
3,70-3,8	2.0-2,4	0,3	0,035-0,04	0,003	0,017	0,35

Table 1: Chemical composition.

The metallurgical quality of the metal inside the pouring unit varies with the holding time prior to pouring as can be appreciated in the Figure 2. The main characteristic of this variation is noticed by the reduction of eutectic temperature and in the tail end of the cooling curve.

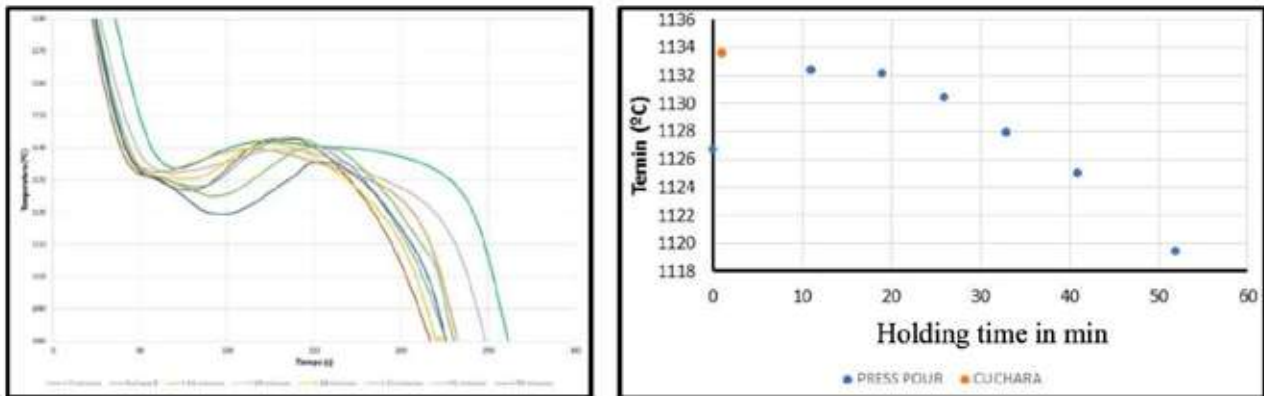


Figure 2: Variation of metallurgical quality of the metal and its evolution with the time inside the vessel.

The two safety castings subject of this study are a caliper body and a holder, both in SGI iron quality EN GJS 500-7. Figure 3 shows the design of the feeding system. This design applies the with high efficiency principles (High pattern yield) and the images provided by the software Kasandra® show the different isolated feeding areas with different internal solid fraction inside of them.

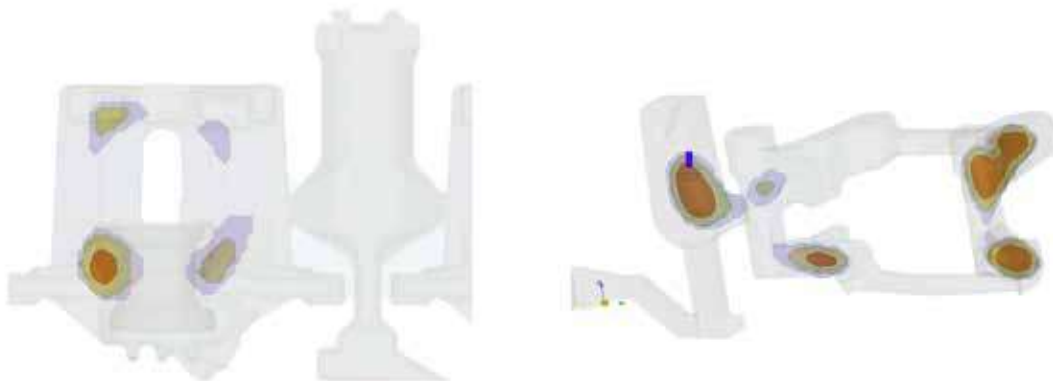


Figure 3: Cross section of a caliper and a holder in DI showing the different feeding isolated areas. Courtesy of Kasandra® software.

The prediction of Kasandra® software combined with Thermolan® metallurgical control system show that is possible to produce these castings with a good soundness if the appropriate metallurgical quality is used.

The minimum metallurgical requirements are shown in the Figure 4.

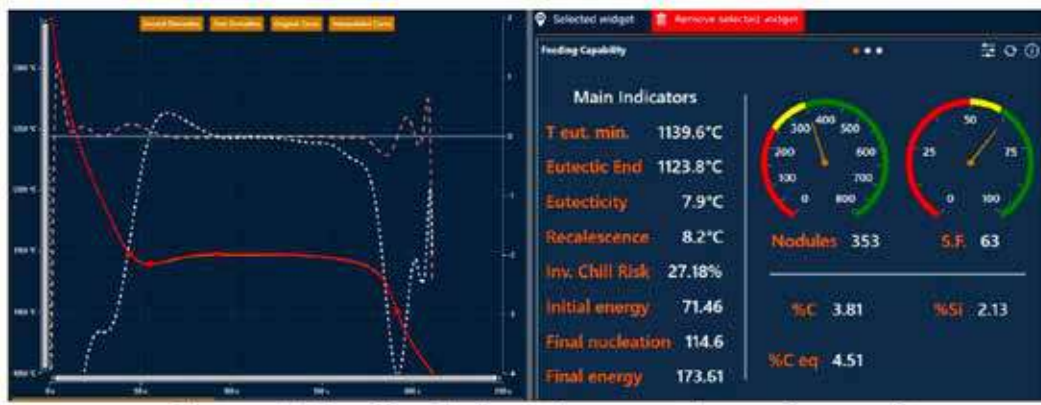


Figure 4: Metallurgical requirements for casting quality.

During the usual production the castings were produced according to the following characteristics, see Table 2.

Caliper body	Pouring Temperature	Pouring time	Flow rate	Stream Inoculation
		1390-1410°C	10 sec	4Kgs/sec
Anchor	Pouring Temperature	Pouring time	Flow rate	Stream inoculation
	1400 - 1420	7 sec	3,5kg/sec	0,2%

Table 2: Production parameters.

Stream Inoculation 0,2% with an inoculant of these characteristics.

Si	Ca	Al	Ba	Mn	Zr	Sr	TR
70-75%	0,75-1,25	0,75-1,25	-	-	-	-	1,5-2

Table 3: Stream Inoculant.

The production results show microshrinkage porosities in both castings after control by xRay , Tomography and ink penetrant test.

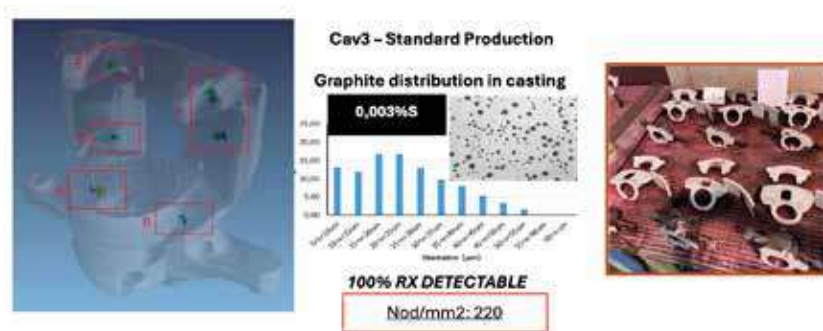


Figure 5: The internal defects and the graphite size distribution.

3. DISCUSSION

The analysis of the final results shows that apparently nothing was out of the specification except the nodule count and the graphite distribution. The nodule count distribution indicates that most of the nodules were originated in the early stages of the solidification and very few at the end, when the fraction solid (f_s) is in between 0,75-1.

Analysis made by SEM and EDS on the nucleus of graphite highlights that most of them are composed of MgO surrounded by a complex Ca-RE sulfide.

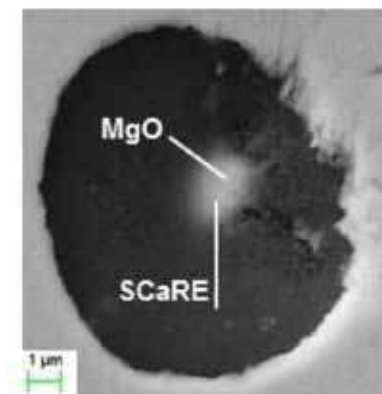


Figure 6: A combination of Mg oxide and complex sulfide acting as nuclei for graphite

The analysis also highlights that the nodule count in the thermal cup of Thermolan® Thermal Analysis is low and it does not correspond to the inoculation and the chemical composition of the poured metal. In this case was thought that the nucleation power of the metal was quite poor and consequently the ability to form graphite until the end of solidification was reduced.

Due to the low S content in the base metal held in the pouring unit was proposed to use a complementary metallurgy that can be used either as preconditioner directly in the pouring basin close to the stopper rod or at the final step as stream inoculant.

In order to enhance the ability of group VI Sulfur and Seleniun, to form compounds that can act as a final nuclei, it was decided to develop a new product (EU Patent No. 20383172) containing both elements with the aim to increase the nucleation capacity of metals with extra low Sulfur content. The chemical composition of the new preconditioner or inoculant it is shown in Table 4.

Si	Ca	Al	Ba	Mn	Zr	S	Se	RE
70-75	0,75-1	0,7-1,2	-	-	-	A	A/10	1,5-2

Table 4: Chemical composition of the new preconditioner/ inoculant (%).

The test performed in foundry shows astonishing results in terms of soundness and nodule count. The presence of Se in most of the nuclei compounds together with sulfides is noticed.

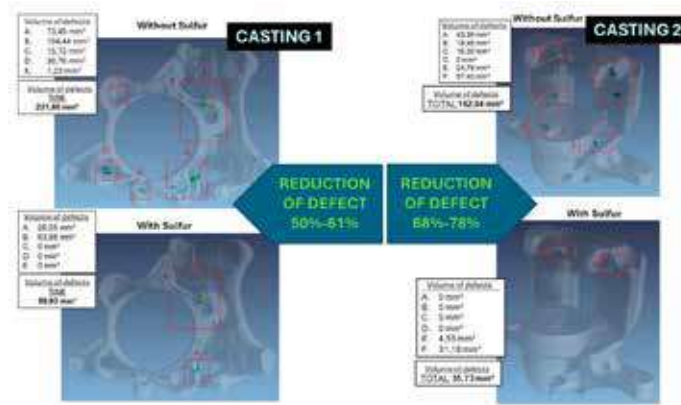


Figure 7: Reduction of the micro shrinkage by the addition of the new preconditioner/inoculant.

The predictions made directly on the shop floor show that the quality of treated metal with the new inoculant change. This can be seen in the recorded cooling curve of Thermolan® taking the samples directly of the poured metal in the production line (Figure 8). The nodule count predicted by Thermolan® on the sample increases the eutectic temperature as well as the shape of tail end of the cooling curve together with the solidus temperature which show that the nucleation and graphite development at the end of solidification have changed. The Figure 8 highlights some of these characteristics.



Figure 8: Cooling curve of thermal analysis showing the main features of the metal poured.

Analysis made on the graphite nodules taken from the same area of the casting (union bridge and hydraulic area M=0,75cm) show the main differences between the standard and new production batch. The nodule count and graphite distribution have changed as can be appreciated in the Figure 9.

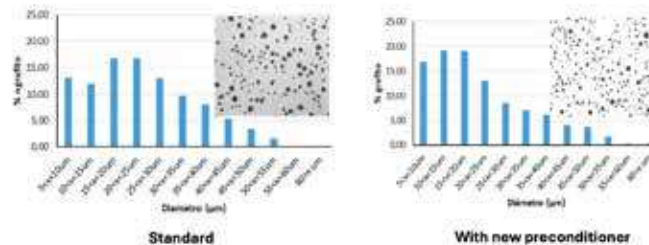


Figure 9: Comparison of graphite distribution between standard and new development.

Looking carefully inside of some nucleus of graphite, it can be appreciated the constitution of two components colored in gray and white, acting as a nucleus. The scan line analysis performed with SEM show complex Ca, Mg sulfide (grey area) and selenides of RE (white area)

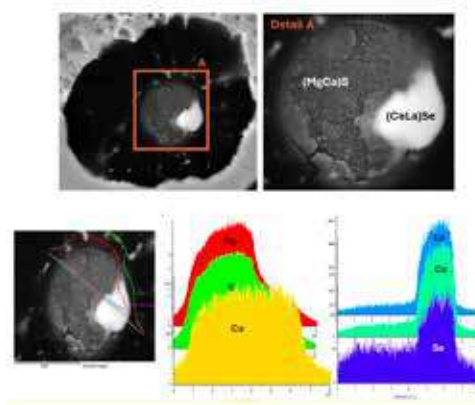


Figure 10: SEM micrographs and line scan of a graphite growing on a complex nuclei formed by a sulfide and a selenide

4. FINAL COMMENTS.

The use of conditioners with high sulphur improves the response to the nucleation in metals with low sulphur content <0,005%.

Small additions of Selenium seem to reinforce the nucleation ability of Sulphur when Rare Earth are present.

The shape of the “tail end” on the thermal analysis curve show an abrupt disruption when conditions such as low high Sulphur are present in the melt.

These observations lead to the creation of a new inoculant containing Selenium and Sulphur to help fight shrinkage in castings produced from a press-pour type induction furnace.

5. REFERENCES.

- [1] J. Schmelzer. Nucleation Theory and Applications. Wiley. March 2005.
- [2] D. M. Stefanescu, G. Alonso and R. Suarez. Recent Developments in understanding nucleation and crystallization of spheroidal graphite in Iron-Carbon-Silicon alloys. Metals. February 2020.
- [3] R.J. Warrick. Spheroidal graphite nuclei in rare earth and magnesium inoculant alloys. Int. J.Cast Met. Res 1966
- [4] J. Mercier, R Paton, J Margarie and C Mascré. Inclusions dans les spheroides de graphite. Fonderie 277, 1969
- [5] J. Lalich and J R Hitchings. Characterization of inclusions as nuclei for spheroidal graphite in ductile cast iron. AFS 1976.
- [6] M H Jacobs, T J Law, D A Melford and M J Stowell. Basic process controlling the nucleation of graphite nodules in chill cast iron. Metals Technology. January 1974.
- [7] T Skaland, O.Grong and T Grong. A model for the graphite formation in ductile cast iron. Part I inoculation mechanism. Metall Mater. Tran. October 1993
- [8] G. Alonso, D.M. Stefanescu, P. Larrañaga, E. De la Fuente and R. Suarez, “Reassessment of Nucleation Models for Spheroidal Graphite Through Advanced SEM Analysis”, AFS Proceedings of the 121st Metalcasting Congress, Milwaukee, Wisconsin, 2017, Paper 17-031
- [9] G. Alonso, B. Bravo, D.M. Stefanescu and R. Suárez, “Evolution of the Metallurgical Quality of Spheroidal Graphite Iron during the Thermal Cycle of the Melt: Furnace-Ladle-Heating/Pouring Unit”, AFS Proceedings of the 127th Metalcasting Congress, Cleveland, Ohio, USA, 25-27 April 2023
- [10] J. Riposan, M Chisamera, S. Stan and M. Barstow. Identifying chill tendency of cast iron melts by thermal analysis. Int. J. Cast Met. Res. June 2013.

Balık Gözü ve Flor Kaynaklı Hataların Önlenmesi-2

İbrahim Hayri KESER**, ***, Serkan ÇELİK**, Özge AKSIN ARTOK**, Ahmet Buğra KEYVANKLI*,
Tan EMİR*

*Ferro Döküm Sanayi ve Dış Ticaret A.Ş., Kocaeli, Türkiye

**Çukurova Kimya Endüstrisi A.Ş., Manisa, Türkiye

***Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, Türkiye

ÖZET

Sfero dökme demirler yaygın olarak yaş kum kalıplama yöntemi kullanılarak üretilmektedir. Yaş kum yönteminde döküm parametrelerine bağlı olarak farklı türlerde döküm hataları ile ortaya çıkabilmektedir. Balıkgözü hatası yaş kum kalıplama yöntemi ile kalıplanan sfero dökme demir döküm uygulamalarında yaygın olarak görülen yüzey hatalarından biridir. Balıkgözü hatasının nedenleri incelendiğinde hatanın temelinde flor esaslı bileşiklerin etki ettiği yapılan farklı çalışmalar ile ortaya konulmuştur. Reaksiyona girmemiş besleyici gömlek kalıntıları ile ergimemiş metalin reaksiyona girmesi sonucunda bölgesel olarak yüksek enerji üretilir ve ani reaksiyon sonucunda ince bir tabaka şeklinde katılacak metal balıkgözü şeklinde yüzeyden parçaya doğru deforme olur. Bunun sonucunda balıkgözü hataları oluşmaktadır. Verimliliği artırma ve döküm hatalarını azaltmak için bu hataların azaltılması önem arz etmektedir.

Bir önceki kongrede hazırlanan bildirin geliştirme çalışmalarını kapsayan bu çalışmada, Ferro Döküm Dış Ticaret A.Ş.'nin büyük tedarikçilerinden biri olan Çukurova Kimya tarafından üretilen ekzotermik özellikli besleyiciler gömlek kullanılmıştır. Ferro Döküm seri kalıplama hattında oluşan balıkgözü kusurlarını daha da azaltmak ve önem arz eden yüzey işlemlerini ortadan kaldırmak için deneme dökümleri yapılmıştır. Çeşitli ekzotermik tip besleyici gömlekler ile yapılan denemelerde florun azaltılması ile döküm hatalarının azaldığı tespit edilmiştir.

Sfero dökümde balık gözü hatasını doğrudan etkileyen flor içeriğinin azaltılması çalışması, Çukurova Kimya Endüstrisi A.Ş. ve Ferro Döküm Dış Ticaret A.Ş. Ar-Ge Merkezleri'nin ortak çalışması ile gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Balıkgözü, flor, ekzotermik besleyici gömlek, sfero dökme demir, yaş kum kalıplama.

Prevention of Fisheye and Fluorine Defects-2

ABSTRACT

Ductile iron is commonly produced using the green sand molding method. Different casting defects may be occurred depending on the casting parameters in green sand casting application. Fish eye defect is one of the common surface defects on ductile iron casting in green sand application. When the causes of the fish eye defect are investigated, it has been revealed through various studies that fluorine-based compounds are the basically cause of this defect. As a result of reaction between unburned feeder sleeve and molten metal, immediately high energy occurred on the surface and revealed fish eye defect. It is important to reduce this defect in order to increase casting efficiency and reduce the casting defect.

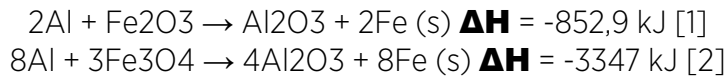
In this study, exothermic sleeves compositions are adjusted by Çukurova Kimya one of the biggest suppliers of Ferro Casting. Moreover, casting trials are performed to decrease the fisheye defects occur in Ferro Casting serial molding line and eliminate the surface treatments that be crucial. The casting trials that carried out using sand that was contaminated with various exothermic sleeve materials and other materials, are shown that decreasing the fluorine or connection with residuals, decreased the casting defects noticeably.

In this study, which includes the development studies of the previous congress, the exothermic sleeves used in the trial casting are produced by Çukurova Kimya, one of the largest suppliers of Ferro Döküm. Moreover, casting trials are performed to decrease the fisheye defects occur in Ferro Casting serial molding line and eliminate the surface treatments that be critical. The casting trials that carried out using with various exothermic sleeve are shown that casting defect decrease at the fluorine decreases noticeably. In cooperation with Çukurova Kimya and Ferro Casting R&D Centers, the reduction of fluorine content in the feeder sleeves, which directly affects the ductile cast iron were investigated.

Keywords: Fisheye, fluorine, exothermic feeder sleeves, nodular cast iron, green sand molding.

Günlük hayatımızda ve endüstride yaygın olarak çelik ve dökme demir alaşımlardan üretilen parçalar sıklıkla kullanılmaktadır. Dökme demirler içerisinde en yaygın olarak sfero dökme demirler üretilmektedir. Üretim yönteminin en önemli aşamalarından biri olan kalıp tasarımında yolluk ve besleyici tasarımı önem arz etmektedir. Yolluk ve besleyici tasarımı dökülen parçanın katılaşmasını doğrudan etkilemektedir. Döküm sıcaklığından itibaren soğuma sırasında sıvı-sıvı, sıvı-katı ve katı- katı geçiş aşamalarında büzülme meydana gelir. Döküm parçasının sağlam olarak üretilebilmesi için sıvı ve sıvı-katı büzülmelerinin ek sıvı metal ihtiyacı söz konusudur. Bunun sonucunda besleyiciler ve besleyici gömlekler kalıp tasarım bileşeni olarak kullanılır. Döküm verimini arttırmak amacıyla yaygın olarak besleyici gömlekler tercih edilmektedir [1].

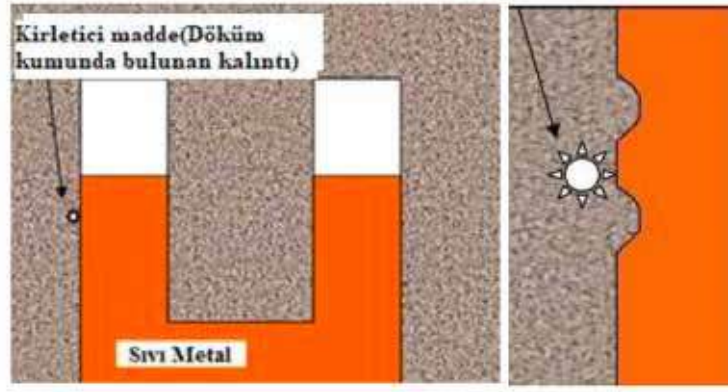
Besleyici gömlek bileşenleri incelendiğinde oksitlenen metal, oksitleyiciler, ateşleyiciler, bağlayıcılar ve refrakter malzemeler bulunmaktadır. Besleyici gömlek kompozisyonunda bulunan metalik alüminyum ile metal oksitlerin reaksiyona girmesi sonucunda yüksek enerjiler ortaya çıkmaktadır. Bu reaksiyonlar alüminotermik reaksiyonlar olarak adlandırılmaktadır (Eşitlik 1 ve Eşitlik 2). Bu reaksiyonların başlaması için ateşleyiciler kullanılmaktadır [2].



Ekzotermik ve yalıtım özellikli besleyici gömleklerin kullanılmasıyla besleyici metalinin daha geç katılaşması sağlanarak döküm parçasına sıvı metal akışı sürekli olarak sağlanır ve döküm parçası hatasız bir şekilde üretilebilir [1]. Besleyici gömlekler içerik açısından döküm kumundan farklıdır. Döküm uygulamaları düşünüldüğünde döküm sonrası yanan besleyici gömleklerin de döküm kumuna karışması kaçınılmazdır. Bunun sonucunda döküm kumunda sıvı metal ile kimyasal etkileşime girebilecek kalıntıların bulunma olasılığı bulunmaktadır. Özellikle hızlı reaksiyon gösteren flor, içeriği yüksek olan ateşleyici bileşen miktarının artması sonucu döküm hataları görülebilmektedir. Ayrıca bir diğer kimyasal etkileşim de döküm kumundan bulunan bentonitten kaynaklı flor miktarının artmasıyla da oluşabilmektedir.

Kalıp kumuna bağlı döküm hataları farklı şekillerde ortaya çıkmaktadır. Kalıp kumuna bağlı en çok görülen hata döküm sırasında döküm kumu ile sıvı metal etkileşime girerek metal yüzeyinde kalmasıdır. Literatürde sinterlenme hatası olarak adlandırılan bu döküm hatası bazı çalışmalarda yüzey görüntüsü dağılmış gaz hatası olarak da görülebilmektedir. Kalıp tasarımından kaynaklı hatalar ise besleme ve gaz hataları olarak temel iki gruba ayrılabilir. Her iki hatanın yüzey görüntüsü farklı olsa da bazı durumlarda iki hata birlikte görülür. Yüzey veya yüzeye yakın bölgelerde görülen bu hatalarda besleme hataları ile birlikte gaz hataları da olduğu yapılan çalışmalarda tespit edilmiştir [3, 4].

Besleme hataları sonucunda makro ve mikro boşluklarının oluşma sebeplerinden biri de besleyici gömlek işlevini tam olarak yerine getirememesidir. Bu hataların önlenmesi için besleme kriterleri (Modül kriteri, hacim kriteri, besleme mesafesi kriteri) göz önünde bulundurularak hesaplamalar yapılmalıdır. Aksi takdirde çekinti olarak adlandırılan döküm hataları kaçınılmazdır. Besleyici gömlek kaynaklı hatalar incelendiğinde yüksek florlu bileşik içeriğinden kaynaklanan balıkgözü hatası olarak bilinen yüzey hatalarının olduğu yapılan çalışmalarda tespit edilmiştir. [5, 6, 7]. Balıkgözü hatasının oluşma mekanizması incelendiğinde, kalıp kumu içerisinde daha önceki dökümler sırasında reaksiyona girmeden kalan ekzotermik besleyici gömlek kalıntılarının sıvı metal ile teması sonucu ortaya çıkmaktadır. Söz konusu temas sırasında ekzotermik elemanların ani olarak belirli bir bölgede reaksiyona girmesi katılaşmanın henüz başladığı metal yüzeyinde balıkgözüne benzer çöküntülerin oluşmasına neden olmaktadır. (Şekil 1) [5, 6, 7].

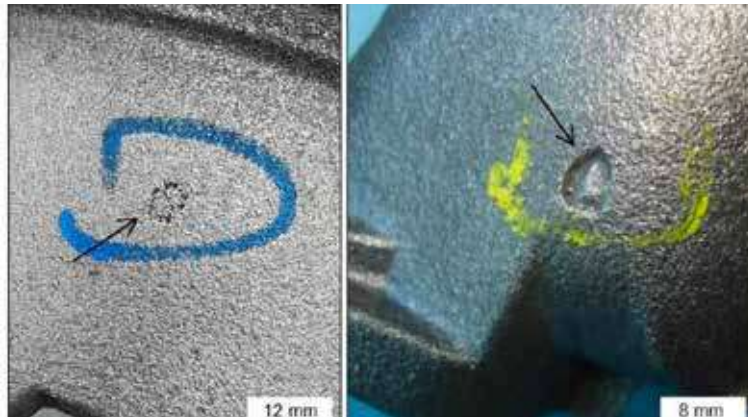


Şekil 1: Balıkgözü hatası oluşma mekanizması [8].

R.C. Aufderheide ve arkadaşlarının 2002 yılında yaptıkları çalışmada sfero dökme demir parçalarının yüzeylerinde meydana gelen balıkgözü hatalarının nedenlerini incelemişlerdir ve kalıp hazırlanması aşamasında kalıp kumuna kriyolit ve ekzotermik besleyici gömlek kalıntıları ilave etmişlerdir. Yapılan çalışmada kumun içine karıştırılmış olan gömlek kalıntılarında dolayı yüzeyde birden fazla balıkgözü hatası görülmüştür [6].

2013 yılında A. Murilo ve M. Ferreira tarafından yapılan çalışmada kalıp kumu içerisine farklı flor miktarlarına sahip yanmamış ekzotermik ve yalıtım özellikli gömlek kalıntıları ilave edilerek karıştırılmıştır ve yaş kum kalıp yapımında kullanılmıştır. Mikroyapılar optik mikroskop, taramalı elektron mikroskop, EDS analizleri kullanılarak incelenmiştir [7]. Yüzey görüntülerine dayanarak kalıp kumu içerisine ilave edilen besleyici gömlek kompozisyonundaki flor miktarının artması ile balıkgözü hatalarını oluşacağı sonucuna varılmıştır [7].

2022 yılında Sertucha ve Lacaze'nin yazmış oldukları makalede döküm hataları üzerine kapsamlı çalışma yapılmış olup yaş kum kalıplama metodu kullanılarak döküm kalıbı hazırlanan sfero dökme demirlerde görülen balıkgözü hatasına yer verilmiştir (Şekil 2) ve oluşma mekanizması incelenmiştir. Balıkgözü hatasının oluşma nedeni sıcak su buharı ve oksitlenmiş magnezyum bileşiklerinin flor ile reaksiyona girmesine dayanmaktadır. Bununla birlikte döküm kumundaki kirliliklerin düşük kaliteli bentonit ve flor içeriği yüksek yanmış besleyici gömleklerin kullanılmasından kaynaklandığı belirtilmiştir. Bununla birlikte döküm alaşımında %2,5 üzerinde Si bulunması durumu balıkgözü hatasının oluşumunu desteklediği belirtilmiştir [9].



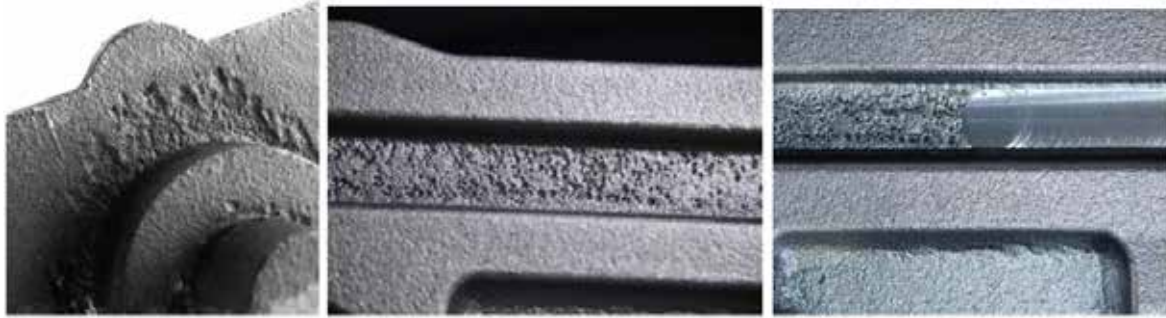
Şekil 2: Sfero dökme demir yüzeyinde görülen balıkgözü hatası [9].

Yapılan çalışmalar yaş kum kalıplama ile üretilen sfero dökme demirde balıkgözü hatasının nedenlerini yansıtmaktadır. Balıkgözü hatasının önlenmesi amacıyla aşağıda belirtilen hususlar göz önünde bulundurulmalıdır;

- Yaş kum kalıplamada uygun bentonitlerin ve düşük florlu besleyici gömleklerin kullanılması.
- Yaş kum kalıplama hatlarında yeni kum girdisinin yapılması.
- Yüksek döküm sıcaklıklarının azaltılması.
- Yaş kum kalıpta nem içeriğinin azaltılması ve optime edilmesi [9].
- Kum içindeki kirlenmenin elek yoluyla azaltılması

Çukur ve kanallarda görülen pitted surface literatüre göre, flor sıvı metalin yüzeyindeki magnezyum oksit tabakası ile reaksiyona girerek, magnezyumun oksit tabakasından ayrılmasını sağlar. Ayrılan magnezyum ise yaş kum kalıbından gelen su buharı ile reaksiyona girer grafit yapısını bozar. Bu hata daha çok kanallarda, çukur kısımlarda meydana gelir.

Yaş kum kalıplamada oluşan kum ve besleyiciden kaynaklı pitted surfaces (kabarık) hatalarında da yukarıda verilenler yapılmadığı takdirde tesislerde görülme olasılığı artarken, döküm parçasının oluk yüzeyinde, parçanın radius bölgesinde, işleme öncesi ve işleme sonrasında bu hata tipi Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3: Pitted surface hatası.

Yapılan çalışmalar incelendiğinde döküm kumunda bulunan flor oranının artması sonucunda döküm parçalarında balıkgözü hatalarının arttığı tespit edilmiştir. Bu hatayı önlemek için düşük flor içerikli besleyici gömleklerin kullanılması gerektiği vurgulanmıştır. Bu doğrultuda bir önceki çalışmada flor miktarı azaltılmış besleyici gömlekler kullanılarak hata oranları azaltılmıştır. Bu çalışmada flor miktarı daha düşük olan besleyici gömlekler hazırlanarak çalışmalar yürütülmüştür ve sonuçları yansıtılmıştır.

Balıkgözü hatasının görünümü Şekil 4'te gösterilmektedir. Yapılan analizler sonucunda yüksek flor içerikli besleyici gömleklerin döküm kumuna karışmasıyla yaş kum kalıplama yöntemi ile üretilen sfero dökme demirlerin yüzeyinde balıkgözü hataları tespit edilmiştir.

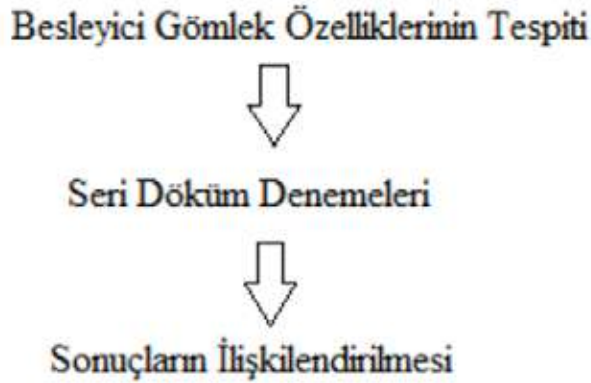


Şekil 4: Görülen balıkgözü hatasının görünümü.

Çukurova Kimya Endüstrisi A.Ş. ve Ferro Döküm Dış Ticaret A.Ş. ekipleri balıkgözü hatasının azaltılmasına yönelik ortak çalışma gerçekleştirmiştir. Literatür çalışmaları doğrultusunda sfero dökme demirde balıkgözü döküm hatasının azaltılması için deney tasarımı yapılmıştır ve seri üretimde sonuçlar incelenmiştir. Deneysel çalışmalarda Çukurova Kimya Endüstrisi A.Ş.'de üretilen ekzotermik özellikli besleyici gömlekler kullanılmıştır. Seri üretim döküm çalışmaları Ferro Döküm Dış Ticaret Sanayi A.Ş.'de yürütülmüştür ve sonuçlar incelenmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Literatür çalışmalarında yaş kum kalıplama metodu seçilerek üretilen sfero dökme demir alaşımlarında balıkgözü hatalarının tespiti ve nedeni açıklanmaktadır. Söz konusu hatanın Ferro Döküm Sanayi A.Ş.'nin üretim hatlarında dönemsel olarak görüldüğünü bir önceki bölümde ve bir önceki bildiri çalışmasında belirtilmiştir. Bu döküm hatasını daha da azaltmak amacıyla çalışmalar yürütülmüştür. Çalışmaların ana amacı kumda biriken flor içerikli kalıntıların miktarının azaltılmasının döküm parça yüzeyine olan etkisinin incelemektir. Deneysel çalışmalar sırasında izlenen yöntemin şematik gösterimi Şekil 5'te belirtilmektedir.



Şekil 5: Deneysel çalışmaların yöntemi.

Deneysel çalışmalarda Çukurova Kimya Endüstrisi A.Ş.'de üretilen ekzotermik besleyici gömlekler kullanılmıştır. Düşük ve yüksek flor içeren besleyici gömleklerin karakterizasyonu kapsamında kalorifik güç değerleri IKA C 200h kalorimetre cihaz kullanılarak ASTM 240D standardına göre tespit edilmiştir. Besleyici gömlekler açık atmosferde farklı sıcaklıklarda yakılarak reaksiyon süreleri ve soğuma eğrileri incelenmiştir. Reaksiyon süresi olarak numuneler fırına konulduktan itibaren ekzotermik reaksiyonun başladığı ve en yüksek sıcaklığa ulaşılan sürelerin toplamı alınmıştır. Deneme döküm çalışmaları Çukurova Kimya Endüstrisi A.Ş. tarafından yapılmış olup yüksek ve düşük flor içeren besleyici gömleklerin yanma sonrası döküm kumundaki flor miktarına etkisi irdelenmiştir. Ön deneme döküm çalışmaları sonucunda düşük florlu ekzotermik besleyici gömlekler kullanılarak Ferro Döküm Dış Ticaret A.Ş.'de artan balık gözü hatasıyla birlikte yüksek ve düşük flor içeren besleyici gömlekler yatay (HWS) marka tesislerde seri üretim yapılmıştır. Flor oranı yüksek olan besleyicilerin kullanıldığı periyotlarda balıkgözü hatası yüksek iken flor oranı düşürülen partilerin balık gözü sakatlarının daha az olduğu gözlenmiştir. Ayrıca balık gözü hatası makro ve mikroyapısı Nikon EclipseMA200 optik mikroskop cihazı ile incelenmiştir.

3. BULGULAR

Deneysel çalışmalar bölümünde verilen yöntem ve yapılacak olan çalışmalar kapsamında çalışmalar yürütülmüştür.

3.1. Ekzotermik Besleyici Gömleklerin Termal Özellikleri: Ekzotermik besleyici gömleklerin termal özellikler açısından yeterli enerjiyi katılma başlamadan sıvı metale vermesi gerekmektedir. Bundan dolayı besleyici gömleklerin yoğunluk, ısı iletimi ve sığası gibi özelliklerin yüksek sıcak-

lıklarda yeterli olması gerekmektedir. Belirtilen özelliklerin yanı sıra katılma sırasında sıvı metali sıcak tutmak ve yönlü katılmaı sağlamak için besleyici gömlelerin yeterli enerjiyi sıvı metale aktarması gerekmektedir. Bundan dolayı deneysel çalışmalarda kullanılan düşük ve yüksek flor içerikli besleyici gömlelerin kalorifik değerleri ölçülmüştür (izelge 1). Gömlelerin ölçülen kalorifik değerleri birbirine yakındır. Birbirine yakın enerji veren besleyici gömlelerin döküm sırasında katılma başlangıcında sahip oldukları enerjiyi doğru zamanda sıvı metale verebilmesi gerekmektedir. 900°C ve 1200°C’de laboratuvar şartlarında yapılan testlerde düşük flor içeren besleyici gömlek yüksek flor içeren besleyici gömleğe göre %7 oranında daha geç reaksiyona girmiştir (izelge 2). Döküm şartları incelendiğinde döküm sıcaklıklarının 1400°C’den yüksek olmasından dolayı belirtilen bu farkın yüksek sıcaklıklarda kapanacağı tespit edilmiştir (şekil 6).

Çizelge 1: Düşük ve yüksek florlu besleyici gömlelerin kalorifik ölçüm sonuçları.

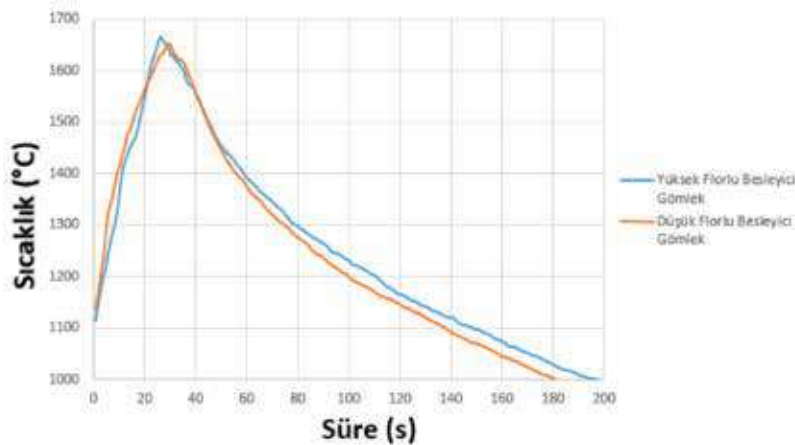
Kalorifik Değerler (cal/g)	
Düşük Florlu Besleyici Gömlek	Yüksek Florlu Besleyici Gömlek
2450	2350

Çizelge 2: Düşük ve yüksek florlu besleyici gömlelerin reaksiyona sürelerinin karşılaştırılması.

Sıcaklık (°C)	Düşük Florlu Besleyici Gömlek Reaksiyon süresi, s	Yüksek Florlu Besleyici Gömlek Reaksiyon süresi, s
900	180	195
1200	98	75

Çizelge 3: Düşük ve yüksek florlu besleyici gömlelerin flor oranlarının karşılaştırılması.

	Referans, % ağ.	Düşük Florlu Besleyici Gömlek Flor İçeriği, % ağ.	Yüksek Florlu Besleyici Gömlek Flor İçeriği, % ağ.
Teorik	0	1,00	2,25
Enstrümantal	0,1	0,41	1,78



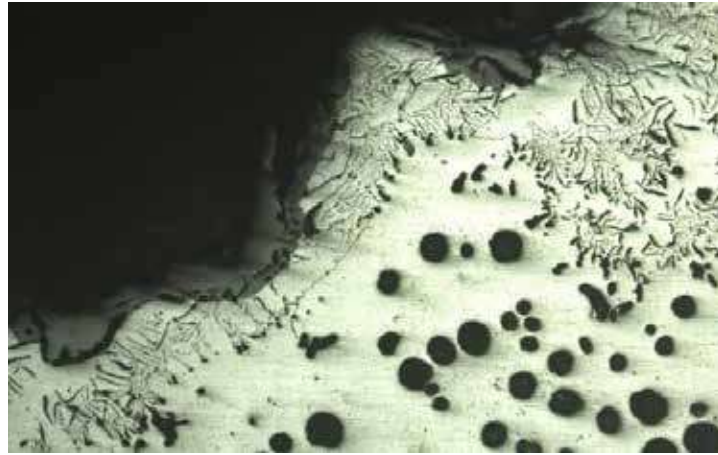
şekil 6: Açık atmosferde yakılan besleyici gömlelerin soğuma eğrileri.

3.2. Seri Döküm alışmaları: Ferro Döküm Dış Ticaret A.ř.’de artan balık gözü hatasıyla birlikte yüksek ve düşük flor içeren besleyici gömleler yatay kalıplama hattında kullanılmıştır. Düzenli olarak her ay balık gözü hatasından kaynaklı sağlam ve ret olan ürünlerin oranları incelenmiştir. %1 florlu KBG 5/8 Kırıcı Maalı Besleyicilerin kullanılmaya başlandığı tarihten itibaren parçaların balık gözü hatalarının %0,33’iden %0,26’e düştüğü belirlenmiştir.

Balık gözü hatası görülen sfero döküm parçası Şekil 7'de verilen parça olup optik mikroskop cihazında mikroyapı görüntüleri incelenmiştir. Mikroyapı incelemelerinde dağlanmamış numunelerin görselleri Şekil 8'de gösterilmektedir. Döküm parçası yüzeyinde görülen hatanın makro görüntüleri Şekil 7'de verilmiştir. Görseller 2022 yılında Şekil 2'de verilen Sertucha ve Laca-ze'nin yaptığı çalışma ile uyumludur [9]. Şekil 8'de mikroyapı görüntüleri incelendiğinde küresel yapıların bozulduğu tespit edilmiştir. Sfero dökme demirde küresel şekilli grafitlerin bozulması mekanik özellikleri doğrudan etkileyecektir [1].



Şekil 7: Mikroyapısı incelenen parçanın makro görüntüsü.



Şekil 8: Balık gözü parçasının mikroyapı görüntüsü (100 büyütme).

Yapılan seri denemeler sonucunda döküm sonrası besleyici metallere kesit görünümü incelenmiştir ve besleme performansı açısından yüksek ve düşük florlu besleyici gömlelerde fark görülmemiştir. Çizelge 1'de ölçülen kalorifik güç değerleri bu durumu desteklemektedir. Çizelge 1'de yüksek florlu besleyici gömleğin düşük florlu besleyici gömleğe göre daha düşük enerji değerine sahip olmasının alüminotermik reaksiyon sırasında ortaya çıkan enerjinin bir kısmının flor esaslı bileşimi parçalamak için kullanılmasından kaynaklı olduğu düşünülmektedir.

Yapılan bu çalışma sonucunda döküm kumunda biriken flor esaslı bileşenlerin yaş kum kalıplama sisteminde sfero dökme demirde balıkgözü hatası olarak döküm hatasına neden olduğu tespit edilmiştir. İlgili literatür çalışmaları incelenerek balıkgözü hatasının oluşum nedeni ve bu hatayı kaldırmak için yöntemlerin neler olduğu aktarılmıştır.

Uygulanan deneysel çalışma sonucunda düşük flor içerikli besleyici gömlelerin kullanılmasıyla kumdaki flor miktarı azaltılarak üretilen parçadaki balıkgözü hatası azaltılabileceği veri ve görsellerle desteklenmiştir.

4. GENEL DEĞERLENDİRME

- Yapılan çalışmalar neticesinde Çukurova Kimya'nın KBG 5/8 Kırıcı Maçalı besleyicinin %1 florlu üretilerek Ferro Döküm Sanayi ve Dış Ticaret A.Ş'de kullanılmaya başlanmıştır.
 - Flor oranının %1,2-1,5 oranından %1'e düşürülmesiyle işletmede kullanılabileceği belirlenmiştir.
 - Sadece KBG 5/8 Kırıcı Maçalı Besleyicinin kullanıldığı parçaların balık gözü hataları %0,33'den %0,26'a düşmüştür.
 - Uygulanan çalışma sonucunda düşük flor içerikli besleyici gömleklerin kullanılmasıyla kumdaki flor miktarı azaltılarak üretilen parçadaki balıkgözü hatası, pitted surface, mikroyapı bozukluklarının azaltılabileceği veri ve görsellerle sunulmuştur.
- Bu tür hataların önlenmesi için aşağıdaki uygulamaların da faydalı olacağı unutulmamalıdır.
- Ekzotermik besleyiciler, kalıp bozma ve sonraki operasyonlarda kumun içine karışması engellenmelidir.
 - Yalıtkan besleyici yada flor oranı düşük olan besleyiciler kullanılmalıdır.
 - Karışan ekzotermik, besleyiciler kalıp kumundan elenmelidir.
 - Yaş kum kalıplamada uygun bentonitlerin (yüksek montmorillonit) kullanılmalıdır.
 - Yaş kum kalıplama hatlarında kumun sistem kumunun yenilenmesi genel prensiptir.
 - Bu tip hatalarda yeni kum ilavesiyle sistem kumunun oranı artırılmalıdır.

5. KAYNAKÇA

1. J. Campbell, "Casting" , 2003, Birmingham: Butterworth-Heinemann.
2. M. G. Neu ve M. J. Gough, "Patent No. US 005180759A", 1993, Birmingham, England.
3. American Foundry Society, "Analysis of Casting Defects", 1974, 3d Edition, 1st Revision, p. 42-52, 111-117
4. S&B Industrial Minerals GmbH, "Manual of Casting Defects" IKO Foundry, p. 58-63
5. R. C. Aufderheide, R. E. Showman, "Solving Casting Problems with New Sleeve Technology", The Ductile Iron News, 2001, Issue 3, p. 38-43.
6. R. C. Aufderheide, R. E. Showman, J. Close, E.J. Zins, "Eliminating Fish-Eye Defects in Ductile Castings", Transactions of American Foundrymen's Society, 2002, Vol 110, Paper No 02-047, p. 917-928.
7. A. M. Rosário, M. F. Hupalo, "Characterization of Surface Fish-eye Casting Defect", Revista Escola de Minas, Vol. 66, 2013, Issue 1, p. 99-103.
8. A. Alagarsamy, R. Aufderheide, "Casting Defect: Doughnut Defect", The Ductile Iron News, 2005, Issue 12.
9. J. Sertucha ve J. Lacaze, "Casting Defects in Sand-Mold Cast Irons—An Illustrated Review with Emphasis on Spheroidal Graphite Cast Irons", Metals, 2022, 12, 504, p 49.

Dik Torna Tezgahlarında İşlenen Volan Parçalarının Sıkma Sisteminin İyileştirilmesi ve Ayar Sürelerinin Kısaltılması

Ferdi YAVUZ

Demisaş Döküm Emaye Mamulleri Sanayi A.Ş. Bilecik, Türkiye

ÖZET

Volan parçalarının sıkma sistemi ülkemizde muadili olmayan bir sistemdir. Yurt dışında benzer sıkma sistemleri olmasına rağmen, yapılan çalışma sonucunda özgün bir tasarım geliştirilmesi ve muadil sistemlere göre çeşitli parametreler bakımından daha üst düzeydeki özellikleri ile yerileştirme yapılması hedeflenmiştir. Spesifik olarak, daha düşük maliyet ile birlikte iyileşme ve farklılaşma olması söz konusu olmuştur. Yurt dışı menşeli ürün maliyeti çok yüksektir. Ayrıca sıkma sisteminin ayar sürelerini azaltmış olması çalışmanın yenilikçi yönünü oluşturmaktadır. Volan parçalarında kısa zamanda kesici ucun körelmesi sonucunda salgı miktarında artış yaşanmasının önüne geçebilmek, daha kısa zamanda kesici uç değişimi yapılmasını engelleyebilmek ve uç maliyetlerinin artışını ortadan kaldırmak çalışmanın konusunu oluşturmuştur. Yapılan çalışma ile birlikte torna ayaklarına kurtağzı yuvası açılmış ve sıkma yapıldığı zaman aynı anda parçanın aşağı doğru çektilmesi sağlanmış, ikiz dik torna ayakları yeni bir tasarım ile revize edilmiştir. Ayrıca parçanın oturma yüzeyi ayaklardan bağımsız flanşa oturduğu için salgı seviyeleri aşağı çekilmiş ve standartlaştırma sağlanarak parça kalitesi arttırılmıştır. Ek olarak ayar değişimlerinde ilave işçilik ve zaman kayıplarının önüne geçilmiştir. Eski durumda ortalama 30 parçada bir salgı arttığından uç değiştirmek gerekirken, çalışma sonucunda daha rijit bir sıkma sağlanarak ortalama 38 parçada bir değiştirilmesi sağlanmıştır. Ülkemize ithalat yoluyla giren ayna ve sıkma sistemi yerli imkanlarla üretilmiş olup, yatırım bedelinden tasarruf edilmiştir. Proje çıktısı ithal edilen bir ürünün yerini almıştır.

ABSTRACT

The clamping system of the flywheel parts is a system that has no equivalent in our country. Although there are similar clamping systems abroad, as a result of the study, it was aimed to develop an original design and localize it with higher features in terms of various parameters compared to equivalent systems. Specifically, there has been improvement and differentiation with lower costs. The cost of foreign-origin products is very high. In addition, the innovative aspect of the study is that the clamping system reduces adjustment times. The subject of the study was to prevent an increase in the amount of runout in flywheel parts as a result of the blunting of the cutting tool in a short time, to prevent the replacement of the cutting tool in a shorter time and to eliminate the increase in tool costs. A slot was opened for the lathe legs and when the clamping was done, the part was pulled downwards at the same time, and the twin vertical lathe legs were revised with a new design. In addition, since the seating surface of the part is seated on the flange independent of the leg, runout levels are reduced and part quality is increased by ensuring standardization. In addition, additional labor and time losses during gauge changes are prevented. Also, additional labor and time losses during size setting are prevented. It was necessary to change the tool because the runout increased every 30 pieces on average, as a result of the study, a more rigid clamping was achieved and it was changed every 38 pieces on average. The turret and clamping system, which entered our country through imports, were produced with domestic resources, saving on investment costs. The project output replaced an imported product.

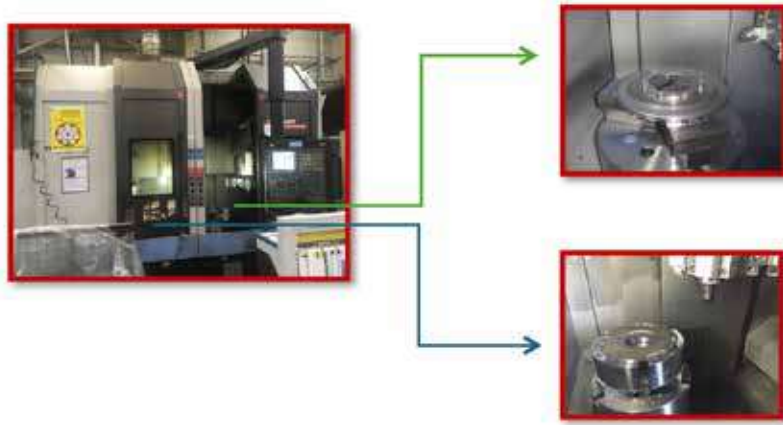
GİRİŞ

Çalışma kapsamında, dik torna tezgâhlarında işlenen volan parçalarının sıkma sisteminin, öz kaynaklar ile özgün çözümler üretilerek geliştirilmesi hedeflenmiş ve böylece ayar sürelerinin kısaltılması öngörülmüştür. Bu çalışmada gerçekleştirilmiş olan daha rijit bir sıkma yöntemi ile birim parça maliyetinin de azaltılması planlanmış ve bu kapsamda maliyet ve üretim anlamında ölçülebilir bir katkı sağlaması amaçlanmıştır.

Torna ayakları ile işleme yapılan volan parçalarında kısa zamanda insert (talaşlı imalattaki uç) körelerek salgı miktarında artış yaşanması ve bu nedenden dolayı olması gerekenden daha kısa zamanda insert değişimi yapılması, sonuç olarak uç maliyetlerinde artış olması, bununla birlikte içten ve dıştan sıkma yapan torna ayaklarının sıkma yönü sadece içten dışa tek veya dıştan içe yönde yapılması ve bu tarzda yapılan sıkma işleminin ince cidarlı parçalarda salgının aşağı çekilmesine engel olması sıkma sisteminin iyileştirilmesi yönünde çalışma yapılmasını gerekli kılmıştır. Ayrıca dik torna tezgâhlarında işlenen volan parçalarının sıkma sisteminin ayar süreleri de mevcutta kullanılan standart ayna ve ayak sistemi ile uzun sürmektedir. Ayar işleminin gerektiği zamanlarda, ayarlama süreleri uzun sürmekte olup bu nedenle işçilik zamanlarında kayıplar olmakta, işçilik maliyeti yükselmektedir. Bu nedenle verim de düşmektedir. Çalışma kapsamında tasarlanacak olan ayna ve sıkma sisteminin yurt dışı maliyetinin yüksek olmasından dolayı sistemin yerleştirilmesi ve belirtilen olumsuzlukların önüne geçilmesi adına sıkma sisteminin iyileştirilmesi çalışması yapılmıştır.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

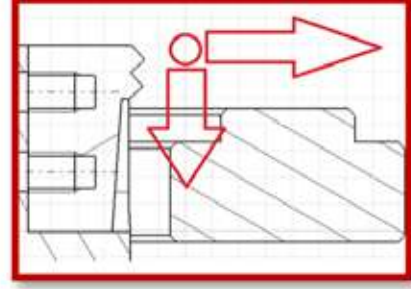
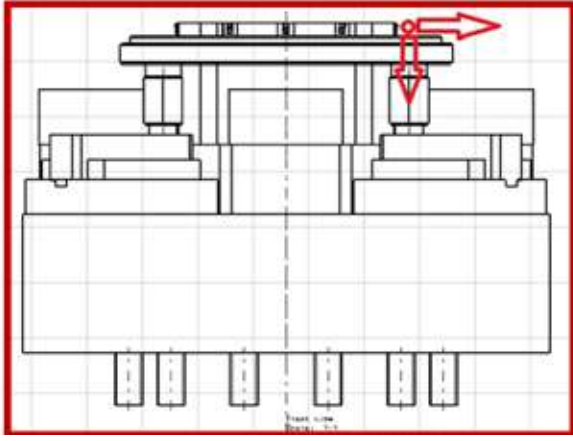
Mevcut torna ayakları ile işleme yapılan volan parçalarında kısa zamanda insert körelmesi (28-30 adet WNMG insert) ve salgı miktarında artış yaşanmaktaydı. Bu sebeple olması gerekenden daha kısa zamanda insert değişimi yapılması gerekmekte ve bu durum uç maliyetlerini arttırmaktaydı (Resim-1). Ayrıca ayar süreleri de önceki ayna ve ayak sistemi ile uzun sürmekteydi.



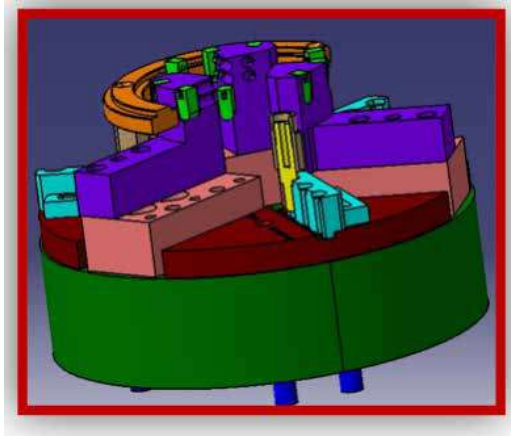
Resim 1: Mevcut Sıkma Sistemi

Mevcut durumda ölçü ayarına ihtiyaç duyulması halinde ayar süresi uzun sürmekte ve verim kaybına yol açmaktadır. Aynı zamanda torna ayaklarının çok sık tormalanması ömür kaybına sebep olmaktadır. Benzer sistemin yurt dışı maliyetinin yüksek olması sebebiyle sistemin yerleştirilmesi adına çalışma yapılmıştır.

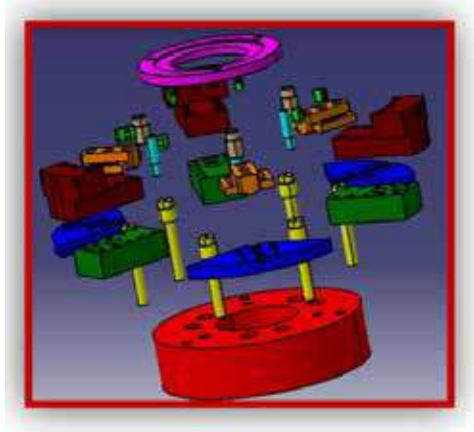
Catia V5 programı kullanılarak tasarlanan ayak sisteminde, kesit resminde görüldüğü şekilde hem içten dışa doğru sıkma yapılması ve aynı zamanda aşağı doğru parçanın çektilmesi amaçlanmıştır (Resim-2). Bu sayede daha rijit bir sıkma yapılmış olması, salgının azalması ile beraber insert ömürlerinin uzaması ve parça başı maliyetler azaltılması öngörülmüştür. Aynı zamanda parçaların ölçülerinde süreklilik sağlanması hedeflenmiştir.



Resim 2: Yeni sıkma sistemi tasarımı



Resim 3: 10 nolu op. İçten dışı doğru ve aşağı doğru birlikte sıkma kesit görünüşü



Resim 4: 20 nolu op. Dıştan içe doğru ve aşağı doğru birlikte sıkma patlatılmış görünüm

Deneme çalışmalarında 10 ve 20 numaralı operasyonlar için yapılan tasarıma göre parçaların imalatı ve montajı yapılarak bu şekilde üretim yapılabilirliği teyit edilmiş ve sürekliliği sağlanmıştır. Yurtdışı muadil üründe özel ayna ile kullanılması gerekirken çalışma sonucu üretilen sıkma sistemi standart aynaya adapte edilmiştir (Resim-5 ve Resim-6).



Resim 5: 10 numaralı operasyon (İçten dışa doğru ve aşağı doğru birlikte sıkma)



Resim 6: 20 nolu operasyon (Dıştan içe doğru ve aşağı doğru birlikte sıkma)

SONUÇLAR

İkiz dik torna ayakları yeni tasarıma göre revize edilmiş ve parçanın oturma yüzeyi ayaklardan bağımsız flanşa oturduğu için salgı seviyeleri aşağı çekilmiştir. Standartlaştırma sağlanarak parça kalitesi arttırılmıştır. Ayar değişimlerinde ilave işçilik ve zaman kayıplarının önüne geçilerek verimlik arttırılmıştır. Ek olarak insert tüketimlerindeki değişim periyodunun uzaması sağlandı. Salgının artması ile beraber uç değişimi gerektiğinden, çalışma öncesi durumda ortalama 30 parçada bir salgı arttığından uç değiştirmek gerekirken, çalışma sonrasında ortalama 38 parçada bir değiştirilmesi sağlanmıştır. Böylece kesici uç maliyetlerinde azalma olmuştur. Tasarlanan ayak sistemi ile, işlenecek parçanın hem dıştan içe doğru hem de sıkma yaparak aşağı doğru çektilmesi ile birlikte daha rijit bir sıkma sağlanmıştır. İçten dışa ve aşağı doğru birlikte sıkma ve dıştan içe doğru ve aşağı doğru birlikte sıkma operasyonları için yapılan tasarıma göre de üretim yapılabilirliği ve sürekliliği hakkında veri analizi yapılmış ve kesici uç maliyetlerinde yaklaşık %25 azalma görülmüştür. Ülkemize ithalat yoluyla giren ayna ve sıkma sistemi yerli imkanlarla üretilerek yatırım bedelinden tasarruf edilmiştir.

Yüksek Manganolı Östenitik Çeliklerin Korozyon Davranışına Farklı Isıl İşlem Prosedürlerinin Etkisinin İncelenmesi

***Uğur GÜROL, **Engin KOCAMAN,**

***FOSECO TR, Gebze, Kocaeli, Türkiye**

****Zonguldak Bulent Ecevit Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Mühendisliği, Zonguldak, Türkiye**

ÖZET

Bu çalışmada 1C-17Mn-1Mo çeliğine döküm sonrası 1100 °C'de bir sefer ve tekrarlı olmak üzere çözeltiye alma işlemi uygulanmış ve sonrasında korozyon testleri gerçekleştirilmiştir. Klasik üç elektrot yöntemi ile 0.5M NaCl çözeltisi içerisinde uygulanan potansiyodinamik polarizasyon testi sonrası farklı ısıl işlem koşullarının bu çeliklerin korozyon direnci üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Elde edilen bulgulara göre en yüksek korozyon potansiyeli ısıl işlemsiz döküm numunede ölçülürken en düşük korozyon potansiyeli 1100°C'de tekrarlı olarak gerçekleştirilen çözeltiye alma işleminde elde edilmiştir. Bu sonucun aksine akım yoğunluğu değerlerinde ise en yüksek akım yoğunluğu döküm numunede en düşük akım yoğunluğu ise 1100°C'de tekrarlı olarak gerçekleştirilen çözeltiye alma işleminde elde edilmiştir. Çalışmada en iyi korozyon direnci sırasıyla tekrarlı çözeltiye alma (double solution annealing), çözelti çözeltiye alma ve döküm hali olarak elde edilmiştir. Bulgular yüksek manganolı çeliklere döküm sonrası uygulanan ısıl işlemin çeliğin korozyon direnci üzerinde etkili olduğu ve korozyon direncini geliştirebileceğini göstermiştir.

ABSTRACT

In this study, 1C-17Mn-1Mo steel was solution-treated at 1100 °C once and repeatedly after casting, and then corrosion tests were carried out. After the potentiodynamic polarization test applied in 0.5M NaCl solution with the classical three-electrode method, it was observed that different heat treatment conditions were effective on the corrosion resistance of these steels. According to the findings, the highest corrosion potential was measured in the as-cast sample, while the lowest corrosion potential was obtained in the sample that double solution solution applied at 1100°C. Contrary to this result, in terms of current density values, the highest current density was obtained in the as-cast sample and the lowest current density was obtained in the sample that double solution performed at 1100°C. The best corrosion resistance was obtained in the sample taken after double solution annealing, post-solution aging, solution annealing and as-cast, respectively. As a results, findings have shown that heat treatment applied to high manganese steels after casting is effective on the corrosion resistance of the steel and can improve the corrosion resistance.

1. GİRİŞ

Yüksek manganlı östenitik çelikler hem yüksek süneklik hem de yüksek aşınma ve mukavemet değerleri nedeniyle özellikle madencilik, hafriyat ve tarım gibi agresif çalışma koşullarına sahip uygulamalarda sıklıkla tercih edilmektedir. Bu çeliklere ilave edilen yaklaşık 1-1,4 (%ağ.) karbon ve 10-14 (%ağ.) oranında manganez nedeniyle mikroyapıları oda sıcaklığında dahi östenitik olarak kalabilmektedir. Fakat genel olarak döküm prosesi ile üretilen bu çeliklerin döküm sırasında katılma şartlarına bağlı olarak oluşan karbür çökeltileri ve diğer fazlar nedeniyle kırılğan bir mikroyapı oluşabilmektedir. Bu sebeple döküm haliyle kullanımları oldukça sınırlıdır ve çoğu zaman östenitik matris içerisinde oluşan ve rastgele dağılmış olan bu karbürleri çözebilecek bir ısıl işleme ihtiyaç duymaktadır [1]. Literatür çalışmaları incelendiğinde uygulanan çeşitli ısıl işlem prosedürleri ile bu çeliklerin çekme mukavemeti, darbe dayanımı ve aşınma direnci gibi özellikleri geliştirilebildiği görülmektedir [2].

Öte yandan yüksek manganlı östenitik çelikler aşınma ve darbeye karşı dirençli malzemeler olmasına rağmen bu malzemelerin servis şartları genelde nem ve çeşitli kimyasalları içeren oldukça korozif ortamlar olduğu bilinmektedir. Bu durum yüksek manganlı çeliklerin korozyon direncinin artırılmasına yönelik çeşitli çalışmaları da zorunlu kılmaktadır. Özellikle yüksek korozyon hasarı riski taşıyan servis şartlarında bir miktar mekanik özelliklerden feragat edilerek korozyon direncinin artırılmasına yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Literatürde bu çeliklerde korozyon direncinin alaşım elementi ilavesi, ısıl işlem, kaplama vb. yöntemler ile geliştirilebildiği görülmektedir [3,4]. Fakat uygulanan ısıl işlemlerin çeliğin korozyon özellikleri üzerine gerçekleştirilen çalışmaların oldukça az sayıda olduğu anlaşılmaktadır. Bu çalışmada ise yüksek manganlı östenit çeliğe uygulanan farklı ısıl işlem prosedürlerinin çeliğin korozyon özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir.

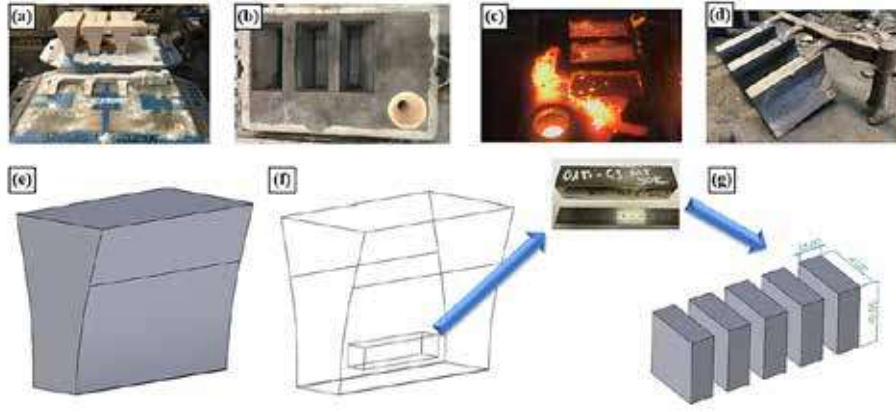
2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada indiksiyon ocağında ergitilen 3.5 ton alaşım yaklaşık 1450°C'de ergitilerek yaş kum kalıplama tekniği kullanılarak hazırlanan kum kalıplara dökülmüştür. Ergitme işlemi esnasında potadan alınan döküm numunesine uygulanan kimyasal analiz test sonuçları Tablo 1'de verilmiştir.

Sample	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Ti	Mo	Fe
As-Cast	1,02	0,52	17,45	0,042	0,009	0,03	0,06	0,099	1,21	Kalan

Tablo 1: Döküm numunenin kimyasal analiz sonucu (%ağ.)

Şekil 1'de görüldüğü gibi 40x40 mm ölçülerinden kesilen parçalara Tablo 2'de verilen prosedürlere uygun olarak ısıl işlem uygulanmıştır. Isıl işlem sonrası standart metalografik işlemler uygulanarak zımpara ve parlatma işlemi gerçekleştirilmiştir. Yüzeylerin hazırlanmasından sonra mikroyapısal olarak incelenecek numunelere %3 Nital kullanılarak 7 saniye süre ile dağlama işlemi uygulanmıştır. Mikroyapısal incelemeler ve karakterizasyon işlemleri Jeol JSM 6060 taramalı elektron mikroskobu ve Leica 1750 M metal mikroskobu kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1: Döküm prosesi şematik gösterimi

Numunelerin sertlikleri Brinell sertlik ölçme yöntemine göre 2.5 mm sertleştirilmiş çelik bilye kullanılarak 187.5 kgf yük ile ölçülmüştür. Numunelerin korozyon testleri Gamry 1010-E potansiyostat kullanılarak yapılmıştır. Korozyon testleri 0.5M NaCl çözeltisi içerisinde -0.5, +1.5 V potansiyel aralığında ve 1 mV tarama hızında gerçekleştirilmiştir. Korozyon testleri sırasında referans elektrot olarak Ag/AgCl, karşıt elektrot olarak ise grafit elektrot kullanılmıştır.

Numune Kodu	Çözeltive Alma Isıl İşlemi	Cökelti Sertlestirmesi
Ht-0	-	-
Ht-1	1100 °C (2sa)	-
Ht-2	1100 °C (2sa) + 1100 (2sa)°C	-

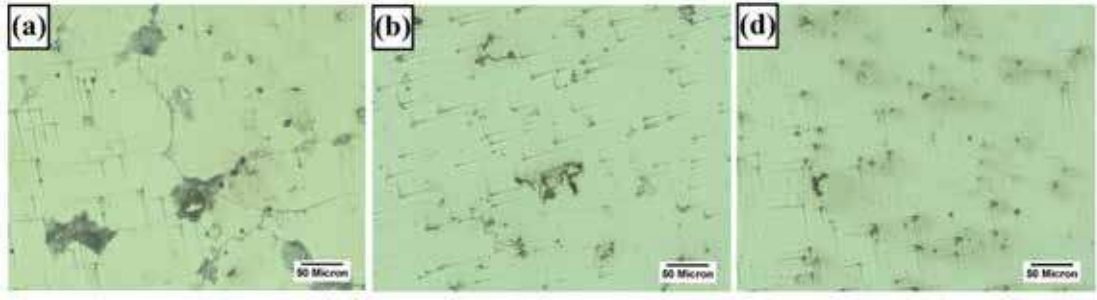
Tablo 2: Numunelere ısı işlem prosedürü ve kodlamaları

3. DENEYSEL SONUÇLAR

3.1. Mikroyapı incelemeleri

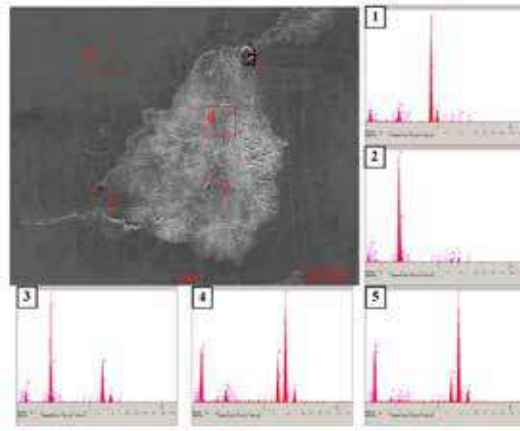
Şekil 2'de döküm sonrası ve ısı işlem uygulanan numunelerin optik mikroskop görüntüleri verilmiştir. Yüksek manganlı ostenitik çeliklerin mikroyapısında katılaşma esnasında östenit (γ -Fe) ana faz olarak oluşurken, düşük soğuma hızlarında sementit ve nadiren de olsa perlit fazları görülmektedir. Bu doğrultuda, Ht-0 kodlu numunenin mikroyapısında östenitik matris içerisinde tane sınırları boyunca ve matris içerisinde rastgele dağılmış karbür fazlarının olduğu görülmektedir. Benzer bir çalışma yapan Gürol ve Kurnaz [5], 1.0C-17.0Mn çeliğinin mikroyapısında östenit matris içerisinde tane sınırları boyunca perlitimsi görünüme sahip sementit fazının ve matris içerisinde rastgele dağılmış molibden karbür karbürlerin olduğu raporlanmıştır.

Tablo 1'de kimyasal analiz sonucu verilen döküm numunenin bileşiminde %1,21 oranında molibden ve az miktarda (% 0,099) titanyum gibi elementlerin bulunduğu görülmektedir. Bu iki elementin de güçlü karbür yapıcı elementler olduğu bilinmektedir [6,7]. Yüksek ergime sıcaklığına sahip bu karbürlerin alaşımın katılaşması sırasında ilk olarak katılaştığı düşünülmektedir. Şekil 2-a'da verilen döküm numunenin mikroyapısında karbür adacıklarının içerisinde bulunan açık renkli fazların ise molibden esaslı karbürler olması muhtemeldir. Bu durum Şekil 3'te verilen SEM görüntüsü ve EDS analizinde açık bir şekilde görülmektedir.



Şekil 2: Numunelerin optik mikroskop görüntüleri

Optik mikroskop görüntülerinde çözeltiliye alma ısıl işlemi sonrası özellikle tane sınırında boyunca çökelen iri sementit fazlarının çözüldüğü görülmektedir. Yine benzer şekilde molibden esaslı karbürlerinde mikroyapıda yer alamadığı anlaşılmaktadır. Fakat östenitik matris içerisinde halen rastgele dağılmış TiC ve/veya TiCN çökeltilerinin varlığı açık bir şekilde görülmektedir.



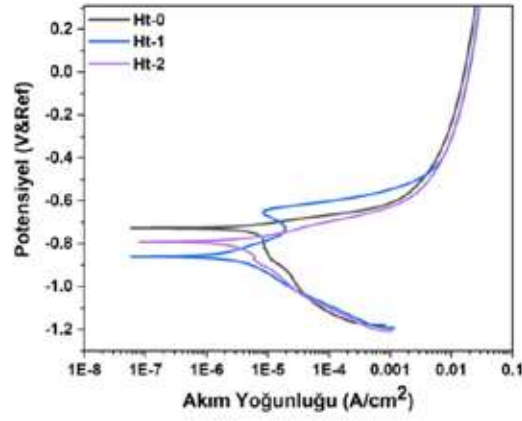
Şekil 3: SEM ve EDS analizi (Ht-0)

3.2 Sertlik test sonuçları

Brinell sertlik ölçme yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen sertlik testi sonuçları Ht-0 kodlu numuneden Ht-2'ye kadar sertlik değerleri sırasıyla 194.6 (± 0.2), 193.5 (± 0.3) ve 189.8 (± 0.1) olarak ölçülmüştür. Çalışmada en yüksek sertlik değeri çözeltiliye alma döküm numunede ölçülürken en düşük sertlik değeri ise tekrarlı olarak 1100 °C'de çözeltiliye alma işlemi gerçekleştirilen numunede ölçülmüştür. Öte yandan 1100 °C'de tekrarlı olarak gerçekleşen çözeltiliye alma sonrası numunede tane boyutunun bir kez çözeltiliye alma ısıl işlemi uygulanan numuneye kıyasla bir miktar daha artması ve bununla birlikte yapıdaki çözünmemiş karbür miktarının da azalması nedeniyle sertlikte eser miktarda düşüş olduğu görülmüştür.

3.3 Korozyon test sonuçları

Korozyon testi sonucu elde edilen Tafel grafiği Şekil 4'te verilmektedir. Tafel eğrilerine göre korozyon potansiyeli en pozitif veya diğer bir deyişle en soy olan numune Ht-0 kodlu ısıl işlem uygulanmayan numunedir. Korozyonun potansiyeli en negatif olarak ölçülen numune ise Ht-1 kodlu 1100 °C'de çözeltiliye alma ısıl işlemi uygulanan numunedir.



Şekil 4: Farklı ısı işlem sıcaklıklarından elde edilen Tafel eğrileri

Öte yandan Tablo 3'te verilen akım yoğunluğu verilerine baktığımızda en düşük akım yoğunluğu değerinin tekrarlı olarak çözeltiye alma işlemi uygulanan numunede olduğu anlaşılmaktadır. Akım yoğunluğu korozyonun kinetik açıdan yorumlanmasında önemli bir parametredir ve doğrudan malzemenin korozyon direnci hakkında bilgi vermektedir [8]. Akım yoğunluğu değeri en yüksek olan numune ise Ht-0 kodlu döküm numunedir.

Numune	E_{kor} (mV)	I_{kor} (μ A/cm ²)	Cr (mpv)
Ht-0	-726.508	6.152	3.136
Ht-1	-854.637	3.597	1.834
Ht-2	-787.81	3.143	1.602

Tablo 3: Tafel parametreleri

Bu durum döküm numunenin mikroyapısının çok sayıda farklı yapılar içermesi ve bu fazların mikroyapı içerisinde dağılımının homojen olmamasından kaynaklanabilir. Çözeltiye alma sonrası matris içerisinde çözünen karbürlerin mikroyapıda daha homojen bir şekilde dağıldığı söylenebilir. Bu sebeple döküm numunenin mikroyapısı galvanik çift oluşumu için oldukça uygundur ve bu durum alaşımın korozyon direncinin zayıflamasına neden olmaktadır. Literatürde çelik içerisinde bulunan molibden ve krom gibi elementlerin mikroyapıda homojen dağılması durumunda alaşımın korozyon direncinin artırdığı, fakat karbür olarak bulunması halinde korozyon direnci üzerinde negatif bir etkiye sahip olduğu bildirilmiştir. Bu sebeple çözeltiye alınmış numunelerin korozyon direnci döküm numuneye nazaran daha iyi olduğu tespit edilmiştir [9].

4. BULGULAR

Bu çalışmada endüstriyel olarak oldukça fazla kullanım alanına sahip olan ve kullanılan bir çelik çeşidi olan yüksek manganlı östenitik çelikte ısı işlemin mikroyapısal, sertlik testi ve korozyon direnci üzerindeki etkileri incelenmiştir. Elde edilen bulgular aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Yüksek manganlı östenitik çeliğin mikroyapısı, östenit matris içerisinde tane sınırları boyunca çökelen sementit fazı ve matris içerisinde dağılan farklı tip karbürlerden oluştuğu tespit edilmiştir. Çözeltiye alma sonucu sementitlerin ve molibden içerikli karbürlerin büyük bir kısmının matris içerisinde çözüldüğü fakat TiC ve veya TiCN gibi kararlı çökeltilerin bu sıcaklıkta çözülmediği anlaşılmaktadır.
- Sertlik testi sonuçlarına göre 1100 °C'de tek veya tekrarlı olarak gerçekleştirilen çözeltiye alma ısı işleminin alaşımın sertliğini eser miktarda düşürdüğü tespit edilmiştir.
- Isıl işlemin korozyon üzerinde etkili olduğu ve hem tek sefer hem de tekrarlı çözeltiye alma işleminin alaşımın korozyon direncini artırdığı görülmüştür.

REFERANSLAR

- [1] U. Gürol, E. Karadeniz, O. Çoban, S.C. Kurnaz, Casting properties of ASTM A128 Gr. E1 steel modified with Mn-alloying and titanium ladle treatment. *China Foundry* 18, 199–206 (2021). <https://doi.org/10.1007/s41230-021-1002-1>
- [2] S. Mishra and R. Dalai, A comparative study on the different heat-treatment techniques applied to high manganese steel, 44, Part 1, 2517-2520 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.602>
- [3] C.T. Sezgin, F. Hayat, The effects of boriding process on tribological properties and corrosive behavior of a novel high manganese steel, *J. Mater. Process. Technol.* 300 (2022) 117421. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2021.117421>.
- [4] A. Pardo, M.C. Merino, A.E. Coy, F. Viejo, R. Arrabal, E. Matykina, Pitting corrosion behaviour of austenitic stainless steels – combining effects of Mn and Mo additions, *Corros. Sci.* 50 (2008) 1796–1806. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.corsci.2008.04.005>.
- [5] U. Gürol, S.C. Kurnaz, Effect of Carbon and Manganese Content on the Microstructure and Mechanical Properties of High Manganese Austenitic Steel, *J. Min. Metall. Sect. B Metall.* 56 (2020). <https://www.aseestant.ceon.rs/index.php/jmm/article/view/23995>.
- [6] M. Mohammadnezhad, V. Javaheri, M.N. Seftajani, M. Mohammadnezhad, V. Javaheri, M. Naseri, Effect of the Molybdenum on the Microstructural and Mechanical Properties of Hadfield Austenitic Manganese Steel Genome of Steel-physics for strong, tough and sustainable steel View project Alloy development View project Effect of the Molybdenum on the M, in: Semnan University, 2013. <https://www.researchgate.net/publication/278411989>.
- [7] X. Wu, J. Xing, H. Fu, X. Zhi, Effect of titanium on the morphology of primary M₇C₃ carbides in hypereutectic high chromium white iron, *Mater. Sci. Eng. A.* 457 (2007) 180–185. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.msea.2006.12.006>.
- [8] K. Engin, K. Bülent, Ş. Şaduman, Ş. Uğur, Krom içeriğinin Fe(18-x)Cr_xB₂ (X=3,4,5) sert dolgu elektrotunda mikroyapı, aşınma ve korozyon davranışı üzerindeki etkisi, *Journal.* 36 (2020) 177–190. <https://doi.org/https://doi.org/10.17341/gazimmfd.689230>.
- [9] S. Peissl, G. Mori, H. Leitner, R. Ebner, S. Eglsäer, Influence of chromium, molybdenum and cobalt on the corrosion behaviour of high carbon steels in dependence of heat treatment, *Mater. Corros.* 57 (2006) 759–765. <https://doi.org/10.1002/maco.200503969>.

Precision Feeding in Large Castings

Güneş ÖZUYAR DURUKAN, Christof VOLKS
Foseco, Borken, Germany

ABSTRACT

In recent years the foundry industry has been increasingly challenged by changes in the design of castings. The main driver for these changes has been the reduction in casting weight, resulting in more isolated heavy sections and a reduced footprint available for feeding. These changes have made the task of ensuring efficient feeding of such castings increasingly complex.

While in the past the focus was on mass production in the machine-molding casting industry, this trend has now gradually been reflected in manual molding production. The resulting limits and requirements led to the development of the Foseco sleeve construction kit (SCK), which provides a solution to for these challenges in the foundry industry.

Keywords; Large Casting, Spot Feeding

1. INTRODUCTION

Large castings, defined by their size and complexity, are integral components in numerous industrial applications. The quality of these castings depends significantly on the feeding process during solidification. Ensuring tailored feeding of molten metal is essential to mitigate defects such as shrinkage, porosity, and segregation. Traditional methods of feeding have limitations in accuracy and efficiency, necessitating the adoption of advanced techniques for enhanced control and optimization.

High tonnage castings are integral to various industries such as energy, automotive, and heavy machinery due to their durability and ability to withstand significant stress. However, these castings often come with a high weight penalty, which can lead to increased material costs, manufacturing challenges, and operational inefficiencies. One effective approach to address these issues is through strategic design changes. Reducing the weight of cast parts, which is a recent industrial trend, is achieved through topology optimization. Topology optimization is a mathematical approach that optimizes material layout within a given design space for a set of loads and boundary conditions. By removing unnecessary material from the casting, this method can significantly reduce weight without compromising strength.



Figure 1: High tonnage casting part which design is changed with the topology method

By using this method, the suitability of redesigned high-tonnage parts for casting is gradually decreasing and the need for spot feeding is increasing. The need for spot feeding is met with the help of high modulus feeder systems, which should be used in high tonnage casting parts and have been specially developed for such parts.

This article aims to grasp the importance, challenges, and advantages of the tailored feeding concept in large casting production.

2. IMPORTANCE OF TAILORED FEEDING SOLUTIONS

The feeding process in large castings profoundly influences the final product quality. Inadequate feeding can lead to defects like shrinkage porosity, microporosity, and hot tears, compromising structural integrity and performance. Moreover, overfeeding results in excessive metal usage and increased production costs. Precision feeding ensures the optimal distribution of molten metal, minimizing defects while optimizing resource utilization. It is a critical factor in achieving dimensional accuracy, mechanical properties, and surface finish consistency in large castings.

3. CHALLENGES IN TAILORED FEEDING

Tailored feeding in large castings poses several challenges due to the complexity of the

process and the size of the components involved. Controlling metal flow and solidification dynamics in massive molds requires advanced computational models and simulation tools. Moreover, factors such as alloy composition, casting geometry, and process parameters influence feeding behavior, necessitating a comprehensive understanding of material science and fluid dynamics. Additionally, real-time monitoring and control of feeding systems present logistical and technical hurdles in large-scale production environments.

4. THE CONCEPT OF FOSECO'S SLEEVE CONSTRUCTION KIT

The development of sleeve construction kit (SCK) addresses the increasing industry requirements with rapidly advancing technology.



Figure 2: The feeders designed for high tonnage part

Sleeve construction kit is a feeder type that can be assembled to obtain the required module and volume with the smallest contact area. Therefore, this system is an ideal product for casting parts where minimum footprint is required. In addition to feeding efficiency and grinding cost, it provides a clean casting surface in the sleeve contact area.

This product group consists of two types of components as KALMIN 250 and FEEDEX HD. The desired volume can be obtained by assembling the insulation parts at the bottom with parts produced with highly exothermic components. This is done with a simple plug-in system, eliminating the need to glue components together.



Figure 3: SCK sleeve system

With the highly insulating properties of the lower part during solidification, the aperture can be reduced down to 40 mm. This results in 75% less cleaning area compared to conventional feeder sleeve types.

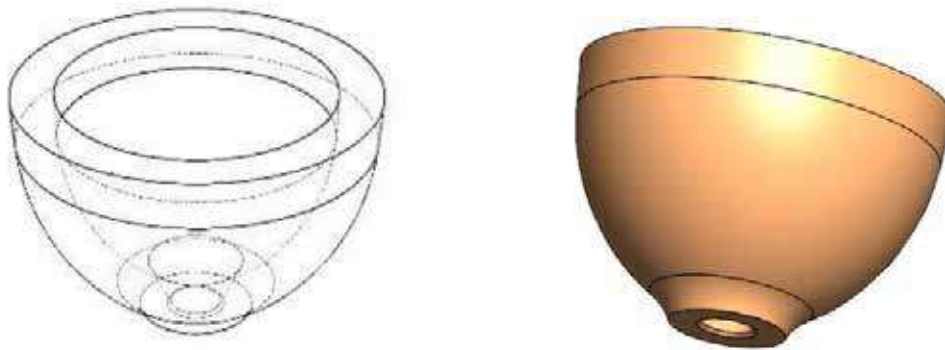


Figure 4: Bottom part of SCK sleeve system with breaking aperture made of Kalmin 250

The breaking edge at the bottom makes it easier to separate the feeder from the casting after shake-out. In other words, this feeder group allows feeding 5.4 cm to 6.9 cm module castings with the smallest possible aperture.

SCK Sleeve System												
Modulus (cm)	Volume (dm ³)	Sleeve Dimensions				Matrix						
		Du	Do	h	H	SCK U40	SCK U70	SCK U110 (for steel)	SCK M50	SCK M100	SCK O200	SCK D220
5,4	4,4	116	295	190	230	x	x	x				x
5,8	6,2	116	295	240	280	x	x	x	x			x
6,0	8,0	116	295	290	330	x	x	x		x		x
6,3	9,8	116	295	340	380	x	x	x	x	x		x
6,5	9,7	116	285	350	370	x	x	x			x	
6,7	11,5	116	285	400	420	x	x	x	x		x	
6,8	13,3	116	285	450	470	x	x	x		x	x	
6,9	15,1	116	285	500	520	x	x	x	x	x	x	

Table 1: SCK Sleeve System

The required modules and the required volume can be optimally adjusted using various combinations of add-on components, consisting of two different rings with a height of 50 or 100 mm. The modular structure of the SCK feeding system allows 16 different feeder combinations to be assembled from six components within the given module range. This system greatly reduces species diversity in traditional feeding systems and saves storage space.

5.APPLICATION

The steel casting case study described, had the purpose to increase efficiency by designing the casting without using a gating system. Furthermore, the target was to reduce energy costs by lowering the returns, and to reduce personnel costs by decreasing the fettling area.

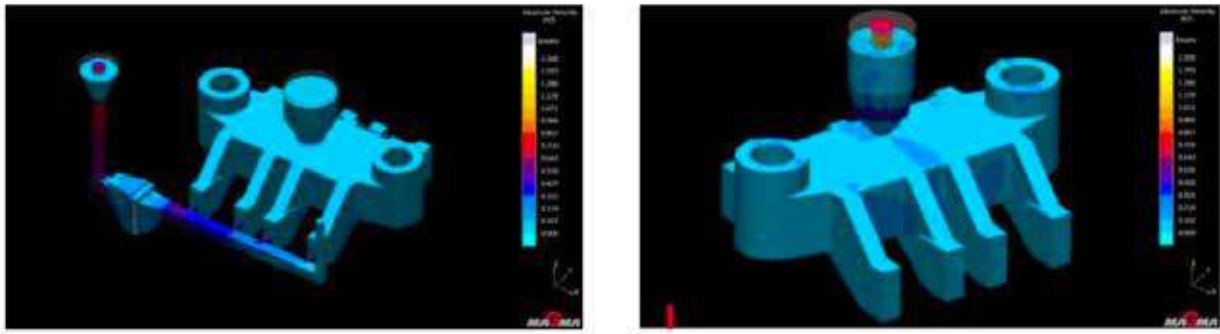


Figure 5: Comparison of the first method design of the casting part and the method designed with the SCK direct pour sleeve system.

The casting was made from EN GJS 400-18 with a casting weight of 800 kg. The total casting weight, including the runner and feeders used in the first method design, was approximately 959 kg and the casting efficiency was 83.4%. Additionally, the pouring time was observed to be 50 seconds.



Figure 6: View of the feeding system on pattern

With the changed method design, the casting part poured with a casting weight of 865 kg using one 6.8 cm module SCK direct pour feeder sleeves (1x C6 SCK U 70 F, 2x SCK M 100 F, STELEX* Optiflow3D Filter Ø125x30). There was a 70 mm aperture at the bottom part of SCK sleeves. With the removal of the gating system, the casting efficiency increased from 83.4% to 92.5% and the pouring time was measured as 40 seconds.



Figure 7: View of the feeding system in mold

The use of the advanced FEEDEX SCK direct pour system and the small pressure STELEX Optiflow3D filter provided the foundry with many advantages. Under favour of elimination of the runner system, minimum contact area with casting and high, uniform specific filter capacity of 7.1 kg/cm², the part could be produced very efficiently.

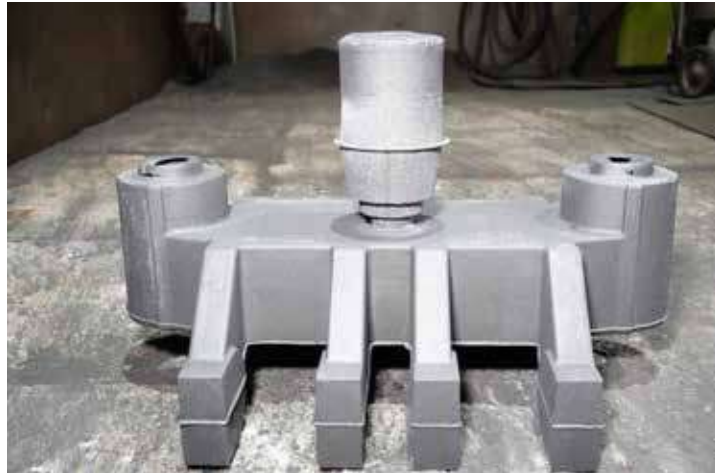


Figure 8: View of the casting part after fettling

The casting was sound, and a good surface quality was achieved, by using the SCK direct pouring system in combination with STELEX Optiflow3D filter. Returns were decreased by 10%, resulting in 94 kg less metal.

Fettling area reduced by 116 cm² or 75%. Since there are no negative thermal effects due to the high insulation effect of the bottom part of this system, no sinter problem has been observed.



Figure 9: View of the breaking edge area after shake-out and fettling

These results both provided a cost advantage to the foundry and helped to reduce CO₂ emissions by an improved casting yield.

6.CONCLUSION

A tailor-made feed solution is a critical aspect of large castings production, influencing quality, cost, and competitiveness in various industries. Addressing the challenges associated with feeding control and optimization requires a multidisciplinary approach integrating materials science, engineering, and data analytics. By embracing advanced technologies and innovative strategies, manufacturers can achieve higher levels of precision, efficiency, and sustainability in large cast-

ings manufacturing. Future research directions should focus on further refining feeding models, enhancing process monitoring capabilities, and exploring new materials and manufacturing techniques for continuous advancement in the field. Several benefits can be achieved by application of the modular SCK feeding system such as, less required storage space, less fettling, cleaning, and grinding requirement, easier installation and therefore improvement in working conditions.

6.REFERENCES

- 1) Steffen FRANKE, Christof VOLKS, "Precision Feeding in Large Casting", Vesuvius
- 2) Himanshu Singh, Prashant P. Hiremath, Subir Roy, John Brink, Andrew Stankovich; Altair Engineering Inc, "Topology Optimization & Casting Process Simulation", SolidThinking

Heat Treatment And Microstructure Characterization of Low Pressure Resin Sand Cast A201 Alloy

Abay TEKKOL, Yunus Emre DAĞISTANLI, Ali KALKANLI
Metallurgical and Materials Engineering Department
Middle East Technical University, Ankara, Turkiye

Abstract

In the experiment, A201 and A201+ (Ag and Ti added) series alloys with two different compositions were produced by low-pressure resin sand casting method. Firstly, the mechanical properties of the A201+ samples were compared and discussed by applying two different T6 heat treatments with 20-30 hours solutionizing times and temperatures, 16-13 hours aging times and temperatures. The tensile test results were in the range of 312-270 MPa. It is determined that the first T6 heat treatment yielded 312 MPa which is the highest.

Selected T6 heat treatment applied to the three specimens of A201+ one, two and three times. The UTS values of the specimens with one, two and three T6 applications were 307-315 MPa, 375-382 MPa and 432-445 MPa, respectively. The increasing trend in tensile values was observed as a decrease in elongation values. % Elongation values are 4,5%, 4%, 3,5% respectively. The micro hardness values measured after T6, 2xT6 and 3xT6 were found to be increasing as 128, 130, 133 MPa respectively.

As a result of the optical analyses, it was observed that the precipitation/ matrix phase ratio increased with the increase in the number of T6 applied. As more T6 was applied, the volumes of GP zones, θ'' and θ' precipitates increased. Therefore, hardness values increased and UTS values increased and % elongation decreased and grain sizes values increased from 55.75 to 78.81 mm.

Introduction

With developing technologies in the aviation industry, the requirements and needs of low density and high strength engine block materials are growing. With the development of manufacturing technologies like low-pressure die casting, it is becoming more available and extensive to use aluminum alloys to manufacture engine blocks, pistons and similar parts. The mechanical requirements for engine block materials are considered for high service temperature. This requirement is the main motivation of the research focus on the A201 and 206 aluminum series instead of the 2000, 7000 or 300 series of aluminum alloys. Especially the precipitation hardening capacity of A-201 alloy has potential when T6 heat treatment applied after casting.

Aluminum alloys show variations in terms of elongation and fatigue life due to the formation of an oxide layer called bifilm in castings if turbulent flow can not be avoided. Bifilm does not float in the molten metal, but remains suspended in the liquid and causes pores and cracks in the structure, which adversely affects the mechanical properties [1]. These negative effects can be reduced by low pressure casting and subsequent heat treatment. Since both turbulence and air entrapment are reduced with low pressure casting, the casting results in less porosity and bifilm formation [2]. Mechanical properties can also be improved by subsequent heat treatment.

Elements	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Ag	Al
Composition(% wt.)	0.72	0.033	4.80	0.29	0.28	0.46	Bal.

Table 1: Composition of A201[3].

Heat treatments basically include 3 stages. i) solutionizing ii) quenching iii) ageing. The desired ductility and strength values are optimized with the times and temperatures to be determined for these stages. Solutionizing is to make the alloying elements into a solid solution in the matrix. With the subsequent quenching these alloying elements are kept in the matrix and at the same time, the vacancy number reached at the solutionizing temperature is maintained at the low temperatures reached as a result of quenching. This results in excess vacancy creation in the matrix which encourages diffusion at moderate and high temperatures. Finally, ageing allows the alloying elements dissolved in the matrix to form the second phase in a controlled manner. At this stage, it is aimed to form GP zones, θ'' and θ' phases. GP zones are 3-10 nm sized precipitate zones that prevent dislocation movement [4].

The temperatures chosen in the heat treatment process play a critical role. Incorrect temperature choices can lead to incipient melting phenomena [5]. This is because the material does not melt but the grain boundaries melt. As a result, microvoids are formed, which will cause crack formation and negatively affect the mechanical properties [6].

Experimental

In this study, two different groups of specimens were prepared with changing alloying elements wt%, the second group has higher wt% alloying elements most importantly higher silver in order to see the effect of increasing wt% alloying elements. During the alloying, Fe and Si compositions were kept as low as possible to avoid the distortion of the A-201 nature. After the casting of two groups both of the specimens are treated with the same T-6 heat treatment which is identified below.

The first T6 heat treatment (here-after T6(serie-1)) can be seen in figure 1.

- 5 hours at 515°C to prevent incipient melting
- 15 hours at 530°C for solutionizing
- Water quench
- 24 hours rest at room temperature
- 16 hours aging at 186°C for precipitation hardening

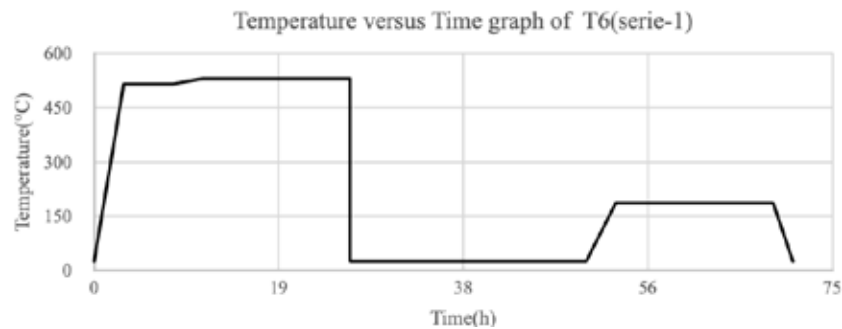


Figure 1: Graph of T6(serie-1)

Solutionizing processes were carried out with the basic resistance furnaces and the aging process were applied in convection furnaces.

To check the effectiveness of the heat treatment temperatures and the times of solutionizing and artificial ageing, different T6 heat treatments are applied to the two different groups of same compositional increased wt% alloying elements A201+ specimens. During the comparison of the changing heat treatment temperatures and times same type of furnaces are used as mentioned before. And here are the heat treatment conditions that are compared below.

The first T6 heat treatment is T6(serie-1) as mentioned before.

The second T6 heat treatment(here-after T6(serie-2)) .

- 5 hours at 515°C to prevent incipient melting
- 20 hours at 540°C for solutionizing
- Water quench
- 24 hours rest at room temperature
- 13 hours aging at 160°C for precipitation hardening

The experiment was continued with the heat treatment (T6 (serie-1)) which gave better mechanical properties according to UTS and % elongation values as a result of heat treatment. Then, in order to observe the effect of the number of heat treatments applied, three A201+ samples were subjected to T6(serie-1) heat treatment for one time, two times and three times, respectively.

After T-6 cycle application, tensile and hardness tests were carried out to observe the effect of multiple T-6 heat treatments on the specimen's optical analysis were carried out. Optical analysis were carried out with the help of 'Materials Plus' image analyzer program to reveal precipitation/matrix phase ratios and grain size variations. As a result of the optical analysis, precipitation ratios at the grain boundaries and grain size analysis results were obtained for each specimen. During the experiments, all tensile tests are carried out by a tensile test machine with the extensometer to identify UTS and %elongation of each group of specimens also each specimen are exposed to HV-1 hardness test.

Results & Discussion

A series of A201 alloys were produced by low pressure resin bond sand casting. Heat treated alloys with using 1x T6, 2x T6 and 3x T6 were assessed by hardness and tensile test and metallographic investigation by grain size measurements. Table 2 shows the composition and composi-

tional differences of A201 and A201+ alloys prepared for the experiment. Fe and Si compositions in the alloy sample were kept as low as possible in order to prevent the deviation from the nature of A201. The compositions of Mg, Mn, and Cr were kept constant while Ti was tripled and Ag was doubled.

Elements	A-201+	A-201	Literature
Al%	90,6	92,4	Bal.
Si%	0,449	0,0081	0,05-0,72
Fe%	0,0864	0,0831	<0,15
Cu%	6,55	6,21	4,5-4,97
Mn%	0,642	0,203	<0,35
Mg%	0,575	0,149	0,24-0,55
Ag%	1,1	0,701	0,46-0,63
Ti%	0,288	0,184	0,20-0,25

Table 2: Compositions of A201 and A201+.

First, T6(serie-1) was applied to A201 and A201+ specimens and the effect of alloying element was investigated. Table 3 shows the results. As can be seen in the table, when T6(serie-1) was applied to A201 and A201+, a higher amount of second phase particle formation due to the increase in the amount of Ag and Ti in A201+ resulted in an increase in hardness and strength. Due to the high mechanical properties of A201+ alloy, A201+ alloy was used in subsequent heat treatments.

	A201	A201+
UTS(MPa)	280	312
Hardness(MPa)	110	128

Table 3: Results of Applied T6(serie-1) to The A201 and A201+.

Then, T6(serie-1) and T6(serie-2) were applied to A201+ samples to see the effectiveness of the heat treatments. Table 4 shows the results. As can be seen, T6(serie-1) resulted in higher hardness and UTS values. There are two main reasons for this. Firstly, the homogenization temperature and homogenization time of T6(serie-2) were higher, which resulted in grain growth, which led to a decrease in the UTS value and especially the hardness. The second reason is that the ageing temperature and time of T6(serie-1) was higher, which resulted in an increase in θ'' and θ' phases. Since the temperature was lower than the growth temperature, the higher aging time and temperature of T6(serie-1) might not have a critical effect on grain growth.

	T6(serie-1)	T6(serie-2)
UTS(MPa)	312	270
Hardness(MPa)	128	125

Table 4: Results of Applied T6(serie-1) and T6(serie-2) to A201.

Finally, UTS and %elongation values were measured after T6(serie-1) was applied to A201+ for 1 time, 2 times and 3 times. Figure 5 shows the all T6 heat treatments' results. As can be seen, the best result was observed when T6(serie-1) was applied three times. According to the phase analysis results in figure 6, as the amount of T6 applied increased, the amount of second phase increased, therefore UTS and hardness increased and elongation decreased. The solutionizing temperature in successive heat treatments is not in the single phase region (see figure 4, table 6). Therefore, some of the primary phases forming during solidification remains undissolved in the structure at that temperature. The increase in the amount of precipitate at the end of each heat treatment cycle can be explained by the fact that some stable primary phases are not dissolved and some intermetallics may precipitate after second or third T6 heat treatment. As cast primary phase morphologies and EDX analysis are given in the figure 2, figure 3 and table 5 below. These primary phases' morphologies are not rounded or spherical but rod like and stress raising nature. Therefore, without heat treatment this rod like morphologies drastically reduce tensile strength at as cast state. Due to these reasons in this study multiple T6 heat treatment trials were performed. These rod like intermetallic can be observed in thick sections of engine blocks produced by same process technique but they can not be detected as rod like morphology in tensile test specimens solidified with a higher solidification rate. Moreover, in the tensile test specimens' microstructure these phase morphology is spherical and rounded as a result of rapid cooling rates during solidification (see figure 9). As shown in the figure 7 and figure 8, the average grain diameter increases after each cycle of T6 heat treatment. Since the growth is thermal activated process. After each T6 cycle grain diameter was observed to be increased revealed by grain size measurement.

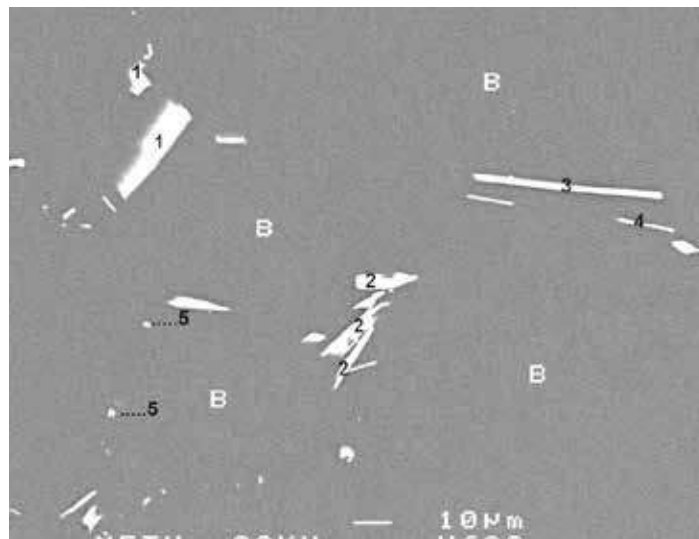


Figure 2: SEM Image of Primary Phases in As Cast State.

	1	2	3	4	5	B
Al	-	-	-	-	-	95,37
Mn	5,32	6,47	6,44	7,29	51,97	-
Cu	77,34	17,94	19,45	74,28	48,03	4,63
Fe	17,34	75,59	74,1	18,43	-	-

Table 5: Compositions (wt%) of Selected Points in Figure 2.

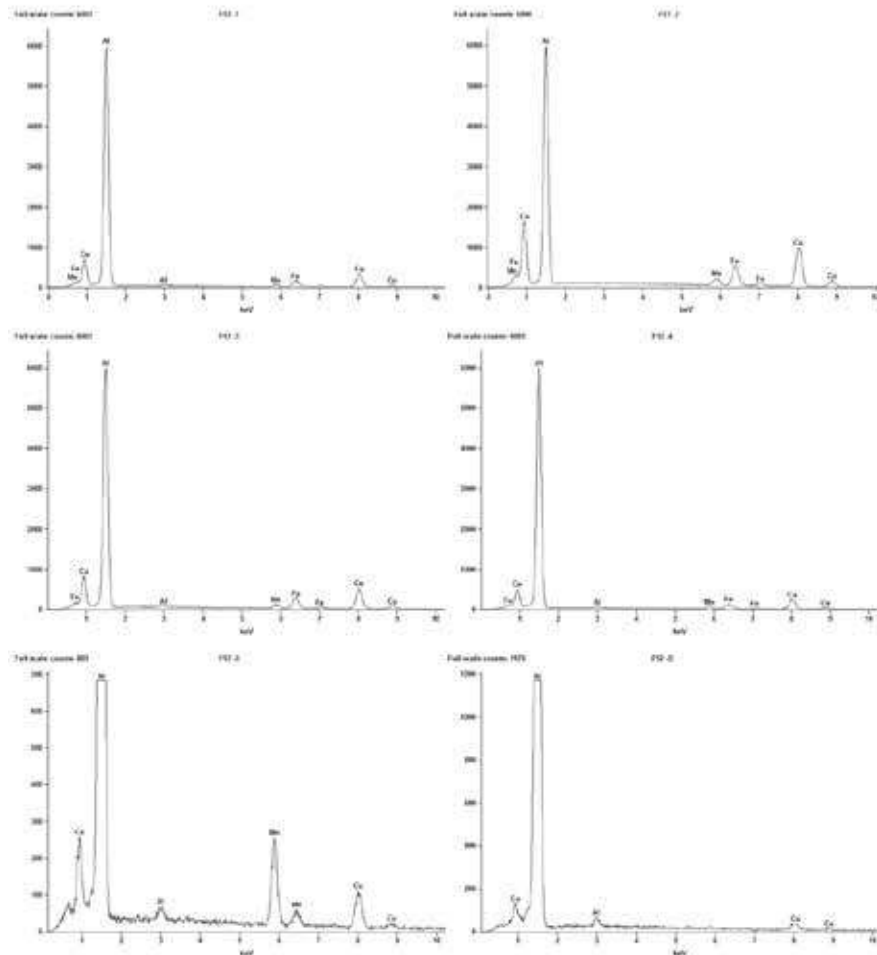


Figure 3: EDX Analysis of The Points on Figure2.

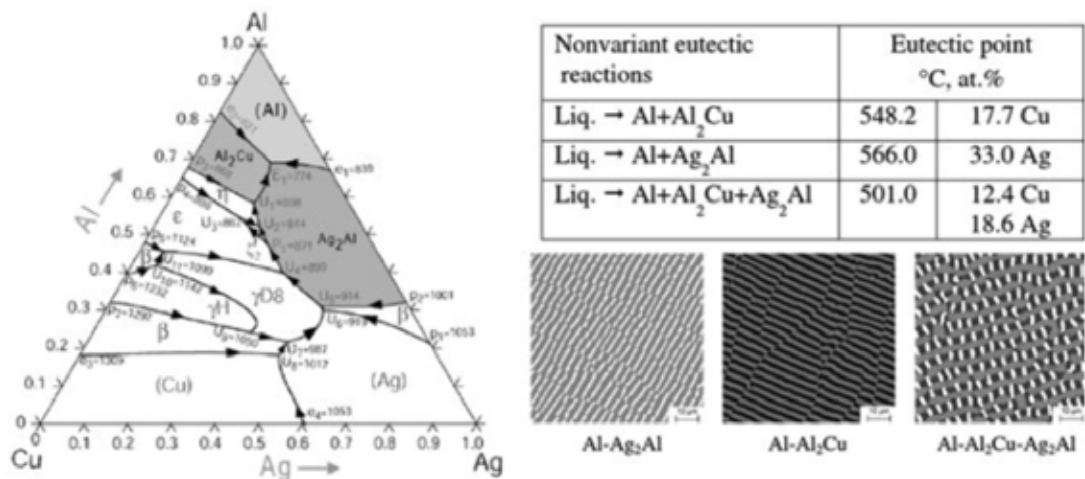


Figure 4: Liquidus Projection of The Al-Cu-Ag Alloy System (a) With The Nonvariant Eutectic Reactions in The Al-rich Corner of The System Being Listed Along With Typical Eutectic Growth Patterns in Transverse Section Through Directional Solidified Samples (b). The Phases Are Color Coded As Follows: Al (Grey), Al₂Cu (Black) and Ag₂Al (White) [7].

Reaction No.	Reactions	Suggested Temperature, °C
1	Development of a dendritic network	651 - 649
2	Liq. - Al + Al ₃ (MnFeCu)	649
3	Liq. + Al ₃ (MnFeCu) - Al + Al ₂₀ Mn ₃ Cu ₂	616
4	Liq. - Al + Al ₂ Cu + Al ₂₀ Mn ₃ Cu ₂ + Al ₃ FeCu ₂	537
5	Liq. - Al + Al ₂ Cu + Al ₂ MgCu + Mg ₂ Si	500

Table 6: Reactions and Summary of The Solidification of Alloy A201 [8].

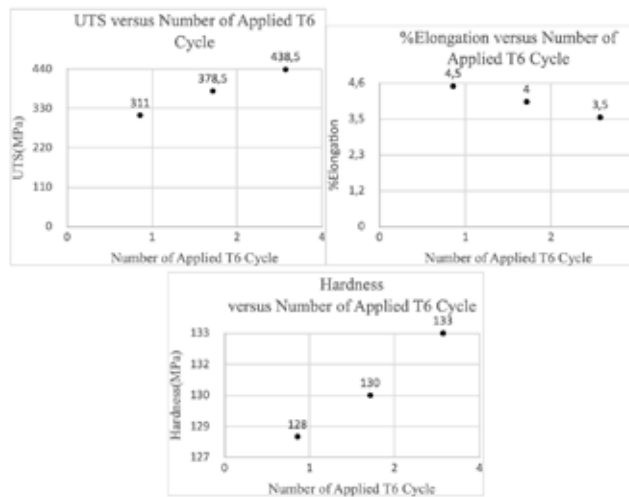


Figure 5: Results of Mechanical Tests at The End of The Each Cycle of T6(serie-1).

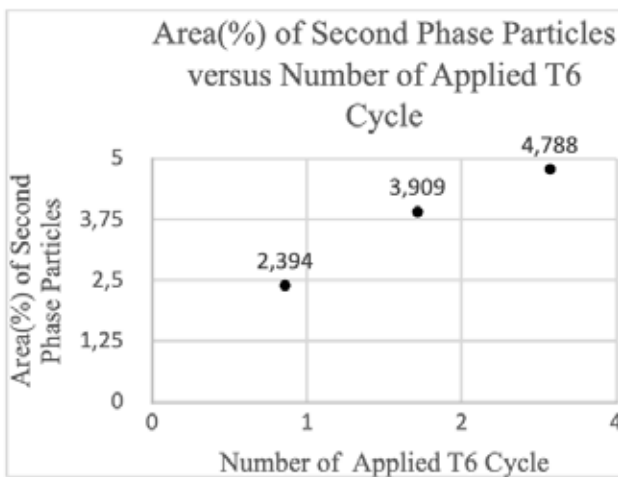


Figure 6: Area(%) of Second Phase Particles at The End of The Each Cycle of T6(serie-1).

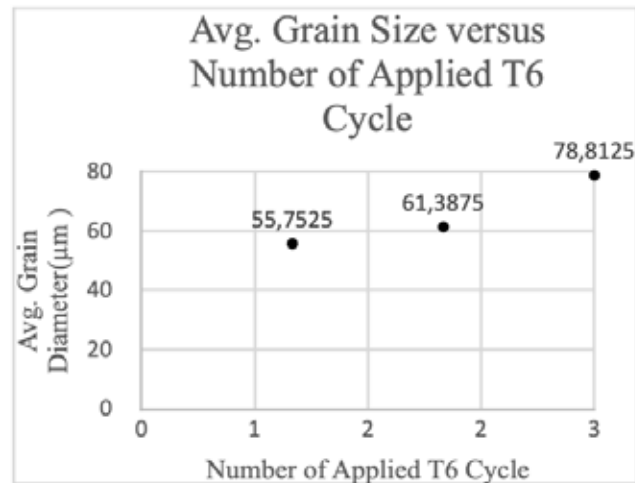


Figure 7: Avg. Grain Diameter at The End of The Each Cycle of T6(serie-1).

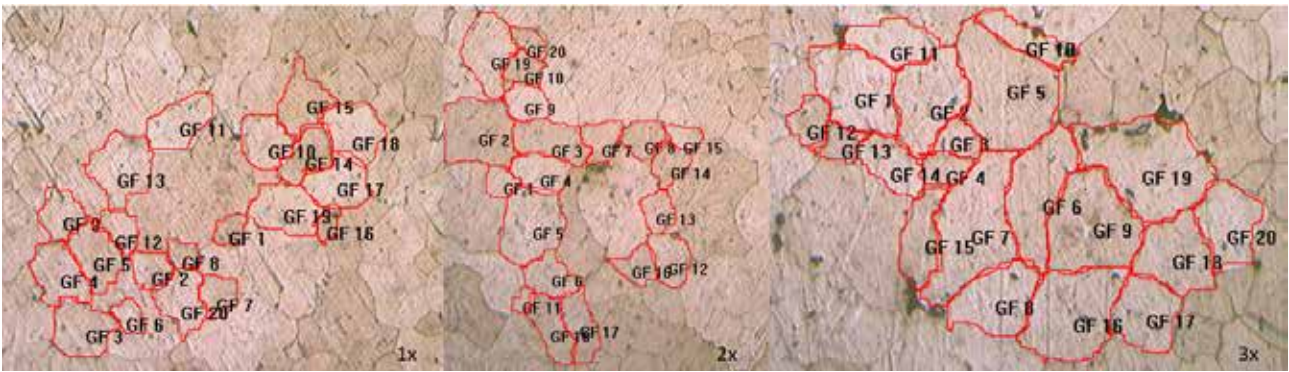


Figure 8: Selected Grains for Grain Size Measurement at The End of Each Cycle of T6(serie-1).

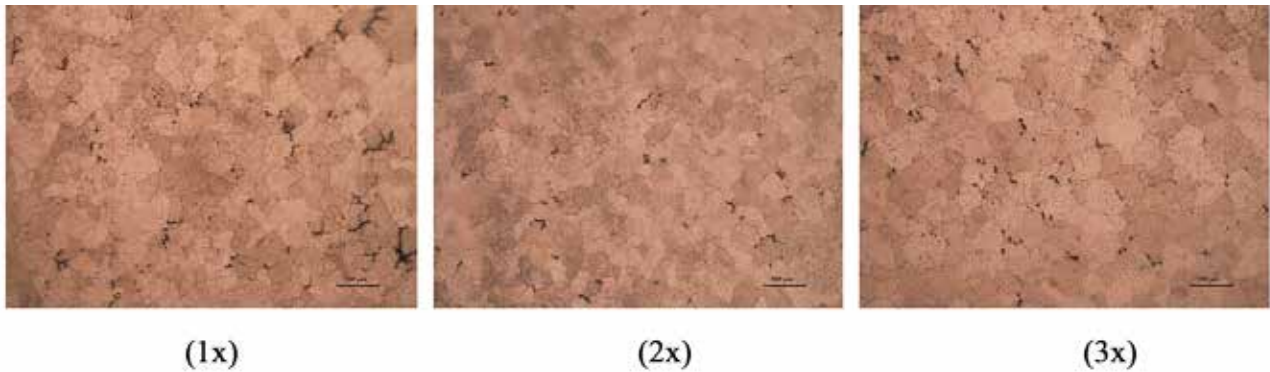


Figure 9: Metallography Images of Specimens at The End of The Each Cycle of T6(serie-1).(1x. Once T6,2x. Double T6, 3x. Triple T6)

Conclusion

1. The grain size measured for A201+ series alloy were found to be increasing with the number of T6 heat treatment. T6 carried out third times were useful in terms of tensile strength achieved. Tensile strength increased from 312MPa to 432MPa after third times T6 heat treatment.
2. The volume fraction second phase precipitates were found to increase from 2.394% to 4.788% after third times T6 heat treatment revealed by image analysis.
3. The increase in tensile strength and hardness can be attributed to modification of undissolved primary phases' morphology. Since iron containing intermetallics shapes are sharp and highly stress raising these shape modification by third times T6 heat treatment were found to be effective and proven by tensile test results. Although, there exists an expectation of decrease in tensile test values with an increase in grain size. A positive trend of tensile test results appeared parallel with increase in precipitate volume fraction.

References

- [1] M. Tiryakioclu and J. Campbell, "Ductility, structural quality, and fracture toughness of Al-Cu-Mg-Ag (A201) alloy castings," *Materials Science and Technology*, vol. 25, no. 6, pp. 784-789, Jun. 2009, doi: <https://doi.org/10.1179/174328408x378645>.
- [2] H. Nunes, Omid Emadinia, M. F. Vieira, and A. Reis, "Low- and High-Pressure Casting Aluminum Alloys: A Review," *IntechOpen eBooks*, Jan. 2024, doi: <https://doi.org/10.5772/intechopen.109869>.
- [3] A. El, M. Bamberger, and A. Katsman, "Microstructure and Phase Evolution in A201 Alloys with Additions of Silicon," *Springer eBooks*, pp. 127-130, Jan. 2016, doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-48251-4_22.
- [4] M. Kabir, M. Islam, I. Minhaj, and A. Ashrafi, "The Influence of Ageing Time and Temperature on the Structure and Properties of Heat Treated A201.0 Aluminum Alloy The Influence of Ageing Time and Temperature on the Structure and Properties of Heat Treated A201.0 Aluminum Alloy," *International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)*, vol. 3, no. 3, pp. 2277-3878, 2014.

- [5] E. P. Masuku, H. Möller, R. D. Knutsen, L. Ivanchev, and G. Govender, "Optimisation of the Solution Heat Treatment of Rheo-Processed Al-Cu-Mg-(Ag) Alloys A206 and A201," *Materials Science Forum*, vol. 618–619, pp. 353–356, Apr. 2009, doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.618-619.353>.
- [6] J. F. Nie, N. C. Wilson, Y. M. Zhu, and Z. Xu, "Solute clusters and GP zones in binary Mg-RE alloys," *Acta Materialia*, vol. 106, pp. 260–271, Mar. 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2015.12.047>.
- [7] U. Hecht, V. Witusiewicz, and S. Rex, "Solidification of Bulk Lamellar Eutectics," *Materials science forum*, vol. 790–791, pp. 343–348, May 2014, doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.790-791.343>.
- [8] Lennart Bäckerud, G. Chai, and J. Tamminen, *Solidification characteristics of aluminum alloys*. V. 2. Des Plaines, Illinois: American Foundrymen's Society, 1990.

KGDD Malzemelerin Hava Söndürme ile Soğutulmasının Mikroyapı Ve Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi

Cihan DEĞİRMENCİ, Özgür AYKUT, Berkan SARDOĞAN
Kardemir Döküm Makina Sanayi ve Ticaret A.Ş. , Karabük, Türkiye

ÖZET

Dökümhanelerde, döküm parçaların boyutsal ve kütleli değerleri büyüdükçe soğutma ortamlarının da geliştirilmesi gerekmektedir. Kullanılacak havuzlar, boyutsal açıdan dökümhanelerde büyük alanlara ihtiyaç duymaktadır. Havuzlar maliyet artışına ve çevre kirliliğine sebep olabilmektedir. Soğutma ortamına bağlı olarak yüksek soğutma hızlı ortamlar parçalarda farklı çatlak türlerine neden olabilmektedir. Bu zorluklar nedeniyle, parçanın fırın arabası üzerinde bir hava koridoruna sokulması düşünülmüş ve uygulaması çalışılmıştır. Çalışma sırasında havanın üç farklı soğutma hızı kullanılmıştır. Östenitleştirme işlemi sonrası temperleme ısı işlemi uygulanarak östemperlenmiş K.G.D.D. malzeme üretimi amaçlanmıştır. Farklı hava soğutma hızlarının etkisinde metalografik inceleme ve mekanik dayanım testleri yapılmıştır. Deneysel sonuçlar doğrultusunda hedeflenen malzeme üretilmiştir.

Anahtar kelime; K.G.D.D, Ö.D.D, Ösferrit, Hava söndürme, Östemperleme

ABSTRACT

In foundries, as the dimensional and mass values of the cast parts increase, cooling environments need to be improved. The pools to be used require large areas in foundries in terms of dimensions. Pools can cause increased costs and environmental pollution. Depending on the cooling environment, high cooling rate environments can cause different types of cracks in the parts. Due to these difficulties, inserting the part into an air corridor on the kiln car was considered and its application was studied. Three different cooling rates of air were used during the study. It is aimed to produce austempered SGCI material by applying tempering heat treatment after the austenitization process. Metallographic examination and mechanical strength tests were carried out under the influence of different air cooling rates. In line with the experimental results, the targeted material was produced.

Keywords; S.G.C.I, ADI, ausferrit, airquench, austempering

1. GİRİŞ

Östemperlenmiş küresel grafitli demir (ADI), küresel sünek demirin bir ailesidir. Tasarım mühendislerine olağanüstü mekanik özellikler sunar. Yüksek mukavemetin mükemmel kombinasyonunu sergiler, süneklik, tokluk, yorulma mukavemeti ve olağanüstü aşınma direncine sahiptir(1). Bu özellikleri nedeniyle çok geniş bir pazara sahip olmuşlardır. Ziraat ekipmanları, madencilik, demiryolları, otomotiv gibi pek çok alanda talep edilen bir malzeme türü haline gelmiştir. Bu malzemenin üretilmesindeki en önemli zorluk soğutma işlemidir. Soğutma ortamının seçilmesi fiziki ve maliyet açısından önem taşımaktadır. Genel olarak yağ, kimyasal içerikli su, gaz veya güçlendirilmiş hava bu ortamlardan en yaygın olanlarıdır. Ortamlar fabrika ve çevre şartları doğrultusunda seçilebilmesinin yanı sıra üretilen parçanın fiziksel özellikleri de seçimde esastır. Büyük kütleli veya boyutsal olarak büyük parçaların soğutulması büyük zorluklar içermektedir. Sıvı tankı boyutları ve sıvı miktarı gerek maliyet ve gerekse soğutma işleminde homojensizlik bu zorlukların bir kaçıdır. Çevreye atık olarak verilen gaz ve sıvı ise farklı bir kirlilik konusudur.

Östemperleme işlemi çelik malzemelerde olduğu gibi küresel grafitli dökme demirlerde de bir takım ısı işlemi kapsamaktadır. Isıl işlem sıcaklıklarında ve sürelerinde yapılan küçük bir değişim malzemenin mekanik özelliklerini şaşırtıcı oranda etkilemektedir. Östemperleme işlemi, östenitleme denilen yüksek sıcaklıkta uygulanan ve östemperleme denilen düşük sıcaklıkta uygulanan iki basamaklı bir ısıl işlem sürecidir. Bu süreç sonrasında elde edilen malzeme östemperlenmiş küresel grafitli dökme demir (ÖKGDD) olarak isimlendirilir. Östemperleme işleminden sonra küresel grafitli dökme demirin mikro yapısı sünek ve gevrek yapı arasındaki ilişkiyi optimize eden yüksek karbonlu kalıntı östenit ile beynitik yapıdaki ferritin karışımı haline gelmektedir. Bu durumda, küresel grafitli dökme demirin mekanik özelliklerinde önemli iyileştirmeler elde edilebilmektedir. ÖKGDD'de mikro yapı ve mekanik özellikler östemperleme sıcaklığı ve kimyasal kompozisyona bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Östemperleme işlemi sonrasında KGDD'de mukavemet artışının en büyük sebebi; yapı içerisindeki kalıntı östenit miktarıdır(2). Havayla söndürme, metalin mukavemetini, sertliğini ve dayanıklılığını artırmaya yardımcı olduğundan üretim sürecinde kritik bir adımdır. Östemperleme işlemi iki aşamada gerçekleşir. İlk aşamada belirli bir sıcaklığa kadar parçanın ısıtılması ve bekletilmesi sonrası hızlı bir şekilde soğutma ortamında soğutulması, ikinci aşamada ise daha düşük bir sıcaklıkta ısıtılıp temperlenmesiyle tamamlanır (Resim.1).

Soğutma ortamlarının hızı ve homojenliği parçanın mukavemet özelliklerine etki ettiği gibi fiziksel olarak çatlama yırtılmalar gibi hasarlarada neden olmaktadır. Anlık soğuma ya da yanlış daldırma işleminde parçalarda bu tür sorunlara neden olabilir. Bu hatalar küçük boyutlu ve çoklu daldırma ve soğutma işlemlerinde kontrol altında tutulabilirken (başınç, akış, kimyasal çözelti değişkenleri ile) , büyük boyutlu parçalarda taşıma ,daldırma ve yetersiz ortam soğutucuları gibi sorunlar nedeniyle yeterli verim alınamayabilir. Bu nedenle kısıtlı çalışma alanlarına sahip ve kütleli olarak büyük parça üreticileri için ürünün fırından çıkar çıkmaz hava ile soğutulması gerekli olabilir. Bu çalışmada ki amaçta boyutsal ve kütleli olarak büyük parçaların üretilebilirliğinin test edilmesi ve sektörel taleplerin karşılanana bilmesidir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

2.1.Malzeme: Bu çalışmada başlangıç mikroyapısı ferritik-perlitik matrise ve yeterli miktarda grafit nodülüne sahip bir K.G.D.D malzeme seçimi düşünülmüştür. Bu seçim doğrultusunda Tablo.1 de ki kimyasal içerik belirlenmiştir. İçeriğin belirlenmesinde sektörel ihtiyaçlar ve talepler etkili olmuştur.

Element	C	Mn	Si	P	S	Cu	Ni	Mo	Mg
% ağırlık	3,50- 3,80	0,20- 0,50	2,10- 2,60	Min.	Min.	0,90- 1,30	0,90- 1,30	0,20- 050	0,03- 0,07

Tablo 1: Çalışmada üretilecek K.G.D.D malzemenin ağırlıkça kimyasal içeriği

2.2. Döküm parça ve numune üretimi: Parça 15ton ağırlıkta, karmaşık bir geometri özelliğine sahip olup, yarım bir fener dişli taslağı olarak planlanmıştır. Döküm parça reçine-kum sisteminde çelik profil derecelerden oluşan bir kalıba dökülmüştür. Numune blokları döküm parça üzerine bitişik pozisyonda belirli açılarda yerleştirilmiştir. Numune boyutlar uluslararası normlara uygun olarak belirlenmiştir.(3) Çalışmada aynı üretim özelliklerine sahip farklı dönemlerde dökülmüş üç parça kullanılmıştır. Ergitme sürecinde, kullanılan pik malzemenin kimyasal içeriği Tablo.2 de, çelik hurda malzemenin içeriği ise Tablo.3 de verilmiştir.

Element	C	Mn	Si	P	S
% ağırlık	3,50- 4,50	Max. 0,10	Max. 1,00	Max. 0,050	Max 0,025

Tablo 2: Çalışmada kullanılan pik malzemenin ağırlıkça kimyasal içeriği

Element	C	Mn	Si	P	S
% ağırlık	0,075	0,478	0,131	0,017	0,010

Tablo 3: Çalışmada kullanılan çelik hurda malzemenin ağırlıkça kimyasal içeriği

Ergitme işlemi kapaklı toz ve duman emiş sistemli indüksiyon ocağında gerçekleştirilmiştir. Magnezyum reaksiyon işleminde cepli pota kullanılmış olup aşılama işlemi döküm potasına sıvı metalin aktarılması sırasında yapılmıştır. Kimyasal içeriğin ve sıcaklıkların belirlenmesinde Heraeus Digi Temp, OBLF GS100 marka cihazlar kullanılmıştır.

2.3. Isıl işlem: Isıl işlem çalışması 8,5x8,5x3 m boyutlarında, arabalı sistemli, gaz yakıt özelliğine sahip ısıtma fırınında gerçekleştirilmiştir. Resim.1 de yapılan ısıtma işlemlerinin şematik gösterimi verilmiştir.50 °C/saat ısıtma hızı ile 900 °C sıcaklığa ulaşılmış ve bu sıcaklıkta parça ile fırın ortam sıcaklığının sağlanması ve parça kalınlığı esas alınarak bekletme işlemi uygulanmıştır. Bekletme işlemi ardından ilk parçada açık havada serbest soğuma, 2. parçada hava koridorunda soğutma (4 adet fan kullanılarak), 3.parçada ise 6 adet fan kullanılan bir hava koridorunda soğutma işlemi 300 °C sıcaklığa kadar uygulanmıştır. Soğutma işleminde kullanılan fanların özellikleri Tablo.4 de verilmiştir. Bu işlemler ardından parçalarda 380 °C sıcaklıkta parça boyutları esas alınarak fırında bekletme işlemi uygulanmış ve fırında soğutma işlemi gerçekleştirilmiştir.(4)



Resim 1: Uygulanan Östempereleme ısıl işleminin şematik gösterimi.

Debi m ³ /h	58000
Basınç mmSS	50
Devir dev/dk	1500
Çap cm	100

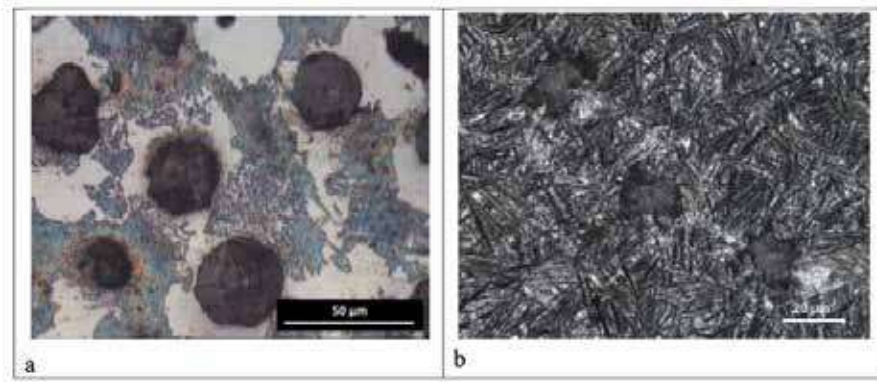


Tablo 4: Çalışmada soğutma işleminde kullanılan fanın özellikleri

Ortam	Soğuma hızı
Serbest	0,033 °C/saat
Hava koridoru	0,055 °C/saat
Güçlendirilmiş hava koridoru	0,066 °C/saat

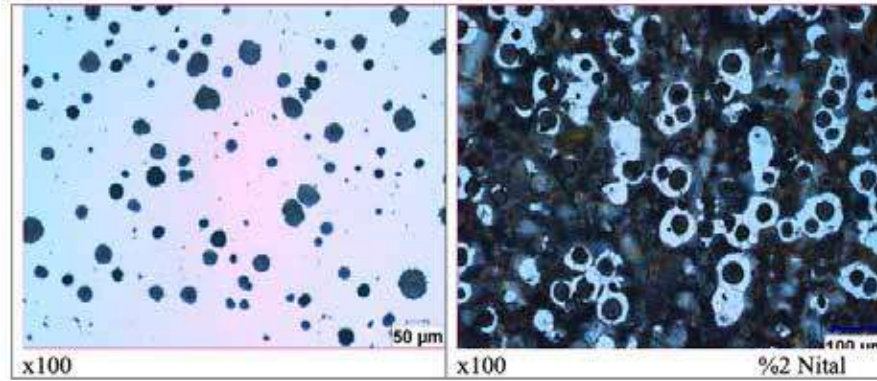
Tablo 5: Soğuma ve Soğutma ortam ve hızları

2.4 Metalografik incelemeler: Referans başlangıç mikroyapısı genel olarak perlit bir matris ve ferritle çevrelenmiş grafitleri içermektedir. Çalışma sonrası final mikroyapı Ösferrit = Asiküler (beynitik) ferrit+ Kalıntı östenit+ Grafit içermektedir. (5) Bu çalışmada belirtilen referans mikroyapılarında mikroyapılar elde edilerek sonuçlar değerlendirilmiştir. Çalışmalar NİKON MA100 marka mikroskopta ve CLEMEX görüntü analiz yazılımı ile yapılmıştır.



Resim 2: Referans kabul edilen başlangıç ve final mikroyapı.

2.4.1. Açık havada serbest soğuma :Döküm parça östenitleme işleme işlemi amacıyla fırın tablası üzerinde fırından çıkarılmış ve serbest soğumaya bırakılmıştır. Daha sonra temperleme işlemi yapılmıştır. Mikroyapı görüntü Resim.3 de ve image analiz ölçüm sonuçları Tablo.6 de verilmiştir. Mikro yapı genel olarak perlit bir matris içerdiği gibi grafitlerin çevresi ferrit alanlarıyla çevrelenmiştir.

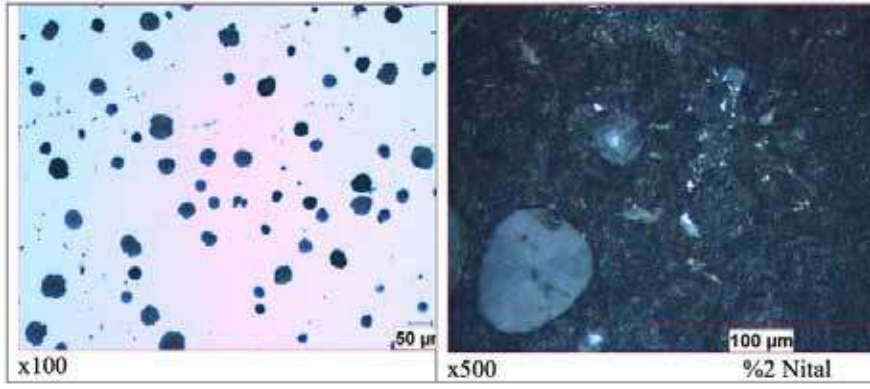


Resim 3: Açık havada serbest soğumaya bırakılmış parçaya ait mikroyapı görüntüleri.

Numune No/Alan no	Grafit/ Matris %	Ferrit/ Perlit+ Grafit	Grafit form No	Grafit size No	Nodülleşme oranı %	Nodül sayısı	Ort. Nodül çapı µm
1	10,075/ 89,544	15,989/ 84,011	V-VI	5-6	95	100	32,170

Tablo 6: Açık havada serbest soğumaya bırakılmış parçaya ait mikroyapı ölçüm değerleri (6)

2.4.2. Hava koridoru içinde soğutma: Mikroyapı görüntü Resim.4 de ve image analiz ölçüm sonuçları Tablo.7 da verilmiştir. Mikroyapı Perlitik yapının oluşumunun gözlemlendiği ancak yapının genelinde bir homojenlik oluşturmadığı belirlenmiştir. Matris de düşük oranda karbürler tespit edilmiştir.

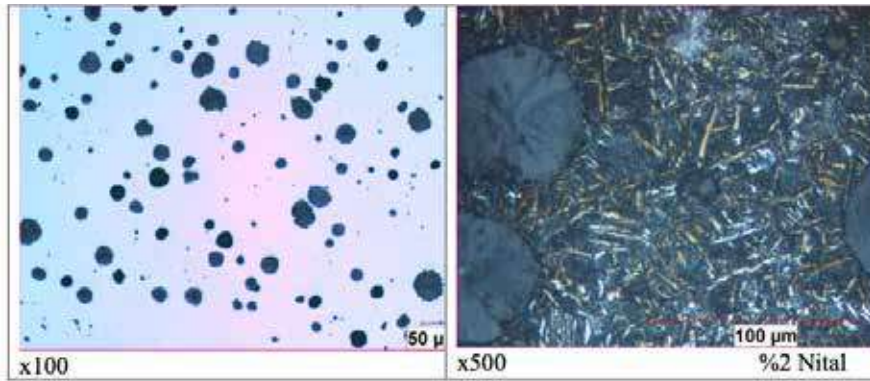


Resim 4: Hava koridoru içinde soğutulmuş parçaya ait mikroyapı görüntüleri.

Numune No/Alan no	Grafit/ Matris %	Ferrit/ Perlit+ Grafit	Grafit form No	Grafit size No	Nodülleşme oranı %	Nodül sayısı	Ort. Nodül çapı µm
1	10,09/ 89,52	3,45 /96,19	V-VI	5-6	95	107	34,49

Tablo 7: Hava koridoru içinde soğutulmuş parçaya ait mikroyapı ölçüm değerleri(6)

2.4.3. Güçlendirilmiş hava koridorunda soğuma: Resim.5 de dağlanmış mikroyapıda ösferrit yapının homojen bir matris oluşturduğu gözlenmiş olup kalıntı östenit fazının kısmen ve matris içinde dağınık olduğu dikkat çekmiştir.

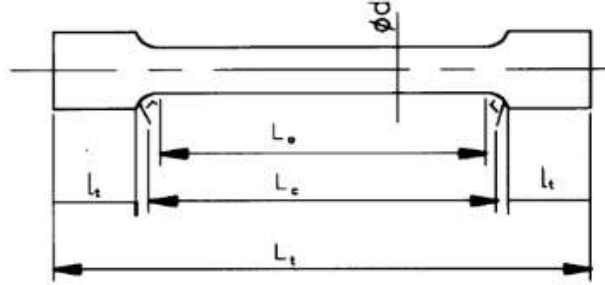


Resim 5: Güçlendirilmiş hava koridoru içinde soğutulmuş parçaya ait mikroyapı görüntüleri.

Numune No/Alan no	Grafit/ Matris %	Ferrit/ Perlit+ Grafit	Grafit form No	Grafit size No	Nodülleşme oranı %	Nodül sayısı	Ort. Nodül çapı µm
1	10,105/ 89,505	4,91 /95,09	V-VI	5-6	95	106	33,281

Tablo 8: Hava koridoru içinde soğutulmuş parçaya ait mikroyapı ölçüm değerleri (6)

2.5. Mekanik dayanım testleri: Resim.6. da standart bir çekme dayanımı test parçası ve ölçüleri verilmiştir.(3) Çalışmada ϕd değeri 10mm olarak alınmıştır. Çekme dayanımı testinde ALŞA marka 50 tonluk çekme cihazı kullanılmıştır. Sertlik çalışması Equotip 550 sertlik cihazı ile döküm parça üzerinden yapılmıştır. Döküm parçadan sertlik ölçümü, farklı bölgelerden taşlanıp zımpara işlemi yapıldıktan sonra gerçekleştirilmiştir.



Çekme deney parçası ölçüleri.

d	L ₀	Ölçüler mm'dir.
		L _c ¹⁾ min
5	25	30
7	35	42
10	50	60
14 ²⁾	70	84
20	100	120

1) Prensipl olarak
2) Tercih edilen ölçü

L₀ = İlk ölçü uzunluğu; Örneğin; L₀ = 5 x d
d = Ölçü uzunluğu boyunca numune parçasının çapı
L_c = Paralel uzunluk; L_c > L₀ (genel olarak L_c - L₀ > d)
L_t = L_c ve l_t'ye bağlı olarak numune parçasının toplam uzunluğu

Resim 6: Çekme dayanımı deney parçası.

Ortam	AKMA Rp.0.2 N/mm ²	ÇEKME Rm N/mm ²	UZAMA %	Sertlik HB
Serbest	579,95	611,46	8,1	196-210
Hava koridoru	660,4	882,94	4,9	270-300
Güçlendirilmiş hava koridoru	852,71	960,27	2,7	318-337

Tablo 9: Mekanik dayanım testleri ve sonuçları

3. SONUÇLAR

Yapılan çalışma sonucunda küresel grafitli dökme demire uygulanan östemperleme işleminin malzemenin mikroyapısına ve buna bağlı olarak da mekanik özelliklerine etki ettiği görülmüştür. Soğutma hızının artmasıyla birlikte malzemenin mikroyapısında ferrit + perlit sistemden ösferrit sisteme doğru değişim gösterdiği ve akma ve çekme mukavemetinde de belli bir oranda artış olduğu görülmüştür. Yapılan sertlik testlerinde elde edilen değerler ösferrit yapının parçanın genelinde homojen bir şekilde olduğunu göstermektedir. Referans mikroyapıya yakın sonuçların sağlamış olması ve malzemenin mekanik dayanım değerlerinin uluslararası standartlar içine girmesi (Tablo.10), çalışmanın dökümhanemiz şartlarında başarılı olduğunu göstermiş olmaktadır. Bunun yanı sıra geliştirilmesi gereken mukavemet değerlerinin de mikroyapıya bağlı geliştirilmesi ve çalışılması da gerekmektedir.

Material designation	0,2 % proof strength $R_{0,2}$ MPa min.	Tensile strength R_m MPa min.			Elongation A % min.		
		Relevant wall thickness in millimetres					
		$t \leq 30$	$30 < t \leq 60$	$60 < t \leq 100$	$t \leq 30$	$30 < t \leq 60$	$60 < t \leq 100$
EN-GJS-800-10C, EN-GJS-800-10C-RT	500	780	740	710	8	5	4
EN-GJS-900-8C	600	880	830	800	7	4	3
EN-GJS-1050-6C	700	1 020	970	940	5	3	2
EN-GJS-1200-3C	850	1 170	1 140	1 110	2	1	1
EN-GJS-1400-1C	1 100	1 360	To be agreed between the manufacturer and the purchaser.				

Tablo 10: TS EN 1564 Nisan 2012, bitişik numune mekanik dayanım değerleri (7)

4. KAYNAKLAR

- 1) F J. O. Olawale, S. A. Ibitoye, K. M. Oluwasegun, and M. D. Shittu, "Forced-Air Cooling Quenching: A Novel Technique For Austempered Ductile Iron Production Department of Materials Science and Engineering", Obafemi Awolowo University, Ile- Ife, Nigeria, A. P. I. Popoola Department of Chemical, Metallurgical and Materials, Tshwane University of Technology, Pretoria, South Africa, 2016 American Foundry Society
- 2) N. Yumak, K. Aslantaş, "Küresel Grafitli Dökme Demir Malzemesinde Östemperleme İşleminin Mekanik Dayanım ve Yorulma Çatlak İlerleme Davranışına Etkisinin Araştırılması", Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 33:1, 2018, 199-209
- 3) TS 526 EN 1563 Dökümler- Küresel Grafitli Dökme Demirler, Kasım, 2018
- 4) O. Eri, M. Jovanovi, L. Šidjanin and D. Rajnovi, "Microstructure and Mechanical Properties of CuNiMo Austempered Ductile", Journal of Mining and Metallurgy, 40B (1), 2004, 11 – 19
- 5) S. Bendıkiene, A. Ciuplys, R. Cesnavicus, V. Grigas, A. Jutas, vd. "Study of Austempered Ductile Cast Iron Enriched Particular Ratio of Nickel", Molybdenum and Copper, Proceedings of the conference were published in Web of Science and Scopus May 20th - 22nd 2020, Brno, Czech Republic, EU
- 6) ISO/TR 945-1,2 Graphite Classification by Visual Analysis, Graphite Classification by Image Analysis
- 7) TS EN 1564 Nisan 2012 Dökümler- Östemperlenmiş Sünek Dökme Demirler

Döküm Sektöründe PDI Uygulamaları

Fatih EVCİ*, Abbas GÖKSU*
***Erkunt Sanayi A.Ş., Ankara, Türkiye**

ÖZET

Döküm endüstrisi, çevresel sürdürülebilirlik ve artan emisyon standartları nedeniyle dönüşüm geçirmektedir. Müşterilerin artan talepleri, karmaşık ürün gereksinimleri, kalite kontrol süreçlerinin yeniden yapılandırılmasını zorunlu kılmaktadır. PDI (Pre-Delivery Inspection) alanlarının kurulması, bu süreçte önemli bir rol oynamakta olup, müşteri memnuniyetini artırmakta ve şirket prestijine katkıda bulunmaktadır. Bu çalışma, PDI alanlarının döküm fabrikalarının müşteri memnuniyeti üzerindeki etkisini ve kalite kontrol süreçlerindeki iyileştirmeleri ele almaktadır. Sonuçlar, PDI alanlarının müşteri şikayetlerini azaltarak iadelerin azalmasına ve genel müşteri memnuniyetinin artmasına önemli katkı sağladığını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Döküm, PDI, Kalite, Müşteri Memnuniyeti

PDI APPLICATIONS IN THE FOUNDRY INDUSTRY

ABSTRACT

The foundry industry is undergoing transformation due to environmental sustainability and increasing emission standards. Increasing customer demands and complex product requirements necessitate the restructuring of quality control processes. The establishment of Pre-Delivery Inspection (PDI) areas plays an important role in this process, increasing customer satisfaction and contributing to company prestige. This study investigates the impact of PDI areas on customer satisfaction and improvements in quality control processes of foundries. The results show that PDI areas make a significant contribution to reducing customer complaints, reducing returns and increasing overall customer satisfaction.

Key Words: Casting, PDI, Quality, Customer Satisfaction

1. GİRİŞ

Döküm endüstrisi, ağır sanayi ve imalat sektörlerinin önemli bir parçasını oluşturmaktadır. Sektör, büyük oranda motor blokları ve benzeri yüksek hassasiyet gerektiren parçaların üretiminde uzmanlaşmıştır. Bununla birlikte, çevresel sürdürülebilirlik ve müşteri memnuniyeti gibi faktörler, sektörün sürekli olarak yenilikçi çözümler geliştirmesini gerektirmektedir. Özellikle, karmaşık yapılara sahip motorlar ve endüstriyel ürün gruplarına yönelik artan talep, kalite kontrol süreçlerinin yeniden yapılandırılmasını zorunlu kılmaktadır. “Her firmanın kendi kalite düzeyini belirleyip, bu düzeyi geliştirmesi gerekmektedir. Bu amaç ile işletmelerde kalite ve süreç iyileştirilmelerinin yapılması yararlı olacaktır.”¹

Mevcut kontrol noktaları ile karmaşık kanalları bulunan parçaların kontrol edilmesinde zorluklar görülmektedir. Kontrol hatlarının üretim sürecinin verimini artırmak için yan yana kurulması, parça kontrolleri esnasında dikkat dağınıklığına ve ergonomik açıdan uygunsuzluklara sebep olmaktadır. PDI alanları bütün üretim süreçlerinden bağımsız kurulmuştur. Kurulum aşamasında ergonomik tüm şartlar göz önünde bulundurulmuştur.

Ana sanayide sıklıkla karşılaşılan PDI uygulamaları, müşteri isteklerinin artması, karmaşık yapıda üretilen ürünler ve müşteri memnuniyeti için yan sanayi firmalarında da kurulma ihtiyacı doğurmuştur. Bu bağlamda PDI alanları, sektördeki önemli bir strateji olarak öne çıkmaktadır.

1.1.PDI Alanlarına Duyulan İhtiyaç

Döküm sektöründe her geçen yıl maliyetler artış göstermektedir. Bu artış, sektördeki firmaları maliyet yönetimi ve verimlilik konularında daha dikkatli olmaya zorlamaktadır. Artan maliyetlerin yanı sıra, müşteri şikayetleri de firmalar için büyük bir sorun teşkil etmektedir. Müşteri memnuniyetsizliği, yalnızca firmanın prestijini zedelemekle kalmaz, aynı zamanda ek maliyetler de yaratır. Ana sanayi, ürünlerini hafifletmek ve daha karmaşık tasarımlar geliştirmek için yoğun Ar-Ge faaliyetlerine yatırım yapmaktadır. Bu çabalar, ürünlerin daha yüksek performans göstermesini sağlamakla birlikte, üretim süreçlerini de karmaşık hale getirmektedir. Karmaşık tasarımlar ve hafifletilmiş ürünler, döküm sektöründe hassas üretim tekniklerinin kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Bu durum, üretim süreçlerinde hata payını azaltmak için daha gelişmiş ve titiz kalite kontrol mekanizmalarının devreye girmesini gerektirmektedir.

Kalite kontrol proseslerinin gelişmesi, firmaların hem üretim verimliliğini artırmakta hem de müşteri memnuniyetini sağlamaktadır. Kalite kontrol alanlarının en son seviyesi olan PDI (Pre-Delivery Inspection) alanları, müşteriye sevk edilmeden önceki son kontrol alanlarıdır. Bu alanlar, diğer kontrol alanlarından bağımsız çalışmakta olup, ürünlerin müşteri gözünden değerlendirilmesini sağlamaktadır. Bu sayede, ürünlerin kalitesi ve müşteri memnuniyeti artırılmaktadır. PDI alanları, birçok ileri kontrol teknolojisini bünyesinde barındırmakta ve müşteri memnuniyetini doğrudan etkilemektedir.

1.2.PDI Alanı Tarihçesi

Pre-Delivery Inspection (PDI) süreçlerinin kökeni, 20. yüzyılın ortalarında otomotiv endüstrisine dayanır ve ilk olarak Ford Motor Company tarafından uygulanmaya başlamıştır. Ford, 1920'ler ve 1930'larda üretim hattından çıkan araçların kalite kontrolünü sağlayarak müşterilere sorunsuz araçlar sunmayı amaçlamıştır.

Bu süreçler, müşterinin gözünden kalite kontrol yapmanın işletmeye kalitesel anlamda çok şey katacağını göstermiştir. Bu yaklaşım, 1950'ler ve 1960'larda Japon otomobil üreticileri, özellikle Toyota ve Honda, tarafından benimsenmiş ve geliştirilmiştir. Toyota Üretim Sistemi (TPS) gibi üretim felsefeleri, yüksek kalite ve müşteri memnuniyetine odaklanarak PDI süreçlerini önemli

bir unsur haline getirmiştir. Aynı dönemde General Motors (GM) gibi diğer büyük otomobil üreticileri de PDI süreçlerini entegre ederek, araçların son kullanıcıya güvenilir bir şekilde ulaşmasını sağlamış ve böylece müşteri memnuniyetini artırarak marka imajını güçlendirmiştir.

PDI süreçlerinin kalitesel faydaları, hatalı ürünlerin müşteriye ulaşmadan önce tespit edilip düzeltilmesiyle müşteri güvenini artırmak, iade ve geri dönüşleri azaltmak ve genel operasyonel verimliliği yükseltmektir.

1.3.PDI Alanı Faydaları

Pre-Delivery Inspection (PDI) süreçlerinin üretimde kalitesel anlamda işletmeye sağladığı başlıca katkılar şunlardır:

Ürün Kalitesinin Artması: PDI süreçleri, ürünlerin nihai kullanıcıya teslim edilmeden önce kalite kontrolünden geçmesini sağlar. Bu süreçte yapılan detaylı kontroller, ürünün herhangi bir kusur veya hatadan arındırılmasını gerçekleştirmektedir.

Müşteri Memnuniyetinin Artması: PDI süreçleri, müşterilere hatasız ve yüksek kaliteli ürünlerin teslim edilmesini garantiler. Bu da müşteri memnuniyetini artırmakta ve müşteri sadakatini sağlamaktadır.

Hataların ve Kusurların Azalması: Ürünlerin teslimat öncesi incelenmesi, üretim sırasında veya depolama aşamasında meydana gelen hataların tespit edilip bu hatalar ve kusurlar üzerinden eğitim verilerek operatörlerin farkındalıkları arttırılmaktadır. Bu sayede hata ve kusur oranları azalmaktadır. Ek olarak bu hataların erkenden giderilmesi, müşteriye ulaşmadan önce sorunların çözülmesini sağlamaktadır.

Marka İmajının Güçlenmesi: Hatasız ve yüksek kaliteli ürünler, markanın güvenilirliğini ve itibarını artırır. PDI süreçleri, markanın müşteri gözündeki değerini yükseltmektedir.

Geri Dönüşlerin ve İadelerin Azalması: PDI süreçleri sayesinde, ürünlerin hatasız teslim edilmesi sağlanarak müşteri geri dönüşleri ve iadeler azaltılmaktadır. Bu da işletme maliyetlerini düşürmekte ve operasyonel verimliliği artırmaktadır.

Operasyonel Verimliliğin Artması: PDI süreçleri, üretim ve teslimat süreçlerinde standartların korunmasını sağlar. Bu standartlar, operasyonel verimliliği artırır ve iş süreçlerinin iyileştirilmesine yardımcı olur.

Maliyetlerin Azalması: Hatalı ürünlerin müşteriye ulaşmadan önce tespit edilip düzeltilmesi, yeniden işleme ve müşteri şikayetleri nedeniyle oluşabilecek maliyetleri azaltır. Bu da genel işletme maliyetlerini düşürür.

Müşteri Güveninin Artması: PDI süreçleri, müşterilere güvenilir ve tutarlı ürünler sunulmasını sağlar. Bu da müşteri güvenini artırır ve uzun vadeli müşteri ilişkilerini güçlendirir.

Pre-Delivery Inspection süreçleri, ürünlerin nihai kullanıcılara teslim edilmeden önce yüksek standartlarda olmasını sağladığı için işletmeye kalitesel anlamda önemli katkılar sağlar.

2. PDI ALANI UYGULAMALARI

Kalite kontrol noktalarında, kontrol planlarına uygun olacak şekilde kontroller gerçekleştirilmek-

tedir. Bu kontroller, üretim hatlarının sonunda veya üretim hatlarına entegre olacak şekilde yapılır. PDI (Pre-Delivery Inspection) alanları her sektörde üretimden bağımsız noktalardır. Bu sayede, parçaların kontrolleri diğer kalite kontrol noktalarından daha verimli gerçekleşmektedir. Sevkiyat öncesi son kontrol olması nedeniyle müşteri gözüyle her detay kolaylıkla incelenmektedir. PDI alanlarında, ürünler için ayrı ayrı bantlar tasarlanmıştır. Bu bantlar, parça ebatları göz önünde bulundurularak çalışan ergonomisine uygun yapılmıştır. Kontrol ekipmanları özenle seçilmiştir. Örneğin, boroskop, videoskop, mor ışık, yüksek lumenli ışıklar ve UV ışıklar gibi uygulamalar kullanılmaktadır. PDI alanlarında kullandığımız ekipmanlar ile yürütülen faaliyetler aşağıda listelenmiştir.

2.1. Videoskop Uygulaması

Parçaların içerisinde bulunan kanalları ve figürleri görüntülemek için kullanılmaktadır. Videoskop cihazı çift kameraya sahiptir. Bunlardan bir tanesi 90° görüntüleme sağlarken diğer kamera 45° derecelik açıda görüş sağlamaktadır. Mevcut cihazımız için ayrı bir istasyon hazırlanmış olup kablo karmaşası yaşanmaması için bir hat üzerine yerleştirilmiştir.



Şekil 1: Videoskop cihazı

2. “Boroskop Uygulaması

Parçaların içlerinde oluşabilecek hataları fark edebilmek için kullanmakta olduğumuz görüntüleme cihazıdır. Bu cihaz ile motor bloklarının yağ ve su kanalları kontrol edilmektedir. Cihaz karanlık bölgelerde kullanılırken bir ışık kaynağı bağlanmaktadır.



Şekil 2: Boroskop Kontrolü

3. Mor ışık/ UV ışık uygulamaları

Parçaların yüzeylerinde oluşabilecek çatlakları veya yüzey hatalarının fark edilebilmesi için UV/ mor ışık kullanılmaktadır. Bu ışıklar çatlak tespiti için literatürde geçen iyi yöntem olarak bilinmektedir.



Şekil 3: UV/Mor Işık ile Parça Kontrolü

4. Yüksek Lümenli Işık Kullanımı

PDI alanlarında kullanılan led lambaların yetersiz kaldığı durum ve bölgelerde yüksek lümenli ışıklar kullanılmaktadır. Örneğin motor bloklarının silindir içleri, küçük çapların içleri gibi yerlerde kullanılmaktadır.



Şekil 4: Yüksek Lümenli Işık ile Parça Kontrolü

5. Şablon Masterlarının Kullanımı

Parçaların bazı bölgelerinde figür hataları görülebilmektedir. Bu hatalar, taşlama operasyonu sonucunda fark edilememektedir. Bu alanlara özel şablon masterları tasarlanmıştır. Parçaların 3D verileri kullanılarak hazırlanan bu master sayesinde PDI operatörleri figür eksikliği, fazla taşlama ve eksik taşlama hatalarını kolayca tespit edebilmektedir.



Şekil 5: Şablon Masterları

6. Çevirmeli/Döndürmeli Hatlar ve Manipülatör

Parçaların alt yüzeyleri ve yan yüzeylerinin kontrolü için kullanmakta olduğumuz manipülatörler, çalışma ergonomisi ve kontrol sürelerine pozitif etkiler sağlamaktadır. Bu sistemlerden önce PDI operatörleri, parçaları kanca vb. aparatlar ile çevirmeye çalışmaktaydı. Parçaların kontrolünün sağlıklı bir şekilde gerçekleşebilmesi için kolay taşınması ve ergonomik alanlar önem arz etmektedir.



Şekil 6: Çevirmeli ve Döndürmeli Bant



Şekil 6: Çevirmeli ve Döndürmeli Bant



Şekil 8: Manipülatör

7. PDI Panoları ve Kalite TV

Müşteri bildirimlerini ve içeride tespit edilen hataları operatörleri bilgilendirmek için kullandığımız alanlardır. Her parça için ayrı ayrı panolar, parçaların kontrol edildiği hatların önünde mevcuttur. Bu sayede operatörlerin farkındalığının artırılması hedeflenmektedir. Panolara kalite alarmları asılmadan önce, alanda çalışan bütün operatörlere eğitim verilmektedir. Eğitimler, şahit parçalar üzerinden grup lideri veya mühendisler tarafından verilmektedir.



Şekil 9: Kalite Alarm Panosu

8. Şahit Parça Eğitim Alanı

Bu alan iş başı eğitimlerinde, müşteri bildirimlerinde ve içeride tespit edilen hatalar için tasarlanmıştır. Bunun yanı sıra kontroller esnasından operatörlerin tereddüt ettikleri bölgeler içinde kullanılmaktadır.



Şekil 10: Görsel Parça ve Şahit Parça Alanı

9. Parça Bazlı Bilgi Beceri Matrisleri

Periyodik olarak PDI alanında kontrol edilen parçalar üzerinden çalışanlar beceri ölçme değerlendirme sınavı yapılmaktadır. Sınav sonuçları bilgi beceri matrislerine kaydedilmektedir. Bu sayede çalışanların durumları tespit edilmektedir. Parça bazlı bilgi beceri matrislerinde eksik görülen konular üzerine düzenli eğitimler verilmektedir.

10. 5S Uygulamaları

PDI alanları kurulurken Erkunt Sanayi A.Ş. bünyesinde bulunan birçok atölye gibi 5S standartlarına uygun olması gerekmektedir. 5S alanları çalışan motivasyonu ve iş verimliliğine katkı sağladığı bilinmektedir.



Şekil 11: 5S Açılışı

2. ÖN TEST ÇALIŞMALARI VE ALAN TASARIMI

3.1. Ön Test Çalışmaları

PDI alanlarından önce final kalite kontrol alanlarında incelemeler yapılmıştır. Bu alanlarda parçalar üzerinde görülen hatalar işaretlenerek tashih hatlarına gönderilmektedir. Final kalite kontrol alanlarının, taşlama hatları ile birleşik olması nedeniyle fiziki şartların kalite kontrol uygulamalarının standartlarına uygun olmadığı tespit edilmiştir. Buna ek olarak, diğer ergonomik şartlardaki uygunsuzlukların iyileştirilmesi gerektiği görülmüştür.

Bir adet fire parça, final kalite kontrol alanında incelenerek hataların fark edilmesi istenmiştir. Parçada fark edilen hatalar not edilip fotoğraflanmıştır. Ardından, fire parçadaki işaretler temizlenerek tekrar bağımsız bir alanda kontrol edilmesi istenmiştir. Parça üzerinde tespit edilen hatalar tekrar not alınıp fotoğraflanmıştır.

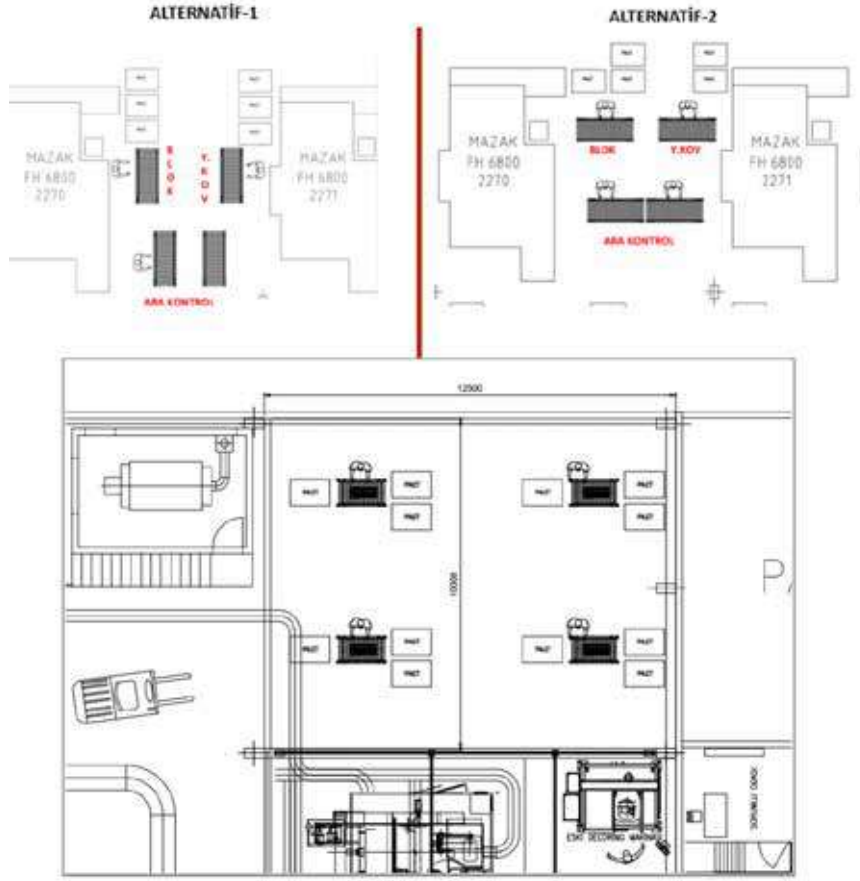
Bağımsız alanlarda yapılan kalite kontrol operasyonunda, parça üzerindeki hataların tespiti kolaylaşmış ve kalite kontrol sonuçları, final kalite kontrol hatlarına kıyasla daha doğru sonuçlar vermiştir.

2.2.PDI Alanlarının Tasarımları

Fabrikamız bünyesinde bulunan Yatırım Tesis Geliştirme Müdürlüğü ile yerleşkemizde bulunan alanlar incelendi. Bu alanlar üzerinden alternatif akışlar değerlendirildi. Her alternatif için simülasyon çalışmaları gerçekleştirilerek en optimal sonuç elde edilene kadar çalışmalar devam ettirildi. En optimal sonuçların bulunması üzerine alanların kurulumu başlatıldı.

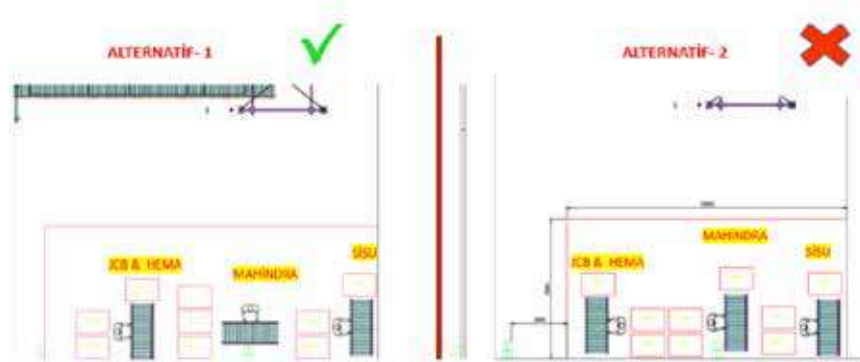
“Araştırmalar üretim sistemlerini tasarlariken yerleşim, parça, makine veya malzemelere göre yaşanacak değişikliklerde sisteme hızlı uyarlanabilme gerekliliği olduğunu göstermektedir.” (Andrisano vd., 2012).

Şekil 12: MF-1 PDI Alanı Yerleşim Planları



Şekil 13: DF-1 PDI Alanı Yerleşim Planı

En çok dikkat edilen konu, her parça için ayrı bir hat olmasıdır. Parça yükseklikleri ile bant yüksekliği birlikte değerlendirildi. Bunun sebebi, operatörlerin parçaları kontrol ederken eğilerek çalışmamalarıdır. Hatlara entegre çevirme ve döndürme istasyonları yapılmıştır. Bu sayede parçaların kaldırılıp tekrar hatta yerleştirilmeden tek seferde kontrol edilmesi sağlanmıştır.



Şekil 14: MF-2 PDI Alanı Yerleşim Planları

3. BULGULAR

PDI alanları, üretim hatlarından bağımsız olarak tasarlanmış özel denetim bölgeleridir. Bu alanlar, ürünlerin müşteri perspektifinden kalite kontrolünün sağlanması amacıyla kurulmuştur. PDI alanlarında gerçekleştirilen kontroller, geleneksel kalite kontrol yöntemlerine kıyasla daha kapsamlı ve detaylıdır. UV ve yüksek lümenli ışıklar, görsel hataların daha kolay tespit edilmesini sağlamaktadır. Özel bant ve görüntüleme sistemleri ile kontrollerin verimliliği artırılmaktadır.

PDI alanlarının kurulmasıyla, müşteri şikayetlerinde belirgin bir azalma gözlenmiştir. Yapılan incelemeler, bu alanlarda yapılan denetimlerin, kalite personelinin sorunları kaynağında çözmesini sağladığını göstermektedir. Ayrıca, PDI alanlarının şirket prestijine ve müşteri memnuniyetine olumlu katkıları tespit edilmiştir.

4. SONUÇLAR

PDI alanlarının döküm sektöründe uygulanması, hem müşteri memnuniyetinin artırılması hem de çevresel standartlara uyum sağlanması açısından büyük önem taşımaktadır. Firmaların bu alanlarda gerçekleştirdiği detaylı denetimler, ürün kalitesini artırmakta ve iadelerin azalmasına katkı sağlamaktadır. Erkunt Sanayi A.Ş. olarak yıllardan beri PDI uygulamalarına sahiptik ancak bu uygulamalar üretim süreçlerimize entegre şekilde yürütülmekteydi. Yapılan çalışmada, bağımsız bir alanda tam donanımlı ergonomik kontroller sayesinde görsel iadelerde %95 oranında azalma tespit edildi. Gelecekte, PDI süreçlerinin daha da geliştirilerek sektörde yaygınlaştırılması önerilmektedir.

3. TEŞEKKÜR

Alanlarımızın kurulumu ve işleyişinde verdikleri değerli desteklerden ötürü Erkunt Sanayi A.Ş. Genel Müdürümüz Sayın Emine Dilek Gündüz'e ve Kalite Güvence Müdürümüz Hande Birengel Zile'ye içtenlikle teşekkür ederiz.

4. KAYNAKÇA

- 1) Büşra KESİCİ - Mehmet Selami YILDIZ (2016) "Kalite Kontrol Faaliyetlerinde Yapay Zekâ Kullanımı ve Bir Otomotiv Yan Sanayisinde Uygulanması" / Sayı:12/ 308-310
- 2)A.L. Xie, "Enterprise Credit and Quality Management", Quality Management, Vol.5, 1996, P. 4.
- 3)R.E. Mc Dermott, "The Human Dynamics of Total Quality", Proceedings of 48th Annual Quality Congress, Las Vegas, May 1994, ASQC Inc, 1994, pp 225-233.
- 4)E.H. Melan, "Process Management", Mc Graw-Hill, New York, 1991, pp 36-40.
- 5)Andrisano A.O., Leali F., Pellicciari M., Pini F., Vergnano A., (2012) Hybrid Reconfigurable System design and optimization through virtual prototyping and digital manufacturing tools. Int J Interact Des Manuf 6(1):17-27.

Lost Foam Casting Process

Reporter: Li Zengmin

China Lost Foam V-Method Full Mold Casting Branch * China Hebei Province Casting and Forging Industry Association * China Hebei University of Science and Technology

ABSTRACT

This article briefly introduces the core principles and key links of lost foam casting technology.

Keywords: Lost foam casting, casting equipment, casting defects

1. Basic Principles of Lost Foam

1.1. Concept of Lost Foam Casting and Full Mold Casting

Lost foam - literally means that the foam pattern disappears during the casting process, and the foam pattern is the mold that forms the cavity, also known as a model. In sand casting, the mold is taken out and molten metal is poured into the empty cavity to form castings. Lost foam casting is to use specific plastics foam to make patterns (equal to the size of the casting), and then bury them in molding sand (dry sand or molding sand containing adhesive). After certain treatment, liquid metal is poured into them. The liquid metal gradually softens, liquefies, decomposes and vaporizes the patterns until the patterns are replaced, forming the metal entity casting in the space occupied by the patterns. So lost foam casting is also known as gasification casting, full mold casting (the mold cavity is the actual object during molding), and cavity free casting. In the process of lost foam casting, due to the presence of a physical model in the cavity, there is a physical and chemical reaction between the metal liquid and the model during the pouring process, which makes it significantly different from cavity casting.

1.2. The "disappearance" process of lost foam patterns: the heating change process of the model and the filling state and influencing factors of the metal liquid:

The biggest advantage of lost foam casting is that there is no need for mold drawing and box closing operation, which brings great benefits to the process and greatly improves the production efficiency. However, its biggest shortcoming also stems from this, the solid type makes the liquid metal filling process extremely complicated, resulting in various defects of the casting. Because the lost mold casting relies on liquid metal to pyrolyze the pattern, the liquid metal replaces the original position of the pattern, and forms the casting after solidification. There are very complex physical and chemical reactions in the front of liquid metal filling flow.

In the liquid metal front, an air gap of a certain thickness is formed between the liquid metal and the unvaporized pattern. In the air gap, there are heat transfer effects and chemical reactions such as conduction, convection and radiation between the liquid metal at high temperature and the coating, dry sand and the unvaporized pattern.

There are also physical and chemical reactions and mass transfer between the pyrolysis products formed by the lost foam model under the action of high temperature metal liquid and liquid metal, paint and dry sand.

During the filling process of liquid metal, the pressure in the air gap increases, causing the thermal decomposition and endothermic reaction of the pattern, resulting in a continuous decrease in the temperature at the front of the metal flow, which has a certain impact on the momentum transfer of liquid metal filling.

In Figure 1, the filling process of liquid metal in lost foam casting, as well as the transfer process of heat, mass, and momentum at the metal flow front, are illustrated schematically.



Figure 1: Mass and Heat Transfer

1.3.The influence of negative pressure field in lost foam casting: the state and distribution of negative pressure in the mold:

There is a great difference between the front shape of the filling metal in the lost foam casting under negative pressure and that without negative pressure. The negative pressure makes the flow of liquid metal present serious turbulence, and the negative pressure leads to strong wall attachment effect in the filling process of liquid metal.

Through a lot of experimental research and production process, it is found that negative pressure has a great negative effect on the filling form of liquid metal, resulting in many defects such as entrainment, inclusion, slag porosity and so on. Therefore, the current black metal alloy casting, especially the casting production of steel casting, puts forward to reduce the negative pressure as much as possible under the premise of ensuring that the dry sand mold does not collapse.

The negative pressure generated by the negative pressure chamber can produce a strong wall attachment effect on the liquid metal being filled. According to the test, the filling speed of the outer wall of the casting is several times different from that of the central part, and the filling begins to form a U-shaped filling front soon. The liquid metal layer formed near the outer wall of the casting quickly solidifies and forms a U-shaped "cavity" sealed by the chilled solid layer around it. The upward filling speed of the metal liquid in the middle is obviously much slower. In this case, the gas and pyrolysis products and inclusions of the middle part of the pattern gasification are blocked. Although the chilled layer formed is not dense, it causes resistance to the direct transverse discharge of the pattern gasification gas.

1.4.Main defects of lost foam casting: unique defects and conventional defects:

Compared with traditional sand casting, the forming process of lost mold casting is much more complex, not only directly related to the success or failure of casting forming and the quality of casting, but also has a significant impact on the internal quality of casting. The common casting defects in the production process include mold collapse, insufficient pouring, casting carburization, wrinkle, porosity and other defects, often closely related to the casting forming process. It is produced in the molding process of mold pyrolysis, air gap pressure, pyrolysis products, etc. The flow front and various physical and chemical reactions that occur during the metal filling process are invisible to us, becoming a "black box" in casting production. Therefore, people engaged in lost foam casting practice should give sufficient attention to the theoretical basis of lost foam casting forming.

1.5.Special extended lost foam casting process: shell lost foam casting:

Shell lost foam casting can be regarded as an improved lost foam casting process. Its principle is to change the coating material and increase the coating thickness on the basis of the original lost

foam product. After calcination, the raw materials inside the cavity are melted and overflowed. Under high temperature, the shell material changes, the strength and hardness increase, and the empty shell with smooth internal surface is formed. The advantage is that the internal quality of the product has been improved, in addition to all the advantages of traditional lost foam casting, it completely eliminates the unique defects such as casting carbonization, slag inclusion, and porosity caused by white mold gasification in the former. Moreover, the surface smoothness and dimensional accuracy of the casting are higher, making it possible to produce higher grade castings. The following is a display image:



Empty shell in lost foam casting



High temperature roasting furnace in shell lost foam casting



Shell lost foam casting finished product

2. Pattern and Performance Requirements for Lost Foam Casting

2.1. Lost foam pattern materials and their properties: EPS and copolymers:

EPS, exploitable polystyrene, carbon 92%. Each ethylene molecule is combined with one benzene molecule, known as the benzene ring, to form one styrene molecule. Benzene ring is unusually stable, not easy to add, not easy to oxidize, not easy to decompose. EPS has a high proportion of benzene ring, poor gasification, and a large amount of solid residue, which can form a lot of carbon defects and significantly increase carbon content (up to 0.2%). If stable or flame-retardant components are added during the polymerization process, the gasification effect will be worse and there will be more solid residues.

The copolymer is a copolymer of styrene and methyl methacrylate with a carbon content of 62%. Methyl methacrylate is a molecular chain structure that is easy to decompose without binding benzene ring. After the polymerization of styrene and methyl ester, the proportion of benzene ring in polymerization molecular chain is reduced, and the decomposition of methyl methacrylate can catalyze the decomposition of benzene ring. Therefore, the copolymer material decomposes more fully, gasifies well, and has less solid residue.

2.2. The production process of lost foam pattern: mold forming machine processing (cutting and carving):

The production and molding of lost foam patterns include mold molding, manual molding, and machining molding. Among them, manual molding is the most primitive method of model assembly, mainly suitable for casting products with low requirements for appearance quality and accuracy; Mold forming and machining forming are relatively common, mainly due to their high mold making efficiency, saving labor costs, and low model scrap rate, making them suitable for mass production; The majority of mold forming is made of aluminum, and its main working method is to inject compressed air into the EPS raw material after pre foaming, and then steam heat it into the mold to form a foam plastic model. Machine processing molding is achieved by using a CNC cutting machine or CNC engraving machine to complete the foam plastic model through programming.

3. Lost foam coating, molding sand and performance requirements.

3.1. Concept and function of lost foam coating: coating composition, composition, function, and dip-coating method:

The lost foam coating uses different materials depending on the casting material. According to the material of the casting, it can be divided into: cast iron coating, cast steel coating, alloy steel, high chromium steel, high manganese steel and other lost foam coatings. Its main components include zircon, corundum, graphite, high alumina, kyanite, etc. The main methods of use are immersion coating, spray coating, etc. The main characteristics of lost foam coating are high breathability, high fire resistance, and high strength. As an essential key step in lost foam products, the main function of lost foam coating is to ensure that the molten metal is isolated from dry sand, able to withstand the high temperature and impact of the molten metal, while not breaking, and to ensure that the molten metal completes displacement molding.

3.2. Characteristics and requirements of lost foam casting sand: sand type, particle shape, particle size, and particle size distribution:

The raw sand used in lost foam casting is the molding material. For the production of gray cast iron pipes, silicon sand is generally used as the raw sand for sand filling molding. The chemical composition of dry sand can be satisfied as long as the mass fraction of SiO₂ is 90% or 95%. High quality EPC castings must be obtained from molding sand with good air permeability, because the decomposition of foam plastic pattern is mainly removed by dry sand and coating during

pouring, while the main feature of dry sand without binder is good air permeability; However, the dry sand angle coefficient and particle size used for sand filling in lost foam casting should be strictly controlled. As for clean dry sand, the permeability depends on the size of the original sand particles: in terms of the geometric shape of the original sand, circular sand has the best fluidity and compactness, and circular sand has higher permeability compared to angular dry sand. The particle size of dry sand should not be dispersed, otherwise it will reduce the air permeability of the compacted molding sand. It is also necessary to strictly control the temperature of the dry sand used for shaping.

The thermal stability of foamed plastic is very low. If the temperature of dry sand used is too high, the foam model will be softened, increasing the possible deformation of the model; To prevent thermal deformation of the model, molding sand exceeding 60 must be cooled before being allowed to be reused; The commonly used sizes of molding sand include 10-20 mesh, 20-40 mesh, 40-60 mesh, and other sizes of dry sand. Common types of molding sand include quartz sand, pearl sand, and other types.

4.Function of Lost Foam Casting Modeling Equipment

4.1.Basic equipment for lost foam casting: negative pressure equipment, vibration equipment, sand treatment equipment:

The basic conditions for lost foam casting are to have a set of negative pressure equipment, vibration compaction equipment, sand treatment cooling equipment, and sand boxes required for molding; The main workflow is to place the dried lost foam product in a sand box and go through processes such as adding sand and compacting it. Then, negative pressure equipment is used to extract negative pressure and start pouring the product. After pouring, the product is flipped out of the box. The sand treatment equipment screens and cools the sand, and it is reused. This is the simplest process flow.



Vibration table Negative pressure system Horizontal cooling machine

4.2.Process equipment for lost foam casting: specialized sand boxes, pattern assembly tools:

The sand box is an essential supporting product for lost foam products, and the structural design of the internal air chamber of the sand box directly affects the negative pressure inside the sand box. Therefore, it is necessary to have a qualified dedicated sand box for lost foam, with multiple process processes, which can achieve all-round negative pressure adsorption and ensure that the product is poured to meet the most ideal process requirements; The assembly platform is generally divided into a cutting platform and an assembly platform. The cutting platform can cut different models according to the needs of the product, and is often used as a cutting tool for runners, internal gates, and simple products. The assembly platform is a workbench for assembling, bonding, and repairing intact models on the platform.



Sand box

4.3.Functional requirements for the main equipment of disappearing mold: control of negative pressure, control of vibration parameters, and control of sand temperature:

The process requirements for lost foam casting products will also be adjusted according to their different wall thicknesses and internal structures. There are strict requirements for controlling negative pressure, vibration compaction, and sand temperature. Therefore, the selection of equipment is also important.

4.4.Mechanized and automated production line for lost foam casting: linkage control between operating equipment and fixtures in various processes:

The basic production of lost foam molds only requires a few sets of equipment, but if you want to quantify production capacity, you need a more intelligent and complete automated production line, because automated production lines can achieve streamlined operations. With a small number of operators, sandbox automatic circulation can be achieved, buried box shaping, negative pressure casting, and a continuous flow of products from the production line can be achieved.



Lost foam production line equipment

5.Lost Foam Casting Molding Process and Requirements

5.1.Production process flow of lost foam casting: pattern and pattern group preparation, coating preparation and application pattern assembly box and vibration molding:

- (1) Making foam plastic model molds (manual, mechanical);
- (2) The foam is processed into a foam model through a mold, and the model is combined and dried;

- (3) Brush and spray fire-resistant coating on the surface of the model and then dry it again (it must be completely dry);
- (4) Place the specially made sand box on a three-dimensional compaction table;
- (5) Fill in low sand (dry sand), compact and scrape flat;
- (6) Place the dried foam plastic gasification mold on the bottom sand, divide it into filling sand according to the process requirements, automatically compact it for a certain period of time, and then scrape the box mouth flat;
- (7) Cover the sandbox mouth with plastic film, place the sprue cup, and connect to the negative pressure system. After compaction, the steel liquid is poured, and the foam gasification mold disappears, with the metal liquid replacing its position;
- (8) After the casting condenses, release the vacuum and flip the box to remove the casting and proceed to the next cycle.

5.2.Organic matching between various processes in lost foam casting.

The auxiliary tools required for bonding, cutting, assembly, and inspection during the production process of the lost foam model, as well as the operating vehicles, drying equipment, and repair tools required for the application of refractory coatings, as well as the model assembly and resin filling required for the sand box molding, all require close coordination and strict inspection systems, without any omissions.

6.Design principles of lost foam casting process.

6.1The basic content of lost foam casting process design: review of casting drawings, analysis of process plans, determination of pouring system, determination of dry sand molding process parameters:

Based on the product drawings, material characteristics, and structural processability of the parts, the following process parameters need to be determined:

Processing quantity of machined parts

Parts such as holes and tables that cannot be directly cast;

Alloy shrinkage rate and EPS pattern shrinkage rate

The starting angle of the mold for making the pattern

6.2.The main content of casting process scheme design:

The position of EPS pattern in the mold

Determine the method of introducing the mold during molten metal pouring: top injection, bottom injection, middle injection, or stepped injection

The quantity and arrangement of castings poured in one box.

6.3.When determining the pouring system, the following principles should be considered:

Try to pour vertically or diagonally, avoiding pouring from a large plane upwards to ensure that the metal liquid has a certain upward speed.

The pouring position should ensure that the thermal decomposition rate of the metal is the same as that of the pattern, to prevent slow pouring speed or flow interruption, which may cause box collapse and convection defects.

The position of the pattern in the sand box should be conducive to dry sand filling, and blind holes in the horizontal and downward directions should be avoided as much as possible.

The important machining surface should be located below or on the side, and the top surface should preferably be a non machining surface.

The pouring position should also be conducive to the arrangement of multi-layer castings. During the process of coating and dry sand filling and compaction, it should be easy to support and transport, and certain parts of the pattern can be reinforced to prevent deformation.

6.4.The filling and compaction process of dry sand:

Sand bed preparation (i.e. pre filled sand): According to the type of metal and the size of the casting, the bottom of the sand box generally needs to be pre filled with dry sand with a thickness of 100mm or more. To facilitate the placement of the pattern and prevent damage to the bottom screen of the sand box.

According to the process requirements, the pattern should be placed manually or mechanically and fixed with dry sand. The orientation of the pattern placement (sand filling direction) should meet the process requirements (filling and compaction requirements).

6.5.Determination of the design scheme for the lost foam casting process: determination of the orientation of the pattern group and pouring direction, determination of coating and drying methods:

Due to the wide variety and different shapes of castings, each casting has its own specific production process characteristics, and they vary greatly. These factors directly affect the accuracy of the design results of the pouring system. For this purpose, castings can be classified in some way. For small and medium-sized castings, they can be classified according to the production process characteristics of castings, as shown in Table 1. The combination of model clusters can basically reflect the characteristics of castings and the filling and shrinking forms of castings. The cross-sectional dimensions of each part of the pouring system are related to the size of the casting, the combination of model clusters, and the number of pieces per box. Therefore, when designing the process for new castings, targeted calculations should be made based on the characteristics of the castings and referring to the characteristics of similar casting gating systems.

Model cluster combination method	Application scope	Supplementing and shrinking methods
One box, one piece	L a r g e r castings	Riser filling and shrinking
Combined on a vertical sprue (without a horizontal sprue)	Small castings	Reinforcement of the sprue (or riser)
Combined on the transverse sprue	Small castings	Horizontal sprue (or riser) filling and shrinking
Combined on the riser	Small castings	Riser filling and shrinking

Table 1: Classification of Castings

7.Types of Defects in Lost Foam Castings and Their Corresponding Solutions

7.1.The unique defect types and treatment measures of lost foam casting:

7.1.1.The slag inclusion defects are divided into two categories: non-metallic slag inclusions and metallic slag inclusions:

The non-metallic inclusions are all irregular blocky substances distributed inside the casting, mainly including sand and coating inclusions, with the main component being SiO₂ (silicon dioxide). On the other hand, metallic slag inclusions appear as point-like or cluster-shaped residues of black slag and thermal decomposition products left inside the casting during solidification. The main component of these inclusions is carbon.

7.1.2.Reasons for slag inclusion(1-4):

.During the pouring process, the coating enters the liquid iron due to cracks, peeling, and damage; The coating that seeps into the combination part (corner) of the pattern is washed away by the flow of molten iron and falls into the flow stream. After the casting solidifies, it forms coating spots left inside, with black clumpy inclusions.

.During the pouring process, dry sand is washed into the molten iron and cannot be discharged. It exists inside the casting, forming sand inclusions and white clumps and blocks.

.During pouring the molten iron is brought into the slag. Due to the low temperature of the molten iron, it cannot float up and has not been discharged. After entering the interior of the casting, it forms point and block like slag inclusions.

.The foamed plastic pattern generates a large amount of gas and pyrolysis products after the gasification and pyrolysis of high temperature molten iron, which cannot be eliminated in time. The residual gas and pyrolysis products form black blocks and lumpy inclusions after tar (asphalt) coking (carbonization) unique to EPC casting.

7.1.3.Measures to prevent slag inclusion defects(1-5):

1)Prepare a uniform and continuous coating with good adhesion performance, and improve the strength of the coating.

2)Ensure smooth transition between the mold and the inner runner, minimize the presence of sharp sand or lumps, ensure strong bonding at joint locations, and prevent coating from seeping into gaps; especially pay attention to sealing at the connection between the direct runner and pouring cup to prevent sand adhesion and metal penetration.

3)Increase pouring temperature, strengthen slag skimming and blocking operations. Towards the end of pouring, slow down the pouring speed appropriately, and pay attention to flow control. Allow sufficient time for mold gasification gases and residues to be expelled from the sandbox or rise to the top of the casting. Metal filtration can also be achieved using filter screens.

4)During molding operations, avoid assembling patterns inside the sandbox; do not fill sand while assembling pattern components.

5)Use low gas-emitting, low-density EPS materials in dead corners or high points of castings with a slag collection package (riser), which can be removed after casting has cooled down.

7.2.Casting deformation in lost foam casting:

Deformation refers to the geometric shape of the produced casting that does not match the design, such as casting bending, ellipticity, uneven wall thickness, etc. For example, the deformation of the lost foam casting pipe is caused by non-standard operations in the mold making, coating, and sand filling molding processes.

7.2.1The main reasons for deformation of cast pipes are:

.Mismatch between pattern making, combination model and pattern:

.Improper operation during the preparation process of refractory coatings, such as improper dip coating methods and improper placement of patterns during drying;

.Improper sand filling and vibration compaction operations cause deformation of the pattern;

.During pouring, the pattern is locally heated or the vacuum distribution inside the mold is unreasonable during the pouring process.

7.2.2.Technical measures to prevent deformation of cast pipes:

7.2.2.1.Mold making process:

When the initial production pattern undergoes deformation, during the early stage of using mechanism molding or manual assembly molding, it is necessary to strictly follow the drawing

for molding. For steam molding, the first and second pre release of foam plastic beads should be carried out according to the process requirements. The shrinkage and deformation of the foam plastic model should be controlled according to the required maturation time and processing time.

7.2.2.2. Bonding and molding process:

The quality of the adhesive and the bonding operation process affect the accuracy and precision of the bonding combination pattern;

For castings with less compact structure and low rigidity (thin-walled), necessary process measures should be taken during mold assembly, and process supports should be added. Accurate measurement, tightness and rationality, and support design should be in place to improve the rigidity of the model.

The coating thickness should be appropriate and should not be too thick; It cannot be too thin either. The coating layer can enhance the surface strength of the mold, improve its impact resistance, and prevent deformation during the molding process, thereby improving the dimensional accuracy of the casting. When drying, place it reasonably to prevent deformation of the pattern due to uneven stress.

7.3. Wrinkle defects in lost foam castings:

Wrinkle defect is the biggest factor hindering the large-scale production of cast iron fittings in lost foam casting and the key factor affecting the surface quality of cast pipes. The most common defect in lost foam casting for cast iron fittings is wrinkling.

This is because free carbon is not easily infiltrated into the surface of the casting, but deposits on the shallow surface of the casting and mold. This is a form of solid residue of polystyrene. These high-temperature carbons accumulate excessively locally, forming wrinkled skin defects in the form of nodules and ripples, resulting in rough surface of the cast pipe, which seriously affects the surface quality of the cast pipe.

7.4.1. Technical measures to eliminate wrinkles on cast iron pipe fittings(a-e):

a Using low-density EPS as a sample; Strictly control the density of the mold material during pre release

b The pouring system should be made as hollow as possible, and if possible, the horizontal pouring channel can be made hollow.

c For the control of the pouring process, the pouring ladle used for pouring must be dry. Appropriately increase the pouring temperature and pouring speed.

d Reasonably control the negative pressure level, as there is very little gasification during pouring under anaerobic conditions, and it can be extracted through dry sand.

e Improve the permeability of the coating, control the particle size and proportion of refractory materials and it is necessary to master the coating thickness, dry the mold after coating, and make the pattern made of foam plastic completely dry, including the pouring system. The other is to set the lower limit of carbon in the chemical composition when smelting ingredients; Reduce carbon content and the amount of free carbon. If a medium frequency induction furnace is used with a silicon sand tied lining, the lower limit of silicon in the chemical composition is also suitable for batching.

References

1. Ye Shengping, Wu Zhichao, Dong Xuanpu, The first lecture on lost foam casting production technology: A 2006 inventory of China's lost foam casting [J] China Foundry Equipment and Technology, 2007(01), pp80-86
2. Li Zengmin, Liang Guangze, Jiang Bujun, Training Materials for Lost Foam Casting Technology

- (Fourth Edition), Shanghai: Real Mold Casting Professional Committee of China Foundry Association, 2007, pp70-75
3. Li Zengmin, Li Zhiyong, Key Technologies of Lost Foam Casting [J],. Casting Technology, 2002 (3), pp 155-159
 4. Huang Naiyu, Ye Shengping, et al, Principles and Quality Control of Lost Foam Casting, Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 2004
 5. Tao Jie. Lost foam casting method and technology [M], Nanjing: Jiangsu Science Press, 2003
 6. Li Zengmin, Liang Guangze. The Current Situation and Prospects of Full Mold (Lost Foam) Casting in China, Casting Technology, Special Casting and Nonferrous Alloy, 2008 (8), pp 1072-1074

Kum Reklamasyon Sisteminin Bentonitli Kalıp ve Maça Kumundaki Mekaniksel ve Kimyasal Etkileri

Gürcan ÇAYIRALTI
Ferro Döküm Sanayi ve Dış Ticaret A.Ş. , Kocaeli, Türkiye

ÖZET

Bentonit ile bağlanmış kalıp kumuna dökme demir üretiminde silis kumu kullanımı, önemli bir doğal kaynak kullanımudur. Zaman içinde doğal kaynaklara ulaşım güçleşmiş ve ekonomik olarak da maliyeti artmıştır.

Döngüsel ekonomi, sürdürülebilir üretim ve karbon ayak izi gibi çok önemli şart ve ihtiyaçlar dökme demir dökümhanelerinin önemli sarflarından biri olan silis kumunun doğal kaynak kullanımının azaltılması ve ek fayda olarak atık kum miktarının da azaltılmasını gerekli kılmış, bu kapsamda kum reklamasyon sistemleri gelişmiş ve yaygınlaşmıştır.

Bu çalışmada, kum reklamasyon sistemi tanımı yapılmış olup kum reklamasyon sisteminin maça kumu ve bentonitli kalıp kumundaki mekanik ve kimyasal etkileri incelenmiştir.

Kum reklamasyon sistemlerinin bilinen bu çok önemli faydalarının yanında kum sistemini çeşitli malzemelerin yoğun kullanımından kaynaklı kirlenmelerinin sebep olduğu döküm hatalarının da giderilmesinde etkin olduğu tespit edilmiştir.

Bentonitli kalıp ile dökme demir üretiminde yoğun kullanılan ekzotermik besleyicilerden dolayı kum sistemine, üretilen parçalarda gaz boşluğu, yüzey hataları vb. döküm hatalarına neden olacak malzemeler karışmaktadır. Kum sistemindeki standart poligon elek bu kirlenmeyi önlemede yeterli olamamaktadır. Kum reklamasyon sistemi kullanımıyla söz konusu kirlenmenin en aza indirildiği ve ilgili döküm hatalarının azaldığı gözlemlenmiştir.

Ayrıca kum reklamasyon sisteminde reklamasyon ile yenilenen kum sayesinde kalıp kumu sisteminin ihtiyaç duyduğu yeni kum, mekanik reklamasyon ile büyük ölçüde karşılanmış olup bunun sonucunda ise atık kum miktarında ve söz konusu atığın transferi sırasında ortaya çıkan emisyonun azaldığı gözlemlenmiştir.

ABSTRACT

The use of silica sand in the production of cast iron in molding sand bonded with bentonite is an important natural resource use. In time, access to natural resources has become more difficult and their economic costs have increased.

Circular economy, sustainable production and reducing of carbon foot print expectations have lead companies to take some serious measures for consumption of natural resources. Therefore sand reclamation sytem have been developed and become widespread for reducing the main usage of silica sand in foundry and for reducing the waste sand as a side benefit in this context.

In this study, the sand reclamation system have been defined and the mechanical and chemical effects of reclamation system on core sand and molding sand bonded with bentonite have been examined.

In addition to these very important benefits of sand reclamation systems, it has been determined that reclamation system has been effective in eliminating casting defects caused by contamination of sand by intensive use of various materials in molding.

Due to the exothermic feeders used extensively in production of cast iron with bentonite mold, the feeder residuals and impurities in molding sand cause casting defects on parts such as gas inclusion, surface defects etc. Standart polygon sieve in the sand system is not sufficient to prevent contamination. It was observed that by using the reclamation system, the impurities have been minimized and the casting defects caused by molding sand have been reduced.

Also it is observed that with the renewed sand by the sand reclamation system, the required new sand property expectations have been met, waste sand amount have been decreased and the the emissions caused by waste transfer have been reduced.

Keywords; Reclamation system, green sand, core sand, new sand, exothermic feeder, ductile iron, emission, cast iron, silica sand, natural resources, casting defects, carbon footprint, bentonite

1. GİRİŞ

Türkiye’de metal üretimi, 2018 yılında 2,2 milyon ton üretim miktarına sahipken 2022 yılında 3,1 milyon ton üretim miktarına ulaşmıştır. Artan üretim miktarlarıyla birlikte bentonitli kum kalıba döküm yapan dökümhanelerin silis kumu kullanım miktarları da artmıştır.

%41 oranında artan üretim, silis kumuyla yapılan kalıp ve maça ihtiyaçlarını da arttırmış ve reklamasyon sistemi ile silis kumunun tekrar tekrar kullanımını gerekli kılmaktadır. Doğal kaynak olan silis kumuna ulaşım zorlukları yanında lojistik maliyetlerindeki artışlar ve atık kumların bertaraf maliyetleri ile karbon ayak izi gibi koşullar da reklamasyon sistemlerini gerekli kılmaktadır. Bentonitli kalıplama kumu ile üretim yapan dökümhanelerde kum kalıp, kalıplama kumuna silis kumu, bentonit ve kömür tozunun uygun oranlardaki karışımlarından oluşmaktadır. Ayrıca farklı özelliklerdeki besleyici gömlekleri, mini besleyici vb. içeriğinde birçok malzemenin bulunduğu kum sistemini kirleticiler de kalıp kumuna karışmak suretiyle dahil olmaktadır.

Bentonitli kalıp kumunun kullanım döngüsü şu şekildedir; kalıplama hatlarına yetecek miktardaki kalıplama kumu, kum sisteminde kum hazırlama, kalıplama, kalıp bozma, manyetik seperatör ve poligon elek ile eleme, kumun soğutulması, dinlendirilmesi ve tekrar kum hazırlama döngüsünün sürekli gerçekleştirilmesidir.

Bu sürekli döngü sırasında toz fanları, poligon elek ve kum sistemindeki kayıp kaçaklar sebebiyle kum sistemindeki rezerv kum miktarı azalır. Diğer taraftan maça kullanımı miktarına bağlı olarak kullanılan maça miktarı kadar ve kalıp kum mikserine ilave edilen yeni kum miktarı kadar ayrıca kullanılan besleyiciler kadar kum sistemi rezervi artar.

Kum sistemi rezervinin bu şartlar altındaki yönetimi ve dengede tutulması amacıyla belli aralıklarla kalıp kumunun atık olarak bertaraf edilmesi için sistemden uzaklaştırılması veya reklame edilerek tekrar kullanımı bir gerekliliktir.

Dökme demir üretimi yapan dökümhanelerde yüksek saflıkta ve uygun şekle sahip silis kumu kullanmak üretim verimliliğini arttırmaktadır. Kalıplama kumunun tekrar kum sistemine dahil edilerek kullanımında kum sistemi, dökme demir üretiminde yoğun olarak kullanılan ekzotermik besleyici ve bentonit gibi girdilerden kaynaklanan Flor, Azot vb. gibi elementler nedeniyle kirlenmektedir. Bu yöntemle üretilen ürünlerde görülen döküm hatalarına örnek olarak flor sebepli balık gözü hataları ve azot sebepli gaz hataları verilebilir. Poligon elek sistemleri kullanılan kumdaki döküm hatalarına neden olacak kirleticilerin azaltılmasında yetersiz kalmaktadır.

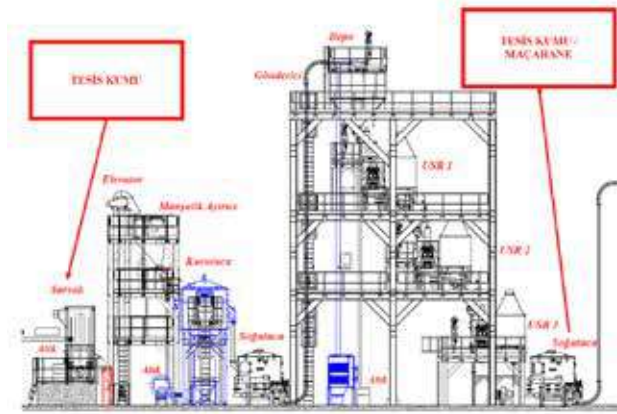
Reklamasyon sistemi ile kalıplama kumu üzerine bağlanmış olan bentonit, kömür tozu, besleyiciden gelen kirleticiler ve buna bağlı olarak Flor, Azot vb. elementler en aza düşürülür. Ayrıca kum, reklamasyon işlemi ile daha uygun hal alır. Böylece yeni kuma benzeyerek daha kaliteli hale gelir. Bu sayede hem kum sisteminde kirlenme nedeniyle oluşan döküm hatalarında azalma meydana gelir hem de kum sisteminin ihtiyaç duyduğu yeni kum girdisi azalmış olur.

Kum sistemine yeni kum girişinin azalması sebebiyle atık kum miktarı ve bertarafında da azalma meydana gelir. Bu sayede ise karbon ayak izinin düştüğü görülür [1-4].

2. REKLAMASYON SİSTEMİ ÇALIŞMA PRENSİBİ

Kalıp kumu, reklamasyon sisteminde ilk olarak sarsak bölümüne geçer. Sarsak bölümünde iri tane ve topaklar ayrılır. Elevator yardımıyla kum, manyetik ayırıcıya taşınır. Manyetik ayırıcıda demir parçaları kumdan ayrılır. Kum, bu bölümden kurutucuya gelerek nemi alınır. Isınan kum soğutucu bölümüne geçerek su boruları ve hava yardımıyla soğutulmuş havayla çalışan gönderici ile depo bölümüne taşınır. Depolanan kum, reklamasyon işleminin gerçekleştiği üniteler olan USR 1, USR 2

ve USR 3 temizleme sistemlerine geçerek kirletici maddelerden arındırılması sağlanır. USR (Ultra Sand Reclaimer) sistemlerinin her birinin çalışma prensibi aynı olmakla birlikte sahip oldukları değirmenin basınç ayarları farklıdır. Bu sayede her bir USR sistemi önceki USR sisteminden gelen kumu farklı oranlarda öğütürken ihtiva ettiği kirleticilerden temizler. Temizlenen kum, kalıp kumu tesisine veya maça üretiminde kullanılmak üzere maça üretim bölümüne gönderilir.



Şekil 1: Reklamasyon tesisi şeması

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE SONUÇLAR

3.1. Reklame Kumun Mekaniksel Ve Kimyasal Özellikleri:

3.1.1. Yanma Kaybı, Aktif Kil, Toplam Kil, Nem, Uçucu, İletkenlik Ve Tane Boyutu Özellikleri:

Reklamasyon işlemi ile kalıplama kumu üzerinde bulunan bentonit, kömür tozu gibi girdiler büyük oranda temizlenmektedir. Yapılan kum testleri sonuçlarına göre reklamasyon işleminden geçmiş kalıplama kumu %90'nın üzerinde temizlenmiş, bir miktar incelmış ve köşelilik kat sayısı azalmıştır (Tablo 1).

- Yanma kaybı; kömür tozu, besleyici vb. girdilerin giderilmesi sebebiyle azalmıştır.
- Aktif kil; bentonit girdisinin giderilmesi sebebiyle azalmıştır.
- Toplam kil; bentonitten gelen aktif ve ölü killerin giderilmesi sebebiyle azalmıştır.
- Nem; reklamasyon tesisi kurutma bölümü sayesinde giderilmiştir.
- Uçucu; kömür tozu girdisinin giderilmesi sebebiyle azalmıştır.
- İletkenlik; bentonit, demir parçaları vb. maddelerin giderilmesi sebebiyle azalmıştır.
- AFS; reklamasyon sistemi ile kum boyutlarının küçülmesi sebebiyle artmıştır.
- AGS; reklamasyon sistemi ile kum boyutlarının büyümesi sebebiyle küçülmüştür.
- Oolitikleşme; reklamasyon sistemi ile kumun temizlenmesi ile azalmıştır.

YANMA KAYBI (%)	AKTİF KİL 5g kumdan (%)	TOPLAM KİL (< 20 µm)	NEM (%)
-95,42%	-93,67%	-97,51%	-95,14%

UÇUCU (%)	İLETKENLİK (µs)	AFS	AGS (µm)	OOLİTİKLEŞME
-97,68%	-90,00%	3,93%	-9,47%	-71,39%

Tablo 1: Reklamasyon öncesi ve sonrası kum değerleri değişim tablosu

3.1.2. Tesis Kumü, Reklame Kum Ve Yeni Kum Görüntüleri:

Reklamasyon işlemleri öncesi kum (tesis kumu), reklamasyon işlemleri sonrası kum ve yeni kumun mikroskop görüntüleri kullanılmış kumun temizlendiğini göstermektedir (Şekil 2). Tesis kumu, poligon elekten temizlenemeyen topak gibi kirlenici maddelerden arındırılmıştır.



Şekil 2 : Reklamasyon öncesi, reklamasyon sonrası ve yeni kumun mikroskop altındaki görüntüleri

3.1.3. Tesis Kumü, Reklame Kum Ve Yeni Kum Kimyasal Analizleri:

Reklamasyon işlemleri sonrası kullanılan kum kimyasal analiz özelliklerine göre yeni kuma benzerdir. Reklamasyon işlemleri ile dökme demir üretimi ve kalıp kumu girdilerinden gelen diğer bileşiklerden temizlenmiştir (Tablo 2).

- SiO₂; döküm kumunun ana bileşimidir.
- Al₂O₃; besleyicilerden tesis kumuna kontamine olmaktadır.
- Fe₂O₃; sıvı metalden tesis kumuna kontamine olmaktadır.
- MgO; sıvı metalden ve besleyicilerden tesis kumuna kontamine olmaktadır.
- CaO; besleyicilerden tesis kumuna kontamine olmaktadır.
- Na₂O; besleyicilerden tesis kumuna kontamine olmaktadır.
- K₂O; besleyicilerden ve bağlayıcılardan (reçine) tesis kumuna kontamine olmaktadır.

	% SiO ₂	% Al ₂ O ₃	% Fe ₂ O ₃	% MgO	% CaO	% Na ₂ O	% K ₂ O
Yeni Kum	98,07	0,79	0,33	0	0,09	0	0,18
Kalıp Kumü	88,9	5,63	1,32	1,03	0,91	0,79	0,58
Reklamasyon Sonrası Kum	98,33	0,8	0,19	0	0	0	0,10

Tablo 2 : Kalıp kumu, reklamasyon sonrası kum ve yeni kumun ortalama kimyasal analiz sonuçları

3.1.4. Flor Ve Azot Analizleri:

Flor elementi, tesis kumuna yüksek oranda besleyici, mini besleyici ve daha az miktarda bentonit girdilerinden kontamine olmaktadır. Reklamasyon işlemi sonrası flor elementi ortalama %87,5 oranında giderilmiştir.

Azot elementi, yüksek oranda ekzotermik besleyici ve bağlayıcı kullanımından dolayı tesis kumuna kontamine olmaktadır. Dökme demir ergitme işlemi sırasında sıvı metalde azot bulunmaktadır lakin bahsedilen konuda tesis kumundaki azot elementi dikkate alınmıştır. Reklamasyon işlemi sonrası azot elementi ortalama %27,2 oranında giderilmiştir.

3.1.5. Cold Box Maça Üretimi:

Reklamasyon sistemiyle reklame edilmiş kum, cold box sistemiyle maça üretiminde kullanılabilir. Cold box yöntemiyle maça üretiminde reklame edilmiş kum, dökümhanelerin ihtiyaçlarına göre yeni kum ile farklı oranlarda karıştırılarak kullanılabilir.

Ferro Döküm şartlarında %50 yeni kum, %50 reklame kum karışım oranıyla soğuk kutu (Cold box) maça üretimi gerçekleştirilmektedir. Maça üretim bölümünde iki ayrı kum silosu mevcut olup bir siloda yeni kum diğer siloda ise reklame kum stoklanır ve mikserde karıştırılarak kullanılmaktadır. Ferro Döküm'ün özel şartları sebebiyle kum reklamasyon sistemi, kalıp kumlarının içine karışmış besleyiciler kaynaklı kirleticilerin temizlenmesi için kullanılmaktadır. Bu sebeple maça üretiminde %50 - %50 karışım oranı uygulanmaktadır.

Reklame kumun %50 oranında kullanımı neticesinde ortalama %10 oranında reçine sarfında azalma sağlanabilmektedir.



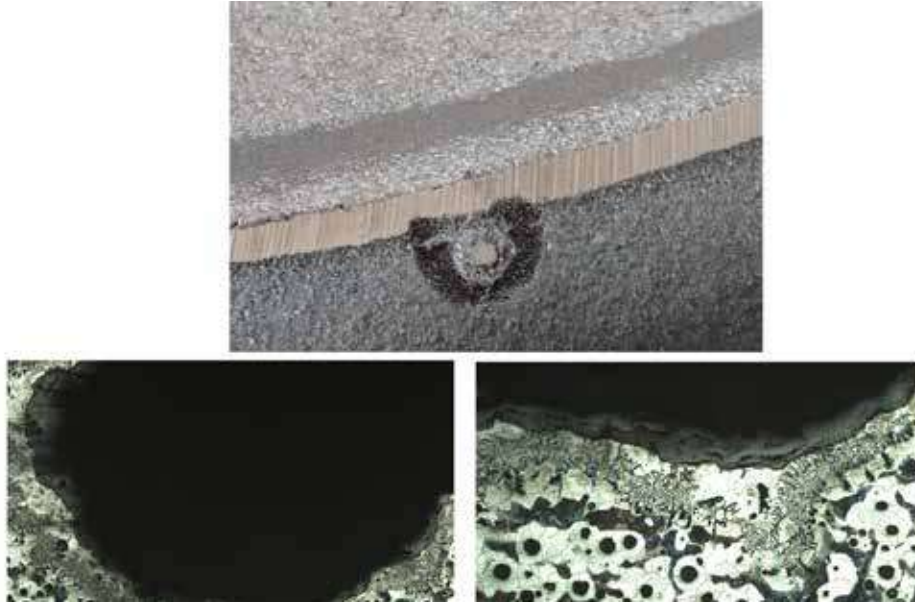
Şekil 3 : Yeni Kum, reklame kum ve %50-%50 karışım kumunun mikroskop altındaki görüntüleri

3.2. Reklamasyon Sisteminin Üretim Hatalarına Etkileri:

3.2.1. Balık Gözü (Fish-Eye) Hatası:

Flor elementi tarafından kontamine olan tesis kumunun sıvı metal ile reaksiyonu sonucu oluşmaktadır (Şekil 4). Balık gözü hatası mikroyapı görüntülerinde hata etrafında oksitler ve lamelleşmiş grafitler bulunmaktadır. Küresel grafitli dökme demirlerde görülür. Ferritik yapıli küresel grafitli dökme demirlerde daha sık ortaya çıkar.

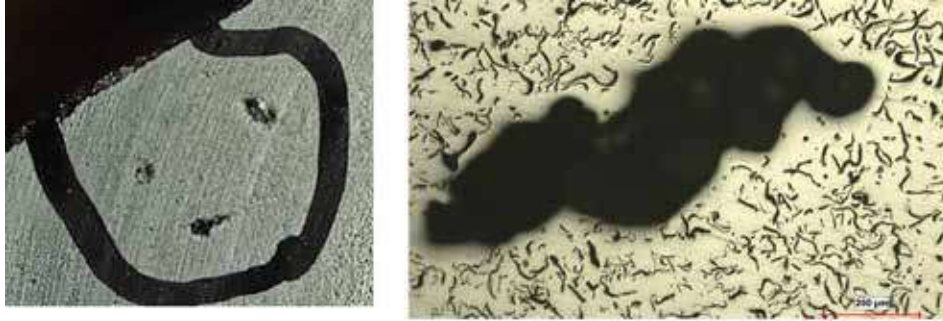
Flor elementinin reklamasyon sistemi ile en aza indirgenmesi ile parçalarda görülen balık gözü hataları ortalama %50 oranında azalmıştır.



Şekil 4 : Balık gözü hatası ve mikroyapı görüntüleri

3.2.2. Azot Elementi Kaynaklı Gaz Hatası:

Azot elementi tarafından kontamine olan tesis kumundan döküm esnasında sıvı metale azot gazı geçişi olmaktadır. Bu hata çoğunlukla alt derecede oluşmaktadır (Şekil 5). Ayrıca malzeme geçirgenliği / yüzey gerilimi sebebiyle çoğunlukla pik üretimine ait parçalarda görülmektedir. Azot elementi kaynaklı gaz hatası mikroyapı görüntülerinde hata etrafında grafitsizleşme görülmektedir. Azot elementinin reklamasyon sistemi ile en aza indirgenmesi ile parçalarda görülen azot elementi kaynaklı gaz hataları ortalama %57 oranında azalmıştır.



Şekil 5 : Azot elementi kaynaklı gaz hatası ve mikroyapı görüntüsü

3.3. Reklamasyon Sisteminin Karbon Ayak İzine Etkisi:

Reklamasyon sistemi ile birlikte tesis kumuna eklenen yeni kum miktarında %25, maça kumuna eklenen yeni kum miktarında ise %50 azalma olmuştur. Bu oranla birlikte atık kumun bertarafında da azalma gerçekleşmiştir.

Atık kum bertarafında ortaya çıkan karbon ayak izi ortalama %50 oranında azalmıştır.

KAYNAKÇA

- [1] Tüdüksad, 23. Dönem Faaliyet Raporu (2022-2024), “Tüdüksad Faaliyet Raporu 2024”, P.9
- [2] A. M. Rosário, M. F. Hupalo, “Characterization of Surface Fish-Eye Casting Defect”, Metalurgia e Materiais, 2013, P.99-103
- [3] E. Schultes, “Dökümhanelerden Kaynaklanan Tehlikeli Katı Atıkların Yönetimi”, Life ‘Hawaman’ Projesi”, P.20
- [4] N. J. Saripalli, D. R. Sonawane, “Assessment of Reclaiming Process of Sand as Foundry Waste for Industrial Usage”, International Journal of Science and Management Studies (IJSMS), 2018, P.7-10

Bakır Alaşımli Östemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Mekanik ve Mikroyapı Özelliklerinin İncelenmesi

Ahmet Buğra KEYVANKLI^{1,2}, Şenol YILMAZ²

Ferro Döküm Sanayi ve Dış Ticaret A.Ş. Ar-Ge ve Mühendislik Müdürlüğü¹
Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği
Bölümü²

ÖZET

Östemperlenmiş küresel grafitli dökme demirlerin mekanik özellikleri, östenitleme ve ardından tuzlu su banyosunda östemperleme sonrası oluşan ösferrit ve yüksek karbonlu östenit mikroyapısı özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Bu çalışmada; nikel ve molibden içeren standart bileşimin yanı sıra sadece bakırlı bir bileşim hazırlanmıştır. Bu bileşimlerin ergitilmesiyle elde edilen sıvı metalin, kum kalıba dökülmesiyle y-blok şeklinde numuneler üretilmiştir. Dökülen küresel grafitli dökme demirler, 900-950°C sıcaklığında 90-150 dakika östenitleme ve sonrasında 350-400°C sıcaklığında 90-150 dakika östemperleme prosesine tabi tutularak östemperlenmiş küresel grafitli dökme demir malzemesi elde edilmiştir. Elde edilen ürünlerin akma mukavemeti, çekme mukavemeti ve uzama gibi mekanik özellikleri belirlenirken optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskopu ile de mikroyapı özellikleri incelenmiştir. X-ray diffraction (XRD) yöntemiyle östemperleme sonrası fazların varlığı tespit edilmiştir. Deneyler ve çalışmalar sonucunda, bakırlı alaşımda östemperleme sonrası yüksek karbonlu östenit miktarında düşüş gözlenmiştir.

Anahtarlar; dökme demir, küresel grafitli dökme demir, östemperlenmiş küresel dökme demir, asiküler ferrit, kalıntı östenit, bakır

ABSTRACT

The unique mechanical properties of austempered ductile cast iron is due to the microstructure features of acicular ferrite and high carbon austenite formed after austenitization and subsequent austempering in a salt bath. In this study, in addition to the composition containing nickel and molybdenum, a composition containing only copper was prepared and samples in the form of y-blocks were produced by pouring the liquid metal into the sand mold. The cast spheroidal graphite cast irons were subjected to austenitization at 900-950°C for 90-150 minutes and austempering at 350-400°C for 90-150 minutes to obtain austempered spheroidal graphite cast iron material. While mechanical properties such as yield strength, tensile strength and elongation of the obtained products were examined, microstructure properties were examined with optical microscope and scanning electron microscope. The presence of post-austempered phases was determined by X-ray diffraction method. As a result of the experiments, a decrease in the amount of high carbon austenite was observed in the copper alloy after austempering.

Keywords; cast iron, ductile cast iron, austempered ductile cast iron, accicular ferrit, residual austenitte, copper

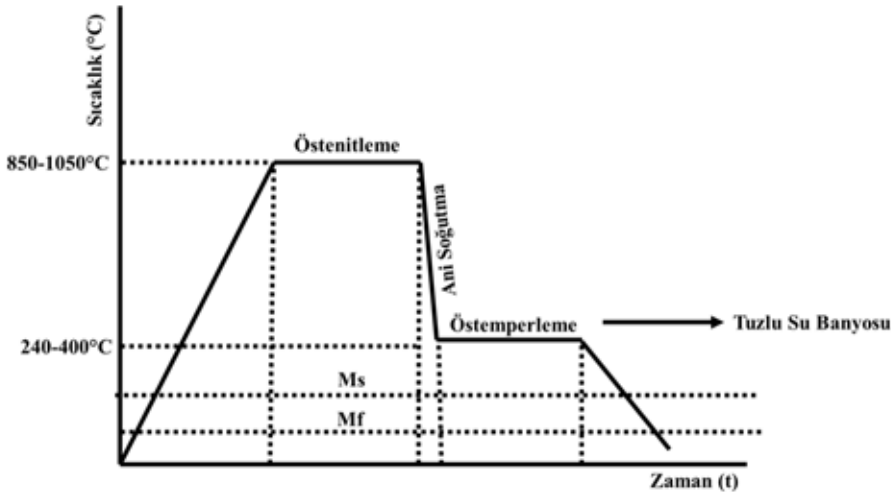
1. GİRİŞ

Küresel grafitli dökme demirler, grafitin nodüler halinde bulunan bir dökme demir çeşididir. Bu nodüler, lamelli halinde grafit içeren lamelli grafitli dökme demire kıyasla küresel grafitli dökme demirin mukavemetini, yorulmasını, sertliğini, sünekliğini ve darbe direncini arttırmaktadır [1,2]. Küresel grafitli dökme demirin mekanik özellikleri esas olarak grafit nodülerin etrafını çeviren ferrit ve perlit mikroyapısından kaynaklanmaktadır. Mikroyapısı, alaşım elementleri veya ısı işlemleriyle gelişmekte ve değişmektedir [3]. Küresel grafitli dökme demirlerin, mukavemetlerini arttırmak için uygulanan en yaygın ısı işlemlerinden biri de östempereleme ısı işlemidir [4]. Östempereleme prosesi, tam bir östenitik (γ) materisi elde etmek için 850-1050°C'de parça kalınlığına göre yeterli sürede östenitleme, 240-400°C arası bir sıcaklıkta bulunan tuzlu su banyosunda su verme ve bu sıcaklıkta parçanın kalınlığına göre yeterli sürede östempereleme içeren üç basamaklı bir ısı işlem prosesidir (Şekil 1.) [5,6]. Ösferrit ve yüksek karbonlu östenit matrisin yanısıra östempereleme sıcaklığı ile süresine bağlı olarak arzu edilmeyen perlit, martenzit ve/veya karbür yapısında görülebilmektedir [7]. Yüksek östempereleme sıcaklıklarında ($T > 350^\circ\text{C}$) kalıntı östenit miktarı yüksek iken, düşük östempereleme sıcaklıklarında ($T < 350^\circ\text{C}$) kalıntı östenit miktarı düşüktür. Yüksek kalıntı östenit miktarı içeren yapıların uzama değerleri düşük kalıntı östenit miktarı içeren yapılara göre daha yüksektir. Döküm parçaların kullanıldığı yere göre farklı kesit kalınlıklarında ve karmaşık geometrilerde olduklarından dolayı bu tür parçalar için östempereleme sıcaklığı ve süreleri çok iyi belirlenmesi gerekmektedir. Östempereleme koşulları iyi olmayan malzemenin bir bölgesinde ösferritik/kalıntı östenit yapıyı elde edilirken, başka bir bölgesinde yapının bozularak 2. dönüşüm meydana gelebilmektedir [8]

İlk aşama, uygun östempereleme sıcaklığı ve süresi;



İkinci aşama, uygun olmayan östempereleme sıcaklığı ve süresi;

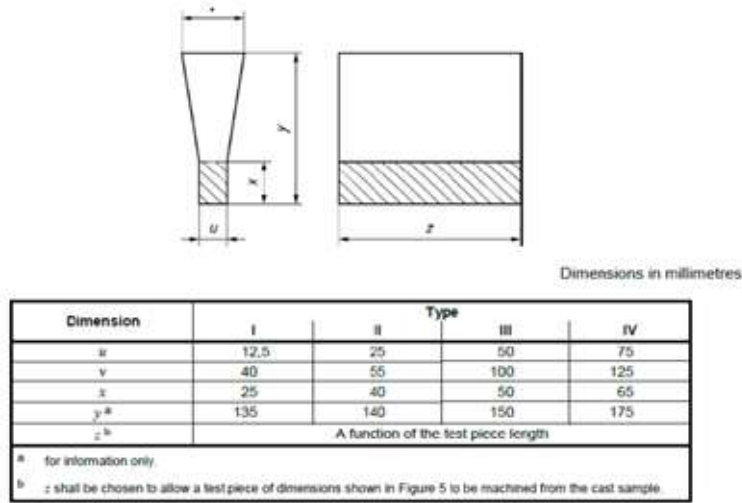


Şekil 1 : Östempereleme ısı işlem adımları (Ms=Martenzit Başlangıcı, Mf=Martenzit Bitişi) [1,3]

ÖKGDD'ler diferansiyel kutuları, aks mafsalı, kepçe dişleri, planet taşıyıcı, askı kolları, aks başları, dişli kovanlar, flanş, süspansiyon desteği, braket, krank mili, fren pabucu gibi parçalarda kullanılmaktadır [9,10].

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Belirlenen döküm analiz aralıklarına göre; kum, bentonit, kömür tozu ve su içeren döküm kalıpları hazırlanmıştır. Döküm kalıpları için "TS EN 1564 Dökümler-Östemperlenmiş Sünek Dökme Demirler" [11] standardında geçen Y-blok modeller kullanılmıştır.



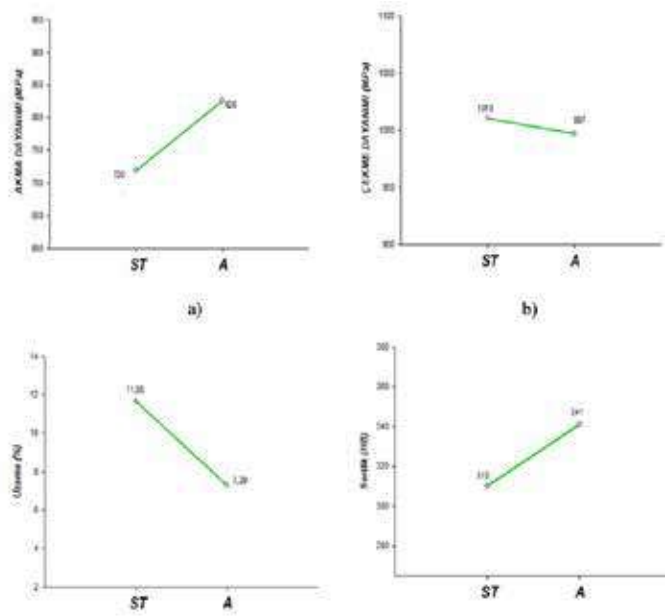
Şekil 1 : Y-Bloğun Teknik Resmi ve Ölçüleri [10]

Dökülen Y-bloklar, 900-950°C'de 90-150 dakika östenitleme işlemine tabi tutulmuştur. Ve sonrasında 350-400°C'de 90-150 dakika tuzlu su banyosunda bekletilerek östemperleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Dökülen östemperlenmiş numunelerin akma dayanımı, çekme dayanımı ve uzama değerlerini belirleyebilmek için çekme cihazı kullanılarak testler yapılmıştır.

Dökülen ve östemperlenmiş numunelerin brinell sertlik değerleri ölçülmüştür. Östemperlenme sonrası numunelerin mikroyapıları optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskobu ile incelenmiştir. Östemperlenme sonrası numunelerdeki mevcut fazlar XRD analizi ile belirlenmiştir.

3. DENEYSEL SONUÇLAR

İki ayrı alaşımda (standart (ST) ve bakırlı (A)) gerçekleştirilen östemperleme deneyleri sonucunda numunelerden elde edilen akma dayanımları, çekme dayanımları, uzama ve sertlik değerleri Şekil 2'de gösterilmiştir. Östemperlenen bakır alaşımlı numunelerde akma dayanımı standart değere (720 MPa) göre artış göstermiş olup, ortalama 826 MPa olarak belirlenmiştir. Bakırlı numunelerde çekme dayanımı (997 MPa), standart numune değerine (1010 MPa) oldukça yakındır. Ayrıca bakırlı numunede standarta göre uzama %11,65'ten %7,29'a düşmüştür. Numunelerin sertliği ise bakırlı numunede 341 MPa'a çıkmıştır.



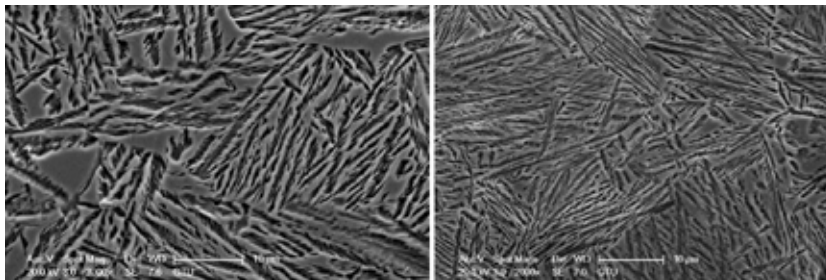
Şekil 2 : Östemperlenmiş numunelerin çekme ve sertlik değerleri
a) Akma Dayanımı (MPa) b) Çekme Dayanımı (MPa) c) Uzama (%) d) Sertlik (HB)
ST= Standart Numune, A=Bakırlı Numune

Alaşıma ait östemperlenmiş numunelerin optik mikroskop mikroyapıları Şekil 3 ve taramalı elektron mikroskop (SEM) mikroyapıları da Şekil 4'de verilmiştir. Mikroyapılardan, östemperlenen numunelerin ösferrit ve kalıntı östenit içerdiği tespit edilmiştir. Mekanik değerlerdeki değişimin de ösferritteki ferrit plakaların (iğnemsî ferrit)- bakırlı numunelerde daha ince ve daha sık olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ösferritteki plakaların bu değişimi ile bakırlı numunelerde kalıntı östenit oranının düşüş gösterdiği bunun da uzama değerlerindeki düşüşü desteklediği görülmüştür.

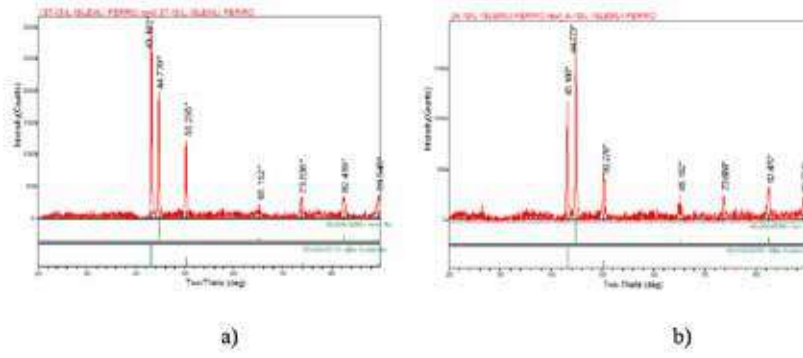
XRD sonuçlarına göre (Şekil 5), bakırlı numunelerde östenit fazının (kalıntı östenit) şiddetinde düşüşün meydana geldiği belirlenmiştir. XRD sonuçları, Mikroyapı ve mekanik sonuçlarla uyum göstermektedir.



Şekil 3 : Östemperlenmiş numunelerin optik mikroskop görüntüleri
a)Standart Numune b) Bakırlı Numune



Şekil 3 : Östemperlenmiş numunelerin taramalı elektron mikroskop görüntüleri
a)Standart Numune b) Bakırlı Numune



Şekil 5 : Östemperlenmiş numunelerin X-ray diffraction görüntüleri
a) Standart Numune b) Bakırlı Numune

4. GENEL SONUÇLAR

Nikel ve molibden içeren standart bileşimle sadece bakır içeren bileşimde östenitleme ve östemperleme yapılarak mekanik özellikler, mikroyapı ve faz analizi yapılmıştır. Sonuçlar bakırlı alaşımda östemperlenme sonrası yüksek karbonlu östenit miktarında düşüş meydana geldiğini göstermiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Sckudlarek, W., Krmasha, M., " Effect of austempering temperature on microstructure and mechanical properties of ductile cast iron modified by niobium", Journal of Materials Research and Techonology, 2021;12:2414-2425
- [2] Bayata, F., Vatan, S. B., "Mechanical Properties of Vanadium-Alloyed Austempered Ductile Iron for Crankshaft Applications", Frontiers of Mechanical Engineering, 2023; 18(3):30
- [3] Eric, O., Jovanovic, M., Sidanin, L., Rajnovic, D., Zec, S., "The austempering study of alloyed ductile iron", Materials and Design, 2006;27:617-622
- [4] Cu,, J., Chen, L., " Microstructures and Mechanical Properties of a wear-resistant alloyed ductile iron austempered at various temperatures", The Minerals, Metals & Materials Society and ASM International, 2015;1-8
- [5] Yumak, N., Aslantaş, K., " Küresel grafitli dökme demir malzemesinde östemperleme işleminin mekanik dayanım ve yorulma çatlak ilerleme davranışına etkisinin araştırılması", Journal of the faculty of engineering and architecture of gazi universty, 2018;199-209
- [6] Öztürk, E., Yıldırım M., "Östemperleme sıcaklık ve süresinin östemperlenmiş sünek dökme demirlerin mikroyapı ve sertliğine etkisi" Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi, 2019: 604-611
- [7] Gecu, R., "Küresel grafitli dökme demirlerin aşınma davrışına alüminyum ilavesinin ve östemperleme ısıl işleminin etkilerinin incelenmesi", Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 2022; 423-430
- [8] Konca, E., Tur, K., "Östenitleme Sıcaklığının EN-GJS-600-3 Küresel Grafitli Dökme Demirin Östemperlenme Davranışına Etkilerinin Araştırılması", Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi, 2020;706-722
- [9] <https://zanardifonderie.com/en/products/>
- [10] Rimmer, A., Dale, E., "Development of an Austempered Ductile Iron Unimog 3 Point Linkage Power Lift Arm", Journal Metalcasting, 2024; 1-6
- [11] TS EN 1564 "Dökümler-Östemperlenmiş sünek dökme demirler" 2012

Alkol Bazlı Boyadan Su Bazlı Boyaya Geçiş

Mücahit ÖZYÜREK

Kutes Metal San. ve Tic. A.ř. , Tekirdağ, Türkiye

ÖZET

Kutes Metal San. ve Tic. A.ř. maça boyama prosesinde, diğer dökümhaneler de olduğu gibi, uzun yıllar alkol bazlı boya kullanmıştır. Alkol bazlı boyaların uygulama açısından avantajları olmasına rağmen, uygulama aşamasında dikkat edilmesi gereken durumlarda bir o kadar risk teşkil ettiği için su bazlı boya çalışmalarımız başlamıştır. Su bazlı boyaya geçiş çalışmanın amacı personellerimiz için çevre dostu ve kokusuz şartlarda çalışma ortamı sağlamaktır. Maçahane bölümündeki maça boyayan personellerimizin temiz, güvenli, kokusuz ve çevre dostu bir ortamda çalışması sağlanmıştır. Son işlemler bölümünde %30 oranında iyileştirme ön görülmüştür.

Anahtar kelimeler : Alkol bazlı boya, su bazlı boya, maça

ABSTRACT

Kutes Metal San. ve Tic. A.ř., like many other foundries has used alcohol-based paints in the core painting process for many years. Despite the application advantages of alcohol-based paints, the associated risks during the application phase have led us to initiate the transition to water -based paints. The goal of this transition is to provide our personnel with an environmentally friendly and odorless working environment In the core shop, we have ensured that our core painting personnel work in a clean safe, odorless, and environmentally friendly environment. We anticipate a 30 % improvement in the final processing department.

Keywords: Alcohol-based paint, water-based paint, core

1.GİRİŞ

Maçaların tarihi, metal döküm endüstrisinin gelişimi ile paralel bir şekilde ilerlemiştir. Antik çağdan günümüze kadar, maçanın yapımında ve kullanımında büyük ilerlemeler kaydedilmiştir. Modern teknolojiler ve malzemeler, daha hassas, dayanıklı ve çevre dostu maçaların üretilmesine olanak sağlamıştır. Bu gelişmeler, dökümhane endüstrisinin gelecekte de yenilikçi ve sürdürülebilir çözümler geliştirmeye devam edeceğini göstermektedir.

Maçada kullanılan boyaların tarihçesi, metal döküm teknolojisinin evrimi ile yakından ilişkilidir. Alkol bazlı boyalardan su bazlı boyalara geçiş, çevresel ve sağlık açısından önemli iyileştirmeler sağlamış, dökümhane endüstrisinin sürdürülebilirlik hedeflerine katkıda bulunmuştur.

2.UYGULAMA ALANLARI

Su bazlı boyalar, çevre dostu ve düşük VOC (uçucu organik bileşikler) içermeleri nedeniyle bir çok farklı endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. İşte su bazlı boyaların uygulama alanları, Şekil-1 de görülebilir. [1].



Şekil 1 : Su bazlı boyaların kullanım alanları

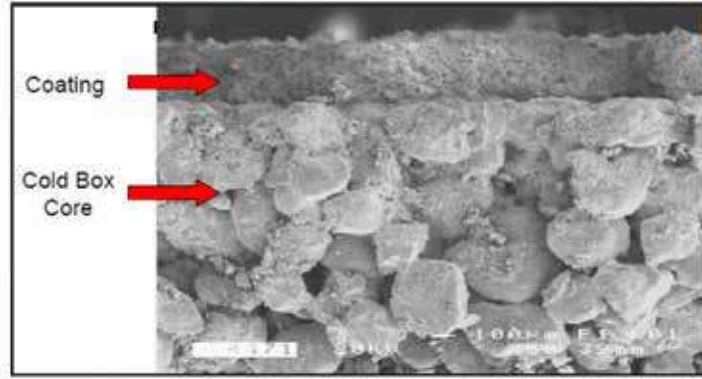
1. Otomotiv Endüstrisi: Su bazlı boyalar, otomotiv endüstrisinde araçların dış yüzeylerinin boyanmasında kullanılır. Bu boyalar, yüksek dayanıklılık ve estetik görünüm sağlar.
2. Bina ve İnşaat Sektörü: Binaların iç ve dış cephe boyamalarında su bazlı boyalar tercih edilir. Düşük koku ve hızlı kuruma özellikleri, özellikle iç mekân uygulamaları için idealdir.
3. Ahşap İşçiliği ve Mobilya: Ahşap yüzeylerin korunması ve dekoratif amaçlı boyanmasında su bazlı boyalar yaygın olarak kullanılır. Bu boyalar, ahşabın doğal görünümünü korur ve çevre dostudur.
4. Metal Kalıplama ve Dökümhaneler: Dökümhanelerde maçaların boyanması ve metal yüzeylerin kaplanmasında su bazlı boyalar kullanılır. Bu boyalar, yüksek sıcaklık direnci ve iyi yapışma özelliklerine sahiptir.
5. Sanat ve El Sanatları: Sanatçılar ve zanaatkarlar, su bazlı boyaları resim ve diğer el sanatları projelerinde kullanır. Bu boyalar, canlı renkler ve kolay uygulanabilirlik sunar.
6. Elektronik ve Plastik Üretimi: Elektronik cihazların kasaları ve plastik parçaların boyanmasında su bazlı boyalar kullanılır. Bu boyalar, düşük sıcaklıkta kurlenme ve çevre dostu özellikler sunar.
7. Gemi ve Deniz Araçları: Gemi gövdelerinin ve deniz araçlarının boyanmasında su bazlı boyalar kullanılır. Bu boyalar, deniz suyu ve hava koşullarına karşı yüksek direnç sağlar.
8. Oyuncak ve Çocuk Ürünleri: Çocuk ürünlerinin ve oyuncakların boyanmasında su bazlı boyalar kullanılır. Bu boyalar, toksik olmayan ve güvenli kullanım özellikleri ile bilinir.

3.DÖKÜM SEKTÖRÜNDE REFRAKTER BOYALAR

3.1 Neden Refrakter Boya kullanıyoruz

Demir ve çelik dökümünde döküm sıcaklıklarının, kalıp ve maça kumu olan SiO₂ nin sinterleme sıcaklığına eşit ve yüksek olması. Sıvı madenin çeşitli bağlayıcı reçineler bağlanmış olan kuma penetre olma eğilimi

Kalıp ve maça üretiminde kullanılan bağlayıcıların, madenin ısı ile madene gaz verme eğilimi Sıvı madenin, reçine ve kum ile kimyasal etkileşime girip mikro yapıda bozulma eğilimi Soğuk kutu maça ile kaplama görseli Resim-1 de görülebilir. [1].



Resim1 : Soğuk kutu maça ile kaplama görseli

3.2 Refrakter Boya Bileşenleri

1. Refrakter malzemeler
 2. Taşıyıcı sıvı
 3. Bağlayıcı
 4. Yüzdürücü ajanlar
 5. Yüzey
 6. Yüzey aktif ajanlar ve köpük engelleyiciler
 7. Antibakteriyel katkıları
- #### 3.3. Alkol Bazlı Boyalar

Alkol bazlı boyalar, organik solvent olarak alkol kullanılan boyalardır. Genellikle etanol veya izopropil alkol gibi alkol türleri kullanılır. Bu boyalar, hızlı kuruma, iyi yapışma ve yüksek sıcaklık direnci gibi özelliklere sahiptir. Alkol bazlı boyalar, metal döküm endüstrisi de dahil olmak üzere birçok farklı sektörde kullanılmaktadır

4.1 Alkol Bazlı Boyaların Avantajları

1. Hızlı Kuruma: Alkol bazlı boyalar, uygulandıktan sonra hızlı bir şekilde kurur, bu da üretim süreçlerini hızlandırır.
2. İyi yapışma: Bu boyalar, metal ve ahşap gibi yüzeylere mükemmel yapışma sağlar.
3. Yüksek Sıcaklık Direnci: Alkol bazlı boyalar, yüksek sıcaklıklara maruz kalan yüzeylerde uzun süre dayanıklılık gösterir.

3.3.1. Alkol Bazlı Boyaların Dezavantajları

1. Yanıcılık: Alkol bazlı boyalar yüksek derecede yanıcıdır ve dikkatli kullanılmaları gerekir.
2. Sağlık ve Çevre Riskleri: VOC (uçucu organik bileşikler) içerdikleri için, alkol bazlı boyaların kullanımı, işçi sağlığı ve çevre açısından riskler taşır. Solunması durumunda zararlı olabilir ve uygun havalandırma gerektirir.

3.4. Su Bazlı Boyalar

Su bazlı boyalar, suyun çözücü olarak kullanıldığı ve çevre dostu bir seçenek olan boyalardır. Bu tür boyalar, genellikle akrilik, lateks reçineler gibi suya dayanıklı malzemeleri içerir. Su bazlı boyalar, çevresel etki ve işçi sağlığı açısından daha güvenli olmaları nedeniyle tercih edilirler.

5.1 Su Bazlı Boyaların Avantajları

1. Düşük VOC İçeriği: Su bazlı boyalar, uçucu organik bileşiklerin (VOC'lerin) azaltılmasıyla çevre dostu bir seçenektir.
2. Kokusuz ve Çevre Dostu: Diğer boya türlerine göre daha az koku yaydıkları ve su bazlı çözücüler kullandıkları için çevre dostudurlar.
3. Hızlı Kuruma: Su bazlı boyalar, hızlı kurur ve uygulama sonrası kısa sürede kullanıma hazır hale gelirler.
4. Kolay Temizlik: Boya fırçaları ve ekipmanları su ile kolayca temizlenebilir.

3.4.1 Su Bazlı Boyaların Dezavantajları

1. Daha Az Dayanıklılık: Bazı durumlarda, diğer boya türlerine göre daha az dayanıklı olabilirler.
2. Uygulama zorlukları: Bazı durumlarda, yüzeylerin özel hazırlık gerektirebilir ve diğer boya türlerine göre daha fazla kat gerekebilir.

3.5. SU BAZLI BOYANIN MAÇAYA UYGULANMASI

3.5.1 Boya Hazırlama ve Dikkat Edilmesi Gerekenler

Refrakter boyalar, yüzdürücü ajan katkılarını ihtiva etse de çökeltme eğilimine sahiptir.

Seyreltme ve uygulama öncesi mutlaka homojen hale getirilmelidir.

Boyanın uygulanacağı, daldırma tankının temizliği

Homojen hale getirilmiş olan boya, ihtiyaç duyulan yaş film kalınlığı doğrultusunda, ilgili taşıyıcı sıvı ile seyreltilir.

Refrakter boyaların seyreltme oranına karar verilirken ölçülen parametreler;

- 1.Yoğunluk (Baume)
2. Viskozite (Sn)
3. Yaş Film Kalınlığı (μm)

Ölçüm aletleri, Resim-2 de görülebilir. [2].



Resim 2 : Baume, Din cup, Tarak

Her boyanın kendine özgü reolijisi bulunmaktadır. Aynı yoğunluğa ve/veya aynı viskoziteye ayarlanan boyalar, aynı yaş film kalınlığı vermeyecektir. Baume ölçüsü ve viskozite ölçümü amaç değil, araçtır. Seyreltme miktarının tayininde asıl amaç istenilen yaş film kalınlığına erişmektir.

3.5.2 Boya Uygulama Yöntemleri

1. Daldırma
- 2.Yıkama
3. Sprey
4. Fırça

3.5.3 Daldırma Yönteminde Dikkat Edilmesi Gerekenler

1. Daldırma Hızı
2. Daldırma Süresi
3. Maksimum daldırma ve bekleme süresi
4. Maçanın geri çıkarılma hızı

Daldırma yöntemi ile boyanan maça, Resim-3 de görülebilir. [3].



Resim 3 : Daldırma yöntemi ile boyanan maça

4.UYGULAMALAR

4.1 Yapılanlar

1. Su bazlı boyanın boya hazırlama öncesi kontrolü (ambalaj, batch no, üretim tarihi)
2. Su bazlı boyanın su ile seyreltilerek uygulama hazırlanması
3. Boyanacak maçanın boyanması
4. Boyanan maçanın kurutma fırınının sevk edilmesi
5. Maçanın kalıptaki yerini alması
6. Maçanın dökülmesi
7. Döküm sonrası kontroller

4.2 Boyanın Uygulamaya Hazırlanması

Kullanılan boya miktarı: 105 kg

Eklene su miktarı: 70 kg

Seyreltme oranı: %66

70 kg'lık varil açıldığında 10 dakika karıştırma yapıldı. Karıştırılan su bazlı boya seyreltilmesi için ayrı bir varile aktarıldı. 70 kg'lık su eklendikten sonra karıştırma devam edildi. Boyanın ölçümleri yapıldı ve deneme maça daldırılarak kontrol edildi.

4.3 Ölçüm Değerleri

Baume: 32 Be

Viskozite: 12.70 saniye

Boya sıcaklığı: 11,2 °C

Matlaşma zamanı: 25 saniye

Yaş boya kalınlığı: 200 mikron

Kuru boya kalınlığı: 225 mikron

Denemesi gerçekleştirilen maça hakkında;

Kum: 55 AFS
Kum tipi: %95 yeni kum (SiO₂) ve %5 Kromit kum
Maça adedi: 40
Kalıptaki figür: 4

4.4 Boya Uygulama Hakkında

Su ile seyreltilen su bazlı boya ile 40 adet maça daldırma işlemi ile boya uygulaması yapıldı. Boya uygulaması sırasında yağ boya kalınlığı ve viskozite arasında denge kuruldu. DIN 4 kabı ile ölçülen su bazlı boya 12,70 saniye ölçüldü. Bu haliyle yapılan uygulamada 300 mikron yağ boya kalınlığı elde edildi.

Yapılan uygulamaya ait görseller aşağıdadır.



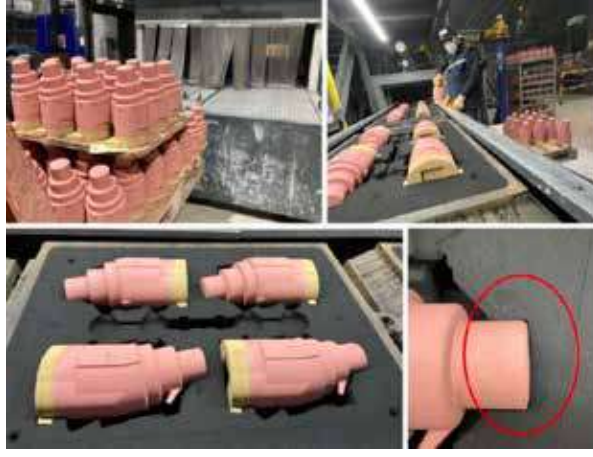
Resim 4 : Su bazlı boya ile yüzeyi kaplanan maça

Daldırma ile boyanan maçaların kurutma fırını öncesi ve fırın çıkışında nem değerleri kontrol edildi. Su bazlı boya ile boyanan maçaların 3,06 nem değerleri, fırın çıkışında 0 olarak ölçülmüştür. Yaklaşık 45 dakika fırında kaldığı tespit edilmiştir.



Resim 5 : Kurutma fırını öncesi ve sonrası maçanın nem kontrolü

Kurutma fırınından çıkan 40 adet maça kalıplama hattına sevk edildi. Burada kalıplama montajı yapılan maçalar döküm için hatta bağlandı.



Resim 6 : Maçanın kalıplama hattındaki görüntüsü

Kalıplama hattındaki kalıplama sırasında yapılan kontrollerde boya uygulama işlemi sırasında maça başlarının kalıba oturması sırasında herhangi bir olumsuzluk tespit edilmemiştir.

Yaş boya kalınlığı, tolerans aralığında olacak şekilde 300 mikron ayarlanmıştır.

Maçaların kurutma fırınından çıkışında boya kalınlığı tekrar kontrol edilmiştir. Kuru boya kalınlığı 225 mikron tespit edilmiştir.

Kalıplanan parçaların döküm sonrası kontrolleri yapılmıştır.



Resim 7 : Su bazlı ve Alkol bazlı maçanın döküm sonuçları

6. SONUÇ

Yapmış olduğumuz çalışmanın sonucunda 40 adet parçada hatalı parçaya rastlanmamıştır.

1186 farklı tip maçada denemeler devam etmiş olup hepsinde başarılı olunmuştur.

Kutes Metal San. ve Tic. A.Ş. firmamızda %100 oranında su bazlı boyaya geçilmiştir.

Su bazlı boyaya geçişimizle birlikte yeşil dönüşüm ve karbon ayak izine katkı sağlanmış olup çalışan personelimize daha çevreci daha güvenli çalışma ortamı sağlanmış bulunmaktadır.

Personellerimizin daha iyi ortamlarda çalışabilmesi için All in one tankları alınıp süreci bir adım ileriye taşımış olduk.

Besleyici Gömlek Üretiminde İnovatif Yaklaşımlar

Eray KOYUNCU* , İbrahim Hayri KESER* , **Özge AKSIN ARTOK*

*Çukurova Kimya Endüstrisi A.Ş., Manisa, Türkiye

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, Türkiye

ÖZET

Günümüzde verimli üretime olan talep günden güne artmaktadır. Üretim süreçlerinde insan hatalarından kaynaklı oluşması muhtemel hataları engellemek ve verimliliği arttırmak amacıyla teknolojik yatırımlar firmalar için öncelikli hale gelmiştir. Buna ek olarak ürün performansını yansıtan kantitatif ölçümler için cihaz yatırımları ön planda tutulmaktadır. Hata oranının azaltılması, iş gücüne olan bağımlılığın azalması, zamandan tasarruf, müşteri taleplerini en hızlı şekilde cevap verme gibi farklılık yaratacak etmenler teknolojik yatırımlarla birlikte kolay bir şekilde sağlanabilmektedir. Üretim süreçlerinde yapılan inovasyonların adaptasyonu ve yapılan inovasyon sürecinin doğru bir şekilde yönetilmesi önem arz etmektedir.

Belirtilen yaklaşım doğrultusunda döküm sektöründe yatırımlar yapılmaktadır. Dökümhanede verimlilik konuları günden güne önem kazanmaktadır. Döküm uygulamalarında besleyici gömlek kullanımı ve tasarım çalışmaları her geçen gün yeni kazançlara olanak sağlamaktadır. Dökümhane taleplerinin karşılanması için besleyici gömlek üretiminde inovasyon gereklilikleri kaçınılmazdır.

Bu çalışmada Çukurova Kimya Endüstrisi A. Ş.'de besleyici gömlek üretiminde kullanılan inovatif yaklaşımlar ve ürün kontrollerine yönelik altyapı olanakları paylaşılmıştır. Bu çalışma sonucunda besleyici gömlek üretim hızı artırılmış olup kontrol süreçlerinde hata payı azaltılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Döküm, verimlilik, besleyici gömlek, inovasyon, teknoloji.

Innovative Approaches in Feeder Sleeve Production

ABSTRACT

Nowadays, the demand for efficient production is increasing day by day. Technological investments have become a priority for companies in order to increase efficiency and prevent defects that may occur due to human defects which is in production processes. In addition, test device investments for quantitative measurements that reflect product performance are prioritized. Different parameters such as reducing the defect rate, reducing dependence on labor, saving time, and responding to customer demands in the fastest way can easily be achieved with technological investments. It is important to adapt the innovations made in production processes and to manage the innovation process correctly.

In line with the stated approach, investments are made in the foundry sector. Efficiency in the foundries are gaining importance day by day. The use of feeder sleeves and design studies in casting applications enable new profits everyday. Innovation requirements in feeder sleeve production are inevitable to meet foundry demands.

In this study, innovative approaches used in the production of feeder sleeve at Çukurova Kimya Endüstrisi A.Ş. and infrastructure opportunities for product controls are showed. As a result of this study, production rate of feeder sleeve has been increased and the defects in control processes has been reduced.

Keywords: Casting, efficiency, feeder sleeve, innovation, technology.

1. GİRİŞ

Küresel rekabet ortamı, dünyada ki değişmelerin hızlı olması, teknolojik ilerlemeler, müşteri isteklerindeki sürekli değişim yenilik kavramının önemini arttırmaktadır. İşletmelerin, müşterilerinin istek ve ihtiyaçları doğrultusunda inovatif ürün tasarımları yapabilmeleri rekabet ortamında kaçınılmaz bir gereksinim haline gelmiştir. Yeni ürünleri veya mevcut ürünlerin yeniden tasarlanarak iyileştirilmesi ortaya çıkan yenilikçilik kavramı işletmeler için her geçen gün vazgeçilmez bir kavram haline gelmiştir. Yenilikçi işletmeler sayesinde, hem ekonomik büyüme hem de ülkelerin refah düzeyleri olumlu etkilenmektedir [1].

İnovatif yaklaşım işletmelerin pazar paylarını ve dolayısıyla kârlılıklarını etkileyen önemli bir güçtür. Küresel rekabet ortamında işletmeler için inovatif yaklaşımın benimsenmesi olmazsa olmaz bir unsur haline gelmiştir [2].

Günümüzde işletmelerin piyasada sürekli var olabilmelerini sağlayacak gerekli yenilikçi ortamın kurumda sağlanması zorunluluk arz etmektedir. Aksi takdirde rekabeçi piyasa da belirli bir süre zarfında inovatif gelişmelere ayak uyduramayarak rakiplerine göre geride kalacaktır. Bu durumun elemine edilmesi sadece mal ve hizmet üretimi yeterli kalmamak olup inovatif yaklaşımlara ihtiyaç olacaktır. Mal ve hizmetlerden piyasa şartlarına, iş süreçlerinden yönetim anlayışına kadar bir işletmenin inovatif yaklaşımlara entegre olması verimliliğini arttıracaktır. İnovatif yatırımlarının yapılmasının ardından geçen süre zarfında maliyet gibi görünün yatırımlar işletmeye kâr sağlayacak durumlara dönüşmesine neden olacaktır.

İşletmeler yeni teknolojilere, yeni teçhizatlara, yeni iş süreçlerine yönelmesi sonucunda proses süreçleri daha etkin ve hızlı olmasının yanısıra daha aza hatayla gerçekleşecektir. İşletmenin değişime ve yeniliklere açık olması ve bunu personele aktarmasıyla birlikte oluşan iş bilinci doğrultusunda iş süreçlerine inovatif yaklaşımın yansıtılmaları sonucunda işletme diğer rakiplerine göre rekabet ortamında avantajlı konuma gelecektir.

İşletmelerde bulunan yöneticilerin ve örgüt üyelerinin yaratıcı kabiliyetlerini rahatlıkla ortaya çıkarabilecekleri bir yönetim anlayışına sahip olma ve yaratıcı ve inovatif yaklaşımları teşvik etme konusunda istekli olmaları önemlidir [3].

Kimya ve Demir-Çelik sektörleri üretim ve ihracat rakamları ve yarattığı istihdam olanakları nedeniyle ekonomiye katkısı önemli derecede büyüktür. Demir çelik sektörü üretim, satış pazarlama faaliyetleri açısından hem ulusal hem de uluslararası pazarlarda önemli bir potansiyele sahiptir. Sanayi sektöründe büyük bir paya sahip olan demir çelik sektörü, teknolojiye, bilgiye, yeniliğe açık ve kendini sürekli geliştiren bir sektördür. Bu doğrultuda bazı alanlarda demir çelik sektörüne tedarikçi konumunda olan Kimya sektöründe ki firmalar benzer şekilde inovatif yaklaşımları benimsemelidir. Teknoloji üssü fabrikalar, bilgisayar tabanlı iş süreçleri, sürekli geliştirilen Ar-Ge faaliyetleri sektörün olmazsa olmazlarıdır.

Döküm sektöründe yer alan ve kum kalıba döküm yöntemiyle döküm yapan firmaların demir çelik sektörüne katkısı belirgin olmakla birlikte her geçen gün inovatif yaklaşımları arttırmaktadır. Bu yenilikçi yaklaşımlarını faaliyete geçirebilmek için tedarikçilere talep oluşturulmaktadır. En büyük taleplerden biride kum kalıba döküm yönteminde döküm yardımcı sarf malzemelerden biri olan besleyici gömleklerin karakterizasyonuna yöneliktir. Bu çalışmanın amacı sektörel ihtiyaçlar doğrultusunda döküm sektörünün en büyük tedarikçilerinden biri olan Çukurova Kimya Endüstrisi A.Ş.'nin ürün portföyünde bulunan besleyici gömlek üretiminde ve son üründe inovatif yaklaşımların katkılarını sunmaktır.

"

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE İNOVATİF YAKLAŞIMLAR

Bu bölümde besleyici gömleklerin üretiminde ve ürünün karakterizasyonu kapsamında inovatif yaklaşımlar ana başlıklar altında alt kısımda incelenmiştir. İnovatif yaklaşım olarak sunulan kavramlar ana başlık altında şematik olarak Şekil 1'de gösterilmektedir.

Besleyici Gömlek Üretiminde ve Son Üründe İnovatif Yaklaşımlar



Şekil 1 : Besleyici gömlek üretiminde inovatif yaklaşımlar.

2.1 XRF Analizi ve Kalorifik Değer Ölçümü

Döküm sektöründe besleyici gömlekler yaygın olarak kullanılmaktadır. Besleyici gömlekler döküm verimini arttırmakla birlikte döküm parçasının sağlam olarak üretilmesine olanak sağlamaktadır. Döküm sonrası maliyetleri azaltmak amacıyla besleyici gömlekler ile birlikte kırıcı maçalarda kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalarda her iki ürünün karakterizasyonuna yönelik net bir uluslararası bir standart söz konusu değildir [4,5,6]. İşletmeler kendi geliştirdikleri yöntemler ile proseslerinin kontrol altına almaya çalışmaktadır. Bu doğrultuda üretilen besleyici gömleklerin karakterizasyon Çukurova Kimya Endüstrisi A.Ş.'de bulunan Zetium Marka cihaz ile yapılmaktadır.

Besleyici gömleklerin yapısı incelendiğinde oksitler, ateşleyiciler, metalik malzemeler ve organik malzemelerle birlikte farklı gruplarda bulunan malzeme gruplarını içermektedir. Belirtilen gruplardan organik malzemelerin tespiti oldukça zordur. XRF analizi ile birlikte malzemenin kimyasal yapısı hakkında bazı ön görüşler yürütülebilir. Yapılan analizlerde seramik esaslı bileşenlerin varlığı ve cinsi irdelenmektedir. Bu seramik esaslı bileşenlerin besleyiciye kattığı özellikler irdelenmekte olup katılaşmasına yönelik fikirler sunmaktadır. Ek olarak oksitleyici bileşenlerin varlığı incelenebilmektedir. Belirtilen karakterizasyon yöntemi ile uygulama alanında besleyici gömleğin katılaşmasına yönelik fikirler yürütülebilmektedir. Besleyici gömlek kompozisyonunda bulunan ısı alma özelliğine sahip bileşenlerin çok olması durumunda katılaşma sırasında ortaya çıkan enerjinin bir kısmı bu bileşenlere harcanarak besleyici gömlek içerisinde bulunan sıvı metale verilen enerjide azalma görülecektir. Bu durumda katılaşma sırasında kritik seviyede besleyici gömlek kullanılan tasarımlarda hata riskini arttırabilmektedir. Bu durumu elemine etmek amacıyla XRF cihazı ile son ürünlerden karakterizasyon çalışmalarının yapılması gereklidir.

Katılaşma mekaniği incelendiğinde temeli besleyici gömleklerin geç katılaşarak sıvı metali sıcak tutması sonucunda yönlü katılaşmanın sağlanması ile parçanın sağlam olarak üretilmesine dayanmaktadır. Bu doğrultuda sıcaklık ve verilen enerji kavramı arasında ki farklılık önem arz etmektedir. Besleyici gömleklerin enerjilerinin tespiti XRF analizlerini destekler nitelikte olmakla birlikte besleyici gömlek kaynaklı hataların elemine edilmesini sağlayacaktır. Döküm hatalarının oluşmasını önlemek amacıyla katılaşma sırasında besleyici gömlekte ne kadar enerji geldiği ölçülmelidir. Çukurova Kimya Endüstrisi A.Ş.'de üretilen besleyici gömleklerin kalorifik değerleri kalorimetre cihazıyla ölçülerek kontrol altında tutulmaktadır. Buna ek olarak yapılan bu ölçümlerle iç denetim kapsamında sıcaklık ölçümleri ile korelasyonlar oluşturulmuştur. Bu durum Kalite Kontrol kapsamında hata oranının azaltılmasını sağlamıştır.



Şekil 2 : XRF cihazının görünümü.



Şekil 3 : Çukurova Kimya Endüstrisi A.Ş.'de bulunan kalorimetre cihazı.

2.2 Besleyici Gömlek Ölçü Kontrolü ve Kırıcı Maça Montajlama Faaliyetleri

Kum kalıba döküm sektöründe verimliliği arttırıcı bir unsur olan besleyici gömlekler yaş sistem olarak bilinen vakumlama yöntemiyle üretilmektedir. Besleyici gömleklerin ölçüsel tutarlılığı oldukça önemli olmakla birlikte ölçü farklılıkları sonucunda döküm firmalarında thin-cup effect olarak bilinen fazla metalin döküm kalıbında besleyici gömleğin dış yüzeyinden tamamen sarmasına sebep olabilir. Bu durum dökümhanenin verimini ve kapasitesini azaltmaktadır ve işletme tarafından tercih edilmeyen bir durumdur. Yaş vakumlama sisteminde ölçüsel hassasiyeti kontrol etmek oldukça zordur. Bu durumu elemine etmek için ölçüsel hassasiyeti yüksek ekipman yatırımlarına ihtiyaç vardır. Şekil 4'te görüldüğü gibi lazer ölçü sistemi ile yüksek hassasiyette üretilen ürünlerin son kontrolleri yapılmaktadır. Ölçüm cihazında maximum boy ölçüsü 150 mm maximum çap ölçüsü 130 mm olan ürünler kontrol edilmektedir. Otomasyon sistemi sonucunda istatistikler tutularak ürün bazlı Ür-Ge faaliyetlerinin önü açılmaktadır. İstatistiksel veriler incelenerek talep edilen ürün toleransları sağlanmaktadır. Besleyici gömlek boyut toleranslarında ki hassasiyet dökümhanelerin fire oranlarının azaltılmasına katkı sağlamaktadır.



Şekil 4 : Besleyici gömlek ölçü kontrol sistemi.

Kırıcı maçalar döküm sonrası taşlama maaliyetleri azaltmak amacıyla bilindiği gibi besleyici gömlekler ile birlikte kullanılmaktadır. Besleyici gömlek ile kırıcı maçanın istenilen konumda yapıştırılmasını sağlamak amacıyla otomasyon sistemlerinin kullanılması ile insan kaynaklı hatalar eleme edilmektedir. Şekil 5'te kırıcı maça yapıştırma cihazı gösterilmekte olup kamera sistemi ile adet sayısında bağlı yapıştırıcı ilave hassasiyeti yüksek oranda besleyici gömlek ağız kısmına homojen şekilde sürülmektedir. Bunun sonrasında kırıcı maça yapıştırılarak istenilen kırıcı maçalı besleyici gömlek elde edilmektedir. Bu otomasyon sonucunda kırıcı maça ve besleyici gömlek arasından bulunan ve Çukurova Kimya Endüstrisi A.Ş.'de üretilen Tanfiks isimli yapıştırıcının miktarı, arayüzeyden taşması, estetik görünümü bozması gibi etmenler ortadan kaldırılmıştır. Sürdürülebilir, kontrol mekanizması basit, stabil ürün üretme olanağı sağlamıştır.



Şekil 5 : Kırıcı maça yapıştırma ünitesi.

2.3 Büyük Boyutlu Besleyici Gömlek Üretiminde Kullanılan Robotik Sistem

Besleyici gömlekler farklı boyutlarda kullanılmaktadır. KBG serisi besleyici gömlekler hat dökümhaneler tarafından yaygın olarak tercih edilmektedir. BG, OBG ve BGK tipi besleyici gömlekler tonajlı parçalarda tercih edilmektedir. Tonajlı parçaların döküm işleminin sağlam olarak yapılabilmesi için parçayı besleyecek yeterli besleyici gömlek hacminin olması gerekmektedir. Bu doğrultuda büyük besleyici gömlekler tercih edilmelidir. Büyük besleyici gömleklerin üretimi yaş sistemde işçi sağlığına etki edecek düzeye gelebilmektedir. Bu durum işletmede ki verimi azaltmakla kalmayıp personel motivasyonun düşürecektir. Belirtilen durumları eleme etmek ve yüzeyi düzgün ürünler üretebilmek amacıyla Şekil 6'da gösterilen robotik sistem büyük boyutlu besleyici gömleklerin üretiminde kullanılmaktadır. Robotik sistemin kullanılması sonucunda personel verimliliği arttırılmış olup üretim hızı ürün bazında değişkenlik gösterecek şekilde %100-200 arttırılmıştır. Bu durum iç bünyede büyük ürünlerin üretilmesi kapsamında kapasite artışına olanak sağlamıştır.



Şekil 6 : Büyük boyuttaki besleyici gömleklerin üretimi.

2.4 Besleyici Gömleklerin Simülasyon Uyumluluğunun Arttırılması

Besleyici gömlek özelliklerinin simülasyon çalışmalarıyla uyumlu olması gerekmektedir. Aksi takdirde simülasyon ve saha çalışmalarında tutarsızlıklar söz konusu olacaktır. Üretilen besleyici gömlek özelliklerinin döküm simülasyon programına tanıtılması simülasyon ve saha çalışmaları arasında ki uyumluluğu arttıracaktır. Bu kapsamda Çukurova Kimya Endüstrisi A.Ş.'de üretilen yüksek ekzotermik karakterli besleyici gömleklerin özellikleri belirlenerek MagmaSoft ile ortak çalışma yürütülerek simülasyon iyileştirmeleri yapılmıştır. Deneme dökümleri sonucu yapılan ölçümlerle ve döküm sonrası alınan çıktılarla uyumluluk artırılarak simülasyon doğruluğu ön plana çıkarılmıştır. Bunun sonucunda kullanıcılara doğru veri sağlanarak çalışmaların yürütülmesi sağlanmıştır.

Sonuç olarak yapılan bu çalışma ile Çukurova Kimya Endüstrisi A.Ş.'de üretilen besleyici gömleklerin prosesinde ve son kontrol işlemlerinde yapılan inovatif yaklaşımlar ve bu yaklaşımların katkıları açıklanmıştır. Yapılan bu yatırımlar ile insan hatası azaltılarak besleyici gömlek ürünlerinin kontrol edilebilirliği arttırılmıştır olup kullanıcılara stabil ve sürdürülebilir ürün tedariki sağlanmaktadır.

3. KAYNAKÇA

1. Ersoy, A. B. & Şengül, M. C., 2008, "Yenilikçiliğe Yönelik" .
2. Korkmaz, S., Ermez, A. & Yücedağ, N., 2009, "İşletmelerin Yenilikçi Kabiliyetleri ve İhracat Performanslarına Etkileri". Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 9(2),83-104.
3. Şimşek, M. Ş., Çelik A. & Akgemci, T., 2015, "Davranış Bilimlerine Giriş ve Örgütlerde Davranış", 9. Baskı, Konya, Eğitim Yayınevi.
4. Aufderheide, R., 2010, "Optimizing Riser Design and Functionality". Foundry Management&Technology. <https://www.foundrymag.com/feature/optimizing-riser-design-and-functionality> , 13 Haziran 2024.
5. Hardin, R. A., Williams, T. J. ve Beckermann, C., "Riser sleeve properties for steel castings and the effect of sleeve type on casting yield, Proceedings of the 67th SFSA Technical and Operating Conference, Steel Founders' Society of America, 2013, paper no:5.2, Chicago.
6. Midea, A. C., Burns, M. ve Wagner, I., "Advanced thermo-physical data for casting process simulation-the importance of accurate sleeve properties". Foundry Research/Giessereiforschung, 2007, 59(1), 34-43.

How Coatings Can Improve Economic, Social, and Environmental Sustainability at Foundries

Yasin TEKİNARSLAN^{1*}, Mahmut YÜCESAN^{2*}, Christoph GENZLER^{3**}

*FOSECO TR, Türkiye

** FOSECO, Nederland

Presenting Author: Yasin TEKİNARSLAN

ABSTRACT

The benefits of water-based coatings have been known for quite some time. As a result, their use has become common in the global foundry industry. However, they remain rare in some sectors of the industry, such as at jobbing foundries, where solvent-based coatings are still prevalent. The SEMCO* family of coatings offers the following range of features, which overcome the challenges traditionally associated with water-based coatings (longer and more costly drying processes; reduced mould shop productivity), while improving the overall health and safety of foundries.

- SEMCO FD for faster drying rates than traditional water-based products
- SEMCO CC colour-change-on-drying technology for an optimized drying process
- SEMCO FF to control formaldehyde emissions in compliance with the latest EU regulations

In addition, these coatings improve the quality of moulds/cores produced, helping to reduce rework and reject rates. Unique to the SEMCO FD-CC-FF family, these features can also be combined into one coatings solution that is tailored to the individual needs of the customer. The result is a family of coatings that supports foundries in cutting energy use – whether for drying or as a result of reduced rework/scrappage – and, with that, Scope 2 CO₂ emissions. As foundries struggle to control costs, reduce their environmental footprint, and meet net-zero targets, SEMCO water-based coatings are thus supporting the industry to become more sustainable and cost efficient than ever.

Keywords: Water-based coating, Color change coating, Energy saving, Process optimization

1. INTRODUCTION

The cost of energy has always been an issue of concern among foundries. Even the smallest increase can significantly impact business – and the rises we have seen in recent times are anything but small. Indeed, skyrocketing energy costs are threatening the short-term viability of the European foundry industry. With orthodox energy efficiency measures reaching their maximum potential to reduce consumption, other solutions are being sought.

In the medium to long-term, climate change and environmental issues continue to loom large. Meeting net-zero ambitions will require a concerted effort by the foundry industry to cut carbon emissions. There is some synergy here between the need to control energy costs and to reduce greenhouse gas emissions, since efforts to reduce energy consumption ultimately support both. While the issues of energy and climate change attract much popular attention, far from mainstream headlines the regulation of other harmful substances continues to tighten. These may be more niche problems, yet they have a very real influence on the types of solutions needed to support every day foundry operations.

These brief brushstrokes paint a picture of an industry under stress. A significant part of the response to this must come through innovation and the adoption of improved practices. In this environment, even small improvements can reap large rewards. This paper will focus on one such area and discuss how foundries can reduce energy consumption, environmental risks, and protect worker health by adopting the latest innovations in core and mould coating technology.

2. HOW DO COATINGS HELP SOLVE THE CHALLENGES TODAY?

Solvents (e.g., isopropanol, ethanol, or methanol) are the base for many widely-used coatings, particularly those used in the jobbing foundry sector. They are fast drying or burn-off quickly, which is advantageous both for mould shop productivity and for minimising the amount of energy consumed for drying. However, they are not without challenges. Solvents are expensive, can suffer supply disruption (as was the case during COVID-19) and emit volatile organic compounds (VOCs) into the environment. They can also cause respiratory health issues in workers, while there are restrictions on the storage and use of flammable substances.

Water-based coatings eliminate these issues and have been widely adopted by sections of the foundry industry, notably by automotive or similar mass core production foundries. But water-based coatings are also not without their drawbacks, particularly when it comes to drying speed and the cost of drying equipment. These disadvantages have hindered their uptake in the jobbing foundry sector. In addition, water-based coatings often contain formaldehyde (FH): a biocide that prevents the growth of microorganisms (e.g., bacteria or fungi). Microorganisms can influence the performance of the coating and impact the health of operators.

There is thus a need for a new generation of water-based coatings that improve the performance of their predecessors in terms of drying efficiency and resistance to microorganism growth. The SEMCO family of water-based coatings offers a range of features that do just this:

- SEMCO FD delivers faster drying rates than traditional water-based products
- SEMCO CC is a colour-change-on-drying technology that helps manage the drying process
- SEMCO FF reduces evolved FH emissions in compliance with the latest EU regulations

The remaining article will discuss these features in more detail, starting with SEMCO FD and SEMCO CC and the benefits they bring in terms of reducing energy consumption during the drying process.

3. IMPROVING DRYING RATES OF WATER-BASED COATINGS FOR JOBBING FOUNDRIES1 – SEMCO FD

Drying is the key concern when it comes to water-based coatings. Slower drying rates compared to solvent-based alternatives reduce productivity in the drying line and increase energy consumption, adding to operating expenditure. As noted above, this is of particular relevance at the moment, given the very high cost of energy.

It is a fundamental fact of physics that to heat 1g of water by 1°C requires 4.186J (or 1cal). Meanwhile, the evaporation temperature of water is 100°C. These values cannot be changed. But what can be changed is the amount of water that needs to be evaporated to dry the mould or core. It is a simple equation: less water requires less energy to evaporate. And less energy reduces costs. SEMCO FD coatings are a range of water-based coatings designed for flow coating applications in jobbing foundries, but formulated with a significantly higher solids content – and thus much lower water content – than is typical. They maintain the excellent rheological properties needed in flow coatings and are capable of building the required coating layer in one application, without runs or drips. The range is also available with different refractory filler combinations to suite most foundry needs:

- Pure zircon for the heaviest iron and steel castings.
- Aluminium silicate for heavy iron and smaller steel components.

The low-water formulation of SEMCO FD thus results in a water-based solution appropriate for use by jobbing foundries. Benefits include:

- Short drying cycle times and related productivity benefits.
- Smaller, lower-cost drying facility requirements.Reduced energy consumption, and related costs and carbon emissions.
- Safer and healthier foundry working environment, as hazardous solvents are removed from the process.

In addition, the high solids content in SEMCO FD helps to protect against casting defects. This improves yield and reduces costs association with rejection and reworking costs – another perennial challenge for foundries.

Figure 1 shows approximate cost savings possible in a grey iron casting application when switching to SEMCO FD. (NB: these calculations were made before the current energy crisis and thus represent a conservative estimate of potential cost savings.) Drying costs are based on an estimated 3kg of coating per tonne of grey iron casting produced. At 30,000 tonnes per annum casting output, cost savings using SEMCO FD could amount to at least €40,000.

These benefits persuaded a global castings foundry specialising in ductile iron wind turbine castings to trial SEMCO FD coatings as part of its efforts to improve core shop output, accelerate coating drying rate, and reduce energy costs. The result was 50% faster core/mould drying cycles than traditional water-based coatings (Figure 2). Energy demand and calculated carbon emissions were also reduced proportionally.

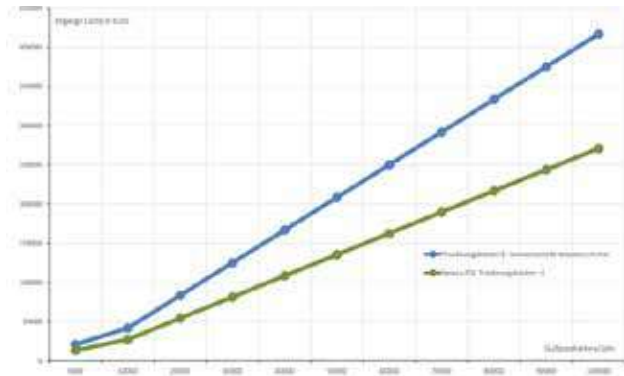


Figure 1: Approximate coating drying costs per annum versus casting output (at 2020 energy costs)

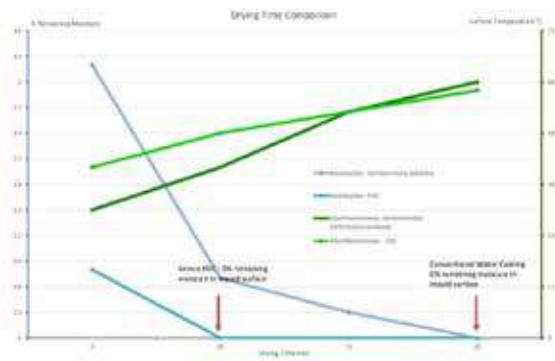


Figure 2: Drying times of a conventional water coating vs SEMCO FD coating at ductile iron foundry

Due to the flexibility of fillers available with SEMCO FD, the foundry was also able to utilize a lighter filler combination. This improved coating application and removed zircon from the foundry environment. The use of zircon is becoming an increasing concern to European foundries due to significant price volatility in zircon markets and a desire to eliminate the use of radioactive materials in the workplace. Zircon is a naturally occurring radioactive material, albeit at very low levels.

4. OPTIMISING THE DRYING PROCESS: COLOUR CHANGING COATINGS – SEMCO CC

The fact that things change colour as they dry will be familiar to anyone who has painted a wall or picked up a pebble on the beach. Foundries will also be aware that some coatings change colour from darker to lighter during the drying process. Usually, these colour changes are not distinct enough to allow accurate observation of drying progress. However, SEMCO CC water-based coatings utilise a clearly-visible surface colour change (e.g., green to yellow) to monitor the drying process and thus make it easier to manage effectively.

There are two primary benefits:

By enabling operators to clearly see when the coating is dry, drying time and temperature can be accurately determined. Drying cycles can therefore be optimised to achieve complete drying in as short a time as possible, minimising energy costs (and resulting carbon emissions).

As the colour change is reversible, wet or humid cores are easily identified. This is important as the use of wet or humid cores can result in gas defects in the final casting. SEMCO CC coatings therefore have a role in preventing reject and rework.

The colour change indicator can be integrated into almost every Foseco water-based coating and works with the following systems:

- Furane resin
- Phenolic resin
- Coldbox
- Shell process
- Lost foam

One foundry that has taken advantage of the benefits offered by SEMCO CC technology is Eis-sengiesserei Baumgarte GmbH in Germany. The Baumgarte foundry produces a range of castings for various industries, including general mechanical engineering, plant construction, railway engineering, vehicle manufacturing, and pumps and drive technology. By using the colour change indicator, Baumgarte successfully reduced energy costs and drying times with a consequent increase in productivity. The improvements resulted in energy cost savings of 20% per year.

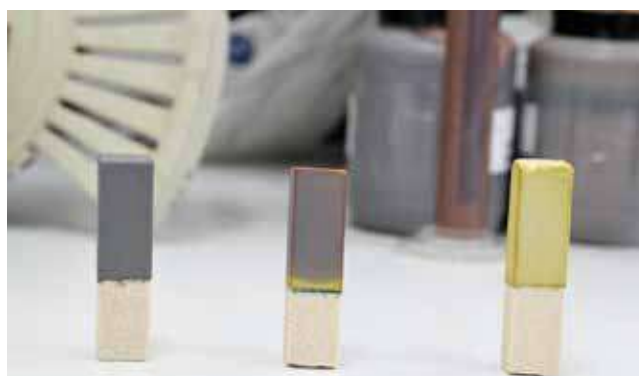


Figure 3: By providing clear visualisation of drying progress, SEMCO CC coatings help optimise the drying process and prevent wet cores being used for casting.

5. PROVIDING A HEALTHIER AND SAFER WORKING ENVIRONMENT² – SEMCO FF

One of the key benefits of water-based coatings over solvent-based products is that they are safe to handle and store, and do not release VOCs into the foundry working environment. However, they are prone to attack by microorganisms, such as bacteria and fungi. These microorganisms may be detrimental to worker health; they also negatively impact coating performance by:

- Reducing pH
- Increasing sedimentation
- Causing syneresis
- Degrading flow properties
- Reducing edge coverage
- Increasing coating penetration leading to core breakage
- Changing wetting characteristics
- Causing cracking in the surface of the coating

To protect against microbial growth, water-based coatings often include biocides, which commonly contain formaldehyde (FH) for its antibacterial and antifungal properties. During the drying process, this FH is released, usually into the drying facilities, contributing to the foundry's overall FH emissions. FH is also emitted during pouring in the melt shop and during shake-out, due to decomposed binder components. The release of formaldehyde is a problem because the chemical is carcinogenic and mutagenic³, and thus harmful to human health; it is regulated as such under EU law, which limits FH emissions levels to just 5mg/m³.

Control of FH during the manufacture of moulds and cores is complicated by the fact that FH is released by other mould/core components, such as binders and additives. Other chemicals can also be converted into FH during various process steps, such as core blowing, drying and storage. Meanwhile, during the development of SEMCO FF coating technology, it was observed that the level of binder-related FH emissions depended on storage duration: only freshly-made cores and moulds were responsible for a substantial contribution to overall FH emissions levels.

SEMCO FF coatings take the first steps to solve this challenge by including a biocide that does not release FH during the drying process, which is the main area of concern since emissions are most concentrated here. Testing has demonstrated that FH emissions from fresh, as-made PUCB cores with a SEMCO FF coating are considerably lower than those from cores with standard coatings.

These results demonstrate that SEMCO FF coatings can support foundries in complying with tightening FH emissions regulations, without the need for costlier and more complicated investments, such as new or upgrades to gas treatment systems. There is also potential for the future development of coatings that actually absorb FH emissions from other components of the mould or core, such as binders and additives; the coating could thus become a net-negative contributor to overall FH levels in the foundry.

6. CONCLUSION: SOLVING PROBLEMS WITH COATINGS – SEMCO FD-CC-FF

Coatings may only be a very small part of the foundry process but, thanks to recent innovation work, they can make a real impact on the challenges facing the casting industry. The SEMCO family of coatings are a case in point.

SEMCO coatings are fast drying and suitable for flow coating applications; they thus facilitate the adoption of water-based coatings in a wider range of applications, including at jobbing foundries previously reliant on solvent-based solution. These properties improve foundry efficiency and – critically – reduce energy consumption in the drying process. The addition of colour-change-on-drying technology only furthers the ability of foundries to optimise mould/core shop operations.

It is not just in the mould shop that the benefits of SEMCO coatings are felt. The ability to tailor refractory fillers means the coating can be specified to provide best results for the application and meet any specific concerns, e.g., the removal of zircon from the foundry site. Higher solids content results in moulds and cores that are less likely to cause casting defects, as does the ability to easily detect and avoid wet/humid moulds and cores. Reject and rework functions are thus reduced: a key aim of any foundry operator and a vital step in improving the yield and efficiency of the process. Finally, eliminating the use of solvents – and with the development of biocides that do not release FH – SEMCO coatings improve overall health and safety in the foundry.

Look at the big picture and the SEMCO family of water-based coatings thus fundamentally improve the sustainability of foundry operations in three senses. They improve financial sustainability by helping to cut costs and increase yield (profitability); they improve social sustainability by reducing the health and safety risks to which foundry workers are exposed; and they improve environmental sustainability by reducing both harmful emissions (VOCs, FH) and energy-related (Scope 2) carbon dioxide emissions. In this way, coatings can have a significant role in solving the foundry industries most pressing challenges.

3. REFERENCES

- 1) This section is based on Genzler, C., 'Fast Drying Coating – The Conversion from Solvent to Water-Based Foundry Coatings' (Foseco International Ltd; 2020)
- 2) This section is based on Genzler, C., 'Reducing Formaldehyde Emissions from Water-Based Coatings', Foundry Practice No. 270 (Foseco International Ltd; 2021)
- 3) <https://echa.europa.eu/registration-dossier/-/registered-dossier/15858/2/1>

The Effect of Molding Design And Mold Filling Parameters On Hydrogen Induced Crack Defects In Steel Castings

Mustafa Murat ZOR*¹, Ferhat TLCE*, Buğra ERBAKAN*, Alper YOLOğLU*,
*ukurova İnşaat Makinaları San. Tic. A.ř. Mersin, Türkiye

ABSTRACT

Hydrogen cracking occurs due to the build-up of gas pressure at inclusions, generally manganese sulfide inclusions. Cracking occurs in the thickest parts of a section, distance to diffuse out to surface is greater, and hydrogen is more likely to get trapped. Casting simulation technology is an most effective method to provide the predicted information on casting defects such as shrinkage, gas entrapment, and non-metallic inclusions. But it is not possible to detect hydrogen-induced defects in steel castings in today's flow and solidification simulation programs. In the study, various moulding and gating system designs have been designed for steel castings in industrial conditions and the effects of gating system design on hydrogen-induced crack defects have been investigated. The flow and solidification of the gating systems of the casting part were simulated by using Novacast flow and solidification program. The study clearly shows that gating system and molding design have revealed that it plays a significant role in preventing hydrogen-induced crack defects in steel castings.

Keywords: Hyrdogen induced cracking, Steel casting, Gating system design, Molding design, Modelling and simulation

Introduction

It is well known to foundry that hydrogen in steels can cause cracks termed as hairline, shatter or flakes, especially in low alloy NiCr, NiCrMo, NiCrMoV types their prevalence in ingots, as opposed to steel castings appears -to arise from massive cross section thicknesses (rather more than module 4 cm) promoting hydrogen retention for cracking and embrittlement events. Nevertheless, effective and economic means for hydrogen control should be considered especially in large section low-alloy steel castings. Hydrogen has been and always will be a source of various problems within steel production because of its generally detrimental effects on processing characteristics and service performance of steel casting parts. If the hydrogen content of the molten steel exceeds the solubility limit of hydrogen in solid iron, the hydrogen will be rejected during solidification, and this leads to pinhole formation and porosity in steel. Just a few parts increase per million of hydrogen dissolved in molten steel can cause hairline cracks (flakes), hydrogen embrittlement and loss of tensile ductility, particularly in large steel castings process. In practice, the hydrogen content of liquid steel is considerably less than the solid solubility limit. As a result, gross porosity in steel castings due to Hydrogen expulsion during solidification seldom occurs in practice. During cooling in the mold, however, a point may be reached when the steel becomes saturated with hydrogen and, on further cooling, is expelled from solution. This gas diffuses in an atomic form by lattice migration through the matrix. In other words, on transformation from γ (austenite) to α (ferrite), hydrogen becomes instantaneously less soluble but more easily diffusible. This is a major cause of the susceptibility of ferritic steels to hydrogen cracking and embrittlement, the matrix being easily supersaturated with highly mobile hydrogen. Microstructural features like grain boundaries, inclusion interfaces, pores, voids, etc., can act as effective traps (sinks) for hydrogen. In general, trapping effects become appreciable at temperatures below about 1500 C, the atomic hydrogen being "desorbed" from the matrix to form molecular hydrogen. In fact, trapping effects are believed to be responsible for castings being less prone to hydrogen cracking and embrittlement than wrought. Products owing to the higher volume fraction of microstructural traps - these traps are "welded up" during thermomechanical processing high sulphur steels being less susceptible to hydrogen cracking and embrittlement by providing abundant inclusion interfaces for hydrogen recombination - a high volume fraction of non-planar inclusions is to be preferred [1-4].

When liquid steels cool from a temperature above austenitization temperature, it transforms into other phase configurations according to the austenite composition and cooling rate. As a result of phase transformation, the steel crystal structure and consequently, both the shape and the lattice parameter of the unit cell, change. These changes may introduce dilatational strains into the microstructure, which result in the creation of residual stress concentration zones within the microstructure. These stress concentration zones are vulnerable regions to the formation of micro cracks or growth of the flaws in these regions. Three processes are involved pertaining to hydrogen: (1) hydrogen evolution from the molten steel and segregation of hydrogen in casting part during solidification, (2) homogenization and redistribution of hydrogen in steel during solidification and (3) hydrogen diffusion from casting part during cooling. Hydrogen diffusion is considered paramount to obtain high-quality casting part with low hydrogen content. At or near room temperature, diffusible hydrogen is considered mobile, whereas residual hydrogen is trapped in the metal. Residual hydrogen can be retained through interaction with microstructural discontinuities or by the formation of hydrides with alloying elements. The presence of the factor of hydrogen leads to the formation of internal defects, such as capillary cracks, fracture cracks or lag. These defects begin to occur below 200 °C and generally continue throughout post-casting processes. It is very difficult to prevent hydrogen diffusion into the structure of liquid steel, except under vacuum processes. While there is no guarantee that hydrogen-containing steel will not fail due to hydrogen, 7 ppm of hydrogen is commonly considered the critical limit in foundries [5-7].

Hydrogen cracking occurs due to the buildup of gas pressure at inclusions, these are generally manganese sulfide inclusions. Mechanism for hydrogen cracking; Hydrogen is present in the steel as very small atoms. These small and active hydrogen atoms diffuse to energetically favorable sites i.e., surfac-

es which in the steel matrix are principally non-metallic inclusions. Hydrogen cracking is more likely to occur in segregated areas which contain hard phases. Hydrogen cracking is characterized by its fine, hairline stepped appearance linking inclusions [8-9].

Although the main task of the gating system is to direct the molten metal and fill the mold with molten metal, a well-designed gating system plays an important role in preventing various casting defects and metal turbulence in the casting process. Turbulence during the pouring of metals generates two main defects: (1) entrained air bubbles and (2) entrained oxide films from the surface of the liquid metal. The oxides are always entrained with the dry top surface of the oxide folded over against itself. This unbonded double interface (a bifilm) acts as a crack in the liquid metal, leading to the initiation of cracks and hot tears in the casting. All cracks and hot tears appear to be the product of entrained bifilms. The entrained air bubbles create a very serious surface area, increasing the probability of the hydrogen in the air bubbles to diffuse into the liquid steel [10-21].

This article aims to establish a relationship between the molding design and mold filling parameters of steel casting parts produced by the sand mold casting method and hydrogen-induced defects. In this study, the molding and gating system design of the casting part was changed to minimize turbulence of the liquid metal during mold filling. In this way, the interaction of the liquid steel with the air is minimized and the probability of snatching hydrogen from the humidity in the air was reduced.

Material and Method

In this study, it has been aimed to relate hydrogen induced cracks for steel castings by molding design and gating system design. The molding systems designs of the casting part are based on the modulus and geometry of the casting part. In the study, the material of the casting part is determined according to the SEW 520 standard and material of the casting part has been selected as G 14NiCrMo10-6. The part with two different molding designs and gating system designs have been molded in the flaskless resin molding system and casted in ÇİMSATAŞ foundry. The chemical composition of the casting part has been selected as shown in Table 1 and the image of the casting part is shown in Figure 1.

Contents (%)	C	Mn	S	Mo	P	Cr	Ni	Si	V	Cu	Al	Nb	Ti	Pb	Sn
Min.	0,12	0,55	0	0,45	0	1,3	2,7	0	0	0	0,02	0	0	0	0
Max.	0,16	0,70	0,010	0,55	0,010	1,8	3,0	0,30	0,003	0,35	0,08	0,06	0,05	0,02	0,03

Table 1 : Chemical composition of the casting part.

In the first casting design study, gating system design of the casting part is based on total gross weight of the part (total gross weight including gating system and feeders) and effective casting height. Total gross weight of the casting part is 463 kg and effective casting height is 98 cm. The gating system ratio of the casting part has been chosen as 1:3:1. The gating system has been designed by using solid data and then, flow and solidification of the casting part has been simulated at 1600°C by choosing lip pouring ladle. According to simulation results, designed gating system has been assembled to the casting part model. The designed gating system ratios and dimensions of the casting part are shown in Table 2 and the images of the simulation results of the casting part are shown in Figure 2.



Figure 1 : Schematic representation of the casting part.

Gating system ratio	Vertical runner	Horizontal runner	Ingate
1:3:1	1	3	1
	16.37 cm ²	49.11 cm ²	16.37 cm ²

Table 2 : First designed gating system ratios and dimensions.

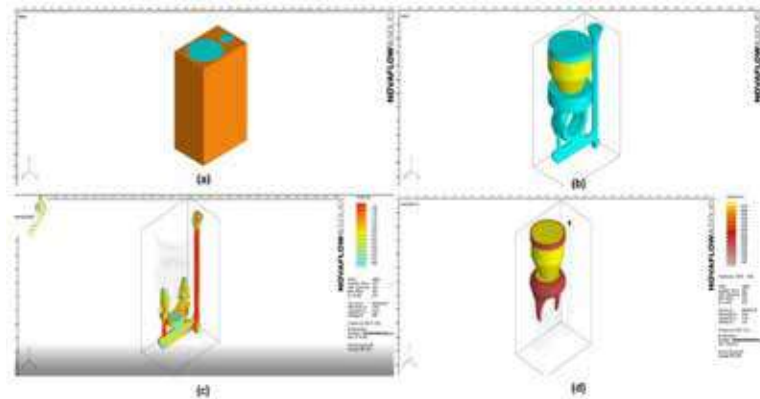


Figure 2 : (a); The image of the molding design of the casting part, (b); The image of the casting part geometry, (c); The image of the metal flow and filling simulation of the casting part, (d); The image of the friction liquid mod of the casting part.

After simulation results, one part was molded in the flaskless resin molding system in ÇİMSATAŞ foundry. The Heraeus Hydris® was used to measure hydrogen levels in the liquid metal before and after casting. With this method, the increase in the amount of hydrogen experienced during the casting stage was detected. According to the measurements made on the part whose first gating system was designed, a hydrogen increase of 2.3 ppm was detected after 4 minutes of casting and waiting time in liquid steel with a hydrogen increase of 3.3 ppm during the 2 hour melting process. The fact that there is an increase that is almost equal to the increase in the entire melting process in just 4 minutes shows how important the casting stage is in terms of hydrogen level. After the hydrogen measurement of the liquid metal, the casting has been carried out with a lip pouring ladle at 1590 °C and in 30 seconds. Total gross weight of the casting part has been detected as 454 kg. The hydrogen measurement results of the liquid metal are shown Figure 3 and The Image of the poured part with designed gating system is shown in Figure 4.

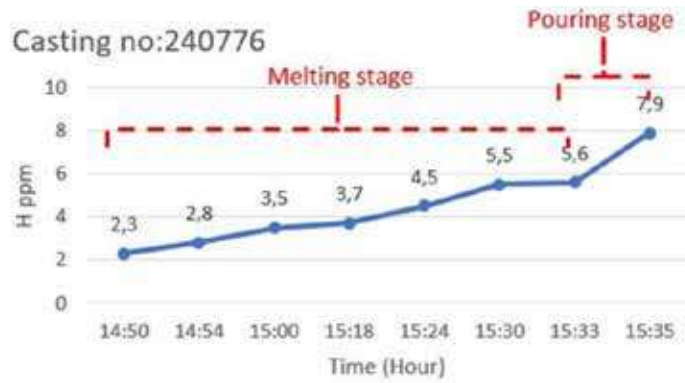


Figure 3 : Hydrogen level measurement results during melting stage and pouring stage of the liquid metal.



Figure 4 : The image of the poured casting part.

After the casted part was heat treatment (normalizing and tempering), the flange of the casting part was machined according to technical drawing of the part and magnetic particle testing was performed on the part. The locations of the defects and morphologies in the flange of the casting part under UV light after machining are shown in Figure 5.

Sample was taken from the defects area of the casting part after machining, and their examinations were carried out under Scanning Electron Microscopy (QUANTA FEG 250 SEM) and optical microscope (Zeiss Axio Vert A1) in the FOSECO Netherlands R&D center. The image of the sample taken from the defect area of the casting part under UV light is shown in Figure 6.

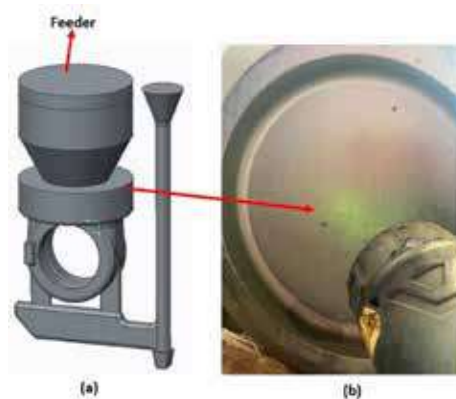


Figure 5 : (a); The image of the molding design of the casting part, (b); The locations and morphologies of the defects on the flange of the casting part under UV light after machining.

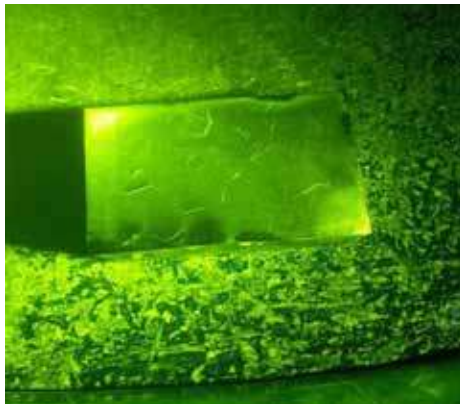


Figure 6 : The image of the sample taken from defects area of the casting part. The sample sent to FOSECO Netherlands R&D Center was cut with a saw and the crack depth in the sample was visually inspection. The original crack depth of the sample is shown in Figure 7.

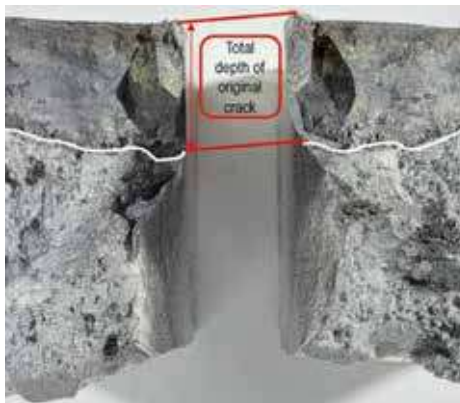


Figure 7 : The image of the original crack depth of the sample. Sample was examined from the cross section under the optical microscope un-etched condition. In the sample, which was examined under an optical microscope, it was observed that there were two areas of defects on the surface defect (1) and hidden crack below the surface (2). The images of sample under the optical microscope are shown in Figure 8 and Figure 9.

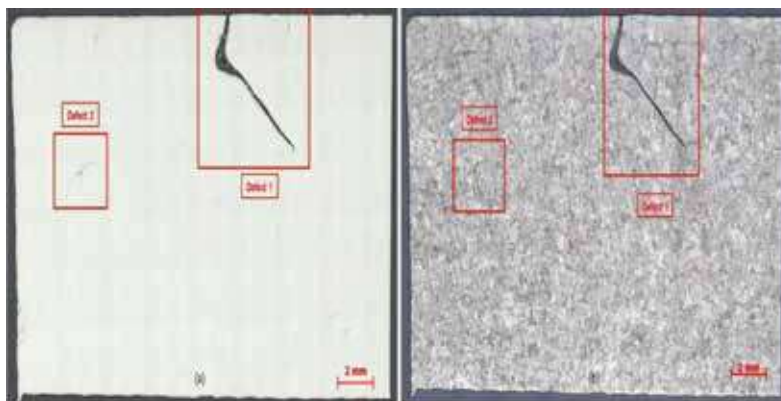


Figure 8 : The image of sample in the unetched condition under the optical microscope (5x), (a); The image of sample in the etched condition under optical microscope (5x), (b).

After the defect 1 in sample was examined under the optical microscope, the defect 1 in the sample was examined with the Scanning Electron microscopy (SEM: 20 kV of accelerating voltage and 75x magnification) and EDX (energy dispersive X-ray analyzer). In the EDX analysis of defect 1, at the surface of the crack an iron oxide layer and in the defect some inclusions of Al and Si were detected. SEM micrographs and EDX analysis images of defect 1 are shown in Figure 10.

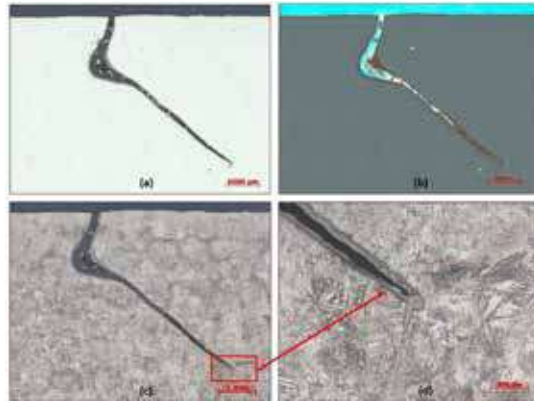


Figure 9 : (a); Defect 1 unetched condition brightfield light (50x), (b); Defect 1 unetched condition polarized light (20x), (c); Defect 1 etched condition brightfield light (50x), (d); Defect 1 etched condition brightfield light (100x).

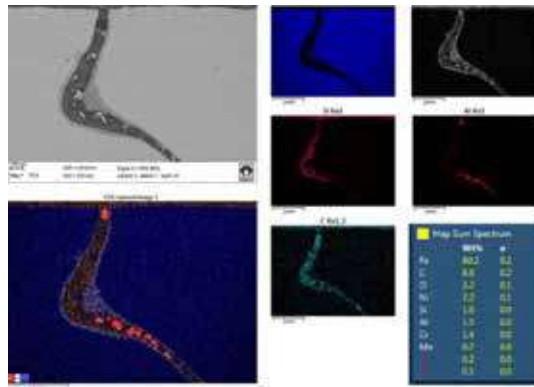


Figure 10 : SEM micrographs (75x) and EDX analysis images of defect 1.

After the defect 1 in sample was examined with the SEM and EDX analysis, hidden crack below the surface (defect 2) in the sample was examined from the cross section under the optical microscope. When the defect 2 characteristic was examined under the optical microscope. The images of sample under the optical microscope are shown Figure 11.

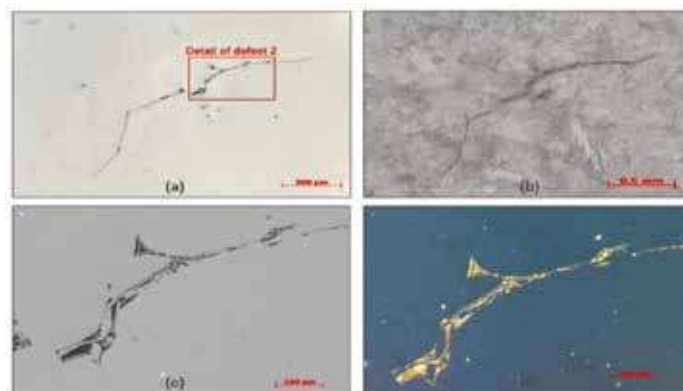


Figure 11 : (a); Defect 2 unetched condition brightfield light(10x), (b); Defect 2 etched condition brightfield light (20x), (c); Defect 2 unetched condition brightfield light (100x), (d); Defect 1 unetched condition polarized light (100x).

After the defect 2 in sample was examined under the optical microscope, the defect 2 in the sample was examined with the Scanning Electron microscopy (SEM: 20 kV of accelerating voltage and 400x-1500x magnification) and EDX (energy dispersive X-ray analyzer). In the EDX analysis of the defect 2, in the defect there is a higher amount of Al and O detected. Moreover, in the defect some inclusions of S, Mn and Si are detected (e.g., MnS). SEM micrographs and EDX analysis images of defect 2 are shown in Figure 12 and Figure 13.

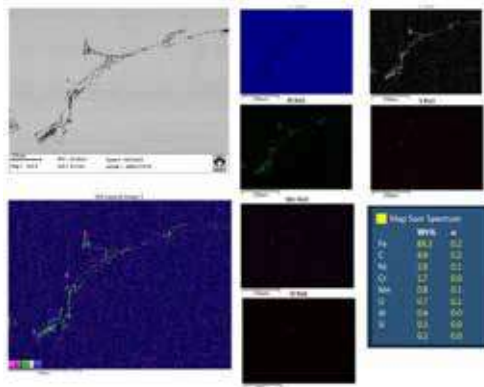


Figure 12 : SEM micrographs (400x) and EDX analysis images of defect 2.

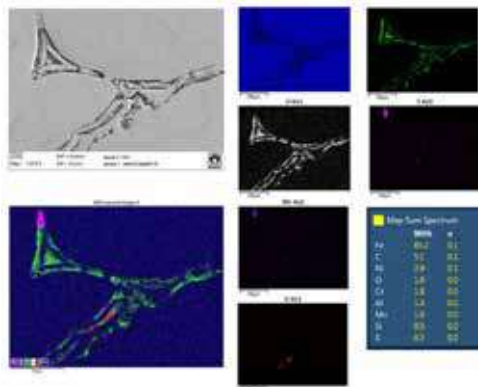


Figure 13 : SEM micrographs (1500x) and EDX analysis images of defect 2.

After the defect 2 in sample was examined with the SEM and EDX analysis, was used by the metal extraction method to determine the hydrogen and nitrogen content of the sample. To determine the hydrogen and nitrogen content, 4 samples of approximately 1 gram each were taken from the sample. The measurements were carried out by the method of melting extraction according to the accredited process instruction VA7-13:2016-10.

Determination of hydrogen content measurement procedure was calibrated with pure hydrogen and rechecked with a reference standard of 2.5 ± 0.2 ppm. The values of the calibration measurement were in this range. A recalibration was not necessary during the entire measurement. The detection limit of this measuring method is 0.3 ppm. The results of the hydrogen content of the sample are shown in Table 3.

Component	Method of measurement	Content of hydrogen (ppm)		Average (ppm)
		1.Measurement	2.Measurement	
Steel cast sample	Melting extraction	0.4	0.4	0.4

Table 4 : Results of the determination of the nitrogen content.

After the hydrogen content of the sample was determined, the nitrogen content of the sample was determined by the metal extraction method. Determination of hydrogen content measurement procedure was calibrated with pure hydrogen and rechecked with a reference standard of 69 ± 3 ppm. The values of the calibration measurement were in this range. The results of the hydrogen content of the sample are shown in Table 4.

Component	Method of measurement	Content of hydrogen (ppm)		Average (ppm)
		1.Measurement	2.Measurement	
Steel cast sample	Melting extraction	66	73	69.5

Table 4 : Results of the determination of the nitrogen content.

After the first poured part was examined and then molding and gating system design of the casting part was changed in the part solid data. In the casting part design, the gating system design of the casting part was calculated according to total gross weight and effective casting height of the part. Total gross weight of the casting part is 500 kg and effective casting height of the casting part is 32 cm. After the gating system design of the casting part was changed, flow and solidification of the part was simulated at 1600 °C by choosing lip pouring ladle. According to simulation results of the part, the gating system was assembled to the casting part model. The designed gating system ratios and dimensions of the casting part are shown in Table 5 and the images of the simulation results of the casting part are shown in Figure 14.

Gating system ratio	Vertical runner	Horizontal runner	Ingate
1:3:1	1	3	1
	17,26 cm ²	51,78 cm ²	17,26 cm ²

Table 5 : Second designed gating system ratios and dimensions.

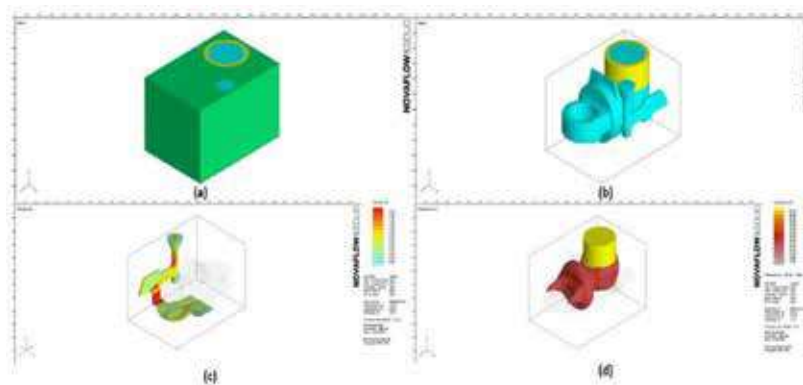


Figure 14 : (a); The image of the molding design of the casting part, (b); The image of the casting part geometry, (c); The image of the metal flow and filling simulation of the casting part, (d); The image of the friction liquid mod of the casting part.

After simulation results, one part was molded again in the flaskless resin molding system in ÇİMSATAŞ foundry. Before and after the casting process, hydrogen measurements of the liquid metal by Heraeus HydriS® hydrogen measuring device was used. According to the measurements made on the part whose second casting part was designed, obtained measurement results were compared with the first measurements. As can be seen in Figure 15, while hydrogen level of the liquid metal is 6.4 ppm before pouring stage, it is 7 ppm after the pouring stage. Hydrogen increase is only 0.6 ppm in second designed casting part. Hydrogen increase was 2.3 ppm (in the pouring stage) in the previous design of the casting part. After the hydrogen measurement of the liquid metal, the casting has been carried out with a lip pouring ladle at 1590 °C and in 35 seconds and total gross weight of the casting part has been detected as 492 kg. The Image of the new designed casting part is shown in Figure 16.

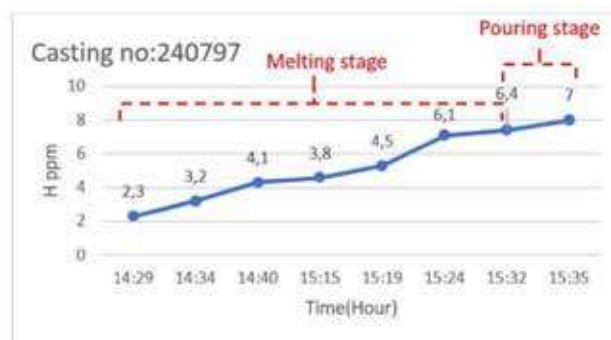


Figure 15 : Hydrogen level measurement results during melting stage and pouring stage of the liquid metal.



Figure 16 : The Image of the new designed casting part.

After the casted part with new designed was heat treatment (normalizing and tempering), the flange of the casting part was machined according to technical drawing of the part and magnetic particle testing was performed on the part. It was observed that there were no defects under UV light in the magnetic particle test applied to the flange of the cast part after machining. The flange of the casting part under UV light after machining are shown in Figure 17.

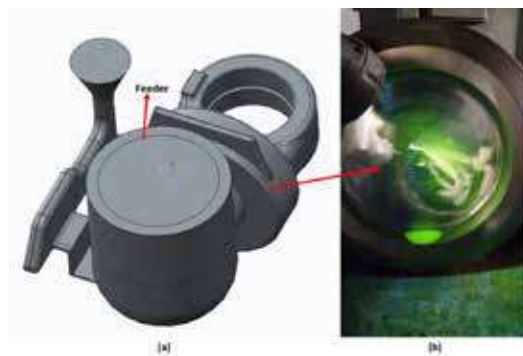


Figure 17 : (a); Image of the mold design of the cast part, (b); Image of the flange of the casting part under UV light after machining.

Results

In this article, the casting parts have been designed according to the simulation results with different molding and gating system designs by using the material G 14NiCrMo10-6 steel castings. The findings were obtained from the simulation results, optical microscope inspections, SEM - EDX analyzers and poured parts.

It was found that the simulation results cannot detect hydrogen induced defects in the casting part.

- While it was observed that turbulence occurred in the liquid metal in the filling simulation of the first designed casting part, it was observed that there was no turbulence in the liquid metal in the filling simulation of the second casting part designed.
- It was observed that the total gross weight of the first designed casting part was 454 kg, the total gross weight of the second designed casting part was 492 kg.
- While the filling time of the poured part with the first designed casting part was 30 seconds, the filling time of the poured part with second designed was increased to 35 seconds.
- The observed crack-like defects very probably run along the former primary grain boundaries of the cast steel.
- They are therefore more likely to have arisen before the normalization annealing.
- Some cracks must have had a connection to the surface during normalization, as their surface is heavily oxidized (layer of scale).
- The structure of the steel shows a relatively large number of non-metallic inclusions (Al oxide, MnS), also in the vicinity of the crack-like defects. Such inclusions have a strength-reducing ef-

fect and are also traps for hydrogen.

- All inclusions that could be found within the cracks very likely got there later (during processing, handling).
- The cracks are predominantly relatively wide open, which is atypical for cracks caused exclusively by mechanical stresses (near room temperature). The effect of stresses during quenching of the casting can be ruled out because the cracks were already detected before hardening.
- In Heraeus Hydris® hydrogen measurements, it was observed that the hydrogen level of the liquid metal in both casting designs was less than the critical value of 8 ppm.
- The hydrogen and nitrogen levels found in a sample (by metal extraction method) are not critical (0.4 and 69.5 ppm respectively). Despite the low H content, hydrogen is probably the cause of this cracking.
- The source of the hydrogen cannot be determined afterwards. During solidification, the hydrogen dissolved in the melt segregated into the areas that solidified last and then led to the cracking of the primary grain boundaries (called as flakes in the steel industry).
- During the subsequent heat treatment (tempering), the hydrogen was expelled from the material so that it could no longer be detected later.

Conclusion

The study aimed to establish a relationship between hydrogen-induced defects in steel castings and the design of both molding and gating systems. The findings of this investigation have shed light on the connection between these defects and the design aspects of the molding and gating systems. Notably, the study revealed that hydrogen-induced crack defects were particularly associated with NiCr, NiCrMo, and NiCrMoV steel materials.

One key factor contributing to these defects is the turbulence experienced by the liquid metal during the casting process. This turbulence leads to the formation of re-oxidation products within the alloying elements present in the liquid metal. Moreover, this turbulent flow in the liquid metal significantly increases the contact between the metal and any free moisture present in the mold during the casting process. As a result, this heightened interaction is found to be a major cause of the hydrogen-induced defects observed in the resulting steel castings. These findings underscore the importance of carefully considering both molding and gating system design to mitigate the occurrence of hydrogen-induced defects in steel castings, especially when utilizing sensitive steel materials like NiCr, NiCrMo, and NiCrMoV.

Acknowledgement

We would like to thank ÇİMSATAŞ General Manager Mr. Fatih Erdoğan, ÇİMSATAŞ Production Group Manager Mr. Necmettin Acar, ÇİMSATAŞ Foundry Manager Mr. Kazım Çakır, ÇİMSATAŞ Foundry Production Chief Mr. Buğra Erbakan, ÇİMSATAŞ Production Engineer Mr. Vedat Uz, ÇİMSATAŞ Foundry Finishing Engineer Mr. Mert Demirdöğen, FOSECO Netherlands R&D Center Manager Mr. Derya Dispınar, FOSECO Netherlands R&D Int. Tech. Manager Mr. Wolfram Stets, FOSECO Netherlands R&D Analytical Lab. Specialist Mr. Edwin Onland.

Author contributions

Mustafa Murat Zor: Conceptualization, Methodology, Design, Simulation, Writing-Original draft preparation, Editing, , Ferhat Tülüce: Methodology, Validation, Writing-Original draft preparation, Editing, Buğra Erbakan: Validation, Alper Yoloğlu: Validation

References

1. Xian, A., Li, P., Chen, W., Wang, Y., Chen, R., & Mei, D. (1994). Effect of removing hydrogen from heavy rail steel blooms by stack cooling in Panzhihua iron and steel company. *Acta Metallurgica Sinica, Series A*, 6, 415-419.

2. Fruehan, R. J. (1997). A review of hydrogen flaking and its prevention. *Iron & steelmaker*, 24(8), 61-69.
3. Bramfitt, B. L. (2005). Carbon and Alloy Steels. *Mechanical Engineers' Handbook: Materials and Mechanical Design*, 1, 1-38.
4. Akhurst, K. N., & Baker, T. J. (1981). The threshold stress intensity for hydrogen-induced crack growth. *Metallurgical Transactions A*, 12, 1059-1070. <https://doi.org/10.1007/BF02643487>
5. Archakov, Y. I., & Grebeshkova, I. D. (1986). Nature of hydrogen embrittlement of steel. *Metal Science and Heat Treatment (Engl. Transl.)*; (United States), 27.
6. Bugaev, V. N., Gavriljuk, V. G., Petrov, Y. N., & Tarasenko, A. V. (1997). Mechanism of hydrogen-induced phase transformations in metals and alloys. *International journal of hydrogen energy*, 22(2-3), 213-218. [https://doi.org/10.1016/S0360-3199\(96\)00154-1](https://doi.org/10.1016/S0360-3199(96)00154-1)
7. Barrera, O., Tarleton, E., Tang, H. W., & Cocks, A. C. F. (2016). Modelling the coupling between hydrogen diffusion and the mechanical behaviour of metals. *Computational Materials Science*, 122, 219-228. <https://doi.org/10.1016/j.commatsci.2016.05.030>
8. Ravichandar, D., Balusamy, T., & Nagashanmugam, K. B. (2014). Reducing UT rejections in Cr-Mo and High Mn steels by controlling hydrogen and optimising superheat. *Applied Mechanics and Materials*, 591, 38-42. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.591.38>
9. Gaude-Fugarolas, D. (2010). Hydrogen reduction during steel casting by thermally induced up-hill diffusion. *Proceedings of METAL2010, Roznov pod Radhostem, Czech Republic*. Tanger Ltd.
10. Campbell, J. (2015). *Complete casting handbook: metal casting processes, metallurgy, techniques and design*. Butterworth-Heinemann.
11. Zor, M. M., Yoloğlu, A., Kesim, S., & Tülüçe, F. (2022). Pressurized gating system design and optimization in steel castings. *Engineering Applications*, 1(1), 1-10.
12. Jolly, M. (2005). Prof. John Campbell's ten rules for making reliable castings. *Jom*, 57, 19-28.
13. Campbell, J. (2012). Stop pouring, start casting. *International Journal of Metalcasting*, 6, 7-18. <https://doi.org/10.1007/BF03355529>
14. Melendez, A. J., Carlson, K. D., & Beckermann, C. (2010). Modelling of reoxidation inclusion formation in steel sand casting. *International Journal of Cast Metals Research*, 23(5), 278-288. <https://doi.org/10.1179/136404610X12693537269976>
15. Renukananda, K. H., & Ravi, B. (2016). Multi-gate systems in casting process: comparative study of liquid metal and water flow. *Materials and Manufacturing Processes*, 31(8), 1091-1101. <https://doi.org/10.1080/10426914.2015.1037911>
16. Brown, J. (2000). *Foseco ferrous foundryman's handbook*. Butterworth-Heinemann. 11th ed., Butterworth-Heinemann, Oxford.
17. Zor, M. M., Kesim, S., Tülüçe, F., & Yoloğlu, A. (2023). Reducing casting defects in ductile iron castings by optimized pouring system. *Engineering Applications*, 2(1), 26-31.
18. Modaresi, A., Safikhani, A., Noohi, A. M. S., Hamidnezhad, N., & Maki, S. M. (2017). Gating system design and simulation of gray iron casting to eliminate oxide layers caused by turbulence. *International Journal of Metalcasting*, 11(2), 328-339. <https://doi.org/10.1007/s40962-016-0061-3>
19. Hsu, F. Y., Jolly, M. R., & Campbell, J. (2009). A multiple-gate runner system for gravity casting. *Journal of Materials Processing Technology*, 209(17), 5736-5750. <https://doi.org/10.1016/j.jmat-protec.2009.06.003>
20. Jezierski, J. D. R. & Jenerka, K. (2017). Optimizing Gating System for Steel Castings. In *5th International Conference on Modern Manufacturing Technologies in Industrial Engineering*, 14-17.
21. Zor, M. M., Tülüçe, F., Kesim, S., & Yoloğlu, A. (2023). The effect of metal turbulence on hydrogen induced crack defects in steel castings. *Advanced Engineering Days (AED)*, 7, 92-95.

Çapak Kaynaklı Duruşların Otomasyon İle Önlenmesi

Bilgi BİLGİN
Kutes Metal Sanayi ve Ticaret A.Ş

ÖZET

Bu çalışmada yatay dereceli kalıplama hattında çapak kaynaklı duruşların, iş sağlığı ve güvenliği kapsamında manuel işlem görmeden hat üzerindeki sensörler ve kontrol mekanizmaları ile otomasyona başvurulması amaçlanmıştır. Çalışma 1992 yılında kurulan Georg Fischer (+GF+) hattında yapılmıştır. Hat üzerinde çapak kaynaklı duruş yaşanan kritik bölgeler tespit edilerek bu bölgelerde kurulan sistemler ile duruşa sebebiyet verebilecek anormallikler tespit edilmiş ve uzun süreli duruşlar yaşanmasının önüne geçilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yatay Dereceli Kalıplama Hattı, Otomasyon, Üretim Verimlilik.

ABSTRACT

In this study, it is aimed to improve stoppages caused by burrs in the horizontal flask sand molding line by utilizing sensors and control mechanisms on the line, without manual intervention, within the scope of occupational health and safety. The study was conducted on the Georg Fischer (+GF+) line, established in 1992. Critical areas where burr-induced stoppages occurred were identified on the line, and systems were installed in these areas to detect abnormalities that could cause stoppages, thereby preventing long-term stoppages.

Keywords: Horizontal Flask Sand Molding Line, Automation, Production Efficiency.

1.GİRİŞ

Döküm tarihini incelediğimizde, kum kalıplama yöntemlerinin tarih boyunca adım adım nasıl geliştiğini görmekteyiz.

Erken Dönemler

Antik Dönemler: Kum kalıplama, dökümcülüğün ilk ortaya çıktığı zamanlardan beri kullanılan bir yöntemdir. Antik Mısır ve Çin'de kum kalıplama tekniklerinin kullanıldığına dair kanıtlar bulunmuştur.



Resim 1 : Antik Mısır- Döküm Operasyonu Duvar Boyaması (UNESCO World Heritage List, 1979)

18. Yüzyıl: Sanayi Devrimi ile birlikte, kum kalıplama yöntemleri daha sistematik hale gelmeye başlamıştır. Bu dönemde, elle yapılan kalıplama işlemleri yaygındı. El ile kalıplama yöntemi ile üretim hızı ve işçilik bir hayli zordu.



Resim 2 : Bloklar halinde demir dökümü, 1890 (Herman Heijenbrock, 1890)

20. Yüzyıl

1920'ler ve 1930'lar: Otomasyonun ilk adımları atılmaya başlanmıştır. Bu dönemde mekanik olarak kumun sıkıştırıldığı kalıplama makineleri geliştirildi.

1950'ler: Hidrolik ve pnömatik sistemlerin entegrasyonu ile daha karmaşık ve verimli kalıplama makineleri ortaya çıkmıştır. Bu makineler, üretim hızını ve doğruluğunu artırdı.

1960'lar: Tam otomatik kum kalıplama hatlarının geliştirilmeye başlandığı dönemdir. Bu hatlar, insan müdahalesini minimuma indirerek, üretim sürecini hızlandırdı ve kalite kontrolünü iyileştirdi.

Modern Dönem

1980'ler ve 1990'lar: Bilgisayar kontrollü otomasyon sistemlerinin kullanımı yaygınlaştı. Bu teknolojiler, kalıplama sürecinin daha hassas ve tekrarlanabilir olmasını sağladı.



Resim 3 : Modern Otomatik Kalıplama Hattı

21. Yüzyıl: İleri sensör teknolojileri, veri analitiği ve IoT entegrasyonu ile kum kalıplama hatları daha akıllı ve verimli hale geldi. Bu sistemler, üretim sürecini gerçek zamanlı izleyip optimize edebilmektedir.

2. YATAY DERECELİ KALIPLAMA HATLARI

2.1 Yatay Dereceli Kalıplama Hatları

Yatay Dereceli Kalıplama hatları özellikle görece düşük adetlerde ve/veya büyük hacim ağırlığa sahip parçaların üretimi için tercih edilen sistemlerdir.

Bu sistemlerde her bir kalıp ayrı ayrı dereceler içerisinde alt ve üst derecelerden oluşan iki ayrı parçadan oluşur.

- Derecelerin ölçüleri sabittir ve kalıp kalınlığı üretilecek parçaya göre değiştirilemez.

Kalıplama hattında derece ölçüleri 800x600x250 şeklindedir.

- Dereceler kalıplama işleminin başlangıcından döküm sonrasında parçanın kalıptan çıkarılmasına kadar kalıbın çevresinde kalarak hem kum kalıbı tutar hem de proses boyunca sorunsuzca taşınmasını sağlar. Alt ve üst derecelerden oluşan bu kalıplar proses süresince kalıplama hattı üzerinde palet arabaları üzerinde taşınırlar.

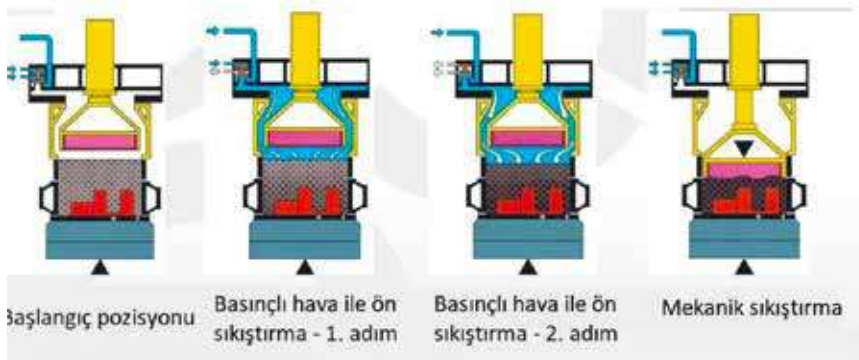
- Dereceler hassas şekilde birbirlerine eşleşmelerini sağlayan pim ve kılavuz deliklerine sahiptir.
- Kalıplar, modellerin üzerine yerleştirilen derecelerin içerisine doldurulan kalıp kumunun basınçlı hava yöntemi ile sıkıştırılmasından sonra modelin kalıptan sıyrılması ile yapılır.

Alt ve üst dereceler ayrı ayrı kalıplanır.

- Kalıpların dış kısmında kalan fazla kumların sıyrılması, havşa ve gaz tahliye deliklerinin açılması, eğer gerekli ise kalıp içerisine dökülmüş kumların temizlenmesi, maça, filtre, soğutucu vb. malzemelerin kalıp içerisine yerleştirilmesi işlemlerinden sonra kalıplar kapatılır.

Bir dereceli kalıplama hattının temel bileşenleri genel olarak aşağıdaki gibidir;

2.1.1 Kalıplama makinası (presler)



Resim 4 : Basınçlı Hava Pres Sistemi Çalışma Prensibi

Preslerde yaş kumun sıkıştırılması işlemi hava basıncı ile yapılır. Alt ve üst pres olmak üzere 2 adet pres mevcuttur. Derece pim ve burçların yardımı ile model ile kusursuz bir şekilde eşleştikten sonra fazla kum derece üzerinden sıyrılır ve hava basıncı yardımı ile modelin negatifi kum üzerine çıkarılır.

2.1.2 Kalıp konveyörü



Resim 5 : Kalıpların Üzerinde İlerlemesini Sağlayan Rulman ve Raylardan Oluşan Kalıp Konveyörü

Presleme işleminden geçen alt ve üst dereceler rulmanlar yardımı ile hat üzerinde hareket ettirilir.

2.1.3 Kalıp çevirici



Resim 6 : Kalıpların Oluşturulması İçin Derecelerın Çevrilmesini Sağlayan Kalıp Çeviriciler

Presleme işlemi tamamlanan dereceler önce çiftli çeviricide döndürülerek işlem yapılmaya hazır hale getirilir. Havşa açma, besleyici ve maça koyma, filtre yerleştirme, support ve soğutucu koyma, hava tutma vb. işlemlerine tabi tutulan dereceler kalıp konveyörü yardımı ile tekli çevirici sistemine taşınır. Tekli çeviricide üst derece çevirme işlemine tabi tutularak ters çevrilir. Alt derece, çevrilmeden mevcut hali ile transfer arabası yardımıyla kalıp kapatma sistemine taşınır.

2.1.4 Havşa açma istasyonları

Havşa; metalin kapalı kalıp içerisine doldurulmasını sağlayan silindirik şekilli boşluktur. Daha öncesinde sisteme kaydedilen koordinatlar sayesinde havşa boşluğu, havşa açma sistemi tarafından otomatik olarak açılır.

2.1.5 Maça / filtre / soğutucu vb. yerleştirme istasyonu

Maça; döküm içerisinde boşluk ya da delik çıkması istenen bölgelerde kullanılan silis kumu içerikli malzemelerdir. Kalıplama hattında personel yardımı ile kalıpların içerisine yerleştirilir.

Besleyici; içerisindeki metali sıcak tutarak parçanın istenilen bölgelerine metal beslenmesini sağlayan ekzotermik malzemelerdir. Kalıp içerisinde besleyici yuvalarına özel aparatlar yardımıyla çakılarak yerleştirilir.

Filtre; metal içerisindeki istenmeyen empürileri süzmeye yarayan seramik bazlı malzemelerdir. Gözenekli bir yapıya sahiptirler ve cürufu içlerine hapsederek parçaya ilerlemesini engellemeye yararlar.

Soğutucu; döküm ile aynı malzemedeki üretilmiş silindirik malzemelerdir. Hızlı soğuma istenilen bölgede kalıp içerisine yerleştirilerek kullanılırlar.

Support; maça ile kalıp yüzeyine yerleştirilir ve maçanın sabitlenerek oynamasını engeller. Maça, filtre, besleyici, soğutucu ve support koyma işlemleri tamamlandıktan sonra kalıplara son olarak hava tutuma istasyonunda hava tutulur ve kalıp içerisinde kalan kumlar kalıp dışına çıkarılır.

2.1.6 Kalıp kapatma istasyonu



Resim 7 : Kalıp Kapatma İstasyonu

Tüm işlemleri tamamlanan alt ve üst derece kapatılarak kalıp oluşturulması için kalıp kapatma istasyonuna ilerler. Burada tekli çevirici ters döndürülen üst derece alt derece üzerine tekli taşıyıcı sistemi ile taşınır. Üst derece pimlere ve alt derece burçlara sahiptir.

Pim ve burçlar sorunsuz bir kapanma için birbirlerine kılavuz oluştururlar. Bu kılavuzlar sayesinde alt ve üst derece simetrik olarak birbirlerinin üzerine kapanırlar.

2.1.7 Kanca sıkma istasyonu

Birbirinin üzerine kapanan dereceler döküm esnasında oluşacak gazların basıncı ile birbirinden ayrılmamaları için dereceleri birbirine kenetlemeye yarayan kancalar ile sabitlenir. Kancalar otomatik pistonlar yardımı ile sıkıştırılır.

2.1.8 Döküm istasyonu (Tandış)

Ergimiş metal kalıp içerisine otomatik döküm sistemi ile döküm istasyonunda doldurulur.

2.1.9 Soğuma hattı / hatları

Dökülen kalıplar, soğutma hatlarında ilerleyerek ortalama 60 dakikalık bir süre sonrasında kalıp bozma istasyonuna girerler. GF hattında 4 sıra halinde toplam 88 kalıplık soğutma hattı mevcuttur.

2.1.10 Kalıp bozma istasyonu



Resim 8 : Kalıp Bozma İstasyonu

Soğutma hattında ilerleyen kalıplar, derece ve kum paketinin ayrılması için kalıp bozma istasyonuna girerler. Burada bir piston yardımı ile kum paketi derecelerin içerisinden ittilererek kalıplardan ayrılırlar. Kalıptan ayrılan parçalar kum paketi ile sarsak bölümüne ilerler ve sarsakta parçalar vibrasyon yardımı ile kum paketinden ayrılırlar.

2.1.11 Derece ayırma istasyonu



Resim 9 : Derece Ayırma İstasyonu

Kalıp bozma istasyonunda kum paketinden ayrılan boş kalıplar, derece ayırma istasyonunda kancaca açma sistemi ile kancaları açıldıktan sonra alt ve üst derece çiftli kartal yardımı ile birbirlerinden ayrılırlar. Ayrılan dereceler tek hat halinde derece taşıma konveyörleri ile preslere taşınır.

2.1.12 Derece arabası temizleme istasyonu



Resim 10 : Transfer Arabalarının (Palet Arabaları) Temizleme İstasyonu

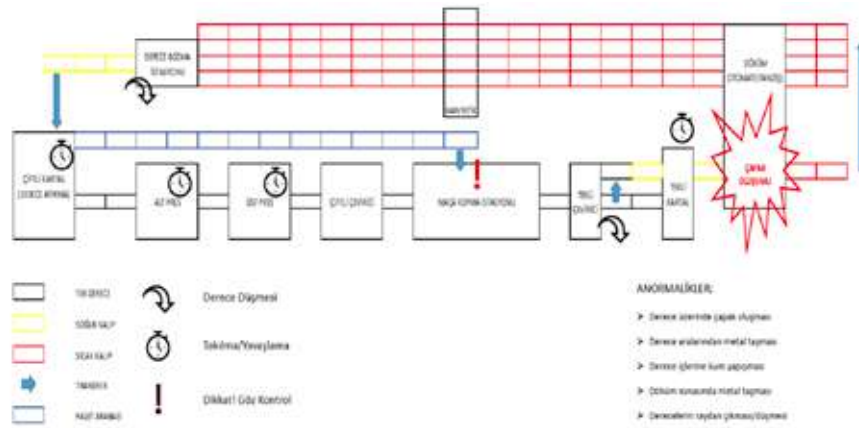
Derece taşıma arabaları (palet arabaları), üzerlerindeki dereceler çiftli kartal yardımı ile alındıktan sonra boşa çıkarlar. Tekrar üzerlerine derece yerleştirilmeden önce temizleme istasyonundan geçerler. Burada arabaların üzeri fırçalar yardımı ile kumdan ve kalıntı metallere (çapak) temizlenir.

3. ANORMALLİKLERİN TESPİTİ

Döküm esnasında sahada yapılan incelemelerde, oluşan çapakların (ürün dışı fazla metaller) hat üzerinde hangi bölgelerde yoğunlaştığı ve bu bölgelerde çapak kaynaklı oluşan problemlerin neler olduğu tespit edilmiştir.

Döküm esnasında çapağın oluşmasına neden olan sebepler;

- Derece üzerinde çapak oluşması
- Derece aralarından metal taşması
- Derece içlerine kum yapışması
- Döküm esnasında metal taşması şeklinde sıralanabilir.



Şema 1 : Hat Üzerinde Oluşan Çapak Kaynaklı Anormallikler

Yukarıdaki sebeplerden dolayı oluşan çapakların hat içerisinde sebep olduğu anormallikler şema 1 de gösterilmiştir. Çapaklar bu noktalarda kontrol sistemi olmadığından veya yetersiz olduğundan dolayı;

- Transfer arabalarının raylardan çıkması
- Kalıpların transfer arabalarından düşmesi
- Kritik noktalarda sıkışma

Gibi uzun süreli plansız duruşlara sebep vermekteydi. Çapak kaynaklı hat içerisinde oluşan bu plansız duruşların tamamen ortadan kaldırılabilmesi veya minimum seviyeye indirilmesi için sensörlerden ve kontrol sistemlerinden yararlanarak çeşitli çalışmalar yapıldı.

4. UYGULAMALAR

4.1 Kalıp Bozma Transfer Arabası ile Kalıp Ayırma Kilit Sistemini Geliştirilmesi

Kalıp bozma istasyonunda, kalıp transfer arabasından ayrılarak kalıp bozma için istasyona giriş yapar. Bu esnada kalıp ile transfer arabası arasına çapak sıkışmış ise kalıbın kaldırılması esnasında transfer arabası kalıp ile yukarıya kalktığından raydan çıkabiliyordu. Eski sistemde transfer arabasının raydan çıkmasının önüne mekanik kilitten yararlanarak geçilmeye çalışılıyordu. Ancak mekanik kilit yetersiz kaldığından problemin önüne geçilemiyordu.



Resim 11 : Eski Kilit Sistemi ve Yeni Sensör Sistemi

Problemin önüne geçebilmek için mekanik kilit yerine 2 adet mesafe sensörü konuldu. Bu sensörlerle transfer arabasının hareket alanı kontrol altına alındı. Eğer transfer arabası kalıp beraber kalkma eğilimine girerse sensörler devreye girerek hattı beklemeye alıyor. Bu sayede ufak bir müdahale ile büyük duruşların önüne geçildi.

4.2 Kalıp Bozma İstasyonu Derece İçİ Kum Sıyırıcı Geliştirilmesi

Kalıp bozma esnasında derecelerin içerisindeki kum tamamen sıyırılmalıdır. Derece iç kısımlarındaki kum tamamen sıyrılmaz ise zamanla sertleşerek özellikle derece köşelerinde yer edinmekteydi. Derece içerisinde kum yapışan bölgeler kalıplama esnasında kalıp verimini düşürerek kalıbın bu kısımlarının bozuk çıkmasına neden oluyordu. Kalıp köşe ve kenarlarının bozuk çıkması hem döküm esnasında derece metal kaçımalarına hem de kalıp maliyetinin artmasına sebep veriyordu.



Resim 12 : Kenarına Kum Yapışmış Derece ve Hatalı Kalıp Örnekleri

Eski sistemde derece içleri sıyırıcı plaka üzerine yerleştirilmiş lastik yardımı ile yapılıyordu. Kumun aşındırıcı özelliğinden dolayı lastik ömrü kısa ve yetersiz oluyordu.



Resim 13 : Kazıyıcı Bıçaklar ve Temiz Derece Örneği

Bu problemin önüne geçebilmek için derece köşelerindeki kumun tamamen temizlenebilmesi için plaka altına 4 adet sıyırıcı bıçak yerleştirildi. Bu sayede derece köşelerindeki kum tamamen temizlenmiş oldu.

4.3 Derece Kaymalarını Tespit Edecek Sistem Kurulması

Hat boyunca dereceler ve kalıplar transfer arabaları yardımı ile taşınmaktadır. Derecelelerin hat boyunca düzgün ilerleyebilmesi için transfer arabası ile dereceler tam eşleşmelidir. Ancak transfer arabası ile derecelerle birleşme bölgelerinde çapak kaynaklı kaymalar yaşanabiliyordu. Bu durumda hat ilerlemeye devam ediyor ancak çeviricilere gelindiğinde ciddi problemler yaşanıyor.

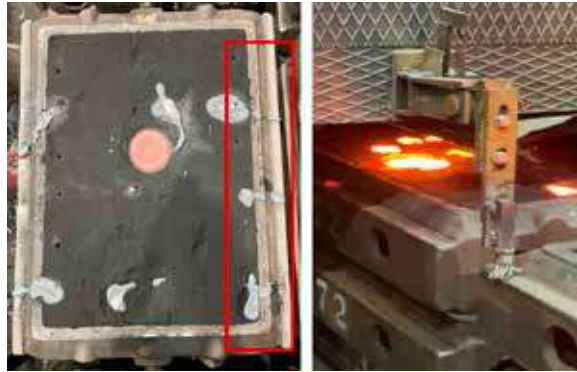


Resim 14 : Kayan Dereceler, Tespit Eden Sensör ve Sesli Işıklı İkaz Lambası

Bu problemin önüne geçebilmek için transfer arabası birleşim noktalarına mesafe sensörü ve uyarıcı ikaz sistemi kuruldu. Eğer derece transfer arabasına tam oturmaz ise sensör hattı beklemeye alarak ikaz sireni çalmaya başlıyor. Bu sayede problemin nerede olduğu hızlı bir şekilde tespit edilerek kısa bir müdahale ile büyük problemlerin önüne geçilmiş oldu.

4.4 Çapak Sıyırıcı Fırçalar

Kalıplara döküm esnasında farklı sebeplerden oluşan fazla metal kalıp üzerinden derece kenarlarına kadar akarak bu noktalarda donmakta ve çapak oluşumuna neden oluyordu. Bu çapakların derece kenarlarından temizlenmemesi durumunda çapaklar farklı istasyonlarda farklı problemlere neden oluyordu. Öncesinde insan gücü yardımı ile temizlik yapılıyordu. Ancak bu işlem iş sağlığı ve güvenliği açısından uygun değildi. Bu nedenle çapakların insan gücüne başvurmadan temizlenebilmesi için metal daha tam olarak donup derece kenarlarına yapışmadan ortadan kaldırılmıyordu. Buna istinaden metalin daha tam olarak katılaşmadığı döküm otomatı çıkışına temizleme fırçaları monte edildi.



Resim 15 : Derece Üzeri Çapak ve Sıyırıcı Fırça

5.SONUÇ

Yapılan çalışmalar sonrası, çapak kaynaklı oluşan derece düşmesi ve çapak sıkışması duruşları incelendiğinde;



Grafik 1 : Aylık Kalıplama Duruş Takip Grafiği

- Derece düşmesi duruş oranının %1 seviyelerinden sıfıra kadar düştüğü,
- Çapak sıkışması duruş oranının %2,3 seviyesinden %0,5 seviyelerine kadar düştüğü gözlemlenmiştir.
- Kalıplama toplam duruş oranı incelendiğinde ise bu oranın %5,5 seviyelerinden %2,8 seviyesine kadar düştüğü görölmektedir.
- Yapılan çalışmalar sonucunda bu iki duruşun oranında %85'lik bir iyileşme, kalıplama hattının toplam duruş oranında da %50'lik bir iyileşme görölmektedir.
- Bu iyileşme oranları ile hat bazında ortalama 1600 kalıp/yıl iyileştirme elde edilmiştir.

6. KAYNAKLAR

- 1) J. Doe, "The Evolution of Sand Casting Techniques," Journal of Casting Technology, Vol.15, 2023, pp. 34-45.
- 2) A.B. Smith, "Advancements in Modern Sand Casting," Proceedings of the 2022 International Foundry Congress, Berlin, September 2022, Foundry Institute, 2022, pp. 101-110.

Advancemets in Refractory Coatings for Automotive Casting Processes

Halil GÖNENBABA¹, David HEIN², Ekaterina POTATURINA².

Metko Hüttenes-Albertus Kimya Sanayi ve Ticaret A.Ş., Turkey

²Hüttenes-Albertus Chemische Werke GmbH Düsseldorf, Germany

ABSTRACT

The automotive industry's drive to improve fuel efficiency and environmental standards has led to the development of more complex engine block designs, characterized by thinner wall castings with lower weights. However, this development also brings challenges such as increased susceptibility to defects, including gas-related issues, veining, metal penetration and also residual dirt, which compromise the integrity of cast components and drive up the cost of finishing. Refractory coatings have proven to be a key solution as they provide the critical interface between the mold and the molten metal to produce clean and defect-free casting surfaces. The advancement of refractory coating technologies for core package is therefore central to the supplier industry's efforts to meet strict production standards while minimizing post-casting finishing requirements.

This paper highlights the latest innovations in refractory coatings for series casting applications in the automotive sector and the challenges they face. The focus is on the specific combination of raw materials that improve coating properties such as gas permeability, resistance to metal penetration and veining suppression, ensuring the production of high-quality castings. Residual dirt can be reduced through innovative combination of coating raw materials. The study emphasizes the importance of gas permeability and insulating properties in preventing gas-induced defects. On the other hand, the rheological properties of the coatings play an important role. Uniform coating thicknesses are essential to produce thin-walled castings. This requires a uniform rheology behavior and also – even more importantly – consistent application parameters produce consistent casting results. To ensure this, automatic preparation systems, such as the CCU are an advantage.

Through a concise analysis, this study mentions the critical role of advanced refractory coatings in the advancement of automotive casting technology. It demonstrates how these coatings not only overcome current manufacturing challenges, but also align with the industry's broader goals of fuel efficiency and sustainability. By documenting the technical merits and practical applications of these coatings, the paper serves as a catalyst for continued innovation in refractory coating development. This research also sets the stage for future advancements that will continue to meet the changing demands of the foundry production.

KEY WORDS: Refractory Coatings, Serial Casting, Automotive Casting, Automated Coating Application, Engine Block, Compact Coating Unit (CCU)



Figure 1 : Coated core package, Image from HA Group

1. INTRODUCTION

The modern automotive industry is increasingly focusing on engine downsizing to achieve several critical goals: reducing fuel consumption and CO₂ emissions, decreasing vehicle weight while maintaining power, and utilizing smaller engines with fewer cylinders or less displacement. These goals are achieved through strategies such as high-pressure direct injection, turbo- or supercharging of small engines to increase torque and integrating small combustion engines with electric drives in hybrid vehicles.

In recent years, individual components have been increasingly integrated into the core package, resulting in greater complexity. Consequently, engine blocks can now be manufactured with thinner wall thicknesses, requiring higher sand binder consumption and tighter coating layer tolerances. The casting process has also become more critical, emphasizing the need to maintain consistent metallurgical properties and an increased necessity for feeders. Additionally, cost efficiency is being enhanced through greater automation.

As core packages become more complex, coatings face new challenges. They must have excellent flow properties, leave no drips or runners, provide sufficient processing time, and maintain thinner layers to avoid dimensional problems while ensuring defect-free castings.

2. EXPERIMENTS AND INDUSTRIAL EXPERIENCES

The HA Group supports foundries worldwide in developing optimal solutions to these challenges. Modern coatings must be highly effective, not only protecting against casting defects but also minimizing coating adhesion to the casting after shot blasting. As standards in the automotive industry become more stringent, engine blocks require thinner walls to reduce weight, leading to more complex core packages and narrower casting cavities, making the subsequent cleaning process more challenging.

Typical coating requirements in engine block manufacturing include reducing gas defects, minimizing scabbing, avoiding penetration and veining, reducing residual contamination, using environmentally friendly raw materials, and ensuring favorable drying of the coating layer. These factors must be considered when developing the coating. One primary focus is minimizing residues on the cast parts, with the typical contamination limit depending on components and specific requirements of engine blocks being less than 500-1000 mg.

Residual dirt measurement is based on standards such as VDA 19.1 / ISO 16232 (technical cleanliness in the automotive industry). The results depend on the position of the casting and the method used. One of the methods used in the foundries is as follows: the tested areas are mechanically affected, after which the residual dirt is shaken out and collected. Metal particles are separated, and the rest is weighed. The method of washing out residual dirt after mechanical scraping is also used.

To avoid residues, coatings must peel off more easily and adhere less to the casting surface. Modern coatings are developed with controlled sintering and high-temperature behavior and have thermo-flexible properties that allow easy release from the casting surface and low reactivity to the melt. These properties help avoid residual contamination in narrow and angled channels of engine blocks and meet the stringent requirements of foundries.



Figure 2 : Aluminum silicates mix, graphite coating with good thermal stability and additional “sintering phases” Arkopal®

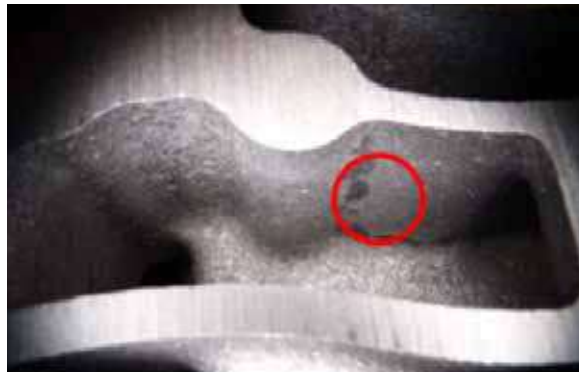


Figure 3 : Aluminum silicates mix, graphite coating with good thermal stability Arkopal®

COATING TECHNOLOGY ADVANCEMENTS

Modern coatings are increasingly tailored to customers' requirements and processes, whether applied manually or automatically. Rheology is crucial and requires homogeneous preparation and adaptation to the target parameters. Maintaining constant parameters ensures consistent casting quality and reduces rework.

Automatic preparation systems, such as the Coating Compact Unit (CCU) developed by HA and Neuhof, offer many advantages. These include density control without contact with the coating, reducing the need for sensor cleaning and providing more accurate measurement results. The gravity-based material transport avoids the use of pumps and their wear. Additionally, the system provides continuous material availability with defined density/viscosity, avoiding the inhomogenization of the coating and incorrect setting parameters that occur with manual handling. This device ensures consistent layer thicknesses, increases production efficiency, reduces casting defects, and lowers rework costs in the fettling shop.



Figure 4 : CCU Equipment

3. CONCLUSION

The production of thin-walled, complex castings require special coatings for core packages with uniform application parameters. Low coating tolerances are essential for dimensional accuracy, and coatings must protect thinner core sections. Modern coatings with controlled sintering and high-temperature behavior effectively reduce residual contamination and other typical casting defects, overcoming critical challenges in the production of new engines.

The HA Group is committed to further developing these solutions, driving innovation in modern engine production.

4. REFERENCES

VDA QMC publication on VDA 19.1 and the ISO 16232 standard

D. Radebach, Downsizing mit Gusseisenwerkstoffen - Trends und Entwicklungen, Gießerei 96 11/2009 20

2022_08_CCU_Coating_preparation_-_Flyer_-_HA_Group__Neuhof_RGB_e.pdf (ha-group.com)

Alüminyum Alaşımı Jantlarda Dinamik Radyal Yorulma Testinin Simülasyon ile Doğrulanması

Orhan Ata BAYMAN*

*Döktaş Dökümcülük Ticaret ve Sanayi A.Ş, Manisa, Türkiye.

ÖZET

Bu çalışmada, alçak basınçlı döküm prosesiyle üretilen alüminyum alaşımlı jantların ürün onay sürecinin bir parçası olan dinamik radyal testinin, simülasyonu yapılmış ve fiziksel test sonuçları ile kıyaslanmıştır.

Test edilen jantlar hem AlSi7Mg hem de AlSi11Mg alaşımlarını içermektedir. Tüm numunelere ısıtma işlemi uygulanmıştır. Testten geçemeyen bölgelerin olası porozite bölgeleriyle çakışıp çakışmadığını görmek için MAGMA döküm simülasyonları yapılmıştır. Böylece bu bölgelerin dökümden dolayı mekanik zayıflık içerip içermediği değerlendirilmiştir. Simülasyonda bulunan kritik noktaların, deneylerden geçemeyen noktalarla eşleştiği görülmektedir. İlgili simülasyon sonucu elde edilmiş bu değerler, dinamik radyal deneyi konusunda ilerideki tasarım iyileştirmelerinde referans alınabilecektir.

Anahtar Kelimeler: Radyal Yorulma Deneyi, Tambur Dayanıklılık Testi, Alçak Basınçlı Döküm, AlSi7, AlSi11, Alüminyum Alaşım, Jant

ABSTRACT

In this study, the dynamic radial fatigue test was simulated, and the simulation outputs were compared with the test outputs of the wheels that did not pass this test.

The rims tested included both AlSi7Mg and AlSi11Mg alloys. All samples were heat treated. MAGMA simulations were performed to see whether the regions that failed the test overlapped with possible porosity regions. The critical regions found in the simulation match the regions that did not pass the experiments. The relevant simulation and these obtained values can be taken as reference in future design improvements regarding the dynamic radial test.

Keywords: Rim Rolling Test, Radial Fatigue Test, Drum Endurance Test, Low-pressure die casting, AlSi7, AlSi11, Aluminum Alloy, Wheel, Rim

1. GİRİŞ

Dinamik radyal test sırasında, harici dinamik radyal deneyinde dış çapı asgari 1,7 m olan veya dâhili dinamik radyal deneyinde iç çapı lastiğin dinamik yarıçapının 0,4 ile bölünmesiyle elde edilen bir tambur üzerinde yuvarlanan bir jantın deneye tabi tutulmasıyla, tam düz sürüş esnasında jantta oluşan gerilme benzeştirilir. [1] (Şekil 1)

Bütün taşıt tipleri için deney yükü aşağıdaki gibi hesaplanır [1];

$$F_P = S \times F_R \quad [1]$$

$$F_P = \text{Test yükü [N]}$$

$$F_R = \text{Jantın azami yük kapasitesi [N]}$$

$$S = \text{Güvenlik faktörü}$$

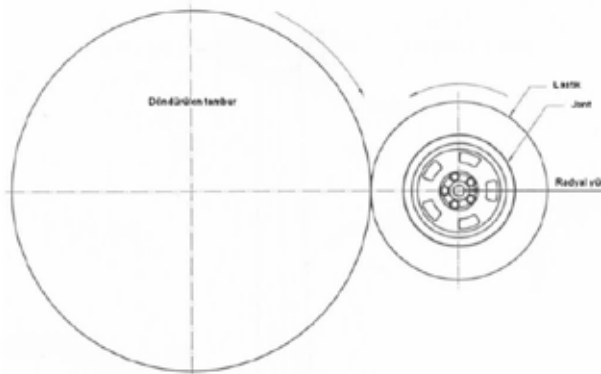
Testler Tablo 1’de belirtilen şartlarda yapılır:

Taşıt Sınıfı	Alüminyum / Magnezyum		Çelik (Disk)	
	M ₁ ve M ₁ G	O ₁ ve O ₂	M ₁ ve M ₁ G	O ₁ ve O ₂
Güvenlik faktörü - S	2,5	2,0	2,25	2,0
Lastikler	Jant için önerilen azami anma kesitine sahip olacak şekilde normal (seri) imalattan alınır.			
km/h biriminde deney hızı	Lastiğin izin verdiği ve hız endeksinde gösterilen azami hız (60 km/h -100 km/h)			
Eşdeğer yuvarlama mesafesi	2000 km		1000 km	
Deney başlangıcındaki lastik basıncı	Normal kullanım basıncı 160kPa'a kadar 160kPa'dan çok		Dinamik radyal deneyi basıncı 280kPa 450kPa	

Tablo 1 : Farklı Taşıt Sınıfları ve Malzemeler için Asgari Deney Şartları

Kabul kriterleri aşağıda belirtildiği gibidir;

1. Penetran ile yapılan kontrol sonrasında jant üzerinde teknik çatlak olmamalıdır.
2. Jant takma civata ve somunlarına uygulanan başlangıç sıkma momentinde max. %30 kayıp olmalıdır, fazlası olması durumunda test başarısız olarak nitelendirilir.
3. Hava sızdırma olmamalıdır.



Şekil 1 : Dinamik Radyal Deneyi Gösterimi

2. SİMÜLASYON METODU

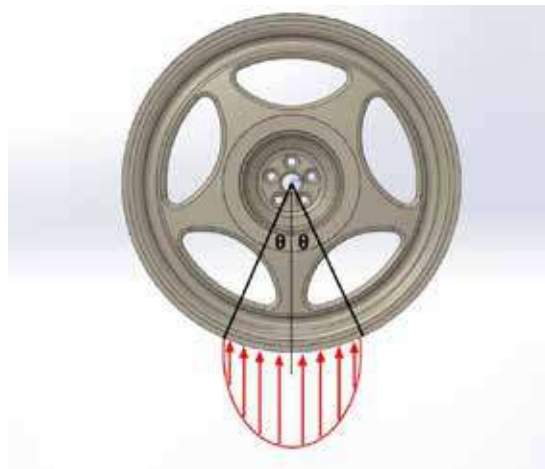
2.1. Dinamik Radyal Deneyi Sırasında Janta Etki Eden Kuvvetler:

Deney sırasında lastiğe aktarılan kuvvetler jant üzerinde iki ana kaynaktan dolayı etki eder: Lastik içindeki hava basıncı ve tamburun baskısından gelen kuvvet. Lastiğin içindeki hava, lastiğin ve jantın tüm iç yüzeylerine eşit bir basınç uygular; bu, şişirme basıncıdır, (P). Bu basınç lastik sırtının iç kısmına etki ettiğinde, lastik sırtı ve damağı tarafından tutulur, lastikte iç çember gerilimlerine neden olur, ancak jant üzerinde herhangi bir kuvvet oluşmaz. Ancak şişirme basıncı lastiğin yan duvarına etki ettiğinde damakların dışarı doğru yayılmasına neden olur. Bu yanal kuvvetler (Fs), jant flanşları tarafından tutulur.

Yan duvarın jant flanşı üzerindeki kuvvetinin hesaplanması, lastiğin yanal alanı üzerindeki kuvvetin aktarılmasını içerir. Bunun için lastik yan duvarının alanı hesaplanır. Bu alan $\pi(r_2^2 - r_1^2)$ ile bulunur. r1 değeri ETRTO [2] standartlarına göre jantın belirtilmiş yarıçapı olarak alınmıştır. r2 değeri ise yine ETRTO [2] standartlarına göre belirlenmiş lastiğin dış yarıçapından, yaklaşık olarak belirlenmiş olan lastik kalınlığı ölçüsü olan 15mm çıkarılarak elde edilmiştir. Lastik kalınlığı ölçüleri üreticiden üreticiye değişmektedir. Lastiğin her bir yan duvarına etki eden toplam kuvveti bulmak için bu alan P basıncıyla çarpılır. Jant flanşına etki eden kuvvet bunun yarısı kadardır çünkü yan duvarın alt kısmı jant tarafından sınırlanırken yan duvarın üst kısmı lastiğin sırt kısmı tarafından sınırlanır. Dolayısıyla bu yanal kuvvetler aşağıdaki denklemlerle verilir:

$$F_s = \frac{1}{2} P \pi (r_2^2 - r_1^2) \quad [2]$$

Janta etki eden diğer kuvvetler, yerden gelen tepki kuvvetlerinden kaynaklanır. Bunlar aracın ağırlığını taşıyan dikey kuvvetler, hızlanma ve frenleme kuvvetlerinden kaynaklanan tork ve virajlardan kaynaklanan aksel kuvvetler olarak sınıflandırılabilir. Dinamik radyal testinde hızlanma, frenleme veya virajlama bulunmadığı için jant üzerinde sadece tamburdan gelen dikey baskı kuvveti etki edecektir. Bu kuvvet, lastik oturma yüzeyi ve jant flanşı aracılığıyla aktarılır ancak jantın çevresi boyunca sabit değildir. Bunun yerine, bu kuvvet, lastiğin tambura temas alanı ile ilgili olan ve yüklenme açısı θ ile verilen jantın bir bölümü üzerinde etki eder. Kuvvet bu bölge üzerinde kosinüs fonksiyonuna göre dağıtılır. [3]



Şekil 2: Jant üzerinde Tambur Baskı Kuvvetinin dağılımı ve Yüklenme Açısı

Yükleme açısı, lastik ve jant kombinasyonuna, lastik basıncına ve tambura tepki kuvvetine bağlıdır. Pratikte bu açının analitik olarak belirlenmesi mümkün olmadığından ampirik bir yöntemin kullanılması gerekmektedir. [4] [5] Yapılan simülasyonlarda kullanılan yaklaşım, tambur tarafından uygulanan kuvvetin lastik basıncına bölünmesiyle lastik temas yüzey alanının elde edilmesi üzerine kurulmuştur. [6] Jant için kullanılan lastik ve bu lastiğin ETRTO [2] standardına göre kesit genişliği de bilindiğinden dolayı bu değerlere göre aşağıdaki formül üzerinden jant üzerindeki tepki kuvvetinin yüklenme açısı θ hesaplanabilmektedir:

$$A_{contact} = \frac{F_P}{P} \quad [3]$$

$$L_{contact} = \frac{A_{contact}}{W_{section}} \quad [4]$$

$$\theta = \sin^{-1} \frac{L_{contact}/2}{R_{wheel}} \quad [5]$$

Jant geometrisinin periyodik yapısı nedeniyle, dinamik radyal yorulma deneyini simüle ederken, jantın testte 360° dönmesine rağmen tambur baskı kuvvetinin janta çepeçevre uygulanmasına gerek yoktur. Simülasyonda bu kuvvetin sadece jantın geometrisinin periyodik kısmı üzerinde uygulanması çözüm süresini önemli ölçüde kısaltacaktır. Örnek olarak, 5 kol ve 5 bijon deliğine sahip bir jantın simülasyonunda tambur kuvvetinin sadece jantın periyodik 1/5'i üzerinde uygulanması yeterlidir.

Özet olarak, dinamik radyal deneyinde janta etki eden üç kuvvet vardır:

Şişirme basıncı, P, lastikle temas halinde olmayan jantın iç yüzeylerine eşit şekilde etki eder.

Lastik yan duvar basınç kuvveti, FS, her iki jant flanşına da etki eder.

Tambur baskı kuvveti, FV, her iki lastik oturma yüzeyi üzerinde sinüzoidal olarak dağılmıştır. Deney yükü, her iki lastik oturma yüzeyine eşit şekilde dağıtılır:

$$F_V = \frac{F_P}{2} \quad [6]$$

2.2. Sonlu Elemanlar Analizi:

Dinamik radyal yorulma deneyinin simülasyonu ANSYS programının Static Structural modülü kullanılarak yapılmıştır.

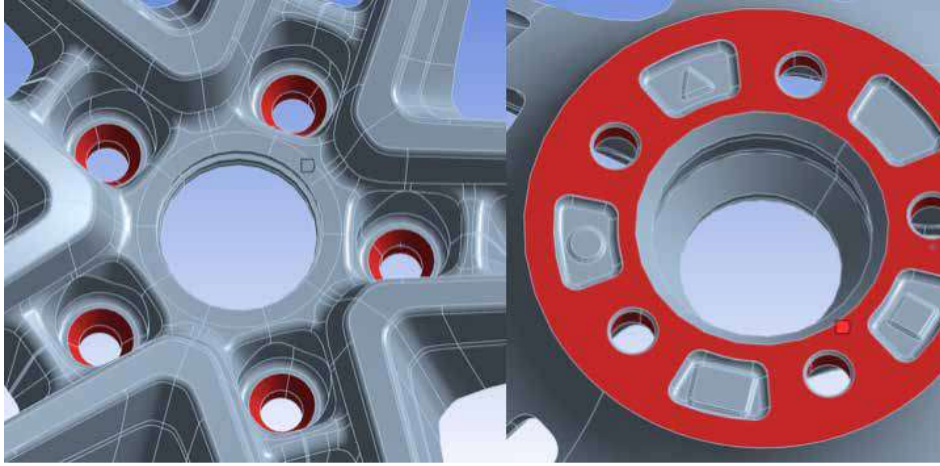
Simülasyonlarda tek başına jant geometrisi kullanılmış olup kuvvetler ve sınır koşulları jant üzerinde belirlenmiştir.

Mesh büyüklüğü olarak tüm jantlarda ofset yüzeyini de içeren ön kısma 8mm eleman boyutu verilip jantın geri kalanına ise 12mm eleman boyutu verilmiştir. Eleman düzeni ve tipi programa bırakılmıştır. 8mm eleman boyutu verilen kısım aşağıdaki mavi ile seçilmiş bölümdür:



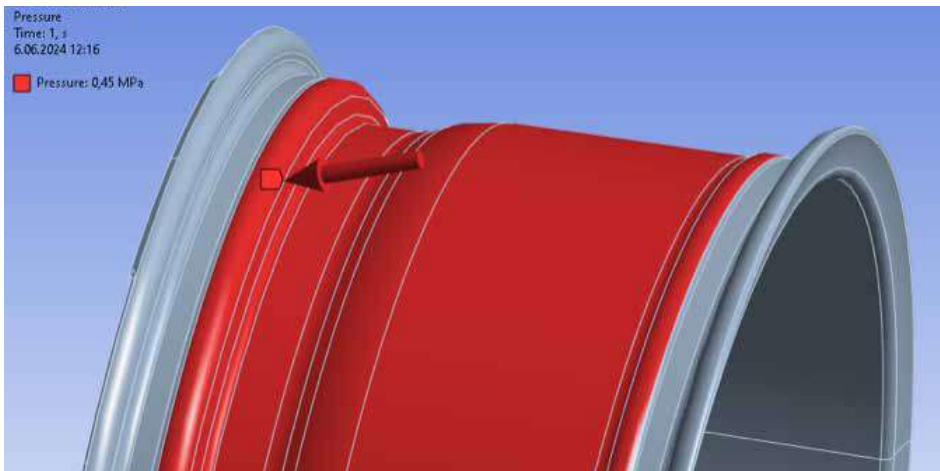
Şekil 3 : Mesh'te 8mm eleman boyutu verilen yüzeyler

Jant, deney düzeneğine, ofset yüzeyinden oturtularak bijonlar yardımıyla sabitlenmiştir. Dolayısıyla ofset yüzeyi ve de bijon oturma yüzeyleri sabit yüzeyler olarak kabul edilmiştir:



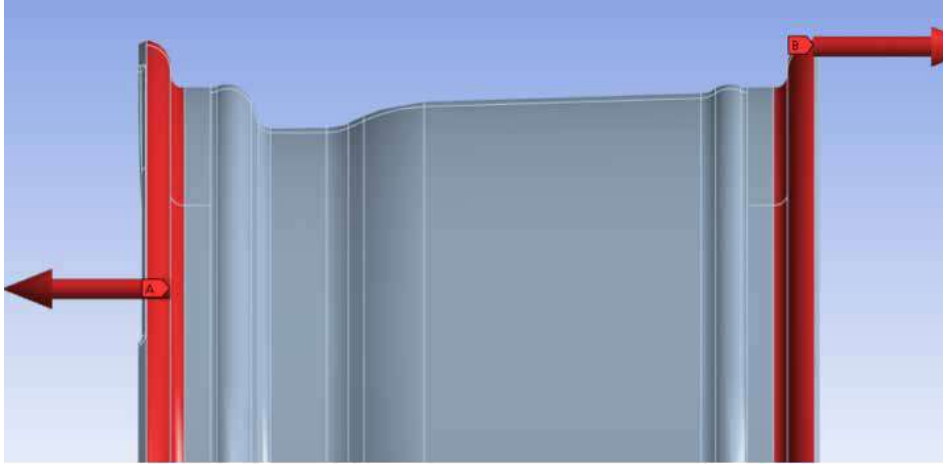
Şekil 4 : Simülasyonda sabit sınır koşulu verilmiş yüzeyler

Lastik basıncı (P), jantın lastik ile temas etmeyen iç yüzeylerine, dinamik radyal deneyi standartlarında binek otomobillerdeki kullanım koşullarına uygun olarak 450 kPa verilmiştir:



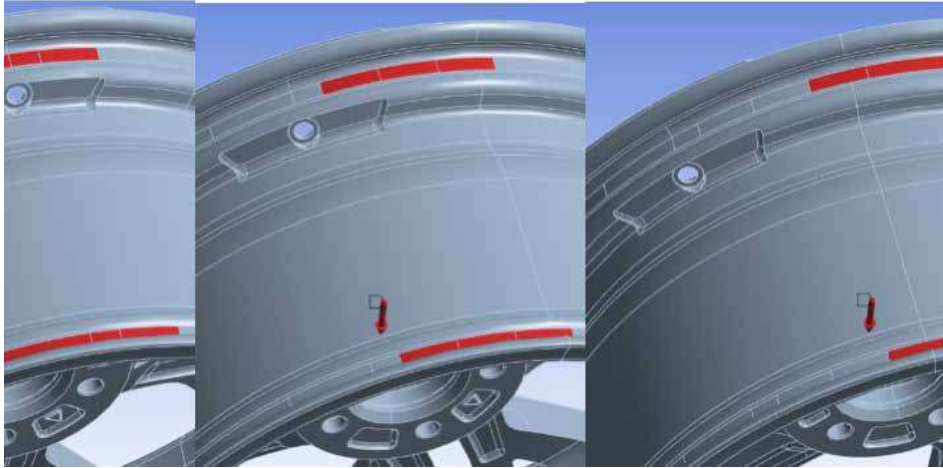
Şekil 5 : Lastik iç basıncının simülasyonda etki ettiği yüzeyler

Lastik yan duvar basınç kuvveti (F_s), iç ve dış flanş bölgelerine ayrı olarak verilmiştir:



Şekil 6 : Lastik yan duvar basınç kuvvetinin simülasyonda etki ettiği yüzeyler

Tambur baskısının lastik oturma yüzeylerinde yarattığı kuvvet (F_v), yukarıda belirtilmiş formüllerle bulunmuş yükleme açısı θ boyunca janta yüklenir. Kuvvetin kosinüs dağılımını sağlamak için ANSYS tarafından tanımlanmış 'Bearing Load' kuvveti kullanılır. Bu kuvvet, jantın periyodik olan parçası üzerinde 3 ayrı konumda konumlandırılıp çıkan stres sonuçları arasında maksimum olanlar değerlendirilir.



Şekil 7 : Tambur baskı kuvveti simülasyonda etki ettiği yüzeyler ve jant üzerinde konumlandırılmaları

Bu 3 ayrı tambur baskı kuvvet konumunda çözülmüş olan simülasyonların stres değerleri değerlendirilip maksimum stresler dikkate alınır.

3. DENEY VE SİMÜLASYON SONUÇLARI

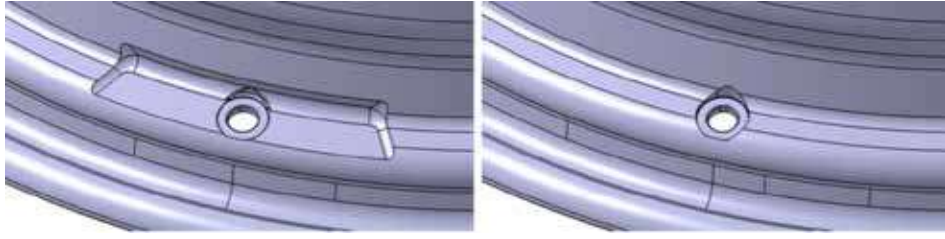
Dinamik radyal deney sonucu yapılan penetran testinde teknik çatlak ve sızdırma gözlemlenen 3 ayrı jantın geçen ve geçmeyen deney sonuçları yapılan simülasyon sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır: 3.1. 9,5x20”:

Malzeme: AISi11 Isıl İşlemlili

Tur Sayısı: 2000km / ϖ x774mm = 822.506 tur

3.1.1. Deney Sonucu:

Jantın dış kısmında (lastiğin içinde kalan kısmında), subap deliği çevresi boşaltma bölgesinde çatlak gözlemlenmiştir. Bu boşaltma figürünün kaldırdığı jant ile yapılan deneyde çatlak gözlemlenmemiştir.

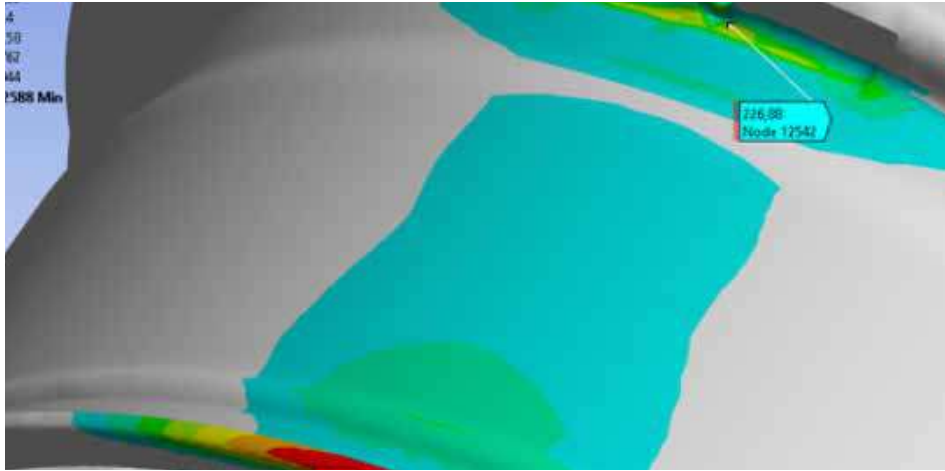


Şekil 8 : 9,5x20" jantı dinamik radyal deneyi (DRD) geçmeyen (sol) ve geçen (sağ) subap deliği çevresi geometrisi

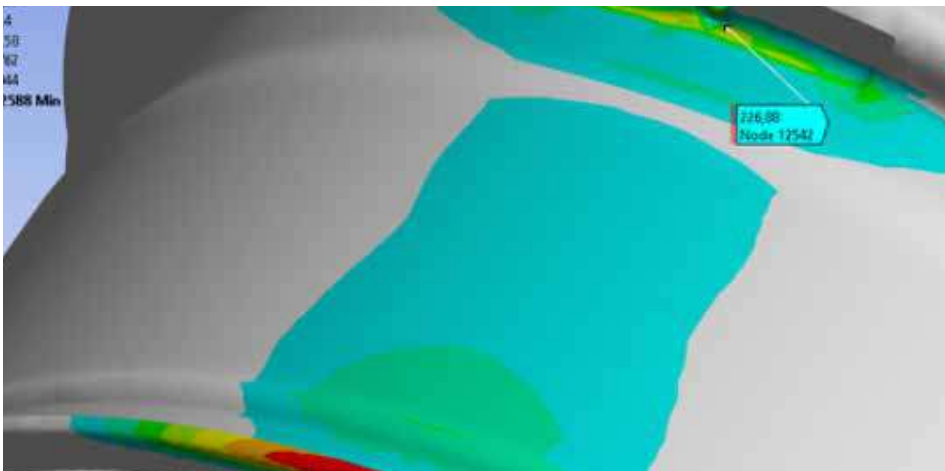


Şekil 9 : 9,5x20" jantı dinamik radyal deneyi sonucu meydana gelen çatlak

3.1.2. ANSYS Simülasyon Sonucu:

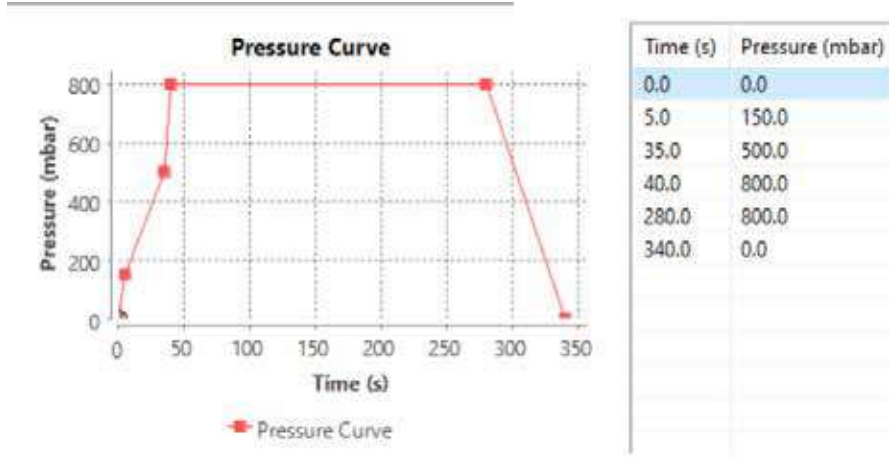


Şekil 10 : 9,5x20" DRD geçmeyen jantı simülasyonu sonucu çıkan maks. stres değerleri

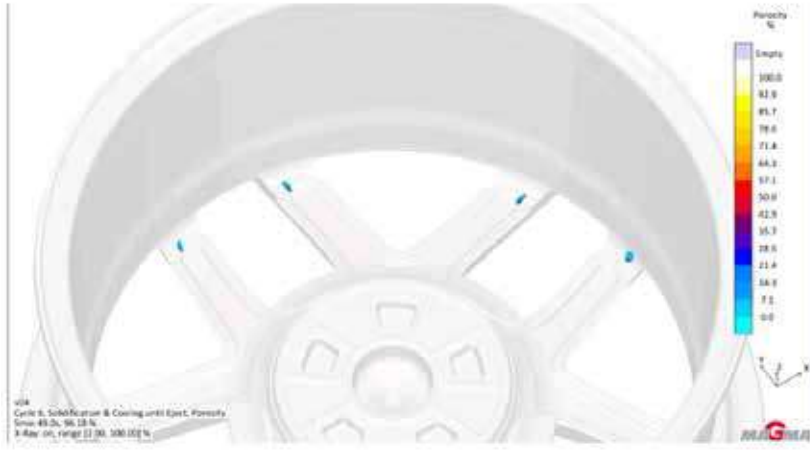


Şekil 11 : 9,5x20" DRD geçen jantı simülasyonu sonucu çıkan maks. stres değerleri

3.1.3. MAGMA Simülasyonu Porozite Sonucu:



Şekil 12 : 9,5x20" jantı zamana bağlı döküm basıncı grafiği



Şekil 13 : 9,5x20" jantı MAGMA simülasyonu sonucu porozite yoğunluğu öngörülen bölgeler

Jantın deneyde çatlak oluşturduğu bölümde herhangi bir olası porozite yoğunluğu görülmemektedir. Dolayısıyla çatlamanın porozite kaynaklı, yerel olarak mekanik özelliklerin zayıflamasından dolayı olması mümkün gözükmemektedir.

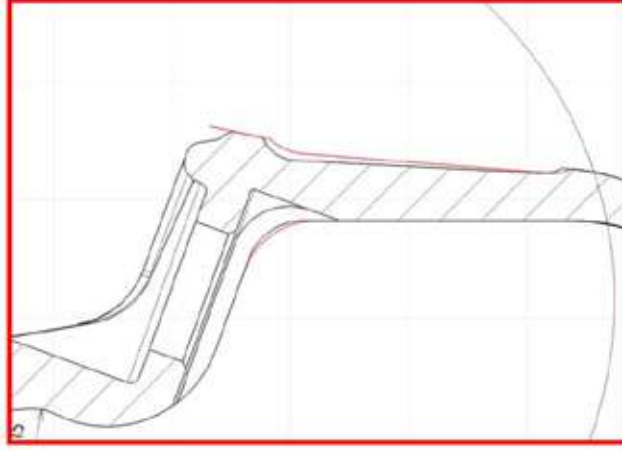
3.2. 8,5x21":

Malzeme: AISi7 Isıl İşlemli

Tur Sayısı: $2000\text{km} / \pi \times 771\text{mm} = 825.706$ tur

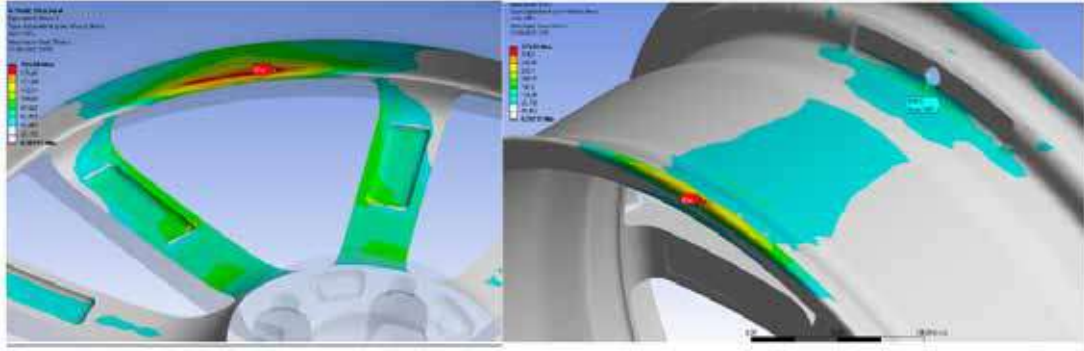
3.2.1. Deney Sonucu:

Dinamik radyal deneyi (DRD) sonrası subaptan hava kaçağı gözlemlenmiştir. Bölgedeki jant işleme kesidi eser miktarda değiştirilmiş ve bu jantla yapılan deney sonrası subaptan hava kaçağı gözlemlenmemiştir:

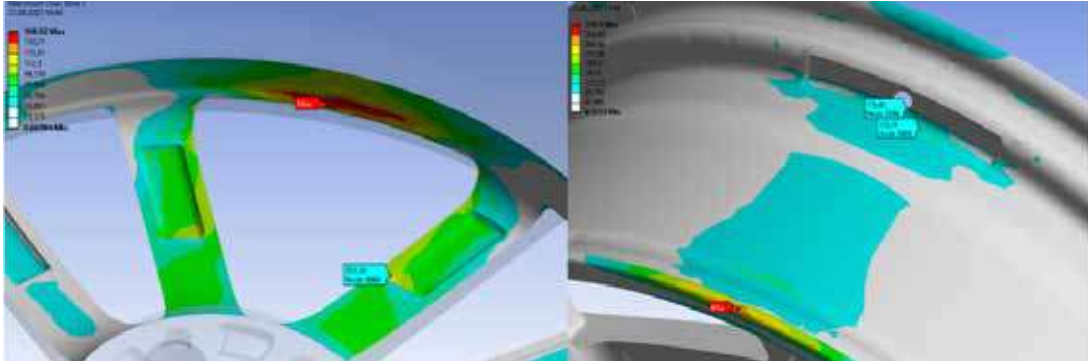


Şekil 14 : 8,5x21" jantı dinamik radyal deneyi (DRD) geçen (kırmızı) ve geçmeyen (siyah) işleme kesitleri

3.2.2. Simülasyon Sonucu:

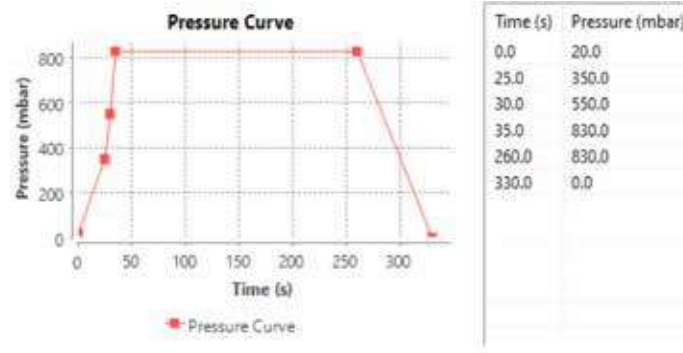


Şekil 15 : 8,5x21" DRD geçmeyen jantı simülasyonu sonucu çıkan maks. stres değerleri



Şekil 16 : 8,5x21" DRD geçen jantı simülasyonu sonucu çıkan maks. stres değerleri

3.2.3. MAGMA Simülasyonu Porozite Sonucu:



Şekil 17 : 8,5x21" jantı zamana bağlı döküm basıncı grafiği



Şekil 18 : 8,5x21" jantı MAGMA simülasyonu sonucu porozite yoğunluğu öngörülen bölgeler

Jantın deneyde hava kaçağı oluşturduğu subap bölümünde herhangi bir olası porozite yoğunluğu görülmektedir. Dolayısıyla hava kaçağının porozite kaynaklı, yerel olarak mekanik özelliklerin zayıflamasından dolayı olması mümkün gözükmemektedir.

3.3. 8,5X19":

Malzeme: AlSi7 Isıl İşlemli

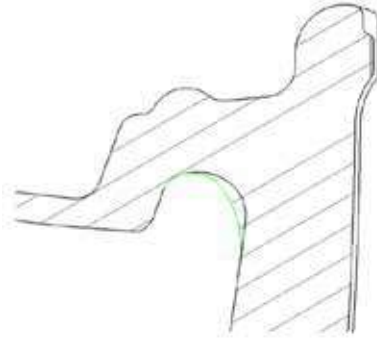
Tur Sayısı: 600.000 tur

3.3.1. Deney Sonucu:

Jantın undercut-kol arkası birleşim kısmında çatlak gözlemlenmiştir. Bu bölgede yapılan işleme kesidi değişikliği sonucunda deneyden geçilmiştir.

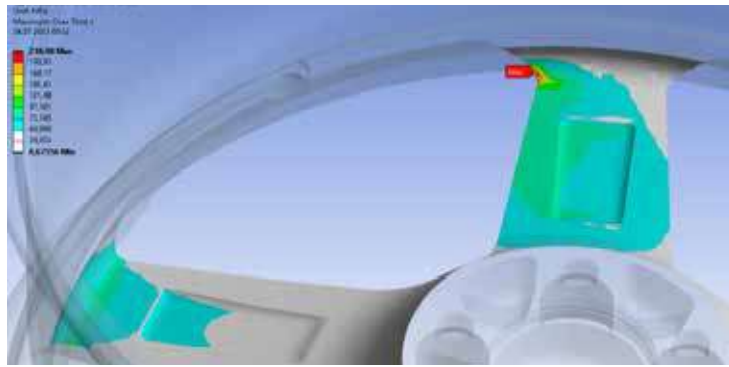


Şekil 19 : 8,5X19" jantı dinamik radyal deneyi sonucu meydana gelen çatlak



Şekil 20 : 8,5X19" jantı dinamik radyal deneyi (DRD) geçen (yeşil) ve geçmeyen (siyah) işleme kesitleri

3.3.2. Simülasyon Sonucu:

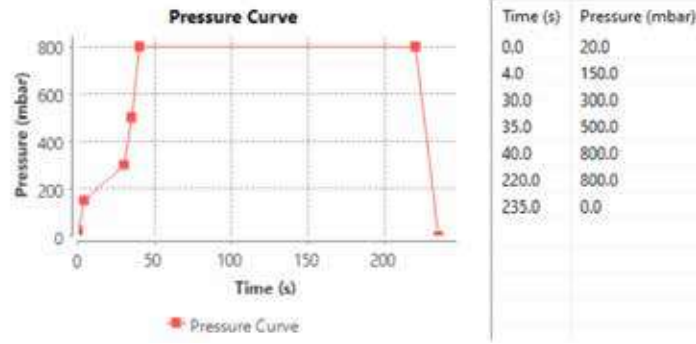


Şekil 21 : 8,5X19" DRD geçmeyen jantı simülasyonu sonucu çıkan maks. stres değerleri

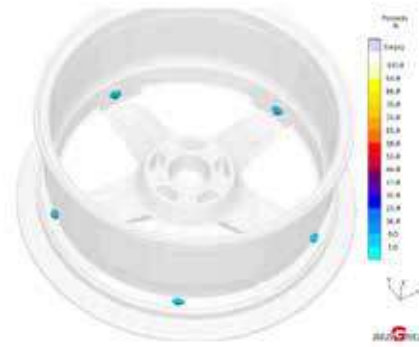


Şekil 22 : 8,5X19" DRD geçen jantı simülasyonu sonucu çıkan maks. stres değerleri

3.3.3. MAGMA Simülasyonu Porozite Sonucu:



Şekil 23 : 8,5X19" jantı zamana bağlı döküm basıncı grafiği



Şekil 24 : 8,5X19" jantı MAGMA simülasyonu sonucu porozite yoğunluğu öngörülen bölgeler

Jantın deneyde çatlak oluşturduğu bölüme yakın bir noktada porozite yoğunluğu görülmektedir. Bu bölgedeki porozitenin yerel olarak mekanik özellikleri düşürme ve çatlak oluşumunu tetikleme olasılığı bulunmaktadır.

4. BULGULAR

JANTLAR	Dinamik Radyal Deneyi Simülasyonu Maks. Stres Sonuçları	
	Deneyden Geçmeyen	Deneyden Geçen
9,5x20"	227 MPa	170 MPa
8,5x21"	195 MPa (arka) / 188 MPa (dış)	169 MPa (arka) / 178 MPa (dış)
8,5X19"	218 MPa	172 MPa

Tablo 2 : ANSYS Simülasyonunda Testlerden Geçen ve Geçmeyen Jantların Stres Değerleri

Bu çalışmada, dinamik radyal yorulma testinin sanal ortamda simüle edilmesini sağlanmıştır. Deneylerde görülen çatlama veya sızdırma bölgelerinin, simülasyon sonuçlarında elde edilen maksimum stres noktaları ile örtüştüğü gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar kullanılarak tasarım geliştirme çalışmaları yapılmış ve değişiklikler sonrası yeniden test edilen jantların deneyden geçtiği gözlemlenmiştir. Simülasyonda testten geçemeyen ve geçen jant geometrilerinin maksimum stres değerleri tespit edilmiştir. İlgili simülasyon ve elde edilmiş bu değerler dinamik radyal deneyi konusunda ilerideki tasarım iyileştirmelerinde referans alınabilecektir. Doğrudan simülasyon sonuçlarına bakarak jantta çatlama veya sızdırmaya sebep olacak bir maksimum stres değeri belirlenebilmesi için kullanılan malzemelerin S-N eğrisinin tanımlanması gerekmektedir.

5. SEMBOLLER

Acontact = Lastik ile yer/tambur temas yüzey alanı

FP = Deney yükü

FR = Jantın azami yük kapasitesi

FS = Lastik yan duvar basınç kuvveti

FV = Tambur baskı kuvveti

Lcontact = Lastik ile yer/tambur temas uzunluğu

P = Şişirme basıncı

r1 = Jant teorik yarıçapı

r2 = Lastik iç yarıçapı

Rwheel = Lastik dış yarıçapı

S = Güvenlik faktörü

Wsection = Lastik kesit genişliği

θ = Yükleme açısı

6. TEŞEKKÜR

Başta Döktaş Dökümcülük A.Ş. yönetimi ve çalışma arkadaşlarımız olmak üzere bu makaleyi yazmamızda emeği olan herkese teşekkürü bir borç bilirim. Proje çalışmalarımızın her parçasında büyük bir fedakarlıkla bizlere destek oldular. Son olarak, simülasyonu geliştirmemizde desteklerini esirgemeyen Numesys ailesine teşekkür ederiz.

7. KAYNAKÇA

- 1) StVZO, "Guidelines for the testing and inspection of custom wheels for motor vehicles", StVZO, Bonn, 1998, pp 13-15.
- 2) The European Tyre and Rim Technical Organisation, "Standards Manual", E.T.R.T.O., Bruxelles, 2024.
- 3) J. Muelaner, "Engineersrule", 30 Nisan 2020. [Çevrimiçi].
- 4) Balakina ve arkadaşları, "The calculation method of the length of contact of car tires with the road surface", IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Irkutsk, 2019, IOP Publishing, 2019, pp 2.
- 5) Nava ve arkadaşları, "Estimation of the Dynamic Contact Area From a Rolling Tire Correlated to Expert Assessment," IEEE Access, vol. 7, 2019, pp. 97909-97918.
- 6) Airport Compatibility Engineering, "Calculating Tire Contact Area", Boeing Commercial Airplanes, Seal Beach, CA, 2017.

Üç Boyutlu Yazıcı Kullanımı ile Besleyici Üretimi Çalışması

Ali Emre ZOBAROĞLU

Demisaş Döküm Emaye Mamulleri Sanayi A.Ş. Bilecik, Türkiye

ÖZET

Besleyici, döküm parçasının kalitesini doğrudan etkileyen bir bileşendir ve döküm parçasının katılaşmasından sonra oluşabilecek hacim eksikliğini, içerisinde bulunan erimiş metal ile tamamlar. Bu sayede, döküm parçası içerisinde boşluk veya gözenek oluşumunu önler. Model imalatında besleyiciler araldit, alüminyum veya pik malzemelerden imal edilebilmektedir. Yapılan çalışmada üç boyutlu yazıcı ile PLA ve ABS malzemeleri kullanılarak bir model bileşeni olan besleyicinin imalatı sürecindeki kazanımlarının ortaya çıkarılması, farklı tür malzemenin model üzerindeki uygulanabilirliğinin araştırılması ve malzeme kaynaklı maliyet karşılaştırmalarının yapılması hedeflenmiştir. Araldit, alüminyum ve pik malzemeleri kullanılarak üretilen besleyicilerin imalat süresi üç boyutlu imalata nazaran daha uzun sürmektedir. Ayrıca model tasarımı aşamasında belirlenmiş olan ölçüler hassas bir şekilde model yapımında uygulanabilmektedir. Ek olarak üç boyutlu yazıcıda kullanılan filamentin birim maliyeti araldit malzemeye oranla daha düşük olmaktadır. Çalışma sonucunda farklı tür malzemelerin model imalatında kullanılabilirliği test edilmiş ve olumlu sonuçlanmıştır. Besleyici imalat sürelerinde ve maliyetlerinde tasarruf edilmiştir. Tasarım aşamasında belirlenmiş olan ölçüler hassas olarak model yapımında uygulanmıştır.

ABSTRACT

Feeder is a component that directly affects the quality of the casting piece and compensates for the volume deficiency that may occur after the solidification of the casting piece with the molten metal contained in it. In this way, it prevents the formation of voids or pores within the casting part. During the model manufacturing process, the feeders can be manufactured from araldite, aluminum or pig iron materials. In the study, it was aimed to reveal savings in the manufacturing process of the feeder, which is a model component, by using PLA and ABS materials with a 3D printer, to investigate the applicability of different types of materials on the model, and to make material-based cost comparisons. The manufacturing process of the feeders produced using araldite, aluminum and pig iron materials takes longer than 3D printer manufacturing. In addition, the dimensions determined during the model design phase can be applied precisely in model making. Also, the unit cost of the filament used in the 3D printer is lower than that of araldite material. As a result of the study, the usability of different types of materials in model manufacturing was tested and it yielded positive results. Savings were made in feeder manufacturing times and costs. The dimensions determined during the design phase were applied precisely in model making.

GİRİŞ

Dökümde besleme, hatasız ve kaliteli bir döküm ürünü elde edilmesi ve ekonomik bir üretim sürecinin sağlanabilmesi için, günümüz dökümcüleri için çok önemli ve bu nedenle ilgi gösterilen bir konudur. Metaller ve alaşımları, soğuma ve katılaşma esnasında bir büzümeye, yani hacimsel olarak küçülmeye uğrarlar. Bu doğal olay hacimsel çekme olarak adlandırılır. Döküm yapılırken, katılaştan metalin hacimsel çekmesi ile meydana gelecek boşlukları doldurabilecek kadar sıvı metalin sistemde var olması gerekir. Söz konusu çekme ile oluşacak boşlukları, bir kaynaktan (rezervuar) sıvı metalle beslenmesine dökümün beslenmesi, bu sıvı metal kaynağına da besleyici adı verilir. Besleyici, esas döküm parçası katılaştıkça dek sıvı halde olmalı yani döküm parçasından daha sonra katılaşmalıdır.

Dikey kalıplama hatlarında kullanılan modellerde besleyiciler araldit, alüminyum veya pik malzemesi kullanılarak üretilmektedir.

Araldit, reçine ve sertleştirici bileşenlerinin belirli oranlarda karıştırılması ve egzotermik reaksiyon sonucunda sertleşmesi ile elde edilen termoplastik malzemedir. Resim-1'de araldit malzemeden yapılmış besleyici örneği görülmektedir.



Resim 1 : Araldit Besleyici

Alüminyum besleyici ise, standart besleyicinin el kalıp yöntemi ile kumda kalıplanması ve tek seferde istenen sayıda dökümü ile elde edilir. Resim-2'de alüminyum malzemesinden yapılmış besleyici örneği görülmektedir.



Resim 2 : Alüminyum Besleyici

Üç boyutlu baskı veya diğer adıyla eklemeli imalat, üç boyutlu model verileri kullanarak, malzemelerin katmanlar halinde üst üste birikmesiyle nesnelerin oluşturulduğu üretim yöntemidir. Ağırlıklı olarak havacılık, otomotiv, biyomedikal, savunma ve enerji sektörlerinde kullanılır. Birçok önemli sanayi sektöründe, prototip parça üretiminde de kullanılmaktadır. 3D yazıcıların avantajları arasında en başta maliyet yer almaktadır. Prototipleme başta olmak üzere geleneksel yöntemler kullanılarak yapılan üretimlerin maliyetleri yüksek olabilmektedir. 3D yazıcı kullanımı ile, parça ve araçlar son derece uygun maliyetle daha kısa sürede üretilebilmektedir. Geleneksel üretim sürecinde gerekli olan kalıplar, işçi ücretleri vb. maliyetlere gerek duyulmadan prototipler üretilebilmekte ve üzerlerinde incelemeler yapılabilmektedir. Geleneksel üretim yöntemlerinde gerçekleştirilemeyecek düzeyde karmaşık ve zor parçalar 3 boyutlu yazıcılar ile kolaylıkla üretilebilmektedir.

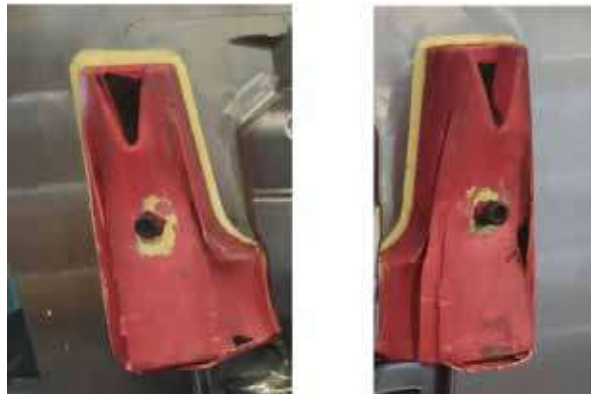
Üç boyutlu imalat, Selective Laser Sintering (SLS), Fused Deposition Modeling (FDM), Stereolithography (SLA), ve Direct Metal Laser Sintering (DMLS) gibi teknolojiler ile gerçekleştirilmektedir. Yapılan çalışmada, Creatbot F430 model FDM teknoloji, 400x300x300 tabla ebatlarına sahip üç boyutlu yazıcı kullanılmıştır (Resim-3). Bu cihazda PLA (polylactic acid) ve ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) filamentleri kullanarak besleyici üretim çalışmaları gerçekleştirilmiştir.



Resim 3 : Üç boyutlu yazıcı

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

İlk deneme çalışmasında, prototip parça denemeleri esnasında PLA malzemesi kullanılarak besleyici üretimi yapılmış ve prototip model üzerine montajı yapılmıştır. Toplamda 50 kalıp miktarında yapılan deneme sonucunda besleyiciler kalıplama şartlarında sıcaklık ve basınca direnç gösteremeyerek deforme olmuş, PLA besleyici denemesi olumsuz sonuçlanmıştır (Resim-4).



Resim 4 : PLA malzemesi kullanılarak üretilen besleyici kalıplama denemesi

İkinci deneme çalışmasında besleyiciler ABS malzemesi kullanılarak üretilmiş ve prototip deneme üretim çalışmasında 50 kalıp sayısında kalıplama denemesi yapılmıştır. Deneme sonucunda besleyicilerde deformasyon görülmemiştir. Bir sonraki aşamada ABS malzemesinden yapılmış olan iki adet besleyici bir modelin yanına bağlanmış ve 3000 kalıp üretim süresince test edilmiştir. 3000 kalıp deneme sonunda besleyicilerde deformasyon gözlenmemiştir (Şekil-5).



Resim 5 : ABS malzemesi kullanılarak üretilen besleyici kalıplama denemesi

Kullanılan malzemelerin maliyet analizi yapılmış olup, araldit malzemesinin maliyeti diğer malzemelerin maliyetinin yaklaşık iki katıdır. Denemesi olumlu sonuçlanan ABS malzemesi ile alüminyum besleyici üretim maliyeti hemen hemen aynıdır.

MALZEME	70 MM ÇAP BESLEYİCİ MALİYETİ (Dolar)
Araldit	3,06
PLA	1,42
ABS	1,29
Alüminyum	1,27

SONUÇLAR

Yapılan deneme çalışmaları neticesinde ABS malzemesi kullanılarak üç boyutlu yazıcıda üretilen besleyicinin modelde kullanılabilirliği test edilmiş ve olumlu sonuçlanmıştır. Besleyici imalat sürelerinde, maliyetlerinde ve işçiliğinde tasarruf edilmiştir. Kısa zamanda deneme döküm yapma imkanının, ani müdahalelerin ve devreye almaların kolaylaşmasının önü açılmıştır. Ayrıca tasarım aşamasında belirlenen besleyici ve boğaz ölçülerinin hassas olarak model imalatında uygulaması gerçekleşmiştir.

Production Of Steel Castings in Green Sand

Per LARSEN
DISA Industries A/S, Taastrup, Denmark

ABSTRACT

Traditionally, steel castings are produced in shell moulding and different no-bake processes. A limited amount of steel castings is produced in green sand today.

However, the shell moulding and different no-bake processes are much less efficient than the green sand moulding process. That means there is considerable potential for cost savings if steel castings are moved to the green sand process.

There are many different reasons for steel castings being produced in shell and other no-bake processes, some of which are technically valid while others are more about simply following tradition – “we’ve always done it this way”.

This paper will discuss the opportunities and challenges involved in producing steel castings in green sand. Opportunities include significant cost savings driven by productivity, flexibility, low manpower requirements and green sand’s inherent recyclability; simply by adding a little fresh bentonite, sand and water, and mixing it again, green sand can be easily reused.

Some examples of steel castings being poured in green sand will also be given in the paper, such as digger teeth and container corners.

Keywords: green sand, steel, shell moulding, digger teeth, container corners, automotive

1. INTRODUCTION

The green sand process – and especially vertically parted green sand moulding – is well known for producing iron parts in high quality, with outstanding efficiency and at minimum cost.

This paper describes some of the opportunities and challenges in producing steel castings in green sand from moulding and materials through to pouring and feeding.

Many different castings have been produced successfully in green sand in different steel alloys ranging from plain cast steel to highly wear-resistant alloys. Steel test castings poured in green sand are shown in Figures 1 and 2 below.



Figure 1 : A steel manifold produced in green sand.



Figure 2 : A steel container corner produced in green sand.

If the benefits of the green sand process enjoyed by iron foundries can be transferred to the casting of steel parts, it offers the opportunity for lower costs compared to alternative production options.

1. MOULDING OPTIONS

Green sand moulding can be done both vertically and horizontally, with the highest production speeds achieved with vertical moulding. The six operations of the vertical moulding machine can be seen in Figure 3.

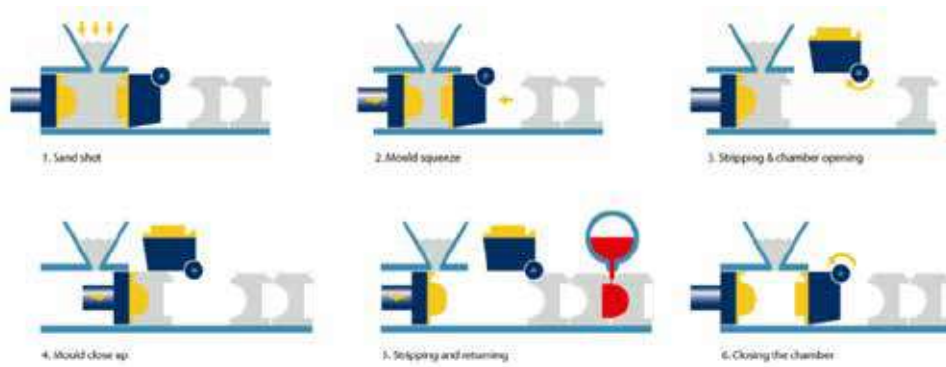


Figure 3 : The six steps of the vertical moulding process.

While the most commonly known vertical moulding lines achieve high moulding speeds of up to 555 moulds per hour, slower vertical moulding lines with a maximum speed of 250 moulds per hour are now available – at approximately a third of the price of conventional vertical lines. It is feasible to operate these machines at moulding rates far below 100 moulds per hour; several foundries around the world do this regularly. This allows cost-effective production at lower volumes while retaining the flexibility to easily increase production output if required.

Vertical moulding sizes range from 500 x 400mm to 1200 x 1050mm. (See Figure 4 for a 250 mould per hour moulding line with 650 x 530 mm mould size.)



Figure 4 : DISAMATIC C-250 after producing 10,000,000 moulds.

Due to the relatively low investment required, horizontal moulding employing the well-known matchplate principle is an attractive alternative, especially when production volumes are lower and greater flexibility is needed. Existing pattern plates for horizontal equipment can often be transferred to matchplate moulding machines with little effort.

Automatic core setting for vertical and horizontal machines is discussed below.

2.1 Green sand moulding material:

The moulding material is similar to cast iron production with some modifications. The base sand can be quartz, ceramic or chromite sand with bentonite and water added. Quartz sand with a high silica content (98% or more) is recommended for steel casting. There is no need to add coal dust. With no chemical binders required, the sand costs less.

Due to steel's higher pouring temperatures compared to cast iron, more new sand must be added during production than is usual for cast iron. Typically, around 4% new sand and 1.2% new bentonite must be added, depending on the steel to sand ratio in each mould. This is slightly higher than the typical 2-3% for cast iron but is still much lower than the chemical binder systems typically used for casting steel.

2.2 Green sand process advantages:

The DISA green sand process offers many advantages over alternative steel casting processes using chemical binder systems and also over other green sand processes like floor moulding or jolt/squeeze, including:

- Very high productivity and low manpower requirements;
- Automated moulding and core setting give reliable high quality;
- High production capacity from a single, affordable line;
- Core setting is a simple, fast and proven process that can also be easily automated. That means hollow parts designed for optimized weight and reduced material usage are straightforward to produce. The green sand process can currently produce up to 470 cored moulds per hour – much faster than shell/no bake processes;
- When changing production from one part to the next, tool changes take as little as 1-2 minutes. Pattern changes can be manual or are easily automated;
- Depending on the required pattern plate lifetime, they can be made from a wide variety of materials from wood to tool steel;
- For castings with less complex geometries and shorter pattern lifetime requirements, low-cost wood and plastic patterns start at around €1,500;
- Patterns can make up to hundreds of thousands of moulds, depending on casting complexity and pattern material. Pattern lifetime can be more than 500,000 moulds if tool steel is used;
- Due to this long lifetime, normally only one set of pattern plates and possibly one back-up set is needed for each part;
- Pattern plate maintenance costs are low due to the long lifetime and due to (normally) only having one set of production pattern plates to maintain;
- Moulds produced on DISAMATIC or MATCH are harder than other methods like jolt/squeeze, hand or floor moulding, and so are well suited for steel casting;
- Due to relatively simple and cheap tooling, the lead time from 3D CAD drawings of castings to prototype parts is short. Implementing changes to gating and feeding systems is easy, fast and cheap.

2.3 Green sand's safety and environmental benefits:

- No chemical binders for moulding
- Only water and bentonite used as a bonding material
- Less sand spillage
- Fewer dust creation points
- Easy to use hoods to collect and exhaust dust and fine particulates
- DISAMATIC or DISA MATCH lines are compact, requiring much less floor space than, for instance, a horizontal flask line. For example, a DISA MATCH line occupies 250m² compared to 800m² for a flask line.

These green sand advantages combine to deliver the lowest production cost for suitable steel castings.

2.1. Pouring:

Slag-induced gas porosity is a risk during pouring. A “teapot”-shaped pouring ladle or similar (see Figure 5) can be used to keep slag in the ladle and so reduce slag inclusions.



Figure 5 : A “teapot” pouring ladle.

Semi- or fully-automated pouring can also be applied. It is possible for DISA moulding machines to communicate with the pouring unit and completely automate and synchronize the moulding and pouring stages of the casting process.

Pouring will be faster and more precise, with less metal spilled and lost. Fewer operators are required and there will be fewer mistakes due to human error.

2.2 Feeder design:

Due to the metallurgy of steel, it tends to shrink more during solidification and so requires more feeding than cast iron.

Isolated casting sections can be difficult to feed on vertical machines. Both insulated feeder sleeves set with the core setter and spot feeding with ram-up sleeves can be used as on horizontal lines.

Through trials and finetuning, feeder diameter can be optimized to increase yield while still avoiding shrinkage. If a solution with 2 castings in the mould is chosen, the yield will also improve due to sharing the gating system and feeders between 2 castings.

3. CORE SETTING

A core binder system with low gas development is important when casting steel.

Automated core setting is seldom seen on shell/no bake lines. They must use manual core placement and so core handling is slow, inaccurate and prone to mistakes. DISA green sand lines offer excellent core handling and multiple automation options.

Any type of cores suitable for steel and compatible with green sand can be used on the DISA-MATIC and DISA MATCH lines. Cores can be placed manually or automatically using a core mask as described below.

3.1. Manual core setting for vertical green sand moulding (DISAMATIC):

At lower production volumes, cores can be set by hand. Wedge-shaped core prints are used to fix the cores in the mould.

Two operators, one on each side of the line, can work at the same time to speed up core setting. Speeds of 100 moulds per hour or more can be reached when setting cores manually.

3.2. Automatic core setting for vertical green moulding (DISAMATIC):

Automatic core setting uses a core mask. The mask holds the cores in place using vacuum. Setting cores in the core mask can be done by hand or by a robot. The core mask is part of the tooling for each casting, along with the pattern plates.

These cores are then transferred to the mould by the automatic core setter. Because the auto core setter sets every core into the mould, core setting is very precise and repeatable for every mould.

3.3. Manual core setting for horizontal green moulding (DISA MATCH):

At lower production volumes, cores can be set by hand. Non-glued core assemblies can also be set this way.

Two operators can work at the same time to speed up core setting.

3.4. Automatic core setting for horizontal green moulding (DISA MATCH):

Auto core setting for horizontal lines is similar to vertical lines. Again, cores are held in the core mask by vacuum, then transferred to the mould by the automatic core setter.

Cores are fixed in the mould by wedge-shaped core prints on the cores and also held by gravity. Even very intricate cores can be set. The auto core setter sets the cores in every mould and hence the process is very precise and repeatable.

4. ACCURACY

The accuracy of castings produced in green sand has improved over the years, now achieving as little as 0.1mm machine-related mismatch. Systems are also now available for in-line checking of mismatch, mould gaps and so on, just before the moulds are poured. This provides extra protection against possible dimensional problems.

Such a system is based on reference blocks added to each corner of the pattern, creating reference impressions in the mould halves (see Figure 6).



Figure 6 : Left: Reference blocks added to pattern plates. Centre: Reference impressions on the mould. Right: Lasers measuring in real time.

Just before pouring, a laser measures the positions of these reference impressions in the mould halves, making it possible to calculate mismatch and other dimensional features. Using sophisticated software, the system detects and measures mismatch with an accuracy of down to +/- 0.05mm, well below the average sand grain size of approximately 0.2mm.

5. CASTING EXAMPLE - CONTAINER CORNERS

Many different steel casting types can be made in green sand. Steel shipping container corners were selected for testing and made in accordance with ISO 1161. Specifically, a bottom corner casting was used for the test (see Figure 7).

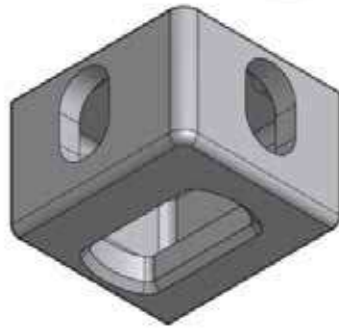


Figure 7 : Bottom container corner casting schematic.

5.1. Pattern plates, cores and moulds:

A chromite core was used with an ester-cured binder in testing. But any type of core binder with low gas development that is suitable for steel and compatible with green sand can be used.

Low-cost tooling was made in wood and plastic for the steel casting trials as shown in Figure 8 below:



Figure 8 : Bottom container corner casting schematic.

All tooling is machined based on 3D CAD files. This makes tooling production fast and accurate while keeping the price low. This way of making patterns is suitable for prototype tooling and also for tooling where low production volumes are needed.

The mould was made on a DISAMATIC 2110 with a mould size of 500 x 400mm and mould thickness of 300mm. Figure 9 shows the vertical mould halves and cores in the mould before closing the mould.



Figure 9 : Left: Pressure plate mould. Centre: Swing Plate mould. Right: Pressure plate mould with core.



Figure 10 : Mould string ready for pouring.

5.2 Moulding sand and steel composition:

A ceramic base sand was used for these trials and its composition is shown in Table 1.

<i>Sand parameter</i>	<i>Quantity</i>
Compactibility	41%
Moisture content	2.7%
Green compression strength	17.4 N/cm ²
Spalling strength	3.3 N/cm ²
Permeability	65-70
DIN grain size	0.155 mm (AFS grain size ~95)
Bentonite	~10%

Table 1: Base sand composition for steel container corner

The chemical composition of the steel used in the trial is shown in Table 2.

	C (%) max	Mn (%) Range	Si (%) max	P (%) max	S (%) max	Cr (%) max	Ni (%) max	Cu (%) max	Mo (%) ma	2* (%) max
Target	0.20	0.90-1 .50	0.50	0.035	0.035	0.25	0.30	0.20	0.0 8	0.70
Actual	0.19	1.11	0.43	0.020	0.015	0.23	0.21	0.09	0.02	0.55

Table 2 : Steel chemical composition for container corner

$$2^* = \text{Cr} + \text{Ni} + \text{Cu} + \text{Mo}$$

5.3. Pouring parameters:

The pouring parameters used in the trial (hand pouring) are shown in Table 3. 3 moulds could be poured per ladle. The pouring time of 9.6 seconds will be shorter in series production.

Ladle size	70kg
Poured weight per mould	23kg
Weight of container corner	11.8kg
Yield	51%
Furnace tapping temperature	1660°C
Pouring temperature	1580-1600°C

Table 3 : Pouring parameters for container corner

At shakeout, the sand was only sticking slightly to the casting, so very little surface cleaning is required.

5.4. Casting quality assessment:

The cleaned casting was sliced into multiple sections for inspection (see Figure 11).



Figure 11 : Casting sliced for inspection.

The arrowed section in Figure 12 below shows evidence of slag-induced gas porosity. Using a “teapot”-shaped ladle helps avoid slag inclusions and these will not be seen in normal serial production using semi- or fully-automated pouring.



Figure 12 : Small gas porosity inclusion arrowed in casting section.

This minor slag-induced gas inclusion was the only defect seen in the test castings. No other defects were seen in the other casting sections, as per Figure 13.



Figure 13 : Example of defect-free casting section.

The castings were also X-rayed and checked for shrinkage (see Figure 14). No shrinkage was found.



Figure 14 : X-ray of container corner casting section.

Feeders were also X-rayed to check for shrinkage. In this example (see Figure 15), shrinkage in both feeders is seen to stop well before the feeder neck, showing that the feeder size is correct.



Figure 15 : X-ray of container corner casting feeder neck.

Other ongoing steel casting trials include bucket teeth (ground engagement tools) and valves.

6. CONCLUSION

Many steel castings can be feasibly produced in green sand. With equipment currently available, both high-volume production of hundreds of moulds per hour and low-volume production down to 80 or even fewer moulds per hour can be delivered efficiently.

Not every steel casting could or should be produced in green sand and this article does not suggest that current methods will be displaced. Rather, using green sand can add capacity and flexibility to steel production while reducing per-casting cost for many applications. For parts that are naturally suited to it, green sand offers significant cost advantages that benefit foundries and manufacturers in sectors like mining, railways, transportation and construction. It is particularly relevant to automotive, where the pressure to cut costs will persist.

Döküm Sektöründe Farkındalık Oluşturacak İSG Uygulamaları

Ersin AKTAŞ, Engin ONGAN
EKU Fren ve Döküm A.Ş. Kocaeli, Türkiye

ÖZET

EKU'da çalışanlarımızın sağlığı ve güvenliği her zaman önceliğimizdir. Bu doğrultudaki çalışmalarımızda, tüm süreçlerimizi İSG açısından iyileştirmeye yönelik uygulamalarla değerlendirir ve problemler karşısında kök neden analizleri ile çözüm yöntemlerini araştırırız. İş kazalarında, "insan hatası yaklaşımı" açısından İSG farkındalığı oluşturulması doğrultusunda çalışmalarımız yürütürüz.

Anahtar Kelimeler: İnsan hatası, İSG iyileştirme, İSG farkındalık,

ABSTRACT

At EKU, the health and safety of our employees is always our priority. In our work in this direction, we evaluate all our processes with applications aimed at improving OHS and investigate root cause analyzes and solution methods in the face of problems. We carry out our work to raise OHS awareness in terms of "human error approach" in work accidents.

Keywords: OHS improvement, OHS awareness, GEMBA, OHS digitalization, human mistake, proactive

1.ÇALIŞMALAR

1.1. Proses & Süreç Yaklaşımı İyileştirmeleriyle İSG Uygulamaları:

1.1.1. Ergonomik proses iyileştirme çalışmalarımız:

Elleçleme ve insan gücü ile yapılan çalışmalarda ergonomik risk faktörleri göz önünde bulundurularak yaptığımız proses iyileştirmeleri neticesinde; çapak kırma işlemleri, varil yükleme boşaltma ve ambalaj paketleme işlemlerinde risk faktörlerini ortadan kaldırdık.



Öncesi



Sonrası

Fotoğraf 1 : Dökümhane sarsak alanına ait çalışma sahası



Öncesi



Sonrası

Fotoğraf 2 : Talaşlı imalat varil taşıma ve devirme işlemi



Öncesi



Sonrası

Fotoğraf 3 : Lojistik ambalaj paketleme işlemi

1.2. Farkındalık Yaklaşımı Çalışmaları:

İSG farkındalığını arttıracak çalışmalarımız.

1.2.1. Görsel manken simülasyonlarımız:

Kronikleşmiş kol yarığı, parmak ve el sıkışması, göze çapak kaçma iş kazaları ile ilgili farkındalığı arttırmak için kazaların yaşandığı bölgeye İSG Dashboard içerisine görsel manken konulmuştur.



Fotoğraf 4: Kol yanığı



Fotoğraf 5: Parmak sıkışması

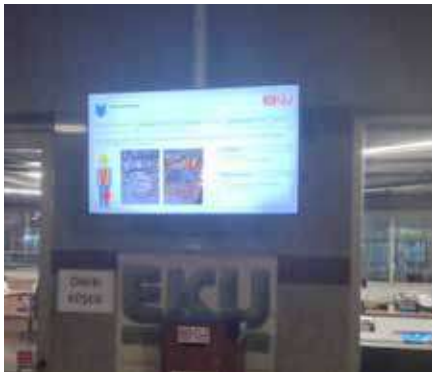
Fotoğraf 6 : Göze çapak kaçması



Fotoğraf 7 : El sıkışması

1.2.2. İş kazalarını iç iletişim platformlarımızda (EKU TV, e-mail ortamında) ve iş kazasının yaşandığı alanlarda paylaşılması:

Yaşanan iş kazalarını şirket içinde bulunan ekranlarda ve panolarda paylaşarak tüm personellerimizde farkındalık oluşmasını sağlamaktayız.



Fotoğraf 8 : EKU TV (iç iletişim kanalı)



Fotoğraf 9 : İş kazasının yaşandığı alanlarda kaza analizlerini paylaşımı

1.2.3 Aylık İSG bilgi yarışmalarımız ve ödül törenlerimiz:

Her ay düzenlediğimiz İSG bilgi yarışmalarına tüm çalışanlarımız bilgilendirme panosunda bulunan QR kod ile telefonlarından katılım sağlarlar. Bu yarışmalar sayesinde çalışanlarımıza farklı konular hakkında sürekli hatırlatmalar yaparak hem yeni bilgiler edindirmeyi hem de bilgilerini taze tutmayı hedefleriz. Yarışma sonuçlarının değerlendirilmesi neticesinde de çalışanlarımızı ödüllendirmekteyiz.



Fotoğraf 12 : Ödül töreni



Fotoğraf 13 : Ödül töreni

1.2.3. Aylık İSG & Çevre, Sürdürülebilirlik konulu bülten yayınlanması:

Çalışma alanlarımızda bulunan ekran ve panolarda her ay farklı konular içeren bültenler yayınlanarak çalışanlarımızdaki farkındalığın artmasını sağlamaktayız.



Fotoğraf 14 : İç iletişim



Fotoğraf 15 : Aylık İSG bülten

1.3. Yönetici davranışı:

İş sağlığı ve güvenliği kültürü oluşmasında lider yaklaşımı önem taşımaktadır. Her hafta süreç müdürleri seviyesinde gerçekleşen GEMBA turunda, İSG aksiyonlarının belirlenmesi ve önceki hafta belirlenen aksiyon durumlarının yerinde takip edilmesi sağlanır. Günlük olarak mesai başlangıcında departman liderleri ile Güvenlik, Kalite ve Performans (GKP) toplantıları yapılır.



Fotoğraf 16 : GEMBA turu



Fotoğraf 17 : Go&See&Fix çalışmaları



Fotoğraf 18 : Müdürler GKP toplantısı



Fotoğraf 19 : Departman GKP toplantısı

1.3.1. Takım liderleri haftalık toolbox eğitimleri:

Takım liderlerimiz her hafta iş güvenliği bilgilendirme eğitimleri alırlar ve öğrendikleri bilgileri kendi ekiplerine aktarırlar. Böylelikle eğitimin etkinliğini ve devamlılığını sağlamış oluruz.



Fotoğraf 20 : Takım Liderleri toolbox



Fotoğraf 21 : Takım Liderleri toolbox

1.4. Çalışan katılımı:

Çalışanlarımızın geri bildirimleri bizim için çok değerlidir. Yapmış olduğumuz tüm iyileştirme faaliyetlerine ve kaizen çalışmalarına çalışanlarımızı da dahil eder ve görüşlerini alırız.

1.4.1. İSG dijitalizasyonu (Misafir ve ziyaretçi yönetim sistemi):

Fabrikamıza planlı gelecek misafir ve ziyaretçiler için fabrika tanıtımı ve İSG kurallarını içeren video e-mail ile gönderilmektedir. Plansız gelen misafir ve ziyaretçiler güvenlik yanında bulunan eğitim ofisimizde fabrika tanıtımı ve İSG kurallarını içeren video, eğitim salonumuzda izletilmektedir.



Fotoğraf 22 : Misafir ve ziyaretçi yönetim sistemi



Fotoğraf 23 : Misafir ve ziyaretçi bilgilendirme videosu

1.4.2. İSG Elçileri: Makine emniyeti çapraz denetim:

Beyaz yaka çalışanlarımızdan oluşan personellerimizin, İSG elçileri eğitim programından tamamlayarak, sürecin detayları ve denetim planı hakkında bilgilendirmelerini sağladık.



Fotoğraf 24 : İSG elçileri eğitim programı

Proje	Çapraz Denetim Projesi	Hedef	İnşaat sahası (işyerilerinden birisi) bölgedeki makine, ekipman ve yapıların güvenli kullanımında farklı bir bakış açısıyla birlikte ve makine güvenliğinin artırılması sağlanacak.
Ekip	İSG Birimi, İK Birimi, İSG Ekpleri		

MAKİNE EMNİYET EKİPMAN ÇAPRAZ DENETİM PLANI												
NO	İSİMLERİ	İSG	İK	İSG	İSG	İSG	İSG	İSG	İSG	İSG	İSG	İSG
1	İnşaat Sahası											
2	İSG Ekpleri											
3	İnşaat Sahası											
4	İnşaat Sahası											
5	İnşaat Sahası											
6	İnşaat Sahası											
7	İnşaat Sahası											
8	İnşaat Sahası											
9	İnşaat Sahası											
10	İnşaat Sahası											
11	İnşaat Sahası											
12	İnşaat Sahası											
13	İnşaat Sahası											
14	İnşaat Sahası											
15	İnşaat Sahası											
16	İnşaat Sahası											
17	İnşaat Sahası											
18	İnşaat Sahası											
19	İnşaat Sahası											
20	İnşaat Sahası											
21	İnşaat Sahası											
22	İnşaat Sahası											
23	İnşaat Sahası											
24	İnşaat Sahası											
25	İnşaat Sahası											
26	İnşaat Sahası											
27	İnşaat Sahası											
28	İnşaat Sahası											
29	İnşaat Sahası											
30	İnşaat Sahası											

Fotoğraf 25 : Makine emniyeti çapraz denetim planı



Fotoğraf 26 : Soru listesi ve denetim



Fotoğraf 27 : Makine emniyet ekipmanı denetimi



Fotoğraf 28 : Makine emniyet ekipmanı denetiminin kayıt altına alınması

1.4.3. Uygulamalı İSG eğitimleri:

İSG eğitim alanında iş güvenliğine yönelik verdiğimiz uygulamalı eğitimlerde çalışan farkındalık düzeyinin arttığını ve eğitim verimliliğinin olumlu etkilendiğini tecrübe ettik ve bu uygulamamızın sürekliliğini sağladık.



Fotoğraf 29 : Yangın üçgeni deneyi (O2 boğma yöntemi)



Fotoğraf 30 : Yüksekte çalışma ekipmanları



Fotoğraf 31 : EKED uygulamaları

1.4.4. Ramak kala ve risk bildirimini dijitalizasyon sistemi:

Çalışanlarımız ramak kala ve risk bildirimlerini çalışma alanlarımızda bulunan kiosk panellerinden anında yaparak ilgili birimlere bilgi verebilmektedir. Bu yöntem ile hem aksiyonlarımızı en hızlı şekilde almaktayız hem de kağıt kullanımını azaltarak sürdürülebilirlik hedeflerimiz doğrultusunda çalışmaktayız.



Fotoğraf 32 : Paperwork ekranı

The screenshot displays the EKV Ramak Kala ve Risk Bildirim screen. It shows a table with the following columns: 'Tarih', 'Olay No', 'Olay Türü', 'Etiler', and 'Beyan Tarihi'. The table contains multiple rows of incident reports, each with a circular icon on the left side.

Tarih	Olay No	Olay Türü	Etiler	Beyan Tarihi
2023-03-01 10:00:00	000000000001	Ramak Kala ve Risk Bildirim	000000000001	2023-03-01 10:00:00
2023-03-01 10:00:00	000000000002	Ramak Kala ve Risk Bildirim	000000000002	2023-03-01 10:00:00
2023-03-01 10:00:00	000000000003	Ramak Kala ve Risk Bildirim	000000000003	2023-03-01 10:00:00
2023-03-01 10:00:00	000000000004	Ramak Kala ve Risk Bildirim	000000000004	2023-03-01 10:00:00
2023-03-01 10:00:00	000000000005	Ramak Kala ve Risk Bildirim	000000000005	2023-03-01 10:00:00
2023-03-01 10:00:00	000000000006	Ramak Kala ve Risk Bildirim	000000000006	2023-03-01 10:00:00
2023-03-01 10:00:00	000000000007	Ramak Kala ve Risk Bildirim	000000000007	2023-03-01 10:00:00
2023-03-01 10:00:00	000000000008	Ramak Kala ve Risk Bildirim	000000000008	2023-03-01 10:00:00
2023-03-01 10:00:00	000000000009	Ramak Kala ve Risk Bildirim	000000000009	2023-03-01 10:00:00
2023-03-01 10:00:00	000000000010	Ramak Kala ve Risk Bildirim	000000000010	2023-03-01 10:00:00

Fotoğraf 33 : Ramak kala ve risk bildirim ekranı

İngot Döküm Yönteminde Sıvı Metalin Kokil Kalıba Termal Etkisinin Magma Simülasyon Programında İncelenmesi

Özgür AYKUT, Ecemnur ÜNLÜ, Mehmet DİNÇSOY
KARDÖKMAK A.Ş., Karabük, Türkiye

ÖZET

Bu çalışmada, ingot döküm yöntemiyle dökülen dövme yarımamul sıcaklığının, kullanılan kokil kalıba termal etkisi incelenmiştir. İncelemeler katılma süresinin %25, %50, %75 ve %100'ü baz alınarak yapılmış ve kokil kalıbın farklı cidar kalınlıklarındaki termal davranışları araştırılmıştır. Kalıp cidar kalınlığı artışının ingot katılma süresini uzattığı, maksimum sıcaklığa maruz kalan bölgenin kalıp cidarının ingotla temas eden bölgesi olduğu ve yapılan üç farklı simülasyonda da sıcaklıktan en fazla etkilenen bölgenin ingot yarı boy yüksekliğine denk gelen bölge olduğu görülmüştür.

Anahtar kelime; İngot döküm yöntemi, MAGMASOFT, SOLIDWORKS, Süreç simülasyonu.

ABSTRACT

In this study, the thermal effect of the temperature of the forged semi-product cast by the ingot casting method on the permanent mold used was examined. The investigations were made based on 25%, 50%, 75% and 100% of the solidification time and the thermal behavior of the permanent mold at different wall thicknesses was investigated. It has been observed that increasing the mold wall thickness prolongs the ingot solidification time, the region exposed to the maximum temperature is the region of the mold wall in contact with the ingot, and in three different simulations, the region most affected by the temperature is the region corresponding to the half-length height of the ingot.

Keywords; Ingot casting method, MAGMASOFT, SOLIDWORKS, Process simulation.

1.GİRİŞ

İngot döküm ürününün kalitesi, dövme veya hadde yarımamul ürünlerinin kalitesine karar verdiği için çelik üreticileri için büyük önem taşımaktadır. İngot döküm yöntemi, diğer döküm yöntemlerine göre dövme çelik endüstrisi için kaliteli yarı mamul üretimi ve prosesdeki temel bileşenlerin (kalıp sistemi) sürekli kullanıma uygun olması, endüstride tercih sebebi olmasını sağlamaktadır. İngot döküm prosesi katılaşma hızı ve içerisinde minimum segregasyon, porozite, çekme etkileri ve maksimum verim göz önünde bulundurulduğunda diğer döküm yöntemlerine kıyasla katma değerli üretim ve proses hızı yönünden dövme çelik sektörü açısından önemli bir konumda olduğu görülmektedir.

Endüstride önemli ihtiyaç olarak görülen standart ebatların üzerinde, yüksek ağırlığa sahip dövme yarı mamulü üretiminde ingot döküm yöntemi kullanılmaktadır. Bu özelliklere sahip ingotun katılaşma sürecinde gözlenen katılaşma süresinin artması, soğuma sürecindeki gecikme vb. gibi durumlardan ötürü ingot içerisinde oluşabilecek döküm hatalarının, kullanılan kokil kalıbın (ingot kalıbı) cidar kalınlığı ve kalıp malzemesi kalitesinin değiştirilerek katılaşma sürecinin yönetilmesiyle giderilebileceği yapılan çalışmalarda görülmektedir (1,2,3).

Dökülen takım çeliğinin likidüs sıcaklığının kullanılan küresel grafitli dökme demir kalıp malzemesinin likidüs sıcaklığından daha fazla olmasından dolayı dökme demir kalıp malzemesi ingot katılaşması esnasında yüksek sıcaklıklara maruz kalmaktadır. Kalıba tekrarlı olarak uygulanan bu ısıl işlemin her kullanımda kalıp malzemesi içyapısındaki karbürlerin artmasına ve termal yorulmalar nedeniyle sertleşerek çatlaklar oluşmasına neden olmaktadır. Kalıp kullanım ömrünün beklenenden daha az olması sebebiyle bu çalışmanın yapılması amaçlanmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Malzeme: Bu çalışmada kalıp ve ingot malzeme kaliteleri sektörel uygulamalar ve ihtiyaçlar göz önünde bulundurularak seçilmiştir. Bu seçim doğrultusunda ingot malzeme için Çizelge 1'deki kimyasal içerik, kokil kalıp için ise Çizelge 2'deki kimyasal içerik kullanılmıştır. İngot ısı iletkenliği 25,0 W/m.K, ingot kalıbı ısı iletkenliği ise 52 W/m.K'dir.

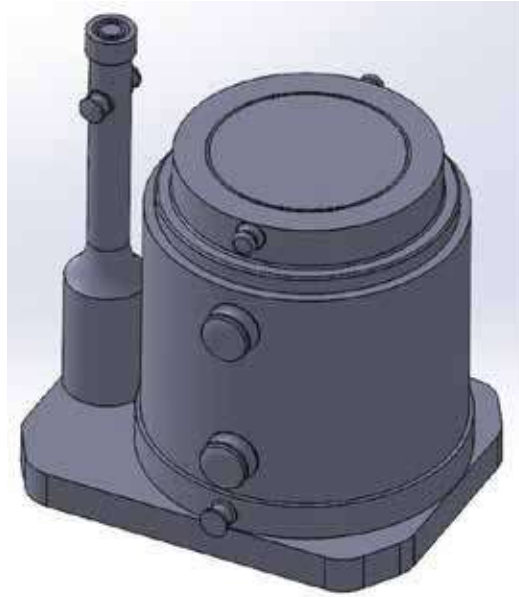
KALİTE		C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V
X40CrMoV5-1	Standart Bileşim	0,35-0,42	0,8-1,2	0,25-0,5	0,03	0,02	4,8-5,5	1,2-1,5	0,85-1,15

Çizelge 1 : İngot için kullanılan çelik malzemenin ağırlıkça kimyasal içeriği [5]

KALİTE		C	Si	Mn	P	S	Mg
GGG40	Standart Bileşim	3,5-3,6	3-3,2	0,5	0,07	0,02	0,04

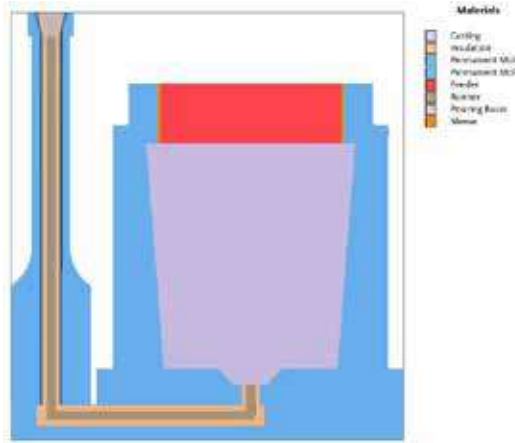
Çizelge 2 : Kalıp için kullanılan dökme demir malzemenin ağırlıkça kimyasal içeriği [4]

2.2. İngot Döküm Sistemi Elemanlarının 3 Boyutlu Tasarımları: İngot döküm sistemine ait kalıp bileşenleri, bu kalıbı dolduracak metal ve döküm işlemine yardımcı sarf malzemeler gibi tüm elemanların 3 boyutlu modellemeleri SOLIDWORKS programı kullanılarak yapılmıştır. Üretimi planlanan ingot 31533 kg, konikliği ise 9,028°dir.



Şekil 1 : İngot döküm bileşenlerinin SOLIDWORKS programında 3 boyutlu modellenmiş hali

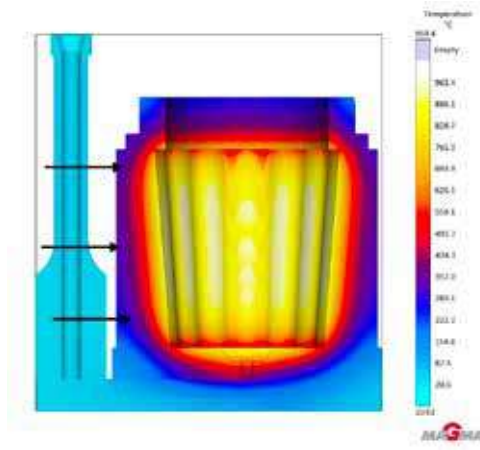
2.3. Simülasyon Çalışmaları: Yapılan simülasyon çalışmalarında ingot kalıbı cidar kalınlıkları birbirinden farklı olmak üzere toplam 3 versiyonda çalışılmıştır. Çalışılan her versiyonda ingot kalıbı döküm öncesi 250°C ısıtılmış, döküm sıcaklığı ise 1580°C'dir. Çalışmalarda yalnızca ingot katılaştırması yapılmış, ingot kalıbının katılaşma sürecindeki termal davranışı incelenmiştir.



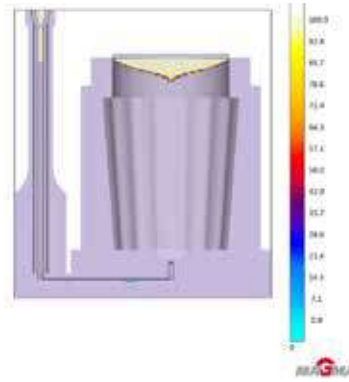
Şekil 2 : İngot döküm bileşenlerinin MAGMASOFT programında modellenmiş hali

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Yapılan simülasyon çalışmalarında Şekil 3'ten de görüleceği gibi ingot kalıbının kalıp yarı yüksekliği bölgesindeki sıcaklıktan daha fazla etkilendiği, ingot ve ingot kalıbı arasındaki ısı transferinin dairesel bir formda yayıldığı gözlenmektedir. Özellikle sıvı metal ile temas eden kalıp iç cidarının, cidarın diğer bölgelerindeki noktalara göre sıcaklıktan daha fazla etkilendiği görülebilmektedir. Her üç çalışmanın sonucunda da Şekil 4'teki gibi çekinti, porosite vb. gibi döküm hataları ile karşılaşılmamıştır.

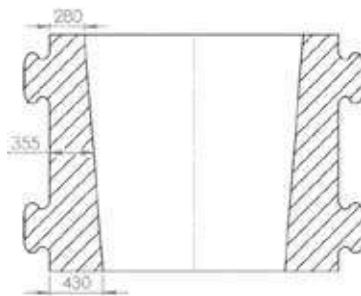


Şekil 3 : İngot ile kokil kalıp arasındaki ısı geçişinin MAGMASOFT programında modellenmesi

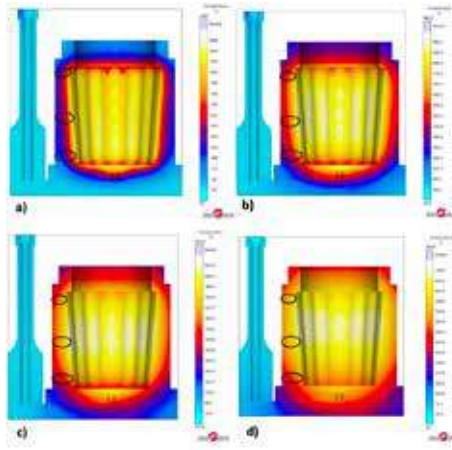


Şekil 4 : Simülasyon çalışmasında ingot katılaşmasından sonraki çekinti durumu

3.1. İnce Cidar Kalınlığına Sahip İngot Kalıbı Kullanımı: Bu çalışmada ingot katılaşma süresi 806 dakika olarak hesaplanmıştır. Şekil 6'da işaretlenmiş bölgelerden yararlanılarak ingot kalıbı yarı yüksekliğinin farklı sıcaklık değerlerindeki cidar kalınlıkları manuel olarak hesaplanmış ve Çizelge 3'te verilmiştir.



Resim 5 : İnce cidar kalınlığına sahip olarak tasarlanan ingot kalıbının ölçüleri

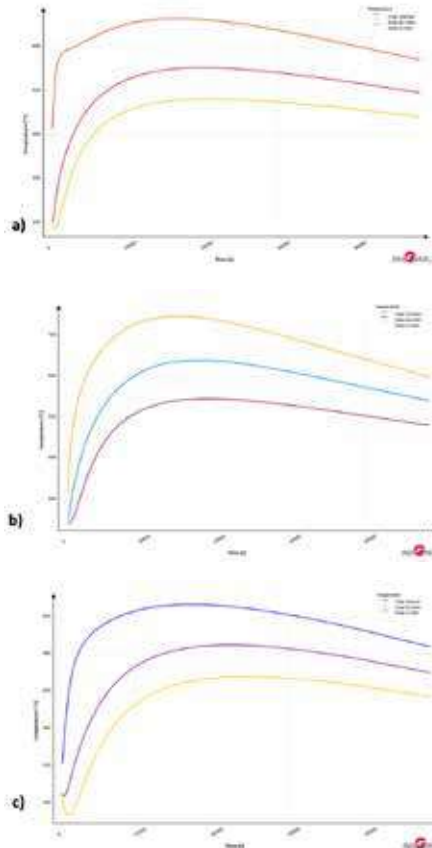


Şekil 6 : Katılma süresinin %25 (a), %50 (b), %75 (c) ve %100 (d) ilerleyişindeki kokil kalıp ısınma miktarları

Ortalama Cidar Kalınlığına Sahip Bölge	Katılma Süresinin Tamamlanması	Açık sarı renk ile temsil edilen bölge	Sarı renk ile temsil edilen bölge	Turuncu renk ile temsil edilen bölge	Kırmızı renk ile temsil edilen bölge	Mor renk ile temsil edilen bölge	Mavi renk ile temsil edilen bölge
	%25 (201,5 dakika)	-	71 mm	35,5 mm	71 mm	35,5 mm	142 mm
	%50 (403 dakika)	-	106,5 mm	106,5 mm	142 mm	-	-
	%75 (604,5 dakika)	35,5 mm	142 mm	142 mm	35,5 mm	-	-
	%100 (806 dakika)	71 mm	177,5 mm	106,5 mm	-	-	-

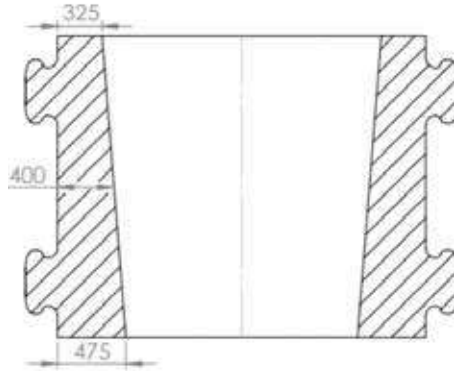
Çizelge 3 : İngot yarı yükseklik bölgesindeki kalıp cidarında oluşan ısınma miktarları

Şekil 6'da işaretlenen bölgelerin her birinden kalıp iç cidarı, cidar merkezi ve kalıp dış cidarı bölgelerinden 3 adet nokta seçilerek sıcaklık-zaman grafikleri elde edilmiştir (Şekil 7). Bu grafiklerden yararlanılarak aynı süredeki termal davranışlar kıyaslandığında tüm bölgelerde kalıp iç cidarının en çok ısınan bölge olduğu ve 355 mm cidar kalınlığına sahip olan ingot yarı boy yüksekliği bölgesinin ise ısıdan daha fazla etkilendiği görülebilmektedir.

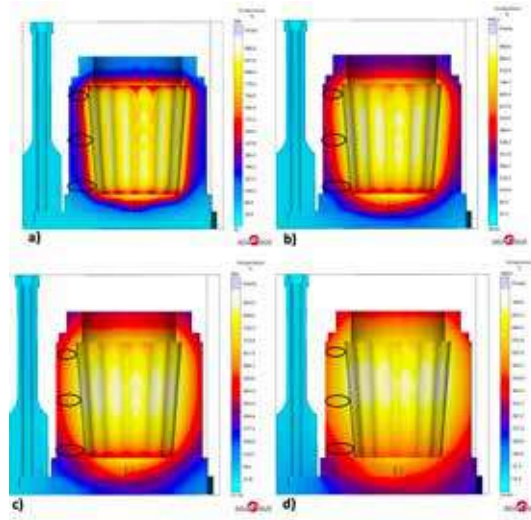


Resim 7 : İnce cidar kalınlığına sahip ingot kalıbının üst (a), orta (b) ve alt bölgelerinden alınan noktaların sıcaklık değişimleri

3.2. Ortalama Cidar Kalınlığına Sahip İngot Kalıbı Kullanımı: Bu çalışmada ingot katılma süresi 828 dakika olarak hesaplanmıştır. Şekil 9'da işaretlenmiş bölgelerden yararlanılarak ingot kalıbı yarı yüksekliğinin farklı sıcaklık değerlerindeki cidar kalınlıkları manuel olarak hesaplanmış ve Çizelge 4'te verilmiştir.



Şekil 8 : Ortalama cidar kalınlığına sahip olarak tasarlanan ingot kalıbının ölçüleri

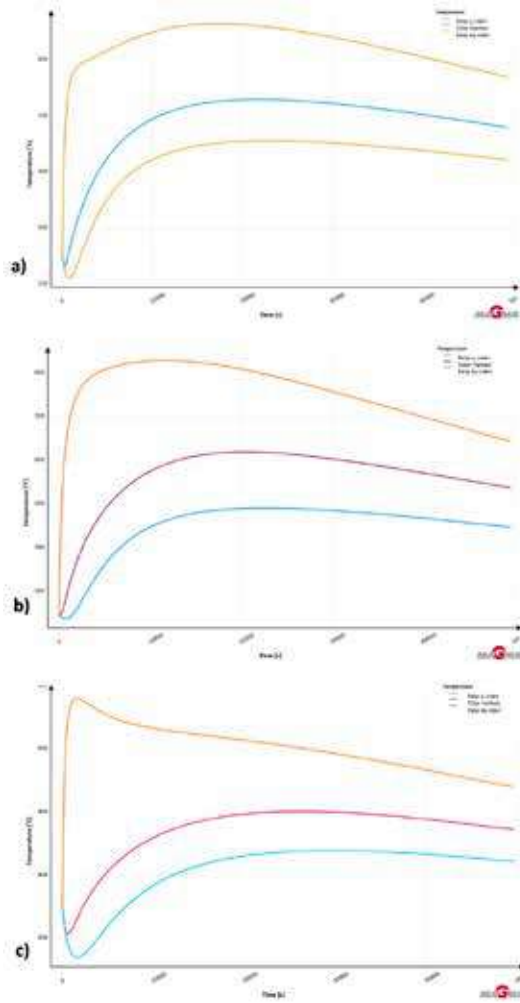


Resim 9 : Katılma süresinin %25 (a), %50 (b), %75 (c) ve %100 (d) ilerleyişindeki kokil kalıp ısınma miktarları

Ortalama Cidar Kalınlığına Sahip Bölge	Katılma Süresinin Tamamlanması	Açık sarı renk ile temsil edilen bölge	Sarı renk ile temsil edilen bölge	Turuncu renk ile temsil edilen bölge	Kırmızı renk ile temsil edilen bölge	Mor renk ile temsil edilen bölge	Mavi renk ile temsil edilen bölge
	%25 (207 dakika)	-	72,72 mm	36,36 mm	72,72 mm	72,72 mm	145,45 mm
	%50 (414 dakika)	36,36 mm	109,08 mm	72,72 mm	145,45 mm	36,36 mm	-
	%75 (621 dakika)	66,66 mm	133,33 mm	199,98 mm	199,98 mm	-	-
	%100 (828 dakika)	36,36 mm	181,81 mm	181,81 mm	-	-	-

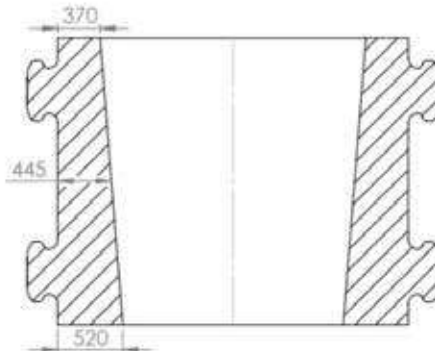
Çizelge 4 : İngot yarı yükseklik bölgesindeki kalıp cidarında oluşan ısınma miktarları

Şekil 9'da işaretlenen bölgelerin her birinden kalıp iç cidarı, cidar merkezi ve kalıp dış cidarı bölgelerinden 3 adet nokta seçilerek sıcaklık-zaman grafikleri elde edilmiştir (Şekil 10). Bu grafiklerden yararlanılarak aynı süredeki termal davranışlar kıyaslandığında tüm bölgelerde kalıp iç cidarının en çok ısınan bölge olduğu ve 400 mm cidar kalınlığına sahip olan ingot yarı boy yüksekliği bölgesinin ise ısıdan daha fazla etkilendiği görülebilmektedir.

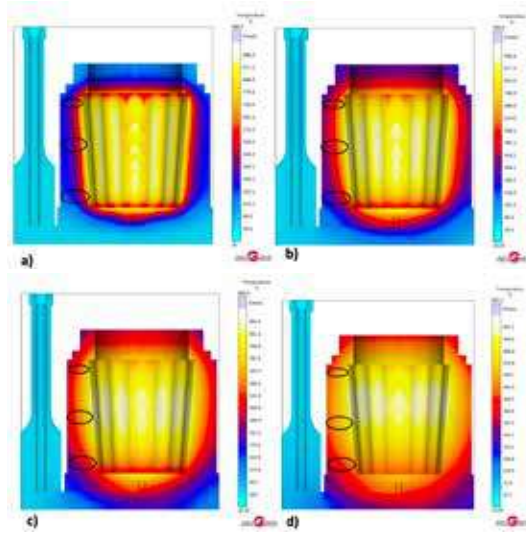


Resim 10 : Ortalama cidar kalınlığına sahip ingot kalıbının üst (a), orta (b) ve alt bölgelerinden alınan noktaların sıcaklık değişimleri

3.3. Kalın cidar kalınlığına sahip ingot kalıbı kullanımı: Bu çalışmada ingot katılma süresi 828 dakika olarak hesaplanmıştır. Şekil 12'de işaretlenmiş bölgelerden yararlanılarak ingot kalıbı yarı yüksekliğinin farklı sıcaklık değerlerindeki cidar kalınlıkları manuel olarak hesaplanmış ve Çizelge 5'te verilmiştir.



Resim 11 : Kalın cidar kalınlığına sahip olarak tasarlanan ingot kalıbının ölçüleri

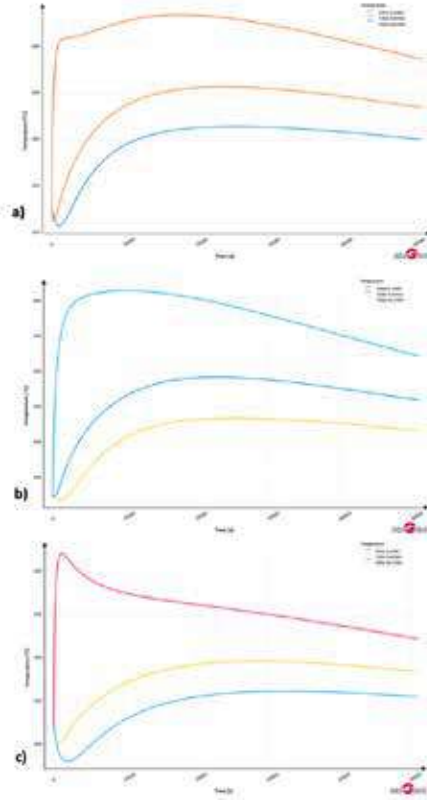


Resim 12 : Katılma süresinin %25 (a), %50 (b), %75 (c) ve %100 (d) ilerleyişindeki kokil kalıp ısınma miktarları

	Katılma Süresinin Tamamlanması	Açık sarı renk ile temsil edilen bölge	Sarı renk ile temsil edilen bölge	Turuncu renk ile temsil edilen bölge	Kırmızı renk ile temsil edilen bölge	Mor renk ile temsil edilen bölge	Mavi renk ile temsil edilen bölge
Ortalama Cidar Kalınlığına Sahip Bölge	%25 (212,25 dakika)	-	68,46 mm	34,23 mm	102,69 mm	34,23 mm	205,38 mm
	%50 (424,5 dakika)	37,08 mm	74,16 mm	111,25 mm	148,33 mm	74,16 mm	-
	%75 (636,75 dakika)	37,08 mm	185,41 mm	111,25 mm	111,25 mm	-	-
	%100 (849 dakika)	74,16 mm	185,41 mm	185,41 mm	-	-	-

Çizelge 5 : İngot yarı yükseklik bölgesindeki kalıp cidarında oluşan ısınma miktarları

Şekil 12’de işaretlenen bölgelerin her birinden kalıp iç cidarı, cidar merkezi ve kalıp dış cidarı bölgelerinden 3 adet nokta seçilerek sıcaklık-zaman grafikleri elde edilmiştir (Resim 12). Bu grafiklerden yararlanılarak aynı süredeki termal davranışlar kıyaslandığında tüm bölgelerde kalıp iç cidarının en çok ısınan bölge olduğu ve 445 mm cidar kalınlığına sahip olan ingot yarı boy yüksekliği bölgesinin ise ısıdan daha fazla etkilendiği görülebilmektedir.



Resim 12 : Kalın cidar kalınlığına sahip ingot kalıbının üst (a), orta (b) ve alt bölgelerinden alınan noktaların sıcaklık değişimleri

4. SONUÇLAR

Yapılan çalışma sonucunda ingot kalıbının cidar kalınlığının artırılmasıyla birlikte ingot katılma süresinin de arttığı gözlenmiştir. Tüm cidar kalınlıklarıyla yapılan çalışmalarda maksimum sıcaklığa sahip olan bölgenin ingot yarı yüksekliğine eşit olan bölge olduğu görülmektedir. Aynı cidar kalınlığına göre kıyas yapıldığında ise en yüksek sıcaklığın ingot yarı yükseklik bölgesinde, en düşük sıcaklığın ise ingot kalıbı alt bölgesinde olduğu görülmüştür. Aynı cidar kalınlığında katılma süresi uzadıkça kalıp sıcaklığı da artış göstermiştir. Kokil kalıp cidar kalınlığının arttırılması, soğutucu etki göstererek kalıp ısınmasının belli bir miktarda da olsa önüne geçmiştir.

Yapılan tasarım iyileştirmesinde ingot kalıbının et kalınlığının arttırılmasıyla kalıp ısınmasının geciktiği görülmüştür. Konuyla ilgili olarak yalnızca kalıp et kalınlığının değiştirilmesinin yeterli olmadığı, ingot boyunun da uzatılıp soğutucu etki gösterecek metal hacminin arttırılması ve mevcut ısı transferinin yalnızca ingot yarı yükseklik bölgesine değil, tüm ingot boyuna yayılması sağlanarak tasarımın iyileştirilmesi sağlanabilir. Bunun haricinde kokil kalıp malzemesinin ısı transfer katsayısı, yapılan çalışmada kullanılan malzemeden daha yüksek bir malzeme seçilerek tasarımda iyileştirmeler yapılabilir.

5. KAYNAKLAR

1. Patil, P., Puranik, A., Balachandran, G., & Balasubramanian, V. (2016). FEM simulation of effect of mould wall thickness on low alloy steel ingot solidification. *Ironmaking & Steelmaking*, 43(8), 621–627.
2. M Heidarzadeh, H Keshmiri, Influence of Mould and Insulation Design on Soundness of Tool Steel Ingot by Numerical Simulation, *Journal of Iron and Steel Research, International*, Volume 20, Issue 7, July 2013, Pages 78-83
3. Patil, P., Puranik, A., Balachandran, G. et al. Improvement in Quality and Yield of the Low Alloy Steel Ingot Casting Through Modified Mould Design. *Trans Indian Inst Met* 70, 2001–2015 (2017)
4. TS 526 EN 1563 Dökümler- Küresel Grafitli Dökme Demirler
5. BS EN ISO 4957:2000, Tool Steels

AlSi7Mg0,3 Isıl İşlemlili Parçalarda Mekanik Özelliklerin Boya Fırın Geçiş Sayısı İle İlişkisi

Doğın ALPDORUK*, Berkay ORAL*, Fulya EYÇİN*
*Döktaş Dökümcülük Ticaret ve Sanayi A.Ş, Manisa, Türkiye.

ÖZET

LPDC yöntemiyle AlSi7Mg0.3 alaşımından üretilen jantlar; yüksek mukavemet ve korozyon direncine sahip, hafif, araç performansını artıran ve yakıt tasarrufu sağlayan estetik görünümlü ürünlerdir. T6 ısıt işlemlili mekanik özellikleri arttırılmaktadır. Döküm, ısıt işlemlili ve boyama süreçlerinde ürünün maruz kaldığı ekstra yaşlandırma ise mekanik özellik değışimine sebep olmaktadır. Beklenen mekanik özelliklerin sağlanabilmesi için boya fırını geçişleri sonrası jantın tüm bölgelerinden Brinell sertlik ve çekme testleri yapılarak sonuçları karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, mikroyapısal değışim olmayıp istatistiksel olarak analiz edilmiş, iki boya fırını geçişinden sonra sertlik, çekme ve akma değerlerinin artmadığı gözlemlenmiştir. Bir boya fırını geçişinden sonra ise %uzama değerlerinde azalma olduğu gözlemlenmiştir.

Keywords: AlSi7Mg0,3, Jant, T6 Isıl İşlemlili, Sertlik, Yaşlanma

ABSTRACT

LPDC AlSi7Mg0.3 alloy wheels provide aesthetic appearance, high-strength, light, safe, fuel-saving, increasing the amount of performance vehicles. After T6 heat treatment, extra aging in painting exposed to cause changes in mechanical properties. Hardness and tensile test results in all regions of wheels were compared after passing through the paint ovens. As a result, it was determined that hardness, tensile and yield strength values didn't increase after two paint ovens passes, based on the analysis of whether microstructural changes could be demonstrated. After 1 paint oven pass, it has also been found that decrease in % elongation values was observed.

Keywords: AlSi7Mg0,3, Wheel, T6 Heat Treatment, Hardness, Aging

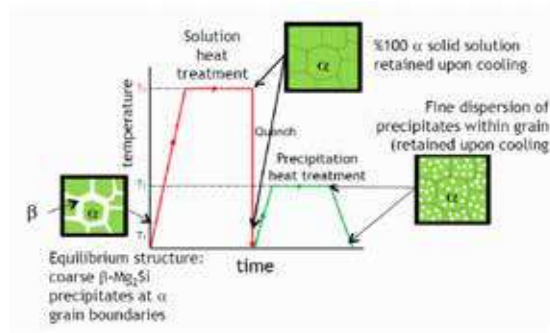
1. GİRİŞ

Jant, bir aracın lastiğini taşıyan ve dönerken lastiğe destek sağlayan metal çemberdir. Otomotiv endüstrisinde jantlar, araçların yol tutuş performansını, güvenliğini ve estetik görünümünü doğrudan etkileyen kritik bileşenlerdir (1). Jantlar, genellikle alüminyum alaşımlarından üretilir ve düşük basınçlı döküm yöntemi yaygın olarak kullanılır. Bu üretim yöntemi, jantların hafif olmasını ve aynı zamanda yüksek mukavemete sahip olmasını sağlar (2). AlSi7Mg0.3 alaşımı, özellikle jant üretiminde tercih edilen bir malzemedir. Bu alaşım, %7 silisyum ve magnezyum içerir ve alüminyum ile birleşerek yüksek mukavemet, hafiflik ve korozyon direnci gibi üstün özellikler kazandırır (3). AlSi7Mg0.3 alaşımının kullanımı, jantların hafif olmasını sağlayarak araçların yakıt verimliliğini artırır ve sürüş dinamiklerini iyileştirir. Aynı zamanda, T6 ısıl işlemi uygulandığında, bu alaşımın mukavemet ve sünekliği daha da artırılarak jantların yorulma ve darbe direnci optimize edilir (4). Jant üretim süreçlerinde döküm, ısıl işlem ve boyama gibi çeşitli işlemler uygulanır. Bu süreçlerin her biri, jantların nihai mekanik özelliklerini ve performansını etkiler. Özellikle boyama işlemi, jantların estetik görünümünü iyileştirmenin yanı sıra, mekanik özellikler üzerinde de önemli etkiler yaratabilir (5). Boyama sırasında jantlar yüksek sıcaklıklara maruz kalır ve bu sıcaklıklar, malzemenin mikroyapısını değiştirerek ek yaşlandırma süreçlerine neden olabilir (6). Bu çalışmanın amacı, faz diyagramındaki %7 silisyum içeriğine sahip AlSi7Mg0.3 alaşımlı jantların boya fırınlarından geçişi sırasında maruz kaldığı ek yaşlandırma etkilerini bölgesel olarak incelemektir. Bu bağlamda, jantların farklı bölgelerinde yapılan Brinell (HB) sertlik ölçümleri ve çekme testleri sonuçları karşılaştırılarak, boyama sürecinin mekanik özellikler üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir (7). Boyama sürecinde meydana gelebilecek görsel kusurlar nedeniyle tekrarlanan boyama işlemlerinin jantların mekanik özelliklerine ve sertlik değerlerine etkisi de araştırılmıştır. Elde edilen veriler, jantların üretim sürecinde uygulanabilecek izin verilen boya geçiş sayısını belirlemek amacıyla kullanılmıştır (8). Böylece, jantların performans ve güvenlik standartlarını karşılayacak şekilde üretim süreçleri optimize edilmiştir (9). Bu araştırma, AlSi7Mg0.3 alaşımının boya fırınlarında maruz kaldığı ek yaşlandırma etkilerini anlamak ve jant üretim süreçlerini iyileştirmek için önemli veriler sağlamaktadır. Literatürde mevcut bilgilerle birlikte, bu çalışmanın bulguları AlSi7Mg0.3 alaşımının termal ve mekanik davranışlarına dair kapsamlı bir perspektif sunmaktadır (10).

1.1 T6 Isıl İşlem:

Alüminyum alaşımlarında genellikle daha yüksek dayanım, mukavemet, tokluk, sertlik gibi mekanik özellikler istendiğinde ısıl işlem akla gelir. Döküm alaşımlarına en yaygın ısıl işlem türü T6 ısıl işlemdir. T6: Çözeltiye alma işlemi yapılmış ve suni yaşlandırma yapılmış ısıl işlem türüdür. Dökülen jantlar sürekli sistem T6 ısıl işleme tabi tutularak sertlik ve mukavemet değerleri artırılır. Tablo 1’de T6 ısıl işlem proses set değerleri verilmiştir.

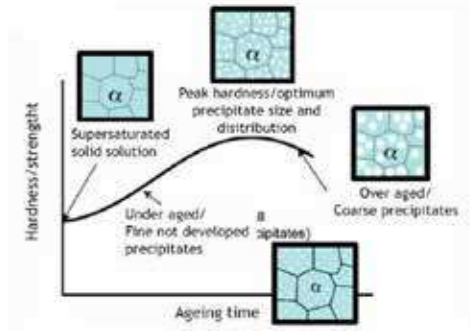
Şekil 1 de Al-Mg-Si sistemi T6 ısıl işlem çökelti oluşumu gösterildiği üzere; Al-Si faz diyagramına göre ötektik altı ve ötektik döküm alaşımlar $540 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta solüsyon (çözeltiye alma) işlemi uygulanır. Alaşıma sertliğini ve mukavemetini veren tane sınırlarında çökelmiş büyük Mg₂Si çökeltileri ve tüm yapı %100 olarak α katı solüsyon fazına geçer. Aniden 15 sn içerisinde daldırma sistemi ile parçalar $80 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ suya daldırılır. Bundan sonra $150 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta suni yaşlandırma prosesi ile tane içlerine daha küçük ve homojen çekirdeklenerek Mg₂Si çökeltilerinin dağılımı gerçekleşerek malzemeler istenen sertlik ve mukavemet değerlerine ulaştırılır. Şekil 2 de Al-Mg-Si sistemi T6 ısıl işlem ile sertlik/mukavemet ile yaşlandırma süresi ilişki grafiği gösterildiği üzere istenen yaşlandırma süresi yetersiz olması durumunda iyi ama yeterli çökelti oluşmamış bu sebeple sertlik/mukavemet istenen seviyede değil, optimum sürede yaşlandırma süresine tabi olması durumunda sertlik maksimum seviyede optimum çökelti boyutları ve dağılımı gerçekleşmiş ve yaşlandırma süresi çok olması durumunda ise aşırı yaşlandırma ile çökeltilerin boyutları büyümüş ve sertlik düşmeye başlamıştır.



Şekil 1 : Al-Mg-Si T6 ısıl işlem ile çökelti oluşumu

Isıl İşlem Adımı	Isıl İşlem Bölgesi	Set Sıcaklığı (°C)	Süre (dk)
Çözeltilme Alma	Solüsyon Fırını	540 ±5	240
Su Verme	Quench Havuzu	80 ±3	4
Yaşlandırma	Yaşlandırma Fırını	150 ±5	150

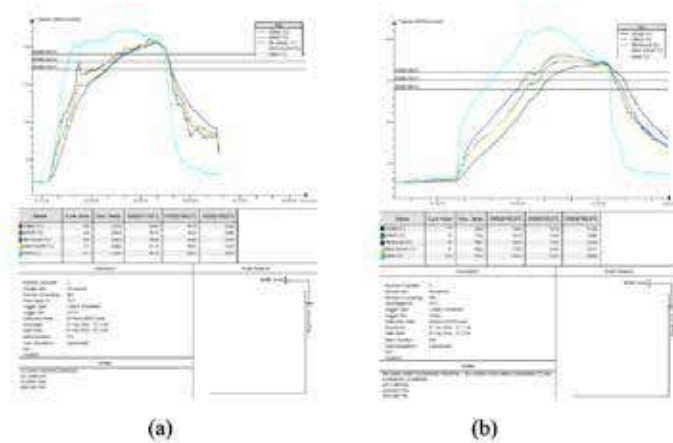
Tablo 1 : Isıl işlem Operasyon Set Değerleri



Şekil 2 : Al-Mg-Si T6 ısıl işlem ile sertlik/mukavemet ile yaşlandırma süresi grafiği

1.2 Boya Fırınları Etkileri

Boyama işlemi sırasında, çeşitli görsel kusurlar nedeniyle düzeltmeler yapılarak boyama işlemi tekrarlanabilir. Jantın boyutuna ve bölgesine bağlı olarak, toz kaplama işleminde sıcaklıklar 170-200 °C'ye ve yaş boya işleminde 140-170 °C'ye ulaşır. Jantın boyama işleminin mekanik özelliklerini etkilediği bilinmektedir. Boya fırınlarının jantta bölgesel bazda etkisini görülmesi için numune 1 parça üzerinden proses termograf ölçüm kayıtları alınmıştır. Jantların tüm bölgeleri toz boya prosesi sırasında 200 °C'yi görmektedir. Göbek bölgesi maximum sıcaklıkta daha uzun süre kalmıştır.



Şekil 3 : (a) Jant Toz Boya Fırın Termograf Kaydı (b) Jant Yaş Boya Fırın Termograf Kaydı

Jantların tüm bölgeleri toz boya prosesi sırasında 170 °C'yi görmektedir. İç rim ve dış rim bölgeleri maximum sıcaklıkta daha uzun süre kalmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışma, AlSi7Mg0.3 alaşımının ergitilerek alçak basınçlı döküm yöntemiyle jant üretimine odaklanmıştır. Döküm işleminden sonra, ısıl işleme tabi tutulan ve sonrasında boya fırınından geçirilen jantlardan kol, göbek ve kol-dış rim bölgelerinden numuneler alınmıştır. Bu numunelerin mikro yapısı, sertlik ve çekme test sonuçları detaylı bir şekilde incelenmiştir. Boya fırını geçişi incelemeleri, farklı yaş boya ve toz boya miktarlarıyla yapılmıştır. Örneğin, 1 yaş boya + 1 toz boya, 2 yaş boya + 2 toz boya gibi seri deneyler yapılmıştır ve bu seriler 8 yaş boya + 8 toz boya kullanılarak tamamlanmıştır. Çalışmada, her boya fırını (toz boya + yaş boya) geçişinden sonra jantın tüm bölgelerini içeren on beş noktadan Brinell (HB) sertlik ölçümleri alınmış ve jantın göbek, kol, dış rim bölgelerindeki çekme testi sonuçları karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, tüm bölgelerdeki mikro yapısal değişiklikler ve kimyasal analizler dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Boya fırınlarında ek yaşlandırma etkisi nedeniyle farklı sertlik artışları gözlemlenmiştir. Elde edilen veriler, jantların boya fırınından geçiş sürecinde maruz kaldığı sıcaklığın (toz boya işleminde 170-200 °C, yaş boya işleminde 140-170 °C) ve bu sürecin tekrarlanma sayısının jantların mekanik özelliklerinde yaşlanma etkisine yol açtığını göstermektedir. Bu yaşlanma süreci, jantın mikro yapısı, sertlik ve çekme dayanımı gibi mekanik özelliklerinde değişikliklere neden olmaktadır. Bu nedenle, çalışmamızda farklı yaş boya ve toz boya sayılarında yapılan boya fırını geçişlerinin, jantların performansı ve dayanıklılığı üzerindeki etkilerini değerlendirmek amacıyla yapılmıştır. Bu şekilde elde edilen bulgular, jantların uzun vadeli kullanımı ve dayanıklılığı hakkında önemli bilgiler sağlamaktadır. Jant döküm işleminde AlSi7Mg0.3 ısıl işlemleri malzeme kullanılmıştır. AlSi7Mg0.3 alaşımı içeren jantlar alçak basınçlı döküm yöntemi kullanılarak üretilmiştir. Alçak basınç döküm yöntemi, otomotiv endüstrisinde en yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Jant ve motor bloğu imalatında tercih edilmektedir. Alçak basınçlı dökümde (LPDC) et kalınlığı fazla, homojen simetrideki, büyük parçaların seri bir şekilde ve düşük porozite oranlarında üretilmesine imkân vermektedir. AlSi7Mg0.3, magnezyum ilavesi ile daha iyi dökülebilirlik özelliklerine sahiptir. Bu, karmaşık şekillerin ve ince duvar kalınlıklarının dökümünde avantaj sağlar. Ayrıca, daha düşük erime sıcaklığı, işleme kolaylığı ve daha hızlı döküm süreleri sunabilir. AlSi7Mg0.3, magnezyumun etkisiyle daha düşük yoğunluğa sahiptir. Bu, uygulamada daha hafif ve daha verimli parçaların üretilmesine olanak tanır. Bu özellik, özellikle otomotiv endüstrilerinde önemlidir. Alüminyum alaşımları genel olarak iyi termal iletkenlik özelliklerine sahiptir. Ancak, AlSi7Mg0.3 magnezyum içeriğinden dolayı daha yüksek termal iletkenlik sağlayabilir. Bu, uygulamalarda daha iyi ısı dağılımı ve termal yönetim sağlar.

Kimyasal Analiz DA177/1 AlSi7Mg																	
Alloy %	Al	Si	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn	Ni	Pb	Sn	Ti	Sr	Cr	Na	Ca	P	B
Min. %	rest.	6,50	0,25	0	0	0	0	0	0	0	0,07	0,02	0	0	0	0	0
Max. %	rest.	7,50	0,32	0,15	0,02	0,04	0,04	0,02	0,005	0,005	0,16	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Result %	92,357	7,08000	0,28200	0,11700	0,00100	0,00200	0,00200	0,00400	0,00100	0,00040	0,08400	0,02300	0,00030	0,004	0,0002	0	0,001

Tablo 2 : Kimyasal Kompozisyon

Boya Fırın Toplam Geçiş Sayıları	Boya Hattı Fırın Tipi	Ürün Fırın Geçiş Sayısı
0	Döküm	Döküm Parça= 0
-	T6 HT Isıl İşlem	Isıl İşlemler Parça= 0,5
1	Toz Boya	-
2	Yaş Boya	İlk Ürün= 1
3	Toz Boya	-
4	Yaş Boya	1.Rework= 2
5	Toz Boya	-
6	Yaş Boya	2.Rework = 3
7	Toz Boya	-
8	Yaş Boya	3.Rework= 4
9	Toz Boya	-
10	Yaş Boya	4.Rework= 5
11	Toz Boya	-
12	Yaş Boya	5.Rework= 6
13	Toz Boya	-
14	Yaş Boya	6.Rework= 7
15	Toz Boya	-
16	Yaş Boya	7.Rework= 8

Tablo 3 : Deneysel çalışmalar için fırın geçiş sayısı ürün ilişkisi

AlSi7Mg0.3 alaşımı kullanılarak döküm yöntemiyle jantların üretimi gerçekleştirilmiştir. Döküm işleminden sonra jantlar, mekanik özelliklerini iyileştirmek amacıyla T6 ısıl işlemine tabi tutulmuştur. Ardından jantlara toplam sekiz ayrı boya fırın geçiş işlemi uygulanmıştır. İlk işlemde 1 toz boya ve 1 yaş boya, ikinci işlemde 2 toz boya ve 2 yaş boya, üçüncü işlemde ise 3 toz boya ve 3 yaş boya şeklinde ilerleyen işlemlerle devam edilmiş olup, bu şekilde toplamda 8 toz boya ve 8 yaş boya uygulaması tamamlanmıştır. Süreç toplamda 16 işlem adımını kapsamaktadır. Her aşamadan sonra numuneler alınarak mikro yapı incelemeleri yapılmış ve bu incelemeler, alaşımın yapısal özelliklerini ve jant üzerinde boya geçiş sayılarının etkilerini değerlendirmek için gerçekleştirilmiştir.

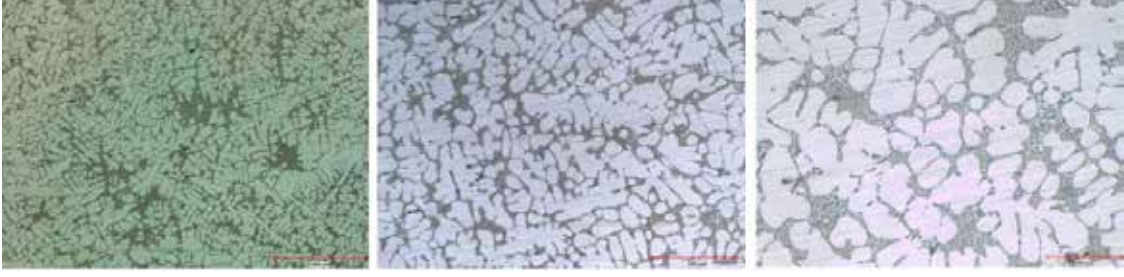
2.1 Jant Kesiti Bölge Tanımları



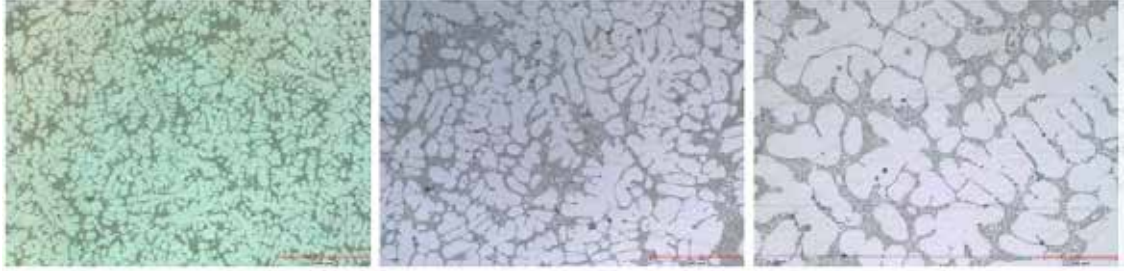
Şekil 4 : Mikroyapı Kesitleri

Mikroyapı incelemeleri için Nikon optik mikroskop ve Clemex yazılımı kullanılmıştır. Mikroyapı incelemesi öncesinde deney numuneleri metalurjik ön hazırlık işlemlerden geçirilerek hazırlanmıştır. Dağlayıcı olarak (%5HF + %95H₂O) kullanılarak yaklaşık 3- 4 sn boyunca dağlama işleminden geçirilen örneklerde incelemeler yapılmıştır.

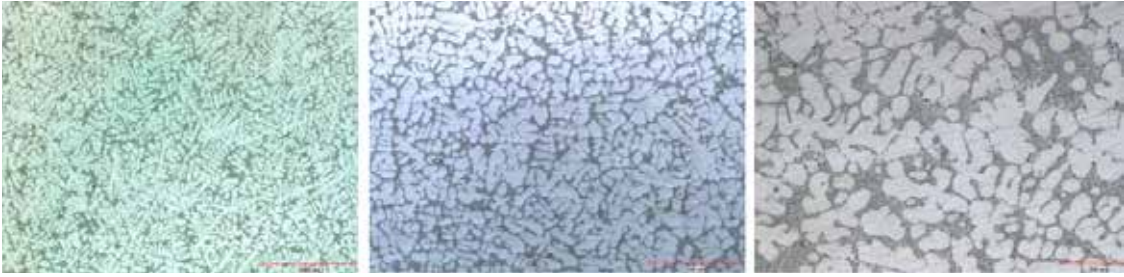
2.2 Döküm Sonrası Mikroyapı



Şekil 5 : Döküm Sonrası Kol 25x 50x 100x mikro yapı



Şekil 6 : Döküm Sonrası Göbek 25x 50x 100x mikro yapı

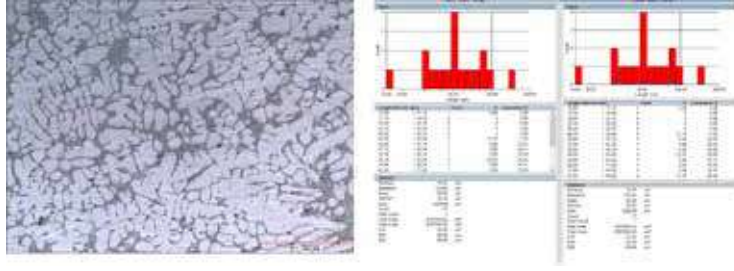


Şekil 7 : Döküm Sonrası Kol-Dış Rim 25x 50x 100x mikro yapı

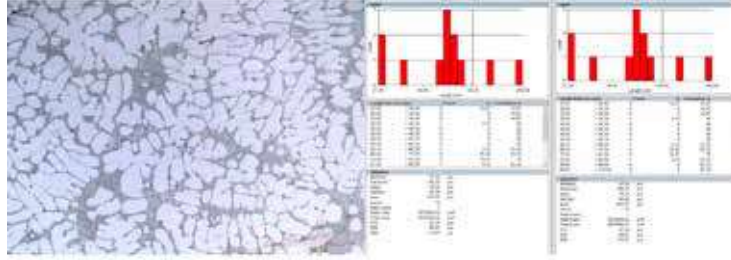
Mikroyapıda bölgesel bazda dendritik yapılar belirgindir. Kesit bölgesi daha kalın olan göbek bölgesi daha geç soğuduğu için daha büyük, kesit bölgesi en ince olan kol- dış rim bölgesi için rim bölgesinden sonra en hızlı soğuduğu için daha küçük olduğu gözlemlenmiştir. Gri renkli alanlar, alfa-alüminyum dendritlerini temsil ederken, daha koyu alanlar ötektik silis fazlarını göstermektedir. Silis fazları incelediğinde istendiği gibi Sr ile modifiye olmuş küresel olduğu görülmüştür.

2.3 Döküm sonrası DAS, SDAS:

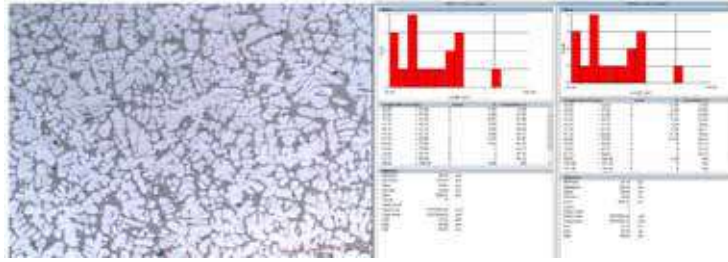
Dendrit kolları arası mesafe DAS , ikincil dendrit kolları arası mesafe ise SDAS olarak tanımlanır. Mikroskopta yüklü yazılımlar sayesinde farklı alanlardan alınan ve seçilen dendrit kolları üzerinden μm cinsinden uzunluk miktarıdır. DAS, SDAS ne kadar küçük ise mukavemet ve %uzama değerleri yüksek olur. Yukarıda mikroyapı yorumlamasında belirtildiği gibi en hızlı katılaştıran soğuyan bölgenin DAS,SDAS dendrit kolları arası mesafesi daha küçük olur ve bu bölgelerin mukavemeti ve %uzama değerleri daha yüksek olur. Şekil 8 , 9 ve 10.da bölgesel bazlı SDAS analizleri ve ortalama değerleri görülmektedir;



Şekil 8 : Döküm Sonrası SDAS Kol 50x - ortalama = 59,3μm



Şekil 9 : Döküm Sonrası SDAS Göbek 50x : ortalama = 76,3μm



Şekil 10 : Döküm Sonrası SDAS Kol-Dış Rim 50x: ortalama = 50,8 μm

2.4 Isıl İşlemlili Mikrovapı



Şekil 11 Isıl işlemlili Kol 25x 50x 100x mikro yapı



Şekil 12 Isıl işlemlili Göbek 25x 50x 100x mikro yapı

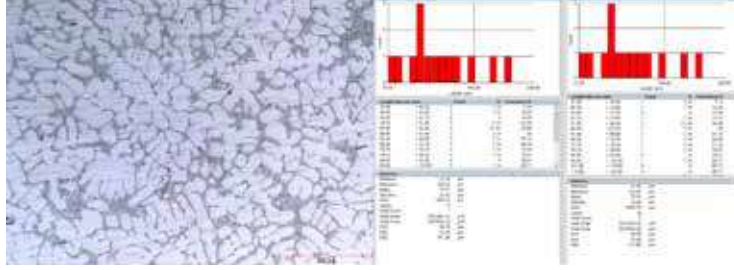


Şekil 13 Isıl işlemlili Kol-Dış Rim 25x 50x 100x mikro yapı

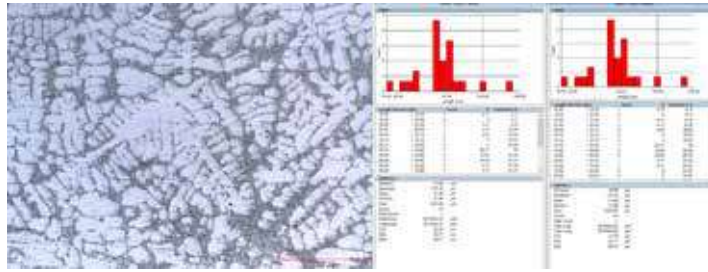
Isıl işlem sonrası mikroyapılar incelendiğinde mikroyapılar homojenize ve Si partiküllerinin küreselleşmiş fibröz yapıda olduğu görülmektedir.

2.5 Isıl İşlemlili SDAS:

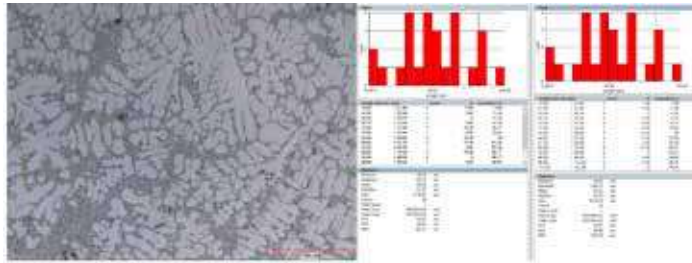
Şekil 14 , 15 ve 16 bölgesel bazlı SDAS analizleri ve ortalama değeri görülmektedir;



Şekil 14 : Isıl İşlemlili SDAS Kol 50x: ortalama = 72,9 μm



Şekil 15 : Isıl İşlemlili SDAS Göbek 50x - ortalama = 51,0 μm



Şekil 16 : Isıl İşlemlili SDAS Kol-Dış Rim 50x - ortalama = 58,3 μm

2.6 1 toz boya, 1 yaş boya



Şekil 17 1 Toz, 1 Yaş Boya Kol 25x 50x 100x mikro yapı



Şekil 18 1 Toz, 1 Yaş Boya Göbek 25x 50x 100x mikro yapı



Şekil 19 1 Toz, 1 Yaş Boya Kol-Dış Rim 25x 50x 100x mikro yapı

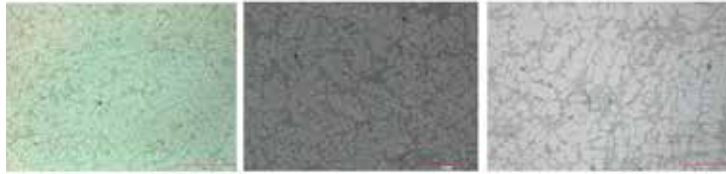
2.7 2 toz boya, 2 yaş boya



Şekil 20 2 Toz, 2 Yaş Boya Kol 25x 50x 100x mikro yapı



Şekil 21 2 Toz, 2 Yaş Boya Göbek 25x 50x 100x mikro yapı



Şekil 22 2 Toz, 2 Yaş Boya Kol-Dış Rim 25x 50x 100x mikro yapı

2.8 3 toz boya, 3 yaş boya



Şekil 23 3 Toz, 3 Yaş Boya Kol 25x 50x 100x mikro yapı



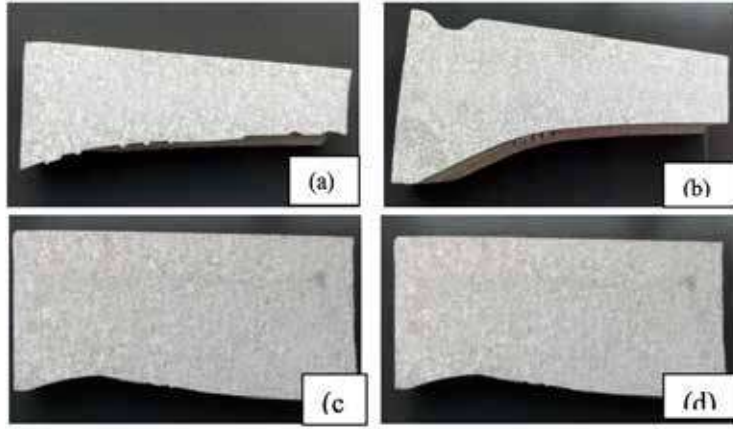
Şekil 24 3 Toz, 3 Yaş Boya Göbek 25x 50x 100x mikro yapı



Şekil 25 3 Toz, 3 Yaş Boya Kol-Dış Rim 25x 50x 100x mikro yapı

3 toz ve 3 yaş boya fırın geçişine kadar mikroyapıdaki olası değişim kol, göbek ve kol-rim birleşim bölgelerinde incelenmiş olup mikroyapıda herhangi bir değişim gözlemlenmemiştir.

2.9 Makroyapı

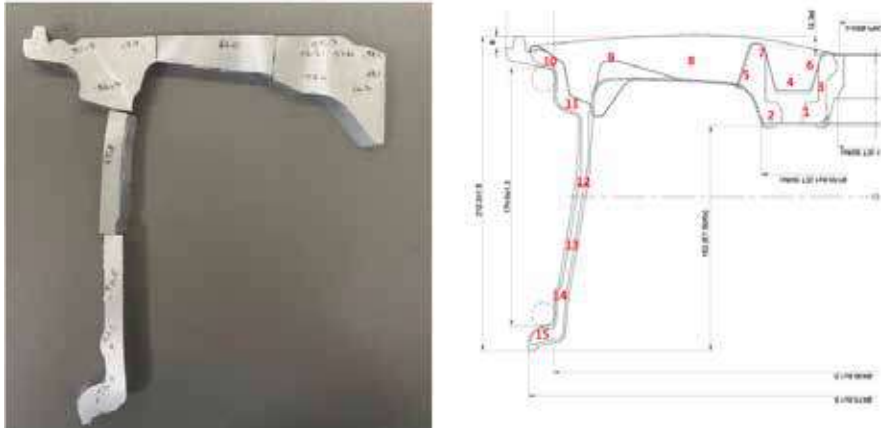


Şekil 26 : a) Döküm Kol Makroyapı b) Isıl İşlem Sonrası Kol Makroyapı c) 1 Toz 1 Yaş Fırınlı Kol Makroyapı d) 2 Toz 2 Yaş Fırınlı Kol Makroyapı

Yukarıda makroyapı görüntüleri Fe_3Cl ile dağlanmış olup alüminyum tanelerinin döküm, ısıl işlem , 1 toz 1 yaş fırın geçiş sonrası ve 2 toz 2 yaş fırın geçiş sonrası görselleri kıyaslanmış olup döküm sonrası daha kaba ve bölgesel anlamda farklı olan taneler ısıl işlem sonrası ince ve homojen dağılmıştır. Boya fırınları geçiş sonrası ısıl işlem sonrası haline kıyasla belirgin bir fark görülmemiştir.

2.10. Sertlik Testleri

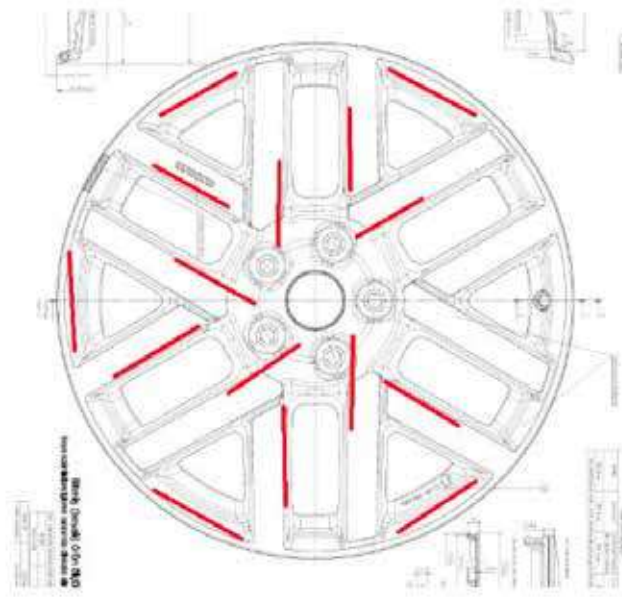
Sertlik ölçümleri QNESS QATM sertlik ölçüm cihazı ile 5mm bilya çaplı 250 kg yük ile yapılmış olup jant kesitinde belirtilen 15 noktadan HB brinell sertlik ölçümleri alınmış olup, sertliğin tüm süreçler boyunca değişimi incelenmiştir.



Şekil 27 : Sertlik Ölçüm Noktalarının Kesit Üzerinde Gösterimi

2.11. Sertlik Testleri

DIN 50125 Form A 6x30 mm numune boyutlarında çekme numuneleri jantta aşağıda kırmızı ile gösterilen bölgelerden alınarak hazırlanmış olup, Shimadzu 100kN çekme test cihazında testler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 28 : Jant Üzerinde Çekme Test Numune Alınan Bölgeler

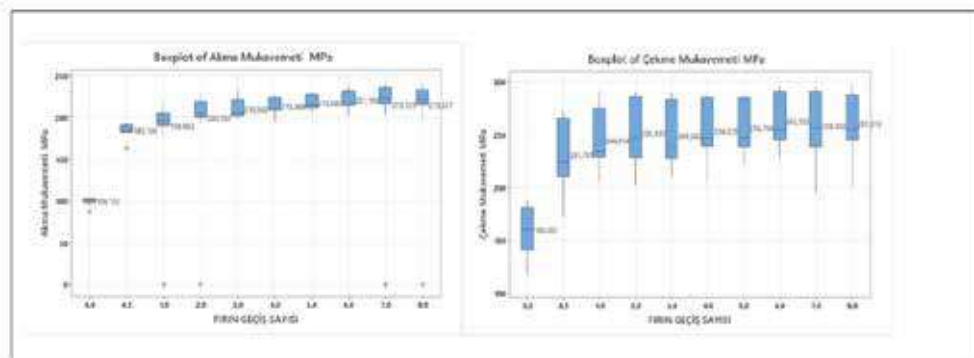
Sertlik Taraması HB															
No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	56,7	57,0	59,1	58,2	56,2	57,6	55,9	56,0	57,4	56,8	56,4	59,8	56,8	57,2	56,7
T6=0,5	73,6	72,8	77,4	76,2	74,2	75,6	78,6	87,6	83,7	83,1	83,7	82,8	82,5	81,1	86,1
1;1	84,5	85,8	81,7	83,1	84,5	84,3	85,8	84,7	82,1	85,2	84,5	83,7	81,5	84,2	91,3
1;2	86,3	85,0	82,8	85,6	90,4	89,5	85,3	86,7	87,8	87,8	92,7	86,7	92,4	91,1	91,2
1;3	92,0	90,6	90,0	87,7	88,6	97,6	91,4	85,9	90,6	95,1	89,1	95,0	91,3	96,8	87,6
1;4	88,4	88,0	86,1	93,7	87,2	87,2	95,1	84,4	90,5	96,6	96,1	90,4	92,7	94,5	95,6
1;5	85,3	89,7	91,3	82,3	92,0	88,3	92,3	90,9	95,5	93,4	97,3	88,6	87,2	92,3	93,0
1;6	93,8	91,6	86,0	90,1	84,7	86,7	92,0	90,4	90,0	92,0	92,7	96,1	93,5	91,6	95,3
1;7	84,6	87,7	88,3	83,5	96,3	93,7	92,3	89,5	89,1	94,6	97,3	88,6	92,1	92,5	96,8
1;8	92,7	88,0	86,7	90,4	93,0	91,1	89,5	88,9	92,0	93,7	90,5	90,1	88,4	92,1	95,0

Tablo 4 : Sertlik Taramalar

3. SONUÇLAR

3.1 İstatistiksel Analiz

3.2 Akma ve Çekme Mukavemeti

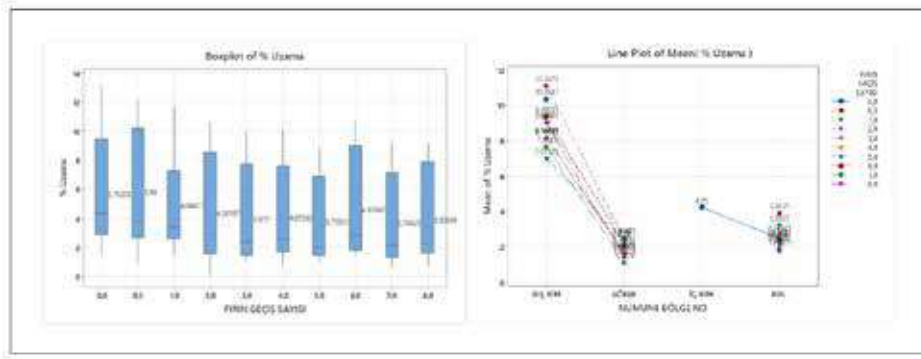


Şekil 29 : Jant Çekme ve Akma Mukavemet Değerleri Fırın Geçiş Sayısı ile Değişimi

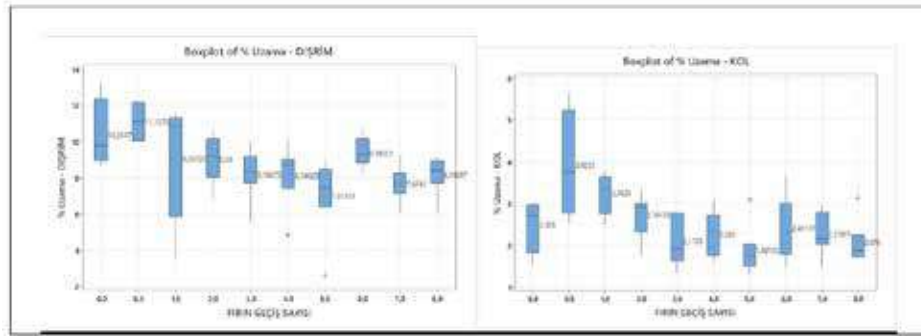
Tüm veri ortalaması akma mukavemeti 202,9 MPa' dır. Tüm veri ortalaması Çekme mukavemeti 248,3 MPa 'dır. Akma ve çekme mukavemetleri döküm sonrasına kıyasla ısııl işlem sonrasında ciddi artış meydana gelmiş olduğu Şekil 35' deki grafiklerde görülmektedir.

Çekme mukavemeti döküm sonrası 160 MPa iken ısııl işlem ile 231 MPa ortalamaya ulaşmış , 1 toz 1 yaş fırın geçiş sonrası 245 MPa , 2 toz 2 yaş geçiş sonrası 252 MPa değerleri elde edilmiş olup artış sonrası özel durumlar harici (özel durumlar * ile gösterilir) net bir değişim olmamıştır.

Akma mukavemeti döküm sonrası 100 MPa iken ısııl işlem ile 185 MPa ortalamaya ulaşmış , 1 toz 1 yaş fırın geçiş sonrası 190 MPa, 2 toz 2 yaş geçiş sonrası 200 MPa, 3 toz 3 yaş geçiş sonrası 210 MPa değerleri elde edilmiş olup artış sonrası özel durumlar harici (özel durumlar * ile gösterilir) net bir değişim olmamıştır.

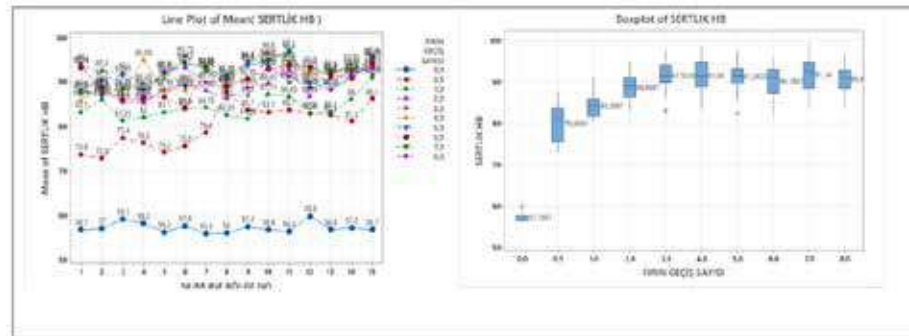


Şekil 30 : Jant Bölge Bazlı %Uzama Değerleri Fırın Geçiş Sayısı ile Değişimi



Şekil 31 : Jant Bölge Bazlı %Uzama Değerleri Fırın Geçiş Sayısı ile Değişimi

3.4 Sertlik

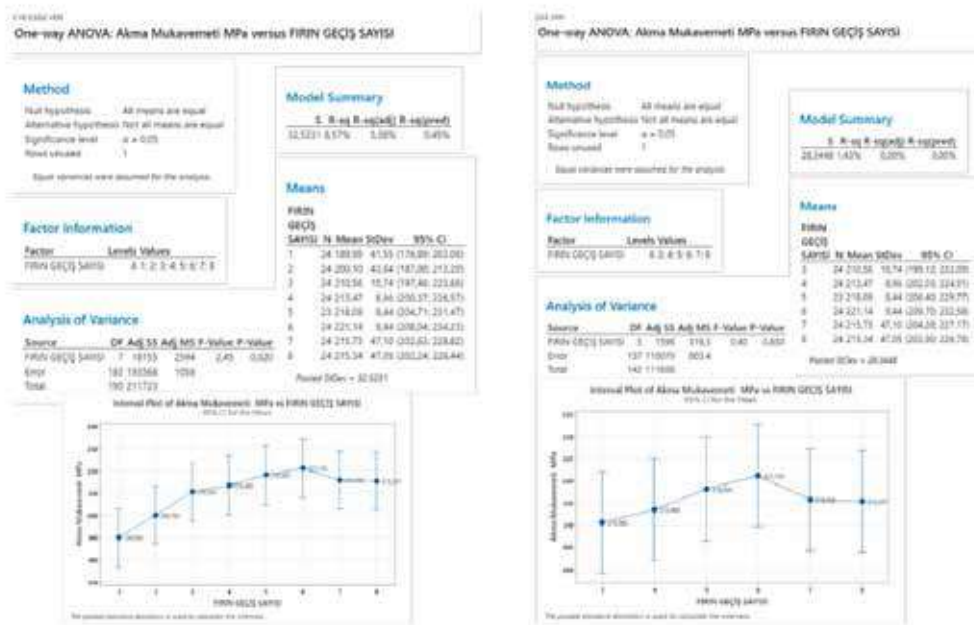


Şekil 33 : Jant Bölge Bazlı Sertlik Değerleri Fırın Geçiş Sayısı ile Değişimi

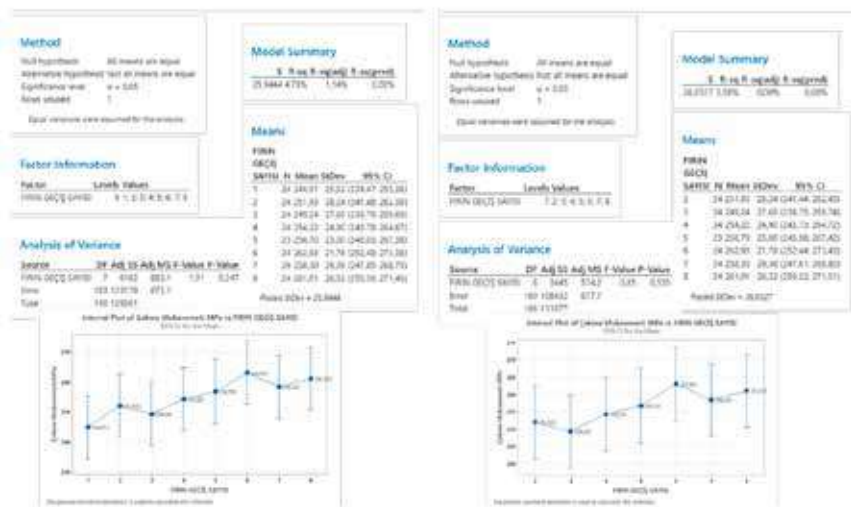
Döküm hali sertlik ortalaması 57 HB, ısıl işlem hali ortalama sertlik 79,9 HB , 1 toz 1 yaş boya fırını geçiş sonrası ortalama sertlik 84 HB, 2 toz 2 yaş boya fırını geçiş sonrası ortalama sertlik 88,7 HB , 3 toz 3 yaş boya fırını (toplam 6 fırın geçiş) geçiş sonrası ortalama sertlik 91,5 HB olup bundan sonraki geçişlerde sertlik değerlerinin artmadığı belirlenmiştir. Tüm verilerin ortalaması sertlik değeri 87,6 HB'dir.

3.5 Hipotez Test ve Analiz

Yukarıdaki sonuçlar ve grafikler istatistiksel olarak anlamlı kabul edilebilir ve doğru olup olmadığı Minitab yazılımı kullanılarak verilere Anova testi yapılarak yorumlanmış ve istatistiksel olarak anlamlı olduğu doğrulanmıştır. Bu analiz ile p değerine bakılır, $P < 0,05$ ise %95 güven aralığında istatistiksel olarak anlamlıdır. $P < 0,05$ olup %95 güven aralığında Akma Mukavemeti Fırın Geçiş Sayıları istatistiksel olarak anlamlıdır. Akma mukavemeti veriler ANOVA Hipotez testinde sadece boya fırınları geçiş verileri analiz edilmiş olup iki toz ve iki yaş boya fırın geçişi sonrası, yeni boya fırını geçiş sayısının akma mukavemetine etki etmediği tespit edilmiştir. ($P > 0,850$)

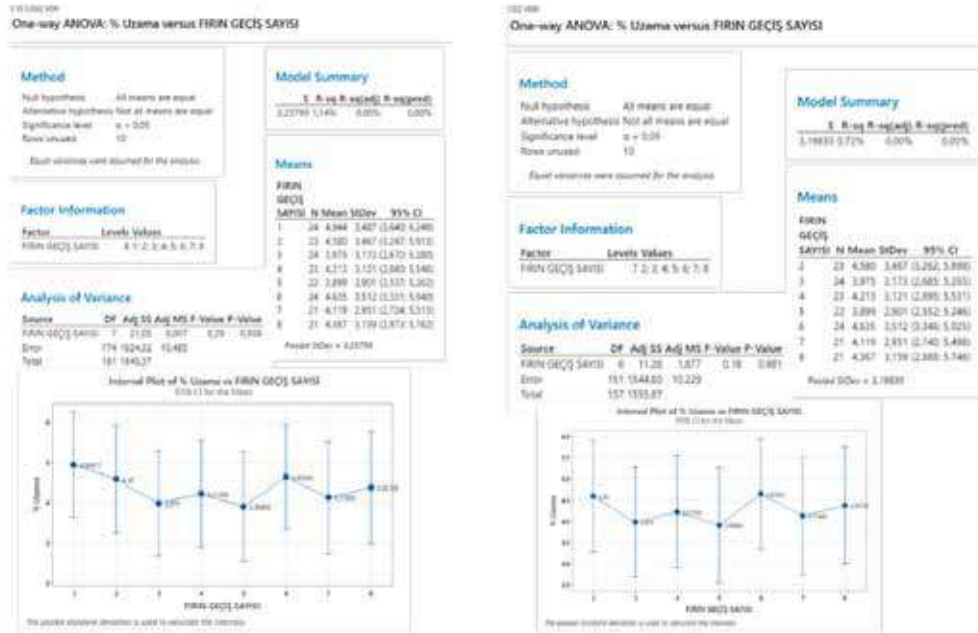


Şekil 33 : Jant Akma Mukavemeti Fırın Geçiş Sayısı ANOVA Testi



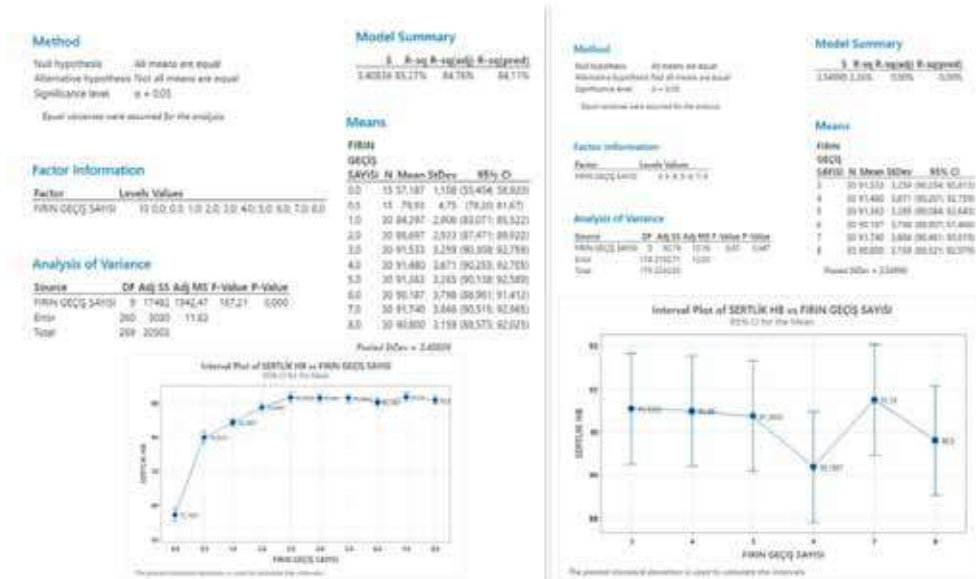
Şekil 34 : Jant Çekme Mukavemeti Fırın Geçiş Sayısı ANOVA Testi

$P < 0,05$ olup %95 güven aralığında Çekme Mukavemeti Fırın Geçiş Sayıları istatistiksel olarak anlamlıdır. Çekme mukavemeti veriler ANOVA Hipotez testinde sadece boya fırınları geçiş verileri analiz edilmiş olup bir toz ve bir yaş boya fırın geçişi sonrası, yeni boya fırını geçiş sayısının çekme mukavemetine etki etmediği tespit edilmiştir. ($P > 0,535$)



Şekil 35 : Jant %Uzama Fırın Geçiş Sayısı ANOVA Testi

Anova hipotez testi % uzama için fırın geçiş sayısı ile ilişkisi incelenerek analiz edilmiştir. $P < 0,05$ olup %95 güven aralığında %Uzama Fırın Geçiş Sayıları istatistiksel olarak anlamlıdır. Uzama verileri ANOVA Hipotez testinde sadece boya fırınları geçiş verileri analiz edilmiş olup bir toz ve bir yaş boya fırın geçişi sonrası, yeni boya fırını geçiş sayısının %uzamaya etki etmediği tespit edilmiştir. ($P > 0,950$)



Şekil 36 : Jant Sertlik Fırın Geçiş Sayısı ANOVA Testi

$P < 0,05$ olup %95 güven aralığında Sertlik Fırın Geçiş Sayıları istatistiksel olarak anlamlıdır. Ayrıca R-Sq (regresyon) değeri %80 ideal değerinde büyük olduğu görülmekte olup sertlik ve boya fırın geçiş sayıları 2 değişkenin güçlü ilişkiye sahiptir. ANOVA Hipotez testlerinde boya fırınlı veriler analiz edildiğinde, iki toz iki yaş boya fırın geçiş sayısı sonrasındaki işlemlerin sertliğe etki etmediği görülmüştür. ($P > 0,547$)

4. BULGULAR

Alçak basınçlı döküm yönteminin mikroyapıya etkisinin olduğu, jantların katılma ve soğuma parametrelerinin sertlik, tane büyüklüğünde, ötektik fazlar ile α -Al fazların dağılımlarında farklılıklara etki ettiği görülmüştür. T6 ısıtma işleminin sertlik ve mekanik özellikleri ciddi olumlu etkisi olduğu görülmüştür. Boya fırınlarında yaşlanmaya bağlı olarak tüm bölgelerde sertlik ve mukavemet artışları gözlemlenmiştir. Genel olarak boya fırınlarından altı (3 toz + 3 yaş) geçiş sonrasında yani bitmiş ürünün 2 kez rework sonrası sertlik ve mukavemet değerlerinin artış göstermediği gözlemlenmiştir.

Özellikle jantın en önce katılma/soğuyan ve en geç katılma/soğuyan bölgelerinde mikroyapı değişimleri literatürle tutarlı kesit kalınlığı ve soğutma hızının sertlik, çekme ve akma mukavemetlerine ciddi etkisi olduğu ve ısıtma işlemi sonrası boya fırınlarından geçişler ile sertlik ve mekanik özelliklerin yukarıda belirtildiği gibi belli bir süre daha artmaya devam ettiği tespit edilmiştir.

Boya fırınlarından geçirilmesi operasyonları ile jantın yaşlandırması devam ederek Si parçacıklarının daha kaba ve daha yuvarlak hale geldiği, oluşan Mg₂Si ile sertlik değerlerinin arttığı düşünülmektedir.

Veriler Minitab yazılımı kullanılarak hem grafiklerle hem de ANOVA hipotez testleri ile anlamlı olduğu kanıtlanmıştır.

Isıtma işleminin ürün mekanik özelliklerine ciddi seviyede artış sağladığı, daha sonra boya fırınlarında geçişlerle birlikte yapay yaşlandırmanın devam ettiği ve bununda ürün çekme değerlerine 1 toz + 1 yaş boya fırın geçişi, akma mukavemet değerlerine 2 toz + 2 yaş boya fırın geçişine kadar olumlu etki ettiği, sertlik değerlerine 2 toz + 2 yaş boya fırın geçişine kadar olumlu etki ettiği daha sonra belirgin değişim gözlemlenmediği bulunmuştur.

Diğer yandan fırın geçiş sayısı ile incelendiğinde özellikle dış rim ve kol bölgeleri döküm sonrası %uzama değerleri ısıtma işlemi ile artmış daha sonra boya fırın geçiş tekrar sayıları ile birlikte düşüşe geçmiştir. Özellikle kol bölgesi %2,5 iken ısıtma işlemi ile artarak %3,9 ortalamaya ulaşmış, boya fırın geçişleri sonrası lineer azalış göstermiş sonrası 1 toz + 1 yaş geçiş sonrası net bir değişim olmamıştır.

Sonuç olarak hipotez testleri ile verilerin boya fırınlı verileri analiz edilmesi sonrası boya fırınlarının sertlik, akma, çekme ve %uzama değerlerine etki etmediği tespit edilmiştir. Veri analizi sonrası özetle boya fırın geçişlerinin akma mukavemetine 2 toz + 2 yaş fırın geçişi sonrası etki etmediği, çekme mukavemetleri'ne 1 toz + 1 yaş fırın geçişi sonrası etki etmediği, %uzama'ya 1 toz + 1 yaş fırın geçişi sonrası etki etmediği, sertlik değerlerine 2 toz + 2 yaş fırın geçişi sonrası etki etmediği belirlenmiştir.

5. TEŞEKKÜR

Öncelikle, çalışma arkadaşlarımıza, sürecin her aşamasında gösterdiği destek, iş birliği için teşekkür ederiz. Her birinizin uzmanlığı, bu çalışmanın kalitesine ve başarısına büyük ölçüde katkı sağlamıştır. Ayrıca, Döktaş ailesine de sundukları destek ve sağladıkları imkanlar için teşekkür

etmek istiyoruz. Şirketimizin, araştırma ve geliştirme faaliyetlerine verdiği önem ve sağladığı kaynaklar, bu çalışmanın gerçekleştirilmesini mümkün kılmıştır. Özellikle Ar-Ge faaliyetlerinde özgür çalışma imkânı sunmaları, her türlü engelden uzak, yapıcı ve destekleyici bir ortam sağlamaları, projelerimizin başarıya ulaşmasında büyük bir rol oynamaktadır. Döktaş'ın değerli yöneticilerine, sağladıkları rehberlik ve vizyon için özel teşekkürlerimizi iletmek isteriz.

6. SEMBOLLER

Fe₃Cl: Demir 3 Klorür

HB: Brinell Sertlik Ölçüm Birimi

HF: HidroFlorik Asit

MPa: Megapascal

T6: Çözeltiye Alma ve Suni Yaşlandırma Isıl İşlemi

µm: Mikrometre

7. KAYNAKÇA

- 1) Smith, J. A., & Brown, L. (2018). Automotive Wheel Design and Performance. *Journal of Automotive Engineering*, 45(3), 123-135.
- 2) Doe, J., & White, M. (2019). Advances in Low Pressure Die Casting for Automotive Applications. *Materials Science and Engineering*, 67(2), 89-97.
- 3) Lee, K., & Kim, S. (2020). Properties and Applications of AlSi7Mg Alloy. *Journal of Metallurgy*, 32(4), 210-218.
- 4) Green, P., & Thomson, R. (2017). Heat Treatment of Aluminum Alloys: T6 Process. *Materials Performance and Characterization*, 56(5), 145-152.
- 5) Martin, D., & Clarke, E. (2016). Impact of Coating Processes on Aluminum Wheels. *Surface Coatings International*, 48(6), 678-685.
- 6) Johnson, H., & Zhang, Y. (2021). Thermal Effects on Aluminum Alloy Microstructure. *Materials Characterization*, 75(3), 222-229.
- 7) Wang, X., & Liu, J. (2015). Mechanical Properties of Heat-Treated AlSi7Mg Alloys. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 81(1), 67- 74.
- 8) Kim, H., & Park, S. (2018). Repeated Painting and Its Effects on Mechanical Properties of Automotive Wheels. *Journal of Coatings Technology and Research*, 15(2), 101-110.
- 9) Chen, L., & Wu, Q. (2019). Aging Behavior of AlSi7Mg Alloy in Paint Baking Processes. *Journal of Materials Processing Technology*, 273(1), 35-42.
- 10) Yang, F., & Gao, W. (2022). Comprehensive Analysis of Aluminum Alloy Wheel Performance. *Automotive Materials and Components*, 58(7), 123-130.

Geleceği Şekillendiren Eller: Döktaş Mesleki Eğitim Merkezi Projesi

Sibel Demircan TAŞ*, Elif TUTAŞ**

*** Döktaş Dökümcülık Tic. ve San. A.Ő., Bursa, Türkiye,**

**** Döktaş Dökümcülık Tic. ve San. A.Ő., Manisa, Türkiye.**

ÖZET

GÜRİŞ Sanayi Grubu Şirketleri ile Meslek Liseleri ve Mesleki Eğitim Merkezleri arasında yapılan protokoller kapsamında, Döktaş Dökümcülık Tic. ve San. A.Ő. Mesleki Eğitim Merkezi Aralık 2021’de kurulmuştur. Mesleki Eğitim Merkezi Projesi ile amacımız, sanayinin ihtiyaç duyduğu yeni teknolojileri bilen ve uygulayabilen, meslek ahlakı ve aidiyet duygusu yüksek teknik dökümcülık sektörünün ihtiyaç duyduğu nitelikli işgücünü yetiştirmek ve istihdam etmektir. Mesleki Eğitim Öğrencileri almış oldukları teorik eğitimin yanında iŐyerimizde pratik eğitim almaktadırlar. Mezun olan Mesleki Eğitim Öğrencileri, Meslek Lisesi diploması almaya hak kazanmanın yanında, Şirketlerimizde istihdam edilme Őansı da kazanmaktadırlar.

ABSTRACT

Within the scope of the protocols signed between GÜRİŞ Industrial Group Companies and Vocational High Schools and Vocational Training Centers, Döktaş Dökümcülık Tic. ve San. A.Ő. Vocational Training Center was established in December 2021. Our aim with the Vocational Training Centers Project is to train and employ the qualified workforce needed by the technical foundry sector, who know and apply the new technologies needed by the industry, have a high sense of belonging. Vocational Education Students receive practical training in our workplace in addition to the theoretical education they have received. Graduated Vocational Education Students, in addition to being entitled to receive a Vocational High School diploma, also have the chance to be employed in our companies.

1. AMAÇ

GÜRİŞ Sanayi Grubu tarafından kurulan Mesleki Eğitim Merkezleri, sanayinin gereksinim duyduğu nitelikli işgücünü yetiştirmek amacıyla Aralık 2021'de faaliyete geçmiştir. Mesleki Eğitim Merkezi Programı, Milli Eğitim Müdürlüğü ve Endüstri Meslek Liseleri ile yapılan işbirlikleri doğrultusunda, teorik ve pratik eğitimleri bir arada sunarak öğrencilerin mesleki donanımlarını arttırmayı amaçlamaktadır. Projenin temel amacı, gençlerin yeteneklerini keşfederek, sektörün gereksinim duyduğu mesleki donanım ve becerilerle iş hayatına hazırlanmalarını sağlamaktır.

2. SÜREÇ

2.1. Çıraklık Adaylarında Aranılan Şartlar ve Çıraklık Başlangıcı

Mesleki Eğitim Merkezi Programına Çırak olarak başlayacak olan öğrencilerde aranılan şartlar;

- En az ortaokul, imam-hatip ortaokulu mezunu olmak veya Lise öğrenimine devam ediyor olmak.
- Yapılan tetkiklerin sonucunun, sağlık durumunun yapılan iş için uygun olması. Yapılan sağlık tetkikleri İşyeri Hekimi tarafından onaylanmaktadır.

İl Milli Eğitim Müdürlüğü tarafından hazırlanan ilgili öğretim yılı çalışma takvimine göre, Çırak öğrenci alımı yapılacağı Mesleki Eğitim Merkezimizce uygun tarihlerde duyurulur. Başvuru döneminde gelen başvurular İnsan Kaynakları tarafından değerlendirilir. Uygun olan Çırak öğrenci adayları ilgili dönem için belirlenen kontenjan dahilinde değerlendirilir ve Çıraklık için alım sürecine başlanır.

Çırak olarak kabul edilen öğrencinin sağlık tetkiklerini yaptırması ve İşyeri Hekim onayını alması sonrasında ilgili Okul, İşyeri ve öğrenci (18 yaşından küçük olan öğrenciler için yasal velisi) arasında üçlü sözleşme imzalanmaktadır. Her öğrenci için oluşturulan özlük dosyası oluşturulmaktadır. Bu belgeler de özlük dosyasında muhafaza edilmektedir.

Öğrencilerimiz, Çıraklık öğrenimine başladığında işletme içerisine girmeden ilgili kanunda belirlenen sürelerde İş Sağlığı ve Güvenliği Eğitimi almaktadır. İş Sağlığı ve Güvenliği Eğitimini tamamlayan öğrenciler, Kalite Sistemleri, Bilgi Güvenliği, İnsan Kaynakları, Çevre, Sürekli İyileştirme ve Gelişim Yönetimi gibi temel bilgilendirme eğitimleri tamamladıktan sonra işletme içi öğrenimlerine başlamaktadırlar.

2.2. Çıraklık Uygulama Esasları

2.2.1. Çalışma Alanı/Bölümü: Çırak öğrencinin işletme içindeki çalışma alanları öğrenim gördükleri bölümlerine uygun olarak Mesleki Eğitim Merkezimizce belirlenmektedir.

2.2.2. Usta Öğretici Bulundurma: Mesleki Eğitim Merkezimizde Çırak öğrencilerimizin işyerindeki eğitiminden sorumlu; mesleki eğitim tekniklerini bilen ve uygulayan Usta Öğretici belgesine sahip Usta Öğreticiler bulunmaktadır.

2.2.3. Teorik Eğitim: Çırak öğrencilerin teorik eğitimi hem öğren gördüğü okulu hem de Mesleki Eğitim Merkezimiz tarafından sağlanmaktadır. Şirketimiz Usta Öğreticileri tarafından sektörümüze ve yapılan işe uygun olarak hazırlanan farklı dersler de Çırak öğrencilerimize verilmektedir.



Fotoğraf 1 : Mesleki Eğitim Merkezi teorik sınıf eğitimi.

2.2.4. Saha Ziyaretleri: Teorik ve pratik eğitimi alan Çırak öğrencilerimize, çalıştığı alan dışında kalan sahalara da ziyaret organize ederek işletmenin yaptığı işi bütünsel olarak kavramaları sağlanmaktadır. Ziyaret edilen alanın yöneticileri ve Usta Öğreticisi tarafından yapılan iş öğrencilerimize aktarılmaktadır.



Fotoğraf 2 : Saha ziyaretleri.

2.2.5. Pratik Eğitim: Çırak öğrencilerimiz Usta Öğreticilerimizin gözetiminde buldukları bölümlerde yapılan işleri gözlemlene ve uygulama fırsatı elde etmektedir. Öğrenim yılları boyunca Usta Öğreticilerimiz, Çırak öğrencilerimizin gelişmelerini takip etmekte ve mezun olduklarında ilgili işin tamamını yürütebilecek seviyeye çıkarmayı hedeflemektedirler.

2.2.6. Çalışma Saatleri: Çırak öğrencilerimizin Mesleki Eğitim Merkezimizde bulunma gün sayıları buldukları Okul müfredatına göre değişmektedir. İşletme günlerinde; sadece gündüz vardiyasında (08:00-16:00) 7,5 saat süre ile pratik ve teorik eğitim almaktadırlar.

2.2.7. İzin ve Devamsızlık: Çırak öğrencilerimizin; öğrenim döneminde mazeretsiz olarak maksimum 6 gün, yıl içerisinde ise mazeretli olarak maksimum 20 gün devamsızlık hakkı bulunmaktadır. Çırak öğrencilerimiz öğrenim dönemi boyunca yarıyıl ve yaz tatili süresinde toplam 30 gün süre ile ücretli izin kullanılmaktadır.

2.2.8. Ücret: Mesleki Eğitim Merkezi Programında katılan öğrenciler, sanayinin ihtiyacı olan yetkin çalışan olmanın haricinde öğrencilikleri esnasında almış oldukları ücret ile de kazanç elde etmeye başlamaktadırlar.

3308 Sayılı Mesleki Eğitim Kanunu'nda belirlenen esaslara göre; 9, 10 ve 11. Sınıf öğrencilerine net asgari ücretin %20'si, 12. Sınıf öğrencilerine ise net asgari ücretin %30' u tutarınca ödeme yapılmasını zorunludur. Bu durumdan farklı olarak GÜRİŞ Mesleki Eğitim Merkezinde 10. ve 11. Sınıf

öğrencilerimize devam durumlarını teşvik etmek amacıyla kademeli olarak yasal sınırın üzerinde ücret ödenmektedir.

2.2.9. Ücret: Mezuniyet: Mesleki Eğitim Merkezinden mezun olan Çırak öğrenciler Meslek Lisesi Diploması almaya hak kazanmanın yanı sıra Kalfalık Belgesi almaktadırlar. Mezuniyetle hak kazandıkları Kalfalık Belgesi ile Ustalık sınavlarına girerek belgesini Ustalık seviyesine yükseltme imkanı elde etmektedirler.

3. MESLEKİ EĞİTİM MERKEZİ İLK MEZUNU ÇALIŞANIMIZ

GÜRİŞ Mesleki Eğitim Merkezleri ilk mezunu Döktaş Mesleki Eğitim Merkezinden Ömer BİRDANE olmuştur. 2022 yılında Mesleki Eğitim



Fotoğraf 3 : GÜRİŞ Mesleki Eğitim Merkezleri ilk mezunu çalışanımız.

4. KAZANIMLAR

Mesleki Eğitim Merkezi, işletme ile öğrencilere büyük faydalar sağlayan bir projedir. Bu merkezin işletmemiz ve sektör için en büyük kazanımı, sektörün ihtiyaç duyduğu nitelikli işgücünü yetiştirme imkanı sunmasıdır. Bizler, teorik ve pratik eğitimlerle donatılmış Çırak öğrencileri istihdam ederek, kendi bünyesinde yetiştirmiş ve işe hazır çalışanlar kazanmaktayız. Bu proje işletmemize sürdürülebilir verimlilik ve çalışan bağlılığı sağlarken, aynı zamanda sosyal sorumluluk bilincimizle faaliyet gösterdiğimiz bölgenin gençlerinin kişisel ve mesleki gelişimlerine katkı sağlamaktadır.

Mesleki Eğitim Merkezi'nde eğitim gören öğrenciler, teorik bilgilerini pratik uygulamalarla birleştirmektedirler. Bu sayede, mezun olduklarında sadece teorik bilgilere değil, aynı zamanda pratik bilginin yanında çalışma hayatı kültürünü de tanıma fırsatı elde etmektedirler. Mesleki Eğitim Merkezi mezunlarımız, GÜRİŞ Sanayi Grubu Şirketlerinde çalışma imkanına sahip olurken, aynı zamanda sektörde daha kolay iş bulma imkanı da kazanmaktadırlar.

Mesleki Eğitim Merkezlerimiz, hem kurumumuz hem de öğrenciler için karşılıklı fayda sağlamanın yanı sıra, ülkemize ve faaliyet gösterdiğimiz bölgelere sürdürülebilir fayda sağlamaktadır.

2. KAYNAKÇA

- 1) Milli Eğitim Bakanlığı. "3308 Sayılı Mesleki Eğitim Kanunu" Ankara, 1986.
- 2) Döktaş Dökümcülük Tic. ve San. A.Ş. Kurumsal Raporları, 2021.

Emniyet Kemerini Parçasının MultiSlide ve Sıcak Kamaralı Enjeksiyon Yöntemlerinde Üretimi ve Karşılaştırılması

Feyzanur ŞEHİTOĞLU*, Eda TUZCU*

*Prometal Hafif Metaller Döküm San., AR-GE Merkezi, Bursa, Türkiye

ÖZET

Prometal, bünyesinde bulundurduğu sıcak kamara, soğuk kamara ve multislide makineleriyle bir çinko bazlı alaşım olan zamak alaşımlarının ve alüminyum alaşımlarının dökümünü gerçekleştirmektedir. Bu çalışmada, yöntem optimizasyonunu sağlamak için sıcak kamaralı enjeksiyon ve multislide makinelerinde aynı emniyet kemeri parçası ve çekme numune parçalarının dökümü gerçekleştirilmiştir. Dökümler zamak 5 hammaddesi kullanılarak makine özelinde optimize edilmiş makine parametre değerleriyle gerçekleştirilmiştir. Her iki yöntemde üretilen parçaların yüzey pürüzlülüğü değerleri, mukavemet değerleri, porozite ve yoğunluk değerleri elde edilmiş ve analiz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler; multislide, sıcak kamara, zamak, HPDC, karakterizasyon

ABSTRACT

Prometal casts zamak alloys, a zinc-based alloy, and aluminum alloys with its hot chamber, cold chamber and multislide machines. In this study, the same seat belt part and tensile sample parts were cast in hot chamber injection and multislide machines to ensure method optimization. Castings were made using zamak 5 raw material with machine parameter values optimized specifically for the machine. Surface roughness values, strength values, porosity and density values of the parts produced by both methods were obtained and analyzed.

Keywords; multislide, hot chamber, zamak, HPDC, characterization

1. GİRİŞ

Yüksek Basınçlı döküm, karmaşık ve ince cidarlı parçaların tam-yarı mamul bir şekilde üretilmesine imkân sağlayan ve endüstride yaygın olarak kullanılan bir üretim yöntemidir. Ayrıca yüksek üretim oranı ve düşük üretim maliyeti bu yöntemin avantajları arasındadır. Basınçlı döküm prosesi bir imalat yöntemi olmakla birlikte büyük oranda termal bir süreci kapsar. Bu nedenle döküm ve kalıptaki sıcaklık dağılımı parça kalitesini ciddi oranda etkilemektedir. Basınçlı dökümde termal analiz, kalıp ve döküm açısından pek çok zorluğu içermektedir. [1] Bu nedenle günümüzde üretim sürecini etkileyen pek çok parametreyi dikkate alarak ürün eldesinin optimizasyonunu sağlamak gerekmektedir.

Basınçlı döküm makinaları metal basma sistemlerinin farklı oluşuna göre “sıcak” ve “soğuk” kamaralı olarak başlıca iki ana gruba ayrılabilirler. Bu genel sınıflandırmaya göre seçilecek makina, dökülecek alaşımların ergime derecesine bağlı olacaktır. Kullanılan alaşım düşük ergime sıcaklığına sahip ise, ergimiş metal piston-silindir malzemesine zarar vermeyeceğinden, piston-silindir doğrudan ergimiş metale daldırılabilir. Bu tip makinalara “sıcak kamara tipi makinalar” adı verilir. Sıcak kamara tipi makinalar büyük ölçüde çinko esaslı alaşımların dökümünde kullanılır. [2]

Çok kızaklı metal damgalama diye de bilinen multislide, küçük ve karmaşık metal parçaları yüksek hassasiyetle üreten gelişmiş bir üretim tekniğidir. Tek yönlü presleri kullanan geleneksel damgalama yöntemlerinden farklı olarak, çok slaytlı damgalamada metal malzemeyi oluşturmak, şekillendirmek ve işlemek için birden fazla hareketli kızak veya alet bileşeni kullanılır. [3] Multislide makinelerinde havacılık bileşenleri, otomotiv parçaları, ev aletleri, akü kontakları, klipsler, hidrolikler, aydınlatma armatürleri, tıbbi cihazlar/ekipmanlar, elektrikli aletler, pencere ve kapı bileşenlerinin üretimi gerçekleştirilebilmektedir. [4]

Son zamanlarda çinko endüstrisindeki en önemli gelişme Zn-Al alaşımları yani zamak olarak bilinen ve yüksek Zn içerikli yeni bir seri alaşım geliştirilmesi olmuştur. Zamak; çinko, alüminyum, bakır ve magnezyumdan meydana gelen temel alaşımların adı olarak kullanılır. Çok yönlü bir malzeme olarak, parça dökümündeki üretim kolaylığı ile maliyetleri de düşürmektedir. Zamak malzemenin, yüksek aşınma mukavemeti ve basınçlı döküm kalıbında çok karmaşık parçaların imalinde, hiç talaşlı işleme gerek kalmaksızın kalıplanabilme gibi özellikleri de bulunmaktadır. Günümüzde bu alaşımlar iyi dökülebilirlikleri, yüksek mukavemet ve iyi aşınma özellikleri ile birçok alanda al, pirinç, bronz ve bazı dökme demir gibi konvansiyonel alaşımların uygulama alanlarında rakip malzeme olmaktadır. [5]

Bu çalışmada, sıcak kamaralı enjeksiyon ve multislide makinelerinde emniyet kemeri parçalarının ve çekme numunelerinin makinelerin kendi özelinde optimize edilmiş parametreler değerlerinde üretimi yapılmıştır. Üretim yöntemleri ve parça özellikleri karşılaştırılmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Sıcak kamaralı enjeksiyon ve multislide enjeksiyon makinelerinde emniyet kemeri parçasının kalıbı ve numune kalıplarıyla zamak5 hammaddesi kullanarak yüksek basınçlı döküm yapılmıştır. Her iki üretim yöntemiyle çekme numuneleri ASTM E8 standardına uygun olan çekme kalıplarında üretilmiştir. Her iki yöntemden de 10’ar adet emniyet kemeri parçası ve çekme numunesi deneylere tabi tutmak için rastgele seçilmiştir. Tüm numunelerin yoğunlukları, Arşimet prensibine dayalı bir yöntemle ölçülmüştür. (Şekil 1) Arşimet suyun kaldırma kuvveti formülü:

$$F_b = V_s \times d \times g \quad [1]$$

denklemdir. Bu formüldeki; F_b nesne üzerine etkiyen kaldırma kuvveti, “ V_s ” nesnenin sıvı içerisindeki hacmi, “ d ” nesnenin bulunduğu sıvının yoğunluğu ve “ g ” yer çekimi kuvvetidir. Bu denkleme bağlı olarak cihaz yoğunluk hesaplaması yapılmaktadır.



Şekil 1 : Arşimet Prensibine Dayalı Yoğunluk Ölçüm Cihazı

Her iki yöntemden de 5'er adet çekme numunelerine çekme ve kopma mukavemeti değerlerini karşılaştırmak adına KT-AS Çekme Basma Test Cihazı ile çekme deneyleri yapılmıştır. Her iki yöntemden de 5'er adet numunenin yüzey pürüzlülük değerleri Mahr markalı yüzey pürüzlülük cihazıyla ölçülmüş Ra, Rz ve Rmax değerleri ölçülüp karşılaştırılmıştır. 2'şer adet emniyet kemeri parçası numunelerinin porozite oranlarını gözlemlemek için ortadan kesilerek zımparalama işlemi yapılmış ve Camera uygulaması kullanılarak porozite incelemeleri yapılmıştır. ASTM B240 AC41A zamak5 alaşım standardındaki değerler referans alınarak üretim sonucu elde edilen sonuçlar kıyaslanmıştır.

3. BULGULAR

3.1 Yoğunluk Testleri

Parçaların yoğunluklarını kıyaslamak için 5 adet emniyet kemeri parçasının ve 5 adet çekme numunesinin yoğunluk ölçümleri yapılmış, elde edilen değerlerin ortalamaları alınarak Tablo 1'de gösterilmiştir.

	SICAK KAMARA		MULTİSLİDE	
	Emniyet Kemer Parçası	Çekme Numunesi	Emniyet Kemer Parçası	Çekme Numunesi
YOĞUNLUK DEĞERLERİ (g/cm ³)	6,438	6,58	6,409	6,528
	6,421	6,573	6,528	6,526
	6,35	6,582	6,376	6,518
	6,428	6,577	6,553	6,553
	6,636	6,537	6,75	6,524
ORTALAMA	6,4546	6,5698	6,5232	6,5298

Tablo 1 : Yoğunluk Ölçüm Değerleri (g/cm³)

3.2 Çekme Testleri

Her iki yöntemle üretilen çekme numunelerine çekme testleri uygulanmış ve sonucunda Tablo 2 ve 3'te verilen çekme ve kopma dayanımı değerleri elde edilmiştir.

	SICAK KAMARA	MULTİSLİDE
	Çekme Numunesi	Çekme Numunesi
ÇEKME MUKAVEMETİ DEĞERLERİ (Mpa)	282,77	303,79
	281,93	310,5
	287,93	335,33
	292,33	343,75
	285,9	297,5
	ORTALAMA	286,172

Tablo 2 : Çekme Dayanımı Değerleri (MPa)

	SICAK KAMARA	MULTİSLİDE
	Çekme Numunesi	Çekme Numunesi
KOPMA MUKAVEMETİ DEĞERLERİ (Mpa)	275,27	300,5
	278,13	293,67
	265,57	324,88
	286,43	337,71
	277,33	284,83
	ORTALAMA	276,546

Tablo 3 : Kopma Dayanımı Değerleri (MPa)

3.3 Yüzey Pürüzlülüğü Test

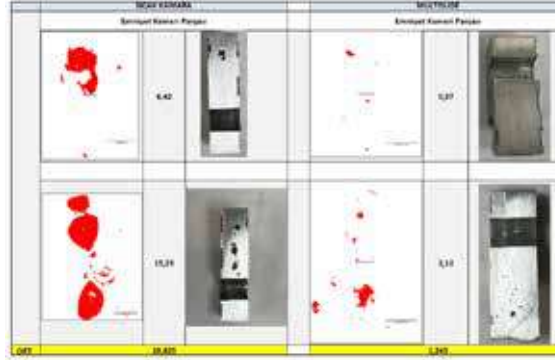
İki yöntemle de üretilen 5'er adet emniyet kemeri parçalarındaki yüzey kalitesi farkından dolayı yüzey pürüzlülük testleri uygulanmış sonuçlar Tablo 4'te verilmiştir. Ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra), ortalama çizgisinden ölçülen yükseklik değişimlerinin aritmetik ortalamasıdır.

	SICAK KAMARA	MULTİSLİDE		SICAK KAMARA	MULTİSLİDE		SICAK KAMARA	MULTİSLİDE
Ra (µm)	Emniyet Kemer Parçası		Rz (µm)	Emniyet Kemer Parçası		Rmax (µm)	Emniyet Kemer Parçası	
	3,438	0,711		22,07	5,026		39,14	7,34
	1,518	0,629		13,38	6,291		31,69	9,348
	1,422	1,209		15,46	8,138		23,36	11,48
	3,527	0,784		19,6	6,862		35,19	10,36
1,264	1,05	13,61	7,289	26,45	9,955			
ORT.	2,2298	0,8766		16,824	6,6412		31,166	9,6966

Tablo 4 : Yüzey pürüzlülük değerleri (µm)

3.4 Porozite Testleri

Emniyet kemeri parçaları ortadan ikiye bölünerek zımparalanmıştır. Yaklaşık 20 mm²'lik alanlardan alınan porozite görüntüleri ve porozite oranları Tablo 5'te verilmiştir. (Not: Her bir üretim yöntemi için farklı numunelerden porozite görüntüleri alınmıştır.)



Tablo 5 : Sıcak Kamara ve Multislide makinelerinde üretilen emniyet kemeri parçalarının porozite görüntüleri ve porozite yüzdeleri

4. SONUÇLAR

- ASTM AC41A standardına göre zamak5'in yoğunluk değeri 6.4 g/cm³'tür. Tablo 1'de döküm parçalarının yoğunluk değerleri incelendiğinde kendi aralarında bariz bir fark gözlenmemiş olup, standarda yakın değerler çıkmıştır.
- ASTM B240 standardına göre zamak5 malzemesinin çekme mukavemeti değeri 328 MPa'dır. Multislide yöntemi ile üretilen numunelerin çekme dayanımları ortalama 318 MPa değerindeyken, sıcak kamara yönteminde ortalama 286 MPa'dır. Multislide yöntemiyle çekme dayanımı daha yüksek numuneler üretilmiştir. Ayrıca, kopma anında gösterdiği gerilim değerlerinde de benzer sonuçlar elde edilmiştir.
- Sıcak kamaralı enjeksiyon yöntemiyle üretilen emniyet kemeri parçalarında yüksek oranda yağ izi çıktığından yüzey pürüzlülük değerlerinde bariz farklar çıkmıştır. Doğal olarak yağ izlerinden dolayı, sıcak kamaralı enjeksiyon yönteminde üretilen numunelerin pürüzlülük değerleri daha yüksek çıkmıştır.
- Ortadan ikiye kesilerek zımparalama işlemi uygulanan emniyet kemeri parçaları incelendiğinde gözle görülür makro boşluklar gözlenmiştir. Ayrıca porozite görüntüleri de Tablo 5'te verilmiştir. Porozite yüzdeleri incelendiğinde, sıcak kamaralı yöntem ile üretilen parçaların porozite oranı yaklaşık 10 kat fazla çıkmıştır. Ayrıca makro ölçekte görüntülenen porozitelerin sıcak kamaralı enjeksiyon yönteminde daha geniş ve derin olduğu gözlemlenmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma boyunca firmamız çalışanlarından Mert Can Doa, Şahin Cankurt, Gökhan Renda, Halim Yenisarac ve Umut Yetiştiren'e vermiş oldukları tüm emeklerinden dolayı teşekkür ederiz.

Ergimiş Metalde Temassız Sıcaklık Ölçümü

Emrah Güven DADAK

BDM Bilginoğlu Döküm Malzemeleri San. Tic. A.Ş., İstanbul, Türkiye
Yıldız Teknik Üniversitesi Kimya-Metalurji Fakültesi, İstanbul, Türkiye

ÖZET

Sıcaklık, birçok endüstriyel üretim ve ileri işleme operasyonunda en önemli ölçüm parametrelerinden biridir. Ayrıca tesislerin ve içinde çalışan insanların güvenliğini sağlamak için de yaygın olarak kullanılır. Bazı uygulamalar için sıcaklık ölçümü, süreçleri kontrol etmenin, değerlendirmenin ve kalite ve güvenlik gerekliliklerine uymanın birkaç yolundan biridir. Bu çalışmada özellikle ergimiş metallerin temassız sıcaklık ölçümünün temel ilkeleri açıklanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Sıcaklık, Ölçüm, Temassız, Pirometre, Döküm Sıcaklığı

ABSTRACT

Temperature is one of the most important measurement parameters in many industrial manufacturing and advanced processing operations. It is also used extensively to ensure the safety of facilities and the people working in them. For some applications, temperature measurement is one of the few ways to control and evaluate processes and to comply with quality and safety requirements.

This study describes the basic principles of non-contact temperature measurement of molten metals.

Keywords: Temperature, Measurement, Non-Contact, Pyrometer, Casting Temperature

1. GİRİŞ

Sıcaklık ölçümü için çok çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bunlar genel olarak iki gruba ayrılır.

- Temaslı Sıcaklık Ölçümleri – Bazı yaygın türler
- Termokupl

Sensör, belirli bir sıcaklıkta belirli bir voltaj üreten iki farklı metalin birleşiminden oluşur.

- Direnç Sıcaklık Dedektörleri

Sensör sıcaklığı, ısıtıldıkça endüktif olarak sargılı bir tel bobin boyunca elektrik direncindeki bir değişiklik olarak ölçer. Platin, Nikel ve Bakır yaygın olarak kullanılan malzemelerdir.

- Temassız Sıcaklık Ölçümü – En yaygın olarak bilinen
- Radyasyon Termometreler

Bu tür cihazlar bir nesneden yayılan enerjiyi, bu enerjiyi optik bir sistem aracılığıyla bir dedektör üzerine odaklayarak ölçer. Dedektörden gelen sinyal daha sonra bir dizi sinyal işleme fonksiyonu ile bir sıcaklıkla ilişkilendirilir.

Mutlak sıfırın üzerindeki tüm nesnelere enerji yayar ve nesne ne kadar sıcaksa, molekülleri o kadar aktiftir, dolayısıyla daha fazla enerji yayar.

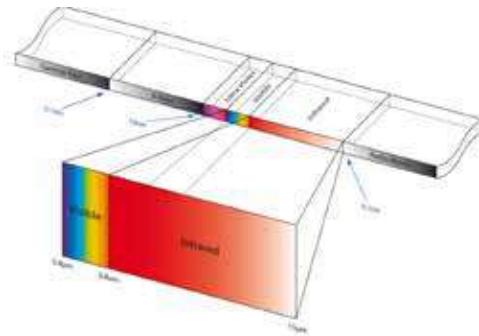


Şekil 1: Radyasyon Termometreleri Kullanılarak Temel Sıcaklık Ölçümü

2. KIZILÖTESİ RADYASYON

Almanya doğumlu, İngiliz astronom, teleskop üreticisi ve besteci Sir William Herschel, güneş ışığını basit bir optik prizma içerisinden geçirerek güneş ışığının göreceli enerjisini belirledi. Belirli tipik gökkuşağı renklerinden görünür kırmızı rengin sonunda, sıcaklığı ölçmek için bir termometre kullandı. Sıcaklığın yükseldiğini gördü ve güneş ışığı spektrumunun devam ettiği sonucuna vardı.

Kızılötesi radyasyonunun kâşifi Sir William Herschel, bu keşfine, görünür kırmızı ışığın ötesi, yani kızılötesi (infrared) adını verdi.



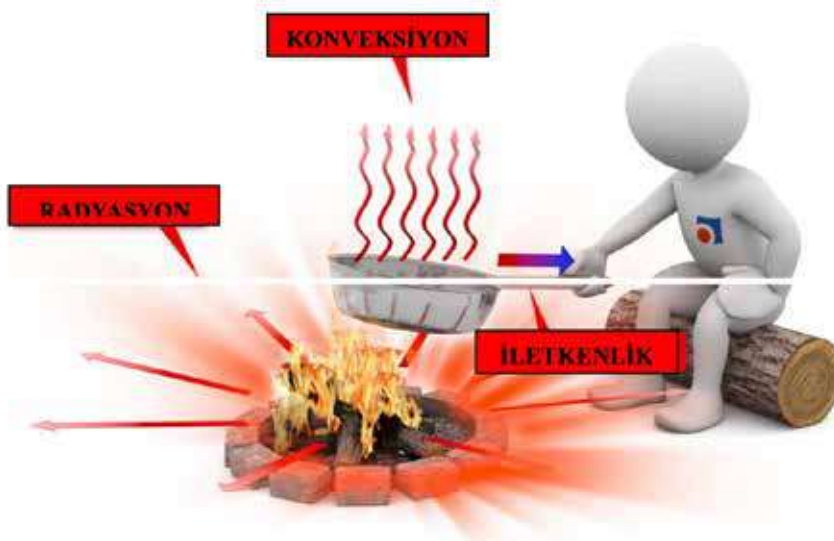
Şekil 2: Elektromanyetik Spektrum

Endüstriyel proseslerde temassız sıcaklık ölçümü söz konusu olunca, bu spektrumun esas olarak kızıl ötesi kısmı ele alınacaktır.

Kızılötesi sıcaklık ölçümünün ilgili aralığı 0,75 μm ila 1000 μm dalga boyu aralığında olsa da tüm kızılötesi farklı alt aralıklara ayrılmıştır. Temassız sıcaklık ölçümü için ana aralıklar, 0,75 - 15 μm dalga boylarını kapsayan NIR, SWIR, MWIR ve LWIR aralıklarıdır. Bu nedenle "Termal Kızılötesi" olarak adlandırılır.

-3-

NIR – Near Infrared	-- 0.75 – 1.4 μm	} Termal Kızılötesi
SWIR - Short Wavelength Infrared	-- 1.4 – 3 μm	
MWIR – Medium Wavelength Infrared	-- 3 – 8 μm	
LWIR – Long Wavelength Infrared	-- 8 – 15 μm	
FIR – Far Infrared	-- 15 – 1000 μm	



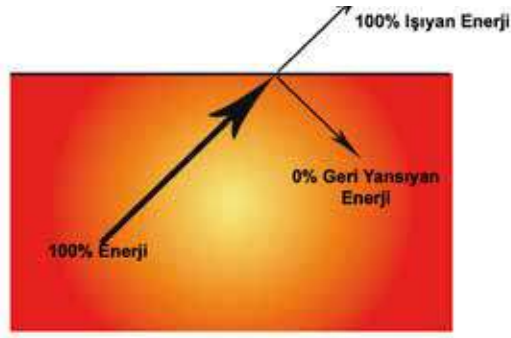
Şekil 3 : Kızılötesi Radyasyon, Konveksiyon, İletim (İletkenlik)

2.1. Emisyon – Spektral Emisivite

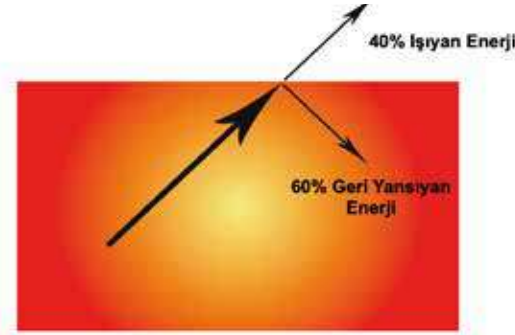
Temassız sıcaklık ölçümünde muhtemelen en önemli parametre (spektral) emisivitedir. Emisyon değerini hesaplayabilmemiz için bilmemize gereken bir kavram vardır, Black Body.

2.1.1. Black Body – Kara Cisim

Kara Cisim (Black Body), üzerine düşen elektromanyetik radyasyonun tüm frekanslarını tamamen emebilen ve etkin bir şekilde hiçbir şey yansıtmayan varsayımsal bir yüzey olarak tanımlanır. Bu durumda enerji yüzeye doğru hareket ederken tamamı yüzeye yayılır ve hiçbiri geri yansımaz (Şekil 4). Mükemmel olmayan bir absorbanda enerji yüzeye doğru hareket ederken belirli bir miktar içeriye geri yansır ve bu enerji ışınım yoluyla dışarı çıkamaz. Bu da enerjinin tamamından daha azının yayılmasına neden olur (Şekil 5).



Şekil 4 : Mükemmel Absorban Kara Cisim (Black Body)



Şekil 5 : Mükemmel Olmayan Absorban - Radyasyon Yayıcı

2.1.2. Spektral Emisivite (Emisyon) – Basit Hesaplama ve Tanım

Spektral Emisivite (ϵ), gerçek bir cismin yaydığı radyasyonun aynı sıcaklıktaki siyah bir cismin yaydığı radyasyona oranı olarak tanımlanır.

$$\epsilon = \frac{I_{\text{real object}}}{I_{\text{black body}}} \quad [1]$$

Emisivite, belirli bir spektral aralıkta/dalga boyunda bir yüzeyden ne kadar radyasyon enerjisi yayıldığını tanımlar.



Şekil 6A : Paslanmaz Çelik Tencere



Şekil 6B : Siyah Emaye Tencere

Her iki tencerede de tam olarak aynı sıcaklıkta - diyelim ki 95 °C - beş litre su olduğunu varsayalım. Tencere yüzeylerine doğrudan dokunmadan parmaklarınızın tersiyle yaklaştığınızda, siyah emaye tencerenin tencereye dokunmanızı engelleyecek belirgin bir ısıya sahip olduğunu hissedersiniz. Paslanmaz çelikten yapılmış tencereye yaklaştığınızda ise daha az ısı hissedeceğinizi göreceksiniz. Her iki durumda da tencereye dokunursanız cildinizi eşit derecede yakarsınız.

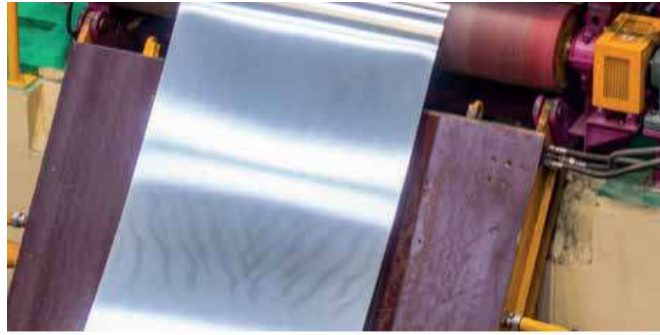
Tencere yüzeylerinin sıcaklığı aynı olsa da farklı yüzeyleri nedeniyle farklı yoğunluklarda enerji - yoğunlukla kızılötesi radyasyon - yayarlar.

Emaye yüzey, yaklaşık %95'lik bir emisivite ile eşdeğer bir kara cismin yayacağı enerjinin neredeyse tamamını yayar, ancak paslanmaz çelik yüzey radyasyonun daha fazlasını yansıtır ve eşdeğer bir kara cisme kıyasla çok daha az enerji yayar, enerjinin yalnızca yaklaşık %25'ini.

2.1.3. Emisivite Değerini Etkileyen Etkenler

-Malzemenin Yüzey Durumu

Soğuk haddeleme uygulamasındaki bir çelik sac düşünüldüğünde, görünür ışık bile parlak metal yüzeyden net bir şekilde yansıtılmaktadır. Bu parlak yüzey, kızılötesi spektral aralıkta da yüksek bir yansımaya neden olur. Çoğu durumda bir yüzeyin yansıtıcılığı ne kadar yüksekse, kızılötesi radyasyonu iletmediğinden emisyonu da o kadar düşüktür.



Şekil 7 : Çelik Sac

- Dalga Boyu veya Spektral Tepki

Örnek olarak cam, görünür ve kızılötesi spektrumlarında farklı spektral aralıklarda iletim yapar, yayar ve yansıtır. Dalga boyuna bağlı olarak, 5 μm dalga boyu civarında iletim yokken (ultra ince olmayan cam) yüksek bir emisiyona ve düşük bir yansımaya sahip olabilir ve 1 μm 'de çok düşük bir emisyon ve yansıma ile neredeyse şeffaftır.

Nesne emisivitesi dalga boyuna göre değişir.



Şekil 8 : Cam Üretimi

-Görüş Açısı

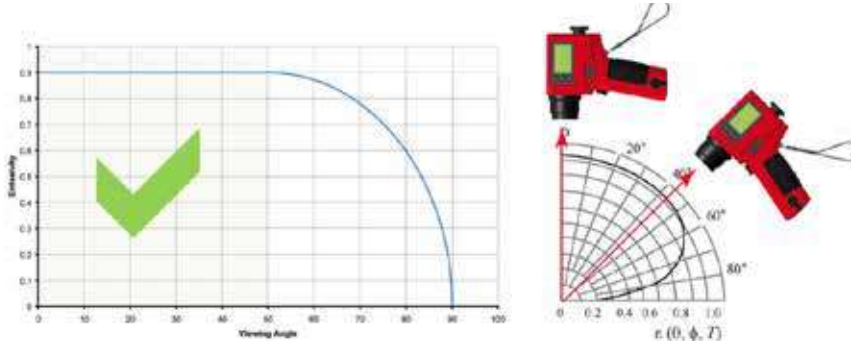
Göl resmi ışığın farklı iletim ve yansıma davranışlarını göstermektedir. Resmin sağ alt kısmında, taşlarla kaplı göl zemini açıkça görülüyor - ışık iletiliyor. Göl yüzeyine daha uzaktan bakıldığında ise arka plandaki dağlar net bir şekilde yansımaktadır.

Görüş açısının değiştirilmesiyle yansıtma, geçirgenlik ve yayıcılık değişir.



Şekil 9 : Cam Üretimi

Termometreyi monte etmek için önerilen maksimum açı normalden 45°'dir. Nesne yüzeyine dik olarak 50°'ye kadar görüş açısına sahip çoğu malzeme için emisivitede önemli bir değişiklik olmamalıdır. (Şekil 23). Daha yüksek görüş açıları, malzemeye bağlı olarak emisivite daha yüksek veya daha düşük değerlere doğru hızla değişir.



Çizelge 1 : Görüş açısı ile emisivite değişimi

-Sıcaklık

Malzemelerde sıcaklıkla birlikte hafif bir emisivite değişimi olabilirken, özellikle katıdan sıvıya gibi hal değişimlerinde emisivite sıcaklıkla birlikte değişir.

Bir malzeme hal değiştirdiğinde emisivitede büyük bir değişiklik meydana gelir.



Şekil 10 : Sıvı Metal Döküm

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

Verilen tüm bu teknik bilgilerin ışığında çalışan Temassız Optik bir pirometre ile dökümhanelerde en bilinen yöntem olarak kullanılan daldırma tip kartuşlu termokupl cihazları karşılaştırıldı.

Amaç: Teorik olarak verilen tüm bu verilerin endüstriyel alanda uygulanabilirliğini tespit etmek. Geleneksel yöntemler yerine bu yönetimin pratik hayata uygunluğunu saptamak.

Özet: Sıcaklıktan ve ısıdan bahsedildiğinde akla gelen en önemli sektörlerden birisi olan döküm sektöründe gelişen teknolojinin takip edilmesi oldukça önemlidir. Bilindiği üzere tüm dünyada döküm üreticilerinden beklentiler her geçen sene artmaktadır. Bu beklentilerin başında maliyetlerin azaltılması ve kalitenin artırılması gelmektedir. Ancak son dönemlerde bunlar kadar önemli olan çevreye duyarlılık, iş güvenliği, işçi sağlığı ve karbon ayak izi gibi kavramlar da gündeme gelmektedir. Dolayısı ile gelişen teknolojilerin tüm bu beklentilere cevap vermesi ve çözüm sunması gerekmektedir.

Çalışma: Türkiye'nin en büyük dökümhanelerinden birisinde yukarıda teori ile çalışan Temassız Optik bir pirometre denenmiştir. Pirometrenin ayarları yukarıdaki veriler dikkate alınarak yapılmıştır ve uzun yıllardır dökümhanelerde kullanılan Daldırma Tip Kartuşlu Termometre ile kıyaslanmıştır. Yapılan çalışmada, indüksiyon ocaklarında, transfer potalarında ve kalıba döküm sırasında ölçümler yapılmış ve aynı şekilde sistemde kullanılmakta olan diğer termokupl ölçüm sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.



Şekil 11 : Daldırma Tip Kartuşlu Termokupl ile ölçüm



Şekil 12 : Taşınabilir Optik Pirometre ile ölçüm



Şekil 13 : İndüksiyon Ocağından Ölçüm Karşılaştırması



Şekil 14 : Otomatik Döküm Potası Sıcaklık Karşılaştırma

Şekil 15 : El Potasından Ölçülen Sıcaklık Karşılaştırma



Şekil 16 : Döküm Potasından Ölçülen Sıcaklık

Şekil 17 : Kalıba Akıştan

Sonuç:

- Daldırma Tip Kartuşlu Termokupl ile bir ölçüm yaklaşık 13-14 sn sürerken, optik ölçer ile bir ölçüm yaklaşık 1-2 sn sürdü.
- Optik ölçer 5 metre mesafeye kadar ölçüm yaptığı için çalışanlar için daha güvenli bir ortam sağladı.
- Optik ölçer ile otomatik potanın kapağının açılmasına gerek kalmadan, döküm esnasında akan sıvı metalden ölçüm alındı. İndüksiyon ocağında ise ocak kapağının tamamen açılmasına gerek kalmadı.
- Optik ölçerde sarf olarak kullanılan bir kartuş olmadığından, art arda ölçümler alınmasına olanak sağladı. Bu çoklu ölçümler, fırın sıcaklığının ve döküm kalitesinin çok daha iyi kontrol edilmesini sağlayarak, tutarsız sıcaklıklardan kaynaklanan kusurları önleyecektir.
- Kartuş sarfiyatının olmaması, maliyet ve çevresel faktörler açısından önem arz edecektir.
- Boyutları ve ağırlığı sayesinde oldukça kolay bir şekilde ve hızlıca istenilen istasyona taşındı. Ölçüm sırasında ise ekstra bir gereksinimi olmadı.

4. BULGULAR

Uzun yıllarını döküm sektörüne vermiş ve bu yüksek sıcaklıktaki çalışma ortamında hayatını geçirmiş kıymetli ustalarımız, sıvı metale bakarak sıcaklıklarını bilirlerdi. Aslında yöntemleri bu çalışmalarda adı geçen optik ölçüm yöntemi idi.

Alüminyum dökümlerde 700-720 °C, pik – sfero gibi demir dökümlerinde 1400-1550 °C, çelik dökümlerde ise 1600 °C ve üzerinde sıcaklıkların söz konusu olduğu döküm sektöründe, döküm sıcaklıklarının doğru ve güvenli bir yolla ölçülmesi hayati önem taşımaktadır.

Müşteri beklentileri dikkate alındığında ise bu ölçümlerin kaydedilmesi, izlenmesi ve geriye dönük veriler halinde saklanması üreticinin çalışma kalitesinin önemli bir göstergesidir.

Çalışma şartlarının oldukça zor ve ağır olduğu böyle bir sektörde, her yeni teknolojinin takip edilmesi ve üretim prosesi içerisine dahil edilerek kalitenin her zaman bir adım ileriye götürülmesi gerekmektedir.

Tüm bu teknik veriler ve yapılan deneysel çalışmalar göstermektedir ki, dökümün en kritik parametrelerinden birisi olan döküm sıcaklıklarının ölçüm yöntemi ciddi önem arz etmektedir. Bu nedenle Temassız Optik Pirometrelerin sektördeki öneminin zamanla artacağı ve döküm prosesine dahil olacağı bir gerçektir.

5. KAYNAKÇA

MANFRED HAYK, “Fundamentals and Practice of Infrared Non-Contact Temperature Measurement”, Dubai, March 2023

Zhang, Xudong. Infrared Thermography: Principles and Applications. Springer, 2018.

Johnson, R. T., & Lee, M. H. (2019). Non-contact temperature measurement techniques: An overview. *Journal of Applied Thermal Engineering*, 150(3), 213-225. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.01.012>

National Institute of Standards and Technology (NIST). (2020, April 5). Non-contact thermometers: Infrared thermometers and thermal imagers. NIST. <https://www.nist.gov/publications/non-contact-thermometers-infrared-thermometers-and-thermal-imagers>

Kim, Y., & Park, J. (2020). Advances in non-contact infrared thermography for medical applications. In *Proceedings of the International Conference on Thermal Engineering* (pp. 102-109). IEEE.

Östemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demir (ÖKGDD) Malzemelerde Bilyalı Dövme İşleminin Mekanik Özelliklere Etkisi

Uğur KURUOĞLU*, Yağmur LALEÇİ*, Sıla Nur EKİZ**, Ferhat GÜL***

*Akdaş Döküm San. Tic. A.Ş. Ankara, Türkiye

**Gazi Üni., Teknoloji Fak. İmalat Müh.Böl., Ankara, Türkiye

***Gazi Üni., Teknoloji Fak. Metalurji ve Mal.Müh. Böl., Ankara, Türkiye

ÖZET

Küresel grafitli dökme demir, birçok mühendislik malzemelerine kıyasla üstün mekanik özelliklere sahip bulunmaktadır. Küresel grafitli dökme demirin östemperleme ısı işlemi, çekme dayanımı, sertlik, darbe dayanımı gibi birçok özelliğinde artış sağlamaktadır. Bu çalışmada östemperlenmiş küresel grafitli dökme demirin darbe dayanımına, bilyalı dövme işleminin etkisinin incelenmesi hedeflenmiştir. Bilyalı dövme işleminin, östemperlenmiş küresel grafitli dökme demir malzemenin yorulma dayanımına olumlu etkisi bilinmekle beraber, darbe dayanımına etkisi detaylı olarak çalışılmamıştır. Bu çalışmada, belirli bilyalı dövme parametreleri kullanılarak hazırlanan östemperlenmiş küresel grafitli dökme demir numunelere mikroyapı incelemesi, sertlik ve darbe testi uygulanmıştır. Çalışma sonuçları, bilyalı dövmenin östemperlenmiş küresel grafitli dökme demirin mikroyapısında inceleme, yüzey sertliği ve darbe dayanımında bir artışa neden olduğunu ortaya koymaktadır.

Anahtar kelimeler: Küresel grafitli dökme demir, östemperleme, bilyalı dövme, sertlik.

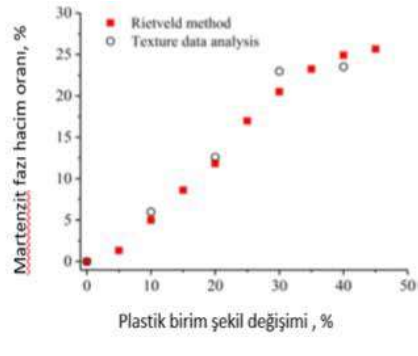
ABSTRACT

Ductile iron has superior mechanical properties compared to many other engineering materials. Austempering heat treatment of spheroidal graphite cast iron increases many properties such as tensile strength, hardness and impact resistance. In this study, it was aimed to examine the effect of shot peening on the impact strength of austempered spheroidal graphite cast iron. Although the positive effect of the shot peening process on the fatigue strength of austempered spheroidal graphite cast iron material is known, its effect on the impact strength has not been studied in detail. In this study, microstructure examination, hardness and impact tests were applied to austempered spheroidal graphite cast iron samples prepared using certain shot peening parameters. The study results reveal that shot peening causes a refining of the microstructure of austempered spheroidal graphite cast iron and an increase in surface hardness and impact strength.

Keywords: Ductile iron, austempering, shot peening, impact test, hardness.

1.GİRİŞ

Dökme demirler, % 2'den fazla C ve yaklaşık % 1-3 Si içeren demir-karbon-silisyum alaşımları olup, yapıdaki karbon, bileşik olarak demir karbür veya serbest karbon şeklinde grafit olarak bulunabilmektedir. Karbonun bileşik veya serbest halde olması, serbest halde ise grafitin şekli dökme demirin türünü ve özelliklerini belirlemektedir. Ayrıca kimyasal bileşim, soğuma hızı, döküm sıcaklığı ve üretim yöntemleri gibi değişkenler, farklı dökme demirlerin ve farklı özelliklerin meydana gelmesinde belirleyici rol oynamaktadır [1-3]. Düşük kükürt ve fosfor içeriğine sahip gri dökme demire, özel ekipmanlar kullanılarak Mg veya Ce ilavesi ile küreleştirme işlemi uygulanmakta[2], ardından uygulanan aşılama işlemi ile, karbür oluşumu engellenirken, ferrit oranı, küreleşme oranı ve küre sayısının artması sağlanmaktadır[4]. Östemperleme ısıl işlemi neticesi, sfero dökme demir malzeme, yüksek karbonlu östenit ve asiküler ferrit fazlarından oluşan ösferritik bir yapıya sahip bulunmaktadır. Bu özgün yapı sayesinde, yüksek mukavemet, süneklik ve tokluk kombinasyonunun elde edilmesi mümkün olmaktadır [5,6]. Bu durum, düşük üretim maliyeti, yüksek özgül mukavemet, düşük özgül ağırlık gibi avantajları nedeniyle, östemperlenmiş küresel grafitli dökme demir (ÖKGDD) malzemelerin, çelik ve alüminyum alaşımları ile rekabet edebilmesine imkan sağlamaktadır. Küresel grafitli dökme demir malzeme (KGDD), döküm halinde bile, çeliğin mühendislik avantajlarının dışında, düşük ergime noktası, iyi akıcılık ve işlenebilirlik gibi gri dökme demirin üstünlüklerine de sahip bulunmaktadır [5,7]. Malzeme seçimi açısından bakıldığında, östemperlenmiş sfero dökme demirlerin, bu nedenle otomotiv ve hafif/ağır ticari araçlar, inşaat ve maden ekipmanları, demiryolu, tarımsal ekipmanları, dişliler ve krank mili gibi birçok uygulamada en verimli çözüm olduğu anlaşılmaktadır [5,8]. Endüstride çelik vb. geleneksel malzemelerin yerini alan birçok ÖKGDD parçalar üretilmektedir. Modern mühendislik uygulamalarında, malzeme performansını artırmak ve ürün ömrünü uzatmak amacıyla çeşitli yüzey işlem teknikleri kullanılmaktadır [9]. Bu tekniklerden biri olan bilyalı dövme işlemi, malzemenin yüzeyinde kalıntı basma gerilmesi meydana getirerek, ultra ince taneler ve nanoyapı oluşturmaktadır [10]. Bu işlem yorulma dayanımını, aşınma direncini, korozyon ve mekanik özelliklerini iyileştirmeyi hedefleyen bir soğuk işlem sürecidir. Bilyalı dövme, sertleştirilmiş çelik veya seramik bilyaların yüzeye çarptırılmasıyla gerçekleştirilir. Bu süreç, yüzeydeki yapının plastik deformasyonunu sağlayarak kalıntı basma gerilmelerinin ortaya çıkmasını sağlamaktadır [11-14]. Bu gerilmeler, yüzeyde çatlak oluşumunu ve büyümesini engelleyerek malzemenin yorulma ömrünü önemli ölçüde artırmaktadır [13,15]. İşlem şartlarına bağlı olarak bilyalı dövme sayesinde yayların servis ömrü % 400-1200 oranında, dişlilerin yorulma ömrü ise % 500'den fazla oranda arttırılabilmektedir. Bilyalı dövme ile Şekil 1'de görüldüğü gibi yüzeye çarptırılan sertleştirilmiş çelik veya seramik bilya ile oluşturulan kalıntı basma gerilmesi sayesinde, yorulma çatlağının başlaması ve büyümesi geciktirilmektedir[11]. Öte yandan bilyalı dövme ile ösferritik matris yapıya sahip malzemenin, martenzite dönüşümünün meydana geldiği bilinmektedir [15-17]. 350 °C'de östemperleme işlemi uygulanmış KGDD'de plastik birim şekil değiştirme miktarına göre martenzit faz hacim oranının değişimi, Şekil 2'de gösterilmiştir [17]. Geçmişte yapılan araştırmalarda, bazı malzemeler üzerinde bilyalı dövme işleminin etkileri incelenmiştir. Zammit vd. ve bazı diğer araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda, bilyalı dövme tekniğinin ÖKGDD malzemelerde, yorulma ömrünü ve aşınma direncini önemli ölçüde arttırdığını ortaya koymuştur[18-19,15]. Bu üstün özelliklere sahip ÖKGDD bilyalı dövme işlemi sonrasında mühendislik uygulamalarında daha sık kullanılan bir alternatif malzeme olmuştur.



Şekil 2: Plastik deformasyon miktarına göre martenzit oranının değişimi[17]

Bu çalışmanın amacı, ÖKGDD malzemelerin darbe dayanımına bilyalı dövme işleminin etkisini belirlemektir. Bilyalı dövme işlemi ile malzemelerin yorulma dayanımının arttığı bilinmektedir [14]. Ancak ÖKGDD'in darbe dayanımına bilyalı dövme işleminin etkisini inceleyen sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır [16]. ÖKGDD'de yorulma direncinin artırılması için sıklıkla kullanılan bilyalı dövme işleminin, darbe dayanımında meydana getirdiği değişimin önemli olduğu düşünülmektedir. Bu çalışmada yüksek darbe dayanımına sahip üst ösferritik yapılı ÖKGDD malzeme, bilyalı dövmenin darbe dayanımına etkisinin belirlenmesi hedeflenmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada bileşimi Tablo 1'de verilen GGG-50 küresel grafitli dökme demir malzeme, BS EN 1563:2018 standardına uygun olarak a=70 mm, b=52,5 mm, c=35 mm L=250 mm ölçülerine sahip Y blok, kum kalıba döküm yöntemi kullanılarak dökülmüştür. Kimyasal bileşimin tespiti için OBLF GS 1000-II marka model spektrometre kullanılmıştır. Y Bloklardan kesilen ve işlenen 10x10x55 mm boyutlarındaki Charpy darbe numuneleri ısıtılma hazır hale getirilmiştir. Dökülen KGDD malzemelere 900 °C'de 60 dakika östenitleme, ardından 360 °C'de 120 dakika östempereleme işlemi uygulanmıştır. Bilyalı dövme işleminde uygulanan işlem parametreleri Tablo 2'de verilmiştir. Bilyalı dövme işleminde kullanılan ekipmanlar Şekil 3'de verilmiştir[20].

Östempereleme ısıtılma işlemi ve bilyalı dövme işlemi sonrası metalografik inceleme için 10x10x10 mm boyutlarında hazırlanan numunelerin sıcak bakalite alma işlemi, Metkon marka Ecopress 102 model cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Daha sonra sırasıyla Metkon marka Forcipol 202 model cihaz kullanılarak, 180, 320, 600, 800 ve 1200 mesh zımparalar ile zımparalama ve 6 µm, 3 µm elmas süspansiyon ile parlatma işlemi gerçekleştirilmiştir. Optik mikroyapı incelemeleri için Leica marka DM 4000M model ve Nikon marka MA100 model optik ışık mikroskopu kullanılarak 300 dpi çözünürlükte ve farklı büyütme oranlarında inceleme yapılmış ve Image J ve Clemex yazılımları kullanılarak küre sayısı, küreleşme oranı, % grafit ve faz oranları belirlenmiştir. Dağlama işlemi için, % 2'lik Nital kullanılmıştır. Makro sertlik ölçümleri, Emcotest Duravision 30 G5 sertlik cihazında numunelerin dış yüzeylerinden 3 kg yük ve elmas piramit uç (vickers) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Mikro sertlik testleri ise, Qness marka Q30 M model sertlik ölçüm cihazı ve 100 gr yük kullanılarak, 10 saniye boyunca yük uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Metalografik inceleme yapılan numuneler üzerinde bilyalı dövme yapılan yüzeyinin altından ve 5 farklı bölgeden olacak şekilde HV0,1 mikrosertlik ölçümleri yapılmış değerlerin ortalamaları alınmıştır. Mikro sertlik testlerinde, yüzeyden 20 µm içeriden başlayarak 20 µm merkeze doğru ilerleyecek şekilde maksimum 180 µm mesafeye kadar ölçüm yapılmıştır. ASTM E23 standardına göre hazırlanmış olan 10x10x55 mm boyutlarına sahip, çentik bulunmayan numuneler oda sıcaklığında darbe testine tabi tutulmuştur. Darbe testlerinde MTS marka Exceed 22.452 model 450 Joule kapasiteye sahip, Charpy tipi test cihazı kullanılmış, bilyalı dövme uygulanmış ve uygulanmamış KGDD olmak üzere her bir gruptan 4 adet numune test edilerek, bunların ortalaması bulunmuştur. Bilyalı dövme sonucu

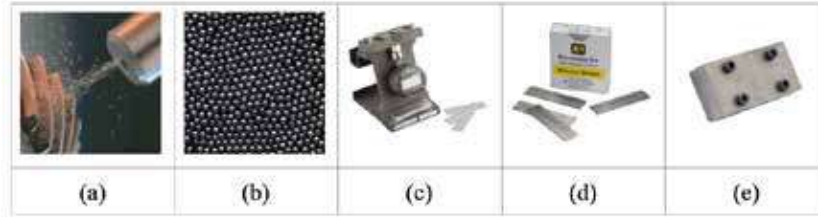
meydana gelen faz değişimlerini belirlemek için XRD analizi gerçekleştirilmiştir. XRD analiz işleminde X ışını kaynağı olarak monokromatik $\text{CuK}\alpha$ ışını ($\lambda=1.54056 \text{ \AA}$) kullanılarak 40 kV ve 40 mA'da Bruker marka D8 Advance model XRD cihazı kullanılarak 2θ açısı $20-90^\circ$ aralığında olacak şekilde $0.02^\circ/\text{sn}$ tarama hızında analiz gerçekleştirilmiştir.

C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V	W
3,54	2,53	0,207	0,036	0,144	0,069	0,08	0,003
Al	Cu	Mg	Ti	P	S	N	
0,016	0,405	0,044	0,01	0,04	0,009	0,004	

Tablo 2 : Bilyalı dövme işlem parametreleri

ALMEN TEST KAYDI		
1	Belirtilen Intensiv	(36-38A) - (A1)
2	Ölçülen Intensiv	0,0365A
3	Shot Ölçüsü, Tipi, Sertliği	s.170-0.42 mm - bainitic - 56-62 Rc
4	Coverage	% 200
5	Nozzle/Parca Mesafesi	220 mm
6	İşlem Süresi	1,27 min.
7	Shot Hızı veya Basıncı	82 km/h - 6.5 bar
8	Nozzle İlerleme Hızı	20 m/s

Tablo 2 : Bilyalı dövme işlem parametreleri



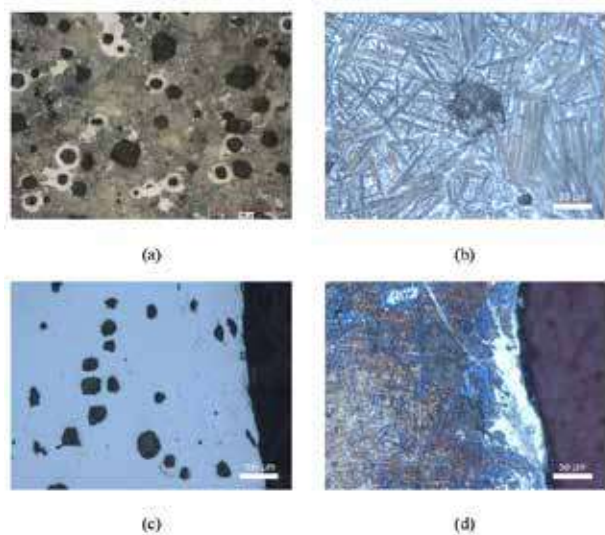
Şekil 3 : Bilyalı dövme işleminde kullanılan ekipmanlar a) Bilyalı dövme, b) Bilye, c) Almen gage, d) Almen strip, e) Almen holder [20]

3. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

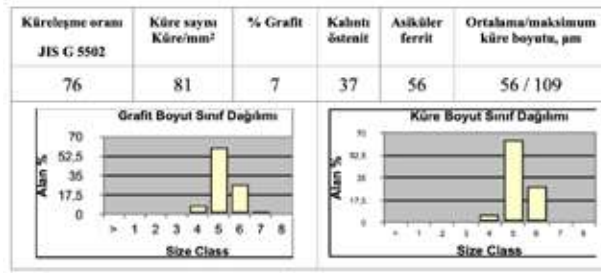
Küresel grafitli dökme demirin döküm durumu ve östemperleme işlemi sonucu elde edilen grafit ve matris yapısı sırasıyla Şekil 4 a) ve b)'de gösterilmiştir. Döküm halinde mikroyapının ağırlıkça perlit fazından meydana geldiği tespit edilmiştir. Döküm durumunda küre sayısı $124 \text{ küre}/\text{mm}^2$, küreleşme oranı % 78, küre boyutu $27 \mu\text{m}$ olarak elde edilmiştir. Perlit hacim oranı % 77, ferrit hacim oranı % 14 ve grafit % 9 olarak bulunmuştur. Östemperleme işleminden sonra ise, yapının yüksek karbonlu östenit ve asiküler ferritten oluşan "üst ösferrit" ve aynı zamanda dönüşmemiş östenitten meydana geldiği görülmektedir. Östemperleme sonucu mikroyapıda elde edilen matris ve grafit fazı ile ilgili ayrıntılar Şekil 5'de verilmiştir. Buna göre yapıda küre sayısının yüksek olmadığı, küreleşme oranının da nispeten düşük olduğu görülmektedir. Isıl işlem sonrası döküm durumuna göre küre boyutu ve yapısında değişimlerin olduğu bilinmektedir. Yapılan çalışmalarda ısıl işlem veya östemperleme işlemi ile küre sayısının düştüğü ve boyutunun arttığı bilinmektedir [21]. Gerçekleştirilen çalışmada kalıntı östenit miktarının % 37 oranında meydana geldiği, ortalama küre boyutunun $56 \mu\text{m}$, maksimum küre boyutunun $109 \mu\text{m}$ olduğu belirlenmiştir. Bu sonuca göre östemperleme sonrası % grafit değerinin ve küre sayısının azaldığı ve küre boyutunun arttığı

ve küreleşme oranının önemli oranda değişmediği, az bir miktarda azaldığı tespit edilmiştir. Daha önce yapılan çalışmalarda 840 °C'de 30 dk östenitleme ve ardından 30 dakikalık östemperleme ile 300 °C'de % 30 ve 360 °C'de % 39 oranında kalıntı östenit elde edildiği [21], bir başka çalışmada ise 900 °C 'de 90 dakika östenitleme ve 375 °C'de 90 dakika östemperleme sonucu % 35,5 kalıntı östenit oluştuğu belirlenmiştir [22].

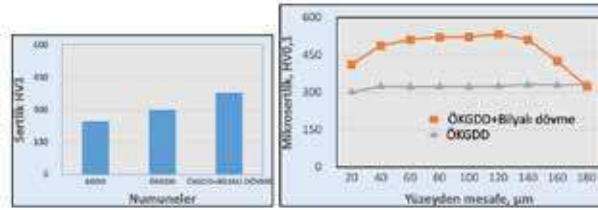
Bilyalı dövme uygulanmış küresel grafitli dökme demir malzemenin, dağlanmamış ve dağlanmış yüzey mikroyapı görüntüleri sırasıyla Şekil 4 c) ve d)'de verilmiştir. Şekil 4 c) ve d)'de bilyalı dövme uygulanmış malzemelerin yüzeyinde deforme olmuş grafitler, artan yüzey pürüzlülüğü görülmektedir. Aynı zamanda Şekil 4 b) bilyalı dövme uygulanmamış ÖKGDD malzemeye kıyasla Şekil 4 d)'de bilyalı dövülmüş ÖKGDD malzemede, yapıda meydana gelen inceltme dikkati çekmektedir. Özellikle Şekil 4 c)'de östemperleme işlemi sırasında malzeme yüzeyinde meydana gelen dekarbürizasyon bölgesinde olan yumuşak alanda bulunan kürelerin, iç kısımdaki kürelere nazaran bariz bir şekilde form değişimine uğradığı görülmektedir. Şekil 6 a)'da görüldüğü gibi östemperlenmiş ve östemperlenmiş+bilyalı dövülmüş malzemelerde dış yüzeyden yapılan makro sertlik ölçümlerinde bilyalı dövülmüş malzemenin yaklaşık olarak % 27 oranında daha yüksek kütesel sertlik değerine sahip olduğu ve elde edilen sertlik değerlerinin daha yüksek standart sapma gösterdiği bulunmuştur. Sertlik ölçümlerinde her bir gruptan 4 numuneden sertlik sonuçları kullanılarak ortalamaları alınmıştır. Silva vd. tarafından 320 °C de 1 saat ÖKGDD'e uygulanan bilyalı dövme öncesi 318 HV olan kütesel sertliğin, bilyalı dövme ile 395 HV değerine yükseldiği tespit edilmiştir. Bu çalışmada yazarların döküm durumu malzemeye yaptıkları bilyalı dövme işlemi sonucu ise, östemperlenmiş malzemede bilyalı dövme ile sertlik artışının, dökülmüş haldeki malzemeye göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca yazarlar östemperlenmiş küresel grafitli dökme demir malzeme yapısında homojenliğin olmaması nedeniyle, bu malzemede sertlik veri dağılımı ve standart sapmanın daha fazla olduğunu ifade etmişlerdir[23]. Şekil 6 b)'de yüzeyden itibaren merkeze doğru bilyalı dövülmüş malzemede sertlik değişimi görülmektedir. Mikro sertliğin yüzeyden itibaren artış gösterdiği, östenitleme sırasında oluşan dekarbürizasyon nedeniyle Şekil 4d)'de görüldüğü gibi yüzeyde kısmi olarak ferrit bölgelerinin oluştuğu ve bilyalı dövme işlemi ile bu bölgelerde sertlik artışının fazla olmadığı, bu nedenle yüzeyde sertlik artışının düşük kaldığı belirlenmiştir.



Şekil 4 : a) Döküm durumu, dağlanmış b) ÖKGDD dağlanmamış c) Bilyalı dövülmüş ÖKGDD yüzey dağlanmamış d) Bilyalı dövülmüş ÖKGDD yüzey dağlanmış

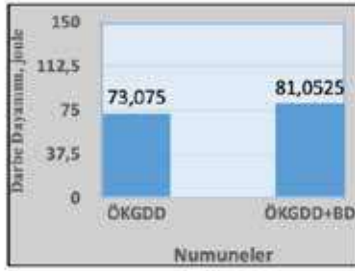


Şekil 5 : ÖKGDD malzemede grafit ve matris değerleri

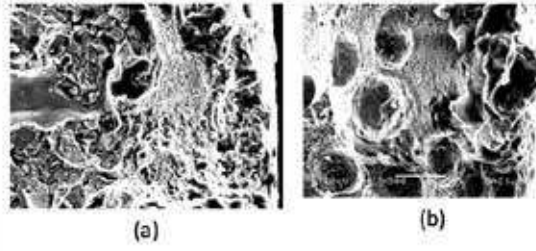


Şekil 6 : ÖKGDD ve ÖKGDD+bilyalı dövme uygulanmış malzemelerin a) yüzey makro sertlikleri (HV3) ve b) Yüzeyaltı mikrosertlik HV0,1 değişimi

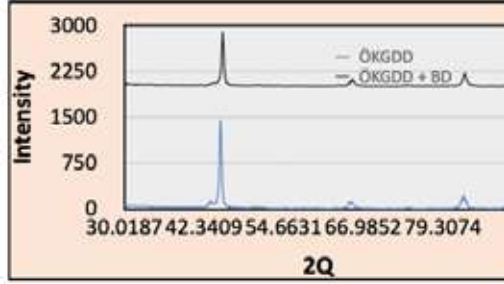
Bunun sebebinin, östenitlemede dekarbürizasyon nedeniyle, östemperlenmeyen katmanın, fazla sertleşmemesine dayandığı düşünülmektedir. Daha önce yapılan çalışmalarda da, bilyalı dövme yapılan döküm durumu KGDD yapılarda, sertlik artışının, östemperlenmiş malzemeye göre daha düşük olduğu ifade edilmektedir[23]. Yüzeyden itibaren dekarbürizasyon katmanı geçildikten sonra 40 μm mesafeden itibaren sertliğin kararlı bir hale geldiği görülmektedir. Yapılan darbe testi sonucu bilyalı dövme uygulanan ve uygulanmayan numunelerin darbe dayanımında değişim Şekil 7’de verilmiştir. Bilyalı dövme işlemi ile malzemenin darbe dayanımında % 10,9 gibi düşük bir artış gerçekleşmiştir. Bilindiği üzere bilyalı dövme vb. işlemlerin yorulma dayanımının önemli oranda arttırdığı bilinmektedir [23-25]. Sellamuthu vd. tarafından yapılan çalışmada, döküm halinde 59 Joule darbe dayanımı elde edilirken, 300 °C’de östemperleme işlemi sonucu 100 Joule ve 360 °C’de östemperleme işlemi sonucu ise 132 Joule darbe dayanımı elde edilmiştir[21]. Yao ve arkadaşları tarafından Al 7055 malzemede yapılan frezeleme işlemi sonrası gerçekleştirilen bilyalı dövme ile artık gerilmenin ve sertliğinin artmasına rağmen, yüzey pürüzlülüğünde artış meydana geldiği görülmüştür [26]. Ancak bu çalışmada dövülmemiş malzemenin yüzey pürüzlülüğüne ($R_a=0,285 \mu\text{m}$) göre bilyalı dövme uygulanan malzemenin yüzey pürüzlülüğünün ($R_a=3,172 \mu\text{m}$), ve sertliğinin artış göstermesinden dolayı, darbe dayanımında çok yüksek artış olmadığı tespit edilmiştir. Darbe testi sonucu elde edilen kırık yüzey SEM görüntüleri Şekil 8’de görülmektedir. Şekil 8’de bilyalı dövülmüş malzemenin kırık yüzeyinde yapıdaki incelleme görülmektedir. Şekil 9, ÖKGDD ve bilyalı dövme uygulanmış ÖKGDD malzemelerin yüzeyden çekilen XRD grafikleri görülmektedir. Östenitleme sürecinde östemperlenmiş haldeki KGDD malzemede dekarbürize olan katman nedeniyle, yüzeyde yoğun olarak ferrit fazının olduğu, bilyalı dövülmüş malzemede pürüzlü yüzeyin zımparalaması sonucu yapıda en yoğun yine ferrit olmak üzere, martenzit ve az miktarda östenit bulunduğu anlaşılmıştır.



Şekil 6 : ÖKGDD ve bilyalı dövülmüş ÖKGDD malzemelerin darbe dayanımı



Şekil 8 : ÖKGDD (a) ve bilyalı dövülmüş ÖKGDD (b) malzemenin kırık yüzey SEM görüntüsü



Şekil 9 : Bilyalı dövülmüş ve dövülmemiş ÖKGDD'in XRD grafiği

SONUÇLAR

900 °C'de 1 saat östenitleme işlemi uygulanan ve ardından 360 °C'de 120 dakika östemperlenen numunelere uygulanan bilyalı dövme işlemi sonucu, aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

1. Döküm durumu numunelerin perlitik matrikse, östemperleme sonrası ise üst ösferritik matriks yapıya sahip olduğu belirlenmiştir.
2. Östemperleme işlemi ile küre sayısının azaldığı ve boyutunun büyüdüğü belirlenmiştir.
3. Östenitleme işlemi sırasında dekarbürizasyon sonucu yüzeyde ferrit katmanının meydana geldiği belirlenmiştir.
4. Çalışmada kullanılan döküm durumu numunelerin sertliğinin, östemperleme işlemi sonucu % 22 artış gösterdiği tespit edilmiştir.
5. Bilyalı dövme işlemi sonucu ise yüzeysel sertlikte, ÖKGDD malzemeye göre % 27 ve döküm durumuna göre % 54 artış sağlandığı belirlenmiştir.
6. Bilyalı dövme neticesinde malzemelerin yüzey pürüzlülüğü artmasına rağmen, darbe dayanımında % 11'e yakın oranda artış sağlandığı tespit edilmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada uygulanan bilyalı dövme işlemini gerçekleştiren dolayı Kum metal firmasına ve Sayın Yaşar ALTAY'a, XRD çalışmalarındaki katkılarından Nilüfer ÖZEL'e teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- [1] M. Yıldız, "Dökme Demirlerde Nicel Faz Analiz Tekniklerinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ocak 2014.
- [2] Sevgi E, Çulha O. "Isıl İşlem Şartlarının Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Özelliklerine Etkisi", Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, C.23(69), 2021, pp.1033-48.
- [3] R. Yakut, R. Ortakaya, "Investigation of The Effect of Additional Zirconium Diboride (Zrb2) in Spherical Graphite Cast Iron on Mechanical Properties", Coatings, Vol.13(8), 2023, pp.1385.
- [4] D. Patel, P.K. Nanavati, C.M. Chug, "Effect of Ca and Ba Containing Ferrosilicon Inoculants on Microstructure and Tensile Properties of IS-210, and IS-1862 Cast Irons" National Conference on

- Emerging trends in Engineering, Technology & Management, Ahmedabad, Gujarat, 2013, pp.1-8.
D. Patel, P.K. Nanavati, C.M. Chug, in National Conference on Emerging trends in Engineering Technology and Management”, Effect of Ca and Ba Containing Ferrosilicon Inoculants on Microstructure and Tensile Properties of IS-210, and IS-1862 Cast Irons (Ahmedabad, 2013), pp. 1–8,
D. Patel, P.K. Nanavati, C.M. Chug, in National Conference on Emerging trends in Engineering Technology and Management”, Effect of Ca and Ba Containing Ferrosilicon Inoculants on Microstructure and Tensile Properties of IS-210, and IS-1862 Cast Irons (Ahmedabad, 2013), pp. 1–8,
- [5] M. Górný, G. Angella, E. Tyrála, M. Kawalec, S. Paž, A. Kmita, “Role of Austenitization Temperature on Structure Homogeneity and Transformation Kinetics in ADI”, *Metals and Materials International*, Vol.25, 2019, pp.956-965.
- [6] S.K. Swain, R.K. Panda, J.P. Dhal, S.C. Mishra, S. Sen, “Phase Investigation of Austempered Ductile Iron”, *Orissa Journal of Physics*, Vol.19(1), February 2012, pp. 73-80.
- [7] M. Arıkoğlu, C. Kaplan, C. Güleç, O. Akbaş, “Küresel Grafitli Dökme Demirden (Sfero) Üretilen Krank Kasnağının Katılaşma Modellemesinin Optimizasyonu ve Üretim Problemlerinin Çözüm- lenmesi”, *Euro Asia 7 th International Congress, on Applied Sciences*, Trabzon, 21-22 August 2020, pp.230-243.
- [8] P. Yi, E. Guo, L. Wang, Y. Feng, C. Wang, “Effect of First-Step Temperature and Time on the Microstructure and Mechanical Properties of the Two-Step Cu-Alloyed ADI”, *International Journal of Metalcasting*, 2023.
- [9] S. Qutaba, M. Asmelash, K. Saptaji, A. Azhari, “Review on Peening Processes and Its Effect on Surfaces”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* Vol.120, 2022, pp.4233–4270.
- [10] E.U.K. Maliwemu, V. Malau, P. Tri Iswanto, “Effect of Shot Peening in Different Shot Distance and Shot Angle on Surface Morphology, Surface Roughness and Surface Hardness of 316L Bi- omaterial”, *International Conference on Chemistry and MaterialScience (IC2MS)*, Malang, East Java, 2017, IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng., 2018, Vol.299(1), pp.1-6.
- [11] A. Abdelbary, L. Chang, “Principles of Engineering Tribology: Fundamentals and Applica- tions”, Elsevier, Amsterdam, 2023, Vol.7, pp.295-343.
- [12] M. Aydın, “Yüksek Basınç Altındaki Hidrolik Silindirlerin Yorulma Performanslarının İyileştiril- mesi”, Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üni., Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, 2021.
- [13] E. Maleki, G.H. Farrahi, K.R. Kashyzadeh, O. Unal, M. Gugaliano, S. Bagherifard, “Effects of Conventional and Severe Shot Peening on Residual Stress and Fatigue Strength of Steel AISI 1060 and Residual Stress Relaxation Due to Fatigue Loading: Experimental and Numerical Sim- ulation”, *Metals and Materials International*, Vol.27, 2021, pp.2575–2591.
- [14] M.A.S. Torres, H.J.C. Voorwald, “An Evaluation of Shotpeening, Residual Stres and Stres Re- laxation on the Fatigue Life of AISI 4340 Steel”, *International Journal of Fatigue* Vol.24, 2002, pp.877–886.
- [15] A. S. Benam, S. Yazdani, B. Avishan, “Effect of Shot Peening Process on Fatigue Behavior of An Alloyed Austempered Ductile Iron”, *ChinaFoundry*, Vol.8(3), 2011, pp.325-330.
- [16] M. Grech, D. Kennedy, Z. Schauerl, “An Investigation on the Suitability of Surface Engi- neered Austempered Ductile Iron as a Gear Material”, In Cost 532 Conference, Triboscience and Tribotechnology, Superior Friction and Wear Control in Engines and Transmission (Holmberg, K. ed), FEUP/ISEP, Porto, Portugal, 12-14 October, 2005, pp.89-97.
- [17] X. Li, S. Soria, W. Gan, M. Hofmann, M. Schulz, M. Hoelzel, H. Brokmeier, W. Petry, “Multi-Scale

- Phase Analyses of Strain-Induced Martensite In Austempered Ductile Iron (ADI) Using Neutron Diffraction and Transmission Techniques”, *J Mater Sci*, 2021, 56:5296–5306.
- [18] A. Zammit, M. Mhaede, M. Grech, S. Abela, L. Wagner, “Influence of Shotpeening on The Fatigue Life of Cu–Ni Austempered Ductile Iron”. *Materials Science and Engineering: A*, Vol.545, 2021, pp.78-85.
- [19] A. Zammit, “Shot Peening of Austempered Ductile Iron”. *Advanced Surface Engineering Research*, June 2018, 10.5772/intechopen.79316.
- [20] <https://kummetal.com.tr/magaza/>
- [21] P. Sellamuthu, D. G. Harris Samuel, D. Dinakaran, V. P. Premkumar, Zushu Li and Sridhar Seetharaman, “Austempered Ductile Iron (ADI): Influence of Austempering Temperature on Microstructure”, *Mechanical and Wear Properties and Energy Consumption Metals 2018*, Vol.8, pp.53.
- [22] Mona Hussein, Ragaie M. Rashad Mostafa Ahmed, A. Nofal, Mohamed Soliman Lamiaa Z. Mohamed, “Influence Of Austenite Stability on The Machinability Of Different Grades Of Austempered Ductile Iron (ADI) During Dry Turning Machining”, *International Journal of Metalcasting/ Volume 18, Issue 1*, 2024.
- [23] Klaus Higor dos Santos Silva, Diogo Azevedo de Oliveira, Natanael Geraldo e Silva Almeida, José Rubens, Gonçalves Carneiro, Pedro Paiva Brito, “Wear Properties of Austempered Ductile Iron Submitted to Shot-Peening Treatment”, *8th Brazilian Congress of Manufacturing Engineering* May, 18th to 22th 2015, Salvador, Bahia, Brazil, Copyright © 2015, ABCM.
- [24] E. Nordin, B. Alfredsson, “Experimental Investigation of Shot Peening on Case Hardened SS2506 Gear Steel”. *Exp Tech*, Vol.41, 2017, pp.433–451.
- [25] S. Karthick, S. Oliver Nesaraj, “Influence of Shot Peening on Surface Characteristics of Case Hardened SAE9310 Gear Material”, *3rd International Conference on Advances in Mechanical Engineering (ICAME 2020)*.
- [26] C. Yao, X. Dou, D. Wu, Z. Zhou, J. Zhang, “Surface Integrity and Fatigue Analysis of Shot-Peening For 7055 Aluminum Alloy Under Different High-Speed Milling Conditions”, *Advances in Mechanical Engineering*, 2016, Vol. 8(10), pp.1–10.

Traktör Ön Dingil Mesnedi İçin Topoloji Optimizasyonu ile Ağırlık Azaltma Çalışması

Cem AYDIN*, İlker GÜRAL*, M. Mert BULDU*
***Döktaş Dökümcülük Tic. ve San. A.Ş., Orhangazi, Bursa.**

Traktör ön dingil mesnedi, traktörün şasi grubunun önünde yer alan ana yapısal bileşenlerden biri olup, ön aksın şasi ve aktarma organları grubuna bağlantısını sağlar. Ön aks mesnedi, ön aksın aktardığı yükleri taşımanın yanı sıra soğutma grubunu da üzerinde taşır.

Bu çalışma kapsamında gri dökme demirden üretilen ön dingil mesnedi OptiStruct ile topoloji optimizasyonu yapılarak sfero dökme demir malzemeye dönüştürülmüştür. Optimizasyon sonuçlarına göre tasarım değişikliği ve üretilebilirlik için tasarım (Design for Manufacturing) çalışmaları yapılmış, oluşturulan tasarımlarda MAGMASOFT yazılımı ile döküm simülasyonu gerçekleştirilerek besleyici konfigürasyonları belirlenmiştir. Gerçekleştirilen optimizasyon ve tasarım çalışmaları sonrasında dayanım kriterleri korunarak %21 ağırlık azaltma sağlanmıştır.

Bu çalışma, traktör döküm parçalarının hafifletilmesi için topoloji optimizasyonu ve tasarım modifikasyonunun potansiyelini göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Traktör ön dingil mesnedi; topoloji optimizasyonu; dizayn; hafifletme; sfero dökme demir; döküm simülasyonu; magmasoft.

Weight Reduction Study of Tractor Front Axle Bracket Using Topology Optimization

The front axle support is one of the main structural components located at the front of the farming tractor's chassis group, providing the connection of the front axle to the chassis and transmission group. The front axle support not only carries the loads transferred by the front axle but also carries the cooling group on it.

In this study, the front axle support, which is made of gray iron, was converted into ductile iron material by performing topology optimization with OptiStruct. Based on the optimization results, design changes and design for manufacturing (DFM) studies were conducted. In the created designs, casting simulation was performed with MAGMASOFT software to determine the feeder configurations. After the optimization and design studies, a weight reduction of 22% was achieved while maintaining the strength criteria.

This study demonstrates the potential of topology optimization and design modification for the lightweighting of farming tractor casted parts.

Keywords: Tractor front axle bracket; topology optimization; design; lightweighting; ductile iron; casting simulation; MAGMASOFT.

1. Giriş

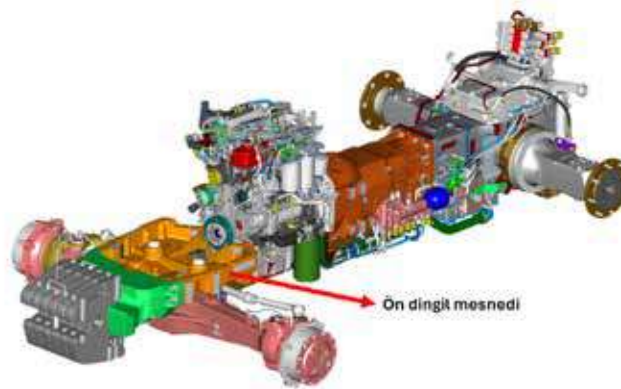
Tarım ve farklı sektörlerde kullanılan traktörlerin yakıt tasarrufu ve verimlilik artırmak amacıyla araç ağırlığını azaltmak, günümüz mühendislik çalışmalarının önemli hedeflerinden biri haline gelmiştir. Bu doğrultuda, traktörlerin çeşitli bileşenlerinin hafifletilmesi ve yapısal optimizasyonu büyük bir öneme sahiptir. Kosar ve arkadaşlarının (2014) (1) gerçekleştirdiği çalışma, bu bağlamda önemli bir referans noktası oluşturmaktadır. Çalışmada, dökme demir bir braketin dayanıklılığının saha verilerine dayalı olarak optimize edilmesi üzerine yapılan analizler, benzer uygulamalar için yol gösterici niteliktedir. Özellikle, ön dingil mesnedi gibi ana yapısal bileşenlerin optimize edilmesi, bu hedefe ulaşmada kritik bir rol oynamaktadır. Birçok braket ve motor bileşeninin ağırlığının azaltılmasında topoloji optimizasyonunun kullanımı, Meyer-Pruessner ve Rainer (2) tarafından kapsamlı bir şekilde değerlendirilmiş ve fren kablosu optimizasyonu ise Ma ve arkadaşları tarafından ele alınmıştır (3).

Traktör bileşenleri Şekil 1'de gösterilmiştir. Bu bileşenlerin daha hafif ve dayanıklı hale getirilmesi, hem yakıt tüketimini azaltmakta hem de traktörün genel performansını artırmaktadır.

Elektrifikasyon sadece otomobil pazarında değil, aynı zamanda tarım makineleri pazarında da önemli bir trend haline gelmiştir. Traktörlerde elektrifikasyon çalışmalarının yaygınlaşması, çevresel sürdürülebilirliği desteklerken, aynı zamanda işletme maliyetlerini de düşürmektedir. Elektrikli traktörlerin yaygınlaşması, çiftçilerin enerji maliyetlerini azaltarak daha verimli ve ekonomik bir tarım yapmalarına olanak tanımaktadır.

Elektrifikasyon çalışmalarının başarısı için topoloji optimizasyonu faaliyetleri büyük bir öneme sahiptir. Topoloji optimizasyonu, belirli bir yapının malzeme dağılımını optimize ederek, minimum ağırlıkla maksimum dayanıklılığı sağlamayı hedefler (4). Bu yöntem, traktörlerin ana bileşenlerinin hafifletilmesi ve aynı zamanda yapısal bütünlüğün korunması açısından büyük avantajlar sunmaktadır. Traktör üreticileri, topoloji optimizasyonu kullanarak, hem yakıt tüketimini azaltabilir hem de elektrikli traktörlerin menzilinı artırabilirler. Böylece, traktör üreticileri müşteri karşısında daha rekabetçi hale gelir ve pazar paylarını artırabilirler.

Sonuç olarak, tarım traktörlerinde ağırlık azaltma ve elektrifikasyon çalışmalarının entegrasyonu, geleceğin sürdürülebilir ve verimli tarım teknolojilerinin temelini oluşturacaktır. Bu çalışmalar, sadece enerji verimliliğini artırmakla kalmayıp, aynı zamanda tarım sektöründe daha yenilikçi ve çevre dostu çözümler sunacaktır.



Şekil 1 : Klasik blok şasiye sahip modern traktör (5)

2. Metod

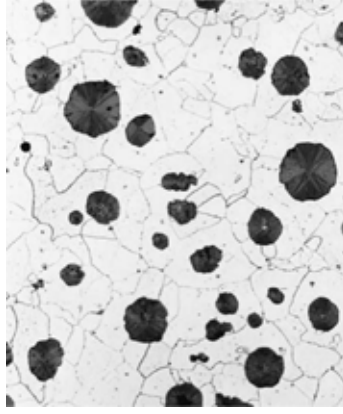
2.1. Malzeme

Traktörün ön tarafında bulunan, ölü aks olarak da bilinen ve tüm gövdeyi destekleyen bir ön aks bulunmaktadır. Ön aks ve ön dingil mesnedi, çalışma esnasında özellikle kötü yol koşullarında çok önemli yüklemelere maruz kalmaktadır (6). Traktör ön dingil mesnedinin üretiminde kullanılan malzeme, bileşenin performansı ve dayanıklılığı açısından kritik bir öneme sahiptir. Bu çalışmada kullanılan parça EN-GJL-250 malzeme ile üretilmektedir. Gri (lamel grafitli) dökme demirlerde karbon oranı ağırlıkça %2,5 - %4 ve silisyum oranı ise %1 - %3 aralığında değişiklik gösterir. Bu dökme demir tiplerinde grafit lamelleri ferrit veya perlit matris fazı içine gömülü halde ve kuru yaprak şeklinde bulunmaktadır. Ferritik matris içerisinde, lamel grafit yapısı içeren gri dökme demire ait mikroyapı görüntüsü Şekil 2.1'de gösterilmiştir. Gri dökme demirlerin ismi, grafit lamellerin kırılması sonrasında gri dökme demirin kırık yüzeylerinde meydana getirdiği gri renkli görünümünden gelmektedir (7). Gri dökme demirlerin uygulama alanları oldukça geniştir. Süneklik ve uzama özellikleri düşüktür. Gri dökme demirler ötektik sıcaklığa ulaştığında, östenit fazının katı eriyik halinde içerebileceği miktardan daha fazla karbon içermesi nedeniyle bileşimindeki fazla karbon, lamel grafit olarak çökeltme yapar (8).



Şekil 2.1: Gri dökme demir mikroyapısı: koyu grafit pulları, bir α -ferrit matriksine gömülüdür. 500× büyütme. (7)

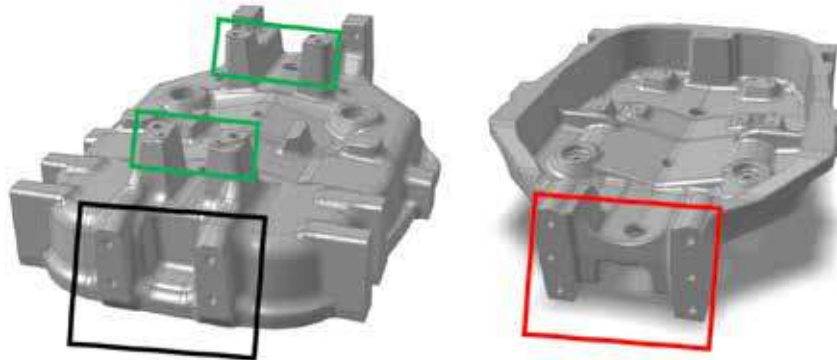
Optimizasyon çalışmalarının bir parçası olarak, gri dökme demir yerine EN-GJS-500-7 sfero dökme demir malzeme kullanılmasına karar verilmiştir. Döküm işlemi öncesi, dökme demire düşük miktarlarda magnezyum (Mg) veya seryum (Ce) eklenmesi, farklı tiplerde mikroyapıların oluşmasına ve bununla birlikte farklı mekanik davranışların sağlanmasına neden olur. Küresel grafitli dökme demirlerde de grafitleşme gözlemlenir, ancak temel fark grafitlerin lamel şeklinde değil küresel şekilde oluşmasıdır. Bu şekilde elde edilen dökme demirlere küresel ya da sfero dökme demir adı verilir (7). Küresel grafit parçacıklarını gösteren matris fazı örneği Şekil 2.2'deki gibidir. Sfero dökme demir, grafit yapısının küresel olması nedeniyle gri dökme demire kıyasla daha yüksek mukavemet ve süneklik sunar. Bu özellikler, bileşenin daha yüksek yükler altında çalışabilmesini ve yorulma ömrünün daha yüksek olmasını sağlar.



Şekil 2.2 : Sfero (sünek) dökme demir: koyu grafit nodülleri, bir α -ferrit matriksi ile çevrilidir. 200× büyütme. (7)

2.2. Geometri

Mevcut ön dingil mesnedi 180 kg ağırlığa sahip olup, genel boyutları 870 mm uzunluk, 725 mm genişlik ve 270 mm yükseklik şeklindedir. Parça tasarımı gereği, Şekil 1'deki gibi traktörün güç grubuna kırmızı işaretli bölgeden, aksa yeşil işaretli bölgeden ve ön ağırlıklara da siyah işaretli bölgeden bağlanmaktadır. Geometri, yük taşıma kapasitesini maksimize edecek şekilde kalın cidarlı ve rijit bir yapıya sahiptir.

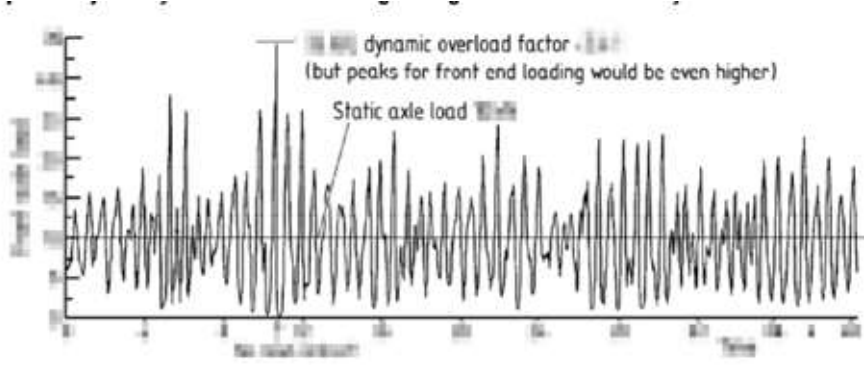


Şekil 2.3 : Ön dingil mesnedi alt-üst görünüm

2.3. Sınır Koşulları ve Analiz

4350 kglık ağırlığa sahip olan traktörde ön aksa denk düşen ağırlık, % 34'lük orana tekabül etmektedir. Yapılan 10 saatlik ölçüm sonucunda ön dingil mesnedinin 1 kez 3.5 g'lik bir yüke maruz kaldığı, bu süreçteki diğer yüklemelerin statik yük çevresinde gerçekleştiği tespit edilmiştir. Ölçüme ilişkin görsel Şekil 2.4'te yer almaktadır. Bu bağlamda parçanın 50800 N'luk yüke 50000 çevrim dayanması konusunda sınır koşulları belirlenmiştir.

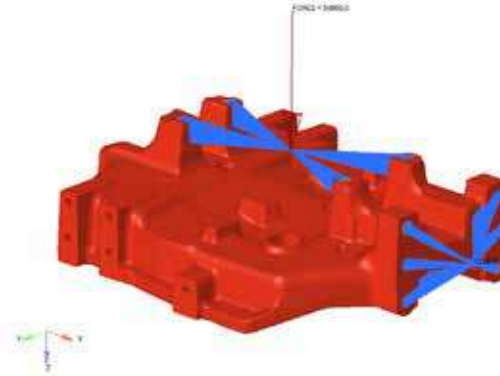
Ortalama bir tarım traktörünün senede 2500 saat çalıştığı varsayılarak; 50000 çevrimlik yorulma koşuluna dayanan parçanın 200 yıllık ömür sergileyeceği, yani uzun kullanım ömrü boyunca ön dingil mesnedinin kullanıcıya herhangi bir problem yaratmayacak şekilde tasarlanması gerektiği konusu tanımlanmıştır.



Şekil 2.4 : Ön dingilden elde edilen ivme verileri (5)

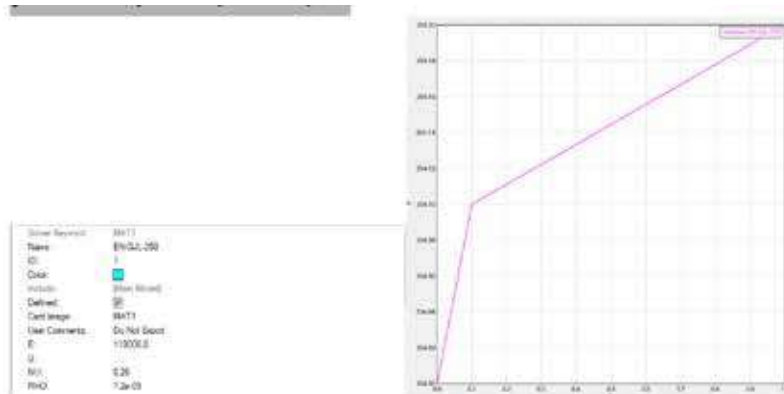
Hypermesh® yazılımı kullanılarak ön dingil mesnedinin mevcut tasarımının sonlu eleman modeli (SEA) oluşturulmuştur. Mesh 1418319 tetrahedral elemendan oluşmaktadır. Sonlu eleman modeli Şekil 2.5'deki gibidir.

Yapı motor bağlantı bölgesinden 6 serbestlik derecesinde tutulmaktadır. Aks bağlantı bölgesinden ise 50800 N'luk yükleme şeklindeki koordinat eksenini baz alındığında +Z ekseninde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.5 : Ön dingil mesnedi sonlu eleman modeli

Malzeme tanımlaması mevcut aks için EN-GJL-250 olarak MATS1 kartı ile tanımlanmıştır. Malzeme tanımlaması Şekil 2.6'daki gibidir. EN-GJL-250 malzeme düşük uzamaya sahip olduğu için herhangi bir kırılma durumu olup olmadığının tespiti kopma gerilmesi sonrasında yüksek uzama girilerek simülasyonda gözlemlenilmesi hedeflenmiştir. Fakat uygulanan 50800 N'luk yük altında kopma gerilmesi seviyelerine çıkılmamıştır.



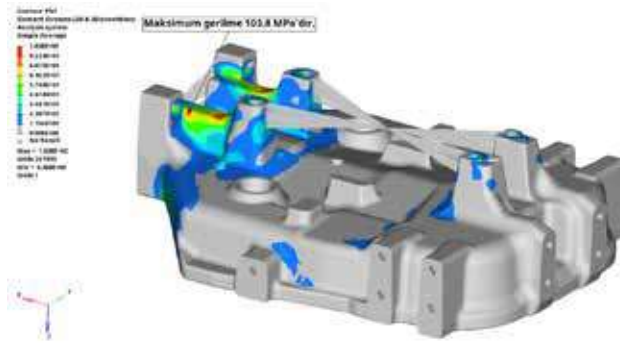
Şekil 2.6 : EN-GJL-250 malzeme tanımlaması

Analiz OptiStruct® ile doğrusal olmayan (non-linear implicit) şekilde koşturulmuştur. Analiz yük-boşalt olarak 2 adımdan oluşmaktadır. Bu 2 adım yorulma analizinde bir döngüye (cycle) tekabül edecektir. Doğrusal olmayan analize ilişkin parametre tanımlamaları Şekil 2.7'de gösterilmiştir.

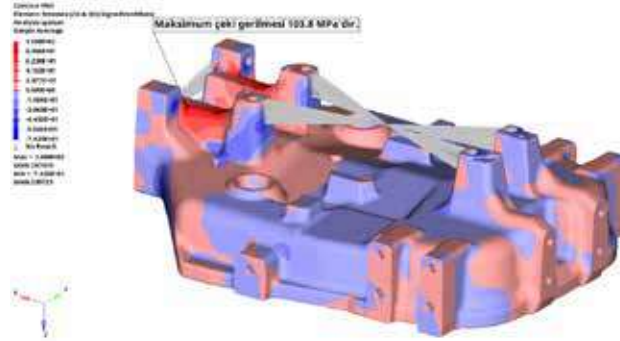


Şekil 2.7 : Doğrusal olmayan analiz parametreleri

Gerçekleştirilen analiz sonrasında maksimum bileşke gerilme Şekil 8'de de yer aldığı üzere 103.8 MPa olarak tespit edilmiştir. Yorulma açısından Signed Von Mises gerilmeye bakıldığında ise maksimum çeki gerilmesi Şekil 2.9'da da görüldüğü gibi yine aynı bölgede ve 103.8 MPa'dır.



Şekil 2.8 : Bileşke gerilme sonucu



Şekil 2.9 : Maksimum çeki gerilmesi sonucu

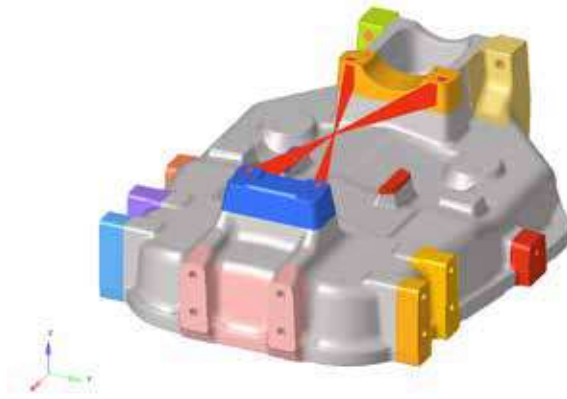
2.4. Topoloji Optimizasyonu

Tarım makinaları endüstrisi çevresel kaygılarla ilgilenirken, yakıt tüketimi ve ağırlık azaltma sorunu ön plana çıkmıştır (9). Otomotiv bileşenlerinin ağırlığını azaltmak, yakıt verimliliğini artırmanın başlıca yollarından biridir. Bu bağlamda, hafifletilmiş tasarım ve malzeme değiştirme, yakıt verimliliği ve ağırlık azaltma konularının ele alınabileceği iki ana yöntemdir. Bilgisayar destekli analiz, bu tasarım unsurlarında büyük ölçüde yardımcı olmaktadır.

Sanal analizler, kullanıcıya mevcut bileşenin tasarımında çok sayıda değişiklik yapma özgürlüğü verir. Bu, gerçekte zaman ve para açısından ağır maliyetler gerektirir, ayrıca parçanın ağırlığını azaltmak için uygun bir tasarım ortaya çıkarmak üzere çeşitli malzemeler seçme özgürlüğü sunar. Ayrıca, nihai optimum şekli oluşturmak için kısa sürede çok sayıda iterasyon yapılabilir.

Topoloji optimizasyonu, belirli bir bileşenin, belirli yükler ve sınır koşulları için malzeme yerleşimini optimize eden matematiksel bir yaklaşımdır. Bu teknik, parçanın nihai tasarımının belirlenen performans hedeflerini karşılamasını sağlar. Tasarım sürecinin başlarında kullanılabilen bu yöntem, yapının nihai tasarımının sadece gereksinimleri karşılamakla kalmayıp, belirtilen tasarım kısıtlamalarına dayalı olarak verilen hedef için en uygun çözüm olmasını sağlar. Bu yöntem, şu anda geniş ölçüde braket tipi yapıları optimize etmek için kullanılmakta olup, birçok tarım makineleri ve otomotiv uygulamasında ağırlık azaltma konusunda büyük fayda sağlamıştır.

Topoloji optimizasyonu, Altair OptiStruct® yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Optimizasyon tanımlaması sırasıyla; tasarım değişkeni, cevap fonksiyonları, kısıt fonksiyonu ve amaç fonksiyonu şeklindedir. Topoloji optimizasyonundaki en önemli yöntemlerden bir tanesi, optimizasyon gerçekleştirilecek (Design Space) ve optimizasyon gerçekleştirilmeyecek (Non-Design Space) yerlerin ayrılmasıdır. Bu çalışma kapsamında optimize edilen parçanın traktör seviyesinde montajlandığı ekipmanlarla bağlantı bölgesi değişmediğinden, işleme bölgeleri non-design space olarak ayrılmıştır. Şekil 2.10'da yer alan gri renkli bölüm optimizasyon gerçekleştirilecek bölgedir.



Şekil 2.10 : Optimizasyon gerçekleştirilecek (Design Space) ve gerçekleştirilmeyecek bölgeler (Non-Design Space)

Tasarım değişkeni olarak topoloji optimizasyonu, cevap fonksiyonları olarak kompiyans (katılığın-stiffnessin tersi) ve kalan hacim, kısıt fonksiyonu olarak kalan hacmin %40 kalması durumu ve de amaç fonksiyonu olarak kompiyansın minimizasyonu tanımlanmıştır. Tanımlamalar Şekil 2.11'deki gibidir.

Optimization Problems			
Optimization Repository			
Design Objective References (0)			
Optimization Constraints (1)			
DCONST1	1	VOLFRAC	UB 0.4 0
Design Variable Links (0)			
Objectives (1)			
objective	1	MIN WCOMP	0
Design Variables (1)			
DTPL1	1	DTPL PSOLID	0
Load Steps (1)			
Optimization Controls (1)			
optistruct_opticontrol	1		0
Optimization Responses (2)			
wcomp	1	WCOMP	0
volfrac	2	VOLFRAC	0

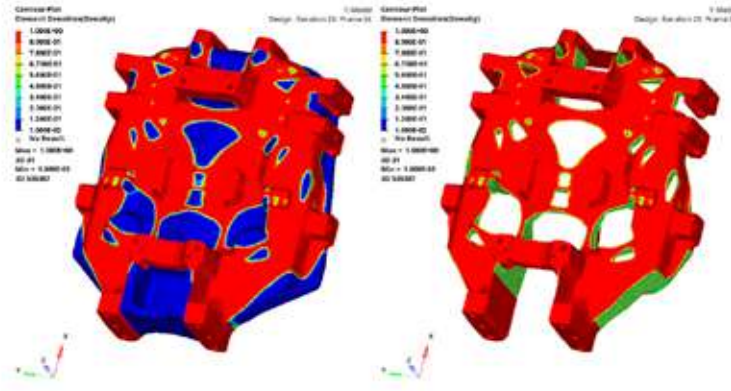
Şekil 2.11 : Optimizasyon kartı tanımlamaları

Standart optimizasyon yaklaşımıyla gidildiği takdirde optimizasyon sonucu elde edilen geometri daha çok eklemeli imalatla veya kum printer teknolojisi kullanılarak gerçekleştirilecek üretime uygun bir şekilde olurken, Mindim değeriyle minimum parça kalınlığı, Draw ile kalıptan ayrılma yönü ve Pattern Grouping altında simetri gibi üretim kısıtları ile tasarım açısından daha üretilebilir ve tasarım değişikliğine yatkın sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır. Tanımlamalar Şekil 2.12’de yer almaktadır.



Şekil 2.12 : Optimizasyonda üretim kısıtı tanımlamaları

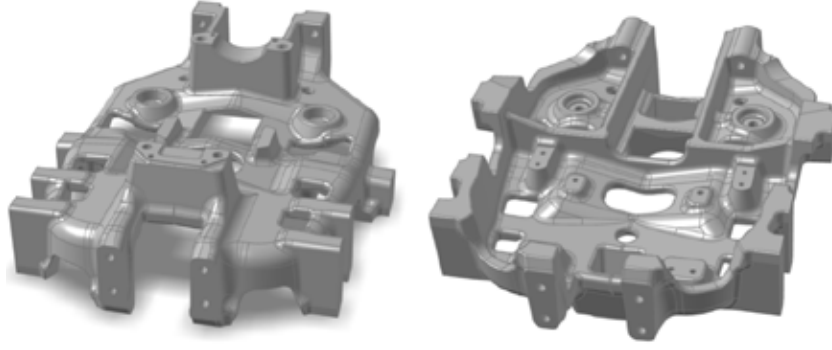
Optimizasyon çözümü 23 iterasyonda yakınsamıştır. Elde edilen optimizasyon sonucu Şekil 2.13’te yer almaktadır. Yoğunluğu 1’e yakın olan kırmızı bölgeler tasarımda olmazsa olmaz, 0’a yakın olan mavi bölgeler ise malzeme azaltılabilecek bölgeler olarak temsil edilmektedir. Optimizasyon sonucuyla birlikte tasarım değişikliği aşamasına geçiş sağlanmıştır.



Şekil 2.13 : Topoloji optimizasyonu sonucu

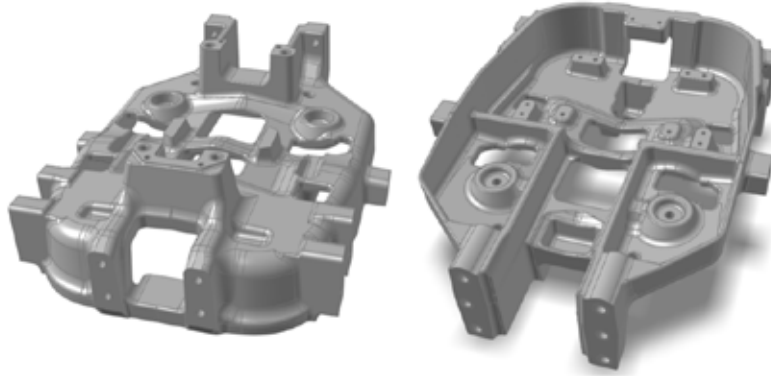
2.5. Tasarım Değişikliği

Topoloji optimizasyonu sonucu elde edilen form, tasarım değişiklikleri için bir temel oluşturur. Bu aşamada, optimizasyon sonucunda belirlenen yoğun malzeme bölgeleri korunurken, mavi bölgelerden malzeme çıkartılarak ağırlık azaltımı sağlanmıştır. Tasarım değişiklikleri işleme bölgeleri değiştirilmeksizin gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen ilk tasarım Şekil 2.14’te görülmektedir.



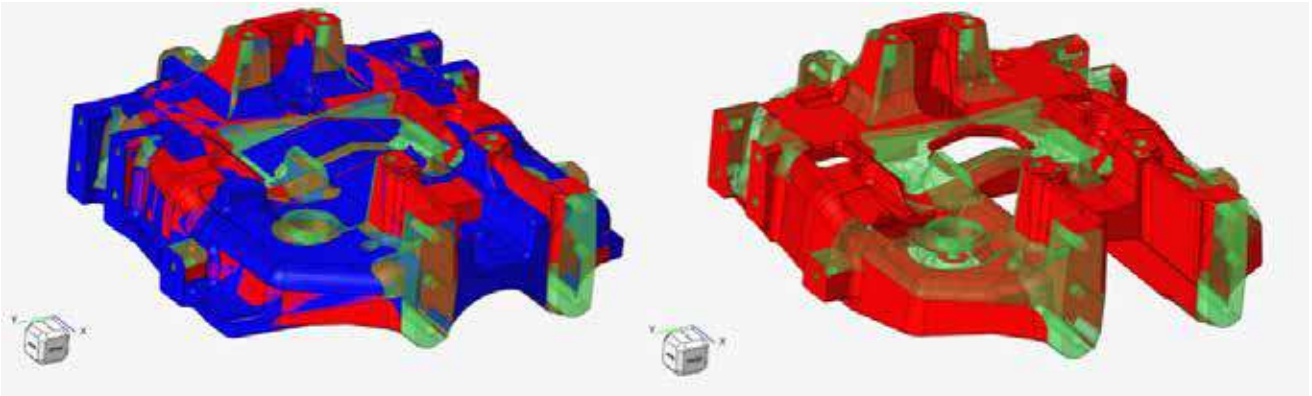
Şekil 2.14 : Topoloji optimizasyonu sonucu oluşturulmuş ham tasarım alt-üst görünüm

Gerçekleştirilen tasarım uzman tasarımcılar tarafından tekrar ele alınmış ve üretilebilirlik için tasarım (Design for Manufacturing-DFM) çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Üretilebilirlik için tasarım kapsamında kalıp ayırım yüzeyine istinaden draft açıları ayarlanmış, ters açığa mahal vermeden bazı eklemeler gerçekleştirilmiş, et payları ve et pay geçişleri sfero dökme demire uygun şekilde düzenlenmiş ve fillet çapları ayarlanmıştır. Gerçekleştirilen tüm bu tasarım faaliyetleri sonrasında elde edilen tasarım Şekil 2.15'te görülmektedir.



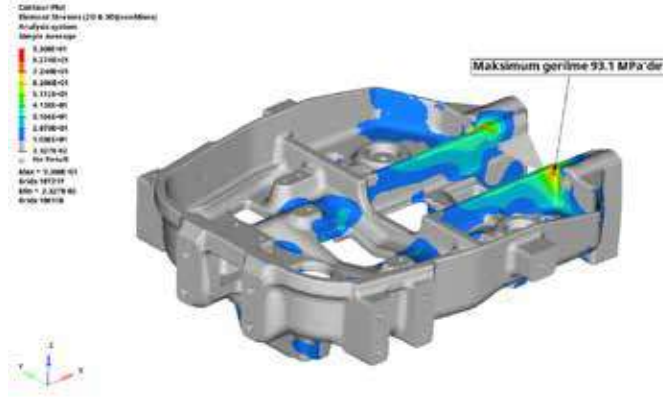
Şekil 2.15 : DFM çalışması gerçekleştirilmiş tasarım

Gri dökme demir olan ön dingil mesnedi 180 kg iken gerçekleştirilen topoloji optimizasyonu ve tasarım değişiklik çalışmaları sonrasında sfero dökme demire dönüştürülen yeni tasarım 140 kg'a düşürülerek % 22 ağırlık azaltma sağlanmıştır. 2 tasarım arasındaki farklılığı gösteren görsel şekil yer almaktadır. Şekil 2.16'da mavi kısım mevcut modeli kırmızı bölge optimize edilmiş tasarımı ve yeşil bölge ise ortak bölgeyi göstermektedir.

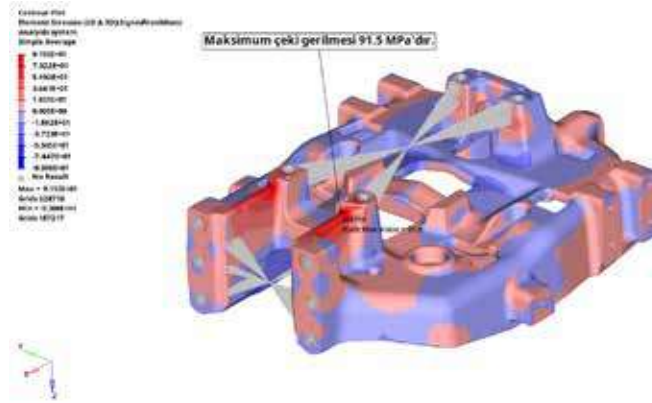


Şekil 2.16 : Mevcut (gri dökme demir mesnet) ön dingil mesnedi ile optimize edilmiş (sfero dökme demire çevrilmiş) ön dingil mesnedi tasarım karşılaştırması

Optimize edilmiş tasarım üzerinden yapısal analiz çalışmaları gerçekleştirildiğinde maksimum bileşke gerilmenin 93.1 MPa, maksimum çeki gerilmesinin ise 91.5 MPa olduğu görülmüştür. Analiz sonuçları sırasıyla Şekil 2.17 ve 2.18'deki gibidir.



Şekil 2.17 : Bileşke gerilme sonucu



Şekil 2.18 : Maksimum çeki gerilmesi sonucu

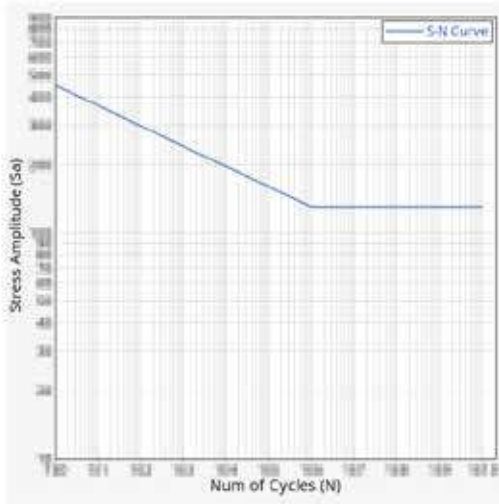
2.6. Yorulma Analizi

Yorulma analizi, optimize edilen traktör ön dingil mesnedinin uzun süreli performansını ve dayanıklılığını değerlendirmek için kritik bir aşamadır. Bu analiz, bileşenin tekrarlanan yükler altında nasıl davrandığını belirlemek için yapılır ve parçanın hizmet ömrü boyunca güvenli bir şekilde çalışmasını sağlamak amacıyla gerçekleştirilir.

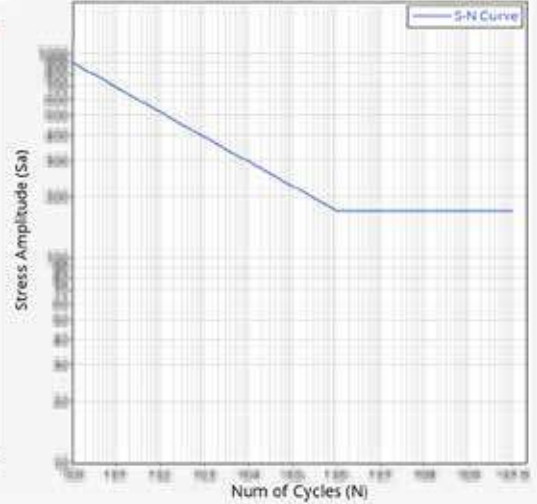
2.6.1 Analiz Yöntemi

Mevcut tasarım ve optimize edilmiş tasarımın yorulma performansı Altair HyperLife yazılımıyla değerlendirilmiştir. S-N (stress-life) tabanlı yorulma analizi gerçekleştirilmiştir. Ömrün kesinliği 3 sigma yani % 99.74 tanımlanarak hesaplanmıştır.

Mevcut tasarım için EN-GJL-250 malzemenin S-N eğrisi, optimize edilmiş tasarım içinse EN-GJS-500-7 malzemenin S-N eğrisi kullanılmıştır. Eğriler Şekil 2.19 ve 2.20'deki gibidir.

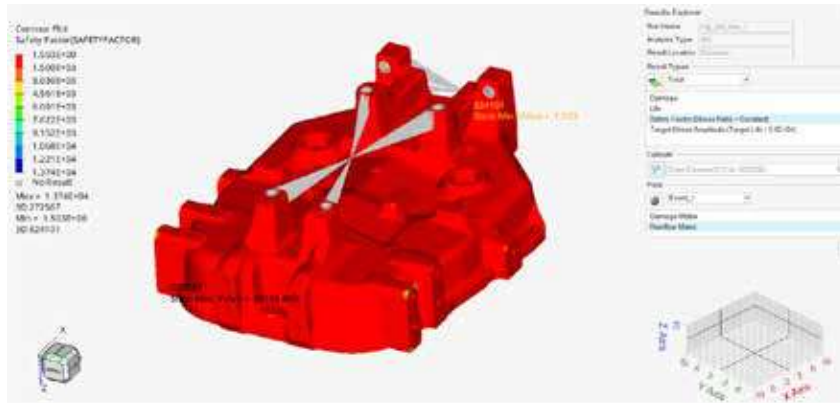


Şekil 2.19 : EN-GJL-250 S-N eğrisi

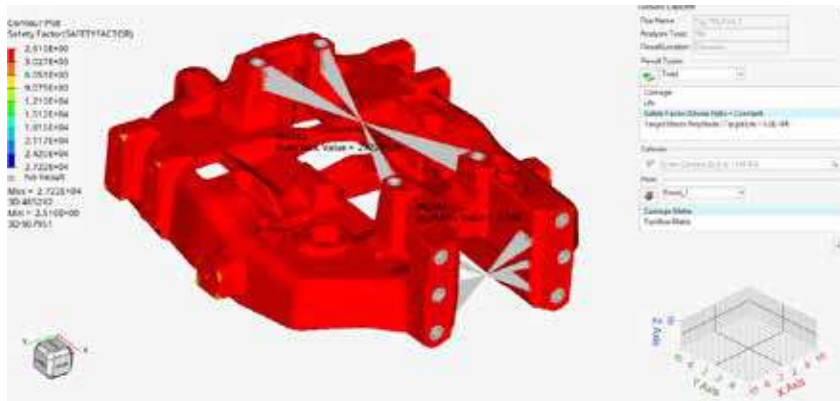


Şekil 2.20 : EN-GJS-500-7 S-N eğrisi

Yorulma analizi gerçekleştirildiğinde mevcut tasarımın 50000 ömür karşılığında 1.5 güvenlik faktörü verdiği görülürken optimize edilmiş tasarımda güvenlik faktörü 2.5 değerine yükselmiştir. Sonuçlar Şekil 2.21 ve 2.22'deki gibidir.



Şekil 2.21 : Mevcut (EN-GJL-250) ön dingil mesnedi yorulma analizi sonucu

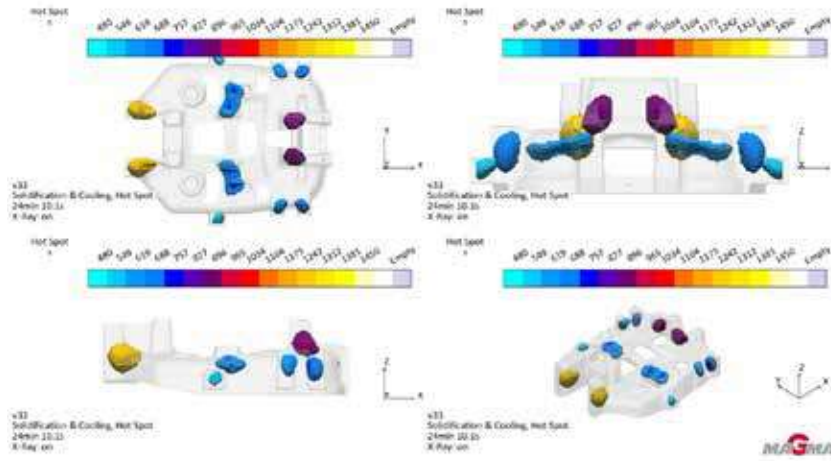


Şekil 2.22 : Optimize edilmiş (EN-GJS-500-7) ön dingil mesnedi yorulma analizi sonucu

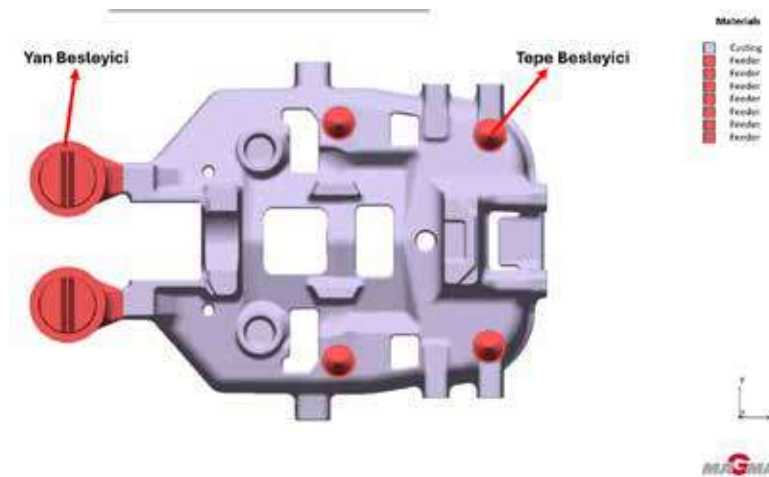
2.7. Üretilebilirlik Analizi

Döküm ve katılaşma simülasyonu MAGMASOFT® simülasyon yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. MAGMASOFT® sıvı metaldeki hacimsel değişiklikleri, Sonlu Hacimler Metodu ile hesaplamaktadır. Isı taşınım hesaplamaları metodu ile dökümün katılaşma ve soğumasındaki hacim değişiklikleri ve sıcaklık tahminleri yapılmaktadır. MAGMASOFT® yazılımı sayesinde döküm parçada ortaya çıkacak makro porozite, mikro porozite, katılaşma yönelmesi, sıcaklık dağılımı, kalıp dolum süresi tahmini yüksek doğruluk oranlarında gerçekleştirilebilmektedir.

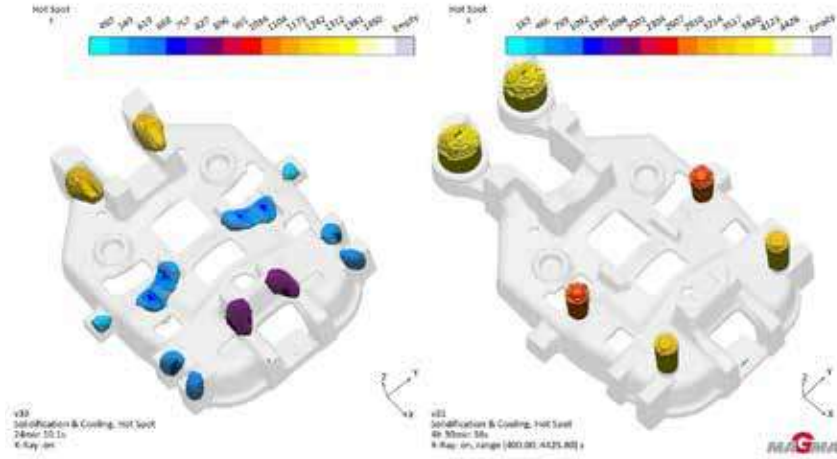
Mevcut tasarımın gri dökme demir olduğundan dolayı çekinti eğilimi düşüktür bu yüzden üretimi esnasında herhangi bir besleyici gereksinimi bulunmamaktadır. Optimize edilmiş sfero parça için besleyici konfigürasyonunu belirlemek için simülasyon gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen döküm simülasyonunda katılaşma sonucu potansiyel çekinti risklerini gösteren Hot Spot sonucu Şekil 2.23'te yer almaktadır. Parça 4 adet tepe besleyici ve 2 adet yan besleyici ile çekintisiz dökülebilir durumdadır. Besleyici konfigürasyonu Şekil 2.24'teki gibidir. Besleyicilerle çalıştırılan katılaşma simülasyonu sonuçları besleyicilerin çekintiyi ortadan kaldırarak verimli bir şekilde çalıştığını göstermektedir. Besleyicili ve besleyicisiz hot spot sonuçlarının karşılaştırması Şekil 2.25'teki gibidir.



Şekil 2.23 : Katılaşma analizi - Hot Spot sonucu



Şekil 2.24 : Katılaşma analizi - Hot Spot sonucu



Şekil 2.25 : Katılma analizi - Hot Spot sonucu

3. Sonuçlar

Bu çalışma, traktör ön dingil mesnedinin topoloji optimizasyonu ve malzeme değişikliği yoluyla ağırlık azaltma potansiyelini başarılı bir şekilde göstermiştir. OptiStruct yazılımı kullanılarak gerçekleştirilen topoloji optimizasyonu sayesinde, mevcut gri dökme demirden üretilen parça, sfero dökme demir kullanılarak yeniden tasarlanmıştır. Bu süreçte yapılan optimizasyon ve tasarım değişiklikleri, dayanım kriterlerini geliştirerek %22 ağırlık azaltımıyla sonuçlanmıştır. Tasarımların ağırlık ve dayanım kriteri açısından karşılaştırması Tablo 1'de verilmiştir.

	Malzeme	Ağırlık (kg)	Güvenlik Faktörü
Mevcut	EN-GJL-250	180	1.5
Optimize Edilmiş	EN-GJS-500-7	140	2.5

Tablo 1 : Tasarımların karşılaştırılması

Optimizasyon sürecinde elde edilen sonuçlarla üretilebilirlik açısından da uygun yeni bir tasarım ortaya konmuş ve MAGMASOFT® simülasyon yazılımı ile gerçekleştirilen döküm analizleri, yeni tasarımın makro ve mikro porozite, katılma yönelmesi, sıcaklık dağılımı ve kalıp dolumu açısından değerlendirmeleri gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışma, tarım makinelerinde ağırlık azaltma ve yapısal optimizasyonun önemini vurgulamakta ve bu tür optimizasyonların yakıt verimliliği ve genel performansı artırmak için nasıl kullanılabileceğini göstermektedir. Topoloji optimizasyonu ve malzeme değişikliği gibi yöntemler, sadece enerji verimliliğini artırmakla kalmayıp, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirliğe katkıda bulunarak tarım sektöründe daha yenilikçi ve çevre dostu çözümler sunmaktadır. Traktör bileşenlerinin hafifletilmesi ve elektrifikasyon çalışmalarının entegrasyonu, geleceğin sürdürülebilir ve verimli tarım teknolojilerinin temelini oluşturacaktır.

KAYNAKLAR:

- 1-) Kosar, F., Yegin, M., Dogru, O., and Akarsu, C., "Fatigue Based Optimization of Cast Iron Bracket Depending On Proving Ground Data," SAE Technical Paper 2014-01-2309, 2014, <https://doi.org/10.4271/2014-01-2309>.
- 2-) Meyer-Pruessner, Rainer., "Significant Weight Reduction by Using Topology Optimization in Volkswagen Design Development," presented at Optimization Technology Conference, Troy, Michigan, USA, September 27-28, 2005.
- 3-) Ma, Xun, and Zhang, Jiwei, "Finite Element Analysis and the Topology Optimization of a Bracket-cable," Applied Mechanics and Materials, Vols. 44-47:1325- 1329, 2011
- 4-) Practical Aspects of Optimization with Altair OptiStruct, 2021, sayfa 27.
- 5-) Karl Th. Renius, "Fundamentals of Tractor Design", 2019, Sayfa 55-59.
- 6-) Späth R., "Messrad für die Erfassung der Radkräfte an der Traktorhinterachse" (Langfassung). (English full-length version: "Sensor wheel for recording wheel forces at the tractor rear axle".) Agrartechnische Forschung 7, 2001
- 7-) William D. Callister Jr. And David G. Rethwisch , "Materials Science and Engineering 3rd Edition", 2008, Sayfa 525-529.
- 8-) Akman, C. (2006). GG22 Lamel grafitli dökme demirden üretilen motor silindir gömleklerinin CNC torna tezgahında işlenebilirliğinin incelenmesi. [Yüksek Lisans Tezi], Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- 9-) Dinesh Redkar, OptiStruct for CAE Simulations, India Altair Technology Conference 2016, 2016.

Değer Temelli Çalışan Memnuniyeti & Bağlılığı Modeli

Ersin AKTAŞ
EKU Fren ve Döküm SAN. AŞ., Kocaeli,Türkiye

ÖZET

Günümüz hızlı değişen dünyasında, işletmelerin itibarlarını ve imajlarını sadece ürettikleri ürünler yada hizmet alanları belirlememekte olup, çalışanları için ortaya koydukları çalışma ortamı, yaratıkları kurumsal kültür ve bu kültürde çalışanların memnuniyeti ve kurumlarına olan bağlılıklarının önemi ve bağlılığın sürdürülebilirliği de her geçen gün artmaktadır.

Şirketlerin en değerli varlıkları çalışanlarıdır. Sürdürülebilir iş sonuçlarına giden yolda, çalışan bağlılığı ve memnuniyetinin pozitif etkisinin yadsınamaz olduğunu kabul etmek gerekmektedir. Çalışanların yüksek performansı ve bağlılığı arasında önemli bir korelasyon bilimsel çalışmalarla tespit edilmiştir. Çalışan performansının bağlılıkla doğru orantılı ilerlediğini düşünür ve EKU olarak oluşturduğumuz değer temelli çalışan memnuniyeti & bağlılığı yaklaşımımız ile süreçlerimizi yönetiriz. Bu çalışma ile EKU örneğinde şirketlerin uygulayabilecekleri değer temelli çalışan memnuniyeti ve bağlılığı modelinden bahsedeceğiz.

Anahtar Kelimeler: Çalışan Bağlılığı, Çalışan Memnuniyeti, Sürdürülebilir Çalışan Bağlılığı, Değer Temelli Çalışan Memnuniyeti&Bağlılığı

ABSTRACT

In today's rapidly changing world, the reputation and image of businesses are not only determined by the products they produce or their service areas, but the work environment they create for their employees, the corporate culture they create, and the satisfaction and sustainability of their employees in this culture and their loyalty to their institutions are also increasing day by day. The most valuable assets of companies are their employees. On the way to sustainable business results, it is necessary to accept that the positive impact of employee loyalty and satisfaction is undeniable. A significant correlation between the high performance and commitment of employees has been determined by scientific studies. We believe that employee performance is directly proportional to commitment and we manage our processes with our value-based employee satisfaction & loyalty approach that we have created as EKU. With this study, we will talk about the value-based employee satisfaction and loyalty model that companies can implement in the EKU example.

Keywords: Employee Engagement, Employee Satisfaction, Sustainable Employee Engagement, Value-Based Employee Satisfaction & Loyalty

ÇALIŞMALAR

EKU anahtar davranışları çerçevesinde (güven, takımdaşlık, çeviklik, gelişime açıklık) insan kaynakları politikamız nezdinde belirlediğimiz tüm çalışmalarımızı, projelerimizi ve kurum içi iletişim çalışmalarımızı bu değerler sistematığımız ile ilişkilendiririz.

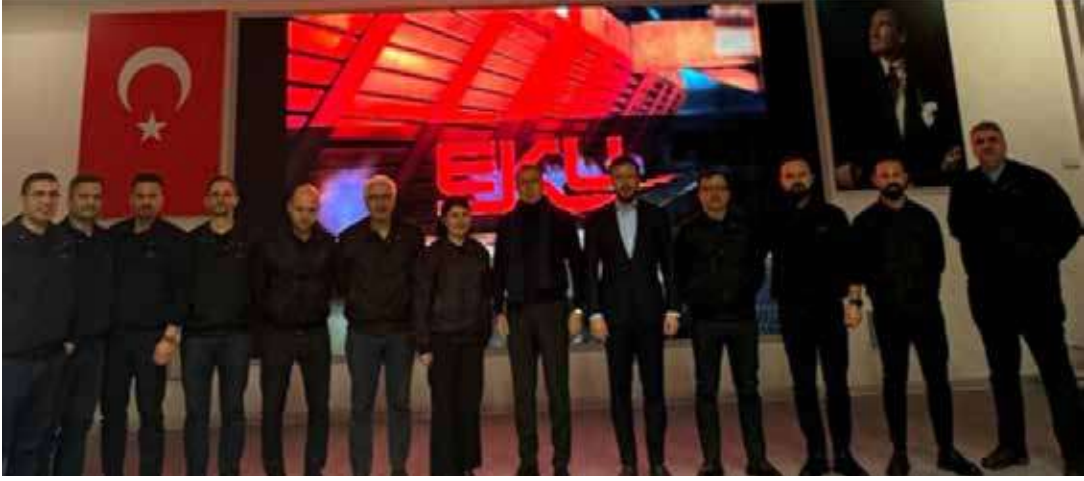
Çalışan memnuniyeti kurgumuzda, çalışma ortamı (çalışma arkadaşları),ilk yönetici ile iletişim ve kuruma bağlılık kriterlerinin etkileşimi değer temelli yaklaşımımızın önemli unsurlarını oluşturmaktadır.

EKU değer temelli yaklaşım modelimiz ile tüm stratejik iletişim planlamalarımız bir arada çalışır. Şirket misyon ve vizyonumuz doğrultusunda belirlediğimiz anahtar davranışlarımızı, iş hayatımızın her alanına ve her gününe yerleştirmek önemli taktiklerimizdir. Örneğin; müdürlerimiz güven oluşturmak ve ilham vermek yetkinliklerini her sabah düzenli olarak vardiyasına başlayan ve vardiyasını bitiren çalışma arkadaşlarımızı selamlayarak, yeni günün başlangıcında davranışlarıyla gösterirler. Detaylarını aşağıdaki bölümlerde fotoğraflar ve şekiller ile paylaşılmaktadır.

Değer temelli çalışma kültürünün örgütsel süreçlere etkisini inceleyen çalışmalara bakıldığında, örgüt içi iletişim, performans, etkinlik, verimlilik, örgütsel değişim ile çalışma kültürü açısından doğrudan bir ilişkinin olduğu söylenebilir. Bazı araştırmacılar değer temelli çalışma kültürünü örgütsel süreçlerin bir belirleyicisi olarak ele alırken (Megill, 2004; Lotze, 2004; Luchak vd., 2008; Nagar, 2012; Diener, 2013) bazıları örgütsel süreçleri etkileyen bir unsur olarak nitelendirmektedir (Meyer ve Allen, 1991; Sunder, 2001; KristofBrown vd., 2005; Lussier, 2012). Her iki görüşün de ortak noktası, değer temelli oluşturulan çalışma kültürünün örgüt ve çalışan arasındaki bağı geliştirip güçlendirmesidir.

EKU olarak değer temelli çalışan memnuniyet & bağlılığı modelimizde uyguladığımız çalışmalarımız özetle aşağıdaki konu başlıklarında sıralanmıştır;

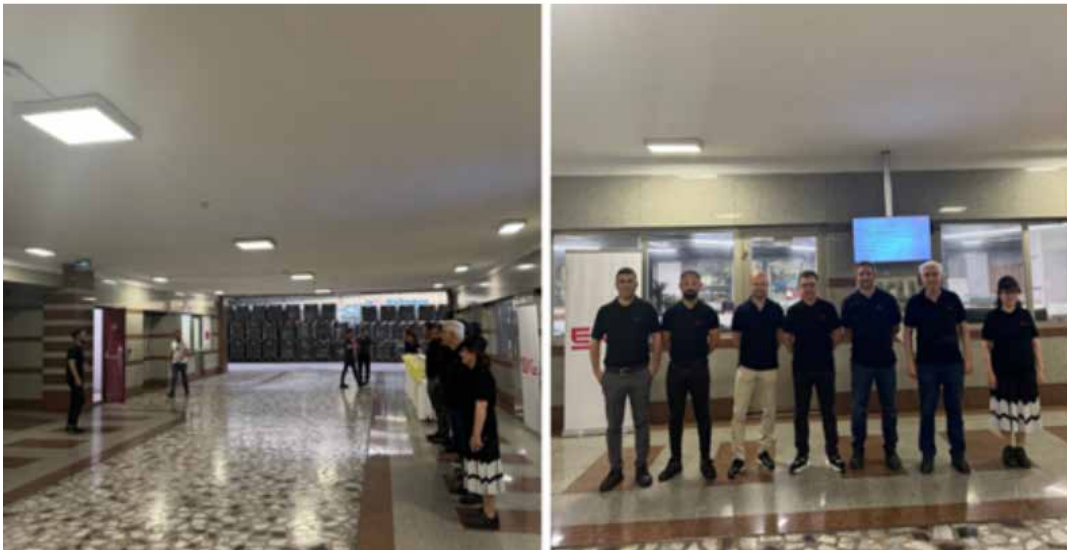
- Organizasyonel Verimlilik Projeleri
- Her sabah tüm müdürlerimizin çalışanları karşılama/selamlama
- 1 Mayıs EKU Aile Şenliği Etkinliği
- Gezi Programları
- Yılbaşı Etkinliği
- Öneri sistemleri /Takdir tanıma/Ödüllendirme sistemi
- GM ile tanışma toplantıları
- İK ile Coffe Talk
- Oryantasyon değerlendirme sohbetleri
- Sosyal Sorumluluk Projeleri
- Çalışan Komiteleri
- Çalışan Kulüpleri
- Önemli Gün ve Haftaların Birlikte Kutlanması
- Kurumiçi İletişim Etkinlikleri (Mevsimsel İkramlıklar vb.)



Fotoğraf 1 : Organizasyonel verimlilik projeleri



Fotoğraf 1.1 : Hedef yayılım sürecinin çalışanlarla iletişimi



Fotoğraf 2 : Her sabah tüm müdürlerimizin çalışanları karşılama/selamlama



Fotoğraf 3 : 1 Mayıs EKU aile şenliği etkinliği

EKU için aile şenliği organizasyonu her yıl düzenlenen sıradan bir etkinlik değildir. Ailelerimiz ile biraraya geldiğimiz, şirketimiz içindeki yenilikleri saha turlarımızla paylaşma fırsatı bulduğumuz önemli bir etkinliktir. Ailelerimiz üretim alanlarındaki yeni yatırımları, aile bireylerinin çalışma alanlarını birebir görerek deneyimleme fırsatı bulurlar. Çalışanlarımızı ve ailelerini hayatımızın merkezine koyma felsefemizi her etkinliğimizde ön planda tutarız.



Fotoğraf 3.1 : Mayıs EKU aile şenliği kapsamında fabrika turu

Çalışanlarımızın sosyal gelişimlerine önem vermek ve birbirleri arasındaki iletişimi arttırmak adına, iş dışında da birlikte vakit geçirmelerini sağlamak üzere gezi programlarımıza dahil ederiz.



Fotoğraf 4 : Gezi programları

Yeni yıl organizasyonlarımızı tüm çalışanlarımız bir arada olacak şekilde planlar ve organize ederiz. Çalışanlarımızın takımdaşlık ruhunu pekiştirmek adına birlikte eğlenerek yılın yorgunluğunu attıkları bir etkinlik olarak düzenleriz.



Fotoğraf 5 : Yılbaşı etkinliği



Fotoğraf 6 : Öneri sistemleri /Takdir tanıma/Ödüllendirme sistemi



Fotoğraf 9 : Oryantasyon değerlendirme sohbetleri

Sürdürülebilirlik çalışmalarımız kapsamında yürüttüğümüz sosyal sorumluluk projelerimiz ile çalışanlarımızın çevreye, doğaya içinde buldukları topluma karşı duyarlılıklarını arttırmayı hedefleriz.



Fotoğraf 10 : Sosyal sorumluluk projeleri



Fotoğraf 11 : Sosyal sorumluluk projeleri

EKU hem geleneksel hem de önemli gün ve haftaları mavi yaka ve beyaz yaka çalışanlarının bir arada olduğu etkinliklerle kutlamaya özen gösterir.



Fotoğraf 13 : Önemli gün ve haftaların birlikte kutlanması, Bayramlaşma



Fotoğraf 14 : Önemli gün ve haftaların birlikte kutlanması, Cumhuriyetimizin 100. Yılı etkinliği



Fotoğraf 15 : Önemli gün ve haftaların birlikte kutlanması, 10 Kasım



Fotoğraf 16 : Önemli gün ve haftaların birlikte kutlanması, Kadınlar Günü



Fotoğraf 17: Önemli gün ve haftaların birlikte kutlanması, İftar Yemeği organizasyonu



Fotoğraf 18 : Sürdürülebilir Bir Dünya Temalı Resim Yarışması Ödül Töreni



Fotoğraf 14 : Kurumiçi iletişim etkinlikleri (Mevsimsel ikramlıklar vb.)



Fotoğraf 15 : Çalışanlarımızın deprem vb afetlerle ilgili bilinçlenmesi üzere EKV deprem çantası üst yönetim mesajı ile paylaşılmıştır

SONUÇ

Değer temelli çalışan bağlılığı ve memnuniyeti modeli ile şirketler kurum kültürü nezdinde sahip oldukları değerlerini çalışanları ile özdeşleştirecek kurum içi iletişim çalışmalarına yönelerek çalışan bağlılığını, motivasyonunu ve çalışan memnuniyetini arttırabilirler. Kurumsal organizasyonların çalışan ve kurum kültür değerleri baz alınarak planlanıp hayata geçirilmesi ile çalışan bağlılığı güçlendirilebilir.

Çalışma tutumları ile ilgili yapılan araştırmalar, değerler ile tutumlar arasındaki etkileşimi ortaya koymaktadır. Değerler, tutumların şekillenmesinde önemli rol oynamakta olup; yapılan araştırmalar, değer temelli oluşturulacak çalışma kültürü açısından tutumların önemini ortaya koymaktadır. Nitekim bahsedilen araştırma sonuçları; iş doyumunu, örgütsel bağlılık, motivasyon, iyilik hali ve çalışan mutluluğu gibi çalışma ile ilgili faktörlerle çalışma kültürü arasında doğrudan pozitif bir ilişkinin varlığını ortaya koymaktadır (Pinder, 2008; Luchak vd., 2008; Eslami ve Gharakhani, 2012; Mohamed vd., 2012; Nagar, 2012; Suma ve Lesha, 2013; Diener, 2013).

Dolayısıyla günümüz hızlı değişen dünyasında, çalışan bağlılığını sürdürülebilir kılmak üzere değerlere önem veren insan kaynakları politikaları ve kurumsal stratejileri ile şekillendirilmiş iletişim faaliyetleri çalışan memnuniyetini ve bağlılığını arttırılabilir.

KAYNAKÇA

- Pinder, C.C. (2008), Work Motivation in Organizational Behaviour. Psychology Press.
- Luchak, A. A., Pohler, D. M. ve Gellatly, I. R. (2008). When Do Committed Employees Retire? The Effects of Organizational Commitment on Retirement Plans Under A Defined-Benefit Pension Plan. Human Resource Management, 47 (3), ss. 581-599.
- Eslami, J. and Gharakhani, D. (2012). Organizational Commitment and Job Satisfaction. ARPN Journal of Science and Technology, 2 (2), pp. 85- 91.
- Mohamed, M. S., Kader, M. M. A. ve Anisa, H. (2012). Relationship among Organizational Commitment, Trust and Job Satisfaction: An Empirical Study in Banking Industry. Research Journal of Management Sciences, 1 (2), ss. 1-7.
- Meyer, J. ve Allen, N.J. (1991), "A Three-Component Conceptualization of Organizational Commitment", Human Resource Management Review,1(1), ss.61-89.
- Suma, S. ve Lesha, J. (2013), Job Satisfaction and Organizational Commitment:The Case of Shkodra Municipality. European Scientific Journal, 9 (17),ss. 41-51.
- Diener E. (2013), The Remarkable Changes in the Science of Subjective Wellbeing. Perspect Psychol Sci.,8(6), ss. 663-666.

KURUMSAL SPONSORLAR CORPORATE SPONSORS

