

BİLDİRİLER KİTABI



11.ULUSLARARASI DÖKÜM KONGRESİ

11TH INTERNATIONAL FOUNDRY CONGRESS

6-8 EKİM / OKTOBER 2022
İSTANBUL



TÜRKİYE DÖKÜM
SANAYİCİLERİ
DERNEĞİ

11. Uluslararası Döküm Kongresi Bildiriler Kitabı

E-KİTAP

Kitap Koordinasyonu: Seyfi Değirmenci, Seyhan Tangül Yılmaz, Tunçağ Cihangir Şen

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.

ISBN: 978-605-62246-7-6

* Bu kitap Türkiye Döküm Sanayicileri Derneği tarafından 11. Uluslararası Döküm Kongresi'ne kabul edilen bildirilerden derlenmiştir. www.tudoksad.org.tr ve akademi.tudoksad.org.tr web sitelerinde ücretsiz yayınlanacaktır.

TÜDÖKSAD © 2022

TÜRKİYE DÖKÜM SANAYİCİLERİ DERNEĞİ YÖNETİM KURULU

Başkan: Kadir EFE (Ferro Döküm)

Başkan Yardımcısı: Oğuzhan DENİZ (Çelikel Alüminyum), Emre GİRAY (Demisaş Döküm)

Muhasip Üye: Emine Dilek GÜNDÜZ (Erkunt Sanayi)

Üyeler: Adnan AYTEKİN (Tosçelik Profil Saç), Mehmet Ali ACAR (Ardemir Döküm), Mehmet Rifat ÖZALP (Silvan Sanayi), Uğur DEMİRCİ (Döktaş Dökümcülük), Hülya GEDİK (Gedik İleri Döküm)

11. ULUSLARARASI DÖKÜM KONGRESİ DANIŞMA KURULU

Akademik

Prof. Dr. Ali Kalkanlı - Orta Doğu Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Altan Türkeli - Emekli Öğretim Üyesi

Prof. Dr. Özgül Keleş - İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Kadir Kocatepe - Gazi Üniversitesi

Doç. Dr. Mehmet Yıldırım - Konya Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Muhammet Uludağ - Bursa Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Çağlar Yüksel - Atatürk Üniversitesi

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

Sanayi

Arda Çetin, Genel Müdür Yardımcısı (Ekstra Metal)

Bülent Şirin, NPI & Mühendislik & Ar-Ge Müdürü (Döktaş Dökümcülük)

Erdem Erdoğan , Fabrika Müdürü (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 Müdürü (Erkunt Sanayi)

Yaşar Uğur Akı, Genel Müdür Yardımcısı (Demisaş Döküm)

SUNUŞ

Türkiye Döküm Sanayicileri Derneği - TÜDÖKSAD tarafından düzenlenen “Döküm Kongreleri” içeriği ve organizasyon yeteneğiyle Türkiye’de kendi alanında yapılan en kapsamlı etkinlik olarak öne çıkmaktadır.

Daha önceki yıllarda iki yılda bir yapılan Döküm Kongremizi 2017 yılından başlayarak Ankiros/Turkcast fuarlarının olmadığı yıllarda “Ulusal”, fuarların olduğu yılda ise “Uluslararası” nitelikte yapmayı kararlaştırmıştık. Bu çerçevede ulusal düzeyde ilki 2017’de Eskişehir’de, ikincisini ise 2019’da İzmir’de gerçekleştirdiğimiz Ulusal Döküm Kongrelerimiz beklentilerin üzerinde bir katılımıla gerçekleşmişti.

2020 yılında “Uluslararası” ve 2021 yılında “Ulusal” düzeyde yapmayı planladığımız kongrelerimizi Covid-19 pandemisinin getirdiği kısıtlamalardan dolayı gerçekleştiremedik. 2019 yılı sonunda İzmir’de gerçekleştirdiğimiz 2.Ulusal Döküm Kongresinden bu yana üç yıl gibi uzun bir zaman geçti. Yeniden bir araya gelecek olmamızın heyecanını yaşıyoruz. Pandemi sürecinde yüz yüze yapılan etkinliklerin ve buluşmaların ne kadar değerli olduğunu bir kez daha anlamış olduk. 2016-2019 yılları arasında dört yıl üst üste iki uluslararası, iki de ulusal kongre düzenledikten sonra uzun bir süre bir araya gelememek bizlere burukluk yaşatsa da 11.Uluslararası Kongremizin hazırlık çalışmaları hiç ara vermeden devam etti.

Sürekli değişen ve gelişen bir yapıya sahip olan döküm sektöründe büyümeyi devam ettirmek, gelişme adına atılan tüm adımları izleyerek her zaman döngünün içinde yer almak; ancak sürekli uyumun sağlanması, yeni teknoloji ve uygulamaların takip edilmesi, paylaşılması sayesinde mümkündür. “Dökümün Geleceğini Konuşuyoruz” ana temasıyla gerçekleşecek olan 11. Uluslararası Döküm Kongresi sektörümüze ve meslektaşlarımıza son gelişmeleri paylaşmak ve bilgi birikimini arttırmak noktalarında eşsiz bir fırsat sunuyor.

Kongre Danışma Kurulumuz tarafından ana teması “Dökümün Geleceğini Konuşuyoruz” olarak belirlenen 11. Uluslararası Döküm Kongremizi Metal döküm sektörüne dair akademik, teknolojik, ekonomik ve yönetsel birikimi katılımcılarla paylaşmak amacı ve hedefiyle gerçekleştiriyoruz. Kongremizde; döküm sektöründe eğitim, yeni malzemeler, çevre, iş güvenliği, enerji verimliliği, maliyet, sürdürülebilirlik, verimlilik, karlılık, Ar-Ge, inovasyon, yeni üretim ve kontrol teknolojileri konularında 37’i sözlü, 11’i poster olmak üzere toplam 48 sunum yer alıyor.

11. Uluslararası Döküm Kongremizde 37 sözlü bildiri 6 oturumda iki buçuk gün boyunca katılımcılarıyla buluşacak. 6-8 Ekim 2022 tarihleri arasında İstanbul Tüyap Fuar ve Kongre Merkezinde Ankiros/Turkcast fuarlarıyla birlikte düzenlenen kongremize kabul edilen sözlü ve poster sunum makalelerini Bildiri Kitabı ile sizlere ulaştırıyoruz.

11. Uluslararası Döküm Kongremizde; davetli konuşmacılarımız Yaylalı Günay (Döktaş - Günay Danışmanlık) “Dünya ve Türk Döküm Sektörü Gelişimi ve Geleceği”, Dr. Fynn-Willem Lohe (CAEF - Avrupa Dökümcüler Birliği) “Avrupa Döküm Sanayisinin Geleceği ve Riskleri”, José Javier González (WFO Dünya Dökümcüler Birliği) ise, “Global Döküm Sanayisinde Mevcut Durum ve Geleceğe Bakış” başlıklı konuşmalarıyla siz değerli katılımcılarımızla buluşacak.

Kongre oturumlarında sunulacak tüm sözlü ve poster sunumlarının tam metinleri Kongre Bildirileri Kitabında olduğu gibi TÜDÖKSAD Akademi web sayfası akademi.tudoksad.org.tr adresinde yayınlanmış olup; Kongre Danışma Kurulu ve Kongre Yürütme Kurulu üyelerimize bu önemli organizasyonu mümkün kılmalarından dolayı içten teşekkürlerimizi ve şükranlarımızı sunarız.

Ayrıca, değerli desteklerini esirgemeyen TÜDÖKSAD Kurumsal Sponsorları; ASK Chemicals, Aveks, Çukurova Kimya, Ekspert Mümessillik, Hannover-Messe Ankiros Fuarcılık, Haznedar Durer Refrater, Heraeus Electro Nite, Metko Hüttenes-Albertus Kimya, Meta-Mak Metalurji, Tosçelik Granül ile Kongremizin Sponsorları; BDM Bilginoğlu Döküm ve Foceso Türkiye firmalarına teşekkür ederiz.

EKİM 2022

Tunçağ Cihangir Şen

İş Geliştirme Direktörü - Türkiye Döküm Sanayicileri Derneği
Yürütme Kurulu Üyesi - 11.Uluslararası Döküm Kongresi

PREFACE

The "Foundry Congresses" organized by TUDOKSAD the Turkish Foundry Association stands out as the most comprehensive event in its field in Turkey with its content and organizational capability.

Starting from 2017, we have started to organize the Foundry Congress every year, with a landmark decision. We continue to organize International Foundry Congresses in conjunction with Ankiros-Turkcast Fairs biyearly and in the following years we arrange "National Foundry Congresses". In this context, our National Foundry Congresses, the first of which were held in Eskisehir in 2017 and the second one in Izmir in 2019, completed with impressive participation numbers above expectations.

Due to the restrictions imposed by the Covid-19 pandemic, TUDOKSAD Foundry Congresses had to take a break in the last two years. It has been three years since the 2nd National Foundry Congress we held in Izmir at the end of 2019. After this long and challenging period, we are incredibly excited to meet again as a whole industry. We have once again understood how valuable face-to-face events and meetings are during the pandemic process. Although we were deeply saddened not to be able to get together for a long time after holding two international and two national congresses for four consecutive years between 2016-2019, the preparatory work for our 11th International Congress continued without interruption.

To continue to grow in the metal casting industry, which has a constantly changing and developing structure, to always take part in the cycle by following all the steps taken for development; is possible by ensuring continuous harmony, following and sharing new technologies and applications. The 11th International Foundry Congress, which will be held with the motto "Let's Talk the Future of Metal Casting", offers a unique opportunity to our industry and our colleagues to share the latest developments and increase their knowledge.

11th International Foundry Congress is to be held with the motto "Let's Talk the Future of Metal Casting", defined by our Congress Advisory Board, with the aim and goal of sharing the academic, technological, economic and administrative knowledge of the metal casting industry. We are going to follow 37 oral and 11 poster presentations on education, new materials and alloys, environment, occupational safety, energy efficiency, cost, sustainability, efficiency, profitability, R&D, innovation, new production and control technologies in the foundry industry.

The articles of the all presentations within the scope of the 11th International Foundry Congress are included in the Congress Proceedings book, which is published digitally.

We are going to host esteemed invited speakers during the congress; Yaylalı Günay (Doktas Dokumculuk - Gunay Consulting) "Development and Future of the World and Turkish Casting Industry", Dr. Fynn-Willem Lohe (CAEF - European Foundry Association) "Future and Risks of the European Casting Industry" and José Javier González (WFO World Foundry Organization) with his speech titled "Current Situation and Future Outlook in the Global Casting Industry".

The full articles of all presentations are available in the Congress Proceedings Book, as well as on the TUDOKSAD Academy web page akademi.tudoksad.org.tr. We would like to express our sincere thanks and gratitude to our Congress Advisory Board and Congress Organizing Committee members for making this important organization possible for the industry.

In addition, we would like to express our gratitude to TUDOKSAD Corporate Sponsors, ASK Chemicals, Aveks, Çukurova Kimya, Ekspert Mümessillik, Hannover-Messe Ankiros Fairs, Haznedar Durer Refractories, Heraeus Electro-Nite, Metko Hüttenes-Albertus Kimya, Meta-Mak Metalurji, Tosçelik Granül and Congress Sponsors; BDM Bilginoğlu Döküm and Foceso Turkey.

OCTOBER 2022

Tunçay Cihangir Şen

Business Development Director – TUDOKSAD Turkish Foundry Association

Congress Organizing Committee Member – 11th International Foundry Congress

BİLDİRİLER

Açılış Konuşması/ Dünya ve Türk Döküm Sektörü Gelişimi ve Geleceği Yaylalı Günay	1
1.Oturum	
Döküm Sektörüne Yönelik Eğitim Modelleri Arda Çetin	38
Döküm Sektöründe Entegre Kirliliği Önlemek İçin En İyi Teknikler ve Uygulamalar Berivan Boduroğlu	48
Dökümlerin Otomotiv Endüstrisindeki Geleceğinin Değerlendirilmesi Nazım Narçin	60
Sürdürülebilir Cold-Box Sistemleri Peter Gröning, Toroshan Kara	70
Speciality Mg-Treatment Alloys For Specific Applications Mathias Lueben	78
Özel Geliştirilmiş İç Temizlik Boyaları ve Otomatik Akıllı Boya Hazırlama Sistemi (ICU - Intelligent Coating Unit) Cemal Andıç	82
2 . Oturum	
Balık Gözü ve Flor Kaynaklı Hataların Önlenmesi Açelya Sandıkoğlu Kandemir, Tan Emir, Haydar Kahraman, İbrahim Hayri Keser, Serkan Çelik	92
Compact Graphite Iron's Real Time Manufacturing Control By Thermal Analysis U. de la Torre, A. Loizaga, R. Suárez	104
Simülasyon ve Deney Tasarımı Kullanarak Gri Dökme Demir (GG) Malzemelerde Kimyasal Analiz Optimizasyonu Serkan Evmez, Şevki Özçelik, Burcu Altuğ, Birgül Küreğibüyük, Burç Aral	112
İnce Kesitli Temper Parçalarda Sıcak Yırtılma Hatasının İyileştirilmesi Volkan Nesipoğlu	120
Seramik Köpük Filtre Yuva Tasarımlarının Değerlendirilmesi Cemal Andıç	126
Kalın Kesitli Östemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirin Darbe Dayanımına İlk Basamak Östemperleme Süresinin Etkisi Ekin Koluacı, Uğur Kuruoğlu, Yağmur Laleci, Ferhat Gül	140
Bakır ve Mangan ile Alaşımlandırılan Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Mikroyapı Mekanik ve Aşınma Özellikleri Erdü Doğuş Gül, Zafer Ay, Yaşar Uğur Akı, Emre Aydın, Harun Mindivan	150
3 . Oturum	
AL7Si0.3MG (A356) Alüminyum Alaşımının Bilfilm İndeksi Kullanılarak Özellikleri ile Sıvı Metal Kalitesi Arasındaki İlişkinin Tespiti Mekanik Çağlar Yüksel, Ferhat Saydam, Derya Dışpınar, Mustafa Çiğdem, Uğur Aybarç	158

Industry 4.0 for Aluminum Foundry: An Optimal Management Of The Process To Enhance Competitiveness Of The Company	164
A. Baquedano, S. Orden, E. Barbarias, I. Lizarralde, R. Suárez, U. Gauer mann	
Making Aluminium Castings in Green Sand: Exploring The Benefits and Challenges	176
Per Larsen	
Production and Characterization of Aluminum Matrix Composites for Small-Scale Unmanned Aircraft Engine Pistons	188
Muammer Demiralp, Ali Kalkanlı	
Alüminyum Alaşımlarının Yüksek Basıncılı Dökümünde Kalıp Tasarım Kriterleri ve Proses Parametrelerinin İncelenmesi	200
Tufan Özay, Ali Serdar Vanlı	
Mechanical Property Comparison of Al11Si Wheels Grain Refined By Ti, Nb and MTS	218
Ferhat Aydoğan, Kerem Can Dizdar, Hayati Sahin, Elvan Mentese, Derya Dişpınar	
4. Oturum	
Küresel Grafitli Dökme Demirde Döküm Proses Parametrelerinin Simülasyon Programı ile Kıyaslanarak Doğrulanması	224
Kerem Karabağ, Okan Güler, Tuncer Kit	
Simülasyonda Optimizasyon Yöntemi Yardımı ile Çekintisiz Olarak Ürün Çeşitliliğini Artıracak Şaft Desteği Parçasının Üretimi	232
Anıl Güleç	
Mechanical Properties Optimization of As-Cast Ausferritic Ductile Iron As A Function of Section Size and Holding Time	240
U. de la Torre, R. González-Martínez and S. Méndez	
Östemperleme İşleminin Vermiküler Dökme Demirin Mikroyapı Sertlik Çekme Dayanımı ve Darbe Direnci Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi	248
Yiğit Güler, Hakan Gaşan, Zafer Ay, Ali Emre Zobaroğlu	
Birim Alan Yöntemine Göre Besleyici Ölçülendirilmesinin Pratik Uygulamaları	256
Şemsettin Özdemir	
Yüksek Basıncı Yaş Kum Kalıplama Hatlarında Besleyici Gömlek Sistemlerinin Uygulaması	266
Haydar Kahraman, İbrahim Hayri Keser, Serkan Çelik, Özge Aksın Artok, Ümit Cöcen	
5. Oturum	
Besleyici Tasarımı	276
Mehmet Özgül	
Demir ve Demir Dışı Dökümhanelerinin Günümüz ve Gelecekteki İhtiyaçları İçin Yenilikçi ve Lityum İçermeyen Katkı Malzemeleri	286
Önder Orhaner, Hakan Kakaç, Kadir Bıyık, İsmail Yılmaz	
Çelik Dökümlerde Basıncılı Yolluk Sistemi Tasarımı ve Optimizasyonu	294
M. Murat Zor, Alper Yoloğlu, Serdar Kesim, Ferhat Tülüce, Kasım Bilgin, Süleyman Yıldırım, Deniz Cebeci, Serkan Daş	

CO ² ile Kürleşen Alkali Reçinelerde Sodyum-Potasyum Konsantrasyonunun Maça Performansına ve Uygulamalarına Etkisi	304
Alper Emre Güvendik, Bahadır Kiyak, Özge Aksın Artok	
Lamel ve Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Metalografik Adımları ve Mikroyapı Analizleri	312
Mustafa Özgül Abay	
Kalıplama Hatlarında QM Matris Uygulaması ve Saha Adaptasyonu	330
Hande Birengel, Veysel Durak	
Farklı Özellikteki Ekzotermik Besleyici Gömleklerin Katılışmaya Etkisi ve Döküm Simülasyon Yazılımı ile Uyumluluğu	340
İbrahim Hayri Keser, Haydar Kahraman, Eray Koyuncu, Özge Aksın Artok, Ümit Cöcen	
6. Oturum	
Yüksek Performansa Sahip Yeni Nesil Furan Reçinesi	350
Hande Özcan, Serkan Çelik, Özge Aksın Artok	
Magmasoft ile Kuma Dökümde Üretim Değişkenlerinin Proses Sağlamlığı Üzerine Etkisi	356
F. Murat Akçin, Baran H. Sular	
Temperleme Sıcaklığının Havada Sertleştirilmiş 2,25 CR-0.35MO Çeliğinin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi	368
Faruk Öztürk, İsmail Alkan, Uğur Gürol, Mehmet Uysal	
Metal Döküm Sektöründe Otomotiv Üretim Sistemlerinin ve Yalın Üretim Tekniklerinin Uygulanmasıyla Elde Edilen Performans Artışıyla Rekabetçiliğin ve Sürdürülebilirliğin Arttırılması	374
Ümmet Ayyıldız	
Küresel Grafitli Dökme Demirler İçin Endüstriyel Ölçekte Östemperleme Prosesinin Geliştirilmesi ve Krank Millerine Uygulanması	394
Şerife Helvacıoğlu, Gökhan Sağlam, Ümmihan T. Yılmaz, Ayşe Erkan	
Poster Oturumu	
A356 ve A380 Alüminyum Alaşımlarında Farklı Katılışma Hızlarında Sıvı Metal Kalitesi Tayini	410
Sena Erdoğan, Rabia Şevval Akan, Çağlar Yüksel, Muhammet Uludağ	
Sıvı Metal Kalitesi İçin Kullanılan Bifilm İndeks Yönteminin Fiziksel Analizi	420
Sena Erdoğan, Rabia Şevval Akan, Recep Öz, Muhammet Uludağ	
Yüksek Basınçlı Dökümde Döküm Kalitesinin İyileştirilmesi İçin Optimum Döküm Sıcaklığının Tespit Edilmesi	428
Elif Umay, Zübeyde Aday, Ümmet Ayyıldız, Muhammet Uludağ	
Yüksek Basınçlı Döküm Yöntemi ile Elde Edilen En AC 46000 Alaşımının Aşınma Davranışının İncelenmesi	440
Gözde Zorman, Sena Erdoğan, Yunus Demir, Ümmet Ayyıldız, Muhammet Uludağ	
Sanayi Devrimlerinin Arka Planı ve Dördüncü Sanayi Devriminin Metal Sektörüne Etkisi	448
Mustafa Özgül Abay	
Green Sand System Global Best Practices: "Sand-Soft" for Proactive Green Sand Additions: A Tool Toward Foundry 4.0	462
Patrick Verdout	

CNC Üretim Takip ve Verimlilik Yazılımı Kapasitematik'in İşletmelere Sağlayacağı Faydalar	472
Yalçın Paslı, Özer Cem Kelahmet, Muhammet Bozkır	
Alüminyum Alaşımlarının Basınçlı Dökümünde Trim Kalıpları ve Tasarım Kriterleri	480
Salih Can Dönmez, Aslan Çelik, Ali Serdar Vanlı	
Plastik Sektöründe Baskı ve Laminasyon İşlemleri İçin Sıcaklık Kontrolü Sağlayan	488
Merdane Geliştirilmesi	
Emre Bayram	
Using Orbital Shaking As Grain Refinement Technique For Lost Foam Casted A356	
Aluminium Alloy	496
Öznur Kılıç, Serhat Acar, Kerem Altuğ Güler	

DÜNYA ve TÜRK DÖKÜM SEKTÖRÜ GELİŞİMİ ve GELECEĞİ

Yaylalı GÜNAY
(Döktaş), (Günay Danışmanlık)

ÖZET

Otomotiv sektöründeki son yıllardaki hızlı değişim, önümüzdeki 10 yıl ve sonrasında, dünya otomotiv sanayi ve otomotiv ürünleri kullanımı konularında önemli gelişmelerin yaşanılacağına işaret etmektedir.

Araç hafifletilmesi için güç sistemlerindeki değişimin ötesinde, karasöri ve platformlarda da, alışılmış çelik karkas ve sac levha yerine, alüminyum levha, ekstrüzyon ve alüminyum döküm kullanımı artmaktadır. Bu dönüşümün ötesinde karbon fiber, takviyeli plastikler, nano partikül takviyeli çelik malzemeler yarışta olduklarını atılımları ile göstermektedirler. Türk döküm sektörünün büyüme verileri de, bu gelişmeye uymaktadır.

Dünya ülkeleri, üretim ve kullanım emisyonları ile atmosferde biriken CO₂ seviyesinin dünyayı aşırı ısıtacağı, kutup buzlarının erimesi, deniz seviyesinin yükselmesi, tarımda rekolte riskleri, flora ve faunanın yaşamına etkisi açısından ısınmanın 2100 senesinde max 1.5 C olarak tutulmasını 2019 tarihli Paris Anlaşması ile hedef olarak koymuşlardır.

Atmosfere CO₂ ve NO_x atan ve kömür/petrol ürünleri kullanan fabrikalar, makineler, nakil araçları, evler vs'den CO₂ atıklarını sınırlamaları hedefi konulmuştur. Bunun sağlanması için uluslararası birçok cezai madde, yönetmelik ve hedefler konulmuş, kurallara uymayan ülkelerin ürünlerinin alınmaması, politik baskılar ve ithalatta sınır kapılarında ek vergiler alınması uygulanması kararlaştırılmıştır.

Trafiğe çıkacak tüm araçlarda elektrifikasyon, çelik, alüminyum, çimento, gübre üretiminde alternatif teknolojiler, doğanın tüm kaynaklarından yeşil enerji üretilmesi, bu hedefler doğrultusunda yapı değiştirmektedir.

Tüm bu sektörlerde ürün veren döküm sanayi de, bu akıma uygun olarak yapı değişikliği yapmak zorunda olup, yenilenmekte, mevcut tesis ve yeni devreye sokulan makineler ile üretimde karbon emisyonu ve şirket yönetiminde „sürdürülebilirlik“ ön plana çıkmaktadır. Şirketler, hem yeşil enerji kullanmak, hem de ürün gamını yenilemek yolundadırlar.

Tebliğde, bu yapı ve çalışma şekli değişiminin döküm sektörüne etkileri ve sektörün değişim çalışmaları değerlendirilmektedir.

Anahtar kelimeler: Emisyon limitleri, araç elektrifikasyonu, dökümde enerji dönüşümü, enerji kullanımı

SUMMARY:

The rapid change of the automotive sector in recent years, indicates that there will be significant developments in the global automotive industry and the use/sales of automotive products in the next 10 years and beyond.

In addition to the radical change of the power systems to meet emission standards and weight reduction targets, the use of lightly designed castings, sheet metal or extrusions from aluminum are replacing classic steel usage. Beyond this transformation, carbon fiber, reinforced plastics, steel reinforced with nano particles are also in the race.

The growth of the Turkish foundry industry also show close compliance with this transformation.

World countries have agreed to set up a target for the overheating of the atmosphere by 2100 as max. + 1.5 C, with the anxiety and view that the CO₂ build-up in the atmosphere due to the uncontrolled production emissions will result in overheating of the earth, melting of the polar ice, rise of the sea levels, famine in agriculture, negative effects on fauna and flora.

To achieve this target, it is aimed to drastically reduce the CO₂ waste emissions from factories, machinery, transport vehicles, houses and stop usage of coal/petroleum products.

In order to reach these targets, many international legal penalties, regulations and targets have been set. It has been decided that imports from those countries not applying these rules will be banned, political pressures and extra import taxes at the borders will be applied.

There is an ongoing transformation to comply with these regulations as electrification of all vehicles and transportation, alternative green technologies for manufacture of steel, aluminum, cement, fertilizers and production of green energy from all possible facilities of the nature.

Foundry industry, supplying to all these industries, must be and is on the move to convert existing production methodologies, materials to comply with these new rules. Existing facilities as well as newly bought machinery, production emissions at all phases are targeted to be controlled to reach “sustainability”.

Factories have to use “green energy” as well as renew their product portfolio based on reduced emissions.

The effects of this change and the new way of working in the foundry industry is being studied in this paper.

Key words: Emission limits, vehicle electrification, hydrogen as a power source, energy transformation and usage.

1) GİRİŞ:

MÖ 8000'li yıllara tarihlenen insanlığın ilk metalle tanışmasından sonra, bu metalleri şekillendirip günlük hayat, av ve kendini korumada kullanma yolu metale döküm veya dövme ile şekil verme ile ilerledi. Her dönem gelişen döküm teknolojisi günlük hayata girdi. Sanayi devrimleri ile üretimin bir parçası haline geldi.

Sanayileri gelişmiş ülkeler ilk başlarda döküm üretimini ülkelerinde tutmalarına rağmen, çok teknolojik olmayan klasik döküm işini maliyetleri daha düşük çevre ülkelere veya işçiliğin çok düşük olduğu uzak ülkelere bıraktılar. Zamanla bu taşeron ülkeler, işin teknolojisini ve geliştirmesi yeteneğine gelince, ana ülkelerdeki döküm tesisleri artık rekabet edemeyip teknolojik olarak stratejik ürünler hariç olarak, işi bu yan ülkelere bıraktılar.

Bütün bunların yanında, döküm üretimi tozlu, emek yoğun, enerji kullanan bir sektör olduğundan, dünyadaki ekolojik düzenlemelere uyma maliyetlerini de, bu yan ülkelere aktardılar. Bunu takip etmek için çok sıkı kurallar ve cezaları da beraberinde getirdiler.

Yeni nesil döküm işi, a) hem dünyadaki çevre kirletilmesi kurallarına uyacak, b) CO2 üretmeyen enerjiler kullanacak c) enerji, malzeme, işçilik maliyetleri kontrollu olacak d) yüksek verimlilikte çalışacak e) ürünü konseptten, bitmiş hale getirecek teknolojiye sahip olacak f) tam serbesti için, kendi raf malı/pazar ürününü üretebilecek yönde gelişmeli. Bu safhalara ulaşamayanlar, yan sanayi olarak kalarak, sanayileri gelişmiş ülkelerin teslimatçısı olup, yaşama ve kar için bu firmalara bağlı olacaklardır.

Tüm dünyada sayısallaşma, internet kullanımının artması, ekoloji, şehirleşme, yaşlı oranının yükselmesi, farklılıklara yönelme gibi konular nedeni ile üretim sektörleri yapı değişikliğine gitmek zorunda kalmaktadırlar. İş yapış şekillerinin klasik endüstri kurallarının dışına taşıdığı, insan beyninin kullanmadığı rezervlerinin devreye girme baskısı ile üretim, pazarlama, yaşam alışkanlıkları, rekabetçiliğin yeni evrelerindeki değişim tüm sektörleri etkilemektedir. Metal sektörü, değişim yaşayan tüm sektörlerle hizmet verdiği için bu yeni yapılanmadan etkilenmesi beklenilmelidir. Her yapılanın satılabildiği, yeni fikir ve üretim şekillerinin devreye girmediği ve çevre koşullarını göz önüne almayan bir yapının, bu yeni ve çalkantılı dünyada yerini koruyabilmesi çok zor görülmektedir.

II) DÖKÜM SEKTÖRÜNÜN GELİŞİME UYUMU

1) Sektörün Gelişim Yönü:

Döküm sektörünü yıllar boyunca etkileyen ve gelişim yönünü çizen birçok faktör ve süreç olmuştur. Sektör bu taleplere uyum sağlarken, daha verimli, rantabil ve daha enerji tasarruflu oluşmaları için bir ortak gibi hareket etmiş, birçok konuda da öncülük ederek, gelişmeyi hızlandırmıştır. (Şekil 1) Sektörün ana pazarlarına bakıldığında, pazarın %75'ini oluşturan ilk 4 döküm pazarının önümüzdeki 10 yıl içinde önemli değişime uğrayacağı bilinmektedir.

Yeni yapıya uymak için atılım ve değişim yaşayan döküm pazarları:

- Otomotiv sanayi (araç sahibi olma hevesinin azalması, şehir içinde oturma, araç kiralama, otom taksiler, otomobilin bir gösteriş aracı olmaktan çıkması)
- Enerji üretimi (Rüzgar, güneş ve bio enerjiye geçilmesi)
- Elektrik/elektronik aletler (küçülen cihazlar, çok işlevi yapan tek cihaz, hafif kompozitler kullanımı)

- Beyaz eşya (çok maksatlı tek cihaz, cihazların ortak kullanımı)

Bu sektörlerdeki değişim incelendiğinde,

- Nihai ürünlerdeki yapısal değişim nedeni ile döküm parçalara talebin azaldığı,
- Malzeme tiplerinde ve kullanım miktarlarında değişim yaşandığı,
- Üretim yerlerinin ise mevcut sanayileşmiş ülkelere, son ürünün satıldığı yerlere doğru kaydığı gözlenmektedir.

Dünya döküm sanayinin önündeki stratejik mihenk taşları

- 1) **Globelleşme** = Döküm işi teknolojisi, sermayesi, kapasitesi ile dünyanın her tarafına dağılmıştır
- 2) **Teknolojik liderlik** = Zor ve şekilsiz parçaların en ucuz yöntem ve malzeme ile üretilmesinde vazgeçilmezlik
- 3) **Bilgili personel** = Teminlerinde zorluk var, fakat mevcutların tutulması ve sürekli yenilerinin eğitimi gerek
- 4) **Sürekli yatırım** = Kapasite artırma yerine teknolojik ve verimlilik yatırımları
- 5) **Karlılık** = Sadece ham döküm satışı halinde, sürekli rekabet ve fiyat indirim baskısı yaşanacaktır. İşlenmiş, montajlı, dizayn destekli ürünler ile rekabette öne geçilecektir.
- 6) **Kapanma ve birleşmeler** = Döküm sektöründe, finans, yatırım yapmama eğiliminde olan bir çok firma kapanma ve satma yolunu seçmektedir. Bu akımdan yararlanmak gerekir.

Şekil 1. Döküm sektörünü etkileyen stratejik mihenk taşları

Bütün bu gelişmelerin devamı olarak, geleceğin sürükleyici ve yaratıcılık gerektiren konuları dünyada yaşamı kolaylaştıracak, sürekliliğini sağlayacak ve tüm ülke ve bireylerin katılımını gerektiren uygulamalar olarak ortaya çıkmaktadır.

2) Döküm parça talebini, teknolojisini ve rekabet gücünü etkileyecek faktörler:

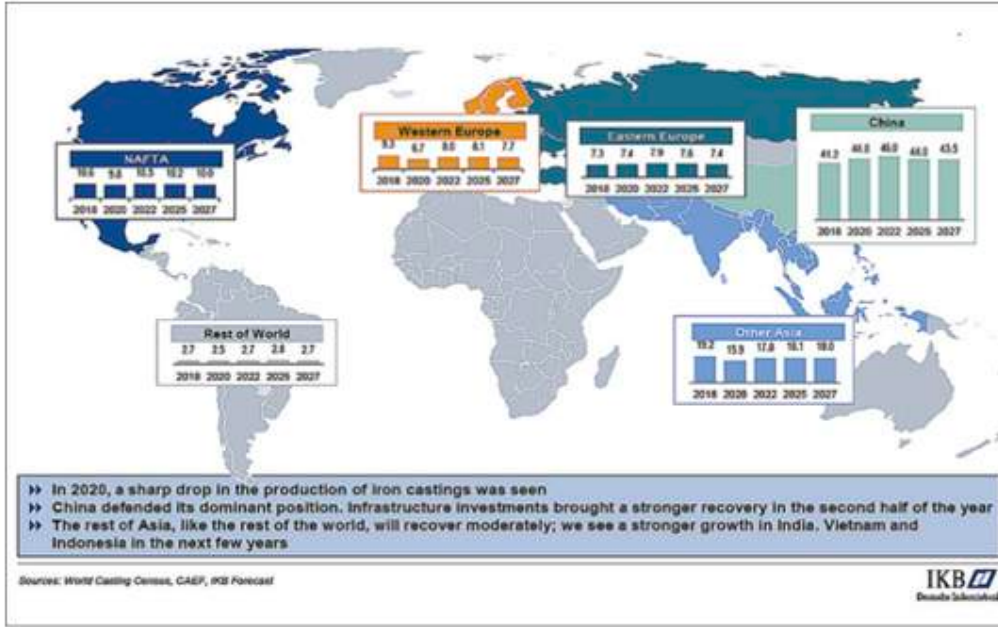
- Araçlarda elektrifikasyon
- Araçlarda hibritleşme,
- Yakıt hücreli araçlar,
- Araçların küçülmesi,
- Araç hafiflemesi,
- Araç kullanımında ve pazarında üretim miktarını etkileyecek değişimler,
- Şehirleşme,
- Uçak, otobüs, kamyonlarda hafifleme,
- Kullanılan malzemelerin değişimi,
- Döküm üretim metodolojilerinin değişimi,
- 3D lazer sinterleme
- Dökümüm araç/makinanın üretildiği yerde üretilmesi zorunluluğu,
- Dökümün kullanıldığı araç/makina/ekipmanın tüketiminde farklılaşma
- Enerji üretim makinalarında teknoloji değişimi
- Alternatif enerji üretim metodları
- Şehir mobilyalarında ve inşaat sektöründe alternatif malzemelerin kullanımı

Bütün bu gelişmelerin devamı olarak, geleceğin sürükleyici ve yaratıcılık gerektiren konuları dünyada yaşamı kolaylaştıracak, sürekliliğini sağlayacak ve tüm ülke ve bireylerin katılımını gerektiren uygulamalar olarak ortaya çıkmaktadır.

III) DÜNYA ve TÜRKİYE’de DÖKÜM ÜRETİMİ GELİŞİMİ

1) DÜNYA İSTATİSTİKLERİ:

Dünya döküm üretimi 2020-22 krizinden çıkarken bir miktar artış yaşanacak, fakat enerji, parça bulunamaması ve parasal sıkıntılar nedeni ile ilk önce otomobil, daha sonra hafif/ağır nakliye araçları, yapı ve maden sektörlerini de içeren dünya çapında bir resesyon ile talep ve üretimde yatay bir seyir ve azalma beklenilmektedir. (Şekil 2)

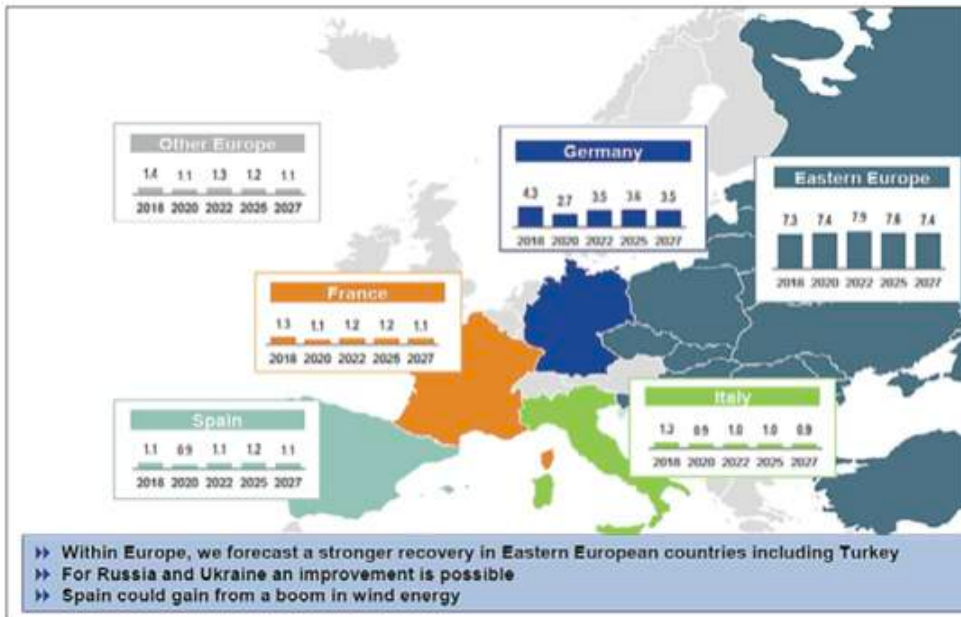


Şekil 2. Dünya döküm üretiminin yıllara ve bölgelere üretim tahminleri.

Avrupa, krizlerden çıkarken, yeni gelen enerji krizi artışı yavaşlatacak, fakat bu gelişme yeni enerji kaynak arayışına ve tasarrufa yararlı olacaktır. (Şekil 3)

ABD’de ekonomik büyümeye paralel olarak, döküm sektörü de kaybedilen üretim miktarlarının bir kısmını geri alacaktır. ABD’de enerji fiyatları Avrupa’daki gibi artmadığı için, şirketler üzerindeki yük AB kadar yaşanmamaktadır.

1995’de başlayan „Out-Shoring“ akımı ile Çin ve Hindistan’a giden döküm parça temini, yaşanan kalite, fiyat artışları, kominikasyon dertleri, uzun ve pahalı nakliye bedelleri nedeni ile geri dönmekte (Re-Shoring) ve ABD döküm üretimini arttırmaktadır.



Şekil 3. Avrupa ülkelerinde döküm üretimini yıllara göre gelişimi

2)TÜRKİYE DÖKÜM İSTATİSTİKLERİ:

Dünyanın aksine, Türk döküm sektörü ise büyümeye ve pazarlarını geliştirmeye devam etmiş, krizli 2022-21 yıllarında bile pazar kaybetmesi diğer ülkelerin çok altında kalmıştır. Kapanan birçok Batı Avrupa küçük ölçekli döküm tesisinin boşalttığı hacmin, çok yüksek bir kalite seviyesi ve kalite sistemleri anlayışına ulaşmış uygun fiyatlı ve hizmet performansı ile çalışan Türk döküm sektörüne yöneldiği görülmektedir.

a)Toplam döküm cirosu büyümesi (Son 10 yıl):

- 2011 = 2.6 milyar €, 2021 = 5.3 milyar €

Büyüme = 2.1 kat (daha fazla ciro, daha yüksek birim fiyat, alüminyum döküm ihracatının artması)

b) Demir dışı döküm:

- 2011= 170 bin ton, 2021 = 655 bin ton, 10 yılda 3.9 misli artış.(İhracata dayanan Türk döküm sektörünün de, hafifleme akımına uyduğunun bir göstergesi.)

c) Pik/Sfero döküm

- 2011 =1.010 milyon ton, 2021 = 2.015 milyon ton. (artış sadece %100'de kalmıştır.)

-Pik döküm artışı 625 bin t'dan 920 bin t'a = %50, sfero döküm 480 bin t'dan, 1090 bin t'a = %127 olması, sıhhatli bir üretim/satış ve ürün seçimi görünümü vermektedir.

d) Döküm sektörü ihracat cirosu:

- 2011 = 1.843 milyar €, 2021 = 4.480 milyar €, (2.4 misli artış)

e) İhracat tonajı:

- Demir dışı, 2011 = 121 bin ton, 2021 = 522 bin ton, (4.3 katı artış.)

- Pik/Sfero, 2011 = 630 bin ton, 2021= 1280 bin ton, 2 katı artış

f) Alüminyum ihracat cirosu:

2013 =(180 bin ton), 1.24 milyar €, 2021 = (578 bin ton), 2.370 milyar €, (%77 artış)

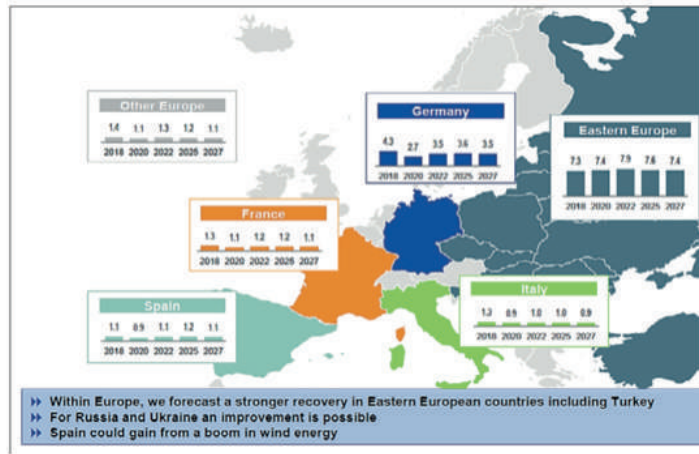
İtalya, Almanya ve bazı Doğu Avrupa ülkelerindeki döküm tesislerinin maliyet artışları, sektörde karlılığın düşük olması, finansman masraflarının yüksekliği karşısında kapanma, birleşmeleri sonucu, Türk döküm sanayi artan talebi mevcut boş kurulu kapasitesi ile karşılayarak, 2020'ye göre 2021'de üretimde %36, (2020 : 2.314.000 t, 2021: 2.963.000 t) ihracatta % 43 büyümüştür . (2020 : 1.380.000 t, 2021: 1.979.000 t)



Şekil 4. Metal bazında Türk döküm sektörünün yıllara göre büyümesi

Bu büyümenin Türk döküm satıcılarının pazarı çok iyi değerlendirmeleri, girişkenlikleri ve kalite sürekliliği kavramının yerleşmiş olması gibi birçok nedeni olup, diğerleri İtalya, Almanya ve bazı Doğu Avrupa ülkelerindeki döküm tesislerinin maliyet artışları, sektörde karlılığın düşük olması, finansman masraflarının yüksekliliği karşısında kapanma, birleşmeleri sonucu, Türk döküm sanayi artan talebi mevcut boş kurulu kapasitesi ile karşılayarak, 2020'ye göre 2021'de üretimde %36, (2020 : 2.314.000 t, 2021: 2.963.000 t) ihracatta ise % 43 büyümüştür.(2020 : 1.380.000 t, 2021: 1.979.000 t) (Şekil: 4)

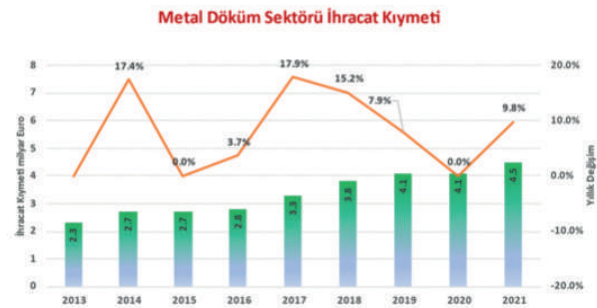
Şekil 5'e göre, aynı süre içinde satış cirosunun, sadece %14 artması ise incelenmesi gereken bir konudur. Artışın %50 olarak ucuz olan pik dökümde olması, daha pahalı olan alüminyum artışının %29'da kalması bir sebep olarak görülmektedir. Bu da sektör olarak "hacim arttırmak yerine, daha pahalı ve katma değerli ürünlere yönelmesi" gereğinin güzel bir göstergesidir.



Şekil 5. Türk döküm sektörünün yıllara göre satış cirosu ve artış yüzdeleri

Türk döküm sektörü ihracat miktarı ton bazında 2021'de %43 artmıştır. Sektörün ihracat tonajı, 2020-21 arası %43 artmasına rağmen, ihracat kıymeti ise 4.1 milyar €'dan 4.5 milyar € artarak, sadece %9.8 büyümüştür. Satış cirosunun ihracatta %9.8, toplam satışta %14.15 artmış olması (5.5 milyar €'dan 6.05 milyar €'ya), satışların % 67'sinin ihracat olması nedeniyle, ihracat fiyatlarının yerli pazara göre daha düşük olduğunun göstergesidir. Bu tercih edilmemesi gereken bir politika olup, döviz kurunun değişimi şirketi güç durumda bırakabilir. (Şekil: 6-7)

Türk döküm sektörü ihracat miktarı ton bazında 2021'de %43 artmıştır



Şekil 6-7. Türk döküm sektörü yıllara göre ihracat cirosu ve artış yüzdeleri

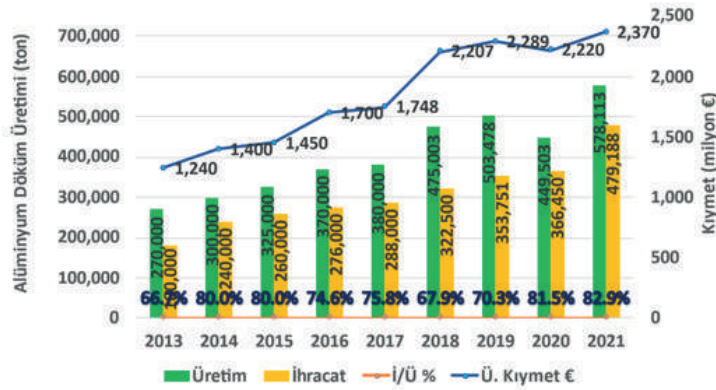
Çelik Döküm Gelişimi

Türk döküm sektöründe ilk önemli üretimin başladığı sektör olan çelik dökümde de benzer bir büyüme ve gelişme yaşanmaktadır. Sektör, 1960'larda yılda 10 bin ton/yıl olarak başlayıp, bugün yıllık 279 bin tona ulaşmıştır. Komplike ve büyük tonajlı parçalar üreten sektörün, ana pazarları ABD ve Almanya'dır. (Şekil 8) Satış ve ihracat birim fiyatlarının 2021-22 arası %30 civarında düşmesi, fiyat indirimi veya ürün malzeme ve tipinin değişiminden olup olmadığı incelenmelidir.

	2020	2021	Değişim, %
Üretim, ton	192 000	279 000	45
İhracat, ton	119 000	165 000	39
Üretim, €	607 milyon	656 milyon	7.5
İhracat, €	425 milyon	407 milyon	-17
İç piyasa, €	182 milyon	245 milyon	34
Üretim kıymeti, €/kg	3.16 €/kg	2.34 €/kg	-26
İhracat kıymeti, €/t	3.56 €/kg	2.46 €/kg	-31

Türk döküm sektöründe çelik dökümün gelişimi

Türk döküm sektöründe, Alüminyum döküm'deki gelişmeler:



Şekil 8. Yıllara göre alüminyum döküm üretimi, ihracatı (ton ve € ciro)

Üretimin büyük bir yüzdesi jant olmasına rağmen üretim miktarında önemli bir büyüme görülmektedir. (2020 = 449 bin t, 2021= 578 bin t. %31 büyüme). Buna ve külçe alüminyum fiyatının enerji ve silisyum fiyat yükselmelerine rağmen satış cirosunun (2020= 2.220 milyar €, 2021= 2.330 milyar €), artmasının sadece %7 olması ve sebepleri, dolayısı ile sektörün ROI (yatırım geri dönüşü) yönünden incelenmesi ve tedbir gerektiren bir husus olarak beliriyor. (Şekil 8)

Kullanılan kapasitenin %58 olması hem pazarda büyüme için bir avantaj, fakat yeni yapılmakta olan kapasite yatırımlarının yönlendirmesi açısından bir risktir.

Türkiye, gerek OEE, gerekse OES ve After Market (AM) pazarların başak firmalara önemli miktarda ve 22inc çapa ulaşan alüminyum döküm jant üretmekte ve özellikle rekabetin çok yoğun olduğu Avrupa pazarına satmaktadır. (Takar. 17 milyon adet/yıl) AM olarak da, bu pazarın haricinde Rusya ve diğer çevre ülkelere ürün yapılmaktadır. (Şekil: 9) Otomobil sektörünün gelişimi göz önüne alınarak, hafiflemesi gereken kamyon ve otobüs sanayinin jantlarının da dövme/ekstrüzyon olarak üretebilecek kapasiteye ulaşılması yapılması gereken yatırımlar için bir yön olabilecektir. Nitekim, bu yönde bir yatırım Manisa'da Maxion tarafından kurulmaya başlanılmıştır.

Alüminyum dökümün üretim ve ihracatına önemli katkıda bulunan sektör: Otomobil ve hafif araç döküm jant üretimi

- Türkiye, gerek OEE, gerekse OES ve After Market pazarların başak firmalara önemli miktarda ve 22inc çapa ulaşan %7-11 alüminyum döküm jant üretmekte ve özellikle rekabetin çok yoğun olduğu Avrupa pazarına satmaktadır. (Takar. 17 milyon adet/yılına üretici sayısı: 8) AM olarak da, bu pazarın haricinde Rusya ve diğer çevre ülkelere ürün yapılmaktadır. Otomobil sektörünün gelişimi göz önüne alınarak, hafiflemesi gereken kamyon ve otobüs sanayinin jantlarının da dövme/ekstrüzyon olarak üretebilecek kapasiteye ulaşılması yapılması gereken yatırımlar için bir yön olabilecektir (Dövme Al-jant üretecek bir tesis Manisa'da 2024'de devreye girecektir)

Kamyon ve TIR'lar için çelikten daha hafif alüminyum dövme jant (Teker sayısına göre, TIR başına 160-220 kg ağırlık tasarrufu sağlamakta, bu da kamyon faydalı taşıma kapasitesini artırarak, takr. 3 yılda çelik janta göre 4000 - 1500 € = 2500 € daha pahalı olan alüminyum jant masrafını geri ödemekte, araç direksiyon rahatlığını da iyileştirmektedir)



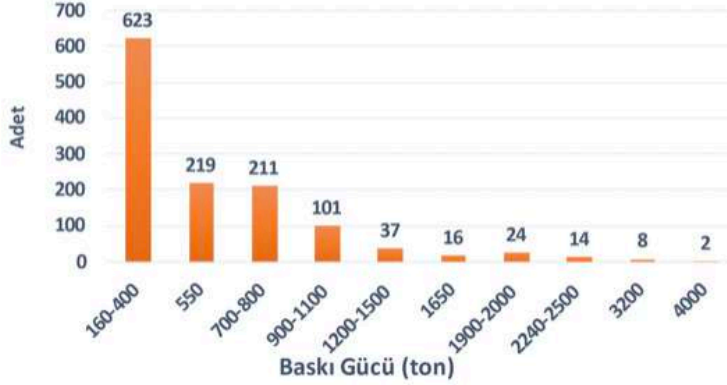
Şekil 9. Türkiye alüminyum döküm jant üretimi

Türkiye'de toplam YB pres sayısı 1254 adet, jant üretimi hariç döküm parça üreten AB pres sayısı 32 adet olup, yeni yapılacak yatırımlarda bu rakamlara takr. 105 adet daha eklenecektir. (Şekil 10) Pres basma yükü aralıkları 100 ile 4000 ton arasında değişmekte olup, 1000 ton altı pres çoğunluktadır (%91.5).

Yurt dışı müşteri denetimlerinde sorgulanan pres yaşlarının kaç olduğu da değerlendirilmeye alınmalıdır.

Tesislerde, 3200-4000 tonluk preslerin bulunması, kamyon ve ağır vasıtaların elektrifikasyon dönüşümünde kullanılacak alüminyum döküm parçaların dökümünü sağlayacaktır.

Türkiye’de toplam YB pres sayısı 1254 adet, jant üretimi hariç döküm parça üreten AB pres sayısı 32 adettir (2022). YB pres sayısına, yeni verilmiş siparişlerle 100 adet daha eklenecektir. Tüm makina envanterinde, 1000 ton üstü makina sadece %8.5 olup, bu pazarın gelişim talebi açısından risklidir. Alçak basınç (AB) pres sayısı: Döküm parça üreten 32 adet, jant üreten takr: 300 adet civarındadır.



Şekil 10. Türkiye’deki mevcut YB alüminyum preslerinin basma yükü açısından dağılımı.

Bu toplam 1255 makinanın içinde sadece %8.5’u 1000 ton baskı kapasitesinin üzerinde olup, pazarın gelişimi açısından bir risktir. İlgi çekici olan bu makineler ve alüminyum/zamak üreticisi döküm tesislerinin %94’ünün Marmara Bölgesinde bulunmasıdır. Ayrıca, sadece küçük (0.2- 8 kg/adet) parçalar döküldüğünü, bunun birçoğunun kendi şirketlerinin nihai ürün üretimi için olduğunu ve otomobil ve kamyonların hafifleme ve elektrifikasyon dönüşümünde, 12-30 kg/adet ağırlıkta parçalar için çok az sayıda 2000 ton üstü tezgah olduğunu görülmektedir. İtalya ve Almanya’da malzeme, enerji, finansman ve personel temini yükleri ile kapanan birçok küçük parça döküm tesisinin işleri, Türkiye, Slovakya ve Bulgaristan’a yönelmiştir.

Bunun yanında, Türkiye’de özellikle alüminyum döküm sektöründe yeni tesisler kurulması, mevcut tesislere 2000 ton üstü yeni makineler eklenmesi gibi önemli büyüme hamleleri de görülmektedir. Bu tesislerin çoğu aile işletmesi ve kontrolünde olan tesisler olup, toplam tondan jant üretimi düşüldükten sonra 350-400 bin ton/yıl alüminyum parça üretimi ile iç ve dış pazara satış yapmaktadırlar. Önümüzdeki 5 yılda, kapasitelerin ve satışların artacağı, pazarın gittiği yön olan yüksek baskı güçlü makinalara yatırım beklenilmektedir.

Türk döküm sektörü son 3 yıldır artan yurtdışı döküm talebi ve bitmiş komponent/yedek parça siparişlerini karşılamak, eski verimsiz, yüksek enerji kullanan tesis ve makineler yerine istenilen yeni kalite sınırlarına uyabilmek için önemli miktarda makina yatırımı yapmaktadır. Alüminyum döküm için 4000 tonluk YB tezgahı dahil, toplam 105 adet yeni YB presi, 8 adet AP presi, pik ve sfero için 14 adeti dikey kalıplama olmak üzere toplam 34 yeni kalıplama hattı, bunlara sıvı metal sağlayacak endüksiyon ocakları, maça ve temizleme makineleri sipariş edilmiştir. Bu yatırımların, 2’li vardiye olarak çalıştırılmaları halinde, Türk döküm sektörü kapasitesine yıllık 650 bin ton dökme demir ve 50 bin ton alüminyum/zamak veya yılda toplam 700 bin ton katkıda bulunacaktır. Bu miktarın takr. 350 bin tonu yedek parça ve kendi ürünleri için olup, 350 bin tonu ise pazara ve ihracata yönelik olacaktır. Bu yatırımlardan bazıları 2021 ve 22 de devreye girmiş, diğerleri ise 2022 sonu ve 23 içinde devreye girmesi planlanmaktadır.

Türk döküm sektörü, bu kapasite arttırıcı yatırımlarda daha temkinli davranarak, a) Süreçlerde digital dönüşüm b) kalite, güvenilirlik ve tekrarlanabilmeyi arttırma c) İşletme verimini AB ortalamalarının üzerine çıkartıcı, d) Enerji kullanımını azaltıcı yatırımlara yönelmelidir.

ARA SONUÇ-1:

Türk “Dökme demir” ve “alüminyum döküm” sektörünün, AB’deki döküm tesislerinin düştüğü problemlere yakalanmaması için, dikkat edilmesi gereken ana husus, bitmiş, montajlı ürün yapılması ve bu ürünlerin dizayn safhasında da bulunulmasıdır. Yeni araç, yan sanayi parçalarında konseptten parçaya ve seri üretime dizayn sorumluluğu atılımı yapan ve farklılaşmayı hedefleyen döküm üreticisi yeni pazarlarda daha sağlam bir yer edinecektir. Bunun için iddialı kuruluşlarda, yolluk vs dizaynı yapanların çok ötesinde TÜV onaylı bir mühendislik dizayn ve test ekibi olmalıdır. (Full Source Engineering Supplier)

IV)GELECEĞİN GEÇERLİ SEKTÖRLERİ:

Geleceğin sürükleyici ve yaratıcılık gerektiren konularının birçoğu döküm sektörü ile dolaylı, dolaysız olarak bağlantılıdır:

- a) Temiz enerji
- b) Dünyanın ısınmasının önüne geçilmesi, en azından sınırlandırılması,
- c) Malzeme alternatifleri,
- d) Yiyecek alternatifleri,
- e) Su ve suyun geri kazanımı
- f) Temiz ve kirletilmeyen dünya

Bunlara ek ve paralel olarak yapıda beklenen oluşum ve değişimler: (Prof.Daron Acemoğlu’nun, “Geleceğin Meseleleri“)

- a) Demografik değişim,
- b) Göçler ve göçmenler,
- c) İklim değişikliği, bunun yarattığı sorunlar ve siyasi, ekonomik kavramlar,
- d) Değişen küreselleşme anlayışı,
- e) Yeni büyüme stratejileri.

Döküm sektörü bu konularla içinden veya dolaylı olarak etkilenmekte veya onları etkilemekte olup, çözümün bir parçası olarak öne çıkmaktadır. Sektörün ana sanayii veya yedek parça sanayine çok miktarda ürün vermesi, otomotiv sektörünü ana müşteri olarak ortaya çıkarmaktadır. Bu sektör ürünleri ile çevreyi kirlettiği için çevresel değişimde ön plana çıkmakta ve bunun için gönüllü olsa da olmasa da, temelde radikal bir yapı değişimi içindedir. Dünya döküm üretimi yıllar itibari ile gelişmesine, büyümesine ve üretim/tüketim/büyüme bölgelerinin daha düşük maliyetli ülkelere kaymasına rağmen, temel itici güç epey bir süre daha batı dünyasında kalacaktır. Döküme talebin azalacağı ana pazar, araçlardaki elektrifikasyon ve yaşam alanları sanayilerindeki temel hedef, “yeşile dönüşüm” olacaktır.

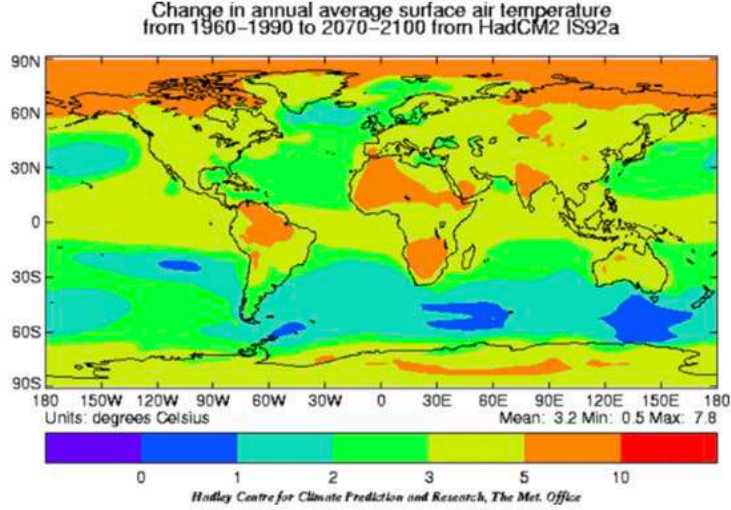
Pazardaki yeni oyunun adı; Araçların hafifletilmesi, tahrik sisteminin değişimi, alternatif malzemeler kullanılması olup, hepsi döküm sektörünün bu değişimde uymak zorunda olduğu konulardır.

V) NİÇİN HAFİFLEME VE ELEKTRİFİKASYON

1990’daki dünyayı sarsan “The Machine that Changed the World” kitabında üretim sektörüne Toyota üretim tekniği ile yön gösteren sektördeki herkesin elinde olan kitap, zaman içinde otomobilin kullanımında olan ve olacak değişikliklerle, yaşamdaki öneminin azalması, aracın yapısının da değişmesi ile farklı bir şekile dönüşüyor. “The Car, The Rise and Fall of the Machine that Made the Modern World” 1990’larda bir vazgeçilmez amaç gibi görülen otomobil, bugün bir aksesuar ve hatta çevreyi kirlettiği için suçlanan bir olgu olmakta.

1)İtici Güçler:

Atmosferde artan CO2 oranı, dünya yüzeyinde sıcaklık seviyelerini arttırmakta, enerji üretimi, suya ulaşım, tarım gibi birçok yaşam sistemi farklılaşmaktadır. (Şekil: 11) Atmosferdeki CO2 miktarının artması, dünya sıcaklıklarını arttırmaktadır. Isınan hava ile tarım zorlaşmakta, ürün tipleri değişmektedir. Binalar içinde, UV ışınları ile dikey tarım sistemine geçiş artacaktır.

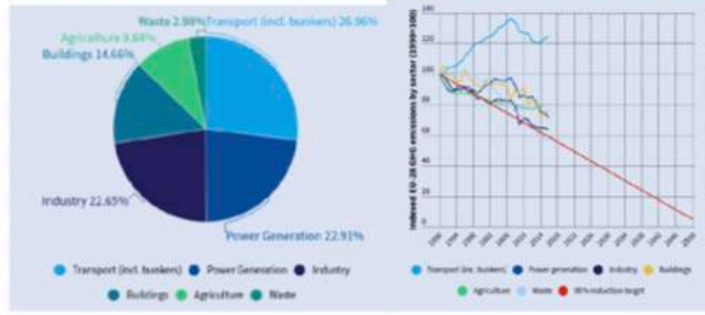


Şekil 11. Atmosfere kontrolsüz atılan emisyonlar nedeni ile ısınan hava

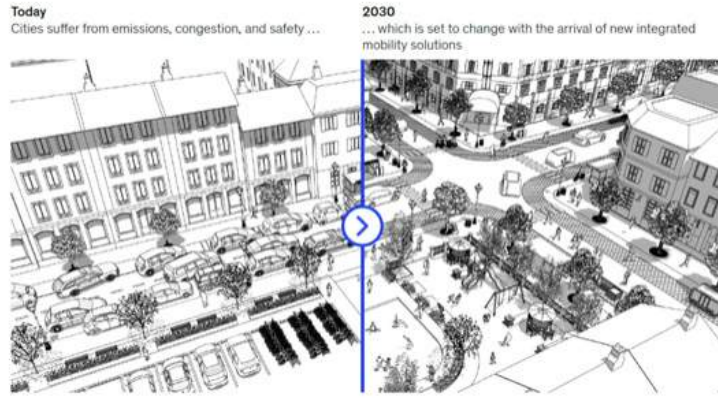
a) Atmosferin ısınması, buzların erimesine ve deniz suyu seviyesinin, her yıl 3 mm yükselmesine neden olmaktadır. Atmosferin ısınması, kuraklık, artan orman yangınları, dünyadaki toplam suyun sadece %3'ünün içilebilir olmasının çözümü olan geleceğin içme suyu kaynağı kutup buzlarının eriyip, tuzlu suya karışması, okyanuslardaki akıntı sisteminin yön değiştirmesi, deniz seviyesinin yükselmesi ve kıyı şehirlerin su altında kalması gibi birçok insanın yaşamını tehlikeye sokacak gelişme, "Yarıdan Sonra", "2012", "Soylent Green" gibi birçok film ve yayın ile toplumun dikkati çekilmeye çalışılmıştır. Dünya ülkeleri 2040-2100 yılları aralığında, ısınmanın 1.5 C ile sınırlanması kararını baz olarak alarak, kendi tedbir planlarını açıkladılar. Türkiye'de buna 2055 yılı olarak katıldı. Bunların sonucunda, "olağan şüpheli" olarak görülen araçlarda emisyon sınırlaması yapılması, dizel motorlar yerine elektrik güç kaynaklı araçlar kullanılması, fabrikalar, evler, enerji üretiminde atmosfere atığın kontrolü gibi birçok kanun ve yönetmelik devreye alındı. (Şekil 12) Bunlar arasında, yeşil enerji kullanmayı, yüksek karbon ayak izi ile üretim yapan ülkelerdeki ürünlerin ithalatında sınırlarında ek vergiler olarak eğitmek veya cezalandırma yoluna gidilmektedir.

b) Bu husus ve alınan kararlar sonucu yapısı değişen otomobil, hafif ve ağır her türlü yolcu ve yük taşıma sektörü, inşaat sektörü, maden sektörüne ürün üreten döküm sanayini etkilemiş, hem miktar, hem de pik döküm gibi ağır malzemelerden, alüminyum, magnezyum, kompozitler gibi hafif malzemelere geçişi hızlandırmıştır

AB'de araçların atmosfere saldığı CO2 emisyonu, toplam emisyonun % 27'si. Araç emisyonu, 2000-2020 yılları arasında kontrolden çıkmış, alınan tedbirlerle bir miktar azalmasına rağmen emisyonun ana nedeni olarak birinciliği korumaktadır



şekil 12. Araç eksoz, sanayi baca, enerji üretimi, evler emisyonlarının etkisi



şekil 13. Elektrikli ve otonom araçların çoğalması ile trafiğin rahatlaması....

c) Bu dönüşümün, yollardaki tıkanıklıkları azaltacağı, şehirlerin daha yaşanılabilir olacağı hesaplanmaktadır. (şekil 13)

Dizel ve benzinli kara, deniz ve hava araçlarının, dünyaya salınan CO2 miktarının %40'ını üretmesi nedeni ile, ana değişim ve baskı bu sektör üzerine yoğunlaşmaktadır. Çeşitli emisyonlarla atmosferi en fazla kirleten ülkeler Çin, ABD, Hindistan, AB olup, Türkiye ilk başlarda bulunmamaktadır.

2) Araçlarda Eksoz Emisyonlarının Limitlenmesi

AB'de yeni otomobillerde eksoz emisyon limitleri 2030'dan itibaren benzinli/dizel yakıtlı içten yanmalı motorlarla ulaşılamayacak seviyelere düşürülmektedir. Eksoz emisyon değerlerinin 95 gr/km CO2 değerinin altına düşürülmesi halinde, araçların küçültölüp, hafifletilmesi veya tahrik sisteminin elektrikli tipe dönüştürölmesi gerekmektedir. (şekil: 14)

Bu limitlere ulaşabilmek için araçların hafiflemesi ve petrol yakıtlarının kullanılmaması gerekiyor.

Eksoz gazı emisyonları sadece CO2 miktarı ile sınırlı olmayıp, CO, NOx ve partiköl emisyonlarını da kapsamaktadır.

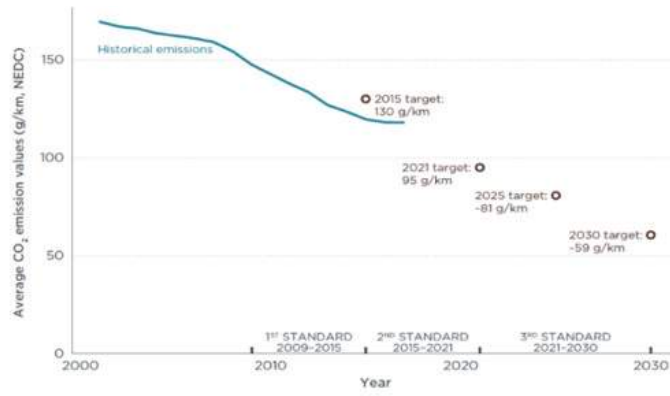


Figure 1. Average historical CO₂ emission values and adopted CO₂ standards for new passenger cars in the EU. All CO₂ values refer to New European Driving Cycle (NEDC) measurements.

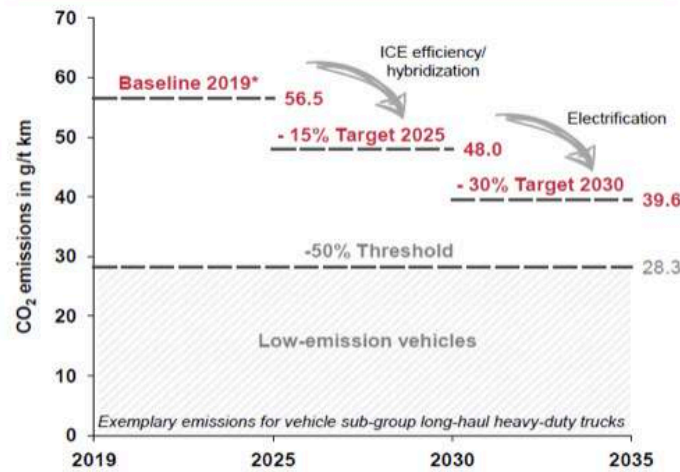
Şekil 14. AB ülkeleri otomobil ve hafif ticari araç eksoz gazı limitleri

AB’de kamyonların eksoz emisyon limitleri Şekil 15’de gösterilmektedir. Bu limitlerin tutturulabilmesi için elektrikli veya hidrojen enerjili motor kullanımı gerekmektedir. (Limitlerin aşılması halinde, 2025-2029 arasında araç üreticileri aşılan her gr CO₂/km için araç başına 4250 €, 2030’dan itibaren 6800 €/araç ceza ödeyecekler.)

Emisyon limitlerine uymak için araçlar hafifletilmeye çalışılmaktadır. Bu akımdan, araçların motor aksamı da etkilenmiştir. Gerek malzeme değişimleri, gerekse et payı incelmeleri ve gerekse yanma verimlerinin artırılması ile ort. 450 kg gelen 4 silindirli bir içten yanmalı motor, bugün 300 kg’a kadar hafifletilmiştir. Bu ağırlığın 100 kg’ı Al, 100 kg’ı demir bazlı döküm, 50 kg’ı sac, 50 kg’ı ise plastik veya kompozit malzemelerden oluşmaktadır.

Aluminyum ve kompozitlerin kullanımı artırılarak azaltılan ağırlık, bataryanın getirdiği ek ağırlık etkisini bir miktar karşılayıp, batarya menzili uzatılabilmektedir. (Aluminyum avantajları: Daha hafif, daha yüksek çarpma momentini emebilme, dizayn esnekliği, sac malzemede daha kolay şekil verilebilmesi, paslanma dayanımı, %90’a yakın geri dönüşüm)

European union emission regulation for heavy-duty trucks



Making zero-emission trucking a reality
Strategy&

Source: EU (2019), Strategy& analysis
* Numbers are based on preliminary baseline (see ACEA, 2020)

Şekil 15. AB’de kamyon, otobüs ve ağır vasıtaların yıllara göre eksoz emisyon limitleri

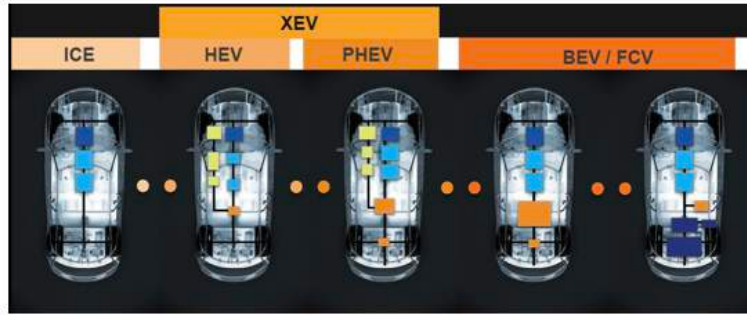
3) Araçlarda Elektrifikasyon ve Döküm Sektörüne Etkileri:

Elektrifikasyon, özellikle AB ülkelerinin kamuoyu baskısı ile sürekli gündemde tutulmakta, AB'den tüm üyeleri bağlayıcı karar ve yönetmelikler çıkarılmaktadır. Yönetmeliklerin geçerli olacağı AB bölgelerinde üretilecek veya bu bölgeye satılacak araçların 2035 yılından itibaren sadece elektrikli olacağı bağlayıcı olarak kararlaştırılmaktadır. Ana teması aynı kalmak şartı ile temelde ABD, Çin, Avustralya'da benzer kararlar alınmaktadır. Zaman içinde, benzer kararların diğer ülkeler tarafından da alınması için ticari ve siyasi ilişkiler olan ülkelere yapılacak baskılarla, bu ülkelerde de tarih aynı olmasa bile kararlar alınmak zorunda kalınacaktır.

Elektrifikasyon akımının başarılı olabilmesi ve toplum tarafından kabulü birçok faktöre bağlıdır:

- Tüm bölgeleri kapsayan ve her zaman kullanılabilir olacak şarj istasyonları
- Yeterli tercihilen yeşil elektrik üretimi
- 2035'e kadar sürecek sürede, pahalı batarya ve düşük satış miktarlarının üreticilere finansal baskısı,
- Servis, yedek parça ve eleman eğitimi sistemi,
- Tek şarjda katetilecek mesafenin dizel motorlar seviyesine ulaşması,
- Gerek araç alım, gerekse elektrik fiyatları için devlet desteği.

Otomobiller, dizelden çıkıp hibrit, sonrasında elektrikli ve H2 tahrikli hale dönüşmektedir. Hedef atmosferin temizlenmesi ve şehir içi trafiğin rahatlaması. (Şekil: 13'e bakın) Hafifleyen araçlarda, döküm miktarı azalıyor, fakat çok daha karmaşık şekillere dönüşüyor. BEV ve FCV hariç önümüzdeki 15 yılda üretilecek elektrikli HEV ve PHEV'lerde ebad ve gücü küçülse de, güç grubunda bir içten yanmalı motor bulunmakta. (Şekil: 16)



Şekil 16. Elektrikli kullanılan güç grupları

BEV, bataryalı bir aracın güç grubunda yapı çok basit ve hafif olup, yer tutmamaktadır. Tüm döküm parçalar alüminyum AB veya YB dökümdür. (Şekil: 17)



Şekil 17. Elektrikli aracın güç grubu

Otomobil için gelişecek pazar, çevre kuralları, eksoz emisyon limit ve cezaları, petrolün yakıt olarak tüketilmesinin anti ekonomikliği ve toplumun baskısı nedenleri ile elektrikli araçlara doğru yönelmektedir. Geçiş süresinin her geçen yıl geriye çekildiği görülmekte ve bu günler için 2030 yılında birçok araç üreticisi şirket sadece elektrikli araç üreteceği anlaşılmaktadır. Bunun yanında otomobile sahip olma olgusu azalacağından, araç üreticilerinin yüksek karlılıkları azalacaktır.

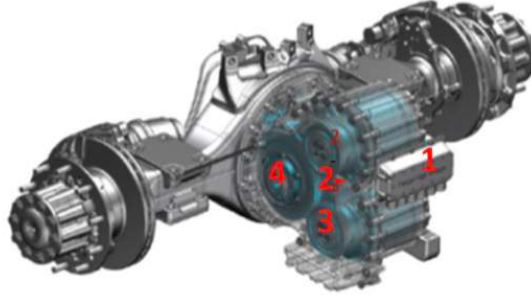
Şehir içi otobüslerde elektrikli araçlar Avrupa, K.Amerika ve Çin'de pazarın tamamını kapsayacaktır. Diğer ülkelerde, batarya şarjları günlük çalışmalarına yettiği için, kullanımları artacaktır. Kamyonlar için:

- a)Şehir içi dağıtım ve kısa mesafeler için elektrik bataryalı kamyonet ve minibüsler
- b)Şehirler arası ve uzun yol araçlarında biyo-dizel, H2-dizel veya fuel cell tahrikli araçlar kullanılacaktır.

Elektrikli araçlarda motor-şanzımanın yerini elektrik motoru ve basit bir vites kutusu almaktadır. Arka aksta ise, her teker elektrik motoru ile ayrı ayrı tahrik edilmektedir. Motor, şanzıman, transmisyounun yerini elektrik motorlu 4 adet köşe modülü ve aküler alacaktır. Araçların tahriki elektrikli ve hibrit sistemlerle hafifletmekte birlikte, şanzımanlarda küçülmekte ve döküm parçaları daha komplike hale gelmektedir.Önümüzdeki 2-3 yılda talep ve üretimde beklenen krizlere rağmen tüm tip araçlarda elektrifikasyon veya petrole bağlı olmayan güç sistemlerindeki gelişme ve çalışmalar durmayacaktır.

Tipik bir elektrikli arka kamyon aksında, aks ve teker kısmında büyük değişiklik olmayıp, motor ve şanzıman aksa akupledir. (Şekil: 18)

Kamyon ve otobüsün hafifletilmesi hedefi ile arka aks malzemesinin sfero döküm yerine alüminyum alçak basınç döküme dönüştürülmesi için denemeler de yapılmaktadır.

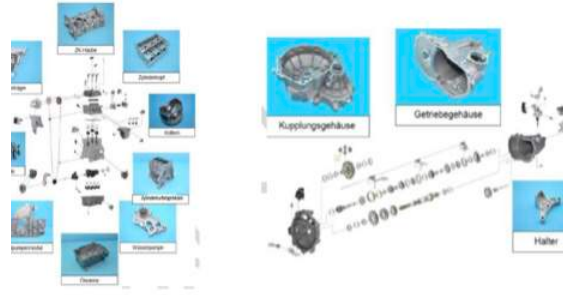


Şekil 18. Elektrikli arka kamyon aksı (tipik) (1= Kumanda, 2 ve 3= Elektrik güç motoru, 4= Şanzıman)

Araçlarda elektrifikasyonla birlikte ana değişim motor parçalarıdır.

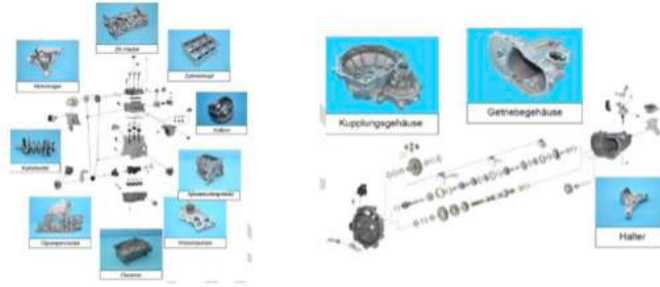
2019-40 arasında sadece AB ülkelerinde yapılan araçlarda 2021 verilerine göre artık kullanılmayacak motor vs gibi parçalarda üreticilerinin kaybı 50 milyar €, elektrikli araçlarla gelecek yeni parçalarda artış ise (belki de başka üreticilerin üreteceği) 68 milyar €'dur.

İçten yanmalı motorlarda 11 ana döküm parça, şanzımanda 3 ana döküm parça bulunmaktadır. (Şekil: 19)



Şekil 19. Tipik bir içten yanmalı motor (solda, 11 parça) ve şanzımandaki (sağdaki, 3 parça) döküm parça sayısı

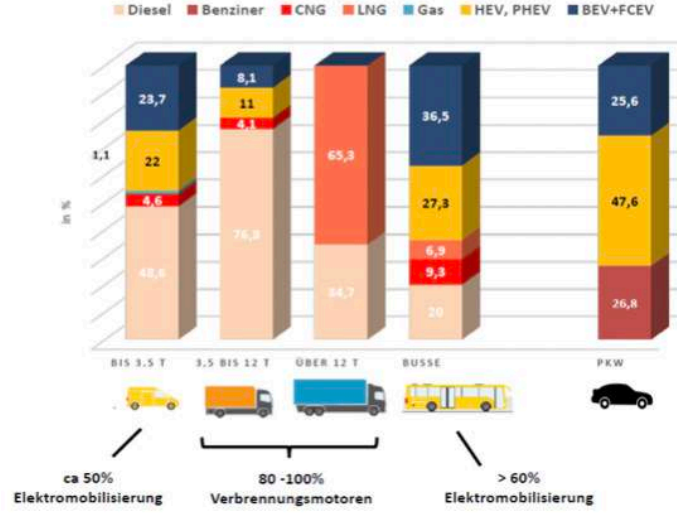
Elektrikli araçlarda ise bu sayı azalmakta, motorda 8 Al-döküm ana parça, şanzımanda ise 1 ana Alu-döküm parça bulunmaktadır(Şekil: 20)



Şekil 20. Tipik bir elektrikli motor (soldaki,8 parça), şanzıman (sağdaki, 1 parça)

Elektrikli araçlarda ana ve ilk dönüşüm otomobillerde olacak, bunu otobüsler, küçük kamyonlar, ağır kamyonlar izleyecektir. Ağır kamyonlarda hidrojen kullanımı, fuel cell veya yakıt olarak H₂ kullanan içten yanmalı motorlar denendikten sonra, maden araçlarında, gemilerde, jeneratörlerde de dönüşüm olacaktır. Karbon ayak izlerini her yıl hesaplayıp, müşterilerine bildirmek ve "sürdürülebilirlik" raporlarına koymak zorunda olan kamyon/TIR ile nakliye yaptıran parça üreticileri, karbon ayak izlerini azaltmak için, nakliye kamyonları ve filolarının elektrikli veya H₂ yakıtlı olmaları için baskı yapacaklardır.

Elektrik tahrikli araçlar planlanan ve beklenilenden daha hızlı olarak pazarda yerlerini almaktadırlar. Çeşitli tip araçlarda 2040 yılına kadar beklenen elektrifikasyon dönüşüm yüzdeleri, otomobilde= % 75, otobüste: %60, büyük kamyonlarda: %20, küçük kamyonlarda: %50 (2040 tahmini) (Şekil: 21)



Şekil 21. Karayollarındaki çeşitli tip aracın 2040 yılındaki tahmini elektrifikasyon beklentileri

VI) KAMYON VE OTOBÜSLERDE DİZEL/BENZİN YAKITLI İÇTEN YANMALI MOTOR YERİNE GEÇECEK ALTERNATİFLER

1) İçten yanmalı motor olmadan elektrikli motor + şanzıman grubu

a) Dışarıdan şarj edilen araç üstü bataryalarla, elektrikli güç grubunu hareket ettirilmesi (BEV- Battery Electrical Vehicle) (Uzun vadede elektrik şarj sorunları, tek şarjla yapılacak mesafe gibi hususların çözümü ile ön alacak alternatif. Otomobillerde daha yaygın kullanılacak olup, döküm sektörünün üretim kaybına neden olacaktır)

Problemleri ise:

- Sık sık şarj mecburiyeti,
- Tek şarjla sınırlı yol alabilmesi
- 3-4 ton ağırlığında bataryalar aracın karayolları ağırlık limitini zorlaması,
- Yüksek batarya maliyeti,
- Satış sonrası bakım ve servisin eğitilmesi

İlk kullanım alanları: Otomobiller, dağıtım araçlarında ilk bataryalı elektrikli araç kullanımı şehir içinde olacak. (Günlük çalışma alanı 300 km) Kamyonlarda dönüşüm problemler çözüldükten sonra beklenilmekte.

Çin'de hava kirliliği nedeni ile büyük şehirlerde tüm otobüsler elektrikli tipe dönüştürülmektedir Londra'nın meşhur çift katlı otobüsleri peyderpey elektrikli olmaktadır. Elektrikli otobüsün dizele göre yakıt maliyeti 3'de 1.

Türkiye'de Temsa ve Otocar ilk şehir içi dışarıdan şarj edilen bataryalı elektrikli otobüsleri üretmiştir. Bataryaların ağırlığı ve araç şasisinde yer kaplaması problem olabilmektedir.

b) H₂- Fuel Cell (yakıt hücresi) ile araç üstündeki düşük ağırlıktaki bataryaların sürekli şarj edilip, elektrikli güç grubunu hareket ettirilmesi (FEV) (Döküm kullanımında azalma var)

Problemleri:

- Yeşil hidrojen kullanım zorunluluğu
- H₂ şarj istasyonu sayısı ve dağılımı, (H₂ istasyonları açık alanlarda kurulmak zorunda)
- Kazalara karşı hidrojen tanklarının (500-900 bar) korunması
- Yakıtın tüm kimyasal enerjisi elektrik enerjisine dönüştürüldüğünden verimli bir sistem.

Araçlarda ve özellikle otobüslerde, içten yanmalı motorlar yerine kullanılan yakıt hücresinin şematik görünüşü. (Şekil 22) Ana yakıt sudan veya fosil yakıtlardan elde edilen H₂ olup, yan-

ma ve araç hareket ettirecek enerji ürettikten sonra atık olarak havaya su buharı olarak atılan ekolojik ve ekonomik bir sistem olarak kullanımı artacaktır. ($2H_2 + O_2 = 2 H_2O$). Bu tahrik sisteminde döküm ürünler önemli miktarda azalmakta olup, yanma hücresi, transmisyon, fren sistemleri, platform ve karasoride kullanılmaktadır.

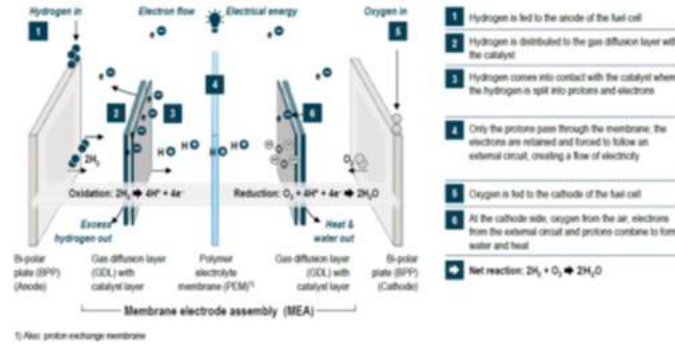


Figure 2: Schematic view of a polymer electrolyte membrane fuel cell (PEMFC)

Şekil 22. Yakıt hücresi şematik görünüm

Elektrikli araçlarda, bataryanın dışarıdan şarjı yerine veya benzin yerine direkt hidrojen kullanma özellikle kamyon, tren veya gemiler için önemli bir alternatif olarak görülmekte. Hidrojen a) yeşil elektrikle sudan b) doğal gazdan c) çöplerden elde edilip, dağıtım istasyonlarına gönderilmektedir.

İçten yanmalı motorun dizel veya benzin yerine araçtaki hidrojen deposuna 400-900 bar basınçla takr. 10 dk'da doldurulmuş sıvı hidrojenle çalışması büyük motorlar için ekonomik bir yol olarak görülmektedir. Bu sistemde, araçtaki döküm miktarı, aracın yapısı çok değişmeyecektir.

Uzun yol kamyonlarında, sadece batarya ağırlıkları 3-5 ton arasında değişeceğinden, bu ağırlık kamyonun net taşıma kapasitesini düşürmektedir, hidrojen yakıtlı sistemler (fuel cell veya içten yanmalı motor) daha cazip görülmektedir.

2) İçten yanmalı motorlu güç sistemleri (Döküm sektörü bu alternatiflerde daha az pazar kaybedecektir)

a) Dizel/benzin yerine sıkıştırılmış doğal gaz, bio-dizel (ara çözüm)

-Emisyon miktarı sınırlarını aşma riski,

- Şehir sınırları içine girememesi

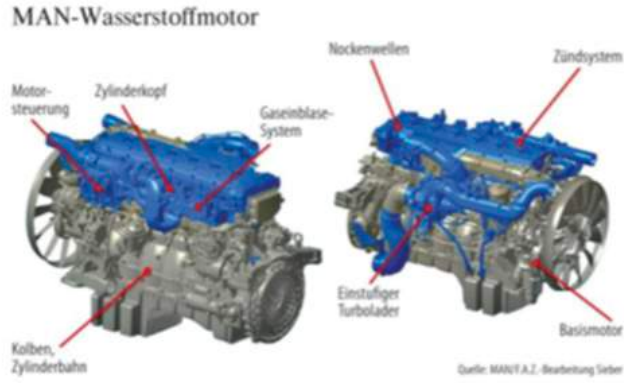
b) İçten yanmalı, yeşil motorda yakıt olarak H₂ kullanımı,

- H₂ doldurma istasyon sayısı ve aralıkları,

-Basınçlı tank kaza riski

-Emisyon sınırlarına uyum avantajı

3-5 ton ağırlığı olacağı öngörülen kamyon elektrifikasyonundaki bataryaların, araç taşıma kapasitesini azaltacağı gerekçesi ile, birçok kamyon üreticisi gibi MAN ve DEUTZ'da H₂ yakıt kullanan içten yanmalı motor üzerinde çalışmaktadır. (Şekil: 23) Bir depo hidrojen ile 1000 km yol yapılmaktadır.



Şekil 23. İçten yanmalı motorun sıvı hidrojen ile çalışan tipleri, MAN (üst) ve DEUTZ (Alt)

3)ARAÇLARDA YAPI DEĞİŞİMİNDE SONUÇ;

a) Araçın “teker üzerinde hareket eden bilgiyara dönüştürecek” tüm bu değişim, klasik araç yapısında önemli yer tutan gri, küresel grafitli dökme demir ve çelik sac malzemelerin azalarak yerlerinin, Al, Mg döküm, hadde Al, yüksek dayanımlı çelik saclar, kompozit ve karbon fiber malzemelerin almasına neden olmaktadır. Mevcut araçlarda, Al kullanımı %15, elektrikli otomobillerde bu oran %50’ye çıkmaktadır.

b)Dünyada tamamen bataryalı araçlara (BEV) geçene kadar (en az 2040) HEV ve PHEV tiplerde genelde gücü daha düşük olan bir içten yanmalı motor olacağından, bu motorların dökümü azalarakta olsa bir süre devam edecektir. Hindistan, Rusya, G.Amerika, Türkiye gibi ülkelerde bu dönüşüm 5-10 yıl daha gecikecektir. Hızlı şarj istasyon sayıları güvenli sürüş aralıklarında yeterli miktarda oldukça, BEV tipi sadece bataryalı araçların üretimi artacağından, otomobillerde ve otobüslerde motor dökümünün devreden çıkması hızlanacaktır. Dönüşümde karar, kamyon, çekici, sehirlerarası otobüs pazarlarında olacaktır.

BEV ve Fuel Cell hariç, diğer tüm seçeneklerde dizel ve emisyon yaratmayan yakıt sistemi devrede kalıyor olacak. Uzun vadede yeşil-H2’nin ana yakıt olarak gerek fuel cell, gerekse içten yanmalı motorlarda dizel yerine kullanılması mümkündür(. Bu durumda motor, kafa, manifold, karter, pompa vs gibi parçaların dökümü bir süre daha devam edeceği beklenilmelidir.

4)ARAÇLARDA YAŞANACAK DEĞİŞİMİN DÖKÜM SEKTÖRÜNE ETKİSİ:

- Büyük hacımlı ve çok silindirli içten yanmalı motorlar daha küçük ve verimli motorlarla değişecek, (Döküm sektörüne etkisi “EKSi”)
- Demir bazlı motorlar yerine Al, Mg veya kompozit motorlar üretilmesi (Toplam döküm miktarına etkisi “EKSi”)
- Araçlar hafiflediği ve daha etkin frenleme ve suspansiyon sistemi ile yan ekipmanlar da küçülecek (Döküm sektörüne etkisi “ EKSi “)
- Otomatik şanzıman ve diferansiyel ile hafifleme (Döküm sektörüne etkisi “EKSi”)
- İçten yanmalı motor yerine, elektrikli motor veya H2 kullanılması (Döküm sektörüne etkisi “EKSi”)
- Sac olarak üretilen parçaların, yüksek basınç Al veya Mg olarak üretilmesi (Döküm sektörüne etkisi “ARTI”)

Elektrikli araçlardaki döküm parçalara örnekler:

Bunlardan bazıları mevcut içten yanmalı motor kullanan araçlarda da olmasına rağmen, elek-

trikli araçların ağırlığı, platform yapısı nedeni ile hem şekil değiştirmekte, hem de hafifletmektedir)

- Elektrik motor gövdeleri ve bağlama ayakları
- Motor ve akü soğutma sistemi,
- Batarya sehpa ve çerçevesi,
- ‘Range extender’ ünite gövdesi
- Dişli kutusu
- Fren sistemleri ve teker köşe grubu
- Süspansiyon, akson
- Kumanda sistemi kutuları
- Şasi ve platform parçaları, genelde Al, yüksek basınç

VII)DÜNYA'DAKI DEĞİŞİMDE GELİŞMELERİN DÖKÜM SEKTÖRÜ PAZARINA ETKİLERİ:

Sektörün her alana ürün vermesi nedeni ile, dünyadaki gelişmelerden kısa sürede etkilenmekte, ve toparlanması ana sektörlerle göre daha geç ve yavaş olmaktadır. Sektör her türlü şartta ayakta kalabilmek için, gelişmelere yakından izleyip, dünya stratejilerine kulak vermelidir. Bu gelişmeleri önceden okuyamayıp, gereksiz mali risklere giren döküm tesisleri, sık sık gelen ve önümüzdeki dönemlerde daha sıklaşacak bu çalkantılara ayak uyduramayıp, küçülmekte veya pazardan silinmektedirler.

1)DÖKÜM ÜRETİCİLERİNİN KAR MARJLARINI ETKİLEYEN GELİŞMELER:

Döküm sektörünün, bu yeni üretim ve pazar yapısına uyması ve oyuna katılması yeterli olmayıp, çalışma şekil ve sistemlerini de, verimlilik, emisyon, eleman bulundurma ve mühendislik açılarından değiştirmesi gerekecektir.Belirli bir yönetim anlayışına ulaşamamış, uluslararası pazarın kurallarına uyamayan tesisler, Dünya’da sık sık yaşanmakta olan çalkantılara, pazarın değişimlerine uymakta zorlanmakta, mali durumları gittikçe negatif seviyelere gelmekte, değişimi öngören yeni nesil beyinleri cezbedemediklerinden zarar ederek pazardan çekilmekte veya satılmaktadırlar.

Sektörde değişimin yaşandığı konular:

- a)Salgınlar, savaşlar, enerji krizleri, malzemenin temin zorlukları, fiyatları sektörde çalışma ve pazarda kalabilme hususunu ön plana çıkarmıştır.
- b)Dökme demir ve dövme parçaların alternatif hafif parçalarla rekabetinde, dizayn, şekil ve fonksiyon açısından yeniden şekillendirilmesi ön plana çıkmıştır
- c)Al ve Mg gibi daha hafif malzemelere geçişte artış, fakat bu artış için Al ve Mg üretim tesislerinde yeterli boş kapasite olmasından, yeni yatırımlara gerek olmaması. Yüksek basınçtan, alçak basınçta yönelme.
- d)Dökme demir için dünyada yeterli kapasite olması nedeni ile AB ve ABD’de yeni yatırımlara gerek görülmemekte. Üretimin, düşük maliyetli yakın ülkelere (Meksika, Türkiye, Hindistan) kayma olasılığı
- e)Elektrikli araçların beklenen ve planlanandan daha hızlı devreye girmesi nedeni ile, içten yanmalı motor üretimi yapan döküm tesislerinin yeni işler aramaları veya motor dökümü için alternatif/daha ucuz/hafif üretim teknikleri geliştirmeleri gerekmekte. Savaş sonrası yaşanan enerji krizi ve artan petrol fiyatları nedeni ile elektrikli veya H2 yakıtlı araçların devreye girişi öne çekilmektedir.
- f)Artan araç, parça ve hammadde maliyetleri ve süreleri nedeni ile yakın kaynaklardan ürün temini öne çıkmaktadır.
- g)Fiyat indir ve rekabet baskısı, azalan adetler
- AB hafif ve ağır vasıta üretimi ve planlarının aksaması, döküm siparişlerinin azalması
- h)Küçük/orta döküm tesislerinin hammadde, enerjinin finansmanı, eleman kayıpları, zorunlu fiyat artışlarını çok geç alabilmeleri, AB dışında daha düşük maliyetli üretim, çevre/emisyon/

yeni kuralların maliyetlere baskıları nedenleri ile kapanma, devretmeleri.

AB’de, özellikle İtalya ve Almanya’da alüminyum döküm tesislerinin aile düzeyinde olanlar kapanmakta, birleşmekte veya satılmaktadır. Büyük tesisler ise birkaçı hariç mali sıkıntı içinde çalışmaya devam etmektedir. Savaş, Covit ve artan enflasyon nedeni ile bu tesislerin mal verdikleri pazarlarda daralma olmasının yanında, kurulu döküm kapasitesinin talebin üzerinde olduğu görülmektedir. Buna rağmen, mevcut tesisler ve Çin, Hindistan’ın katkısı ile 2022’de 76 milyar \$ olan dünya alüminyum döküm pazarının, enerji bedelindeki artış dahil olarak, 2026’da 100 milyar \$’a ulaşacağı tahmin edilmektedir.

Bu son yıllarda İtalya, Almanya ve Fransa’daki döküm tesislerinin finansal tabloları bir işletmenin uzun süre dayanabilmesinden öte değerlerdedir. Bu tesisler, düşük fiyatlarla satış, verimliliği ve teknolojiyi arttırıcı yatırımlar yapmama, doğru ürünler seçmeme ve maalesef gelmekte olan dünya krizlerine önceden tedbir almamanın açısını yaşamaktadırlar. (Şekil 24,25)

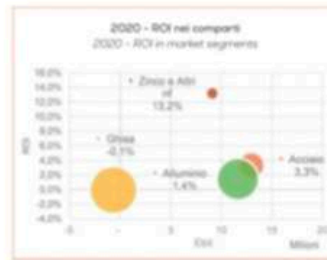
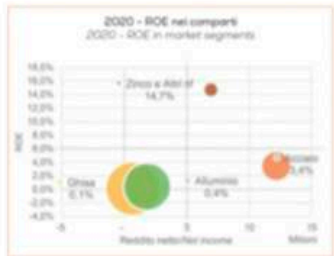
Artan enerji, malzeme, işçilik, rekabet ve atık kurallarına uyum nedenleri, döküm tesisleri son 2 yıldır kar etmemekte ve finansman sıkıntıları ile üretimden çekilmektedirler. Karlılık AB ülkeleri ve ABD’de bir işletmeyi ayakta tutabilme seviyelerinin çok altındadır. Alman döküm tesislerinde karlılık pik döküm tesislerinde %1, alüminyum döküm tesislerinde %3 civarındadır.

İtalya döküm tesisleri karlılığı (Yıllara göre önemli bir azalma var. Benzer durum Alman döküm tesisleri için de geçerli)



İtalyan döküm tesisleri ROI ve ROE değerleri. Dökme demir tesislerinde değerler çok düşük. Bu şekilde devam etmesi halinde birçok döküm tesisi finansal açıdan dar boğaza girecektir. 2018-19’da 2.5 milyonton olan İtalya döküm üretim 2020’de 1.550.000 ton’a düşmüş. 2022’de 1.8 m ton beklenilmekte. (Benzer durum Alman döküm sanayinde de yaşanmakta Bir zamanlar 5.5 m ton olanyıllık üretim, 3.5 m ton seviyelerine gerilemiş durumda.

İtalyan dökümcüler 2020 - 22 bilançolarını “Bilanci di Guerra” (Savaşın bilançosu) olarak adlandırıyorlar



Şekil 24 - 25. İtalyan tesislerinin finansal sonuçlarının malzeme tipine göre değişimi

2)ŞİRKETLERİN GÜÇ DURUMDA KALMALARININ ANA NEDENLERİ:

- a) Stratejilerinin bulunmaması veya peşinden koşulmaması
- b) Problem çözme yeteneklerinin olmaması veya körlenmiş olması.”

3)TÜRK DÖKÜM SEKTÖRÜNÜN DURUMU:

Türk döküm sektörünün ana hedefi bu sıkıntılara düşmeden ayakta kalabilme, büyüme, teknolojik atılımlar yapabilme, maliyetlerini düşürme, döküm değil ürünleri mühendisliğinden sisteme kadar yapabilme becerisini ve dönüşümünü yapabilmesi olmalı, bu hedefler şirketlerin kapılarına asılan veya internet sitelerine konan misyon ve vizyon satırlarından çıkıp, uygulamaya konmalıdır

Dökümcüler tüm bu negatif gelişmeler ve sıkıştırmalara rağmen ayakta kalmalıdır:

- a)Pazar taleplerini önceden görme
- b)Pazar taleplerine hızlı uyum,-
- c)Pazar yelpazesinin (ürün+ülke) geliştirilmesi
- d)Eve çeki düzen verme, herkesi bu değişime ortak etme ve eğitme,
- e)Enerji ve fireyi azaltıcı, verimlilik arttırıcı akıllı yatırımlar (NOT: Kapasite artışı değil...)
- f)Finansal güçlü durum oluşturulması,
- g)Gerektiğinde rakiple ortaklık veya rakibi satın alma,
- h)Kendi sınırlarını koruma yönünde değil, vizyoner, geliştirici, yenilikleri tesislerine adapte edici ve uzun vadede oyun değiştirici olma,
- i)Araç hafiflemesi, elektrifikasyon, yeşil üretim yönünde tüm ülkelerin uymak zorunda olduğu kurallardan kaçınmak, geciktirmek ürünlerin ülke içinden çok yurt dışına satıldığı bu ortamda artık imkansız. Kaldı ki, yerli üretim için mal yapılırsa bile, nihai ürünün alıcısı parça teslimatçılarının yeşil enerji kullanım ve emisyonlarını sorgulamaktadır.

Bu nedenle, bu değişime ayak uyduracak ve şirketinde öncülük edecek ekip ve stratejilere öncelik verip, insan/süreç yatırımı yapmak gerekiyor

Durumu iyi analiz eden ve önce davranıp, tedbir alan dökümcülerin (birleşme, alternatif pazarlara geçiş, yeni teknolojilerin uygulanması) ayakta kalma şansları artacaktır. Bir görelim diye bekleyen, kaybedecektir.

AB'deki ana sanayi firmaları (otomobil, kamyon, otobüs, traktor vs) mevcut AB yan sanayicilerinin mali ve üretim sıkıntıları nedeni ile yeni kaynak aradığı bu dönemde, Türk dökümcüsü bir alternatif olacaktır.

4)İHRACATCI TÜRK DÖKÜM SEKTÖRÜ İÇİN ÖNEMLİ BİR RİSK :

YENİ EKOLOJİ KURALLARI ve DÖKÜM

Döküm sektörünün ana ihracat pazarı olan AB ülkelerinde ekoloji konusu belirli bir konsensus paralelinde ana tema olarak gündemde yerini tutmakta ve bunun sağlanabilmesi için çeşitli kanunlar ve yönetmelikler çıkarılmaktadır. Bu kanunların ana amacı dünyanın ısınmasını max +1.5 C'da tutulabilmesi. Bu şekilde buzların erimesi, seller, bitki örtüsü ve tarım, deniz seviyesinin yükselmesinin önlenebileceği öngörülmüyor. Tedbirlerin sadece AB ülkelerinde uygulanması yeterli olmadığından, AB ile iş yapan diğer ülke şirketlerini de bu kurallara uymaya ek vergiler almak gibi tedbirlerle zorluyor ve ürün almak için denetimlerde 'karbon nötr' olma zorunluluğu getiriyor.Buna ek olarak uyum sağlanmassa temel 5 sektör ile başlayarak, sınırlarda ek vergi ödeme sistemini 2023'den itibaren uygulayacaklar. İlk listede yer almayan döküm ürünleri, listenin 2026'da diğer enerji yoğun sektörlere doğru genişletilmesi ile sisteme dahil olabilecektir. Bu gelişmelerin en önemli ayağı, dünyadaki kirlilik ve ısınmayı saldığı eksoz gazlarındaki CO2 ve NOx miktarlarının tahdit edilmesi hedeflenen dizel ve benzinli içten yanmalı motorlar ve kömür, doğal gaz ile üretilen elektrik olarak işaretlenmektedir.

AB'nin bu konuda uyguladığı ve kanunlaştırdığı kurallardan bazıları:

- a)EU Green Deal (Yeşil Mutabakat)
- b)Fit for 55 (Yeşil mutabakat ile beraber değerlendirilecek. 2030 yılı itibari ile sera gazı emi-

syonları %55 azaltılacak, 2055’de sıfırlanacak)

c)Sınırdaki karbon vergisi, (CBAM: 2023-2026 yılları arasında şimdilik çimento, demir-çelik, alüminyum, elektrik, gübre ürünlerinin AB’ye ithalatında, o ülke ve üründe AB yeşil sistem limitlerinin sağlanıp, sağlanmamış olmasına göre ek vergi uygulaması. Bu uygulamadan 2023-26 döneminde, AB’nin diğer ülkelerden yaptığı ithalatın düşük olması nedeni ile dökme demir, çelik döküm ve alüminyum dökümde uygulanmayacaktır)

Kullanılan hammadde veya kaynakların menşeleri i) Politik ii) kaynak “yeşil mi?” açısından kontrol edilecektir.

d)Araç emisyon limitleri

e)CCfD (Carbon Contracts for Difference)(Karbon emisyonu ton fiyatı narh bedeli)

f) Nötr İklim (Climate Neutrality)

g)Karbon ayak izi (iş yapılacak işletmelerden “karbon ayak izi” hesaplanması ve nasıl iyileştirileceği hakkında rapor isteniyor)

h)Sürdürülebilirlik raporu ve uygulaması,

i)Sustainable finance (şirketin finansal açıdan dayanıklı ve güvenilir olması)

NOTLAR:

a)Bu operasyon ve teknolojilerin kurulum ve üretim maliyetleri, mevcut yüksek çevre kirliliğine ve yeşil enerji kullanmayan mevcut tesislere + teknolojilere göre daha pahalı olsa bile, çevreye önem veren ülkelere, bu eski ve yeni kurallara uymayan teknolojik sistemlerle üretilen ürünler ithal edilemeyecek veya çok yüksek sınır vergileri, kontroller, sosyal baskılar uygulanacaktır. Hazırlıklı olunması gerekir...

b)Tüm bu emisyon ve atmosfer ısınmasını önleyici tedbirlerin, Almanya, Fransa gibi sürükleyici ülkelerin, İtalya, İspanya gibi ekonomisi yüzme mücadelesindeki ülkelerde, doğal gaz ve petrol temin sıkıntıları yaşayacakları bu ve önümüzdeki yıllarda ne kadarını uygulayabilecekleri merak konusudur. Nükleer enerjiye, kömür ile elektrik üretimine, dizel araçların şehirlere girmesinin yasaklanmasına kadar aldıkları tedbirler ve “biz büyük ve güçlü ülke ve ekonomiyiz” diye söylemlerini bu zorluklar karşısında bırakmak zorunda kalma baskısı yaşanabilecektir.

c)Bütün bu gelişmeler geleceğin en revaçta mesleğinin „İklim Teknolojileri” olacağını göstermektedir.

d)ABD Senatosu ve Başkanı, AB’nin “Green Deal”, “Fit for 55” yasalarına benzer bir yasayı “Climate Bill” adı altında onaylamıştır. ABD’de döküm tesislerinin enerji, çevre, emisyon problemleri EPA (Environmental Protection Agency) tarafından sıkı takip edilmektedir.

e) Tüm bu bilgiler “block chain” sistemi ile takip edilecektir.

f) Burada dar boğazlar, yeşil elektrik ve ısı enerjisinin her fabrika, kullanım alanının talebine yetmeyeceği, döküm üretiminde temiz teknolojiler için yeni sistemlerin piyasada olmaması zorluk teşkil etmektedir.

5)DÜNYA SINIFI DÖKÜM TESİSİ OLMA:

a)WFO’nun üye ülkelerin gönderdiği yıllık üretim rakamlarında derlediği sıralamaya göre, Türkiye’nin AB’de 2.ci, Dünya’da 9. büyük döküm üreticisi olunması iyi bir yer, fakat “Dünya Sınıfı” bir döküm tesisi olabilmek daha önemli bir merhaledir. (Şekil: 26)

World Class olma Kriterleri:

- AB'de uygulamaları örnek olduğumuz bir özelliğimiz var mı?
- Topluma (bölgeye yatırım, eğitim, spor, çevreye uyum) katkımız var mı?
- Yönetim sistemimiz dünya sınıfı mı? (Atelyede bulun, Walk the Talk, İşbirliği, üst yönetimin seminerlere katılımı)
- Çevre için bilgiler (Taşeronların eğitimi,, atıklardan tasarruf)
- Dekarbonizasyon hedefi,
- Kalite seviyesi ve kaliteye uymamakla kaynaklara zararımız,
- Tesis içi dağınıklık, iş kazaları, dağınıklığın kaliteye, enerjiye, kirliliğe etkisi,
- Atmosfere atık, tesis içi atıkların segregasyonu.
- Çalışanlar "Dünya Sınıfı" deyince ne anlıyorlar?
- Dünya Sınıfı olmanın satışlara etkisi nedir?
- Kullanılan hammaddelerin gaz-emisyon-atık seviyesi alımda göz önüne alınıyor mu)

Şekil 26. Rekabet ve tesislerin geleceği için "Dünya Sınıfı" döküm tesisi olmanın temelleri

Türk döküm sektörü, bu özelliklere ulaşmak, AB yeni ekoloji kural ve yönetmeliklerine uyabilmek, her alanda verimin arttırılarak oyunda kalmak için verimsizlik problemlerini aşmak zorundadırlar. (Şekil 27, 28)

Döküm Sektörünün Verimsizlik Problemleri: (1)

- 1) **Pahalı olan ve gittikçe pahalılaşacak enerjiyi fazla savurgan kullanıyoruz**
- 2) **Bunlardan sadece bazıları:**
 - a) Verimsiz çalışan eritme ocakları. (End. Ocakları pik döküm için sıvı metal enerji değeri=475 kws/t sıvı metal)
 - b) Kumlu yolluk eritilmesi, (temizlenip, kırılmalı. Ocak doluluk oranı en az %70 olmalı)
 - c) Her türlü atık enerjiden yararlanmama, (buğün için fizibil olmayanlar dahil)
 - d) Verimsiz kum mikser ve dağıtım sistemleri,
 - e) Düşük enerji kullanımı elektrik motorları kullanılmaması
 - f) Paslanmaz malzeme yerine pik döküm pompalar kullanımı
- 3) **Metalin metalurjik kalitesini kontrol altına almak yerine, gereksiz fazla yolluk/besleyici sistemleri kullanımı**
- 4) **Yüksek sakat (fire) oranları. (Parçaya ve kalıplama sistemine bağlı olarak pik dökümde %2-5 arası, alüminyum dökümde % 2-6 arası)**
- 5) **Kumun rejenere edilmeyip atılması. (Türkiye'de döküme uygun silis kumu yatakları tükenmektedir)**
- 6) **Tesislerin en az yarı mamul, maça ve geri döndü taşıdığı sistemler olmaması, rastgele yer buldukça ek bina yapıp, büyüme (Spagheti diyagramı...)**
- 7) **7) Kupol ocakları emisyonları ve kok kullanımı nedeni ile yerine elektrikli bırakılmaktadır. Bu dönüşümde enerji verimliliğine dikkat edilmelidir.**
(Alternatif olarak koksuz olarak, H2 ile çalışan kupol ocakları uzun yıllardır denenmekte)

Döküm Sektörünün Verimsizlik Problemleri: (2)

- 8) **Isıl işlem gerektirmeyen pik veya alüminyum analizler,**
- 9) **Alüminyum ergitme için H2 ve elektrik kullanımı**
- 10) **Alüminyum ergitmede hedef = 475 kws/t sıvı metal**
- 11) **Tüm elektriğin yeşil enerji olarak temini,**
- 12) **Halen ort. %65olan pik döküm yolluk veriminin, parça dizayn değişiklikleri, model plakası yeniden yerleşimi,%100 verimli besleyici gömlekleri kullanılarak %80-85'e getirilmesi,**
- 13) **Alüminyum dökümde, mümkün olan parçalarda, ort.%65 olan yolluk verimli YB yerine, %95 verimli AB sistemine dönüşüm.**
- 14) **Maça üretimi, montajı, en düşük seviyede maça stoğu tutulması, optimum ve en düşük maliyetli şarj hesaplanması, otomatik ocak şarjı,**
- 15) **Stok seviyelerinin (Maça, hammadde, ara mamul) asgaride tutulması veya alternatif finans kaynakları kullanılması**
- 16) **Parça taşıma otomasyonu**
- 17) **Tüm iş akışının, stokların, üretimin, önleyici/öngörücü bakım, döküm takımlarının önce digital dizaynı, sanal dünyada denenmesi, sayısal ikiz sisteminin süreçlerde kullanılması.**
- 18) **3D kum printerin numune, geliştirmede kullanılması**

Şekil 27- 28. Döküm tesislerinin tipik verimsizlik ve rekabet avantajını zora sokan, pazarda kalmaları için iyileştirilmeleri gereken problemleri

6)AZALAN VE AZALACAK OTOMOTİV PAZARI DÖKÜMLERİ YERİNE TÜRK DÖKÜM SEKTÖRÜ ALTERNATİF PAZARLARA YÖNELMELİDİR:

-Isı pompaları (Yeni yapıda her ev artık karbon salınımından sorumlu olacak, ceza verecektir. AB’de toplam 17 milyon ısı pompası faal durumda. Yıllık ihtiyaç 12 m adet. Burada yapılması gereken, ısı pompasının döküm gövdesini değil, çalışır motorlu pompa üretilmesi ve pazarlanmasıdır)

-H2 üretme ve stoklama pompa ve ekipmanları (Geleceğin kamyon, otobüs yakıt sistemi olacağından, tam pompa grubu üretimi düşünülmeli),

-İnşaat sanayii (Şehirleşme artacağından, talep yükselecektir.)

-Rüzgar enerjisi ve güneş enerjisi parçaları,

-Madencilik sektörü (Madenlere talep artacak, fakat cevherdeki yüzde net metal düşeceği ve daha derinlerde bulunacağı için maden makinalarına talep artacaktır)

-Şehir mobilyaları, (Şehirleşme artacağından özellikle yüzeyleri temiz ve farklı dizaynlara talep artacaktır.)

-Karayolu yerine destek verilen sayısı artacak trenlerde kullanılan sistem parçaları,

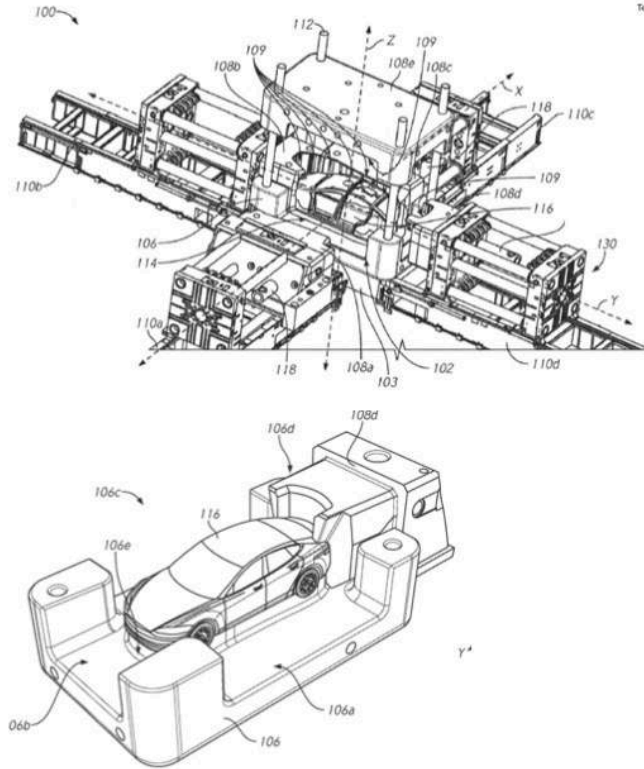
-Sürdürülebilir tarım önem kazanacağından traktör gibi tarım araçları, (traktörde 1 ton döküm - ağırlığın %70’i- olduğundan, traktörün komple yapımı davetkar bir potansiyel)

-Elektrikli araçlara parçalar, (Gerek güç sistemi, gerekse karasöri/platformdaki döküm parçalarını işlenmiş, montajlı olarak temini)

VIII)DÖKÜM SEKTÖRÜNDE YENİ EZBER BOZAN TEKNOLOJİLER....

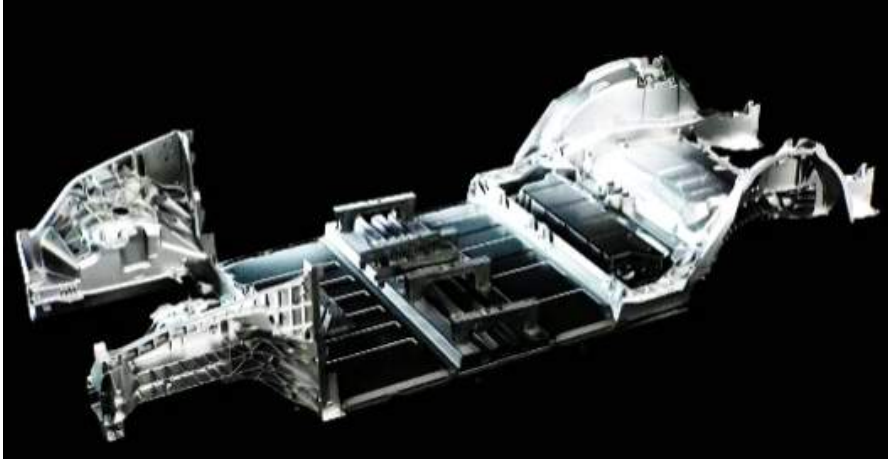
1)OTOMOBİLİ TEK PARÇA DÖKÜM İLE OLUŞTURMAK:

Araçların karesörlerinin alüminyum yüksek basınç ile parça parça yapılıp, perçin, kaynak veya yapıştırıcı ile birbirine monte edilmesi yerine, önemli tasarruf sağlayacak radikal bir çözüm olarak, tüm karasörünün dev bir yüksek basınç döküm makinasında yekpare olarak dökülmesi çığırın, fakat olası fikirlerden biri (Elon Musk,Matthew Kallas, TESLA) (Şekil: 29)



Şekil 29. Otomobil şasisinin tek parça dökümden oluşturulma patentini (USA 20190217380, TESLA: 15874348)

Temel fikir, oyuncak arabaların yekpare dökülmesinden çıkıyor. Otomobil platform üretiminde devrimci bir yaklaşım olarak ele alınması gereken bu üretim süreci, aracın ön ve arka kısmındaki parçaları yekpare hale getirmektedir. Uçakların kanatlarının boşluğuna yakıt tanklarının yerleştirilmesi gibi, Tesla elektrikli araçlarda, taşıyıcı platform tabanının batarya tavaşı yerine kullanılması aracı hafifletici başka bir fikir.



Şekil 30. Giga/Mega döküm ile oluşturulmuş otomobil platformu

Hedef, 10000 tonluk YB Presi gerektirecek, aradaki batarya taşıyıcı platformu da, tek parça Giga döküm olarak dökerek, bunun tavaşız batarya taşıma grubu, kapıları ve araç tavanının bağlı olduğu A ve C braketleri için destek grubu olmasını sağlamaktır. Bu şekilde, araç platform üretimi 3 parça dökümlerle tamamlanacak, diğer araç parçaları bu 3 kendi içinde yekpare döküm parçalar üzerine monte edilerek, montaj işçiliği minimuma indirilecektir. (Şekil: 30) IDRA 6200 tonluk tezgahta arka ve ön Giga dökümler. Arka 74 ayrı parça, ön grup, 40 parça yerine kullanılıyor,

6000 ton ve üstü makineler IDRA, Bühler ve LK firmaları tarafından üretiliyorlar. (IDRA 6200 ton makina 430 ton ağırlık, 20 x 7.5 x 6 mt, baskı 40 parça/saat, max. 80 kg/baskı, temeli 600 ton, kalıp ise 50 ton)

Tesla üretimi tek makina ile 1000 parça/gün.

Yekpare GIGA alüminyum döküm Tesla'dan sonra Volvo otomobil tarafından uygulanmak üzere Torslanda/Göteborg fabrikasına, Bühler firmasından 140 sn/çevrim kapasiteli 2 adet 8400 ve 9200 t YB presi sipariş edilmiştir. Hedefleri 55000 t/yıl Mega döküm parça dökümdür. VW firması konuda çalışmaya başlamıştır. Çin otomobil üreticisi NiO ve HipHi firmaları LK 7200'lük makina ile tek parça ön ve arka blokları dökmektedir. (IDRA= GigaPres, Bühler= MegaPres adını kullanmaktadır)

Giga alüminyum dökümlerde, istenilen mekanik özellikleri sağlamak ve olası atıklıkları önlemek için yapılan ısıl işlem, bu parçalarda özel bir analiz kullanılarak önlenilmektedir. (Şekil: 31)

***xGiga dökümlerde kullanılan ısıt işlemsiz alüminyum alaşımı
"Aluminum Association alloy AA 386 »***

Element	Name	Percentage
Al	Aluminium	89.482%
Si	Silicon	8.525%
Cu	Copper	0.790%
Mn	Manganese	0.455%
Fe	Iron	0.277%
Mg	Magnesium	0.075%
Zn	Zinc	0.020%
V	Vanadium	0.015%
Ti	Titanium	0.013%
Ni	Nickel	0.009%
Zr	Zirconium	0.005%
Pb	Lead	0.004%
Sb	Antimony	0.000%

Şekil 31. Yekpare Giga döküm parçasının analizi

Tesla tesislerindeki IDRA 6200 tonluk makina ile Giga parça döküm ekipmanı ve süreçler:

- Eritme ocağı (850 °C, doğal gaz ile çalışıyor)
- Tutma/bekletme ocağı (~750-850 °C)
- Giga YB Presi ("DCM") (6200 t IDRA, 430 ton, max 80 kg/baskı, 40 parça/saat, 20 x 7.5 x 6 m))
- Giga kalıp (50 ton)
- Yağda su verme tesisi/tankı
- Mekanik trim ve ütüleme presi + lazer trim cihazı
- X-Ray cihazı, tomografili (%100 çekinti kontrolü)
- Delik delme ve dış çekme (İşleme)
- Laser tarama (scanning) (3 boyutlu ölçüm), CMM)
- Gövdeye bağlama saplama ve civatalarının ana parçaya montajı
- Trimler, yollukların makas ile kesilerek parçalanması ve yolluk vs biriktirilmeden, hemen ocaklara şarj edilmesi (kapalı devre)
- Vakum sistemi
- Sistem, çok parçalı üretime göre %40 enerji verimli

Bu sistem tek parça büyük ebadlı döküm kullanmanın avantajları Şekil 32 'de ve yaşanabilecek problemler aşağıda verilmektedir.

Giga/Mega dökümlerin avantajları

- 1) 70-100 adet döküm, dövme, saç parça tek bir parçada toplanıp, dökülmesi,
- 2) Bozuk yollarda aracın deformasyonunu önüyor.
- 3) %70 sekonder, %30 primer alüminyum kullanılıyor
- 4) Analizin özelliği nedeniyle, ısıt işlem ve dolayısı ile deformasyon yok
- 5) Stok maliyeti ve sevkiyat takibi yok,
- 6) **Günlük üretim ve günlük kullanma**
- 7) **Çok sayıda yan sanayii ile muhatap olunmuyor**
- 8) Montaj kolaylığı
- 9) Ses yapmıyor
- 10) Alaşımın korozyon direnç özelliği nedeni ile boyaya gerek yok
- 11) Civata/kaynak montajına göre daha robust,
- 12) Maliyet %40 daha düşük,
- 13) Toplam ağırlık %30 daha azalıyor
- 14) Daha az parça olduğu için montaj alanından tasarruf
- 15) Halen arka, ön ve ileride ortada yekpare döküm kullanılması, aracın ağırlık merkezi yüksekliğini düşüreceğinden, sürüş güvenliği sağlaması yönünden yararlı ve bataryanın korunması açısından önemli.

Şekil 32. Yekpare Giga/Mega dökümün avantajları

Giga/Mega dökümlerde olası problemler

-Yüksek sakat oranı (%25-30)

-Kalıp ömrünün en fazla 150 000 baskı olmasından 4-5 Giga pres olan tesislerde 5-6 adet kalıp/yıl değişimi,

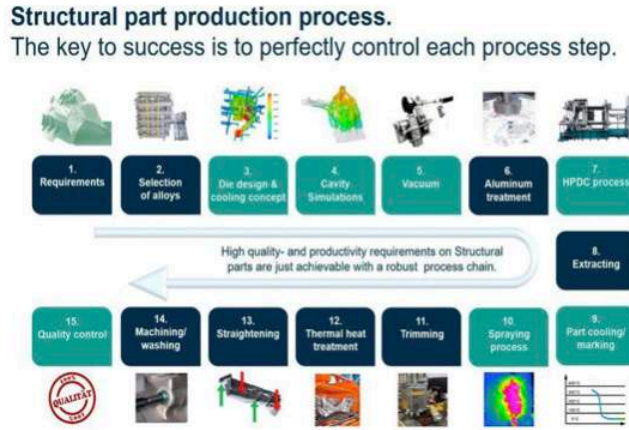
-Yatırım ve işletme bedeli çok yüksek. Sadece büyük araç üretici firmalar bu yatırımı yapabilecek.

-Parça nakliyesi zor olduğundan araç montaj tesisi içinde üretim yapılması gerekiyor

-Araçların arka ve orta alanları için Giga döküm kullanması, araç çarpması açısından riskli değil. Aslında, bu tip yekpare parçalar, aracın çarpma güvenliğini artırmakta. Riskli olan, aracın ön tarafında kullanılan yekpare döküm parça. Çarpmaların %70'inin önden olması ve hasar görme halinde, bu parçanın tamiri ve değişimi çok zor.

2)ARAÇLARDA YAPISAL DÖKÜM PARÇALAR KULLANILMASI

Hafifleyen araçlarda yüksek basınç olarak üretilen platform ve karasöri yapısal parçaların döküm süreçleri zor görülsede bile, otomasyon ve sayısal kontrol sistemlerinin uygulanması ile problemsiz üretilebilecektir. (Şekil: 33)



Şekil 33. Yapısal Al veya Mg döküm parçaların üretim süreci

Bu süreç aracın köşe taşıyıcıları, braketler, salıncaklar, kapı çerçeveleri, gösterge paneli gibi daha önce saç parçalardan yapılan bu tip parçalar yerine geçmektedir. (Şekil: 34)

Çeşitli araçlarda alüminyum ve magnezyum yapısal parçaların kullanımı

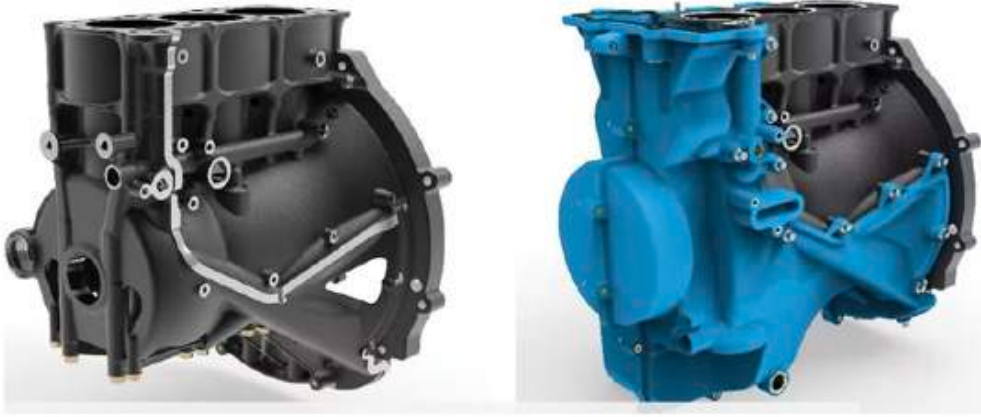


Şekil 34. Çeşitli araçlarda alüminyum ve magnezyum yapısal parçaların kullanımı

3) DÖKME DEMİR İÇTEN YANMALI MOTORUN HAFİFLEME ÇALIŞMALARI

Araç güç sistemlerinin elektrik veya hidrojene dönme gelişmeleri karşısında dökme demir motor gövdesi üreten döküm tesisleri dökme demir ürünleri hafifletme çalışmalarını arttırmışlardır. Et payı incelmeleri, alaşımlı malzeme kullanımı, silindirler arası soğutma aralığını 0.8 mm'ye indirme çalışmaları bunlara örnektir. 2022'de tamamlanan bir deneme çalışmada, motor komple yeniden dizayn edilerek, yüksek dayanımlı vermiküler grafitli dökme demirden (CGI) dökülmüş ve dış yüzeyi darbelere karşı güçlendirmek ve bloğa bağlanan çeşitli ekipmanın bağlama yerleri için üzeri özel bir kompozit plastik (PA66GF30) ile kaplanmıştır. (Şekil 35)

Malzeme CGI 550, kopma dayanımı 550 Mpa, CGI ağırlık 20.06 kg, alüminyum ağırlık = 20.47 kg. Et payı 2.7 mm. Geliştirilenler : SinterCast, Ricardo, Tupy.



Şekil 35. Alüminyum döküm motorla rekabet edebilmek için CGI olarak geliştirilen dökme demir motor. (Soldaki: Al, sağdaki: Dökme demir)

4) ECOCASTING, KUM KALIPSIZ MOTOR GÖVDESİ DÖKÜM SİSTEMİ

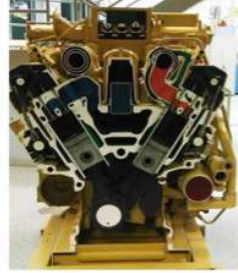
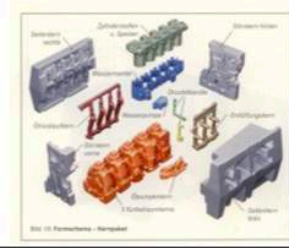
Araçlarda elektrifikasyon akımının hızlanması ve AB'nin dönüşümün en geç 2035'de yapılması kararı sonrası, otomobil ve ağır vasıtalar motor gövdesi dökümü yapan FritzWinter (Almanya) firması, mevcut döküm tesisinin yanına ek yaparak, burada klasik yaş kum kalıba maçaları koyarak motor gövde dökümü yapmayı, maliyetlerini düşürerek rekabet edebilmek, çevre, enerji ve CO2 emisyonları nedeniyle bırakmıştır.

Rejenerasyonla kum geri kazanılsa bile, belirli bir miktarı (Tavr. %20-25) toz olarak atılmakta, bu kumun yerine konulmasında çıkartma, sınıflandırma, kurutma ve nakliyesi için çevre kirlenmektedir. Kullanılan bentonit ve kömür tozunun kendi üretim süreçlerindeki çevre ve enerji kirliliği ve kuma karıştırılma ve kalıba kadar götürmedeki enerji de bu listeye eklenmelidir. Yeni üretim tekniğinde, maçalar paket olarak yapılarak, döküm bu maça paketi içine dökülmekte, %100'e yakın kum geri kazanılmaktadır.

Maça paketi tam ölçülerinde yapıldığı, motor dikey olarak döküldüğü ve sıvı metal ağırlığı ile esmediği/şişmediği için, parça toleransları +/- 0.5'in altında tutulabilmektedir.

Bu şekilde döküm yapılması, dökme demir motoru elde edilen hassas ölçüler, daha hafif olma, bu süreci hem alüminyum döküm motorlar, hem de klasik yaş kuma dökülen motorlara göre daha rekabetçi hale getirmektedir. (Şekil: 36)

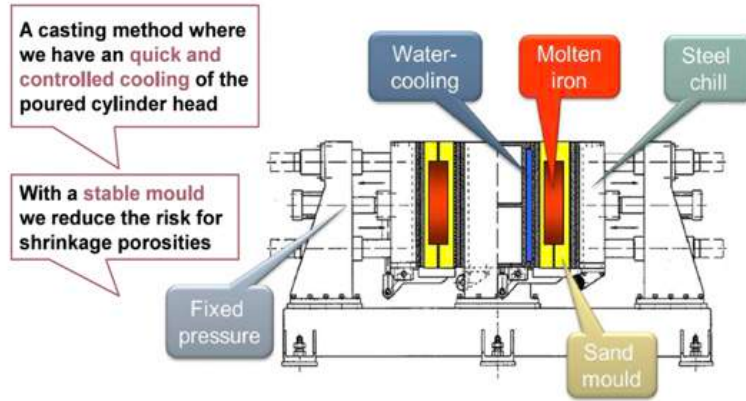
Komple maça paketi içine dikey motor dökümü. (EcoCasting sistemi) Metal alttan dolup, engeller ile karşılaşmadığından 2.5 mm et kalınlığında alüminyum motorlarla ağırlık açısından rekabet edebilecek bloklar sakatsız olarak dökülebiliyor.



EcoCasting sistemi ile dökülmüş motor gövdesi

Şekil 36. Eco Casting metodu ile komple maça paketi içine dökülerek hafifletilen dökme demir içten yanmalı motor.

5) Kalıp ve parça soğutmada kaybolan enerjinin bir miktarını geri kazanan FPC (Future Process for Casting) döküm metodu (Volvo-İsveç- Silindir kafası dökümü) (Şekil37)



Şekil 37. Kokil döküm gibi silindir kafası dökümü

6) DÖKÜM TESİSİ YERLEŞİMDE HER ALANDA VERİMLİLİK HEDEFLENMESİ:

Döküm sektörü, rekabetsizliğini arttırmak, mesafe olarak ulaşabildiği pazarlarda payını kaybetmemek için iş yapma şekil ve süreçlerini yakından takip edip, savurganlıklarını azaltmalıdır. Endüstri 4.0 metodolojileri yeni tesislerde kullanıldığı gibi, mevcut tesislere de uygulanabilmektedir. Türk döküm sektörünün bu konuya sistematik yaklaşarak, yeni pazarlarda yerini almalıdır. (Şekil: 378)

Endüstri 4.0 prensiplerini uygulayan yeni döküm fabrikaları (SigniCast, Heger-Ferrit, Nemak)



Şekil 38. Verimlilik ve ekoloji için dizayn edilen yeni döküm tesislerine örnekler

Bu tesislere, dökme demir motor ve kafa işinin yeşil akımı nedeni ile kalkacağı görüş ve planlarına rağmen, Scania 2020-22 yılları arasında ulaşılabilecek en yüksek verimliliklere göre sıfırdan yeni bir döküm tesisi ekleyerek 2022 başında devreye almıştır. (Şekil 39)



Şekil 39. Yeni Scania dökme demir motor döküm tesisi

Scania'nın kurduğu yeni yüksek verimli ve ekolojik döküm tesisi bilgileri:

- Toplam yatırım: 153 m €
- Toplam kapasite: 65000 t/yıl (90000 tona yükselebilecek)
- Kapalı alan: 35000 m²
- Ekipman: 4 x 14 t, 8000 kw end. Ocağı, SinterCast 4000 Plus ve tel tretman, 60 derece/s, 1500 x 1100 x 850 mm yatay hat, 490 dk soğuma, tüm atık kumun rejenerasyonu, maça paket montaj, otomatik taşıma ve temizleme.
- Toplam kullanılan enerji: 1400 kws/t
- Karbon ayak izi: 2035 EU standartlarına uygun.
- Sıfır atık ile döküm yapılabileceğini gösteren bir yatırım
- Elektrikli araç çağının devreye girdiği bir dönemde, alternatif yakıtlar ve H2 ile çalışan içten yanmalı motor üretimine rekabetçi bir ortamda devam etme örneği

İHMAL EDİLMİŞ OLAN, YERLİ DÖKÜM MAKİNALARI ÜRETİM SEKTÖRÜ İÇİN NOTLAR:

Son 10 yıldır, Türk döküm makina üreticilerinde önemli gelişmeler yaşanmasına rağmen, isim yapan ve sanayileşmiş ülkelere, endüksiyon ocakları haricinde, "marka olabilecek döküm makinaları" üreticimiz olmadı. Bu firmalar, kendi yetenek, bilgi yaratma kapasiteleri ile Türk firma-

larına veya yakın dış ülkelere makina yapıp satma becerisini de gösterdiler. Bu firmalar, kurucu beyinin atılımları ile yerli pazarda fiyat, teslim şartları, servis yakınlığı gibi avantajlarla belirli bir küçük ve orta döküm üreticisine ürün satmalarına rağmen, devamlılık için kurumsal şirket olmak için adım atmak zorundalar.

Döküm makinalarında, yurt dışı üretici seçiminin ana faktörlerinden biri, yurt dışı müşterilerin, ürün ve döküm alacakları Türkiye'deki teslimatçıların hangi üretim makinaları almalarını, hangilerine yatırım yapmalarını baştan belirtiyor olmaları veya ima etmeleridir. Bu nedenle, yerli döküm üreticileri, AB otomotiv sektöründeki müşterilerinin baskısı ile yerli makina üreticilerinden ürün almak istemiyorlar. Yerli pazara döküm üretenlerin, bu yönde bir talepleri olmadığı için yerli makina üreticileri yedek parça veya çok kısa serili parça üreticilerinin döküm aldıkları tesislere yöneliyorlar. Döküm ihracatının ve satışının büyüdüğü gibi, makina üreticilerinin de büyümesi sektörün geleceği için önemli bir güvencedir.

(SORUN: Kalite mi?, Korumacılık mı? Yabancı marka merakımız mı?)

IX) TÜRK DÖKÜM SEKTÖRÜNÜN ÇÖZÜLMESİ GEREKEN ANA PROBLEMLERİ

Unutulmaması gereken bir husus, üretimin "Alın Teri" sektöründen, "Akıl Teri" sektörüne doğru kaymasıdır

Döküm sektörü de sadece alın teri kullanarak üretim yapmak yerine, akıl terini kullanarak "ürün yaratmak" zorunda. Geç kalınması halinde, alternatif rakipler ve ürünler pazarda ön plana çıkmakta olduğu unutulmamalıdır.

Gözden kaçırılmaması gereken bir husus, Türk Döküm Sektörünün birçok problemi olduğudur. Bunlardan, stratejik olanlarını ortak çalışma ile çözmemiz gerektiğidir.

- a) Değişen parça şekillerine, malzeme tiplerine, üretim metodlarına uyum,
- b) Hızlı ve esnek üretim anlayışı ve ekipmanı
- c) Özellikle değişen ve değişecek araç üretim pazarında, yeni olanaklar araştırılması,
- d) Alternatif malzeme ve üretim taktiklerine karşı rekabetciliğin geliştirilmesi,
- e) Mühendislik kapsamımız sadece içe kapanık, dış dünyaya ve komple ürün pazarına yönelmeli,
- f) Yeni kapasiteler eklemeyen önce, mevcut kapasitenin tam olarak doldurulması.
- g) Yeni tesislerin enerjinin 'yeşil' olarak üretildiği yerlerde kurulması, (BMW `Windmelt` adı vererek, alüminyum eritimi sadece rüzgar enerjisi ile üretilmiş enerjiye geçiyor)
- h) Mevcut eski, verimsiz, çok enerji kullanan ve çevreyi kirleten ekipmanların yeni teknoloji makinalarla peyderpey değiştirilmesi. Yeni alternatif üretim sistemlerinin, kademe kademe kullanılması.
- i) Üretim verimliliği, enerji kullanımı, çevreyi kirletmeme, geri dönüşüm gibi her açıdan dünya "benchmark" değerlerinin ötesinde "bestmark" seviyelerini hedeflenmesi, (Özellikle pahalılaşan ve çok daha pahalılaşan enerji kullanımında sürekli iyileştirme çalışmaları)
- j) Atmosfer ve doğaya yapılan zararın kontrolü ve yüksek cezalar ödememek için uluslararası limitlerine düşürülmesine uyum (karbon ayak izi, yeşil enerji kullanımı, CBAM vergisinden kurtulmak için tesis içi değişim, sıfır atık hedefi için yol haritası, sürdürülebilirliğin "green washing" belgesi olmaktan çıkartıp, tüm ekibin inandığı bir hedef olmasını sağlamak)
- k) Süreçlerin malzeme teslimatçılarından, müşteri ürün konseptini de içerecek, ürünün son noktasına kadar "Akıllı Tesis" anlayışı ile takibi,
- l) Pazarın olduğu yere üretim tesislerini taşımanın öncelikle değerlendirmeye alınması.
- m) Döküm sektörü „imajı“ nedeni ile parlak ve geleceği olan kişiler (sadece mühendis, teknokratlar değil, kalifiye işçiler de dahil) digitalleşmenin az olduğu bu sektöre gelmek istemiyor. (Bu olguya AB ve ABD'de dahil)

Bütün bunlara rağmen, bilgili, işine bağlı, farklı düşünen bir kadro yaratması ve en önemlisi elde tutulması,

n) Durumu iyi analiz eden ve önce davranıp, tedbir alan dökümcülerin (birleşme, alternatif pazarlara geçiş, yeni teknolojilerin uygulanması) ayakta kalma şansları artacaktır. Bir görelim diye bekleyen, kaybedecektir.

Sektör veya firma olarak durumumuzdan memnun muyuz, geleceği ne kadar güvenli görüyoruz konusu için her şirket kendi durum tespitini yapması gerekir. (Şekil: 40 ve 41)

DURUM TESPİTİ ve SORULAR?

A) Pazarda Yerimiz:

- a) **Değişim gerekli mi, durumdan memnun muyuz?**
- b) **Şirketinizin pazarda imajı ve yeri ne olmalı?**
- c) **Bu hedefe nasıl varılacak?**
- d) **Sadece büyüme ve üretimde AB/Dünya'da üst sıralara çıkmak mı, yoksa kar eden, konseptten-hazır ürüne komponent değil, sistem üreten bir yapı dönüşmek mi?**

B) Gelecek Yönetimi:

- a) **Yenilikleri takip eden, üretim sistemleri kontrol altında, tek takım olan yapısal değişimi geçirmiş bir kuruluş**
 - b) **Satış sistemi, müşteri ile ortak olan yapıda,**
 - c) **Maliyet yapısı her çalışana ulaşmış anlayış,**
 - d) **Talebin olduğu pazarlarda olma ve talebi oluşturma becerisi,**
- Veya**
- a) **Orta kapasitede bir üretici olarak kalma**
 - b) **Butik üretim yapan bir yapıya dönüşmek**

Şekil 40. Döküm sektörü şirketlerinin kendileri için cevaplamaları gereken bazı sorular

Muhakkak unutulmaması gereken bir konu:

Önümüzdeki yıllarda özellikle AB ülkeleri ile iş yapan şirketlerin cevaplarını hazırlamaları gerekenler...



Şekil 41. Önümüzdeki yıllarda sektörün ana problemlerinin başında üretimin ve tesisin yeşil olması gelecek

X) SONUÇ ve SON SÖZ

Geleceğin sürükleyici ve yaratıcılık gerektiren konuları:

- a) Temiz enerji
- b) Dünyanın ısınmasının önüne geçilmesi, en azından sınırlandırılması,
- c) Malzeme alternatifleri,
- d) Yiyecek alternatifleri,
- e) Su ve suyun geri kazanımı
- f) Temiz ve kirlenmeyen dünya

Değişen dünya yapısına göre, gençler için geleceğin gözde mesleği, iklim uzmanlığı olacağı gözden kaçırılmamalıdır.

Gerek yaşanan olaylar, gerekse buldukları ülkelerin sanayi gelecek stratejileri, girdi ve enerji fiyatlarının kontrol dışında artışı, şirketlerin mali durumları, eskilikleri, dünya ekoloji

anlayışında önemli değişiklik ve bununla ilgili çıkan bağlayıcı kurallar, cezalar, yükte ve emekte ağır, getirisi yetersiz olan, yatırım gerektiren döküm sektörü gibi bazı alanların yakın, fakat sektörde büyümeyi hedeflemiş Türkiye gibi ülkelere kayması beklenen bir gelişme idi. Türk döküm sanayicileri bu fırsatı iyi değerlendirerek, yeni yatırımlar, eleman yetiştirme gibi atılımlar yapmaktadırlar.

Türk üretim sanayisinin gelişimi 1965'lerde "toplu iğne"nin yerli yapımı ile sembolik olarak başladı. Yıllar içinde, kısıtlı montaj, yarı imalat, yarı montaj, tam imalat, ihracat, ARGE'ye dayalı, yurt dışında kendi markasını yaratan bir yapıya dönüştü.

Şimdi ise a) yurt dışında doğru pazarlarda yatırım yapılarak, depolardan kurtulmak, b) düşük olan döküm parça fiyatını yükseltmek, c) komple ürün anlayışı ile paket üretim yapmak d) rekabet ve vazgeçilmezlik gücümüzün arttırılması, e) Çevre ve iklim kurallarına ihracat müşterilerimiz şart koşuyor diye uymak yerine, bunu ülke ve dünya geleceği için yapma anlayışında olmalıyız.

Gerek iklim için getirilmiş kurallara uyum, gerekse daha basit ve enerji tasarruflu olan tüm araçlardaki elektrifikasyonun, döküm sektörünü yapı, üretim süreçleri, makinaları, üretim miktarı açılarından etkileyeceği görülmektedir. Sektör, kendini bu değişime uydurmak ve ön sıralarda yerini almak zorundadır.

Aluminyum döküme talebin daha da artması beklenmesine rağmen, Türk aluminyum döküm üretim makinalarının çoğunluğu küçük parçalar üretimi yönünde yapılanmıştır. Bu yapıdaki birçok küçük Alman ve İtalyan döküm tesislerinin bu tip ürünlerde yoğun rekabet, düşük fiyat, yüksek kredi faizleri nedenleri ile son 3 yılda kapandıkları unutulmamalıdır.

Döküm üretimi, son 10 yılda çok atılım yapılmış olmasına rağmen, çok gelişmiş teknolojik kapasite gerektirmeyen, ne kadar otomasyon olursa olsun, emeğin hakim olduğu, ne kadar ekolojik sistemler uygulanırsa uygulansın tesislerin çok azı hariç, diğerlerinde oluşan atıkların bulunduğu bir üretim sürecidir. Daha ucuz diye uzak ülkelere döküm almaya (Off-Shoring) başlayan alıcılar, uzaktan kumandanın zorluğu, nakliye ücretlerinin yüksekliği, nakliyede harcanan enerjinin iklim kirletme hesabına dahil edilmesi, temin süreleri, kominikasyon vs gibi birçok nedenle, alım kaynaklarını değiştirmektedirler.. (Re-Shoring). AB ve ABD'de her tesisin uymak veya ceza ödemek zorunda olacağı, bu zor ve her yıl yenileri kanunlaşarak uygulamaya koyulan iklim değişikliği kurallarının yükü, eleman temini, pahalı enerji, krediler gibi birçok neden ile, AB ve ABD gibi gelişmiş ülkeler, döküm ihtiyaçlarını, daha ucuz ama çok uzak kaynaklar yerine kendilerinin kurallaştırdıkları, ekoloji ve iklim yönetmelikleri yükünü de bu ülkelere sipariş öncesi denetimler, sınırda vergiler vs gibi sistemlerle yükleyerek, yakın ülkelere temin etme stratejisine kademeli olarak geçmeye başlamışlardır. Türk döküm sektörü, gerek kapasite, teknoloji, kalite sistemleri ve en önemlisi "yeşil kurallara" uyararak, bu pazardan en yüksek ve vazgeçilmez payı almalıdır.

3D Kum baskı, 3D metalik parça üretimi, süreçler, maça, katılma, iş akışı, maliyetlerin anlık takibi, Industry 4.0 sistemleri vs gibi birçok üretim unsurları artık sayısal olduğundan, çoğunluğu klasik üretim teknikleri ve sistemleri kullanan küçük ve orta boy Türk döküm tesisleri gelecekte "akıllı tesisler" için farklı yaklaşımlara girmelidirler.

Döküm tesislerinin artık klasik bilgi akışı ve kullanımı ile yürümeyeceği görülmektedir. Bu husus, pazarın baskısının ötesinde, maliyetler, enerji fiyatları, ekoloji ve iklim kuralları, çalışan temini, şirket imajı gibi birçok yeni önem kazanan nedenlerden ileri gelmektedir.ü

Döküm işi artık, ürünün dizaynı, döküm süreçlerine göte daha ekonomik hale getirilmesi, iş akışlarının, hangi süreçlerin kullanılacağı, döküm takımlarının simülasyonla incelenerek optimum halde yapımı, ürünün tesis içi hareketlerinin, yerinin, adetin, hangi süreçte olduğunun izlenmesi, kalite güvenilirliğinin takibi, süreçlerde oluşturulan emisyonlar, enerji kullanımının izlenilmesi digital olarak yapılmak zorunda. Bu dönüşümü sağlayamayan tesisler, yeni pazarlar bulma ve ürün ortaklıklarına girmede tercih edilmeyecekler.

Döküm tesis ve sistemlerinin sayısallaşması, yeni nesil elemanların da çalışmak istemedikleri döküm sanayine geri dönmelerini sağlayacaktır.

Dönem, “Alın Teri” yerine, “Akıl Teri” ve bitmiş ürün sistemine döndüğünden, pazarda aranılan ve vazgeçilmez yer edinmek eskisine göre daha zor, fakat daha kalıcı olacaktır.

Döküm ürünleri, ustaları ve teknolojisine antik çağlardan, bugünlere her dönemde ihtiyaç olmuş ve ayrıcalıklı davranılmıştır. Kurtuluş Savaşında, dökümcülerin atelyelerinde kalarak, Tekalif-i Milliye Kanunu ile ordu için ürün üretmeye devam etmeleri istenilmiştir. (Şekil: 42)

9 No.lu Tekâlif-i Milliye Emri: Demirci, marangoz, dökümcü, tesviyeci, saraç, arabacı esnafları ve imalâthaneleriyle, bu esnaf ve imalâthanelerin iş çıkarabilme güçleri ve kasatura, küleş, mızrak ve eyer yapabilecek ustaların adlarıyla beraber sayıları ve durumları saptandı.

“Tüm demirci, **dökümcü** nalbant, terzi ve marangoz gibi iş sahipleri ordunun emrinde çalışacak. ”

**Başkumandanlık Kanunu/
Tekalif-i Milliye Emirleri
Madde 9 (Milli vergi)**

7-8 Ağustos 1921



Hâkimiyet-i Milliye'nin Tekâlif-i Milliye emirlerini duyurduğu "Başkumandanımızın Ordu ve Millete Beyannamesi" başlıklı 7 Ağustos 1337 (1921) tarihli yazı

Şekil 42. Tekalif-i Milliye Emirleri

Yardımcı Kaynaklar:

- 1)M.Sahoo/D.Weiss, Design of Structural Castings, July 2022, Casting Source
- 2)Brian Appleyard, “The Car: The Rise and Fall of the Machine That Made the Modern World”, 2022, Kitap
- 3)M.Sahoo/D.Weiss, Aluminum Castings for Structural Applications, (Book)AFS, 2021
- 4)BDG, Guss 2035, Neue Perspektiven für die Giesserei-Industrie, BDGuss, Mart 2022
- 5)Daren Acemoğlu, MIT, (Aralık 2022’de yayınlanacak kitabı için söyleşi)
- 6)A.Erdem, Türkiye’deki YB ve AB alüminyum presleri adet, tonaj, yerleri (özel çalışma)
- 7)Dr. H.J.Büchner, Changes in the Global Foundry Industry, VDMA, IKB, 2021
- 8)Zanardi, F, “Il Futuro del Settore”, Fonderia, 06.2021
- 9)Y.Günay, Araçlarda Hafifleme ve Döküm Sanayii, Alüminyum Kongresi, Talsad, 2019
- 10)Initiative Leichtbau, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Aralık 2017, www.bmw.de
- 11)J.Seit, Development of Electric Mobility Until 2030, Mayıs 2018, IndustrieVerband Giesserei-Chemie
- 12)Y.Günay, Ulaşım Araçları ile Alüminyumun Vazgeçilmez Arkadaşlığı, Alu Expo, 2019
- 13 M.Kapur, et al., Non Ferrous Metals Industry, Building the Future, Eylül 2017, KPMG Report
- 14) R,Kurek, et al., Leichtbau als Innovationsstreiber, Haziran 2017, Automotive Mgt Consulting GmbH,

- 15)J.Seit, Future Developments of Light Weight Metals, Mart 2018, SpotLight Metal
- 16)Y.Günay, Endüstri 4.0 ve Döküm Sektörü, 6N + 1 K, 10. Uluslararası Döküm Kongresi, Ekim 2018
- 17)Aluminum Generates Lowest Total Carbon Footprint, Aralık 2018, Drive Aluminum
- 18)Aluminum in Cars, 2017, European Aluminum Association
- 19)Aluminum Content in North American Light Vehicles, 2016 to 2028, Temmuz 2017, Ducker Worldwide
- 20)J.W.P.Filho, Opportunities for Aluminum Components in Automotive Applications, Haziran 2016, C.Hatchett Seminar 2016
- 21)M.Verbrugge, et al., Challenges and Opportunities Relative to Increased Usage of Aluminum within the Automotive Industry, TMD 2010 Annual Meeting
- 22)Aluminum Use in the Auto Industry, Kasım 2016, Arconic
- 23)Dr.E.Mayr, Aluminum's Revolution in the Automotive Industry, May 2015, Metal Bulletin Conference
- 24)F.Bonollo, et al., Life Cycle Assessment in the Automotive Industry: Comparison Between Aluminum and Cast Iron Cylinder Blocks, 2006, Metallurgical Science and Technology
- 25)G.Thaden, et al., Automotive Metal Components for Car Bodies and Chassis, Şubat 2017, Roland Berger
- 26)Y.Günay, Alüminyum Döküm Parça Sektörü ve Kaynak Savurganlığı, Ekim 2015, Alus 07.
- 27)P.Plain, Steel Perspectives for the Automotive Industry, Mayıs 2012, OICA
- 28)Aluminum in Nutzfahrzeugbau, Mayıs 2011, European Aluminum Association
- 29)I.Kolaric, Die Veraenderung der Deutschen Automobilindustrie durch den Einfluss der Digitalisierung sowie die Rolle von Nanomaterialien als mögliche Schlüsseltechnologie für die Erfolgreiche Gestaltung des Wandels, Eylül 2017, Fraunhofer
- 30)Leichtbau in Mobilität und Fertigung, 2012, Fraunhofer, e-mobil bw.
- 31)P.Wagner, Automotive; An Exiting Outlook, 2017, Hydro
- 32)X.Mosquet, et al., The Electric Car Tipping Point, Ocak 2018, The Boston Consulting Company
- 33)G.Djukanovic, Aluminum Alloys in the Automotive Industry, Şubat 2019, Aluminum Insider
- 34)G.Djukanovic, Steel vs Aluminum; Who's Winning the Light Weight Battle in Cars, Haziran 2017, Aluminum Insider
- 35)Aluminum Content in Cars, Haziran 2017, Ducker Worldwide
- 36)K.Seidel, Leichtbau-Sitzstruktur auf Basis Thermoplastischer FVK, Şubat 2019, FKA, www.fka.de
- 37)Prof. D. Stefanescu, The Meritocratic Ascendance of Cast Iron: From Magic to Virtual Cast Iron, AFS Congress, April 2019
- 38)J.Hitch, Plastic's Growing Role in Electric Vehicle Expansion and Reversing Climate Change, Aralık 2018, Industry Week
- 39)Prof.M.R.Molly, et al.,Cast Iron or Aluminum; Which Cylinder Block Material is Best for the Environment, Mart 2017, Cranfield University, UK
- 40)D.Rittmeyer, Experiences in 3D Sand Printing, AFS Congress, April 2019
- 41)Dr. G.Manogharan, Rethinking Casting Design Rules via 3D Sand Printing, AFS Congress, April 2019
- 42)Y.Günay, Döküm Sanayinin Yeni Teknolojiler ve Değişen Pazar Yapısı ile İmtahanı, Eylül 2016, Tüdöksad Kongre
- 43)G.Giardino, Developments of Aluminum for the Automotive Industry, Şubat 2018, A + L
- 44)A. Pomari, Light Aluminum Manufacturing for High Speed Trains, Şubat 2018, A + L
- 45)D. Bendzinski, High Volume Aluminum Solutions for Light Weighting, Ağustos 2015, Novelis Aluminum
- 46)Prof.S.Bratzel, et al., Marktentwicklung von Elektrofahrzeugen für das Jahr 2030, Aralık

- 2017, Center for Automotive Management
- 47)J.Wenson, Industry 4.0, Understanding the Why, Afs Congress, April 2019
- 48)R.Getter, Magnesium in Die Casting, Nisan 2019, SpotlightMetal
- 49)C.Wilhelm, Einfluss der Elektromobilitaet auf die Giesserei Industrie und Ihre Produkte, Nisan 2018, Grosse Giessereitechnische Tagung 2018
- 50)Dr.H.Büchner, Forecast 2025 for the Global Foundry Industry,, IKB Deutsche Industrie Bank, June 2019
- 51)H.J.Ross, et.al, Druckgusslösungen für Strukturbauteile-die Zukunft für Leicht-bau-konzepte, Giesserei, 11/2019, S38
- 52)H.Koch, Legierungsentwicklung für gegossene Strukturbauteile und deren Waermebehandlung, Leichtbau im Guss Tagung, 14-15.11.2019
- 53)Einfluss der Elektromobilitaet auf die Gussproduction, Giesserei 105, 004/2018
- 54)Einfluss der Elektromobilitaet auf die Gussproduction, Teil 2, Giesserei 108, 007/2018
- 55)Foundry Industry 2020, Trends and Challenges, IKB, June 2015
- 56)New Passenger Car Registrations by Alternative Fuel Type in EU, Quarter 2, 2016, ACEA, European Automobile Manufacturers Associati
- 57)Internationales Benchmarking zum Status quo der Elektromobilitaet in Deutschland, Deutsches Dialog Institut, Dez, 2015
- 58)D.Schwartz et al, Hybridbauteile aus CFK und Aluminum Druckguss, Giesserei 193, 01/2016, S44
- 59)CEO Agenda for the revolution of the automotive eco-system, Roland Berger publications, 2016
- 60)Y.Günay, Araçlarda Hafifleme, Figes Otomotiv Konferansı, Mayıs 2014
- 61)Dr.W.Hiller, Fresh Look on the Casting Industry,, International Foundry Forum, 2014
- 62)Giesserei 100 Jahre, Giesserei 101, 01/2014, S 178
- 63)Y.Günay, Döküm Sektörü ve Büyük Resmi Gören Yönetici, Haziran 2014
- 64)Antriebstechnologie, www.greening.de, 2016
- 65)Zukunftsbild "Industrie 4.0", Bundesministerium für Bildung und Forschung, 2014
- 66)Commercial Vehicles, GF Automotive, www.gfau.com
- 67)Passenger Cars, GF Automotive, www.gfau.com
- 68)A. Çetin, Döküm Sektörünün Otomotiv Pazarındaki Geleceği, Dökümhane, Mayıs 2016
- 69)Fraunhofer Creates Engine with Lightweight Composite Casting, www.compositestoday.com, April 2015
- 70) Fuelcell Powered Busses, www.ballard.com
- 71)Auto-Batterie Gehaeuse, Euroguss 2016, Giesserei 103, 02/2016, S 44
- 72)Y.Günay, Yeni Dünya, Yeni Eğilimler, Teknolojiler ve Türk Döküm Sektörü, 14. Metalurji ve Malzeme Kongresi, Eylül 2014
- 73) M. Fehlbier et al, Studie zur Konstruktion einer Pkw-Sitzlehnstruktur in Mg-Druckguss, Giesserei 103, 01/2016, S 51
- 74) Global Wind Energy Outlook, 2015, GWEC, Global Wind Energy Council, Oct. 2015
- 75) T.Knapp, M. Faulstich, Floating Wave Energy Converter, Sinn Power, 2016

DÖKÜM SEKTÖRÜNE YÖNELİK EĞİTİM MODELLERİ

Arda ÇETİN

Ekstrametal,, Ankara, Türkiye

ÖZET

Üniversitelerin yaşamakta olduğu yayın baskısı nedeniyle klasik metalurji eğitiminden uzaklaşarak malzeme bilimi ağırlıklı bir modele geçiş yaptıkları süreç sonrasında, döküm sektörü sadece nitelikli mavi yaka personel değil, mühendislik donanımına sahip genç beyaz yaka adaylar bulmakta da zorlanıyor. Bu sadece Türkiye'nin ve döküm sektörünün yaşamakta olduğu bir problem değil: Dünya genelinde de imalat alanında çalışacak nitelikli mavi ve beyaz yaka eksikliğini yaşadığını birçok farklı kaynaktan teyit edebiliyoruz. Bu çalışma, Türk döküm sektörü özelinde nitelikli mavi ve beyaz yaka personellerin eğitimi için benimsenebilecek modelleri derlemeyi ve Türkiye için uygulanabilecek modelleri özetlemeyi hedeflemektedir.

Anahtar Kelimeler: Mesleki eğitim, e-öğrenme, döküm sektörü.

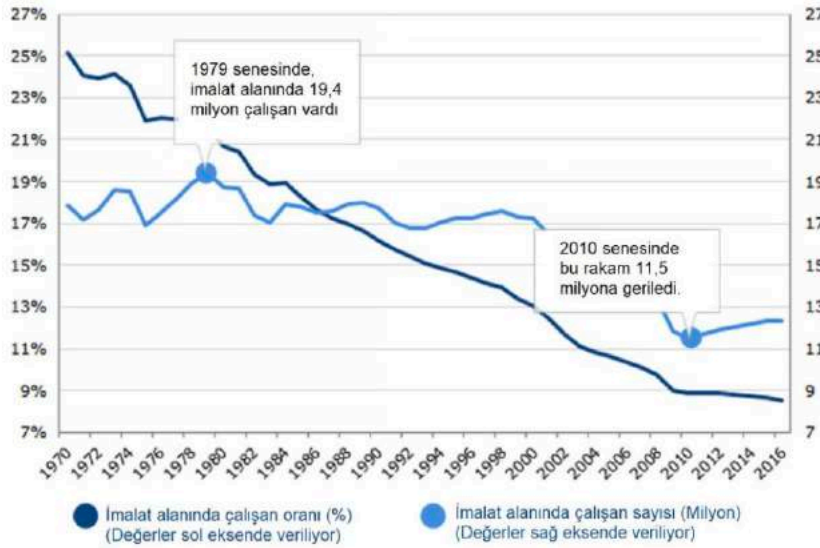
ABSTRACT

In the past few decades, most universities around the globe had to shift their curriculum towards a materials science oriented trajectory, leaving the traditional metallurgical path behind. This change was mainly due to the fact that metallurgy fails to supply the same publication potential that materials science does, which is a main concern for researchers to survive in the academic world. This might be seen as an academic choice, but the outcomes of this transition are significant for the global metal casting industry: Many companies are failing to attract young talents to work in industrial positions. This work aims at shedding some light on the type of models that can be employed to train and also to attract blue and white collar employees for the Turkish metal casting industry.

Keywords: Vocational education and training, e-learning, metal casting industry.

1. GİRİŞ

Döküm sektörü 2000’li yıllardan itibaren önceki senelerde varlığı çok hissedilmeyen yeni bir problemle tanıştı. Sadece Türkiye’de değil, Dünya genelinde de metalurji mühendisliği eğitimi veren üniversiteler eğitim programlarını malzeme bilimi ve mühendisliğine doğru yöneltmeye başladılar. Akademik araştırma potansiyeli daha yüksek olması nedeniyle üniversitelerin bu tercihi yapmaları oldukça anlaşılabilir bir durum. Ancak bu tercihin sanayi perspektifinden bazı olumsuz sonuçları da oldu. Döküm, dövme, çelik üretimi ve ısıl işlem gibi sanayimizin temel yapı taşlarını oluşturan geleneksel imalat alanlarının üniversiteler ile bağlarının zayıflaması, işbirliği projelerinin niteliği ve niceliğinin azalmasından tutun, bu sektörlerde işbaşı yapan genç mühendislerin temel bilgilerden yoksun olması gibi birçok istenmeyen sonuçla bizleri karşı karşıya bırakıyor. Özellikle mavi yaka personel sayısı dünya genelinde düşüşteyken, bu durum döküm sektörünün personel sıkıntısından daha derin bir yara almasına da yol açıyor.



Çizelge 1. ABD’de imalat alanında çalışanların oranı ve sayısı. Yıllar geçtikçe, dünya genelinde imalat alanında çalışanların sayısının da, oranının da azaldığı görülüyor. (Veriler: Center for Economic and Policy Research, U.S. Bureau of Labor Statistics) [1]

Bu makalenin amacı, üniversitelerin neden böyle bir tercih yapmak durumunda kaldığını açıklamaya çalışmak, ya da üniversitelerin sanayi ile nasıl yakınlaşabileceklerinin yollarını bulmaya çalışmak değildir: Var olan durumu bütün gerçekliğiyle kabul ederek, mevcut durumda farklı eğitim senaryolarının ve yaklaşımların nasıl oluşturulabileceği sorularına odaklanmaktadır. Giriş paragrafında da bahsedildiği gibi sadece ülkemize mahsus bir problemden bahsetmiyoruz. Bahsi geçen zorluğun Dünya genelinde yaşanıyor olması, başka ülkelerin, özellikle gelişmekte olan ülkelerin, bu zorluğa nasıl yaklaştığını ve ne tür çözüm yolları üretme gayreti içinde olduklarını da inceleme fırsatı sunuyor. O nedenle bu çalışmada mesleki eğitim programlarının nasıl tasarlanması gerektiği üzerine genel bir değerlendirme sunulduktan sonra, bu bütünsellikte bir eğitim programının Türkiye’de nasıl kurgulanabileceği üzerine düşünceler aktarılacaktır.

2. EĞİTİM TASARIMI

Döküm sektörü özelinde konuşmak gerekirse, sektörde faaliyet gösteren birçok firmanın planlı ve belli hedefler doğrultusunda tasarlanmış kapsamlı bir eğitim programı yürütmediğini biliyoruz. Sektörün eğitim ihtiyaçları mevcut durumda büyük ölçüde TUDÖKSAD Akademi (<https://Akademi.tudoksad.org.tr/>), Dökümhane Akademi (<https://Dokumhane.net>) gibi TUDÖKSAD önderliğinde yürütülen faaliyetler ve tedarikçi firmaların kendi ürün ve hizmetlerine yönelik sunduğu eğitimler tarafından karşılanıyor. Bu eğitimler her ne kadar birçok açıdan faydalı bulunsa da, büyük resme bakıldığında eğitimlerin belli bir hedefe yönelik tasarlanmış kapsamlı bir program çerçevesinde sunulmuyor olması, istenen çıktılardan elde edilmesi açısından maalesef arzu edilen sonuçları sağ-

layamıyor. Katılımcılar belirli konularda bilgiler edinebiliyor, ancak bu konuları döküm sektörünün farklı alanlarında ihtiyaç duyulan bütünsellik çerçevesinde öğrenme şansını bulamıyorlar. Bu başlık altında, istenen bu bütünselliğin yaratılabilmesi amacıyla bir eğitim programının nasıl tasarlanması gerektiği ana hatlarıyla aktarılacaktır. Tıpkı bir üretim sürecinin özen ve hassasiyetle, maksimum verim elde edilecek şekilde tasarlanması gibi, eğitim süreçlerinin de benzer bir özen ve bütünsellik içinde ele alınması gerekir. O nedenle eğitim başlıklarını belirlerken öğrenme hedeflerinin, materyallerin ve ölçüm/değerlendirme yöntemlerinin de hep birlikte ele alınması doğru olur. Bu bölümün devamında, bir örnek olması amacıyla kapsamlı bir eğitim programı oluştururken izlenilmesi gereken adımlar kısa maddeler halinde özetlenmiştir. Bu başlık altında sunulan basamaklar, [2-9] numaralı kaynaklardan derlenmiştir.

2.1. Eğitim ihtiyaçlarının belirlenmesi

Bir şirketin eğitim ihtiyaçları, aslında şirket hedeflerinin ve performans göstergelerinin (KPI) uzantısı olarak düşünülmelidir. Bu düşünce hem mavi yakalı, hem de beyaz yakalı personele uygulanabileceği gibi, yöneticilerin eğitimlerinde de şirket ve bölüm KPI'larının esas alınması, personelin bir bütünsellik içinde ve hedefler doğrultusunda gelişimine olanak tanır. Ayrıca şirket hedeflerinin eğitim programına yansıtılması, personellerin eğitimleri neden aldıklarını, bu eğitim sonucunda edinecekleri bilgileri hangi amaç doğrultusunda kullanacaklarını kavramaları konusunda da yardımcı olur.

Şirket hedeflerinin belirlenmesi, eğitim ihtiyaçlarının belirlenmesi için önemli bir başlangıç noktası olsa da, tek kriter olarak ele alınması doğru olmaz. Sürecin devamında personellerin görev tanımlarının net bir şekilde oluşturulması gerekir. Görev tanımları netleşmemiş bir organizasyon yapısında, çalışanların hangi görevleri yerine getirmesi beklenildiği kişiden kişiye değişen, muğlak bir konu olarak kalır. Bu netliğin sağlanması, personel bazında istenen yetkinliklerin de net bir şekilde tanımlanmasına, doğal olarak personellere verilmesi gereken eğitimlerin belirlenmesine olanak sağlar.

Bu noktadan sonra personel bazında yetkinlik değerlendirmeleri ile, personellerin görev tanımındaki eğitimlere ihtiyaç duyup duymadığının belirlenmesi gerekir. Örneğin talaşlı imalat fabrikasında görev yapan bir formenin teknik resim okuması isteniyor olabilir. Ancak bu görevi yıllardır icra eden ve bu konuda bir eksiği olmayan birine bu eğitimin verilmesi gerekli olmayacağı gibi, personellerde yönetim tarafından küçük görüldüğü algısı yaratarak motivasyon kaybı yaratabilir. Bu amaç doğrultusunda sadece amirlerle değil, personellerle birebir görüşmeler yapılması ve personelin kendi görevine dair kendini eksik gördüğü, eğitim ihtiyacı olduğunu hissettiği konuların da tespit edilmesi gerekir. Personelin kendi görev tanımına giren konularda sınıf ortamında mı, yoksa uygulamalı eğitimler mi tercih ettiği gibi konuların personelle birebir görüşmelerle belirlenmesi, sonradan verilen eğitime personelin daha kolay motive olmasına destek olan bir yaklaşım olacaktır.

2.2. Öğrenme hedeflerinin tanımlanması

Eğitim hedefleri, en basit ifade şekliyle, eğitim tamamlandıktan sonra personellerin sahip olması beklenen yetkinlikleri tanımlar. Bir önceki başlık altında da açıkça belirtildiği gibi, bu hedeflerin şirket hedefleri ve performans göstergelerinin bir uzantısı olarak düşünülmesi, şirketin hedeflerini tutturabilmesi açısından da önemlidir. Öğrenme hedeflerinin belirlenmesi, aslında bir sonraki adımda ele alınacak olan eğitim materyallerinin hazırlanması için de bir yol haritası niteliği taşır. Öğrenme hedefleri tanımlanırken, eğitim alacak personelden beklenen iş, bu işi yaparken içinde bulunacağı koşullar ve işin niteliğini belirleyen kriterler de net bir şekilde tanımlanmalıdır. Örneğin bir personele kalıp boyaması üzerine bir eğitim verilmesi isteniyorsa, bu işlemi yapmak için gereken tüm adımların hedef içinde de belirtilmesi gerekir. Örnek vermek gerekirse, “personelin kalıbın nasıl boyanacağını anlaması” doğru ve ölçülebilir bir öğrenme hedefi değildir. Ama kalıp boyama işleminin tüm adımlarını sırayla yazabiliyor olması, ölçülebilir bir öğrenme hedefi olarak değerlendirilebilir. Yukarıda belirtildiği gibi, personelin işi yaparken içinde bulunacağı koşulların dikkate alınması da son derece önemlidir: Örneğin eğer boya hazırlama sırasında takip etmesi gereken prosedür üretim alanında bulunmuyor ve bulunması da sağlanamıyorsa, bu personelin bu adımları ezberlemiş olması önem kazanır. Son olarak işin niteliğini belirleyen kriterlerin de dikkate almak gerekir: Personelin saatte 5 kalıp boyaması isteniyorsa, bu performansın bir öğrenme hedefi olarak ölçülebiliyor olması gerekir.

Hedefler ölçülebilir kriterler olarak tanımlandıktan sonra, son adım olarak bu hedeflerin ölçülmesini sağlayacak değerlendirme testlerinin hazırlanması gerekir.

2.3. Eğitim materyallerinin hazırlanması

Eğitim materyalleri aslında oldukça geniş bir perspektiften ele alınması gereken bir konu. Bundan belki bir 10 ya da 20 yıl önce çoğunlukla yazılı eğitim notları ya da kitaplar gibi basılı kaynaklardan oluşan eğitim materyalleri, teknolojinin sunduğu imkanlarla birlikte zenginleşti. İnternet üzerinden sunulan eğitim videoları, çeşitli simülasyonlar ve hatta arttırılmış gerçeklik (augmented reality, AR) uygulamaları, birer eğitim materyali oluşturacak şekilde ele alınabiliyor. Ancak tercih edilen ortam her ne olursa olsun, eğitim alan personelin eğitimine katkıda bulunacak materyaller oluşturulurken bazı önemli noktaların dikkate alınması gerekir.

Materyallerin hazırlığında kullanılan dilin oldukça yalın olması, süslü, yanlış anlaşılmaya olanak sağlayacak ifadelerden kaçınılması, metinlerin kısa olması ve mümkün olduğunca görsellere ağırlık verilmesi, başlıca önemli noktalar arasında gösterilebilir. Materyaller oluşturulurken, temel bilgiler, prosedürler ve ana kurallar arasında bir ayırım yapmak, personellerin eğitim kazanımlarını arttırabilmek açısından önem taşır. Bu ayırım aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- Temel bilgiler: Personelin kullanacağı makine, ekipman ya da cihaza dair bazı temel bilgileri akılda tutmak ilk etapta zor olacağı için, bu materyallerin çalışma alanına taşınabilir olması, personelin çalışma sırasında da bu kaynaklardan faydalanabilmesini sağlar. Çalışma sırasında bilgilere hızlı erişimi mümkün kılması nedeniyle bu materyallerde görsellere ve tablo formatında bilgilere yer verilmesi uygun olabilir.

- Prosedürler: Eğer bir süreç boyunca izlenmesi gereken prosedürlere dair bir materyal hazırlığı gerekiyorsa, muğlak ifadelerden kaçınarak, listeler halinde düzenlemiş ve süreci adım adım tarif eden materyaller, personellerin eğitimden kazanımları açısından daha değerlidir. Bu amaçla görsellerle desteklenmiş akış şemaları, tablolar ve diyagramlar kolay takip edilebilir ve tekrar kullanımı kolay kaynaklar olarak değerlendirilebilir.

- Ana kurallar: Personellerin prosedüre bağlı çalışamayacağı durumlar için, akıllarında tutabilecekleri ana kuralların da eğitim materyallerine dâhil edilmesi önemlidir. Örneğin iş sağlığı ve güvenliği kurallarının birincil öncelik olduğunun bir ana kural olarak belirtilmesi, prosedür dışına çıkması gereken durumlarda personelin hangi doğrultuda hareket edeceğini bilmesi açısından önemlidir.

Temel bilgilerin aktarımı basılı kaynaklar ve e-öğrenme araçlarıyla etkili bir şekilde yapılabilir. Ancak prosedür ve ana kurallar aktarılırken yüz yüze eğitim ve bir eğitmenin varlığı önem kazanır.



Resim 1. Eğitim materyalleri hazırlanırken personelin öğrenmesi istenen temel bilgilerin, prosedürlerin ve ana kuralların ayrı ayrı ele alınarak sunulması, öğrenme kazanımlarının arttırılması açısından önem taşıyor. Piramidin alt kısımlarında yazılı kaynaklar ve e-öğrenme yöntemleri etkili olurken, piramitte yukarı çıktıkça yüz yüze eğitimin ve bir eğitmenin gerekliliği artıyor.

2.4. Uygulama

Hedefler ve KPI'lar doğrultusunda, görev tanımları da dikkate alarak belirlenen öğrenme ihtiyaçlarına yönelik materyaller hazırlandıktan sonra, bunların dikkatlice gözden geçirilmesi gerekir. Materyallerin yeterliliğini değerlendirmek adına eğitim programlarını hemen başlatmak yerine, az sayıda personel ile pilot çalışmaların başlatılması daha doğru olur. Bu pilot çalışma sırasında yapılan testlerle personellerin eğitimden kazanımları değerlendirilebilir ve alınan geri bildirimlerle yapılması gereken iyileştirmeler tespit edilebilir. Bu sürecin de tamamlanmasının ardından personel eğitim sürecine başlanılabilir.

2.5. Değerlendirme ve revizyon

Pilot çalışma sonrasında yapılan değerlendirme ve revizyon gibi, eğitim programının, içeriğinin ve materyallerinin de belli aralıkla değerlendirilmesi ve revize edilmesi gerekir. Bu değerlendirme yapılırken, dört temel faktörün dikkate alınması, eğitim yetkinliği ölçmek açısından önemlidir: Personellerin geri bildirimleri, test sonuçları, iş performansına yansımaları ve şirket hedeflerine yansımaları. Bu değerlendirmenin, çoğu durumda olduğu gibi sadece eğitim sonrasında uygulanan bir test üzerinden yapılması, eğitimin esas amacı olan şirket hedeflerine etkisinin gözden kaçırılmasına neden olur. O nedenle eğitimin değerlendirmesi sadece eğitim sonrasında değil, şirket hedefleri kapsamında, uzun vadeli olarak da yapılmalıdır.

3. DÖKÜM SEKTÖRÜ ÖZELİNDE DURUM

Geleneksel sanayinin temel taşlarından biri olarak gösterebileceğimiz döküm sektörünün nitelikli personeli çekme, yetiştirme ve elinde tutma adımlarının hepsinde problem yaşadığı bilinen bir gerçek. Bu konunun beyaz ve mavi yakalı personeller için ayrı ayrı ele alınması, daha doğru bir değerlendirme açısından faydalı olabilir. Beyaz yakalı personellerin döküm sektörü ile arasındaki kopukluk maalesef üniversite yıllarından başlıyor. Bu çalışmanın girişinde de bahsedildiği gibi üniversitelerin araştırma konularıyla birlikte eğitim programlarını da metalurjiden ziyade malzeme bilimine yönelmiş olmaları, genç mühendis adaylarının daha üniversite yıllarından itibaren döküm sektörüne mesafeli durmalarına yol açıyor. Mezuniyeti sonrasında bu sektörde görev yapmak isteyen genç mühendislerin üniversitede alması beklenen temel bilgilerden yoksun olması, sektörün de yeni mezunlara maalesef şüpheyle yaklaşmasına yol açıyor. Çünkü döküm, sadece temel bir malzeme bilgisiyle ya da faz diyagramı okuyabilme gibi temel yetkinliklerle başarılı olunabilecek bir alan değildir. Döküm sektörüne gelen malzeme mühendislerinin teknik resim bilgisi gibi temel yetkinliklerden yoksun olması, model tasarımı ya da örneğin otomatik hatlar için gerekli olan hidrolik, pnömatik veya PLC programlama gibi konulardan çok uzak bir eğitim geçmişinin olması, aradaki uyumsuzluğun ilk nedeni olarak gösterilebilir.

Mavi yakalı personel perspektifinden ise nitelikli personelleri çekme konusundaki zorluk, öncelikle döküm üzerine eğitim veren yüksekokul ya da meslek liselerin eksikliğiyle açıklanabilir. Kendi konuları üzerine eğilen bir eğitim kurumunun olmadığı bir dünyada, sektördeki firmaların nitelikli personellerin mezun olup işe başlamalarını beklemesi elbette ki gerçekçi bir beklenti değildir.

Kısa bir özet şeklinde sunulan bu iki realitenin yakın bir gelecekte değişebileceğine dair herhangi bir gösterge göremiyoruz. Üniversiteler döküm sektörünün ihtiyaçlarına yönelik eğitim programlarından gün geçtikçe uzaklaşırken, döküm üzerine mavi yaka personel yetiştiren eğitim kurumlarının da olmaması, döküm sektörünün önümüzdeki senelerde de örgün eğitim aracılığıyla beklentilerini karşılayamayacağını göstermektedir.

O nedenle bu çalışmanın başlığını da oluşturan döküm sektörüne yönelik eğitim modellerini ülkemiz özelinde değerlendirmek istediğimizde, bu eğitimin merkezi bir yapı tarafından verilmesinin uygun olacağı sonucuna varabiliriz. Yukarıda "Eğitim Tasarımı" başlığı altında sunulan bütünsel yaklaşımı uygulayabilecek firma sayısının döküm sektörünün çoğunluğunu oluşturmadığı bilinen bir gerçek. Nitelikli personel yetiştirme konusunun firmalara bırakılması duru-

munda, kendi ihtiyacını karşılayabilecek firma sayısının çok az olması nedeniyle, bu yaklaşımın sektörel bir kazanım yaratamayacağını görebiliriz. Sektöre yönelik kapsayıcı bir eğitim modeli yaratılmadığı takdirde, sektörün nitelikli çalışan kaybının artarak devam edeceğini de bu basit değerlendirme sonucunda anlayabiliriz.

3.1. Sektörel eğitim yaklaşımı için öneriler

Mesleki eğitim, elbette oldukça kapsamlı bir şekilde ele alınması gereken bir konu. Ancak ülkemizde T.C. Milli Eğitim Bakanlığına bağlı Mesleki ve Teknik Eğitim Genel Müdürlüğü bünyesinde yönetilen mesleki örgün eğitim faaliyetlerinin döküm sektörünün ihtiyaçlarına cevap sunmuyor olması nedeniyle, sektörün eğitim ihtiyaçları karşılamak adına farklı modellerin üretilmesi gerekiyor.

Geleneksel imalat kollarını ayrı ayrı değerlendirdiğimizde, Türk döküm sektörünün güçlü yanlarından bir tanesinin, TÜDÖKSAD bünyesinde sürdürülen eğitim faaliyetleri olduğunu söyleyebiliriz. Dövme, çelik üretimi, ısıl işlem ya da kompozit gibi farklı alanları incelediğimizde, TÜDÖKSAD bünyesinde sürdürülen eğitim faaliyetlerinin benzerlerini ve çeşitliliğini bu alanlarda göremiyoruz. Tüdöksad Akademi'nin verdiği eğitimler yanında webinar faaliyetleri ve çevrimiçi eğitim veren Dökümhane Akademi (<https://Dokumhane.net>) platformu, sadece Türkiye özelinde değil, Dünya genelinde de çeşitlilik açısından zengin bir eğitim faaliyeti olarak değerlendirilebilir.

Bir önceki başlık altında aktarılan düşünceler doğrultusunda, kapsayıcı bir sektörel eğitim faaliyetinin TÜDÖKSAD bünyesinde sürdürülmesi, şu aşamada en gerçekçi senaryo olarak değerlendirilebilir. Ancak TÜDÖKSAD bünyesinde sürdürülen eğitim faaliyetlerinin, zenginliğine ve çeşitliliğine rağmen, 2. bölümde, "Eğitim Tasarımı" başlığı altında aktarılan bir bütünsellik içine henüz tam olarak oturabilmiş durumda olduğu söylenemez. Ayrıca mavi yaka eğitimlerinin, TÜDÖKSAD'ın mevcut eğitim portföyünde yeterince yer almadığını da biliyoruz. O nedenle TÜDÖKSAD bünyesinde sunulan eğitim faaliyetlerinin bu düşünceler doğrultusunda şekillendirilebilmesi için planlı bir çalışma yürütülmesi gerekmektedir.

Bu öneriler değerlendirilirken, 2020 senesinde damgasını vuran Covid-19 salgını ve bu salgın sonrasındaki beklentileri göz ardı etmek doğru olmaz. Yeni normal olarak tarif edilen salgın sürecinde edinilen bazı çalışma alışkanlıklarının salgın sonrasındaki süreçte de devam edeceğini bugünden öngörebiliyoruz. Uzaktan çalışmanın birçok kuruluşta norm haline gelmeye başladığı, toplantıların büyük ölçüde çevrimiçi platformlara taşındığı, örgün eğitimin bile uzaktan eğitim formatında sunulduğu bir dönemde, bu çalışmanın konusu olan mesleki eğitimlerin uzak mesafelere seyahat ederek, kalabalık sınıflarda yapılmasını beklemek çok gerçekçi olmayacaktır. O nedenle bahsi geçen eğitimlerin özellikle internet ortamına taşınması ve eğitim materyallerinin internet üzerinden sunulduğu bir kurgunun tasarlanması, yeni normal olarak tanımlanan süreç için doğru bir yaklaşım olacaktır.

3.2. E-öğrenme tabanlı yaklaşım

E-öğrenme, zaman zaman sadece eğitimlerin video üzerinden aktarıldığı bir yaklaşım olarak algılanıyor. Oysa e-öğrenme bu dar tanıma kıyasla çok daha geniş bir çerçevede ele alınması gereken imkânlar sunulabiliyor. Örneğin Avrupa Birliğinde e-öğrenme teknolojilerinin eğitimi için yine e-öğrenme teknolojilerinden nasıl faydalandığı [10] numaralı kaynakta incelenebilir. E-öğrenme teknolojilerindeki gelişmeler sayesinde katılımcıların sadece pasif birer dinleyici ya da izleyici olmaktan çıkması ve uzaktan da olsa interaktif eğitim tecrübeleri yaşamalarının sağlanması mümkün olabiliyor.

Bu teknolojilerin bazı örnekleri [7] numaralı kaynakta verilmektedir. Eğitimi bilgisayar ekra-



Resim 2. Mesleki eğitim için tasarlanmış eğitim odalarından örnekler. Farklı teknolojilerin entegrasyonu ile katılımcı pasif bir dinleyici olmaktan çıkarak, interaktif bir eğitim tecrübesi yaşayabiliyor [7].

nında izlemek yerine kesintisiz ve yüksek kalitede görüntü verebilen monitörlerin kurulması, kamera ve mikrofon düzeneklerinin yerleştirilmesi sayesinde eğitimci ve katılımcı arasındaki iletişimin sağlanması, akıllı tahtaların kullanımıyla interaktif bir eğitim tecrübesinin sağlanması mümkün olabiliyor. Bu tür bir eğitim odasını kuran işletmelerde personellerin daha önceden hazırlanan video vb. eğitim materyallerini takip etmeleri, test ve interaktif kısımlarda kurulu sistem sayesinde eğitimi bir eğitimci ile sürdürmeleri ve böylece bir sınıf ortamında alınabilecek eğitime oldukça yakın ve hatta bazı açılardan daha etkili bir tecrübenin yaratılması sağlanabilir.

3.3. Mavi yaka eğitimleri

Mavi yaka personellerin eğitimleri için bir önceki kısımda örneği verilen sistemler yine kullanılabilir. Örneğin bir geometrik toleranslandırma eğitimi, bu tür bir sistem aracılığıyla başarılı bir şekilde aktarılabilir. Ancak mavi yaka personeller fiziksel işler yapmak durumunda oldukları için, kendi görev tanımlarıyla ilgili uygulamalı eğitimleri bir sınıf ortamında almaları mümkün değil. Teknoloji bu zorluğu aşmak için yollar da sunuyor: Arttırılmış gerçeklik (augmented reality, AR) teknolojilerindeki gelişmeler sayesinde, günümüzde uygulamalı eğitimlerin de bir eğitime ihtiyaç duymadan, fabrika ortamında verilmesi sağlanabiliyor. Ülkemizden bir örnek olarak Türk Traktör fabrikasında mavi yaka personellerin eğitimi için kullanılan uygulamalar gösterilebilir [11]. Türk Traktör fabrikasının Endüstri 4.0 dönüşüm çalışmaları kapsamında ve eğitimde dijitalleşme çerçevesinde hayata geçirilen bu proje, Hacettepe Üniversitesi ortaklığıyla hayata geçirilmiştir. AR uygulamalarının kullanıldığı bu eğitimler iş kazalarının ortaya çıkmasını engellemek yanında, parça fire edilmesinin ve kalite problemlerinin de önüne geçilmesini sağlıyor.



Resim 3. Türk Traktör fabrikasında montaj eğitimi için kullanılan arttırılmış gerçeklik uygulamasından bir görüntü. Büyük resim, sağ alt köşedeki katılımcının gözlükleri aracılığıyla gördüğü görüntüyü göstermektedir [11].

4. SONUÇ

Döküm sektörünün mesleki eğitim ihtiyacını örgün eğitim kurumlarından karşılayamıyor olması, farklı ve yenilikçi yaklaşımlar üzerinde düşünmeyi bir zorunluluk haline getiriyor. Bu eksikliği gidermek amacıyla TUDÖKSAD döküm sektörüne yönelik çeşitli eğitim faaliyetleri yürütüyor. Ancak bu eğitimlerin gerçek anlamda bir fayda sağlayabilmesi için “Eğitim Tasarımı” başlığı altında özetlendiği gibi, hedeflerden başlayan ve ölçüm, değerlendirme yaklaşımlarına kadar uzanan bir bütünsellik içinde hazırlanması gerekiyor. TUDÖKSAD bünyesinde yürütülen eğitim faaliyetlerinin böyle bir bütünsellik içinde hazırlanması durumunda, örnekleri verilen e- öğrenme teknolojileri sayesinde hem beyaz yaka, hem de mavi yakalı personelin kendi kurumlarında eğitimler almalarının önü açılabilir.

Bu tür bir çalışmanın hayata geçirilebilmesi için projenin nasıl fonlanacağı kritik bir önem taşıyor. Bu konuda hem AB kaynaklı, hem de yurtiçi kaynaklı birçok hibe ve diğer fon kaynakları değerlendirilerek projenin ihtiyacı olan finansal destek de sağlanabilir.

Özet olarak, bu çalışmada örnekleri gösterildiği üzere bu tür kapsamlı bir eğitim programının hayata geçirilebilmesi için gereken teknoloji ve fon mekanizmaları hâlihazırda mevcut durumdadır. Bu tür bir eğitim faaliyetinin bir lüks olarak görülmeden, sektörün nitelikli personel ihtiyacına kalıcı bir çözüm olarak ele alınması doğru olur. TUDÖKSAD bünyesinde kurulacak bir komisyon ile bu programın süreç haritası çıkarılarak yola çıkıldığı takdirde, üniversitedeki kopukluk nedeniyle sektöre mesafeli duran genç mühendis adaylarını döküm sektörüne çekmek için bir fırsat da yaratılmış olacaktır.

KAYNAKÇA

1. D. Wilkie, “The blue collar drought. Why jobs that were once the backbone of the U.S. economy have grown increasingly hard to fill”, SHRM, 2019, Web: <https://www.shrm.org/hr-today/news/all-things-work/pages/the-blue-collar-drought.aspx>.
2. G. Mawer, E. Jackson, “Training of existing workers: Issues, incentives and models”, NCVET, Adelaide, Avusturalya, 2005, pp 19-29.
3. K. Jehanzeb, N.A. Bashir, “Training and development program and its benefits to employee and organization: A conceptual study”, European Journal of Business and Management, Vol. 5, No. 2, 2013, pp 243-252.
4. J. Olofsson, D.P. Thunqvist, “The Swedish model of vocational education and training: Establishment, recent changes and future challenges”, Report 1A from the Swedish Project Group of the Nord-VET Project, Nord-VET, İsveç, 2014, pp 1-28.
5. E. Engetou, “The impact of training and development on organizational performance”, Centria University of Applied Sciences, İşletme Bölümü Yüksek Lisans Tezi, Finlandiya, 2017, 4-16.
6. “Manufacturing training: From scratch. How to make workforce training that works” Internet Sitesi: ConvergenceTraining.com (Yazar adı belirtilmemiş.)
7. L. Moldovan, “Innovative models for vocational education and training in Romania”, Procedia Social and Behavioral Sciences, Vol. 46, 2012, 5425-5429.
8. S. Zahra, A. Iram, H. Naeem, “Employee training and its effects on employees’ job motivation and commitment: Developing and proposing a conceptual model”, IOSR Journal of Business and Management, Vol. 16, 2014, 60-68.
9. A. Nassazi, “Effects of training on employee performance. Evidence from Uganda”, Vaasan Ammattikorkeakoulu University of Applied Sciences, International Business Tezi, Finlandiya, 2013, pp 15-34.
10. I. Gutierrez, M.M. Sanchez, L. Castaneda and P. Prendes, “Learning e-learning skills for vocational training using e-learning: The experience piloting the (e)VET2EDU Project course” International Journal of Information and Education Technology, Vol. 7, 2014, pp 301-308.
11. Türk Traktör Interactive 3D VR Training Software developed by Simge Simulation Technologies, 2018 (<https://bit.ly/3hzaWkA>).

DÖKÜM SEKTÖRÜNDE ENTEGRE KİRLİLİĞİ ÖNLEMELİK İÇİN EN İYİ TEKNİKLER VE UYGULAMALAR

Berivan BODUROĞLU

Erkunt Sanayi A.Ş., Ankara, Türkiye

ÖZET

Entegre kirlilik önleme ve kontrol yaklaşımında; hava, su, toprak, gürültü gibi çevresel ortam ve durumlar için kirlenici emisyonlar bir bütün olarak değerlendirilmektedir. Bu yaklaşımla; çevrenin bütüncül bir şekilde korunması için, sanayi tesislerinden kaynaklanabilecek kirliliğin önlenmesi, eğer bu mümkün değil ise kirliliğin en aza indirilmesi amaçlanmaktadır. Tesislerin bu amaca ulaşması için de neler yapılabileceğine ilişkin mevcutta uygulanmış en iyi teknikler, mevzuatlar ile bir araya getirilmiştir. Tesislerin bu uygulamaları hayata geçirmesi, yeni iyi uygulamalar geliştirmesi, kaynaklarını verimli kullanılabileceği üretim modellerini benimsemesi, çevresel sürdürülebilir bir yaklaşıma hizmet edecektir.

Bu çalışmada, mevcut en iyi teknikler ve ek tedbirler ile dökümhanelerde uygulanan temiz üretim uygulamalarından örnekler verilerek, etkili bir kontrol sistemi oluşturulması için fırsatlar değerlendirilmiştir. Entegre kirliliğe karşı alınan tedbirlerin, çevresel performansı artırılması için çalışmalar yürütülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Entegre kirlilik, temiz üretim, en iyi teknikler, çevre

ABSTRACT

With the integrated pollution prevention approach; Pollutant emissions are considered as a whole for environmental effects such as air, water, soil and noise. In order to protect the environment in a holistic way, it is the aim of this approach to prevent or minimize pollution that may arise from industrial facilities. Appropriate best techniques and legislation have been brought together regarding what the facilities can do for this purpose. For an environmentally sustainable approach, it is important that the facilities implement these practices, develop new and good practices, and adopt the production models that will use their resources efficiently.

In order to evaluate the opportunities related to establishing an effective control system, the best available techniques and additional measures and cleaner production practices applied in foundries are given with examples in this study. With the measures taken against integrated pollution, studies were carried out to increase environmental performance.

Keywords: Integrated pollution, cleaner production, best techniques, environment

1. GİRİŞ

Sanayi, insan ihtiyaçlarını karşılamak için her geçen gün gelişmeye devam etmekte, ihtiyaç duyulan ham madde ve malzeme miktarı da bu oranda artış göstermektedir. Sanayide artan bu taleple ham madde ve malzemelerin, kimyasalların, su ve enerji kaynaklarının da kullanım miktarı artmış, üretilen tehlikeli maddelerin tür ve muhteviyatları da bu oranda artarak çeşitlilik kazanmıştır. Üretim ve hizmet faaliyetleri sonucu oluşan çeşitli özelliklerdeki bu atıkların yönetimi oldukça önemlidir. Bu atıklar hava emisyonu olarak atmosferi, katı atık olarak toprağı ve sıvı atık olarak da alıcı ortamı yani su kaynaklarını tehdit etmektedir. Gelecek kuşakların ihtiyaçlarını karşılayabilme olanağından ödün vermeksizin günümüz ihtiyaçlarını karşılayabilecek sürdürülebilir kalkınma yaklaşımıyla bu etkilerin mümkünse yok edilmesi ya da en aza indirilmesi gerekmektedir. Gelişme ve çevresel etkileşim arasında kurulacak doğru ilişki ile bugünün ve geleceğin ihtiyaçlarını doğru yönetebiliriz. Faaliyetler ve çevresel etkiler için kurulacak bütüncül bir yaklaşım, entegre kirlilik önleme faaliyetinin başlangıç noktası olacaktır. Özellikle son dönemde dünyada sıklıkla şahit olduğumuz iklim değişikliği problemleri, entegre kirlilik önleme politikasının önemini bir kez daha ortaya koymuştur. Entegre kirlilik önleme ve kontrol yaklaşımıyla; hava, su, toprak, gürültü gibi çevresel ortam ve durumlar için kirletici emisyonlar bir bütün olarak değerlendirmektedir. Bu yaklaşımla; çevrenin bütüncül bir şekilde korunması için, sanayi tesislerinden kaynaklanabilecek kirliliğin önlenmesi, eğer bu mümkün değil ise kirliliğin en aza indirilmesi amaçlanmaktadır.

Tesislerin kirliliği önleme amacına ulaşması için de neler yapılabileceğine ilişkin mevcutta uygulanmış en iyi teknikler, mevzuatlar ile bir araya getirilmiştir. Tesislerin bu uygulamaları hayata geçirmesi, yeni iyi uygulamalar geliştirmesi, kaynaklarını verimli kullanılacağı üretim modellerini benimsemesi, çevresel sürdürülebilir bir yaklaşıma hizmet edecektir. Çalışanların sürece katılı bu noktada önem kazanmaktadır. Entegre bir tedbir için tüm çalışanların sürece katkısı beklenmektedir.

Dökümhanelerde emisyonların azaltılması, hammadde ve enerjinin verimli kullanılması, optimum miktarda kimyasal kullanımı, atık geri kazanımı, tekrar kullanımı, geri dönüşümü uygulamaları ile zararlı maddelerin yerine zararsız maddelerin ya da daha az zararlı maddelerin kullanılması konuları entegre kirliliği önlemek için kabul gören ilkelerdir. Bu çalışmada döküm üretim tesislerinde yapılan iyi uygulamalar anlatılarak, kirlilik önleme ve kontrol yaklaşımı ile yapılabilecek çalışmalar değerlendirilmiş iyileştirmeler incelenmiştir.

2. EKOK VE DÖKÜM SEKTÖRÜ

Dökümhaneler için Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrol (EKOK) tebliğı, çevrenin bütüncül olarak korunmayı amaçlamaktadır. Hava, su ve toprak kirliliğine yönelik dökümhane emisyonlarını önlemek veya önlenemediği durumlarda azaltmak ve atık oluşumunu en aza indirmek için entegre kirlilik önleme ve kontrol sistemi oluşturmak için hazırlanan tebliğ, yayınlanma aşamasındadır. Taslak tebliğde emisyon tanımı ise; maddelerin, titreşimin, ısı veya gürültünün işletme veya tesiste yer alan bir veya birden fazla kaynaktan havaya, suya veya toprağı doğrudan veya dolaylı biçimde bırakılması olarak değerlendirilmektedir. Tebliğde yer alacak olan Mevcut En İyi Tekniklerin (MET) tesislerde uygulanması ile emisyon seviyelerinin düzenlenmesi amaçlanmaktadır. Tebliğ yürürlüğe girdiğinde işletmeler gerekli şartları sağladığında tek bir çevresel izin alacaklardır. Bu amaçla, saha uygulamaları için en uygun olan tekniklerin yani MET'lerin uygulanması yeni metler çalışılması çevresel koruma faaliyetleri ve yasal uyum kapsamında önem arz etmektedir.

Enerji, metal üretimi ve işlenmesi, kimyasalların üretimi, atık yönetimi, kâğıt, tekstil, yüzey işleme gibi diğer sektörler kategorisindeki ana sanayi kolları ve bunların alt kategorisindeki sektörlerde faaliyet gösteren tesislerden, üretim kapasiteleri, belirlenen sınır değerlerin üzerinde olan tesisler, mevzuatın kapsamına girmektedir. Döküm sektörü için bu sınır değer, günlük 20 ton ve üzeri üretim kapasitesi olarak belirlenmektedir.

2.1. Tebliğ kapsamında MET belirlenmesine ilişkin kriterler

Tebliğde Mevcut teknikler; işletmeci tarafından teknik ve ekonomik olarak uygulanabilir olduğu sürece, ülkemizde üretilmesine veya kullanılıyor olmasına bakılmaksızın, sektörde ekonomik ve teknik olarak sürdürülebilir koşullar ve maliyetler ile avantajlar dikkate alınarak uygulanan teknikleri,

En iyi kavramı ise; çevrenin bir bütün olarak en yüksek düzeyde korunmasında en etkili olan yolu ifade etmektedir. Teknik ifadesi ise; kullanılan teknolojiyi ve tesisin tasarlanma, inşa, bakım,

işletme ve devreden çıkarma yöntemlerini içermektedir.

Mevcutta sektörde uygulanan ya da uygulanması planlanan teknikler, yatırım gerektiren ekonomik değeri olabilecek uygulamalar olduğu gibi basit çözümler ve değişikliklerle de istenen iyileştirmeler sağlanabilecektir.

MET'lerin belirlenmesine ilişkin konular aşağıda belirtilen içeriklerdedir.

- Düşük atık oluşumuna neden olan teknolojilerin kullanımı,
- Daha az tehlikeli maddelerin kullanımı,
- Proseste kullanılan ve üretilen maddelerin ve uygun olduğu durumlarda atık maddelerin geri kazanımını ve geri dönüşümünün geliştirilmesi,
- Endüstriyel ölçekte başarıyla denenmiş benzer proses, tesis veya işletme yöntemleri,
- Bilimsel bilgi ve anlayıştaki teknolojik ilerleme ve değişiklikler,
- İlgili emisyonların doğası, etkileri ve hacmi,
- Yeni kurulacak veya mevcut tesislerin faaliyete geçme tarihleri,
- MET'lerin uygulamaya konulması için gerekli süre,
- Proseste kullanılan hammaddelerin (su dâhil) niteliği, tüketimi ile enerji verimliliği,
- Emisyonların çevre üzerindeki genel etkisini ve riskleri önleme veya en aza indirme gerekliliği,
- Kazaları önleme ve çevre açısından yaratacağı sonuçları minimuma indirme gerekliliği gibi uluslararası kamu kuruluşları tarafından yayınlanmış bilgiler taslak tebliğde belirtilmektedir.

3. DÖKÜM SEKTÖRÜ İÇİN BELİRLENEN MEVCUT EN İYİ TEKNİKLER

Mevcut en iyi teknikler, çevrenin bir bütün olarak en yüksek düzeyde korunmasında en etkili yollar olarak kabul görmüştür. Dökümhane süreçlerine uyarlanacak MET çalışmaları ile oluşan emisyonların azaltılması ve veya engellenmesi sağlanmış olacaktır. Döküm sektörü için belirlenen MET'lerden örnekler aşağıda yer almaktadır.

- Hammadde tüketimi azaltma ve kalıntı geri dönüşümü ve geri kazanımı,
- Bağlayıcı kimyasallar için depolama önlemleri,
- Temiz hurdanın eritme işlemi için kullanılması,
- Hurda demirli metalin dahili geri dönüşümü,
- Kullanılmış konteynerlerin geri dönüşümü,
- Metal verimi geliştirme,
- Enerji kaybının azaltılması potalarında ön ısıtma uygulamalarının geliştirilmesi,
- Hava emisyonların filtre edilmesi,
- Gürültü azaltma,
- Atıksu azaltma,
- Kaçak emisyonları azaltma,
- Çevre Yönetim Sistemi uygulaması vb. olarak sıralanabilir.

3.1 Dökümhanede entegre kirliliği önlemek için en iyi teknik uygulamaları

Mevcut en iyi teknikler ve ek tedbirler ile dökümhanelerde uygulanan temiz üretim uygulamalarından örnekler, etkili bir kontrol sistemi oluşturulması için fırsatları da içermektedir. Entegre kirliliğe karşı uygulanan MET'ler çevre yönetim sistemi içerisinde çevresel performansı arttırmak için hedeflere ulaşmada önemli araçlar olarak değerlendirilebilir. Tebliğde belirtilen ana MET başlıkları ışığında yapılan uygulamalar bu bölümde değerlendirilmiştir.

3.1.1 Hava emisyonlarının azaltılması, kaçak emisyonların engellenmesi

Hava emisyonlarının bilinen birçok zararları bulunmaktadır. Bunlardan bazıları; İnsan sağlığı, hayvan sağlığı ve bitki sağlığı açısından olumsuz etkiler, korozyon, yapıların yıpranması etkileri olarak örneklendirilebilir. Bu nedenle özellikle sanayi kaynaklı hava emisyonlarının azaltılması oldukça önemlidir. Yapılan iyileştirmelere ek olarak tesis içinde olası kaçaklarında yönetilmesi bu aşamada önemli bir iyi uygulamadır.

Bu kapsamda fabrikamızda yapılan iyi uygulamalar ve sonuçları aşağıdaki gibidir.

Fabrikamızda belirlenmiş emisyon noktalarında periyodik kontroller ile emisyonların azaltılması için çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalar ile yasal veya işletmede ek olarak gerçekleştirilen ölçümler ile süreç etkin şekilde gözlemlenebilmektedir.

Filtrelere basınç sensörleri koyarak, bez filtrelerin yırtılması ya da toz ile bloke olması gibi istenilmeyen durumların proaktif olarak önüne geçilmesi sağlanmıştır. Basınç değerini İstatistikî Proses Kontrol Metodu (SPC) ile takip edilerek, filtre değişim tarihinin tespit / optimize edilmesi sağlanmaktadır.

Doğalgaz brülörlerinin, özgül tüketiminin takip edilerek, verimsiz yanmaların önüne geçilmesi sağlanmaktadır. Sistemin düzenli bakımlarını yapılarak, en ideal yanma oranının sürekliliği sağlanmaktadır.

Proses sonucu çıkan emisyonların kaynağında ayrı toplanması, içeriğine göre kirleticilere uygun filtrasyon yapılması sağlanmaktadır. Sıcak proseslerde nomeks filtreler (yüksek sıcaklığa dayanıklı filtre) kullanılarak risklerin önüne geçilmekte, kimyasal gaz çıkışı olan bölgelerde de uygun kimyasallarla yıkama işlemi yapılarak kimyasal içerikli emisyonlar arıtılmaktadır.

Özel emisyonlar için lokal emişlerle emisyonun toplanması sağlanmaktadır. Bu sayede kaçak emisyonların önüne geçilmektedir.



Şekil 1: Lokal olarak emisyonların toplanması

Periyodik olarak, manuel ve dijital yöntemlerle, filtre ünitelerinin kontrolü ve bakımının yapılması ile sistemin güvenliği sürekli izlenmektedir. Özel ünitelerde tesis içinde belirlenen emisyon sınırlarının aşılması durumunda uyarı sistemleri devreye girmektedir.

Prosesle özel önlemlerle filtreleme ünitesi seçilmesi çalışması ile ilk kez bir döküm fabrikasında bacalara mıknatıs takılması uygulaması yapılmıştır. Metal tozu çıkışı olan proses bacalarına mıknatıs ünitesi kurulumu ile bacadan çıkan metal tozu emisyonu miktarı azaltılmaktadır.



Şekil 2: Mıknatıs takılan ünite örneği ve mıknatıs

Özel emisyonların ağırlığına göre emiş bölgeleri projelendirilmekte ve kullanılmaktadır.



Şekil 3: Aşağı koddaki uygulanan emiş sistemler

3.1.2 Atıkların tekrar kullanımı

Doğaya kontrolsüz olarak bırakılan atıkların çevreye olan etkileri çok çeşitlidir.

Suya atılan atıklar su canlılarına zarar vermekte, canlıların yaşamını olumsuz etkilemektedir. Aynı şekilde, doğaya atılan atıklar da toprağı kirletmekte, topraktayaşayan organizmaları, bitkilerin yaşamını tehdit etmekte, bitkilere ve su kaynaklarına buradan ulaşarak dünyaya zarar vermektedir. Doğanın bu olumsuz etkilerden korunması için çeşitli nitelikteki sanayi atıklarının yönetimi oldukça önemlidir. Yapılan iyileştirmelere ek olarak tesis atıkları tekrar kullanabilecek çalışmalar yapılması da kaynakların verimli kullanımı noktasında önemli bir iyi uygulama örneği olarak karşımıza çıkmaktadır.

Atıkların tekrar kullanımı konusunda yapılan iyi uygulamalar ve çevresel geri kazanımlar aşağıdaki gibidir.

Tesisin ürün gamı göz önünde bulundurulduğunda, büyük miktarda maça üretimine ihtiyaç duyulmaktadır. Yapısı gereği kırılmaya müsait maçalar, fire oldukları zaman, işçilik, malzeme ve enerji kaybına neden olmaktadır. Firelerin engellenmesi önceliğimiz olsa da, firelerin değerlendirilmesi için de çalışmalar yapılmaktadır.

Fabrika içine kurulan mekanik reklamasyon tesisi sayesinde, fire maçalar önce kırıcıda kırılmaktadır. Daha sonra inceltilmekte ve tozu alınmaktadır. Elde edilen maça firesi kumu belli oranlarda yeni maça kumuna ilave edilmektedir. Bu sayede hem hammadde hem de atık maliyeti azaltılmıştır.



Şekil 3: Maça firesi için kırıcı kullanımı

Benzer şekilde, eklemeli imalat yapan kum yazıcısının atık kumu, furan yarı otomatik kalıplama hattında değerlendirilmektedir.

Tüm fabrikadan çıkan demir çelik hurdaları, talaşları, yollukları ergitme bölümünde değerlendirilmektedir.

Kaynağında ayrı toplama etkinliğinin artması ile geri kazanılan atık oranının artırılması sağlanmaktadır. Bu durum sıfır atık yaklaşımı içinde oldukça önemlidir.

Kalıplama hatlarında AFS kontrolü ile kalıp kumunun döndü olarak kullanılması ve döndü malzemenin ve çapakların tesis içinde kullanılması da yaygın olarak birçok dökümhanede uygulanan geri kazanım faaliyetlerindedir.

3.1.3 Hurda demirli metalin dahili geri dönüşümü

Demir, çelik, bakır, kurşun, gibi maddelerin geri kazanılması ve tekrar kullanılması, doğal kaynaklarımızın tükenmesini önleyeceği gibi ülke ihtiyaçlarını verimli yönetmek için de oldukça önemlidir. Dökümhaneler de bu maddelerin yaşam boyu döngüsünü sağlayan önemli geri kazanım tesisleridir.

Metal geri dönüşümü küresel ısınma tehdidini azaltan önemli faktörlerdendir. Yapılan araştırmalar göstermiş ki; metallerin geri kazanılması için harcanan enerji, metallerinin madenlerden çıkartılması için gereken enerjiden çok daha azdır. Geri dönüşüm, enerji tasarrufunu sağlamanın yanı sıra CO2 emisyonunu da önemli oranda azaltmaktadır.

Hurda demirli metalin dahili geri dönüşümü konusunda yapılan iyi uygulamalar ve çevresel geri kazanımlar aşağıdaki gibidir.

Tesiste, motor bloğu, silindir kafası gibi üretim parametrelerinin sıkı kontrol altında olmasına ihtiyaç duyulan kompleks parçalar üretmektedir. Bu parametrelerin en başında da hammadde özellikleri gelmektedir. Satın alınan, pik ve hurdada; boyut, temizlik, boya ve galvaniz kalıntısı, yabancı madde, kimyasal analiz, radyoaktivite gibi bir takım testler yapmaktadır. Bu sayede geri dönüştürülen hurda kalitesi özenle izlenmektedir.

Dışarıdan alımlarda olduğu gibi, fabrika içi geri dönüşümde de sıkı tedbirler uygulanmaktadır. Üretilen döküm parçaların yaklaşık %85'i talaşlı imalata girmekte, haliyle bol miktarda metal talaşı da çıkmaktadır. Bu talaşlarda yine tesis içinde geri dönüştürülmektedir.

Tesiste önceliğimiz bu metal talaşlarının, parça kalitesini etkilemeyecek oranda azaltılmasıdır. Sandıklara ve modellere yapılan müdahaleler ile talaş miktarlarını azaltmaktır. Bu çalışmalar doğrudan hem hammadde tüketimini hem de enerji tüketimini azaltan faaliyetlerdir.

İşleme tezgâhlarından çıkan talaşlar soğutma yağlarını içermektedir. Suyla karışık bu yağların ocaklarda kaliteyi bozması ve istenilmeyen emisyonlar çıkarmasını engellemek için, önce makinede filtre edilir, ardından her makinede bulunan kaplarda süzdürülür, en son büyük konteynerlerde süzdürülerek kullanıma alınır. Bu yağların yeniden kullanılması ve daha etkin süzdürülmesi için, santrifüj ve briket sıkıştırma makineleri ile ilgili çalışmaları devam etmektedir.

3.1.4. Enerji verimliliği

Dünya üzerinde artan nüfus ve ihtiyaçlar göz önüne alındığında, enerji talepleri ve dolayısı ile enerji tüketimi de artış eğilimindedir. Enerji, insan ve toplum hayatının vazgeçilmez bir unsuru haline gelmiştir. Enerji ve kalkınma parametrelere de birlikte anılmaya başlamıştır. Bu çerçevede baktığımızda bu talebi karşılarken atılacak verimli kullanım adımları da önem kazanmaktadır.

Enerji tesisimiz için olduğu kadar ülkemiz için de büyük bir değerdir. Enerji, döküm sektöründe, hammadde ve işçiliğin hemen ardından maliyet kalemi olarak üst sıralarda kendisini göstermektedir. Bu potansiyel iyi yönetildiğinde büyük geri kazanımlar sağlanacaktır.

Enerji verimliliği konusunda yapılan iyi uygulamalar ve çevresel geri kazanımlar aşağıdaki gibidir.

Başta elektrik enerjisi olmak üzere, doğalgaz ve motorin dâhil sıkı takipler yapılmakta enerji verimliliğini sağlayacak projeler gerçekleştirilmektedir.

ISO 50001 standardı uygulanması ile bu çalışmalar hız kazanmıştır. Döküm fabrikasında görev yapan enerji yöneticileri ile faaliyetler tüm kademede izlenmektedir.

Düzenli aralıklar ile enerji etüdü yaparak, projeler doğurmaktadır. SCADA sistemi ile tüm fabrikalarındaki tüketim noktalarını dakikalık olarak takip edebilmektedir.



Şekil 5: SCADA takip ekranı

EPIAŞ verileri günlük takip edilerek, üretim planlamasının yanında enerjiyi de planlayarak ucuz elektriğe ulaşılmaktadır. Bu çalışma kapsamında enerji maliyetinin düşük olduğu saat aralıkları belirlenerek plandaki ağır işlerin bu zaman dilimlerinde tamamlanması sağlanmaktadır.

3.1.5 Hammadde tüketimini azaltma ve hurda geri dönüşümü

Tabii kaynakların sınırsız olmadığı bir gerçektir. Kaynakların verimli kullanılmadığı takdirde bir gün tükeneceği de kabul edilmelidir.

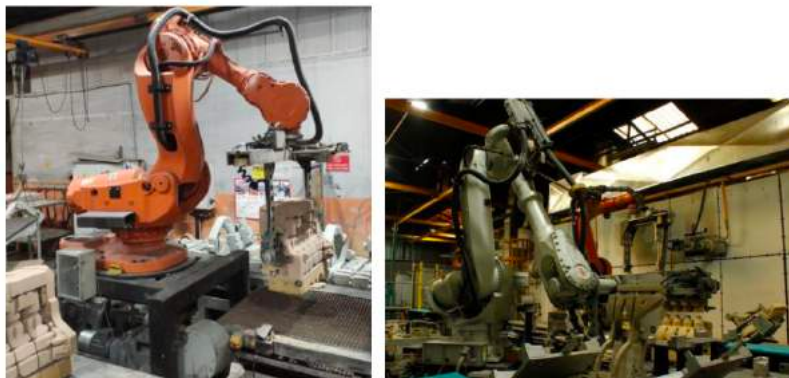
Bu noktada, malzemeleri nasıl daha az kullanılabilir şekilde soracağımız basit bir soru ile kaynakları verimli kullanmanın yolu açılacaktır.

Hammadde tüketimini azaltma ve hurda geri dönüşümü konusunda yapılan iyi uygulamalar ve çevresel geri kazanımlar aşağıdaki gibidir.

Tesiste ilk olarak FMEA aşamasında, olabildiğince küçük ağırlıktaki maçalar için tasarım yapılmaktadır. Mevcut parçalarda ise sandık ve modellere müdahaleler ile maça ağırlıklarının azaltılması çalışması uygulanmaktadır. Bu sayede girdiler verimli kullanılmaktadır.

Maçalarda reçineli kalıplamada, daha az reçine ile istenilen mukavemetin yakalanması için tedarikçi firma işbirlikleri ile sürekli daha iyisi hedeflenmektedir.

Maça boyama noktalarında, robotik çözümler ile daha etkin daldırma, daha az taşıma sağlanarak hammadde tüketimi azaltılmaktadır. Ayrıca viskozite takibi ve yeni ürün denemeleriyle maçanın emdiği boya miktarını azaltıcı çalışmalar yapılmaktadır.



Şekil 6: Robotla üretim

Maça montajında kullanılan dübel, vida, montaj somun ve pulu üzerinde adet azaltma veya metod değiştirerek bu bağlantı etmenlerini kaldırma üzerine faaliyetler yürütülmektedir.

Temizleme bölümünde, çelik elmas taşlar kullanılarak hammadde kullanımı azaltılmıştır. Periyodik olarak taş kullanım eğitimleri verilmektedir. Ek olarak, taş tedarikçileri ile seminerler gerçekleştirilerek taşların ömrünü uzatacak bakım uygulamaları, uzun süreli taş kullanımı için taşlama açıları konularında operatörler bilgilendirilmektedir. Teknolojik yatırımlarla devreye alınan makinalarla hammadde ve malzeme tasarrufları sağlanmaktadır.



Şekil 7: Taşlama makinası

Mevcut üretim akışında; müşteriler prototip parça talep ettiklerinde standart bir motor bloku için ortalama 12 sandık imal edilmesi, ardından bu sandıklara yönelik tek tek simülasyon çalışmalarının gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Gerek sandık imalatı olsun gerek denemelerde 12 sandığın devreye alınması süresince yaşanan setup ve ayar duruşları olsun standart prototip imalatı; zaman, malzeme, enerji ve maliyet açısından iyileştirilmesi gereken bir süreçtir.

Bu nedenle yapılan 3D printer yatırımı ile prototip parça üretiminde ham madde, malzeme, zaman ve enerji kazanımları gerçekleştirilmiştir.



Şekil 8: 3D yazıcı ile üretim

3D yazıcı ile maçaların tasarım dosyaları sisteme yüklenerek üretim hızlı ve hatasız şekilde, fire olmaksızın gerçekleşmektedir. Bu durumun diğer önemli etkisini hem prototip imalat süresinin %40 iyileşmesi ile hem de süreç boyunca kullanımı azalan ham madde ve malzeme miktarı ile ölçebiliyoruz.

Paretoda öne çıkan tüm hammaddelerin özgül tüketimleri düzenli olarak takip edilerek, yükseliş gösterdiği noktalarda sorgulama yapılarak önlemler alınmaktadır. Sistematik çalışma için de kaizen projeleri başlatılmaktadır.

3.1.6 Su tasarrufu ve atıksuların azaltılması

Dünyadaki su rezervlerinin sadece %1'i kullanılabilir su kaynağı durumundadır. Her geçen gün artan su ihtiyaçları düşünüldüğünde gelecek nesillerin temiz suya ulaşmasının önündeki engellerin kaldırılması sürdürülebilir bir yaklaşım için önem kazanmaktadır. Artan ihtiyaçlara karşı su kirliliği de bu hedefe yaklaşmak için büyük bir engel niteliğindedir. Küresel ısınma, deniz seviyelerindeki yükseliş, yaygınlaşan seller, kuraklıklar ve buzların erimesi suyun kalitesini etkilemektedir.

Dökümhanelerde yapılacak su tasarrufu uygulamaları, atıksuların niteliğinin iyileştirilmesi çalışmalarında önemli bir sonuca hizmet edecektir.

Su tasarrufu, atıksuların azaltılması konusunda yapılan iyi uygulamalar ve çevresel geri kazanımlar aşağıdaki gibidir.

Tesislerde gerçekleşen su tüketimleri takip edilerek, tesisatlar da oluşabilecek kaçakların tespiti izlenmekte, tedbirler alınmaktadır.

Bahçe sulamaları, bitkilerin cinsine göre damla sulama metodu ile yapılmaktadır.

Duşlar ve tuvaletlerde su tasarrufu sağlayacak bataryalar ve başlıklar kullanılmaktadır. Çalışanlara konuyla ilgili sürekli eğitim verilmektedir.

Ozmos atıksuların fabrika içinde değerlendirilmesi yatırım çalışması için proje başlatılmıştır. Çalışma sonucunda atıl nitelikteki su, rezervuar suyu olarak değerlendirilecektir. Bu sayede hem su tasarrufu sağlanacak hem de enerji tasarrufu sağlanacaktır.

3.1.7 Gürültü azaltma

Gürültü kirliliği, sesin rahatsız edici derecelere ulaşarak, fiziksel, fizyolojik ve psikolojik olarak insanları olumsuz etkilemesi durumu olarak ifade edilir. Çevresel gürültü de, insan faaliyetleri neticesinde oluşan zararlı veya istenmeyen açık hava sesleri olarak tanımlanmaktadır. Gürültü kirliliği hem insan sağlığı hem de çevre açısından yönetilmesi gereken önemli bir konudur. Gürültünün azaltılması kaynaktan olmalıdır. Ancak çoğu zaman imal edilmiş bir makinenin düzeltilmesi pek mümkün olmamakta ya da iyileşmeye belli bir seviyeye kadar müsaade etmektedir.

Gürültünün azaltılması konusunda yapılan iyi uygulamalar ve çevresel geri kazanımlar aşağıdaki gibidir.

Makine yatırımları öncesinde erken ekipman yönetimi olarak ifade ettiğimiz değişiklik yönetimi süreci başlatılmaktadır. Bu süreçte sorguladığımız noktalardan biri de gürültü seviyesidir. Satınalma için seçilen makinaların gürültü seviyeleri bizim şartname limitlerimizin üzerinde kalıyorsa, imalatçı firmadan tasarımı değiştirerek ya da mühendislik çözümleri ile gerekli ses düzeyinin sağlanması talep edilmektedir.

Tesiste düzenli olarak ses seviyesi ölçümleri yapılarak, gürültü haritası çıkartılmaktadır. Gürültülü makineler için yapabiliyorsak mühendislik çözümleri ile gürültü azaltma projeleri gerçekleştirilmektedir. Yapamıyorsa da makineyi izole ederek, çalışanların asgari etkilenmesini sağlanmaktadır.

3.1.8. Basınçlı hava ve kompresörlerde verimlilik

Kompresörler, belki de dünyadaki makinelerin içinde en verimsiz olanlarıdır. Havayı sıkıştırırken bolca ısı da üretmektedirler. Bu nedenle israf potansiyelleri oldukça yüksek olan, iyileştirme çalışması yapılacak öncelikli kaynaklardır.

Basınçlı hava ve kompresörlerde verimlilik konusunda yapılan iyi uygulamalar ve çevresel geri kazanımlar aşağıdaki gibidir.

Yeni ekipman alırken, bu ekipmanın gereksinim duyduğu hava basıncını asgari düzeyde talep edilmektedir.

Mevcut makinelerin ihtiyaç duyduğu basınç değerlerini iyileştirmeler ile düşürülmektedir.

Ana tesisatlar, borular, vanalar, direklerdeki kaçakları düzenli kontroller ile hızlı şekilde düzeltmektedir.

Kullanılmayan noktalara, hava göndermeyecek şekilde, vana yerleşimleri yapılmaktadır. Belirli aralıklarda doldur - boşalt metodu ile kayıp kaçak oranını tespit edilmektedir.



Şekil 9: Kaçak tespiti örnek çalışma

3.1.9 Atık ısının geri dönüşümü

Enerji kaynaklarının verimli kullanımını sağlamak için uygulayabileceğimiz bir diğer çalışmada atık ısının değerlendirilmesidir. Atık ısı da dökümhanelerde üretim ihtiyaçları sonucu çıkan değerlendirilebilir bir atık olarak karşımıza çıkmaktadır. Atık ısının değerlendirilmesiyle, daha az yakıt tüketimi sağlanacak, bu sayede hava kirliliği azaltılmış olacak, termal kirlenme önlenecek, arıtma tesislerinin yükü de hafifletilmiş olacaktır.

Atık ısının geri dönüşümü konusunda yapılan iyi uygulamalar ve çevresel geri kazanımlar aşağıdaki gibidir.

Kompresördeki atık ısıdan eşanjörler marifeti ile sıcak su elde edilmektedir. Böylece azalan yakıt tüketimi sebebi ile karlılık sağlanmaktadır. Atıl sıcak su kullanımı ile de kaynak tasarrufu sağlanmaktadır.

3.1.10 Hammadde, malzeme ve atık depolama

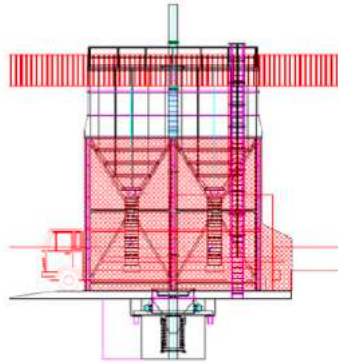
Malzeme depolama ve atık depolama işlemleri, toprak, hava ve su kirliliğine neden olmayacak şekilde kurgulanmalıdır. Basit gibi görünen bir depolama işlemi, çevre için zararlı sonuçlar doğurabilir.

Hammadde, malzeme ve atık depolama konusunda yapılan iyi uygulamalar ve çevresel geri kazanımlar aşağıdaki gibidir.

Hammadde ve yardımcı malzemeler üstü kapalı, beton ve sızdırmaz zemine sahip bölmelerde, özelliklerine göre ayrı odalarda depolanmaktadır. Sızıntı sularının alıcı ortama ulaşması engellenmektedir.

Kimyasal depolar içinde ek önlemler de; sızıntı toplama kuyuları, acil durum talimatları, depolama kısıtları, kimyasalların son kullanma tarihi takibi, alan işaretlemeleri olarak sıralanabilir.

Sektörün en büyük atık kütlesi olan kum kategorisindeki atıkların depolanması ve yönetimi de oldukça önemlidir. Uzun yıllardır yığma yerine big-bag çuvalarla depolama yapılmaktaydı. Bu sayede tozuşma engellenmiştir. 2020 yılında gerçekleştirdiğimiz atık depolama silosu yatırımı ile atık kum depolama yöntemimizi geliştirdik. Yeni uygulamada; elenerek sisteme alınan atık kum, silodan körüklü boşaltma ile atık kamyonuna yüklenmektedir. Sistemin çevresi kapalıdır. Toz problemi olmaksızın, atıklar geri kazanım tesisine gönderilmektedir. Sistemin girişinde bulunan manyetik seperatör yardımı ile tesis içi geri dönüşüme uygun atıklar da bu aşama tekrar alınarak tekrar değerlendirilmektedir.



Şekil 10: Atık kum silosu

4. SONUÇLAR

Tesiste uygulanan, atıkların tekrar kullanımı, kaynağında etkili ayrı toplama çalışmaları, teknolojik yatırımlar, eğitim uygulamaları saha denetimleri, verimlilik arttırıcı projeler, hava emisyonların azaltılması için yapılan çalışmalar, kaçak emisyonların engellenmesi için yürütülen faaliyetler ve çalışanların katılımı için yapılan teşvik edici uygulamalar sonucunda, birçok performans kriterinde iyileşmeler gerçekleşmiştir.

İyileşme gösteren performans göstergelerinden ilki, atıkların geri kazanım oranında, yıllara göre artış olmasıdır. Tehlikeli atıkların %90'ı, kum kategorisindeki atıklarında %85'i geri kazanım tesislerinde geri kazanılmaktadır. Atık kum kategorisindeki atıkların yıllara göre artan geri kazanım oranı grafiği aşağıdaki gibidir.



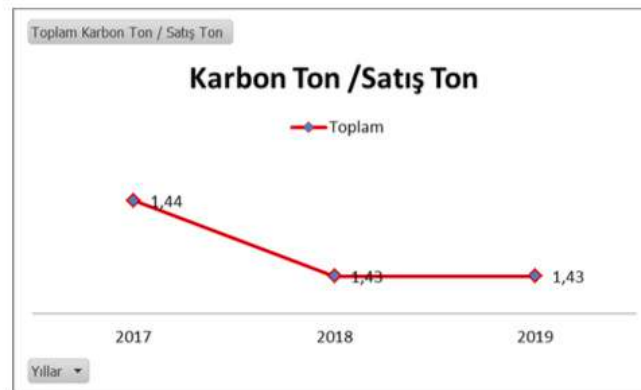
Şekil 11: Atıkların geri kazanım oranı

İyileşme gösteren performans göstergelerinden bir diğeri, hava emisyonlarında görülen azalıştır. Hava emisyonların azaltılması, kaçak emisyonların engellenmesi için yapılan yatırımlar, kontroller ve farkındalık artırıcı iç eğitimler sonucunda emisyon miktarındaki azalışı gösteren grafik aşağıdaki gibidir.



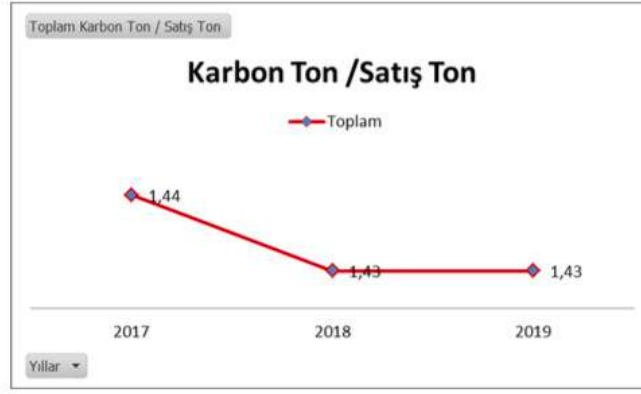
Şekil 12: Emisyon miktarındaki azalış

İyileşme gösteren performans göstergelerinden bir diğeri de karbon emisyonunda azalış eğiliminin yakalanmasıdır. Tesislerimizde uygulan etkili kontrol yöntemleri ile yakalanan karbon emisyonunda ki azalış eğilimine ait grafik aşağıdaki gibidir.



Şekil 13: Karbon miktarındaki azalış

Her geçen yıl, tesis içinde gerçekleştirilen proje sayıları artış göstermektedir. Çünkü, iyileştirmenin bir sınırı olmadığı kabul edilmektedir. Proje sonunda gerçekleşen iyileşmeler ve çizilen olumlu grafiklerle proje sürecine katılan katılımcı sayıları da her geçen yıl arttırmaktadır.



Şekil 14: Proje katılımcılarında ve proje sayılarında gerçekleşen artış

Sonuç olarak; sürdürülebilirlik ilkesi ile atılan ekonomik büyüme adımları, çevre korumaya hizmet etmektedir. Gelişim ve temiz üretim arasında kurulan doğru ilişki sonunda, çalışanların katılımı ile entegre kirliliği önleyecek uygulamalar sonuç vermektedir.

5. KAYNAKLAR

1. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Çevre Kanunu ve Yönetmelikler
2. Erkunt Sanayi A.Ş., Emisyon Ölçüm Raporları, 2019,2017,2015
3. Erkunt Sanayi A.Ş Atık Beyanları, 2019,2018,2017
4. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Sıfır Atık Yönetim Sistemi Uygulama Kılavuzları,2020

DÖKÜMLERİN OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDEKİ GELECEĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Nazım NARÇİN

Valeo Otomotiv Sanayi ve Ticaret A.Ş., Bursa, Türkiye

ÖZET

Döküm sektörü, geçmişten günümüze kadar önemini yitirmeden gelebilmiş yegane üretim sektörlerinden birisidir.

Son yıllarda, çevreyi koruma baskılarının bir sonucu olarak, dünya otomotiv sektörü egzost gazı salınımlarını sifira indirgemeye yönelik ciddi çalışmalar yapmaya başladı. İçten yanmalı motorlu araçlar, yerlerini yavaş yavaş hibrit, elektrik şarjlı hibrit veya tamamen elektrikli araçlara bırakıyor.

Elektrikli araçlara geçişin doğal bir sonucu olarak, otomotive döküm parça tedarik eden döküm sektörünün de bu durumdan etkileneyeceği aşikardır. Elektrikli araç türüne bağlı olarak araçlarda kullanılan döküm türleri değişiklik gösterecek, bazı döküm türlerinin araçlardaki payı azalırken, diğer bazı döküm türlerinin payı artacaktır.

Bununla birlikte, binlerce yıldır hayatımızda olan dökümler, gelecekte de, belirli kapasite seviyeleri ve rekabet edebilir fiyatlarla hayatımızda yeralamaya devam edecektir.

Anahtar kelimeler: Döküm sektörü, döküm, otomotiv, hibrit, elektrik şarjlı hibrit elektrikli araç.

ABSTRACT

Casting industry is one of the only production sectors that have come without losing importance from the past to the present. After humanity recognizes the metal, as a result of the work of shaping it with its modern application techniques, it enables the castings to appear almost everywhere in human life.

Recently, as a result of environmental protection pressures, the world of automotive industry has begun to work seriously to reduce exhaust gas emissions to zero. Vehicles with internal combustion engines are gradually leaving their place to hybrid, electrically charged hybrid or fully electric vehicles.

As a natural result of the transition to electric vehicles, it is obvious that the casting industry, which supplies automotive casting parts, will also be affected. Depending on the type of electric vehicle, the types of casting used in vehicles will vary, while share of some types of casting in vehicles will decrease, the share of other types of casting will increase.

However, the castings which have been in our lives for thousands of years they will continue to take place in our future life with certain capacity levels and competitive prices.

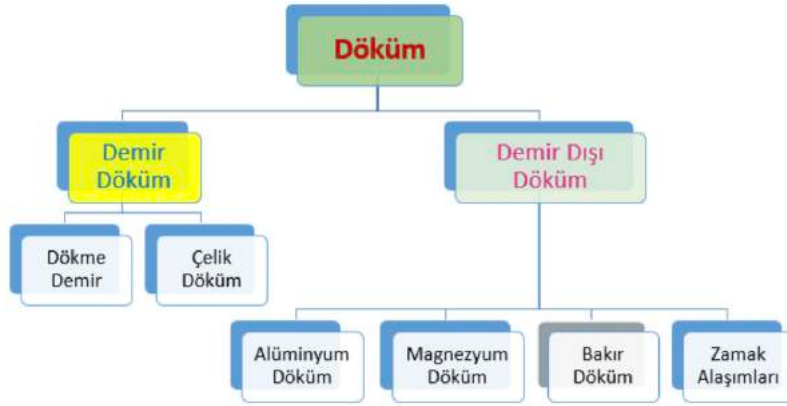
Keywords: Casting industry, casting, automotive, hybrid, electrically charged hybrid, electric vehicle.

1. GİRİŞ

Döküm sektörü, geçmişten günümüze kadar önemini yitirmeden gelebilmiş yegane üretim sektörlerinden birisidir. İnsanlığın metali tanımasından sonra, ona şekil verme çabalarının sonucu olarak, günümüzün modern uygulama teknikleriyle birlikte, insan hayatının hemen hemen her yerinde dökümleri görmek mümkündür. Makina imalat sanayi, beyaz eşya üretimi, otomotiv inşaat sektörü, ulaşım, çimento sanayi, madencilik, enerji üretimi, belediyeler ve hatta sağlık sektörü gibi değişik sektörlerde, dökümlerin uygulama alanlarını görürüz.

2. UYGULAMA ALANLARI

Döküm tanımı, demir-çelik dökümler ve demir dışı dökümler olarak iki ana başlık altında toplanabilir. Bu iki ana metal döküm grubunu da kendi içinde alt başlıklarla gruplandırmak mümkündür. Dökümlerin basit bir gruplandırılması, Şekil-1 de görülebilir [1].



Şekil 1: Dökümlerin gruplandırılması.

1. Makina imalat sanayi: Değişik döküm malzeme grupları makina imalat sanayinde yaygın olarak kullanılır. Dökme demir gövdeler, çelik flanşlar, alüminyum muhafaza kutuları gibi döküm parçalar değişik amaçlı kullanılan makinelerin bileşenleri olarak kullanılır.
 2. Beyaz eşya sektörü: Çamaşır makinalarının dökme demirden rulman yuvaları soğutucuların gövdeleri ve krank milleri dökme demir malzemelerden olup, beyaz eşya sektöründe yaygın kullanım alanı bulur.
 3. Otomotiv: Döküm malzeme gruplarının tamamının yaygın olarak kullanıldığı bir ana üretim koludur. Dökme demirden veya alüminyum dökümden motor blokları yatak kepleri yüksek basınçlı alüminyum dökümden muhafazalar, alüminyum dökümden elektronik kontrol üniteleri ve daha birçok döküm malzeme, otomotivde yaygın kullanım alanı bulur.
 4. Çimento sanayi: Sert çelik döküm bilyalar kırıcı olarak kullanılır.
 5. Enerji üretimi: Rüzgar enerji santrallerinde kullanılan gövdeler tutucular.
 6. Belediyeler: Parklarda kullanılan süslü döküm çitler, rögar kapakları.
- Bazı döküm örneklerinin görselleri, Foto-1 den, Foto-5 e kadar verilmektedir.



Foto-1: Rüzgar türbini (Sfero döküm).



Foto-2: Motor bloğu (Pik, Sfero, Alüminyum döküm).



Foto-3: Tencere tava (Pik döküm).



Foto-4: Rögar kapağı (Sfero döküm).



Foto-5: Bulgar Kilisesi.

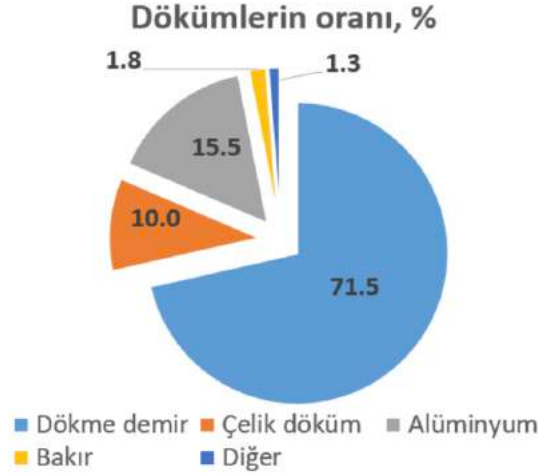
Döküm örneklerinin görsellerinden görüleceği gibi, dökümler hemen hemen her alanda kendilerine yer bulmuşlardır. Hatta, Foto-5 te görülen Bulgar Kilisesi de bunlardan birisidir. Bu muhteşem yapı Balat' ta olup, Sveti Stefan Kilisesi veya diğer bir deyişle Demir Kilise olarak da bilinir. Kilisenin dış cephesi, 19. Yüzyılda, Avusturya' da tamamen dökme demirden parça parça üretilir. Parçalar Tuna nehri yoluyla Türkiye' ye getirilir ve bugünkü yerinde, bu dökme demir parçaları birleştirilir.

3. Dünya döküm üretimi ve eğilimi

2020 yılında dünya döküm üretimi, bir önceki yıla göre %4 civarında azalarak, 105,5 milyon ton olarak gerçekleşti. Döküm üretiminin döküm türüne göre dağılımı, Tablo-1 ve Şekil-2 de verilmektedir [2].

Döküm türü	Üretim (x106 ton)
Dökme demir	73,9
Çelik döküm	10,3
Alüminyum	16,0
Bakır	1,9
Diğer	1,3

Tablo-1: Döküm üretiminin döküm türüne göre dağılımı.



Şekil 2: Döküm türüne göre döküm üretiminin dağılımı (2020).

Bu arada, ülkemiz adına sevindirici bir bilgiyi paylaşmak bizi mutlu ediyor. Türkiye 2020 yılında dünya döküm üretiminde, 2,2 milyon ton üretim rakamı ile dünya döküm üretiminde dokuzuncu sıradaki yerini korudu, Avrupa döküm üretiminde de ikinci sırada yer aldı [2,3].

Dünya genelinde, ülkelerin gayri safi yurtiçi hasıllarının (GDP: Gross Domestic Product), 2020 yılında %4,4 azaldığı ifade edilmektedir [3]. Bunun tek istisnası, %1,9 luk artış kaydeden Çin' dir. 2020 yılındaki ciddi düşüşün ardından, 2021 yılında dünya genelinde gayri safi yurtiçi hasılanın, %5,2 oranında artış göstereceği öngörülmektedir [4].

Korona salgınının etkilerinin 2020 yılında dünya genelinde belirgin bir şekilde hissedilmesine rağmen, dünya ekonomilerinin toparlanması beklentisi ile uyumlu olarak 2021 ve sonrasında,

iyimler beklentilerin bütün sektörler gibi döküm sektörü için de geçerli olması beklenebilir. Korona salgını öncesinde yapılan tahminler doğrultusunda, 2020 ile 2025 yılları arasında dünya döküm üretiminin mevcut üretim seviyesini koruması ve her bir yıl için, 108 ile 110 milyon ton arasında gerçekleşmesi öngörülmekteydi [5].

Korona salgını sonrasında, yakın gelecekteki döküm üretim öngörülerinin güncellenmesine ihtiyaç olduğu aşikardır. Korona salgınının dünya ekonomisini sallamasının ardından, metal sanayi toparlanmaya çalışıyor. 2020 yılında global ekonomik göstergelerde, İkinci Dünya Savaşından sonraki en keskin düşüşün olması beklenmektedir [6].

Global demir ve çelik döküm üretimi, 2018 yılında 90 milyon ton seviyesinde iken 2020 yılında %6,4 seviyesinde azalma ile 84,2 milyon tona geriledi. Çin' in 2020 yılında demir çelik döküm üretimi önemli ölçüde artmasına rağmen, başta Kuzey Amerika ve Avrupa olmak üzere, dünyanın diğer bölgelerindeki üretimdeki azalmanın bu düşüşe etkisi olduğu söylenebilir [2,6].

1. Demir döküm: Dünya genelinde, 2020 yılında, 84,2 milyon ton demir döküm üretim gerçekleştirildi. Bu üretim değeri, 2018 ile karşılaştırıldığında, yaklaşık %6,5 luk bir azalmaya denk gelmektedir. En büyük üretim azalmasının, 6,2 milyon ton ile Batı Avrupada gerçekleştiği görülmektedir. Burası, en uzun kapanmaların olduğu ve otomotiv endüstrisinin yavaş bir başlangıç yaptığı bölgedir. USMCA ülkelerinde hafif bir artış olmakla birlikte, Doğu Avrupa ve dünyanın kalanında ise üretimin, yaklaşık %20 oranında düştüğü görülmektedir [2].

Demir dökümlerin üretiminin azalması, Avrupada ülke bazında değişiklik göstermektedir. En keskin düşüş, korona salgınının ilk dalgasının ciddi şekilde çarptığı İtalya' nın döküm üretimlerinde görülmektedir. Almanya' daki dökümhaneler de 2020 yılında siparişlerin önemli ölçüde düşmesinden şikayetçiler. Otomotivden gelen sipariş azalmalarına ilave olarak, diğer sanayilerin tedarik zincirlerindeki geçici kesintiler talebin azalmasına sebep oldu. Doğu Avrupa dökümhaneleri, özellikle Rusya ve Ukrayna' dakiler ve hatta Türkiye' deki dökümhaneler, bastırılmış talepler ve düşük kapanmalar dolayısı ile krizin üstesinden geliyorlar [6].

Herşeye rağmen, 2021 ve 2022 yıllarında, Avrupada demir dökümlerde bir toparlanma beklentisi sözkonusudur. En iyi koşullarda, kriz öncesi seviyeye kısa sürede erişmesi beklentisi mevcuttur. Bununla birlikte, 2022 ile 2025 yılları arasında üretim tonajında tekrar düşüş olması bekleniyor. Bunun en temel nedenlerinden birisi düşük ağırlık tasarımlarına doğru eğilim ve e-mobilitedeki daha fazla ilerlemelerdir. Geleneksel bir içten yanmalı motor batarya ile yer değiştirdiğinde aracın toplam ağırlığı artacaktır. Batarya gövdesi alüminyum dökümden olacaktır. Bununla birlikte, aracın diğer bölgelerinden ağırlık azaltılmalıdır. Bu, yapısal komponentlerin bölgesinden, örneğin, diğer döküm komponentlerinden yapılacaktır [6].

Dökümlerin ağırlığının azaltılmasının etkisi, önümüzdeki beş yılda önemli tonaj azalması olarak hissedilecektir. Buna ilave olarak, çok sayıda döküm parçası alüminyum ile yer değiştirecektir.

3.2. Alüminyum döküm: Global alüminyum döküm üretimi, 2020 yılında, 16 milyon ton seviyesinde gerçekleşti. Bu üretim seviyesi, 18,9 milyon ton olan 2018 yılı üretiminden yaklaşık, %15 daha azdır. Çin, 2020 yılında 7,3 milyon ton ile rekor seviyede bir üretim gerçekleştirdi. Sonraki yıllarda, Çin' in alüminyum döküm üretimini bu seviyede tutması veya hafifçe arttırması beklenebilir. [2,6].

Asyadaki düşük üretimler; Hindistan, Japonya ve Güney Kore' deki üretim azalışlarından kaynaklanıyor. Uzun dönemde, Japonya ve Güney Kore dökümcüleri üretim kapasitelerini Çin' e kaptıracaklar. İlave olarak, Vietnam ve Endonezya gibi ülkeler, orta vadede ilgi odağı olacaklar. Buralarda yeni kapasiteler kuruluyor. Doğu Avrupada üretimin sadece %10 oranında düşmesi bekleniyor. Özellikle uluslararası döküm gruplarının yeni fabrikalar kurmalarının, üretim tonajına pozitif etkisi olacak. 2022 de yeni bir üretim rekoru beklentisi mevcut. Bununla birlikte, 2021 ve 2022 de global otomotiv endüstrisinde ve makina mühendisliğinde tekrar büyük üretim kayıpları olmayacağı varsayılmaktadır [6].

Çin' in yıllık alüminyum döküm üretimini 8 milyon tona yükseltmesi beklenmektedir. Bununla birlikte, Avrupa ve USMCA ülkelerinin de, diğer malzemelerin ve üretim teknolojilerinin maliyetleri bazında ikame çalışmalarında başarılı olması tahmin ediliyor. Yapısal komponentler segmenti büyük fırsatlar sunmaktadır. Örneğin; Tesla e-araçları için, büyük parçaları alüminyum dökümden tek parça olarak üretmek istiyor ve yeni döküm makinalarına yatırım yaptı [6].

Batı Avrupada, Almanya, lider alüminyum üreticisi pozisyonunu devam ettirebilecek. İtalya hızlı bir toparlanma gösterecek. Türkiye' yi de içeren Doğu Avrupa, en güçlü gelişmeyi kaydedecek. Slovakya, Macaristan ve Romanya' ya ilave olarak Hırvatistan gibi bazı küçük ülkelerin gelişme kaydedeceği tahmin edilmektedir. Türkiye yüksek yabancı yatırımlarından fayda sağlamış olmakla birlikte, -Merkez Bankasının bağımsızlığına yapılan müdahaleler, döviz kuruındaki keskin düşüş ve siyasi rahatsızlıklar nedeniyle- ciddi bir itibar kaybına uğramış olmaktadır şikayet ediyor [6].

Bununla birlikte, döküm sektörü için bir risk ve fırsatlar değerlendirilmesi yapıldığında yakın gelecekte döküm sektörünü olası riskler ve fırsatların beklediği de söylenebilir.

a) Olası riskler içerisinde; ülke riski (ekonomik, politik), hammadde fiyat artışı global kriz proses değişkenliği, ambargolar, coğrafi bölge dezavantajları (mesafe nakliye), yüksek enerji maliyeti rekabet edebilirlik sayılabilir.

b) Bunun yanısıra, döküm sektörünü olası fırsatlar da beklemektedir. Bunlar; yeterlilikler (beceriler, tecrübe), tedarikçi seçimi, kapasite artış talepleri, teknoloji kullanımı, yeni teknolojilere uyabilme isteği, maliyet verimliliği, endüstri 4.0 otomotiv endüstrisi ve diğer endüstrilerden talepler olabilir.

4. Otomotiv endüstrisinin geleceği

Özellikle, gelişmiş ülkelerin, çevre korumaya yönelik olarak, egzoz gazı salınımlarını kısıtlamaları yönünde ciddi uygulamalar ve yaptırım baskıları ile birlikte otomotiv endüstrisi, uygulamalarını gözden geçirmeye ve daha çevreci motorlar ve araçlar üretmeye başladı. Bunun yanısıra, 2014 te ABD de, EPA (Çevre Koruma Kurumu) ile Volkswagen firması arasında patlak veren, dizel emisyon skandalı ve sonrasında yaşanan süreç, otomotiv endüstrisini, çevreci araçlar üretmek konusunda daha kararlı adımlar atmaya ve uygulamaya zorladı. Bunun doğal bir sonucu olarak, hibrit araç olarak tanımlanan, benzin motoru veya dizel motoru ile birlikte çalışan ve elektrik motoru içeren araçların tasarlanma ve seri üretime alınma süreçleri hızlandı. Ayrıca, egzoz atık gazları için "0 emisyon" hedefine uygunluk sağlamaya yönelik olarak, tam elektrikli araçların tasarım ve seri üretime alınma evresine geçilmeye başlandı.

Dünyanın birçok ülkesinde, temiz hava eylem planlarının oluşturulmaya başlanması var olan planların yenilenmesi ve yeni enerji politikalarının oluşturulmasına, büyük otomotiv üreticileri duyarsız kalamadılar. Bunun neticesinde, 1990 lı yılların ortasında, GM ilk elektrikli araç olan EV1 i üretti. Toyota, 1997 yılında Prius modelini ve 2008 de Tesla Roadster modelini üretti. 2010 dan itibaren büyük otomobil üreticileri, elektrikli araçlar üzerinde çalışmaya ve değişik özelliklerde araçlar üretmeye başladılar [7].

Yakın geçmişten günümüze kadar geliştirilen elektrikli araçlar, üç ana başlık altında toplanabilir [8].

1. Elektrik bataryalı araçlar (BEV- Battery Electrical Vehicles): Şarj edilebilir batarya içeren ve içten yanmalı motor olmayan tam elektrikli araçlardır. Batarya gücü, elektrik motorunu ve bütün elektronik bileşenleri çalıştırmak için kullanılır. Elektrik bataryalı araçlar, 4 ile 8 saat arasında şarj edilebilmekte olup, bir şarj ile yaklaşık, 150 kilometreye kadar yol yapabilmektedir. Bu tür araçlara; Tesla Model3, BMW i3, Toyota Rav4, Volkswagen e-Golf örnek verilebilir.

2. Plug-in hibrit elektrikli araçlar (PHEV- Plug-in Hybrid Electric Vehicles): Bu araçlar çalışırken kendini şarj edebilir veya harici bir elektrik kaynağına bağlanarak şarj edilebilir. Plug-in hibrit araçlar, içten yanmalı motorları devreye girmeden, 15-65 km mesafe yol katedebilirler. Chevy Volt, Mercedes C350e Audi A3 E-Tron, BMWi8, Toyota Prius bu tür araçlara örneklerdir.

3. Hibrit elektrikli araçlar (HEV- Hybrid Electrical Vehicles): Benzinli ve elektrikli motorlar ile birlikte çalıştırılırlar. Elektrik enerjisi, aracın kendi frenleme sisteminin bataryayı şarj etmesiyle üretilir. Hibrit elektrikli araçlar elektrik enerjisiyle çalışmaya başlar, yüklenme ve hızlanma arttıkça benzinli motor devreye girer. Örnek olarak; Toyota Prius Hibrid, Honda Civic Hibrid Toyota Camry Hibrid verilebilir.

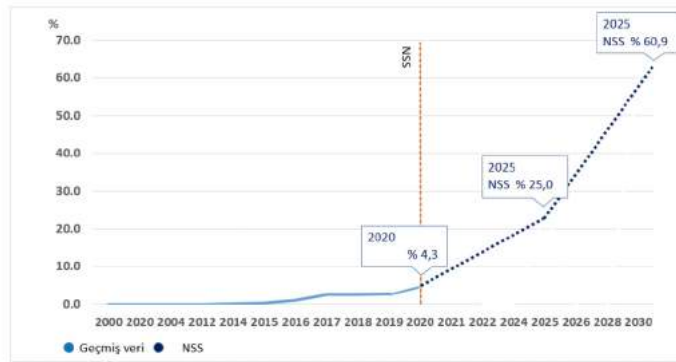
Elektrikli araçların basit bir görsel karşılaştırması, Şekil-2 de verilmektedir [9].

				
	GELENEKSEL	HİBRİT	PLUG-IN HİBRİT	ELEKTRİK
ENERJİ KAYNAKLARI				
TÜKETİM				
EMİSYON				

Şekil 3: Elektrikli araçların karşılaştırılması.

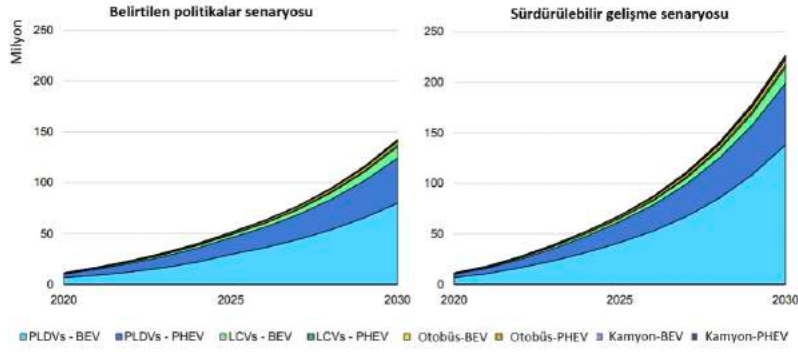
Elektrikli araç satışları, 2020 yılında, 3 milyon adetlik bir rekor değerinde gerçekleşerek 2019 yılının %40 üzerinde gerçekleşti. Global elektrikli araç stoğu, 7,2 milyondan 10 milyona yükseldi. Bu güçlü büyüme, Covid-19 krizi nedeniyle, %16 daralan küresel otomobil pazarındaki genel durgunlukla tam bir tezat oluşturuyor [10].

Global elektrikli araç payının, 2020 yılındaki rekor satışla %4,3 e gelmesi sonrasında 2020 ile 2030 yılları arasındaki net sıfır senaryosu, Şekil-4 te verilmektedir [10].



Şekil 4: 2020-2030 yılları arasında sürdürülebilir gelişme senaryosu (SGS).

Global elektrikli araç stoğu için, mevcut hükümet politikalarını içeren belirtilen politikalar senaryosu ve Paris Anlaşmasının iklim hedefleriyle tamamen uyumlu sürdürülebilir kalkınma senaryosu olmak üzere iki senaryo dikkate alınıyor. Belirtilen politikalar senaryosuna ve sürdürülebilir gelişme senaryosuna göre global araç stoğunun gelişimi Şekil-5 te verilmektedir [11].



Şekil 5: 2020-2030 yılları için elektrikli araç stoğunun belirtilen politikalar senaryosu.

NOT-1: Belirtilen Politikalar Senaryosu: Belirtilen Politikalar Senaryosu (STEPS= ADIMLAR), uluslararası enerji ajansının (IEA) amiral gemisi olan, “Dünya Enerji Görünümü” ve “Enerji Teknoloji Perspektifleri” raporlarını esas alan temel senaryodur. Bu senaryo, dünya çapında hükümetler tarafından yasalaştırılmış veya açıklanmış tüm politikaları, istekleri ve hedefleri yansıtır. Ayrıca, elektrikli araçlar ile ilgili mevcut politikalar ve düzenlemelerin yanısıra, endüstri paydaşları tarafından duyurulan uygulamaların ve planların olası etkilerini de dikkate alır. Bu senaryo politika yapanların planlarına ayna tutmayı ve bunların sonuçlarını göstermeye hedefler [11].

NOT-2: Sürdürülebilir gelişme senaryosu (SGS): Bu senaryo, üç sacayağına dayanır; 2030 yılına kadar herkes için evrensel enerji erişimi sağlamak, hava kirletici emisyonlarını kesin şekilde azaltmak ve Paris Anlaşmasına uygun şekilde global iklim hedeflerini karşılamak. SGS, 2070 te net sıfır emisyona erişir, %66 olasılıkla Paris Anlaşmasının daha yüksek son sıcaklık hedefine uyumlu olarak, global sıcaklık artışı 1,7°C – 1,8°C seviyesinde kalır. Bu hedefe ulaşmak için, bu senaryo; elektrik üretiminde karbon yoğunluğunun hızla azaltılması, araç kullanma davranışında değişiklikler ve toplu taşımayı yatgınlaştırma veya notorsuz seçimlere gereksinim duyar [11].

Global elektrikli araç stoğu, 2020 yılında 10 milyon adede erişti. Bu rakam, 2019 yılına oranla %43 artışı ifade etmektedir. Ayrıca, sürdürülebilir gelişme senaryosuna göre, 2020 ile 2030 yılları arasında, dünya elektrikli araç stoğunun yaklaşık 10 kat artarak, global araç stoğunun %12 sine ve toplam 230 milyon adede erişmesi beklenmektedir. Bu artışın büyük bir kısmının, hafif binek araç pazarında olacağı tahmin edilmektedir. Ticari araç sektöründe hafif bir artış eğilimi beklenmektedir [10, 11].

Bununla birlikte, Covid-19 salgınının, genel binek otomobil pazarına etkisine oranla daha az ölçüde etkisi olsa da, küresel elektrikli araç pazarını etkileyeceği belirtilmektedir. Ocak-Nisan 2020 dönemindeki otomobil satış verilerine dayalı olarak, binek otomobil pazarının 2019 yılına göre, yıl boyunca %15 daralacağı ve hafif ticari elektrikli araç satışlarının ise, 2019 seviyelerinde olacağı tahmin edilmektedir. Salgının ikinci dalgası ve beklenenden daha yavaş olan ekonomik toparlanma, otomotiv üreticilerinin yasal düzenlemelerle başedebilmek için değişik stratejiler geliştirmesine yolaçabilir. Genel olarak, 2020 de elektrikli araç satışlarının genel araç satışları içinde %3 lük bir payı olacağı tahmin edilmektedir [12].

Korona salgını öncesine yönelik yapılan gelecek senaryoları, elektrikli araçların genel araç payı içerisinde önemli bir paya sahip olacağına işaret etmektedir. Salgının iş gücüne ve fabrikaların çalışmalarına önemli etkileri olmakla birlikte, yapılan bir araştırmaya göre, elektrikli araç pazarının yakın gelecekte büyüyeceği tahmin edilmektedir. Covid-19 sonrası elektrikli araç pazar büyüklüğünün, 2020 de 3,42 milyon adetlik tahmini takiben 2021 de 4,18 milyon adede erişeceği belirtilmektedir. 2021 projeksiyonunun korona öncesi tahminle karşılaştırıldığında, %34 lük azalmaya denk gelmektedir. Elektrikli araçlar için şarj başına artan araç menzili, çeşitli hükümetlerin daha temiz bir çevreye yönelik artan duyarlılığı, küresel elektriğin büyümesini

sağlayan temel faktörler elektrikli araç çalışmalarının destekçileri olarak karşımıza çıkıyor [12].

Elektrikli araç şarjındaki teknolojik gelişmeler ve otomobil üreticilerinin araçlara yaptığı önemli yatırımlar, elektrikli araç pazarının büyümesini sağlayan ana faktörlerden bazıları. Bu nedenle, elektrikli araç pazarının yakın gelecekte önemli ölçüde büyümesi bekleniyor [12].

5. Dökümlerin otomotiv sektöründeki geleceği

Otomotiv endüstrisinde bu denli elektrikli araç üretimine yöneliş, ister istemez döküm sektörünü olumlu veya olumsuz yönde etkileyecektir. Elektrikli araç sistemlerinin geleneksel içten yanmalı motorların yerini almaya başlaması kaçınılmaz hale gelecektir. İçten yanmalı motorların araçlardan uzaklaştırılması ise, araçlarda, özellikle dökme demir ihtiyaçlarının ciddi oranda azalması anlamını ifade etmektedir.

Otomotiv endüstrisinde, elektrikli hareket sistemlerine geçiş eğiliminin tedarik zincirinde önemli sonuçları olmakla birlikte, esas negatif etkisi, güç aktarım parçaları tedarikçileri üzerinde olacaktır. Yıllık, yaklaşık 10 milyon adet binek aracın, klasik içten yanmalı motorlar yerine, e-batarya içeren sistemlerle değiştirilmesi demek, 500.000 ton dökme demir ihtiyacının azalması anlamına gelmektedir (Ortalama motor bloğu ağırlığı 50 Kg) [5].

Bununla birlikte, hibrit araç çözümleri, dökümhaneler için daha iyi bir çözüm içerecektir. Bu tür araçlar sadece bataryaya ihtiyaç göstermez, aynı zamanda motor bloğunu da bünyesinde barındırır. Elektrikli bir aracın motor bloğu, geleneksel içten yanmalı bir araçtakinden daha küçük olmakla birlikte, bataryalar araç ağırlığının artmasına yolaçacaktır. Döküm tedarikçilerinin bu kısımlardaki fırsatları değerlendirmeleri gelecekteki üretim kapasiteleri açısından faydalı olabilir [5].

Yüksek oranda bakır kullanımından ötürü (Otonom sürüş) ve yüksek batarya ağırlığı dolayısı ile eğilim düşük ağırlık üretimine yönelim şeklinde olacaktır. Bunun sonucu olarak da, ya döküm parçasının ağırlığı azalacak (döküm parça geometrisinin değişmesinin bir sonucu olarak) ya da demir döküm alüminyum döküm ile yer değiştirecektir [5].

Elektrikli araçların gelecekte içten yanmalı motorlu araçlar ile yer değiştirmesinin döküm parçalarının kullanımını araç segmentlerine göre değişik şekilde etkilemesi sözkonusudur. Bu etkiyi; B segmenti, C segmenti ve D segmenti araçlar için aşağıda ifade edildiği şekilde görmek mümkün olacaktır.

a) B Segmenti araçlar: İçten yanmalı motora sahip küçük boyutlu bir araçta döküm parçaları, 39,1 Kg ağırlığa sahip iken, hibrit araç üretimi için değişim olmazken elektrikli araç üretiminde, 25,6 Kg döküm kullanılabilir. Bu, dökümler için %35 ağırlık azalmasını ifade eder [13].

b) C segmenti araçlar: Orta boyuttaki içten yanmalı motorlu araçlarda dökümlerin ağırlığı 53,4 Kg hibrit modellerinde 68 Kg ve elektrikli araç modellerinde 25,6 Kg olmaktadır. İçten yanmalı araçtan elektrikli araca geçişte, dökümlerdeki ağırlık azalması, %52 oranındadır [13].

c) D segmenti araçlar: Büyük boyutlu içten yanmalı motorlu araçlarda ise döküm parçalarının ağırlığı 66,2 Kg iken hibrit araçlarda 75,4 Kg ve elektrikli araçlarda 35,8 Kg dır. Bu ise, dökümlerde %46 ağırlık azalmasını ifade eder [13].

Bu üç araç grubunun ağırlıklı ortalamasında otomotiv endüstrisi, hibrit araçlar için döküm parçalarında %20,7 lik artıştan, tamamen elektrikli araç üretimi için %44,3 lük bir azalmaya gidebilir [13].

Otomotiv üreticisi firmaların, geleneksel içten yanmalı motorlar yerine elektrikli araçların üretimine geçmeleriyle birlikte, bu firmalara doğrudan parça tedarik eden birinci tedarikçiler (Tier-1) ve diğerleri, ürünlerinde ciddi değişiklikler yapmak durumunda kalacaklar. Bu tedarikçilerin tedarik ettiği ürünlerde bulunan döküm parçalar için ya malzeme türü değişecek veya doğrudan farklı malzemeler kullanıma alınacak.

6.Son söz

İlginç zamanlardan geçiyoruz, dünyamız, son yıllarda birbirini takip eden değişik sorunlarla

karşı karşıya kalıyor. 2019 yılında patlak veren, Covid-19 pandemisi, bunun, insan sağlığına ve global dünya ekonomisine yansımaları da çarpıcı oldu ve olmaya devam ediyor. Covid-19 pandemisini tecrübe ettikçe, korona virüsünün sadece insan sağlığını tehdit etmediğini, pandemi- nin dünya ticaretine ve ekonomisine ciddi etkileri başgösterdi.

Pandemi sonrası üretime başlamak ve sürdürmek için gerekli olan hammadde fiyatlarında belirgin seviyede artışlar, taşıma için elzem olan konteyner temini ve fiyat artışı, gıda fiyatlarındaki yükselişler, otomotiv elektroniğinin olmazsa olmazı elektronik çiplerin tedarik sorunu ve otomotiv üretiminin azalması, bir de bütün bunların üstüne, bu yılın başında başlayan Rusya ile Ukrayna arasında bir savaşın başlaması gözönünde bulundurulduğunda, dünyamızın ve insanlığın ne kadar zor günlerden geçtiği daha iyi anlaşılabilir.

Salgın hastalık, temin tedarik etme süreçlerindeki sıkışıklıklar, bölgesel savaş tehditleri vb sebepler her ne kadar birer tehdit unsuru gibi görünse de, insan hayatının sürdürülebilir olması için, ülkelerin aktivitelerini sürdürme gerekliliği unsuru gözardı edilemez. Son günlerde yaşadığımız her türlü olumsuzluklar, bizlere birşeyler öğretecek, yeni durumlar karşısında, yeni çözümler üreteceğiz ve hayatımıza devam edeceğiz.

Elektrikli araçların hayatımıza girmesiyle, otomotiv endüstrisine döküm tedarik eden firmaların bir kısmı için, üretim kapasitelerinde daralma olabilecektir. Bununla birlikte döküm firmalarının karamsar olması ve durumu kabullenmesi beklenmemelidir. Oluşan yeni durum, bir takım olumsuzlukları beraberinde getirmekle birlikte değişimin getireceği fırsatlar, döküm tedarikçilerine değerlendirme yapma olanağı sunabilecektir. Durum analizini verimli bir şekilde yapabilecek döküm firmaları için, gelecek otomotiv üretiminde de yeterli alan olabilecektir.

Unutulmamalıdır ki, binlerce yıldır hayatımızda olan dökümler, gelecekte de belirli kapasite seviyeleri ve rekabet edebilir fiyatlarla hayatımızda yeralamaya devam edecektir.

7. Kaynakça

- 1) Nazım Narçin, "Cast Iron Foundry Processes", Eğitim notu, Valeo, Temmuz 2019.
- 2) "Census of World Casting Production", Modern Casting, A Publication of the American Foundry Society, December 2019, January 2021 & December 2021.
- 3) Türkiye Metal Döküm Sektörü, Genel Değerlendirme, Tüdöksad, Ocak 2021.
- 4) https://www.imf.org/external/datamapper/NGDP_RPCH@WEO/OEMDC/ADVEC/WEOWORLD/USA
- 5) Dr. Heinz-Jürgen Büchner, "Forecast 2025 for the Global Foundry Industry", Düsseldorf, June 2019.
- 6) Dr. Heinz-Jürgen Büchner, Director Industrials & Automotive, IKB Deutsche Industriebank AG, "Market Analysis Casting Production 2025: Will the Recovery be Sustainable?", <https://www.spotlightmetal.com/casting-production-2025-will-the-recovery-be-sustainable-a-995884/?cmp=nl-397&uuid=900a839b095ca5efca119e36bbe21337>
- 7) Christopher McFadden, "A Brief History and Evolution of Electric Cars", <https://interesting-engineering.com/a-brief-history-and-evolution-of-electric-cars>.
- 8) Types of Electrical Vehicles, <https://www.evgo.com/why-evs/types-of-electric-vehicles/>
- 9) Types of Electric Vehicles – Do You Know Em All? <https://www.skoda-storyboard.com/en/innovation/mobility/types-of-electric-vehicles-do-you-know-them-all/>
- 10) Electric Vehicles, Tracking Report, November 2021, International Electric Agency, <https://www.iea.org/reports/electric-vehicles>
- 11) Global EV Outlook 2021, Report, <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2021>
- 12) Electric Vehicle Market Will Keep Growing Despite COVID, <https://www.tdworl.com/electrification/article/21129674/electric-vehicle-market-will-keep-growing-despite-covid19>
- 13) "Manufacturing Casting Parts for the Future Electric Car", <https://www.revistadyna.com/best-practices-dii/manufacturing-casting-parts-for-the-future-electric-car>

SÜRDÜRÜLEBİLİR COLD-BOX SİSTEMLERİ

Peter GRÖNING*, Toroshan KARA**

** Hüttenes-Albertus Chemische Werke GmbH, Düsseldorf, Almanya*

*** Metko Hüttenes-Albertus Kimya Sanayi ve Ticaret A.Ş., İstanbul, Türkiye*

ÖZET

Modern Cold-Box sistemleri müşteri gereksinimlerini karşılamak zorundadır. Maksimum verimliliği sağlamak için, yüksek reaktivite ve yüksek mukavemet seviyesi standart özelliklerdir. Diğer önemli özellikleri termal kararlılık (deformasyon davranışı), gaz ve emisyon davranışdır (duman, koku, çevre kirliliği ve yoğuşma). Son yıllarda, katı atık imhası için dökümhane atıklarına yönelik talepler önemli derecede arttı. Bir yandan atık sahası alanı gitgide azalırken diğer yandan kısıtlayıcı yasal koşullardan dolayı atık sahası maliyetleri artıyor. Sonuç olarak, fenol indeksi, BTEX- Benzen, Toluen, Etilbenzen ve Ksilen, TOC – Toplam Organik Karbon ve DOC – Çözünmüş Organik Karbon gibi kullanılmış kum parametrelerine giderek daha çok odaklanıldı.

Anahtar kelimeler: Cold-Box Sistemi, Düşük Emisyonlar, Serbest Fenol, Formaldehit

ABSTRACT

Modern Cold-Box systems must meet the customer's requirements. Standard properties include a high strength level and high reactivity to ensure maximum productivity. Other important properties are thermal stability (deformation behaviour) and gas and emission behaviour (pollutants, smoke, odour, condensates). In recent years, the demands placed on foundry residues to be disposed of in landfills have also increased significantly. On the one hand, landfill space is becoming increasingly scarce, and on the other hand, the costs of landfilling are increasing due to stricter legal requirements. As a result, the focus is increasingly on used sand parameters such as the phenol index, BTEX - aromatic hydrocarbons Benzen, Toluen, Ethylbenzen and Xylen, TOC - Total Organic Carbon and DOC - Dissolved Organic Carbon.

Key words: Cold-Box System, Low Emissions, Free Phenol, Formaldehyde

1. SÜRDÜRÜLEBİLİR DÖKÜM KİMYASI

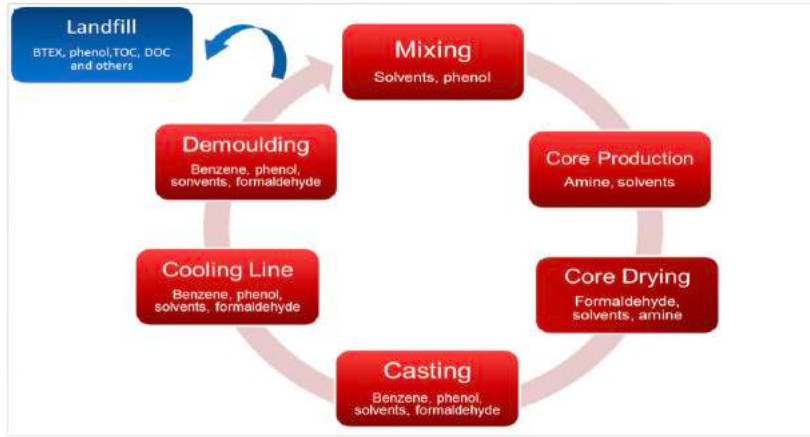
Sürdürülebilir döküm kimyası gibi bir şey var mı? Dürüst olmanız gerekirse, cevap büyük ihtimalle "hayır"dır. Dökümhanenin hangi proses veya sistemi kullandığı fark etmeksizin, her zaman döküm kimyasalları tarafından bırakılan bir ayak izi vardır. Bundan dolayı, geniş bir yelpazede ihtiyaç ve taleplerin ele alınmasına yol açan döküm kimyasalının görevi bu ayak izini olabildiğince küçük tutmaktır.

2. MODERN SÜRDÜRÜLEBİLİR COLD-BOX BAĞLAYICILARIN GELİŞİMİ

Modern Cold-Box sistemleri müşteri gereksinimlerini karşılamak zorundadır. Maksimum verimliliği sağlamak için, yüksek reaktivite ve yüksek mukavemet seviyesi standart özelliklerdir. Diğer önemli özellikleri termal kararlılık (deformasyon davranışı), gaz ve emisyon davranışdır (duman, koku, çevre kirliliği ve yoğuşma). Son yıllarda, katı atık imhası için dökümhane atıklarına yönelik talepler önemli derecede arttı. Bir yandan atık sahası alanı gitgide azalırken diğer yandan kısıtlayıcı yasal koşullardan dolayı atık sahası maliyetleri artıyor. Sonuç olarak, fenol indeksi, BTEX, TOC ve DOC gibi atık kum parametrelerine giderek daha çok odaklanıldı.

3. COLD-BOX PROSESİNDEKİ DÖKÜMHANE EMİSYONLARININ KAYNAĞI

Cold-Box bağlayıcı sistemleri geniş yelpazedeki teknolojik özellikleriyle beraber aynı zamanda çevreci karakteristiği de karşılamalıdır. Atık kum yönünden konuyla daha çok ilgili parametreler BTEX, fenol indeksi, TOC ve DOC'dir. (Şekil. 1,2).



Şekil 1: Dökümhane Emisyonlarının Kaynakları - Cold-Box

Dökümhane

- BTX
- Formaldehid
- Duman
- Koku
- Toz



Atık Sahası

- BTEX
- Fenol İndeksi
- DOC/TOC
- pH
- C₁₀ – C₄₀



Şekil 2: Önemli Dökümhane Emisyonları

4. ÇEVRESEL DAVRANIŞ

Döküm endüstrisine sürdürülebilir Cold-Box çözümleri sunmak için 2 esas yol görebiliriz:

- Organik bileşiklerin azaltılması
- Cold-Box sisteminin monomer bileşeninin azaltılması

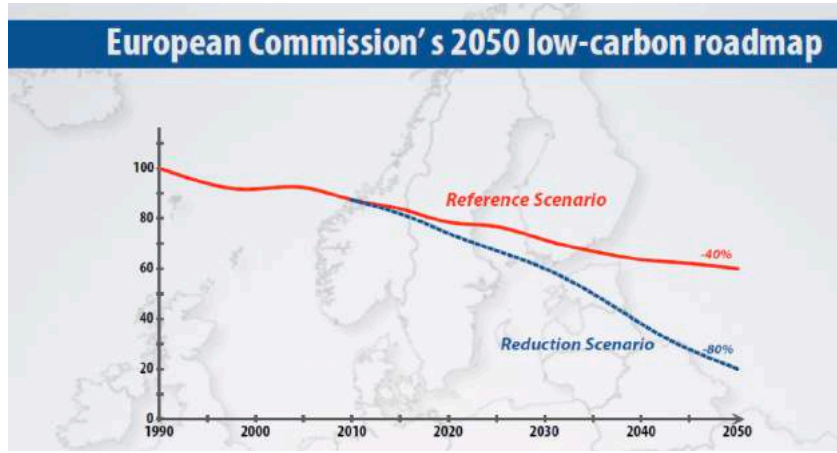
5. ORGANİK İÇERİĞİN AZALTILMASI

AB Komisyonu, 2050 yılına kadar refah, modern, rekabetçi ve iklime zararsız ekonomi için uzun vadeli stratejik vizyonunu 28 Kasım 2018 tarihinde sundu.

Strateji, Avrupa'nın gerçekçi teknolojik çözümlere yatırım yaparak, vatandaşları güçlendirerek ve sanayi politikası, finans veya araştırma gibi kilit alanlarda eylemleri düzelterek – adil bir geçiş için sosyal adaleti sağlayarak iklim tarafsızlığına nasıl kılavuzluk edeceklerini gösteriyor.

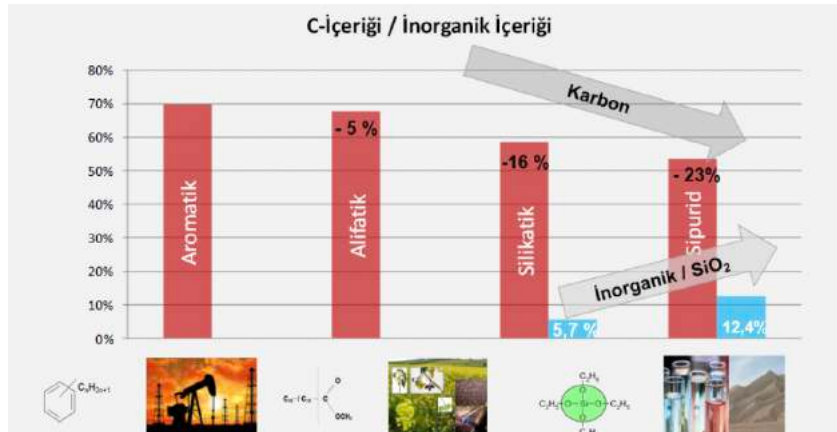
Avrupa Konseyi ve Avrupa Parlamentosu'nun davetlerine istinaden, komisyonun iklim açısından tarafsız bir gelecek vizyonu neredeyse tüm AB politikalarını kapsamakta ve Paris Anlaşması'nın amacı ile uyumlu olarak küresel sıcaklık artışını 2°C'nin altında ve 1.5°C'de tutmak için çabalamaktadır.

Kaynak: Avrupa Komisyonu 2050 Uzun Dönem Stratejisi (Şekil 3)



Şekil 3: AB Karbon Yol Haritası, Kaynak: CCAP Europe Th. Wyns

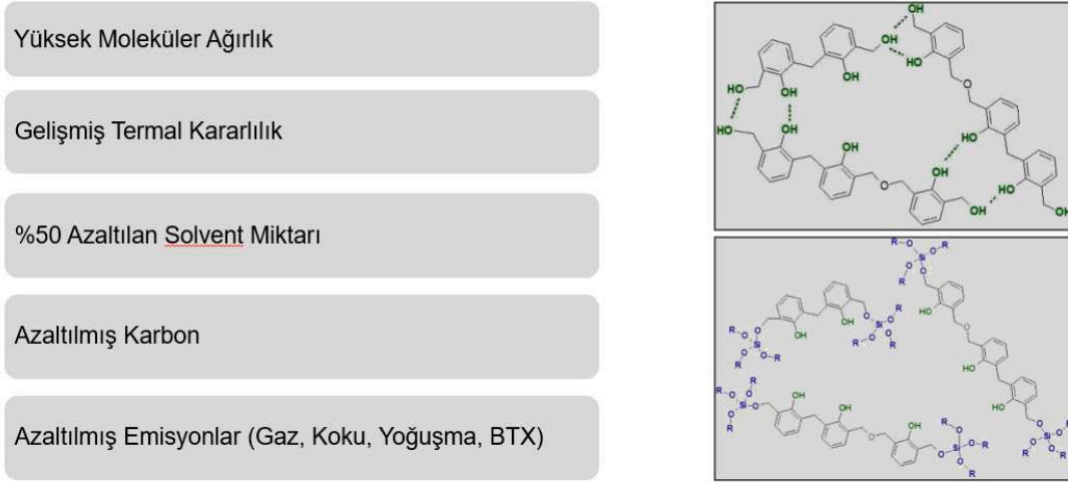
Hüttenes-Albertus, Cold-Box sistemlerindeki organik içeriğini azaltmak için uzun yıllardan beri çalışıyordu. Başlangıçta, reçine ve aktivatör bileşenlerinin geleneksel aromatik veya alifatik solventleriyle silikatik solventler yer değiştirildi; örneğin inorganik bileşenler.



Şekil 4: HA Gelişim Adımları – Cold-Box Sistemlerindeki Karbonun Azaltılması

Daha fazla gelişim aşamalarında, Cold-Box esaslı reçineler aynı zamanda silikatik olarak modifiye edildi (Fig. 4). Bağlayıcının bu jenerasyonunda – SIPURID sistem – silisyum birimleri sadece Cold-Box reçinesinin solvenitiyle sınırlandırılmadı aynı zamanda reçinenin moleküler yapısına entegre edildi (Şekil 5).

Hüttenes-Albertus'un patentli çözümleri özgün Cold-Box sistemlerinin gelişiminde dönüm noktasıdır. İlk defa, Cold-Box prosesinin avantajları ve inorganik maçaların belli özelliklerinin avantajları birleştirilmektedir. (Şekil 6). İnorganik birimlerin entegrasyonu, reçine moleküllerinin hidroksil gruplarının etil silikatlarla reaksiyona girmesi için yapılan bir yer değiştirme reaksiyonu ile elde edilir.



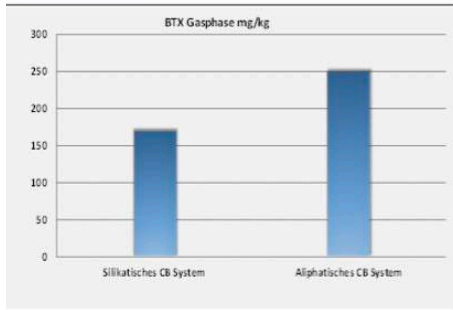
Şekil 5: SIPURID Reçinenin Özellikleri, Şekil 6) SIPURID Reçinenin Yapısı

Uygulamada, reçine moleküllerinin boyutu artar bundan dolayı aktivatör miktarı reçine içeriğine göre azaltılabilir. Yüksek moleküler ağırlığına rağmen temel reçine viskozitesi düşürüldü. Sonuç olarak, daha önceki Cold-Box reçinelerindekinden önemli ölçüde daha az solvent gerektirir.

Bu Silikatik Cold-Box sistemlerin avantajları sadece kokuda, yoğuşmada ve gaz miktarındaki azalmayı değil aynı zamanda BTX, BTeX, TOC ve DOC gibi kirlenici emisyonlarda da azalmayı içerir (Şekil 7).

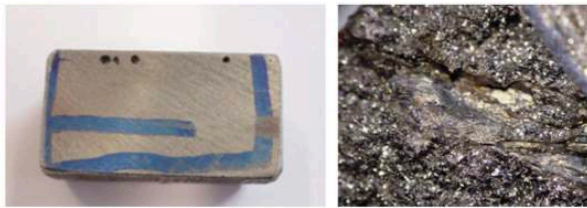
dirgeme

Çevresel Kirleniciler
Koku, Duman
Yoğuşma



İndirgeme

- Gaz
- Karbon, Parlak Karbon
- Gazla Alakalı Döküm Hataları



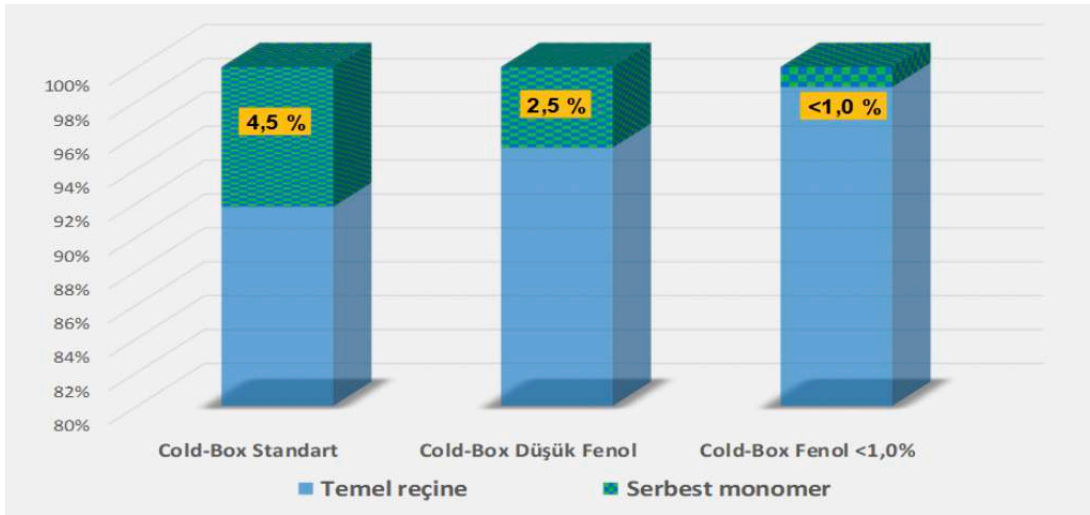
Şekil 7: Organik miktarı azaltılmış Cold-Box sistemlerinin avantajları

6. MONOMER İÇERİĞİNİN AZALTILMASI

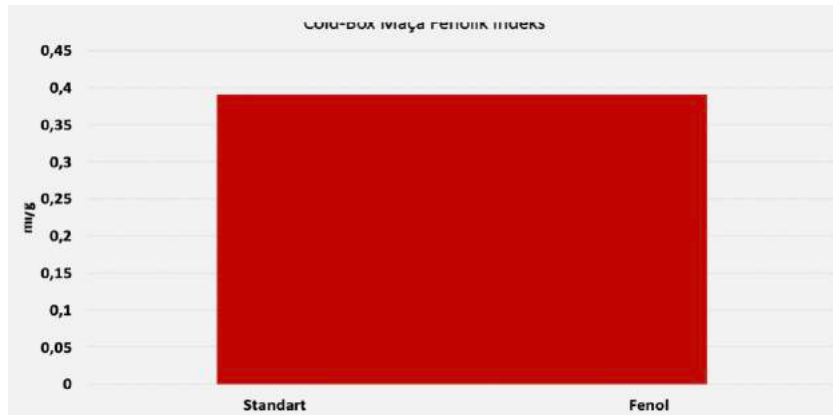
Cold-Box'daki monomer içeriğinin azaltılması, örneğin serbest fenol + formaldehit içeriği, atık kumunun boşaltım kapasitesi üzerinde daha fazla pozitif etki yaratabilir. Standart reçinelerin monomer seviyesi < %5.0'dan azdır, çoğunlukla %4.5 civarındadır, %2.5 monomer içerikli düşük fenollü denilen reçineler uzun zamandan beri dökümhanelerde kullanıyordu.

Yeni nesil reçinelerin serbest monomerlerde payı bulunur (fenol+formaldehit) < %1.0 (Şekil 8). Özellikle, atık kumdaki fenol indeksi önemli ölçüde düşürülebilir (Şekil 9). Monomer içeriğini < %1.0'in altına düşürmek aynı zamanda çevreyle ilgili etiketleme avantajları sağlar. Bileşimlerine bağlı olarak, bu reçineler sonradan MSDS'lerinde de aslında etiketlenmezler. Maalesef, bütün önemli dökümhane emisyonlarını sadece fenol içeriğini düşürerek azaltmak imkansızdır.

BTX emisyonları, TOC, DOC, gaz miktarı ve yoğuşma gibi parametreler, sadece monomer içeriğinin azaltılmasıyla yeteri kadar düşürülemeyebilir.



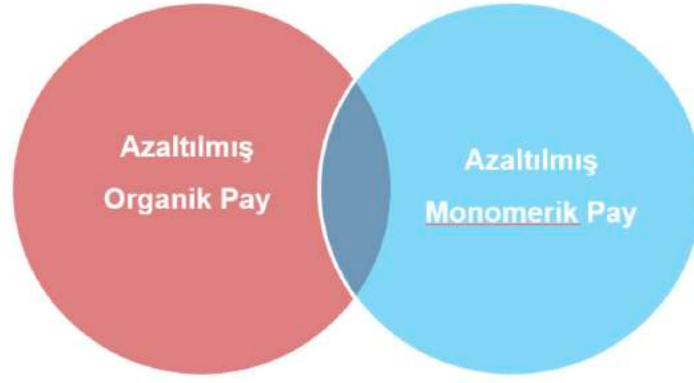
Şekil 8: Serbest fenölü düşürerek Cold-Box Geliştirme Basamakları



Şekil 9: Cold-Box maça fenol indeksi karşılaştırması

7. AVANTAJLARIN KOMBİNASYONU

Bizim bakış açımızdan emisyon yükünü düşürmek için iki anayol'un avantajlarını birleştirmek gerekir (Şekil 10).



Şekil 10: Özellikler/Avantajların Kombinasyonu

Monomer içeriği <1.0 olan organik miktarı düşürülmüş bağlayıcı sistemi geliştirmeyi başardık. Etiketsiz silikatik Cold-Box reçineyi sunabilmek için ileri doğru bir adım daha attık. Şimdiye kadar, pazarda etiketsiz silikatik Cold-Box reçine yoktu. Yeni inovatif çözümlerle, ilk etiketsiz silikatik Cold-Box reçineyi sunabilir durumdayız.. Eşsiz yeni solvent kombinasyonuna sahip sistem, silikatik Cold-Box ürün ailesinin avantajlarını ve etiketsiz olmayı sunuyor.

8. FORMALDEHİT EMİSYONLARI

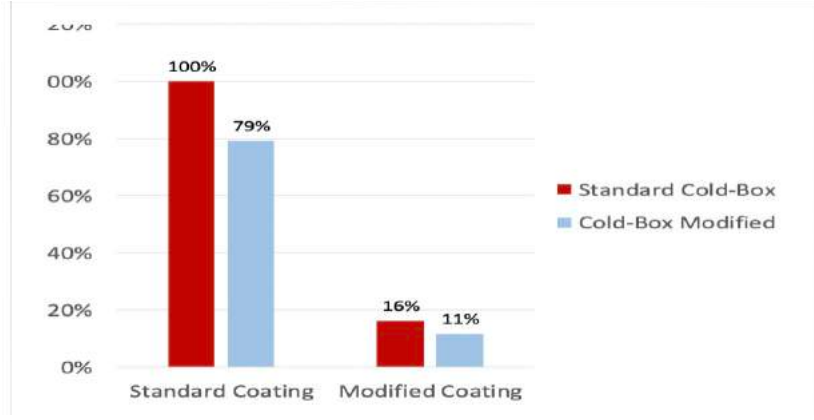
Formaldehit emisyonlarına maruz kalma limitleri 2020 yılında AB üye ülkelerinde sıkılaştırıldı. 2020 yılı Şubat ayı itibariyle 5 mg/m³ oldu. Türkiye’de ise formaldehit emisyonlarına maruz kalma limitleri 20 mg/m³’tür. Avrupa Birliği’ne uyum doğrultusunda Türkiye’de sektörel çalışmalar devam etmekte. Formaldehit riski daha çok kurutma fırınının etrafını etkiliyor (Şekil 11).



Şekil 11: Cold-Box Prosesindeki Formaldehit Kaynakları

Dökümhanedeki tüm üretim prosesi boyunca formaldehiti aktif olarak yakalamak için içinde var olan bir madde ile özel formaldehiti düşürülmüş Cold-Box sistemlerini geliştirdik.

Cold-Box sisteminden formaldehiti azaltmak tek başına yeterli değilse, emisyonları başarılı bir şekilde çözmek için özel bir katkı malzemesi ve özel bir su bazlı boya geliştirildi (Şekil 12).



Şekil 12: Modifiyeli Cold-Box + Modifiyeli Boya'nın Formaldehit Emisyonu Karşılaştırması

9. SONUÇ

Döküm endüstrisi her zaman ekonomik değişimlere ve politik koşullara uyum sağlamak zorundadır. Artan çevresel koşullarla birlikte çoğalan özelleşme ve gelişen karmaşıklık özel bağlayıcıların kullanımını gerektiriyor. Organik bağlayıcı sistemleri ve hepsinden önemlisi Cold-Box prosesi özellikle seri dökümdeki maça üretim prosesinde hala etkilidir.

Aromatik sistemlerden alifatik ve silikatik olarak geliştirilen HA'nın Cold-Box bağlayıcı sistemlerinin yol haritası, gelecekte organik ve inorganik bileşenlerin birlikte yaşayacağı sistemlere göre değerlendirilerek iki bağlayıcı ailesinin karakteristikleri arasında optimum bir kombinasyon sağlar.

Referanslar:

[1] Avrupa Komisyonu 2050 Uzun Dönem Stratejisi

SPECIALITY MG-TREATMENT ALLOYS FOR SPECIFIC APPLICATIONS

Mathias LUEBEN

Technical Customer Service

Elkem Silicon Products

ABSTRACT

Tight production schedules and cost-effective processes require raw materials fulfilling narrow product specifications. By using an ELMAG™ nodulariser adapted to a specific application, the outcome will be highest consistency in Mg recovery with improved nodule counts, nodularity and structures. Elkem produces close to 100 different chemistries with defined levels of Magnesium, Calcium, Rare Earth metals (RE) and Aluminium, each of them being available in various sizes. This means that Elkem can offer a range of treatment alloys to suit the needs of just about every foundry production condition, regardless of whether the treatment is done in an open ladle or the most advanced tundish system or in flowthrough or in-mould.

The addition of TOPSEED™ as a conditioner and cover material for FeSiMg in the treatment ladle will improve the Mg recovery furthermore and creates a positive contribution to the nucleation level in the iron. Also, it works as a slag conditioner. It can change the slag form to an easily removable condition, thus strongly reducing or eliminating the need for coagulants.

As an additional support, our dedicated team of metallurgists and process engineers can assist with correct selection of an FeSiMg alloy chemistry and sizing and develop together in a joint project the properly designed ladle and pocket for the achievement of the best performance and lower production costs.

1. THE REQUIREMENTS TO PRODUCE DUCTILE IRON

Recommended for a stable production of ductile iron is to meet some criteria. For example, the Sulphur content should be kept relatively low at about 0,010% - 0,025% in the base iron, also the Oxygen content should be kept at a low level and should be controlled. To reach a stable and sufficient level, the addition of spheroidising elements like Mg, Ce, Ca, or La should be well carried out. All those elements have a strong affinity to S and O, so that they effectively deoxidise and desulphurise the melt. All of them have got a low solubility in iron, they segregate during solidification.

In addition to that you should control the level of subversive elements like Ti, As, Sn, Sb, Pb, Bi and Al as they are disturbing the development of a well-shaped nodule. You can also control the effect of those elements by using an adapted nodulariser.

2. ELKEM NODULARISERS

Magnesium is the most common of the known nodularisers as highly available and cost-effective. It offers a very strong affinity to S and O and can be used in a wide production window. One disadvantage is that the Mg-yield is decreasing with an increasing iron temperature because of the low boiling point at 1088°C and the high vapour pressure.

Calcium as an alloying element in FeSiMg acts to calm down the reaction. Following this effect it increases the Mg-yield and supports the metallurgical condition of the melt. A relevant disadvantage: Ca creates a sticky slag, which has to be removed.

A Rare Earth content in the FeSiMg-alloy supports in spheroidising the graphite and effectively controls subversive elements.

Aluminium supports in terms of nucleation. Of course, it has to be controlled regarding the chemical analysis of the base iron.

The role of Lanthanum as the only Rare Earth source in FeSiMg comes with some interesting benefits. It is more effective in terms of nodularisation compared to Ce. It provides high nodule counts and acts highly effective at reducing shrinkage. In addition, it results in a low chilling tendency.

3. TOPSEED™ AS A COVER FOR FESIMG

TOPSEED™ is a ladle conditioner (or Pre-inoculant) developed to promote the performance of FeSiMg in the treatment process. The main advantages of TOPSEED™ conditioner are a pre-inoculation of the iron, an increasing Mg recovery and a management of the slag behaviour.

The TOPSEED™ conditioner range is based on a high density FeSi containing a balanced number of active elements like Ca, Ba and Al. The active elements will act as a deoxidant when added as support for the FeSiMg and also add nuclei to counter the negative effect on nucleation of adding magnesium. Even a small addition of TOPSEED™ will delay the onset of the reaction and provide measurable consistent improvements in the Mg recovery and metallurgical quality of the iron.

The Ba-content of TOPSEED™ is well known for creating a dry and easily removable slag. By managing the slag behaviour, the achievements will be

- a cleaner iron,
- a reduced tendency to promote slags and dross inclusions,
- generation of a drier slag, which is easier to remove and
- a prolonged life of treatment ladles and pouring units.

4. THE BENEFITS OF A PROPER DESIGNED LADLE

Several different magnesium treatment processes are known to produce ductile iron. The tundish cover process is able to achieve an Mg-yield of 70-90%, if the ladle is designed in the right dimensions. For example, the height to diameter ratio is very important to increase the yield by lifting the metallostatic pressure on top of the FeSiMg-alloy. Another important factor is the grain size, it needs to be adapted to the treatment volume as well as the cover material. Supporting the Mg-treatment is a proper designed pocket to collect the alloys needed for the Mg-treatment.

Following all those recommendations the tundish cover process is an effective, reliable treatment process achieving a ductile iron with a high metallurgical quality at a low level of process- and maintenance costs. The possibility to set up a fully automated process including dosing of the alloys is of course given.

5. SUMMARY

Our dedicated team of metallurgists and process engineers are available to improve the existing process design together in a joint project. Creating a whole new setup by choosing the right combination of alloys in an adapted grain size in combination with a properly designed ladle and treatment pocket, is also something we can support with - for the achievement of the best performance and lower production costs.

ÖZEL GELİŞTİRİLMİŞ İÇ TEMİZLİK BOYALARI VE OTOMATİK AKILLI BOYA HAZIRLAMA SİSTEMİ (ICU - INTELLIGENT COATING UNIT)

Cemal ANDIÇ
Foseco, Türkiye

ÖZET

Bu makalede, özellikle son 20 yılda yaygın şekilde gelişmelerin olduğu maça boyası ve hazırlanması ile ilgili bir konu değerlendirmelere sunulmuştur. Maça Boyası özelliklerinin, döküm parçaların iç temizliğinde çok önemli iyileştirmeler sağladığı gibi, iç kanallarda kalan istenmeyen partikül miktarını da önemli ölçüde azalttığı belirlenmiştir. Sonuç olarak, silindir kafası, motor bloğu ve benzeri parçaların ömrünü uzatmış ve ek olarak yağ veya soğutucu sıvıların değişimi nedeniyle oluşacak duruş sürelerini de azalmıştır. Bu gelişmeler yaşam çevremizin daha temiz tutulabilmesi faaliyetlerine de çok olumlu katkılar sağlamıştır.

Geliştirilmiş boyaların hazırlanması da en az boyalardaki gelişmeler kadar önemli bir konudur. Bu anlamda günümüzde dökümhanelerde boya hazırlaması, kontrolleri ve uygulamasında otomasyon kullanımını artmıştır. 2008 yılında Foseco tarafından geliştirilen yoğunluk kontrolü ve online takip sistemi ile başlayan gelişmeler, ölçüm yöntemi ve ekipman işlevselliği alanlarında önemli noktalara ulaşmıştır. Okuyacağınız bu makale akıllı kontrolle çok sayıda yeni otomasyon uygulamasının nasıl mümkün olacağını da göstermiştir.

ABSTRACT

In this article, an issue related to core coating and its preparation, which has seen widespread developments especially in the last 20 years, is presented for evaluation. It has been determined that the properties of Core Coating provide significant improvements in the internal cleaning of cast parts, as well as significantly reducing the amounts of unwanted particles remaining in the internal channels. As a result, the life of the cylinder head, engine block and similar parts has been extended, and in addition, downtime due to the change of oil or coolant fluids has been reduced. These developments have made very positive contributions to our activities in keeping our living environment cleaner. Preparation of improved coating is at least as important as the improvements in coatings. In this sense, the use of automation in coating preparation, control and application has increased in foundries today. Developments that started with density control and online tracking system developed by Foseco in 2008 have reached important points in the fields of measurement method and equipment functionality. This article you are about to read has also shown how many new automation applications can be possible with smart control.

Keywords: Coatings, cleanliness, automated, intelligen

1. GİRİŞ

16 Kasım 2017 (WASHINGTON)

Dizel Teknoloji Forumu'nun genel müdürü Allen Schaeffer'in bir ifadesi ile konumuza giriş yapmak istiyoruz.

"Dizel, enerji açısından en verimli içten yanmalı motordur. Kamyon endüstrisinde uzun yıllardır tercih edilen teknoloji, diğer birçok yakıt türünün getirdiği zorluklarında etkisi ile kesin bir üstünlük kazanmıştır. Günümüzde dizel motor teknolojisi, benzersiz özelliklerin eşsiz bir kombinasyonunu sunmaktadır. Bu özellikleri, kanıtlanmış yakıt verimliliği, ekonomik çalışma, güç, güvenilirlik, dayanıklılık, kullanılabilirlik, yakıt ve servis tesislerine kolay erişim ve şimdi sifıra yakın emisyon performansı gibi başlıklar olarak sıralayabiliriz.

Hepimiz daha verimli bir yük sisteminden faydalanmaktayız. Yakıt ve güç aktarma sistemi seçenekleri de bunun bir parçasıdır.

Dizel teknolojisinin, neredeyse sıfır emisyon seviyelerine ulaşan, en yeni nesline en kısa zamanda geçmek, daha fazla kamyon kullanıcısı sayesinde kullanımını yaygınlaştırmak, verimlilik kazanımları, yakıt tasarrufu, daha düşük sera gazı emisyonları ve daha temiz hava gibi temel hedeflere ulaşmak için önümüzdeki en büyük fırsat durumdadır" [1].

Yukarıdaki ifadede belirtilen avantajlara ulaşabilme konusunda, silindir kafası, motor bloğu ve benzeri döküm parçaların iç temizliklerinin, ne kadar önemli olduğu açıkça anlaşılmaktadır. Bu noktada da döküm parçaların iç yüzeylerine şekil veren maçaların ve boyalarının önemi çok büyüktür.

Aynı şekilde sürekli gelişmekte olan maça boyalarının en doğru ve sürekliliği sağlanmış bir şekilde kullanıma hazırlanmasının önemide bir o kadar büyüktür.

2. GELİŞTİRİLMİŞ İÇ TEMİZLİK BOYASI

Makalemizde bahsedilen geliştirilmiş İç Temizlik Boyası ile ilgili yoğun çalışmalarımızın temelinde özellikle yeni nesil dizel motorlardan istenilen ve daha da zorlaşmış (Euro 7 Emisyon Normları) performans hedeflerine ulaşabilme gayretleri bulunmaktadır. Volvo ve Foseco firmalarının ortak yürüttükleri proje sonucunda elde edilen bu özel boya ile hedeflenen Güçlü ve Çevre Dost'u motor üretimi hedefine ulaşılmıştır.

Şu soruyu soralım: Güçlü ve çevre dostu bir motoru ne belirler? Hafif olması, yakıt güç performansı, daha az servis gereksinimi, daha da azaltılmış emisyon değerleri gibi parametreler.

Dizel motorlar ve onların performans değerleri ile ilgili fazla detaya girmeden İç Temizlik boyamızı daha ayrıntılı olarak ele alalım.

Bir maça boyası üreticisinin, uygulanacak maça boyasının seçimi ile nihai motor ömrü ve performansı üzerinde ne kadar etkisi olabilir? Motor ömrü ve performansı üzerindeki etkisi düşünüldüğünde bu etkinin çok sınırlı olduğu düşünülür. Geçmişte bir boyadan beklenen tek şey hatasız bir döküm parçasının üretilmesi idi. Bugün, yaklaşık 3 insan saçı kalınlığında (~300 micron) uygulanan bir boyanın etkisi, hatasız bir döküm parçası sağlamanın çok ötesine geçmiştir. Sonuç olarak boya özelliklerinin, metal yapısını ve motorun son performansını değiştirebileceği görülmüştür.

Boyalar genellikle bir motor ve silindir kafası gibi döküm parçaların karmaşık iç geometrilerini oluşturan kum maçalara uygulanır.

Boya motor bloğunun veya silindir kafasının iç yüzey temizliğinin artmasına katkıda bulunabilirse uygulanan üretim adımlarının her aşaması daha kolay ve daha verimli hale gelir ve bu sayede dökümhane için ekonomik değer de artar.

Bu "içsel temizlik" kavramının tanımlanmış genel bir ölçüm methodu olmadığı için karşılaştırma yapmak basit değildi. Tüm motor üreticileri kendilerine ait standartlarını kullanmaktaydılar. Bu durumda Volvo ve Foseco beraberce, uygulanabilirliği ve tekrarlanabilirliği olan bir yöntem oluşturarak döküm parça içinde kalan parçacıkların miktarını belirlediler, Şekil 1 ve Şekil 2'de yöntem ile ilgili görseller mevcuttur.

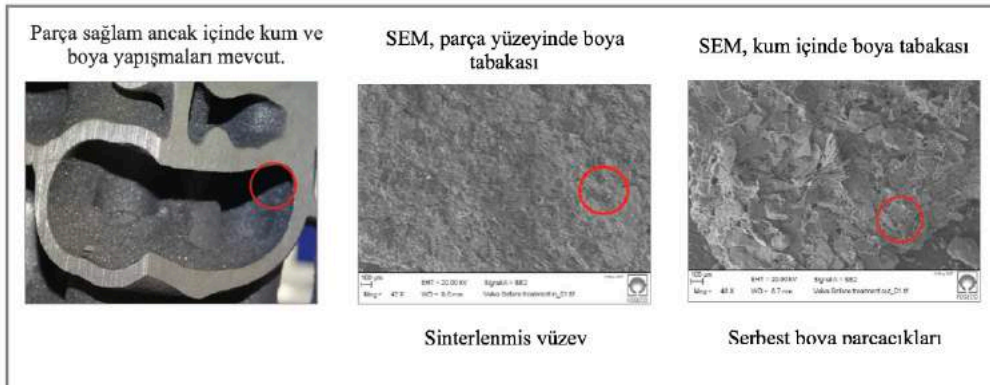


Şekil 1: Kirlenmiş soğutma sıvısı

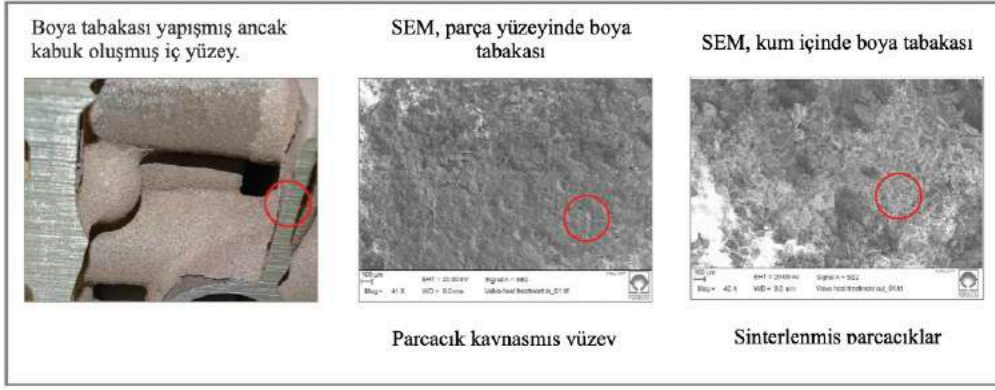


Şekil 2: Soğutma yağı içindeki kalıntılar

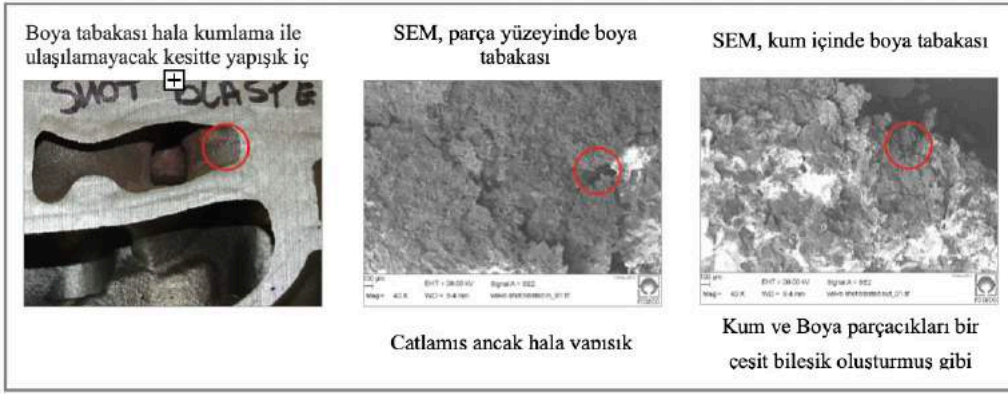
Metal kalıp boşluğuna dolmaya başladığında temas ettiği ilk malzeme maçaların yüzeyinde bulunan boya olduğundan, boya genellikle döküm esnasında döküm yüzeyine yapışır. Döküm işleminden sonra döküm parçalar sarsak, kum boşaltma, ilk kumlama, ısıl işlem ve son kumlama gibi aşamalardan geçerler. Blok ve/veya silindir kafası içindeki özellikle ince kesitli bölümler kum yapışmalarına bağlı hata oluşumu açısından risklidirler ve o bölgelere kumlama işleminde ulaşmak çok zor olduğundan yeterince temizleme yapmakta mümkün olmaz. Standart bir boya ile elde edilen döküm iç yüzeyinin, işlem aşamalarından sonraki görünümü şekil 3, 4 ve 5 de gösterilmiştir.



Şekil 3: Sarsak işleminden hemen sonra parça iç yüzeyi.



Şekil 4: Isıl işlem sonrası parça iç yüzeyi



Şekil 5: Son kumlamadan sonra parça iç yüzeyi

BİR BOYADA NE DEĞİŞTİRİLEBİLİR Kİ FİNAL KUMLAMA SONRASINDA BOYA DÖKÜM YÜZEYİNE DAHA AZ YAPIŞSIN?

Bu anlamda değerlendirilen bir görüş, “boya-pul (kabuk)” oluşumudur. Döküm işleminden sonra, boya tabakası seramik şeklinde bir kabuk oluşturarak vibrasyon ve daha sonraki temizleme adımları sırasında pullara ayrışır. Bu pullar, kendilerine yapışan boya ve kum kalıntıları için bir taşıyıcı olarak kullanılabilir. Boya geliştirme mühendisliği ile döküm yüzeyinden kolayca ayrılan ve kendiliğinden parçacık oluşturmayan (parçalanma yoluyla) güçlü ve iyi tanımlanmış pullar oluşturarak, erişimi zor alanlarda bile dökümün temizliğini sağlamak mümkündür. Yeni boyamız boya-pul (kabuk) etkisinin yanı sıra, iki önemli karakteristik olan gaz geçirgenliği ve damarlaşma (fin) önleyiciliği ile hatasız bir döküm üretmek için geliştirilmiş özelliklere sahiptir. İyi bir boyadan beklenen gaz geçirgenliği ve damarlaşma problemlerini önleyicilik özellikleride çok etkin şekilde sağlamıştır.

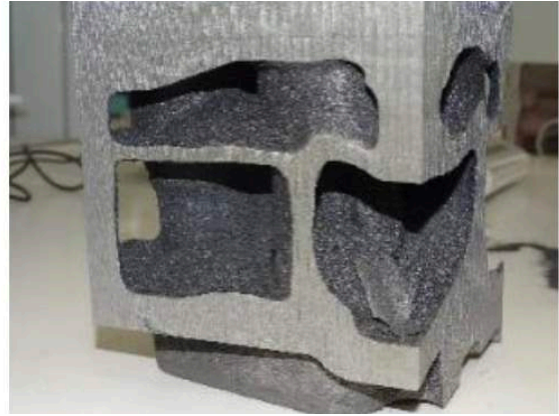
Denemeler sırasında yeni geliştirilen boya, doğru seramik kabuk oluşumuyla neredeyse tüm partiküllerin ayrışmasına ve çok temiz bir döküm yüzeyi elde edilmesine yardımcı olmuştur Şekil 6. Sonuç, daha iyi, daha uzun ve daha verimli performans gösteren bir motordur.



Şekil 6: Kumlamadan hemen sonra Döküm Yüzeyi



Şekil 7: Sarsak işleminden hemen sonra iç kesit yüzeyi



Şekil 8: Kumlama işleminden hemen sonra iç kesit yüzeyi.



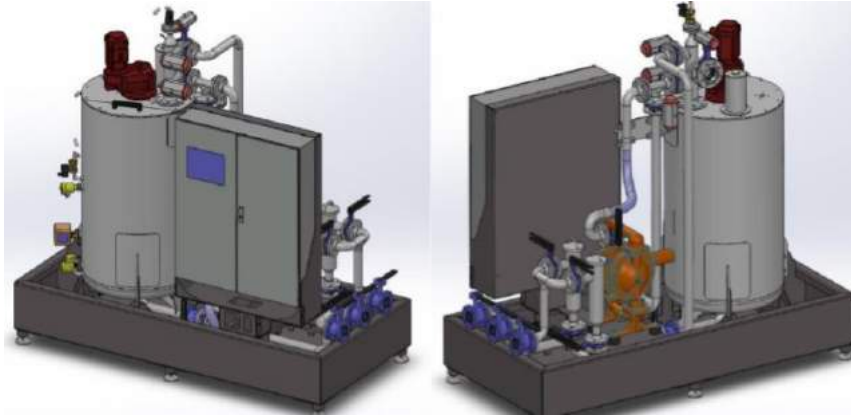
Şekil 9: Standard maça boyası ve iç temizlik boyası karşılaştırması

Volvo ile gerçekleştirilen ortak çalışma sonrasında üretilen özel iç temizlik boyasının türevleri diğer önemli dökümhanelerin üretim şartları ve ürettikleri motor bloğu ve silindir kafası parçalarının özelliklerine göre adapte edilerek kullanıma sunulmuştur.

Yukarı kısmında belirtildiği gibi “iç temizlik” kavramının tanımlanmış net bir ölçüm methodu olmadığı için diğer dökümhanelerde taşlama-temizleme departmanlarındaki işlem hızları ile karşılaştırmalar yapılarak bahsi geçen boyamızın ortaya çıkardığı faydalar belirlenmiştir. Standard maça boyalarına göre işlem hızlarının ortalama 2 kat’a kadar arttırıldığı görülmüştür.

3. AKILLI BOYA ÜNİTESİ

Konvansiyonel ya da yeni geliştirilmiş tüm maça ve kalıp boyaalarının, kendilerinden beklenen en üstün performansları verebilmeleri için onları yapılarına en uygun yöntem ile hazırlamak gereklidir. Ayrıca en iyi şekilde hazırlanan boyanın bu özelliklerini çalışma süresinin tamamında sabit olarak tutulabilmesi de bir o kadar gereklidir. Bu anlamda bahsi geçen işlemleri en güvenilir ve tutarlı şekilde yapmak maça ve kalıp üretiminin en önemli aşamalarından birisidir. Bahsi geçen hedeflere ulaşmak için Foseco, yıllar içinde geliştirdiği ve gelişmiş teknolojileri kullandığı, son ürünü ICU Akıllı Boya Ünitesi’ni dökümhanelerin hizmetine sunmuştur, Şekil 1.



Şekil 1: ICU ünitesinin genel görünümü

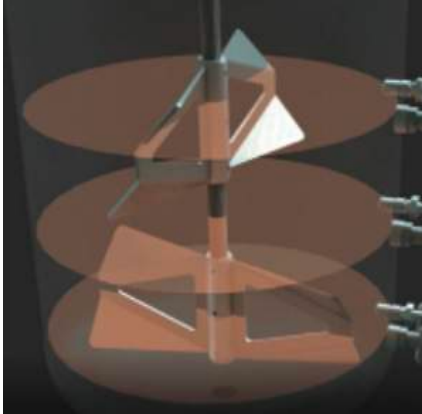
Akıllı Boya Ünitesi (ICU), boyanın istenilen özelliklere ve miktara göre seyreltilmesini ve uygulama yapılacak üniteye düzenli olarak dağıtımını otomatik olarak yapan ve kontrol eden en yeni ekipmanlardan birisidir.

Günümüzde mevcut tüm taşıma ve saklama seçeneklerine (Tank, Y-Konteyner, varil gibi) uyumlu olan ICU uygulamada kullanılacak boyayı kontrollü bir şekilde kendi karıştırma ve seyreltme tankı içine alır. Boyanacak maçanın, kalıbın ve döküm parçasının özelliklerine göre içine aldığı boyayı istenilen seyreltme seviyesine göre ayarlar ve boyama işleminin devam ettiği süre boyunca bu değerleri sabit sayılabilecek çok dar bir limit içinde tutar. Bu işlemlerde, çok hassas bir şekilde ölçtüğü, boya yoğunluk değerini esas alır. Boya yoğunluğu değeri, hazırlama ve uygulama şartlarından bağımsız olan bir değerdir ve bu yüzden boya performansının en önemli parametresi olan yaş ve kuru boya kalınlığının her (hazırlama ve uygulama) ortamda sabit olarak uygulanabilmesini mümkün kılar.

Boya yoğunluğunu ölçmek için kullanılan iki farklı yöntem mevcuttur; basınç farkı yöntemi ve kütle/hacim tayini. Bahsedilen bu iki yöntem ile ölçüm yapmanın çeşitli dezavantajları vardır. Örneğin, operasyonun tutarlılığını sağlamak ve yoğunluktaki tutarsızlığı ortadan kaldırmak için kapsamlı, ayrıca düzenli temizlik gerektiren hareketli parçalara sahip ölçüm sensörleri ve makina titreşimi ya da harici etkenler gibi.

ICU ünitesinde yoğunluk ölçümünü, karıştırma verimliliğini düşürmemek için basınç sensörlerinin iç duvarlara monte edildiği, bir boya homojenizasyon tankı içinde yapar. Bu sistemde kullanılan sensörler bakım ve sık temizleme gerektirmez ve çalışma ortamındaki dış faktörlerden etkilenmez. PLC sistemi boyanın yoğunluğunu kontrol ederek olası bir yoğunluk değişiminde tanka su ya da seyreltilmemiş boya ekleyerek, kullanıma hazır boyayı istenilen yoğunlukta tutar. Bu kontrol ve düzeltme işlemi hiç durmaksızın, sürekli olarak, devam eder. Akıllı boya ünitesi aynı zamanda karıştırma süresi ve hızını da kontrol ederek boyanın homojenizasyonunu garanti eder, Şekil 2.

ICU bir ya da daha fazla boyama istasyonuna boya aktarabilir. İstasyonlardaki fazla boya tekrar kontrol ve homojenleştirme işlemi için özel bir filtre sisteminden geçerek ICU tankına geri gönderilir, Şekil 3.



Şekil 2: Basınç Sensörleri



Şekil 3: ICU homojenizasyon tankı

Sistemde opsiyonel olarak ilave edilebilecek başka kontrol imkanları da mevcuttur. UV arıtma sistemi, şekil 4, çalışma zaman kontrol sistemi, şekil 5, gibi.



Şekil 4: Opsiyonel UV sistemi



Şekil 5: Entegre zamanlayıcı kontrolü

Boya yoğunluğunun gerçek zamanlı olarak kontrol edilmesi ve virgülden sonra dördüncü ondalık basamağa kadar ki hassas ölçümü, benzeri tüm cihazlardan daha doğru sonuçlar verir. Aynı zamanda, sürekli ölçüm sistemi, geliştirilmiş proses kontrolü, kalibrasyon ve denetim için mükemmel veriler sağlar.

ICU sistemini kullanarak ve etkin yoğunluk kontrolü ile çalışma yapıldığında elde edilecek önemli avantajlar kısaca şöyle özetlenebilir;

- Çok tutarlı çalışması (ICU, uygulama yüzeyinde en kararlı ve homojen yaş kalınlığının sağlanması),
- Kullanımının çok pratik olması (Tamamen otomatik, neredeyse hiç bakım gerektirmeyen ve kullanımı çok kolay olan bir sistemdir),
- Çok az hareketli parçayla çalışması (bundan dolayı endüstrideki en sağlam otomatik boya hazırlama sistemidir),
- Tüm boya uygulama metodlarına uygun olması (sprey, daldırma ve yıkama),
- Üstün döküm kalitesini sağlanması,
- Daha yüksek verimliliğin sağlanması,
- Daha az fire ile üretim yapılması (değişken boya kalınlığından dolayı),
- Tamir işlem gereksiniminin azaltılması,
- Kurutma özelliklerinin geliştirilmesi (çok homojen yaş kalınlığının sağlanması sayesinde),
- Boya tüketiminin azaltılması
- Kapalı bir sistem şeklinde çalışması (çevresel çalışma şartlarının geliştirilmesine yardımcı olur).

4. SONUÇLAR

Çok karmaşık motor bileşenlerinde iç temizliği artırabilecek özel olarak geliştirilmiş bir boya, otomotiv endüstrisinin mevcut uygulanan Euro 6 standardından daha katı emisyon talepleri gerektirecek yeni standartlara ulaşılmasında çok önemli katkı sağlamasının yanı sıra, çevreye verilen olumsuz etkileride minimum seviyelere indirilmesine de yardımcı olacaktır.

Akıllı boya ünitesi (ICU) boya hazırlamayı ve uygulamayı kolaylaştıran, döküm endüstrisinde neredeyse bakım gerektirmeyen tam otomasyonlu sistemlere geçişde çok önemli bir adımdır. Dökümhanelerde proses güvenilirliğine ilişkin artan talepler göz önüne alındığında, döküm kalitesi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğundan güvenilir ve sürdürülebilir bir boya prosesine de ihtiyaç duyulmaktadır. ICU konsepti bu hedef doğrultusunda çok doğru bir çözümdür.



Şekil 5: Entegre zamanlayıcı kontrolü

1. KAYNAKÇA

1. <https://www.dieselforum.org/> - Press release, Nov. 16 2017 - Allen Schaeffer, executive director of the Diesel Technology Forum.
2. C. Genzler, Coating Application Consistency – The Total Coating Management Concept, Foundry Practice 252, Foseco International Ltd. Publication, S. 2-4

BALIK GÖZÜ VE FLOR KAYNAKLI HATALARIN ÖNLENMESİ

Açelya SANDIKOĞLU KANDEMİR*, Tan EMİR*, Haydar
KAHRAMAN**, İbrahim Hayri KESER**, Serkan ÇELİK**

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

**Çukurova Kimya Endüstrisi A.Ş., Manisa, Türkiye

ÖZET

Balık gözü hatası yaş kum kalıplama yöntemi ile kalıplanan sfero dökme demir döküm uygulamalarında yaygın olarak görülen yüzey hatalarından biridir. Balık gözü hatasında iki ana teori vardır. Bunlardan biri kalıp kumunda sıcak sıvı metalin flor bazlı besleyici gömlek tip besleyicilerle teması kalıntıları ile teması sonucu oluşur. İkinci teoriye göre, erimiş metal ve kalıp kumu arasındaki arayüzeyde reaksiyona girmemiş ekzotermik kalıntıların reaksiyonu sonucunda yüksek bir enerji üretilir. Hızlı reaksiyon nedeniyle ince bir tabaka ile katılabilen metal balık gözü görünümü gibi yüzeyden içe doğru deforme olur.

Bu çalışmada, Ferro Döküm Dış Ticaret A.Ş.'nin büyük tedarikçilerinden biri olan Çukurova Kimya tarafından ekzotermik özellikli besleyiciler gömlek ile çalışılmıştır. Ferro Döküm seri kalıplama hattında oluşan balıkgözü kusurlarını azaltmak ve önem arz eden yüzey işlemlerini ortadan kaldırmak için döküm denemeleri yapılmıştır. Çeşitli ekzotermik tip besleyici gömlekler ile yapılan denemelerde florun azaltılması ile döküm hataları belirgin şekilde azalmıştır.

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 gerçekleşmiştir.

Anahtar Kelimeler: Balıkgözü, ekzotermik besleyici gömlek, flor, sfero dökme demir, yaş kum kalıplama.

ABSTRACT

Fish eye defect is one of the general surface defects on ductile iron casting in green sand application. There are two main theories to explain the defect. One of them is formed as a result of contact of hot liquid metal with fluorine-based feeder sleeves residues in the molding sand. According to the second theory, a high energy is generated as a result of the reaction of unreacted exothermic residues on interface between molten metal and molding sand. Due to the fast reaction, the metal that can be solidified with a thin layer, deforms from surface to inner side like a fish eye appearance.

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 fish eye 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.

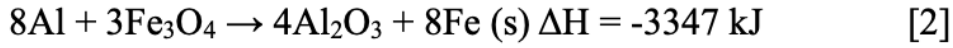
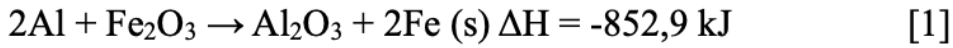
In cooperation with Çukurova Kimya and Ferro Casting R&D Centers, the reduction of fluorine content in the feeder sleeves, which directly affects the ductile cast iron were investigated.

Keywords: Fish eye, exothermic feeder sleeves, fluorine, nodular cast iron, green sand molding.

1. GİRİŞ

Döküm yöntemi yüzyıllar boyunca metal üretimi için tercih edilen düşük maliyetli bir yöntemdir. Günlük hayatımızda ve endüstride yaygın olarak çelik ve dökme demir alaşımlardan üretilen parçalar sıklıkla kullanılmaktadır. Endüstride dökme demirler içerisinde en yaygın olarak sfero dökme demirler üretilmektedir. Dökme demirler içerisinde endüstride yaygın olarak sfero dökme demirler üretilmektedir. Sfero dökme demirlerin üretimi diğer metallere benzer şekilde döküm yöntemi ile yapılmaktadır. Döküm yönteminin en önemli aşamalarından biri kalıp tasarımıdır. Kalıp tasarımında yolluk ve besleyici tasarımı önem arz etmektedir. Döküm parçasının sağlam şekilde üretilebilmesi için yolluk ve besleyici tasarımlarının döküm parçasına uygun olarak yapılması gerekmektedir. Yolluk ve besleyici tasarımı dökülen parçanın katılaşmasını doğrudan etkileyen parametrelerden biridir. 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 ile karşılanması gerekir. Bunun sonucunda besleyiciler kalıp tasarımı bileşeni olarak kullanılır. Döküm verimini arttırmak amacıyla besleyicilerin gömlek ile birlikte kullanımı sıklıkla tercih edilmektedir [1].

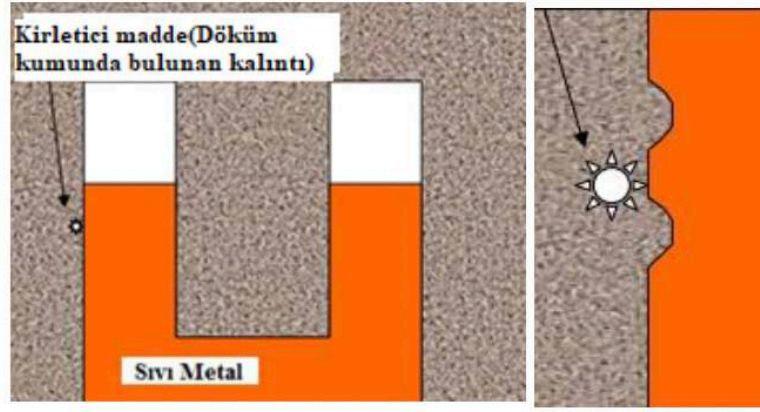
Genel olarak besleyici gömleklerin temel bileşenleri oksitlenen metal, oksitleyiciler, ateşleyiciler ve refrakter malzemelerden oluşmaktadır. Besleyici gömleklerin yapısında bulunan metalik alüminyum ile metal oksitlerin reaksiyona girmesi sonucunda yüksek enerjiler ortaya çıkmaktadır. Bu reaksiyonlar 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 sağlanarak döküm parçası hata içermeden üretilebilir [1]. Kalıp yardımcı malzemesi olarak kullanılan ekzotermik besleyici gömlekler bileşim olarak döküm kumundan tamamen farklı bir yapıya sahiptir. Döküm sonrası yanan besleyici gömleklerin de döküm kumuna karışması kaçınılmazdır. Bunun sonucunda döküm kumunda sıvı metal ile kimyasal etkileşime girebilecek kalıntıların bulunma olasılığı yükselmektedir. 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.

Yaygın olarak görülen döküm hataları kalıp kumuna ve kalıp tasarımına bağlı olan hatalardır. Kalıp kumuna bağlı döküm hataları farklı şekillerde ortaya çıkmaktadır. Kalıp kumuna bağlı en çok görülen hata döküm sırasında kumun sıvı metale karışarak metal yüzeyinde kalmasıdır. Literatürde sinterlenme hatası olarak adlandırılan bu döküm hatası bazı çalışmalarda yüzey görüntüsü dağılmış gaz hatası olarak da görülebilmektedir. Kalıp tasarımından kaynaklanan hatalar ise besleme hataları 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 tespit edilmiştir [3, 4].

Makro ve mikro boşluklar olarak besleme hatalarının oluşma sebeplerinden biri de besleyici gömlek işlevini yerine getirmemesidir. 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 (donut) 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 çıktığı öne sürülmektedir. 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].



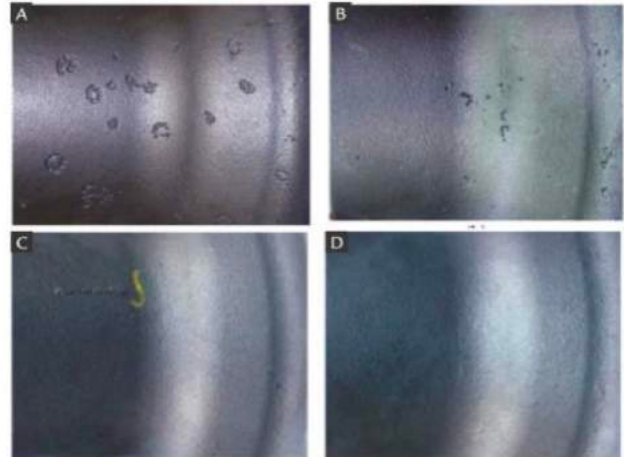
Şekil 1: Balıkgözü hatası oluşma mekanizması [8].

R.C. Aufderheide ve arkadaşlarının 2002 yılında yaptıkları çalışmada sfero dökme demir parçalarının yüzeylerinde meydana gelen balıkgözü hatalarının nedenlerini belirlemek üzere deneme dökümleri yapmışlardır. Döküm çalışmalarında kalıpların hazırlanması sırasında kalıp kumuna kriyolit ve ekzotermik besleyici gömlek kırıntıları ilave etmişlerdir. Yapılan çalışmada kumun içine karıştırılmış olan gömlek kırıntılarında 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 kırıntıları ilave edilerek karıştırılmıştır ve hazırlanan kum döküm işleminde kalıp yapımında kullanılmıştır (Şekil 2). Yaş kum kalıplama yöntemi seçilmiştir. Her döküm parçası gözle yapılan incelemenin ardından optik mikroskop kullanılarak incelenmiştir. Balıkgözü hatasının görünümü ve kimyasal karakterizasyonu taramalı elektron mikroskop görüntüleri ve EDS analiz sonuçları değerlendirilerek incelenmiştir [7]. Şekil 3'te gösterilen yüzey görüntülerine dayanarak kalıp kumu içerisine ilave edilen besleyici gömlek kompozisyonundaki flor miktarının artması ile balıkgözü hatalarını oluşacağı, kalıp kumu içerisinde flor bileşiklerinin olmaması durumunda balıkgözü hatalarının oluşmayacağı sonucuna varılmıştır [7].

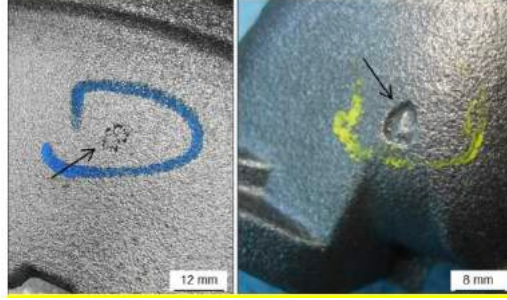


Şekil 2: Yanmamış besleyici gömlek kırıntılarının döküm kumuna eklenmesi [7].

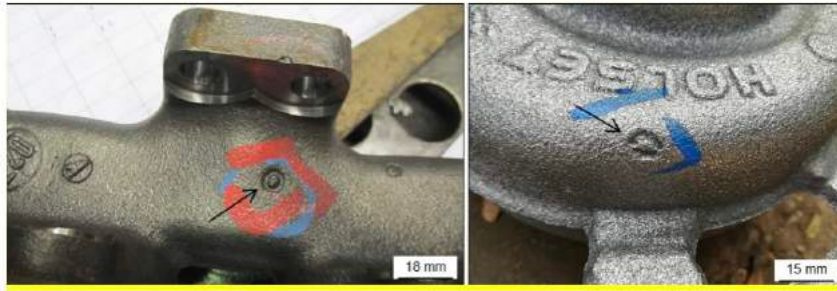


Şekil 3: İçerisine A-Yüksek florlu ekzotermik besleyici gömlek kırıntıları, B-Düşük florlu ekzotermik gömlek kırıntıları, C-Düşük florlu yalıtım özellikli gömlek kırıntıları, D-Flor içermeyen ekzotermik gömlek kırıntıları karıştırılan kalıp kumu kullanılarak dökülen parçaların yüzey görüntüleri [7]

2022 yılında Sertucha ve Lacaze'nin yazmış oldukları makalede döküm hatalarına ilişkin incelemeler ve tespitler belirtilmiştir. Döküm hataları üzerine kapsamlı çalışma yapılmış olup yaş kum kalıplama metodu kullanılarak döküm kalıbı hazırlanan sfero dökme demirlerde görülen balıkgözü hatasına yer verilmiştir (Şekil 4 ve Şekil 5) 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 desteklemektedir [9].



Şekil 4: Sfero dökme demir yüzeyinde görülen balıkgözü hatası [9].



Şekil 4: Sfero dökme demir yüzeyinde görülen balıkgözü hatasının yüzeyde görünümü [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

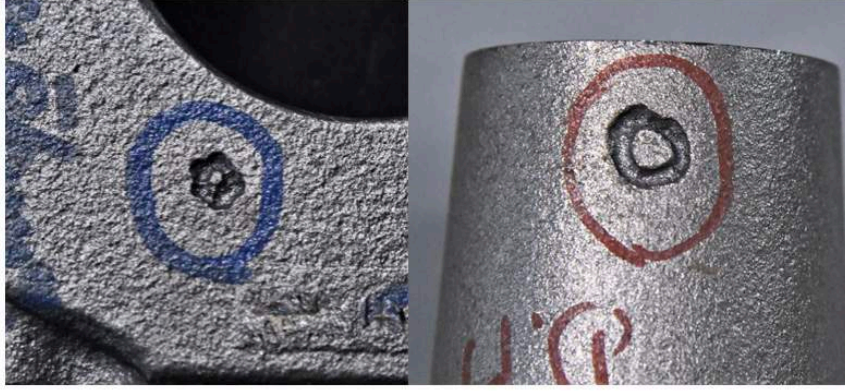
Yaş kum kalıplamada oluşan kum ve besleyiciden kaynaklı pitted surfaces (kabarcık) hatalarında da yukarıda verilenler yapılmadığı takdirde tesislerde görülme olasılığı artarken, Ferro Döküm Dış Ticaret A.Ş.'de verilen bir döküm parçasının oluk yüzeyinde, parçanın radius bölgesinde, işleme öncesi ve işleme sonrasında bu hata tipi Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6: Ferro Döküm Dış Ticaret A.Ş.'de görülen pitted surface hatasının görünümü.

Yapılan literatür çalışmaları 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. Bunun sonucunda geri dönüşüm kumundaki flor miktarının düşük olacağı ve balıkgözü hatalarının engelleneceği belirtilmiştir.

Ferro Döküm Dış Ticaret A.Ş. firmasında görülen balıkgözü hatasının görünümü Şekil 7'de 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. Bu doğrultuda çalışmalar yürütülmüştür.

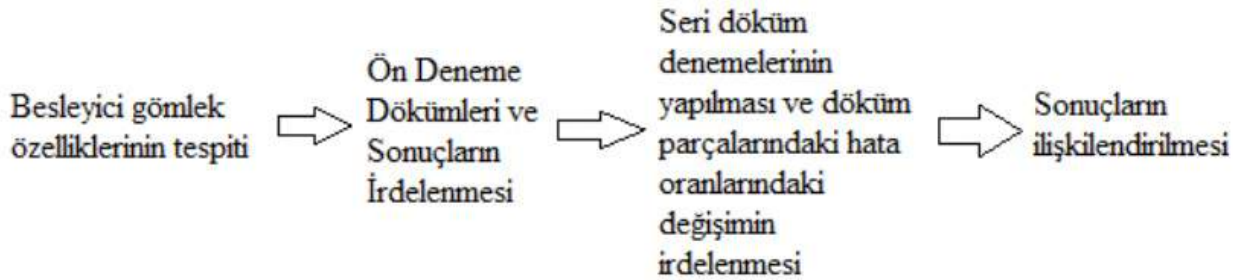


Şekil 7: Ferro Döküm Dış Ticaret A.Ş.'de görülen balıkgözü hatasının görünümü.

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 belirtilmiştir. Bu döküm hatasının ortadan kaldırmak amacıyla çalışmalar yürütülmüştür. Çalışmaların ana amacı kumda biriken flor içerikli kalıntıların miktarının azaltılması sonucunda döküm parçasının yüzeyinde hataları azaltmaktır. Deneysel çalışmalar sırasında izlenen yöntemin şematik gösterimi Şekil 8'de belirtilmektedir.



Şekil 8: 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 İKA 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 konduktan itibaren ekzotermik reaksiyonun başladığı ve en yüksek sıcaklığa ulaşılan sürelerin toplamı alınmıştır. Ön 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. Bunun sonucunda döküm sonrası kontrollü bir şekilde kalıp kumu numuneleri hazırlanarak flor miktarının ölçümü gerçekleştirilmiştir. Flor içerikleri iyon kromatografisi yöntemi ile belirlenmiştir. 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. Kumdan gelen balık gözü hatasında besleyicilerin sakat oranları aylık olarak değerlendirilmiştir. Yapılan parçaların birikimli sakat analizleri Şekil 9'da gösterilmiştir. 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 Eclipse-MA200 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 sıcaklıklarda yeterli olması gerekmektedir. Belirtilen fiziksel ve termal özelliklere bağlı olarak besleyici gömleğin uygulama alanında işlevi değişmektedir. Belirtilen özelliklerin yanı sıra katılma sırasında sıvı metali sıcak tutmak ve yönlü katılaşmayı sağlamak için besleyici gömleklerin yeterli enerjiyi sıvı metale aktarması ve sıvı metalin uzun süre sıcak kalması sağlanmalıdır. Bundan dolayı deneysel çalışmalarda kullanılan düşük ve yüksek flor içerikli besleyici gömleklerin kalorifik değerleri ölçülmüştür (Çizelge 1). Gömleklerin ölçülen kalorifik değerleri birbirine yakındır. Birbirine yakın enerji veren besleyici gömleklerin 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 %20 oranında daha geç reaksiyona girmiştir (Çizelge 2). Döküm şartları incelendiğinde döküm sıcaklıklarının 1400°C'den yüksek olmasından dolayı belirtilen bu farkın yüksek sıcaklıklarda kapanacağı tespit edilmiştir (Şekil 9).

Kalorifik Değerler (cal/g)	
Düşük Florlu Besleyici Gömlek	Yüksek Florlu Besleyici Gömlek
2200	2000

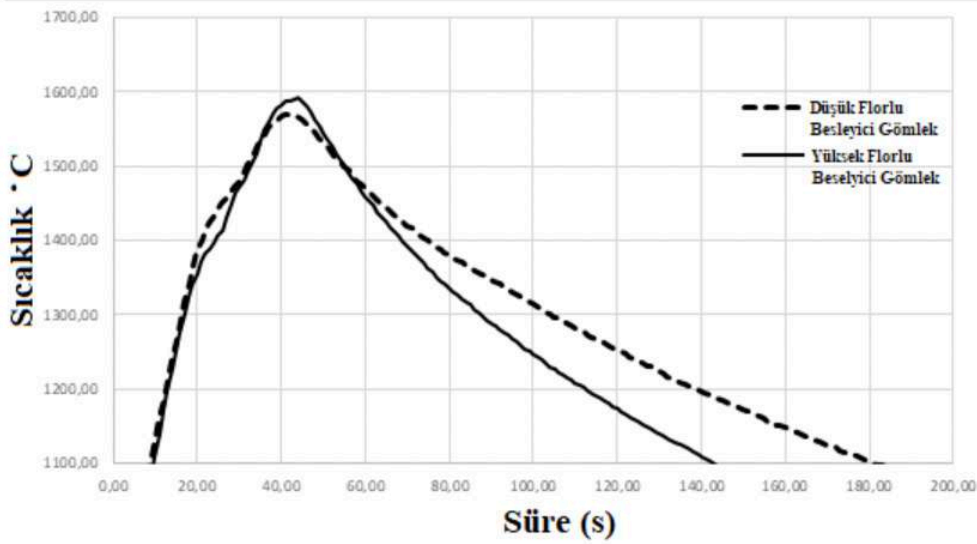
Çizelge 1: Düşük ve yüksek florlu besleyici gömleklerin kalorifik ölçüm sonuçları.

Sıcaklık (°C)	Düşük Florlu Besleyici Gömlek Reaksiyon süresi, s	Yüksek Florlu Besleyici Gömlek Reaksiyon süresi, s
900	180	150
1200	95	70

Çizelge 2: Düşük ve yüksek florlu besleyici gömleklerin reaksiyona giriş sürelerinin karşılaştırılması.

	Referans, % ağı.	Düşük Florlu Besleyici Gömlek Flor İçeriği, % ağı.	Yüksek Florlu Besleyici Gömlek Flor İçeriği, % ağı.
Teorik	0	1,0	2,25
Enstrümantal	0,1	0,65	1,78

Çizelge 3: Düşük ve yüksek florlu besleyici gömleklerin flor oranlarının karşılaştırılması.



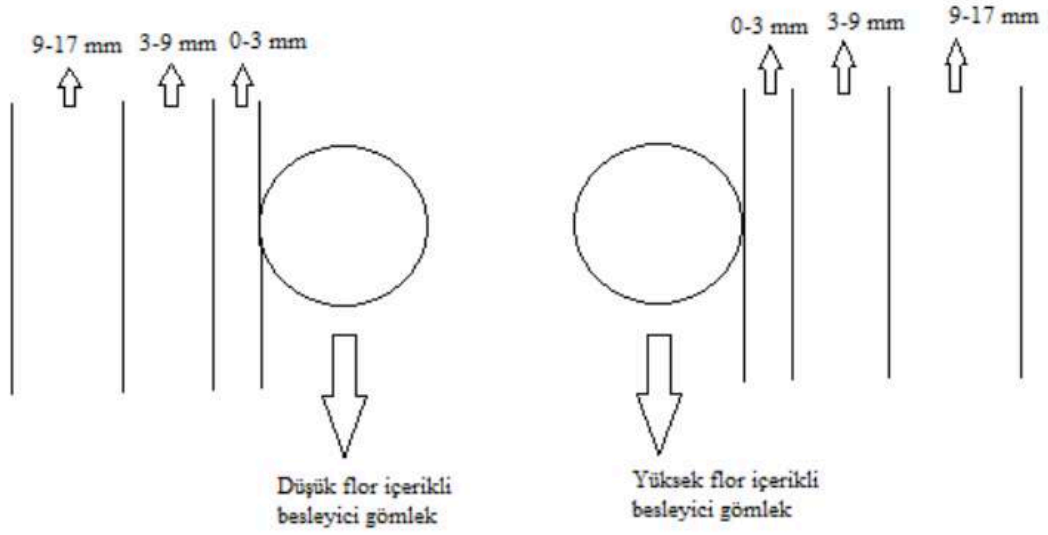
Şekil 9: Açık atmosferde yakılan besleyici gömleklerin soğuma eğrileri.

3.2. Ön Deneme Dökümü Çalışması: Döküm sonrası döküm kumunda biriken yüksek flor kaynaklı döküm hatalarının tespiti için KBG 6/9 besleyici gömlekler ile küp şekilli parçaların deneme dökümü yapılmıştır. Döküm parametreleri Çizelge 4'te, deneme dökümünün şematik görünümü ve numune alınan bölgelerin gösterimi Şekil 10'da gösterilmektedir. Şekil 10'da gösterildiği gibi besleyici gömleklerin dış çapından belirli mesafelerdeki kumlar çıkarılmıştır ve flor analizi yapılmıştır. Benzer şekilde düşük flor içeren besleyici gömlek içinde yapılmıştır.

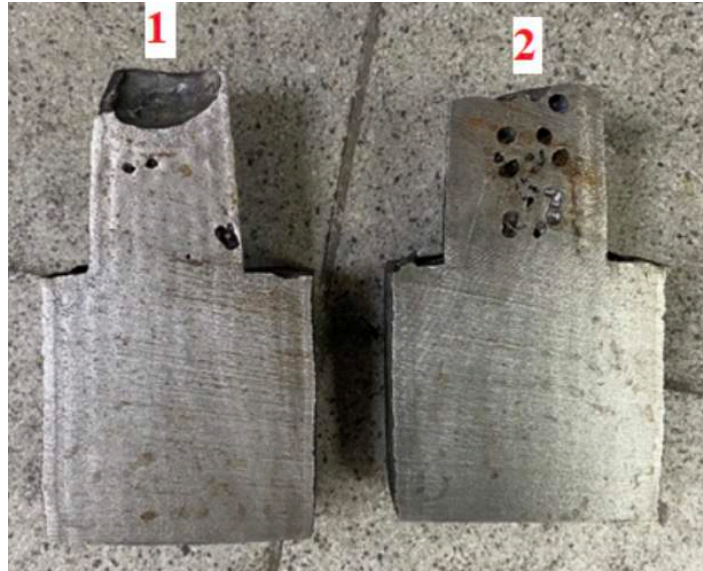
Çizelge 5'te sonuçlar gösterilmektedir ve sonuçlar incelendiğinde besleyici gömlek içerisindeki flor değeri yükseldikçe döküm kumunda biriken flor miktarının arttığı tespit edilmiştir. Yüksek florlu besleyici gömlek kullanılarak yapılan deneme sonucunda besleyici gömleğe yaklaştıkça döküm kumu içerisindeki flor miktarının arttığı belirlenmiştir. Bu durum yüksek flor içeriğine sahip besleyici gömleklerin kullanılmasıyla döküm kumunda biriken flor miktarının artmasını ve sonuç olarak tekrar kullanılan döküm kumunun döküm hatalarını arttırabileceği riskini ortaya koymuştur. Bu durumu destekler nitelikte Ferro Döküm Dış Ticaret A.Ş.'de sfero dökme demir parçada yüksek flor içeren besleyici gömleklerin kullanılması sonucunda zamanla döküm kumundaki flor oranının artması sonucunda döküm parçasının yüzeyinde balıkgözü hataları görülmüştür (Şekil 6). Şekil 11 incelendiğinde farklı flor miktarına sahip besleyici gömleklerin benzer besleme performansı gösterdiği tespit edilmiştir. Bu veriler ve literatür çalışmaları doğrultusunda balıkgözü hatasının azaltılması için seri dökümlerde düşük florlu besleyici gömlekler kullanılmıştır.

Döküm Kum	Yaş Kum Kalıp
Döküm Alaşımı	Sfero Dökme Demir
Kullanılan Besleyici Gömlek-1	KBG 6/9-Yüksek flor içeren besleyici gömlek
Kullanılan Besleyici Gömlek-2	KBG 6/9-Düşük flor içeren besleyici gömlek
KBG 6/9 Modül (cm)	1.70

Çizelge 4: Ön deneme döküm parametreleri.



Şekil 10: Ön deneme dökümü üstten şematik görünüm ve kum alınan bölgelerin gösterimi.

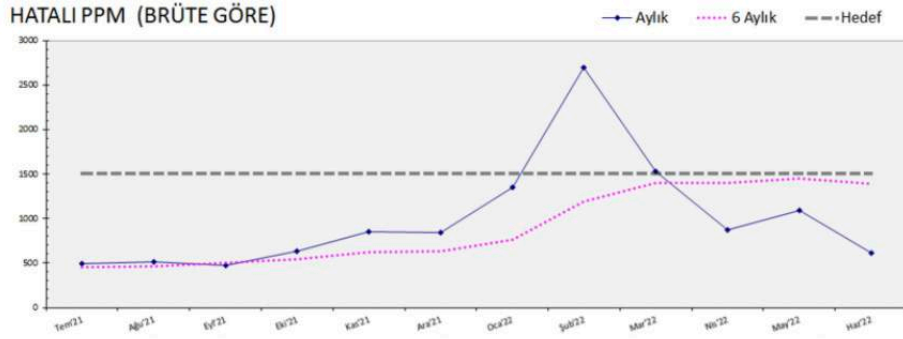


Şekil 11: Döküm sonrası besleyici gömlek metallere çekinti görüntüleri; 1; düşük florlu besleyici gömlek kullanılan, 2; yüksek florlu besleyici gömlek kullanılan.

Numune Tipi	Mesafe, mm	% F
Düşük florlu besleyici gömlek kum numunesi	0-3	<0,10
	3-9	
	9-17	
Yüksek florlu besleyici gömlek kum numunesi	0-3	0,44
	3-9	0,23
	9-17	<0,10

Çizelge 5: Flor analiz sonuçları.

3.3. Seri Döküm Çalışmaları: Ferro Döküm Dış Ticaret A.Ş.'de artan balık gözü hatasıyla birlikte yüksek ve düşük flor içeren besleyici gömlekler yatay kalıplama hattında kullanılmıştır. Düzenli olarak her ay balık gözü hatasından kaynaklı sağlam ve ret olan ürünlerin oranları incelenmiştir. Döküm hattında yüksek flor oranına sahip besleyicilerin kullanıldığı aylar da balıkgözü hatası pik yaparken düşük flor oranlı besleyici gömleklerin kullanıldığı aylarda sakat oranlarında Şekil 12'de görüldüğü gibi net bir şekilde azalma tespit edilmiştir.

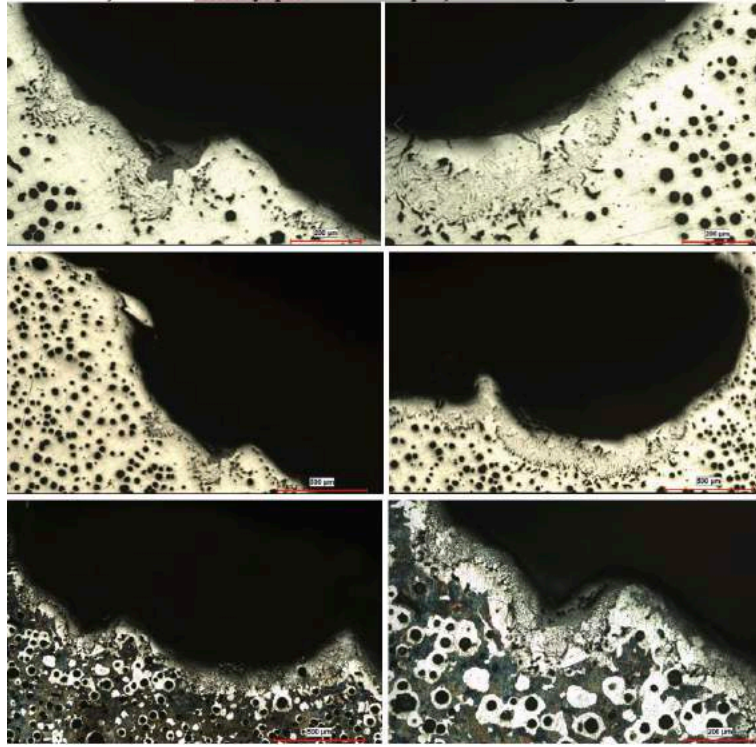


Şekil 12: Ferro Döküm Dış Ticaret A.Ş.'de aylara göre balıkgözü hatasının dağılımı.

Balık gözü hatası görülen sfero döküm parçası Şekil 13'te verilen parça olup optik mikroskop cihazında farklı büyütmelerde (50X, 100X) mikroyapı görüntüleri incelenmiştir. Mikroyapı incelemelerinde dağlanmış ve dağlanmamış numunelerin görselleri Şekil 14'te gösterilmektedir. Döküm parçası yüzeyinde görülen hatanın makro görüntüleri Şekil 13'te verilmiştir. Görseller 2022 yılında Şekil 4 ve Şekil 5'te verilen Sertucha ve Lazcaze'nin yaptığı çalışma ile uyumludur [9]. Şekil 14'te mikroyapı görüntüleri incelendiğinde küresel yapıların bozulduğu tespit edilmiştir. Sfero dökme demirde küresel şekilli grafitlerin bozulması mekanik özellikleri doğrudan etkileyecektir [1].



Şekil 13: Mikroyapısı incelenen parçanın makro görüntüsü.



Şekil 14: Balık gözü parçasının mikroyapı görüntüsü.

Ön deneme döküm çalışmaları ile döküm sonrası besleyici metallerin kesit görünüşleri incelenmiştir ve Şekil 11’de görüldüğü gibi 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 sunulmuştur.

4. 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 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.

COMPACT GRAPHITE IRON'S REAL TIME MANUFACTURING CONTROL BY THERMAL ANALYSIS

U. de la TORRE*, A. LOIZAGA* and R. SUÁREZ* **

**AZTERLAN, Basque Research and Technology Alliance (BRTA), Durango, Spain*

***Veigalan ESTUDIO 2010, Durango, Spain*

ABSTRACT

This research work presents a real time nodularity control methodology by thermal analysis for compact graphite iron (CGI) production. It studies the shape of the solidification curve and relates it to the graphite morphology. The target is to control compact graphite iron melt preparation through an accurate prediction of the nodularity index in a short time. Thermal analysis cups were poured, together with different thickness Y block standard samples (12.5, 25.0 and 50.0 mm). The thermal analysis solidification curves were used to predict the nodularity index of the cups and the Y blocks data were used to extrapolate the results to the different sections of a given casting. This was made studying the thermal modulus, a parameter that affects the nodularity. The developed predictive model to forecast the nodularity index presents a high accuracy and provides results in around 3 minutes.

Keywords: compact graphite iron, thermal analysis, nodularity index, prediction.

1. INTRODUCTION

CGI is a material that shows very attractive features in terms of mechanical properties, thermal conductivity, and vibration damping. Their properties are in between lamellar graphite irons (LGI) and nodular graphite irons (SGI) (1-4), which makes these materials interesting, mainly to replace lamellar iron applications, significantly improving the mechanical properties. The base of CGI and its properties is the compacted form or worm shape of the graphite particles, which differs from the lamellar shape of LGI and the spheroidal shape of SGI as it is seen in figure 1. These images were obtained by light optical microscopy at 100 magnifications and by scanning electron microscopy after a deep etching at different magnifications.

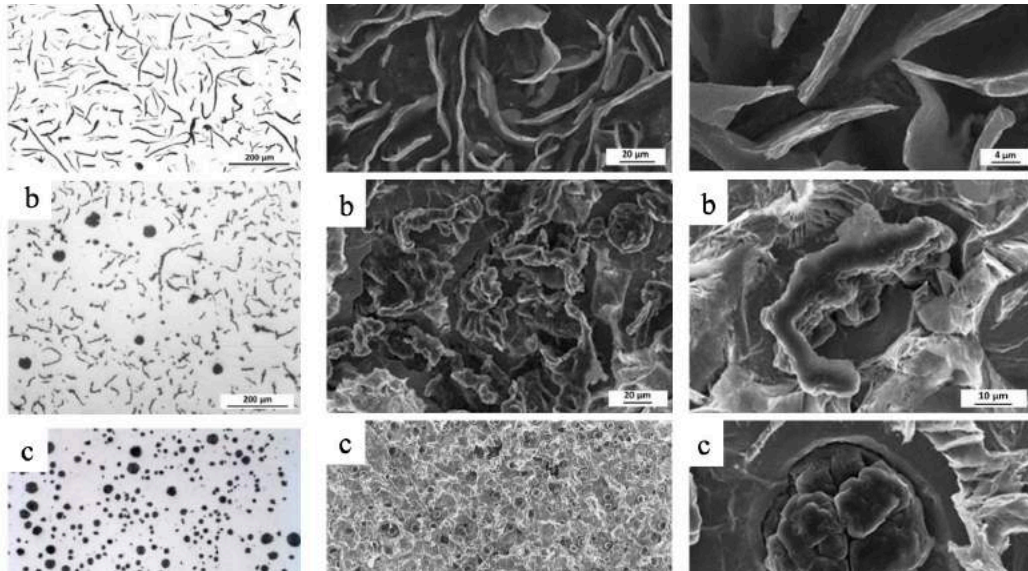


Figure 1.: Graphite morphology of different cast irons a) LGI, b) CGI and c) SGI

Despite these interesting properties, the development of CGI is hindered due to a complicated process control and stability and this leads to a non-completed market aspiration.

The proper graphite morphology for CGI is conventionally obtained adding a smaller quantity of a spheroidizing alloy than for SGI. However, the spheroidizing elements amount (mainly magnesium and in a lesser extent also cerium) is not the only variable that plays a role on the compact graphite obtention. The graphite morphology is also sensitive to (a) The cooling rate, influenced by the section size or thermal modulus of a given area of a casting (2-5). (b) Chemical composition, apart from the spheroidizing elements, the amount of sulphur that combines with the spheroidizing elements, titanium and other trace elements that can be considered as counter-spheroidizing elements (6-8). (c) Inoculation level, the higher the inoculation level, the more spheroidal graphite shape that is promoted (6,9).

The influence of all these variables was formerly studied. The aim of this work is, to present how it is possible to forecast the nodularity index in real time, with only one tool that enables the consideration of all the variables that affect the graphite morphology in one test. The study was made using thermal analysis curves, so that the process parameters can be adjusted to obtain the desired CGI.

2. EXPERIMENTAL PROCEDURE

The melts were prepared in a 100 kg capacity medium frequency induction furnace (250 Hz, 100 kW). The metallic charge was 100% of low-alloyed ductile iron returns and the carbon and silicon contents were adjusted adding graphite and FeSi75. Additionally, when needed, the sulphur content in the base melt was increased adding pyrite. Once melted, the composition was checked and adjusted according to the required carbon and silicon contents.

The transfer of the melt from the furnace to the ladle was made at a temperature between 1495-1510 oC. The spheroidization treatment was carried out following the sandwich methodology adding 0.35-0.70 wt.% of a FeSiMg alloy (6.3 % Mg; 1.01 % Ca; 0.47 % Al and 0.87 % Rare Earth). An amount of 2.4 wt.% steel scrap was used to cover the Mg alloy.

With this melt, thermal analysis cups and keel blocks Y1, Y2 and Y3 (as per the standard EN 1563) were poured. The Y blocks were poured in one mould as shown in figure 2. The aim of these castings is to analyse the influence of the thermal modulus on the nodularity index and this way be able to perform an extrapolation of the results of the thermal cups to the different section sizes of a given casting.

The thermal modulus (TM) for the studied samples was calculated by means of the simulation software QuickCAST®. The results were of 0.70 cm for the Y1, 1.11 cm for the Y2, 1.75 cm for the Y3 block and 0.60 cm for the thermal analysis cup.

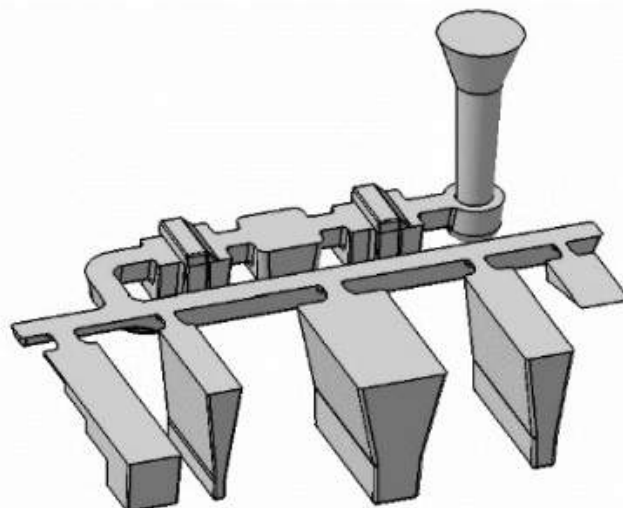


Figure 2.: Image of the mould of the different Y blocks

The inoculation was performed in the thermal cups in mould adding 0.01-0.20 wt.% of an inoculant product (72.10 % Si, 1.62 % Ca, 0.46 % Bi, 0.38 % Ba, 0.85 % Al, 0.19 % Zr, 0.39 % R.E., the rest being Fe) with a grain size of 0.2-0.5 mm. In the Y blocks, the inoculation was also performed in mould adding 0.05-0.20 wt.% of an inoculant product (68-76 % Si, 3.2-4.5 % Al, 0.3-1.5 % Ca, traces % Mg and traces % R.E.) added in one piece before the filter. Non inoculated samples were also poured.

The thermal analysis tests performed were previously described (10, 11). Three thermal analysis cups were used, a plain cubic one, a cubic one with sulphur addition and a cubic one with tellurium addition and their solidification curves registered and analysed by the software Thermolan®.

The chemical composition obtained before inoculation on the different trials is shown in Table 1. The silicon content was changed from one batch to another, and the carbon content was then adjusted to obtain in all the batches, the same carbon equivalent.

C	Si	S	Mg	Ti	P	Mn
3.44- 3.86	2.00- 2.84	0.002- 0.023	0.009- 0.033	<0.015	0.010- 0.026	0.14- 0.19

Table 1. Chemical composition ranges considering the different trials (wt. %).

The thermal centre of the thermal analysis cups and the lower zone of the Y blocks was prepared for metallographic inspection. The nodularity index was measured by means of image analysis software, using 10 fields of each sample at 100 magnifications. The criteria used to define the form of each graphite particle, was the defined in the standard ISO 945-1.

3. RESULTS AND DISCUSSION

An example of the performed thermal analysis tests with the three cups is shown in the figure 3, together with a micrograph taken from the thermal centre of the plain cup.

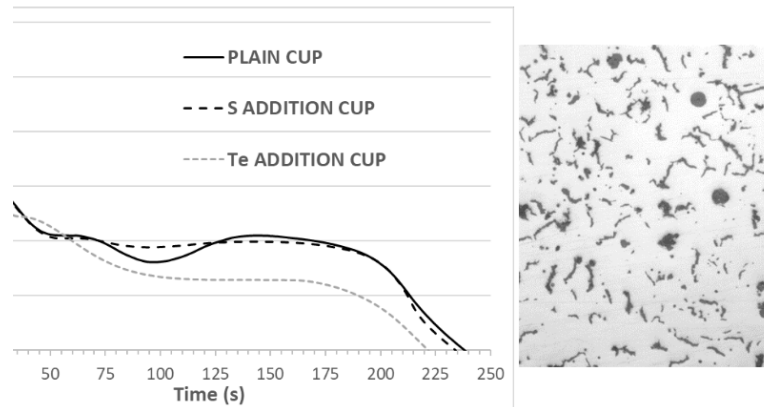


Figure 3.: Example of a thermal analysis test with three cups and the metallographic analysis of the plain sample.

The shape of these curves, their characteristic temperatures (liquidus, eutectic minimum, eutectic maximum and solidus) and the energies that are playing a role during the solidification were defined by means of the software Thermolan®. The plain cup is the reflection of the melt that is going to be poured in the moulds (inoculated or not inoculated). The cup with the sulphur addition, illustrates the form that a lamellar iron with the same chemical composition would have (inoculated or not inoculated). The cup with the tellurium addition, depending on the free magnesium is going to be a white or a graphitic curve. Considering the three curves and the metallographic results, an improvement of the model previously explained (11) was developed. The chemical composition term was removed from the equation, so that the thermal analysis test is capable, with no external input, of predicting the nodularity index. To that aim, the algorithm was improved adding more terms to the statistical analysis, like slopes and times. A prediction of the nodularity index is given, following the next equations:

If the tellurium cup is white, then equation [1]

$$\begin{aligned} \text{N.I. (\%)} = & C_0 + C_1 \times T_{\text{emin PLAIN}} + C_2 \times T_{\text{emax PLAIN}} + C_3 \times T_{\text{sol PLAIN}} + C_4 \times T_{\text{emin S}} + C_5 \times \\ & T_{\text{emin TE}} + C_6 \times (T_{\text{emax PLAIN}} - T_{\text{emax S}}) + C_7 \times (\text{SLOPE}_{\text{MAX}} T_{\text{emin PLAIN}} - T_{\text{emax PLAIN}}) + C_8 \times \\ & (\text{SLOPE}_{\text{MAX}} T_{\text{emin S}} - T_{\text{emax S}}) + C_9 (\text{SLOPE}_{\text{MAX}} T_{\text{emin TE}} - T_{\text{emax TE}}) + C_{10} \times (t_{\text{Temin S}}) + C_{11} \times \\ & (t_{\text{Tliq TE}}) \quad [1] \end{aligned}$$

If the tellurium cup is graphitic, then equation [2]:

$$\begin{aligned} \text{N.I. (\%)} = & C_{12} + C_{13} \times T_{\text{emin PLAIN}} + C_{14} \times T_{\text{emax PLAIN}} + C_{15} \times T_{\text{emin S}} + C_{16} \times T_{\text{emax S}} + C_{17} \\ & \times T_{\text{emin TE}} + C_{18} \times T_{\text{emax TE}} + C_{19} \times (\text{SLOPE}_{\text{MAX}} T_{\text{emin PLAIN}} - T_{\text{emax PLAIN}}) + C_{20} \times \\ & (\text{SLOPE}_{\text{MAX}} T_{\text{emin S}} - T_{\text{emax S}}) + C_{21} (\text{SLOPE}_{\text{MAX}} T_{\text{emin TE}} - T_{\text{emax TE}}) \quad [2] \end{aligned}$$

In these equations, the subscripted labels “PLAIN”, “S” and “TE” indicate the different thermal analysis cups. Temin, Temax and Tsol correspond to the eutectic minimum and maximum and solidus temperatures respectively. The term SLOPEMAX Temin-Temax refers to the maximum slope in between the minimum and maximum eutectic temperatures. tTemin and tTliq indicate the time at which the eutectic minimum and liquidus temperatures respectively are reached after the temperature of 1250 oC.

The results obtained with this algorithm for the thermal analysis cups are shown in figure 4. The relationship between the metallographic analysis and the prediction are displayed.

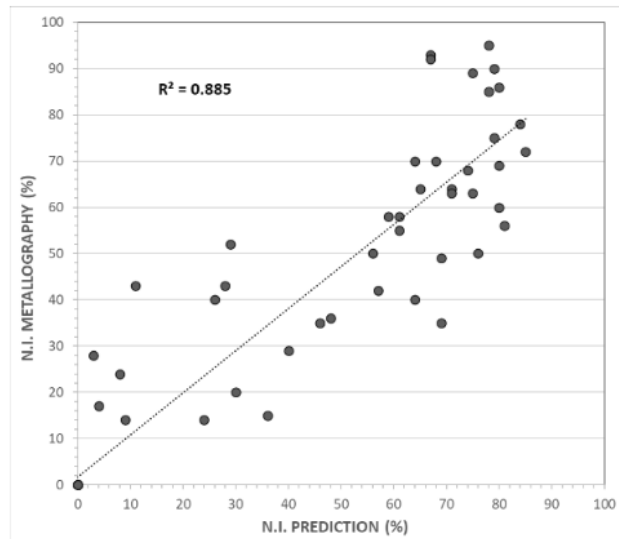


Figure 4.: Nodularity index relationship between the metallographic analysis and the prediction.

It is seen that the prediction shows a good correlation with the metallographic results with a R2 factor higher than 0.88. One important point is that all the grey cases are segregated.

Regarding the extrapolation of the thermal analysis cups results to the different sections of a given casting, in figure 5 is shown the relationship between the studied thermal moduli (0.60-0.70-1.11 and 1.75 cm). These results were obtained considering the same melt and inoculation conditions for all the samples. In total, 24 trials were analysed, but as the tendency was similar in all of them, for the sake of clarity, only 5 are shown.

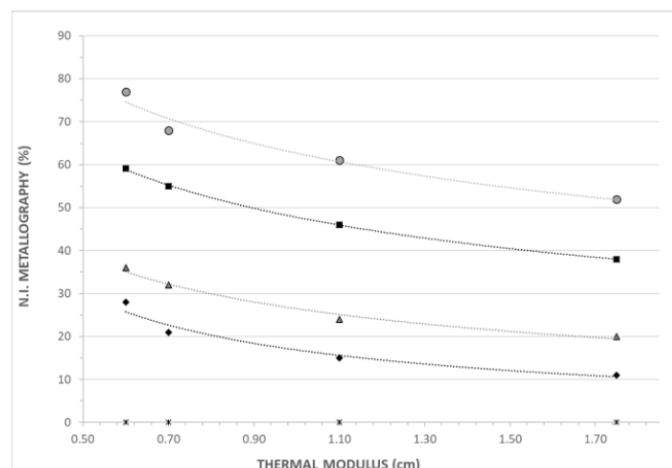


Figure 5.: Nodularity index relationship for the studied thermal moduli.

It is seen that these results are in good agreement with previous studies (11). For this reason, the same equation [3] was used to extrapolate the results from the thermal analysis cups to other thermal moduli. The exception would be, when the nodularity index of the thermal cup is 0 %, that is, the cup is lamellar iron, then all the higher thermal moduli, would also be lamellar (N.I. = 0%).

$$N.I._{TM} (\%) = C_{22} \times N.I._{TA} + C_{23} \times TM^{C24} \quad [3]$$

Being the subscripted labels “TM” and “TA” the corresponding data of the thermal modulus that is being studied and the data of the thermal analysis cup respectively. TM corresponds to the thermal modulus of the area of the casting that is being analysed.

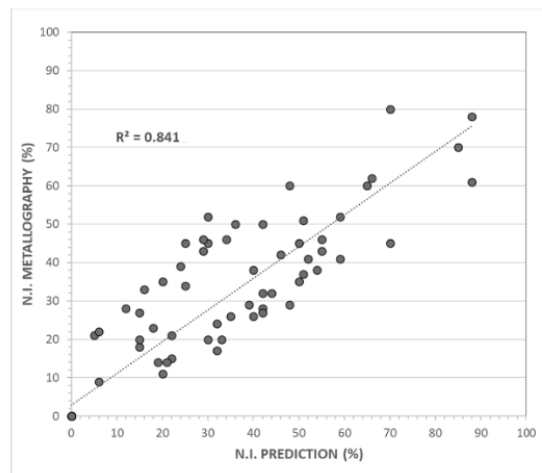


Figure 6.: Nodularity index relationship between the metallographic analysis and the prediction for the different thermal moduli.

It is seen that the prediction shows a good correlation with the metallographic results with a R2 factor higher than 0.84. The R2 factor decreases slightly with respect to the thermal analysis cups results, but the scattering is smaller, because the higher the thermal modulus, the more consistent are the results independent of the process variables.

4. CONCLUSIONS

- A predictive tool was presented to forecast the nodularity index for compact graphite iron production based on thermal analysis techniques.
- The methodology does not need any external input and using three solidification curves, is sensitive enough to take into consideration the different process variables that affect the graphite shape, like spheroidization treatment, inoculation etc.
- The nodularity index prediction is performed on a first step for a thermal analysis standard cup and afterwards, applying the thermal modulus concept, the results can be extrapolated to the different areas of a casting. In both cases, the prediction and the metallographic analysis present a good correlation.
- Considering this predictive system as a process control for compact graphite iron production, results can be obtained in less than 3 minutes and thus take the necessary corrective actions before pouring to guarantee that the graphite morphology is going to be the desired one.

5. REFERENCES

- 1) S. Dawson and T. Schroeder, "Practical applications for compacted graphite iron", AFS proceedings 2004, Rosemont, June 2004, American Foundry Society, 2004, P. 813- 822.
- 2) M. König and M. Wessén, "Influence of alloying elements on microstructure and mechanical properties of CGI", International Journal of Cast Metals Research, Vol. 23, 2010, P. 97-110.
- 3) M. Selin, D. Holmgren and I.L. Svensson, "Influence of alloying additions on microstructure and thermal properties in compact graphite irons", International Journal of Cast Metals Research, Vol. 22, 2009, P. 283-285.
- 4) V.S.R. Murthy and S. Sesham, "Characteristics of compacted graphite cast iron", AFS proceedings 1984, Saint Louis, 1984, American Foundry Society, 1984, P. 373-380.
- 5) S. Charoenvilaisiri, D.M. Stefanescu, R. Ruxanda and T.S. Piwonka, "Thin wall compacted graphite iron castings", AFS proceedings 2002, Kansas City, May 2002, American Foundry Society, 2002, P. 1113-1130.
- 6) A. Regordosa, U. e la Torre, A. Loizaga, J. Sertucha and J. Lacaze, "Microstructure changes during solidification of cast irons: effect of chemical composition and inoculation on competitive spheroidal and compacted graphite growth", International Journal of Metalcasting, Vol. 14, Issue 3, 2020, P. 681-688.
- 7) I. Riposan, M. Chisamera, R. Kelley, M. Barstow and R.L. Naro, "Magnesium-sulfur relationships in ductile and compacted graphite irons as influenced by later sulfur additions", AFS proceedings 2003, Milwaukee, April 2003, American Foundry Society, 2003, paper 03-093.
- 8) W. Guesser, T. Schroeder and S. Dawson, "Production experience with compacted graphite iron automotive components", AFS proceedings 2001, Dallas, April 2001, American Foundry Society, 2001, paper 01-071.
- 9) M.C. Firican and I. Riposan, "Graphite phase characteristics in compacted/vermicular graphite cast iron inoculated in the mould", Advanced Materials Research, Vol. 1228, 2015, P. 72-79.
- 10) P. Larrañaga, J.M. Gutiérrez, A. Loizaga, J. Sertucha and R. Suárez, "A computer- aided system for melt quality and shrinkage propensity evaluation based on the solidification process of ductile iron", AFS proceedings 2008, Atlanta, May 2008, American Foundry Society, 2008, P. 547-561.
- 11) A. Loizaga, P. Larrañaga, I. Asenjo, J. Sertucha and R. Suárez, "An experimental methodology based on solidification curves for controlling the manufacture of compacted graphite irons", AFS proceedings 2012, Columbus, April 2012, American Foundry Society, 2012, paper 12-006.

SİMÜLASYON VE DENEY TASARIMI KULLANARAK GRİ DÖKME DEMİR (GG) MALZEMELERDE KİMYASAL ANALİZ OPTİMİZASYONU

Serkan EVMEZ*, Şevki ÖZÇELİK*, Burcu ALTUĞ*
Birgül KÜREĞİBÜYÜK* Burç ARAL*

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

ÖZET

Deney tasarımı (DOE) prosese etki eden faktörler ve çıktı arasındaki ilişkiyi tanımlamak için kullanılan sistematik bir metottür. Başka bir deyişle DOE neden sonuç ilişkisini tespit edebilmeyi sağlar, böylece girdi değerlerinin hangi kombinasyonu ile çıktının en iyi hale nasıl getirilebileceğinin formülü tespit edilir. Simülasyon programları sayesinde yüzlerce deneme sanal ortamda yapılıp, en iyi koşulların hangi deney koşullarında olduğuna kullanıcılar karar verilebiliyor. Böylece numune üretim süreleri kısalıyor ve deneme maliyetleri ciddi şekilde azalıyor. Tabii ki sanal ortam ve gerçek dökümhane koşullarındaki sonuçlar bire bir aynı çıkmamaktadır. Burada da simülasyon programının dökümhane koşullarına göre yorumlanması/kalibrasyonu gerekmektedir.

Bu çalışmada GG malzemenin kimyasal analizindeki elementler için belli aralıklar belirlenmiş ve deney tasarımı mantığında çekme mukavemeti için simülasyon yapılmıştır. Elde edilen sonuçlardan faydalanarak analiz değişikliklerinin çekme mukavemetine etkisi formüle edilmiş, element/çekme ilişkileri grafikleri oluşturulmuştur. Seçilen kompozisyonlardan döküm yapılarak simülasyon sonuçlarının doğruluğu test edilmiş ve çalışma sonunda kimyasal analiz optimizasyonu için kullanılabilir veri oluşturulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Gri dökme demir, çekme mukavemeti, kimyasal analiz optimizasyonu, döküm simülasyonu, deney tasarımı (doe).

ABSTRACT

Design of Experiment (DOE) is a systematic method used to define the relationship of incomes and outcomes of a process. Therefore, Doe helps to determine relations between reasons and results, in other words defining parameter levels to get the best possible results. Using simulation software users can make hundreds of trials by simulation and choose best solutions in quite fast. This ensures to decrease production time and costs in foundries. Surely, simulation and real results may not match each time, so foundries should adjust/calibrate simulation parameters with their foundry practices before trials.

In this study, casting simulation made for tensile strength results with respect to various chemical compositions by using design of experiment (Doe) method. Results used to formulate the tensile strength versus chemical composition, and related graphics created. Simulation results have been confirmed by making casting trials in Foundry. Finally basic data created to help in deciding chemical analysis optimization.

Keywords: Grey cast iron, tensile strength, chemical composition optimization, casting simulation, design of experiment (doe).

1. GİRİŞ

Uluslararası EN:1561 Avrupa Standardı (İngiliz 1561 British Standard) Gri Dökme Demirleri 2 temel özelliğe göre sınıflandırmıştır [1]. Döküm malzemenin elde ettiği Çekme Mukavemeti (MPa) ve Sertlik (Brinell) değerleri.

Çekme mukavemeti (MPa) bazlı sınıflandırma:
EN-GJL-100 / 150 / 200 / 250 / 300 / 350

Brinell Sertlik (HB) bazlı sınıflandırma:
EN-GJL-HB155 / HB175 / HB195 / HB215 / HB235 / HB 255

Yaygın olarak çekme mukavemeti sınıflandırması referans alınmakta ve dökümhanelerde kullanılmaktadır. Gri dökme demir üreticileri ve kullanıcılarının da GG 25 / GG30 / GG35 malzemeler olarak tarif ettikleri bu çekme mukavemet sınıflandırmasıdır. Üreticiler istenen Gri demiri elde etmek için belirlenen çekme mukavemet limitlerini sağlamaya çalışırlar. Çekme mukavemeti test numunesinin nereden ve nasıl hazırlanacağı farklı yöntemler tanımlanarak aynı standartta verilmiştir [1]. Özel bir aralık belirtilmediği sürece 2.5mm-50mm kalınlık için malzemede elde edilmesi gereken minimum MPa değerleri basitçe aşağıdaki gibidir.

Malzeme Grade	U çubuktan UTS (Mpa)*	Döküm parçadan UTS (Mpa)*
GG 20	min. 200	min. 180
GG 25	min. 250	min. 225
GG 30	min. 300	min. 270
GG 35	min. 350	min. 320
*Et kalınlığı 2.5mm – 50mm arası için		

Tablo 1.: EN 1561'e göre elde edilmesi gereken minimum çekme mukavemet (MPa) değerleri

İstenen malzeme seviyesi (grade) için tablodaki değerleri sağlamak malzeme özelliklerini sağlamak anlamına gelmekte olup elbette beraberinde sertlik, mikroyapı gibi diğer özelliklerin de kontrol edilmesi, bu değerler için belirtilen limitlerin de sağlandığından emin olunması gereklidir.

1.ÇEKME MUKAVEMETİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLER

Üretilen gri dökme demir parçaların geometri ve et kalınlıklarına göre standardı karşılama yeterlilikleri değişebilmektedir. Üreticinin kontrolü dışında olan bu durum ile sıklıkla karşılaşılmakta dolayısı ile GG malzeme üretimi için proses parametrelerinde de farklılaşma ihtiyacı doğmaktadır.

İstenen GG standardını elde etmek için dökümhanelerin kontrolünde olan temel proses parametreleri;

1. Soğuma/katılma koşulları (bozma zamanı, aşılama pratiği ve miktarı, vb...)
2. Metalin kimyasal kompozisyonu (alaşım elementleri, şarj malzemeleri).

Seri üretim koşullarında çalışan dökümhaneler kalıplama ve ergitme tesislerinin standart çalışması sebebi ile aşılama/soğuma/bozma koşullarında fazla bir değişikliğe gitmemektedirler. Bu sebepten kimyasal kompozisyonu ayarlamak istenen malzeme seviyesini yakalamak için en pratik yoldur. Şarj malzemedan gelebilecek etkiler olmakla beraber isteğe bağlı ilave edilen veya eksiltelen elementler nihai mukavemet ve sertlik değerlerini etkiler ve limitleri yakalamak için ayarlanırlar.

1.1.Kimyasal Element Etkisi:

Genel pratik C, Si oranlarının yanı sıra mikroyapıyı ve mekanik özellikleri etkileyen Sn, Cu, Mo, V, Cr, Mn, N, gibi elementlerin belirli aralıklarda kullanılmasıdır. Bu elementler matris yapısını değiştirir ve böylece elde edilen mekanik özellikler de değişir. Bu elementleri kullanmakta çok da özgür değiliz çünkü matrisini etkileyen bu elementlerin bazı istenmeyen sonuçları olabilir. Eksik veya fazlalığına göre iç çekintiler, işlemede zorluklar veya tokluk dayanımında düşüşün yanı sıra işin maliyet boyutu ise dökümhanelerin göz önünde bulundurması gereken sonuçlardır. Burada düşünülmesi ve üstünde çalışılması gereken optimum üretim koşulları ile maksimum faydanın elde edilmesidir.

Literatürde kimyasal elementlerin sertlik ve çekme mukavemetine etkilerini inceleyen yayınlar bulunmaktadır [2, 3, 4]. Peki, bu elementlerin kombinasyonu ve etkileşimleri ne kadar çalışılabilmiştir? Elimizde elementlerin sonuca etkisini hesaplayan hazır bir formül bulunsaydı güzel olmaz mıydı?

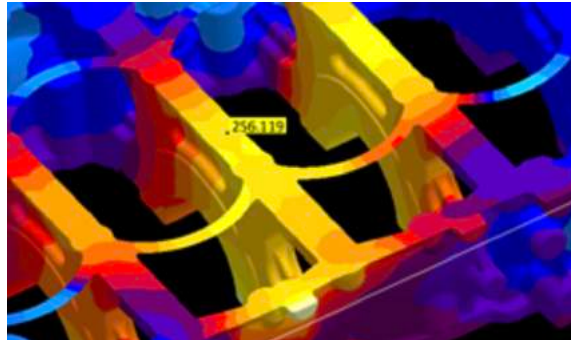
2.SİMÜLASYON ÇALIŞMASI

Kimyasal elementlerin çekme mukavemet sonucuna etkilerini incelemek için denemeler yapmadan önce simülasyon programlarından destek aldık. Simülasyon gerçek hayatta var olan bir sürecin ya da sistemin genellikle bilgisayar ortamında modellenmesi, taklit edilmesidir. Simülasyon, sisteme getirmek istediğimiz yenilikleri sistem üzerinde denememiz uygun olmadığı zamanlarda, sistemimiz ya da karşılaştığımız problem karmaşık ise kullanılır. Son yıllarda döküm simülasyon programları sıcaklık dağılımı, gaz, çekinti gibi sonuçların yanı sıra malzeme sonuçlarını da veren modüller geliştirdiler. Bizim de işe başlarken yaptığımız ilk çalışma simülasyon programı ile elementlerin etkisini görmeye çalışmak oldu.

Çekme mukavemetine etkisi olduğunu bildiğimiz yaygın kullanılan 6 elementin farklı düzeyinde (düşük/orta/yüksek) tüm kombinasyonlarını içeren bir deney seti oluşturulmuş (36 = 729 deney) ve simülasyon programı çalıştırılmıştır. Elementler dışındaki diğer tüm parametreler ve döküm parça sabittir. Yapılan simülasyonda mukavemet okunan bölge, gerçek dökümlerde mukavemet testi yapılan bölge ile aynıdır.

Element	Test Seviyesi		
C	d	o	y
S	d	o	y
Mn	d	o	y
Cr	d	o	y
Cu	d	o	y
Sn	d	o	y

Tablo 2.: Simülasyon yapılan 6 elementin deney seviyeleri



Şekil 1.: Simülasyonda kullanılan döküm parça (Bedplate) ve mukavemet ölçümü

Simülasyon sonuçları bilgisayarda istatistik programı (Minitab) kullanarak analiz edilmiş (regresyon), elementlerin sonuçlara etkisi %99 doğruluk ile formüle edilmiştir. Aslında bu analiz ile simülasyon programının çekme mukavemet hesabı için arka planda çalıştığı algoritma ortaya çıkarılmıştır. Buna göre formül içine kullanılacak elementlerin %oranları yazılır ise elde edilecek mukavemet değeri hesaplanmaktadır. Amprik formül şu şekildedir;

The regression equation is
 Avg-Mpa = 962 - 200 C (Carbon) + 89,7 Cr (Chromium) + 11,7 Cu (Copper)
 - 84,0 Mn (Manganese) + 142 S (Sulfur) + 133 Sn (Tin)

The regression equation is
 Avg-Mpa = 962 - 200 C (Carbon) + 89,7 Cr (Chromium) + 11,7 Cu (Copper)
 - 84,0 Mn (Manganese) + 142 S (Sulfur) + 133 Sn (Tin)

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	961,736	1,310	734,26	0,000
C (Carbon)	-200,378	0,397	-504,71	0,000
Cr (Chromium)	89,7390	0,2647	339,05	0,000
Cu (Copper)	11,7497	0,1985	59,19	0,000
Mn (Manganese)	-84,0056	0,2647	-317,39	0,000
S (Sulfur)	142,225	0,993	143,30	0,000
Sn (Tin)	132,687	1,323	100,26	0,000

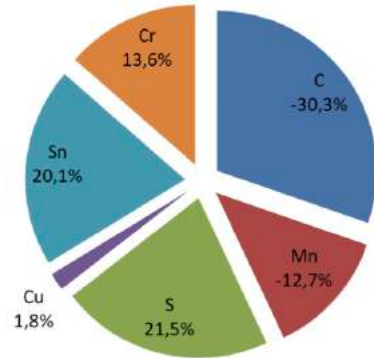
S = 0,875228 R-Sq = 99,9% R-Sq(adj) = 99,9%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	6	386477	64413	84087,10	0,000
Residual Error	722	553	1		
Total	728	387030			

Tablo 3.: Simülasyon programı sonuçlarından hesaplanan amprik çekme formülü ve analiz doğruluk oranı

Simülasyon Sonuçlarına Göre Elementlerin Çekme Mukavemetine Etkisi (her %0.1'lik element değişimi için)



Şekil 2: Simülasyon Sonuçlarına Göre Elementlerin Çekme Mukavemetine Etkisi

Ancak burada bir sorun var. Formül tüm elementlerin sonuca etkisinin 1.dereceden lineer olduğunu göstermektedir. Yani element miktarının azlığına veya çokluğuna doğru orantılı olarak çekme sonuçları aynı paralellikte azalmakta veya artmaktadır. Normal şartlarda bu formül test edilen aralıklar için geçerli olur ve aralık dışındaki değerler için yeni testlerin yapılması gerekir. Ancak bu 1.dereceden lineer formül bize alt/üst değerlerin limitlerin değişmesinin formülü değiştirmeyeceğini düşündürmektedir.

Unutulmaması gereken istatistik programının verdiği %99 doğruluk oranının formülün veri setini ne oranda karşıladığını göstermektedir. Simülasyonun kullandığı algoritma ve formülün döküm pratiğine ne oranda uygun olduğu gerçek testler ile kıyaslandıktan sonra belirlenebilir.

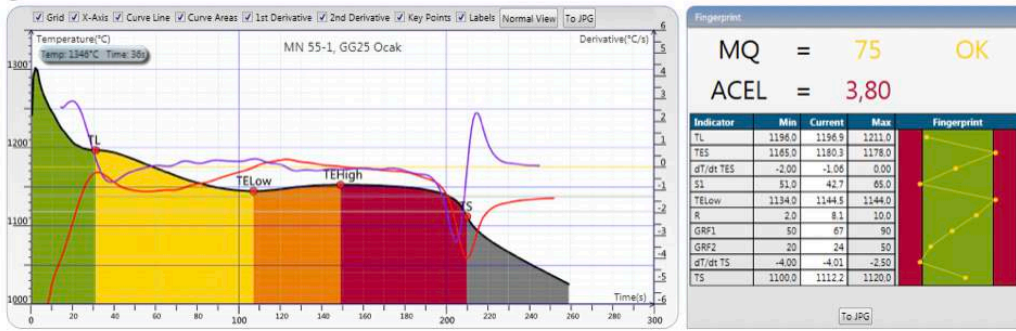
3.DÖKÜMHANE DENEYLERİ

Her simülasyon çalışmasında yapılması gereken, sonuçların dökümhane deneyleri ile doğrulanmasıdır. Burada kritik nokta simülasyon programının dökümhane şartlarına göre kalibre edilmesidir ki simülasyon döküm sonuçlarına yakın değerler verebilsin. Bu kalibrasyon her dökümhanenin kendi pratik ve şartlarına bakarak simülasyon programı içindeki katsayıların ayarlaması ile yapılır.

Dökümhanedeki çalışmamızda 6 element için bazı kritik seviyeler belirlenip 7 döküm deneyi yapılmış ve çekme mukavemet sonuçları incelenmiştir.

Deneyler aşağıda sıralanan ortak şartlar altında yapılmış ve değerlendirilmiştir.

- Kimyasal element dışında tüm diğer döküm parametreleri sabit tutulmuştur (şarj oranları, aşı miktarı, bozma süresi, döküm sıcaklığı, vb.).
- Döküm esnasında termal analiz cihazı ile takip yapılmış ve metal kalitelerinde sonuçları etkileyecek herhangi bir anormallik olmadığından emin olunmuştur.
- Denemeler ve simülasyon aynı döküm parçadan ve aynı test noktasından sonuçlandırılmıştır.

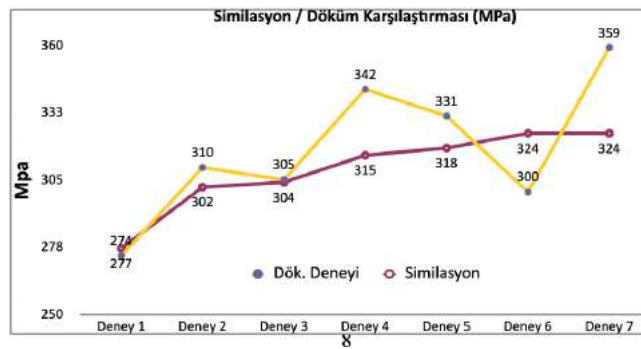


Şekil 3: Termal analiz cihazı ile metal kalitesi takibi

- Test çubukları aynı laborant tarafından hazırlanmış ve test edilmiştir.
- Her test çubuğunun mikroyapısı incelenmiş ve istenen grafit yapısı ve matris özelliklerinin sağlandığı emin olunduktan sonra değerlendirmeye alınmıştır.
- Döküm parçalar rutin CNC işleme operasyonundan geçirilmiş ve işlenebilirlik, uç ömürleri yönünden bir olumsuzluk olup olmadığı takip edilmiştir.

4. ELDE EDİLEN SONUÇLAR

Elde edilen döküm deney sonuçlarının, simülasyon formülünden hesaplanan sonuçlar ile karşılaştırması aşağıdaki grafikte verilmiştir.



Şekil 4: Simülasyon ve döküm mukavemet (MPa) sonuçlarının karşılaştırması

Grafikten görüleceği üzere bazı döküm denemeleri simülasyon sonuçlarına çok yakın değerler vermiş ancak diğer denemelerde ise bariz fark olmuştur.

4.1.Sonuçların Değerlendirmesi

Elde edilen sonuçlara ve göre yapılabilecek bazı çıkarımlar şu şekildedir;

I. Simülasyon sonuçlarındaki artış trendi Deney1/ Deney2/ Deney3 ile yakın sonuçlar vermiş içerikteki element miktarı zenginleştikçe korelasyon kaybolmuştur. Özellikle Deney4'den Deney6'ya ilerlerken simülasyonun gösterdiği artış trendi döküm deneylerinde azalış olarak ortaya çıkmıştır. Bu kırılmı simülasyon programının kalibrasyonu ile açıklamak mümkün görünmemektedir.

II. Deney6 ve Deney7'de simülasyona göre aynı mukavemet sonucu beklenirken (324MPa) döküm deneylerinde biri düşük (Deney6/ 300MPa) diğeri yüksek (Deney7/ 359MPa) sonuç vererek simülasyondakinden çok farklı bir sistemin çalıştığını göstermiştir.

III. Deney6 simülasyonda yüksek değer bulurken deneyde düşük sonuç vermiştir. Elementlerin birbiri ile etkileşimleri negatif sonuç doğuruyor olabilir. Bu olasılık doğru ise hangi elementlerin birbiri ile negatif etkileştiği veya hangi %seviyelerinde negatif etkileşim başlattığı yeni bir deney tasarımı ile çözülmesi gerekmektedir.

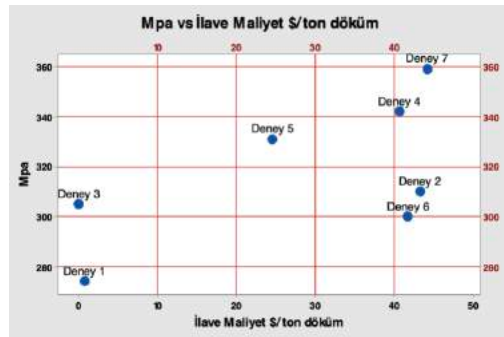
IV. Elementlerin etkileşimleri lineer artış/azalış formülü yerine üstsel artış/azalış formülü ile çalışıyor olabilir. Deney4 ve Deney7 simülasyon değerinin çok üstünde sonuç elde ederek bu olasılığı desteklemektedir.

V. Deney 2, Deney 3 ve Deney 6 ile elde edilen yakın sonuçların (310-305-300MPa) çok farklı element kombinasyonları ile yakalanabileceğini göstermektedir. Burada diğeri mekanik özelliklerin (sertlik, mikroyapı, işlenebilirlik, vb) sağlanması koşulu ile minimum maliyetli malzeme seçimi yapılabilecektir.

VI. Deneylerin maliyet incelemesi aşağıdaki tabloda özetlenmiştir. Her deney için hesaplanan maliyet referans analizden farklılaşan elementlerin piyasa fiyatları ile hesaplanmıştır. Buna göre, hedeflenen çekme değeri için kullanılacak en düşük maliyetli kimyasal kompozisyon tespit edilmiştir. Benzer maliyetler farklı mukavemet sonuçları verebilmektedir.

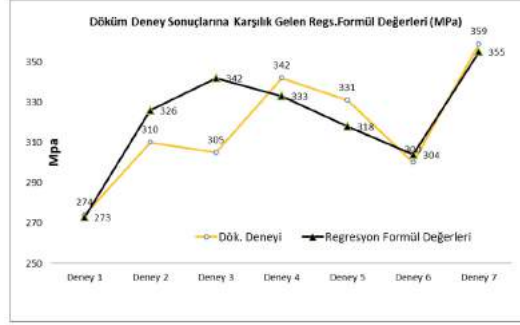
	İlave Maliyet \$/ton döküm	Mpa Parçadan
Referans Analiz ve Maliyet	0,0	305
Deney 1	0,7	274
Deney 5	24,6	331
Deney 4	40,7	342
Deney 6	41,7	300
Deney 2	43,3	310
Deney 7	44,2	359

Şekil 4: Döküm deneylerinin maliyet ve çekme mukavemet (MPa) karşılaştırması



Şekil 5: Döküm deneylerinin maliyet ve çekme mukavemet (MPa) karşılaştırması

I. Deney sonuçlarının Regresyon ile analizi sonunda bir formül tespit edilmiş ancak formülün mukavemete etkisini bildiğimiz C elementini dışarda bıraktığı görüldüğünden eksik bir formül olduğu kanısındayız. Bunda sebep deneylerin azlığı veya deney seti seçimidir. Yine de formül sonuçlarının gerçek deney sonuçlarına uyumu aşağıdaki grafikte verilmiştir. Elde edilen bu formül bir etkileşim de içermektedir.



Şekil 6: Deney sonuçları ile çıkarılan formülün sonuçlarının karşılaştırması (MPa)

Yeni bir deney tasarımı ile farklı element düzeylerinde veri toplayarak sistemin tekrar analiz edilmesi gerekmektedir.

I. Çalışmanın 2. ayağı deney tasarımı kullanılarak yeni deney setleri yapmak ve daha çok veri toplamak olacaktır. Analiz mümkün oluncaya kadar kademeli olarak deney setleri ilave edilmelidir. Bu sayede karmaşık sistemlerin çözümü mümkün olabilir. Başlangıç olarak aşağıdaki 2 seviyeli deney tasarımı ilk test için kullanılabilir.

Deney	C	S	Mn	Cr	Cu	Sn
1	D	D	D	Y	Y	Y
2	Y	D	D	D	D	Y
3	D	Y	D	Y	D	D
4	Y	Y	D	D	Y	D
5	D	D	Y	D	Y	D
6	Y	D	Y	Y	D	D
7	D	Y	Y	D	D	Y
8	Y	Y	Y	Y	Y	Y

Tablo 5: Deney tasarımı. 2 düzey için (yüksek/düşük) 8 deneyli faktöryel deney seti.

5.SONUÇ

Bu çalışma ile hedeflenen Gri Dökme Demirlerin çekme mukavemetinin kimyasal element içeriğine bağlı olarak nasıl davrandığını tespit etmek ve mümkün ise amprik bir formül oluşturmaktır. Bu sayede istenen mukavemet değerlerinin en düşük maliyet ile elde edilmesi amaçlanmıştır. Çalışma sırasında simülasyon programından destek alınmış ve istatistiksel program kullanarak deney çözümlenmeleri yapılmıştır.

Yapılan çalışma ile çekme mukavemet değerlerini sağlayabilecek en uygun malzeme kompozisyonu tespit edilmiştir. Ancak hedeflenen amprik formül tespit edilememiştir. 6 elementli (C, S, Mn, Cr, Cu, Sn) sistemi anlamak (kurallı bir sistem var ise) belirtilen 6 elementin tüm kombinasyonlarını sınamak ile olabilir ancak bu çalışma uzun süreler alabilir ve uzun deney süreleri sistemdeki değişkenliği artırır. Sağlıklı analiz yapmak için ihtiyaç duyulan daha fazla veri kısaltılmış deney tasarımları ile mümkün olabilecektir. Bu sayede hedeflenen amprik formül türetebilir.

6.KISALTMALAR

DOE: Design of Experiment. Deney tasarımı. Birden fazla değişkenin birbiri ile etkileşimlerinin sonuca etkisi olup olmadığını test etmeye yarayan deney seti.

7.TEŞEKKÜR

Erkunt Döküm Fabrikası Ergitme Bölümü ve Laboratuvar çalışanlarına yardımlarından dolayı teşekkürlerimizi sunarız.

8.KAYNAKÇA

[1] BS EN 1561:2011 Founding – Grey Iron Castings

[2] Bagesh Bihari, Rahul Kumar, Anil Kr Singh. “Effect on the Mechanical Properties of Gray Cast Iron with Variation of Copper and Molybdenum as Alloying Elements”, International Journal of Engineering Research & Technology Vol.3 Issue5.

[3] Schneidewind,R., McElwee, R.G. “The Composition and Properties of Gray Iron” AFS Transactions, 1950, pg 312

[4] Janowak, J.F., Guandlach, R.B., “A Modern Approach to Alloying Gray Iron” AFS Transactions, 1982, pg 847.

İNCE KESİTLİ TEMPER PARÇALARDA SICAK YIRTIлма HATASININ İYİLEŞTİRİLMESİ

Volkan NESİPOĞLU

Trakya Döküm San. Ve Tic. A.Ş. / Kırklareli, Türkiye

ÖZET

Katılaşma tamamlanmış olmasına rağmen bazı bölgeler diğer bölgelere göre daha sıcak kalabilir. Bu durumda soğuma devam ederken homojen olmayan ısı dağılımından dolayı iç gerilimler artar. Çünkü parçanın soğurken büzülmesi/çekmesi serbestçe gerçekleşmez. Yeterli dayanıma sahip olmayan ince kesitli temper parçalarda bu durum sıcak yırtılma hatasına neden olur. Hataların oluştuğu yırtılma yüzeyi pürüzlü ve oksitlenmiş bir görünümdeydir. İnce kesitli temper döküm parçalarda parça tasarımı, yolluk ve besleyici sistemi, kalıp kumu ve maça pratiği sıcak yırtılma hatalarının oluşumunun başlıca nedenleridir.

İnce kesitli temper malzeme olan boru ekleme parçalarının T bağlantılı tiplerinde sıcak yırtılma hataları genellikle görülür. Bu tip tasarımlarda, kalıp kumu ve maça, metalin normal büzülmesine direnerek, soğuma sırasında gerilim oluşumuna neden olurlar. Genellikle ağızlarda soğutucu çapak kullanımı ve düşük mukavemetleri maçaların kullanımı ile çözüm bulunabilir.

Anahtar Kelime: Sıcak Yırtılma, Temper Döküm, Sıcak Kutu Maça

ABSTRACT

Casting parts that inside of mould do not sufficiently strong even though they completed solidification because they are still hot. When casting contraction do not occur freely there will be some internal stress and hot tear defect will occur in critical areas. Hot tear surface is rough and oxidized. Main reasons of this defect in thin walled malleable castings are part design, gating and feeding system, molding sand and core production.

Hot tear defects are generally seen in T-linked thin walled malleable iron pipe fittings. Sand mould and core are resisting to contraction of metal and create stress at solidification in these types cast parts. This defect is so common in these parts and cooling pin application and less strength core usage can solve the problem.

Keywords: Hot Tear, Malleable Iron, Hot Box Core

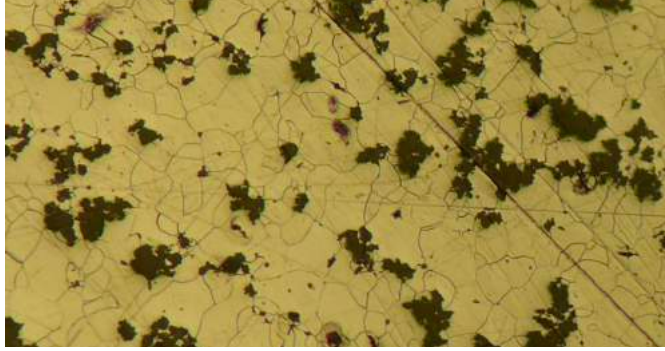
Teşekkür

Proje çalışmam süresince tüm görüşlerini, bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan Mehmet Özgül, İsmail Büyükgül, Nedim Ceylan, Serdar Çevik, Halil Kılıç, Özgen Özorman, Erkan Sürücü ve Yaşar Solak'a teşekkürlerimi sunarım.

GİRİŞ

1.1. Temper Döküm

Temper döküm, az karbonlu çeliklerin özelliklerini gösteren ve beyaz dökme demirin bazı ısıl işlemlerden geçirilmesi (Basitçe, beyaz dökme demirin 900 – 950 °C' ye kadar ısıtılması ve yavaş soğutulmasıdır) sonucunda üretilen dökme demir türüdür. Temper dökme demirler genellikle flanşlarda, borularda, bağlantı ve vana parçalarında kullanılır.



Resim 1: Temper dökme demir mikro yapısı

Trakya Dökümde black heart temper döküm üretimi yapılmaktadır. Ham temper, azotça zengin atmosfer altında gaz sızdırmaz fırınlarda ısıl işlem prosesinden geçirilerek temperlenir. Döküm parçanın tüm kesitinde temper karbonu içeren ferritik bir iç yapı elde edildiğinden mekanik özellikler et kalınlığına bağlı değildir.

1.2. Sıcak Yırtılma

Katılma tamamlanmış olmasına rağmen bazı bölgeler diğer bölgelere göre daha sıcak kalabilir. Bu durumda soğuma devam ederken homojen olmayan ısı dağılımından dolayı iç gerilmeler artar. Çünkü parçanın soğurken büzülmesi/çekmesi serbestçe gerçekleşmez. Yeterli dayanıma sahip olmayan ince kesitli temper parçalarda bu durum sıcak yırtılma hatasına neden olur. Hataların oluştuğu yırtılma yüzeyi pürüzlü ve oksitlenmiş bir görünümdedir. İnce kesitli temper döküm parçalarda parça tasarımı, yolluk ve besleyici sistemi, kalıp kumu ve maça pratiği sıcak yırtılma hatalarının oluşumunun başlıca nedenleridir.

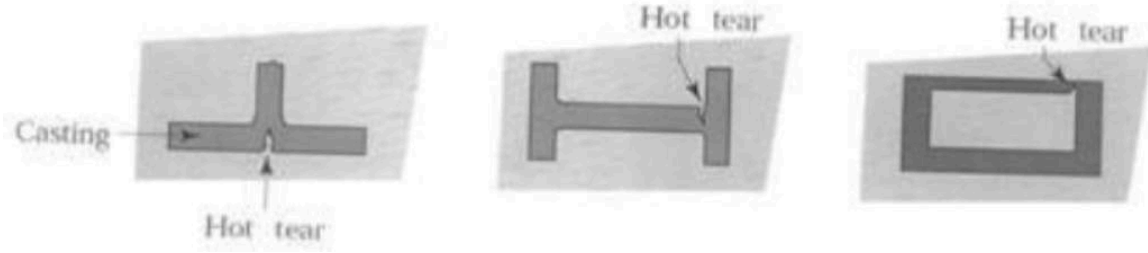
İnce kesitli temper malzeme olan boru ekleme parçalarının T bağlantılı tiplerinde sıcak yırtılma hataları genellikle görülür. Bu tip tasarımlarda, kalıp kumu ve maça, metalin normal büzülmesine direnerek, soğuma sırasında gerilim oluşumuna neden olurlar. Genellikle ağızlarda soğutucu çapak kullanımı ve düşük mukavemetli maçaların kullanımı ile çözüm bulunabilir.

Katılması tamamlanmış, ancak hala sıcak olması nedeniyle yeterli dayanıma sahip olmayan döküm parçalar kalıp içinde soğurlarken büzülme serbestçe gerçekleşemez, yani iç gerilmeler ortaya çıkar ise, kritik kesitlerde sıcak yırtılmalar oluşur. Yırtılma yüzeyi pürüzlü ve oksitlenmiş bir görünümdedir.



Resim 2: Temper dökme demirde sıcak yırtılma hatasının mikro yapısı

Parça ve model tasarımı, yolluk ve besleyici sistemi, kalıp kumu ve maça pratiği sıcak yırtılma hatalarının oluşumunun başlıca nedenleridir.



Resim 3: Döküm parça geometrisine göre sıcak yırtılma riski olan bölgeler

İnce kesitli temper malzeme olan boru ekleme parçalarında metalin normal katılaşmasına direndiği, U veya kanal şekilli kesit veya T bağlantılı tiplerde genellikle sıcak yırtılma hatası görülür. Bu tip tasarımı içeren kesitlerde, kalıp kumu ve maça, metalin normal büzülmesine direnerek, soğuma sırasında gerilim oluşumuna neden olurlar. Ağızlarda soğutucu çapak kullanımı ve düşük mukavemetli maçaların kullanımı ile çözüm bulunabilir.



Resim 3: Diş açılmış boru ekleme parçasında sıcak yırtılma hatası

2. Deneysel Çalışmalar

2.1. Sıcak Yırtılma ve Maça Mukavemeti İlişkisi

Düşük mukavemetli maça elde etmek için ilk önce yapılan uygulama Maça reçinesi ve serter oranlarının düşürülmesidir. Bu uygulamanın dezavantajı pişme süresinin artmasına ve çevrim sürelerinin uzamalarına neden olabilir.

Maça mukavemeti ile sıcak yırtılma arasında ilişki olduğu belirlenmiştir. Etkili faktörlerin belirlenmesi için DOE (Design of Experiment-Deney Tasarımı) yapılmıştır. Reçine, serter, katkı malzemesi ve pişirme süresi öne çıkan faktörler olmuştur. Düşük mukavemetli en uygun maçanın üretimi için reçine, serter, katkı malzemesi ve pişme süresi ile deney tasarımı hazırlanarak 10 farklı deneme yapıldı. Buna göre optimum proses şartları geliştirilmiştir

Deney Tasarımı				
No	Reçine	Serter	Süre	Katkı
1	4,1	1,1	20	YOK
2	5,5	1,1	20	VAR
3	4,1	1,5	20	VAR
4	5,5	1,5	20	YOK
5	4,1	1,1	26	VAR
6	5,5	1,1	26	YOK
7	4,1	1,5	26	YOK
8	5,5	1,5	26	VAR
9	4,8	1,3	22	YOK
10	4,8	1,3	22	VAR

Tablo 1: Maça denemeleri parametreleri

Her denemeden maça basma testi yapılarak maça mukavemet değerleri bulunmuştur. Sıcak yırtılma ve maça mukavemeti arasındaki ilişki ortaya konmuştur.



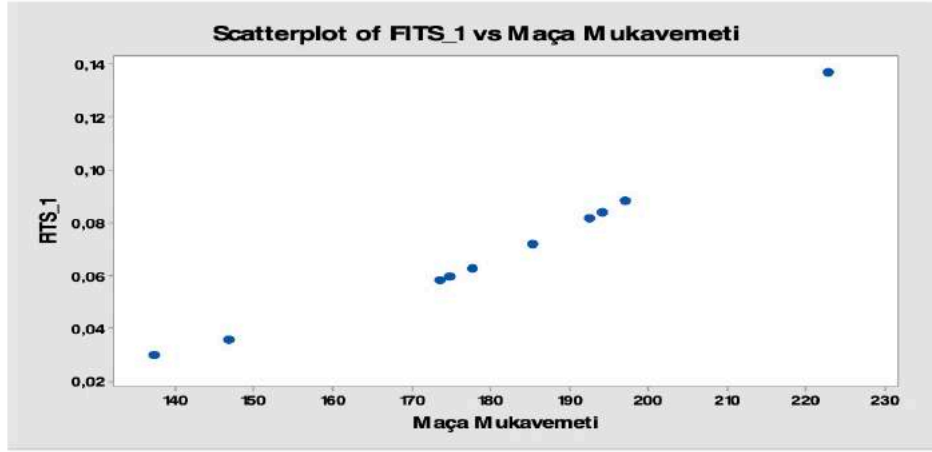
Resim 5: Basma testi ile maça mukavemetlerinin kontrol edilmesi

3. Bulgular

Test Sonuçları			
No	Maça Mukavemeti	Sağlam	Sıcak Yırtılma
1	174,9	104	9
2	222,88	90	10
3	146,84	31	2
4	177,79	68	0
5	137,41	21	1
6	192,57	99	19
7	194,19	110	11
8	173,61	102	0
9	197,06	118	8
10	185,49	96	5

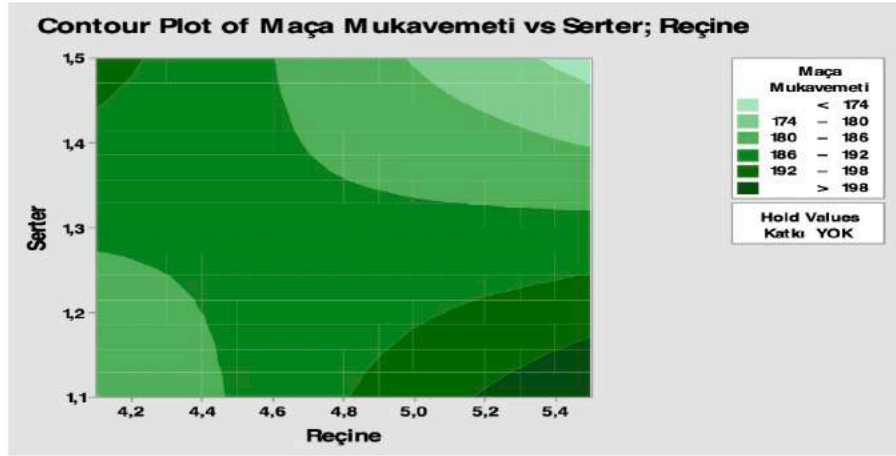
Tablo 2: Maça denemeleri deneme sonuçları

Maça mukavemet testinden sonra her maça denemesinin aynı analiz ve sıcaklıkta dökümleri yapılarak sıcak yırtılma testleri yapılmıştır. Bu test sonuçları maça mukavemetinin artması ile sıcak yırtılma oranlarının arttığını göstermektedir.



Resim 6: Maça mukavemeti ve sıcak yırtılma hatasının ilişkisi

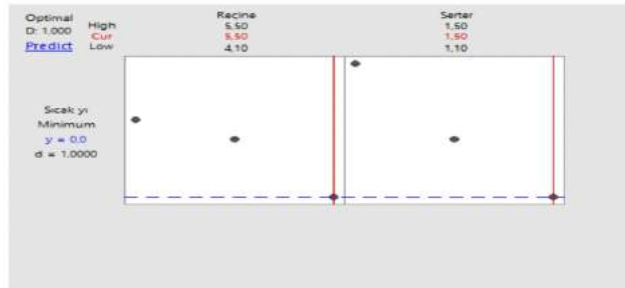
Klasik yaklaşımda sıcak yırtılma hatası görüldüğünde maça mukavemetinin düşürülmesi için maça katkı malzemesi (additive) katılmakta veya maça reçine oranı ve serter miktarı düşürülmekteydi. Bu durum maça pişme süresinin uzamasına, maça ıskartasının artması gibi olumsuz sonuçlar doğurmaktaydı. Dolayısıyla hem kaliteden hem de verimlilikten ödün verilmekteydi.



Resim 7: Maça üretimi parametreleri ile maça mukavemeti ilişkisi

DOE çıktılarına göre, düşük maça mukavemetinin aynı zamanda katkı malzemesi kullanmadan yüksek reçine ve serter oranları ile de elde edilebildiği tespit edilmiştir. Bu çözüm ile klasik yaklaşımda görülen verimlilik ve kalite kayıpları engellenmiştir.

Deneylerde kullanılan proses parametreleri ve çıktılarının analizi Minitab programında değerlendirilerek minimum hata için reçine oranı 5,5 Kg ve serter oranı 1,5 Kg olarak tespit edilmiştir. Pişme süresi ve katkı malzeme kullanımının sıcak yırtılmaya etkisinin kayda değer olmadığı görülmüştür.



Resim 8: Minimum hata için belirlenen proses parametreleri

4. Sonuç

Temper parçalarda sıcak yırtılma hatasının önlenmesi için maça mukavemetinin düşürülmesi gerekmektedir. Bu çalışma ile maça mukavemeti düşürmenin alternatif yolları bulunmuştur. Maça mukavemetine reçine ve serter miktarının ve etkileşimlerinin etkisi oldukça yüksek olduğu görülmüştür. Bunun yanında maça pişme süresinin ve katkı malzemelerinin bir etkisi olmadığı bulunmuştur. Proses şartlarına göre ideal kullanım oranları tespit edilmiştir. Böylelikle minimum maliyet ve maksimum kalite maça üretimi sağlanmıştır.

Kaynakça

Trakya Döküm bilgi birikimi.

A. Chojecki, I. Telejko, T. Bogacz 1977 Influence of chemical composition on the hot tearing formation of cast steel

<https://www.totalmateria.com/page.aspx?ID=CheckArticle&site=ktn&LN=IT&NM=204>

<https://www.tec-science.com/material-science/iron-carbon-phase-diagram/cast-iron/>

SERAMİK KÖPÜK FİLTRE YUVA TASARIMLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Cemal ANDIÇ

Foseco Türkiye

ÖZET

Ergitme teknolojisi, çekirdeklendirme ve alaşım süreçlerindeki gelişmelerle birlikte, sıcaklık kontrolü, kalıplama ve maça yapım uygulamaları dökümhanedeki sıvı metalin kalitesini temelden etkilemektedir. Buna bağlı olarak, bilindiği üzere filtrasyon döküm teknolojisinin ayrılmaz bir parçasıdır. Seramik köpük filtreler, türbülansı azaltmak için sıvı metalin hızını düşürmek ve ayrıca safsızlıkları ve kalıntıları gidermek için kullanılır. Bunlar filtre ortamına yakalanır. Dökümlerin mekanik özelliklerini iyileştirme ve döküm hatalarını azaltma ihtiyacı, dökümhanelerin seramik filtreleri kullanmasının tercih nedenidir. Seramik köpük filtreler için filtre yuva tasarımları maksimum filtrasyon verimliliği sağlamak için geliştirilmiştir. Filtrasyon yuva tasarımı kalite üzerinde önemli bir rol oynamaktadır. Filtre yuva tasarımı, döküm yüzey hatalarının azaltılmasına ve verimin artırılmasına katkıda bulunur. Bu makale, filtre yuva tasarımının etki faktörlerini gözden geçirmektedir. Bilgisayarlı dökümhane proses simülasyonunun kullanılması, filtre yuva tasarımının seçimini kolaylaştırır. Döküm simülasyon programı bu makalenin temelini oluşturmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Döküm, Sıvı Metal Filtrasyonu, Filtre Yuvası, Filtreleme Performansı

ABSTRACT

Developments in melting technology, nucleation and alloy processes, temperature control, molding and core making practices have fundamentally affect the quality of liquid metal in the foundry. Recognizedly filtration is now an integral part of casting technology. Ceramic foam filters are used for reducing the velocity of liquid metal in order to eliminate the turbulence and also remove the impurities and inclusions. These get captured on the filter media. The need to improve the castings' mechanical properties and decreasing their defects is the reason why almost all foundries use ceramic filters. Filter housing designs for ceramic foam filters have been developed to provide maximum filtration efficiency. The filtration print design plays an important role in the quality. The filter print design contributes to reduce casting surface defects and increase yield. This article reviews the effective factors of filter print design. The use of computer foundry process simulation makes the selection of the filter print design easier. Casting simulation program forms the basis of this article.

Keywords: Casting, Melt Filtration, Filter Prints, Filtration Performance

1. GİRİŞ

Bu çalışma, temel sıvı metal akış analiz modellerini döküm simülasyon yazılımı kullanarak çeşitli filtre yuva tasarım konseptlerinin analizine ve değerlendirilmesine odaklanmaktadır. Bu çalışmanın amacı, dökümhanelerde yaşanan sorunları araştırmak ve mümkün olan en iyi kalitede sıvı metali kalıp boşluğuna ulaştırmak için filtrasyonun faydalarını en üst düzeye çıkarmaktır. Böylece yüksek kaliteli dökümler üretmeyi hedefler. Analiz, sıvı metal akış karşılaştırmaları için temel olarak endüstride standart olarak kullanılan filtre yuva tasarımları ile verim artışı için yeniden tasarlanmış filtre yuva tasarımlarını kullanır.

Endüstride kullanılan standart filtre yuvaları, dökme demir dökümü için ilk filtre geliştirmeleri sırasında tasarlananlar olarak tanımlanır. Aşağıdakiler de dahil olmak üzere, optimum sonuçlar için bazı temel gereksinimler geliştirme sırasında belirlenmiştir 1-4, 6-11.

- Maksimum toplam akışı sağlamak için filtre giriş yüzeyinin açıklığını en üst düzeye çıkarma.
- Filtre üzerindeki sıvı metal akışından gelen etki kuvvetlerinin filtre mukavemet gücünü aşmamasını sağlamak için filtre desteğini (dört taraflı) maksimize etme.
- Filtre yuva çıkışındaki destek çıkıntısını filtre tolerans boyutlarına uyacak şekilde tasarlayarak sıvı metalin filtrenin etrafından geçme (filtrelenmemiş sıvı metal) olasılığını en aza indirme.
- Akış, filtre girişinden çıkışına sorunsuz bir şekilde geçecek şekilde filtre yuva hacimlerini tasarlayarak türbülans en aza indirme

Bu gereksinimler, standart filtre yuva tasarımının temelini oluşturmaktadır. Geçtiğimiz 30 yıl boyunca, bu tasarımlar sürekli olarak test edilmiş ve uygulamalar ve dökümhane değerlendirmeleri yoluyla daha da geliştirilmiştir. Bu çalışmada gerçekleştirilen ilk simülasyonlar, bu standart tasarımları değerlendirmek için kullanılmıştır.

Verim iyileştirme tüm dökümhaneler için yüksek bir önceliktir. Yolluk sistemleri, ağırlığı azaltmak için döküm işleminin diğer tüm yönleri kadar dikkatli bir şekilde analiz edilir. Yolluk sistemi üzerindeki sıvı metal akış özelliklerinin etkisi dikkatli bir şekilde analiz edilmesine gerek kalmadan, ağırlığı azaltmak için bazen standart filtre yuvalarında değişiklikler yapılmaktadır. Sıvı metal akışını olumsuz etkileyen değişiklikler, türbülans artışına, homojen olmayan akışa ve filtrasyon verimliliğinde düşüşe neden olabilir. Bu çalışmada bu durumlardan birkaçı da değerlendirilmiştir.

Bu çalışmanın sonuçları, tüm dökme demir filtreleme sistemlerine uygulanabilen filtre yuvalarının ve yolluk sistemlerinin en iyi şekilde nasıl tasarlanacağına dair birkaç fikir içermektedir.

2. DEĞERLENDİRME ÇALIŞMASINA BİR BAKIŞ

Analize başlamak için temel olarak standart 75x75x22 mm kare yatay ve dikey filtre yuvaları seçilmiştir. Tasarım değişikliklerinin akışkanlar dinamiği üzerindeki etkisini değerlendirmek için her iki filtre yuva türünde de çeşitli değişiklikler yapılmıştır.

Tüm sıvı metal akış analizleri, MAGMA5 (Sürüm 5.3.0.4) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen tüm simülasyonlar göz boyutu yaklaşık 10 milyon element (700.000 metal hücre) olarak yapılmıştır. Kullanılan metal verileri, 1400 ° C'de bir kum kalıbına dökülen ASTM A536-84 (80-55-06 / GGG-60) sınıfı sfero dökme demiri temsil eder. Kalıp dökümü yaklaşık 305x610x76mm boyutunda ve yaklaşık 100 kg ağırlığındadır. Toplam salkım ağırlığı yaklaşık 110 kg'dır.

Filtre, 22 mm kalınlığında standart bir 10 ppi SEDEX filtresi için filtrasyon basınç düşüş verileri kullanılarak çalışılmıştır. Her durumda, program "Otomatik Doldurma Kontrolü" özelliği kullanılarak çalıştırılmıştır. Böylece simüle edilen tüm versiyonlar için aynı döküm koşulları sağlandı. Döküm süresi, tüm konfigürasyonlar için yaklaşık 24 saniye ve yaklaşık 4,5 kg/s akış hızını temsil etmektedir.

Bu raporda değerlendirilen yolluk tasarımları, yüksek basınç, yeşil kum, otomatik kalıplama ekipmanında endüstri standardında kullanılanları temsil etmektedir.

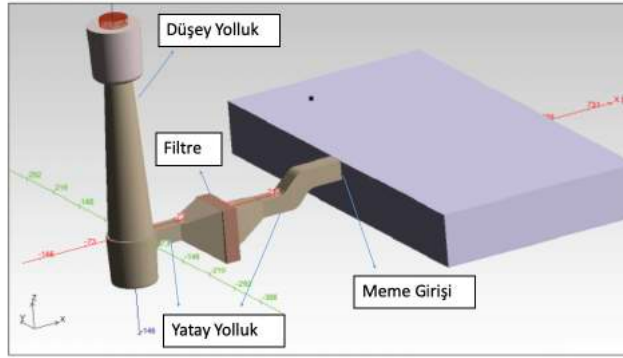
Choke kesit alanı Denklem 1 kullanılarak hesaplandı

$$S = \frac{W}{t \cdot \rho \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h}} \quad [1]$$

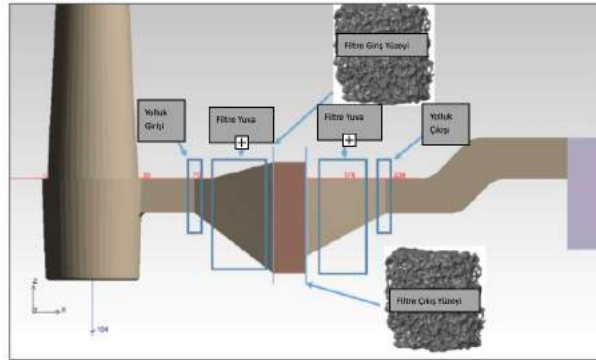
Yolluğa kalıbtan ayrılmasını kolaylaştırmak için üç derecelik bir açılı verildi. Yolluk sistemi, Düşey yolluk: Yatay yolluk: meme girişi 1.0: 1.1: 1.2 oranını takip eder.

Temel dikey filtre yuvası temsili olarak Şekil 1 ve 2 de gösterilmektedir.

Tüm simülasyonlar, 8 çekirdek kullanan bir Dell Precision 7810 Tower işlemcide gerçekleştirilmiştir. Her simülasyon için CPU süresi yaklaşık 10 saattir.

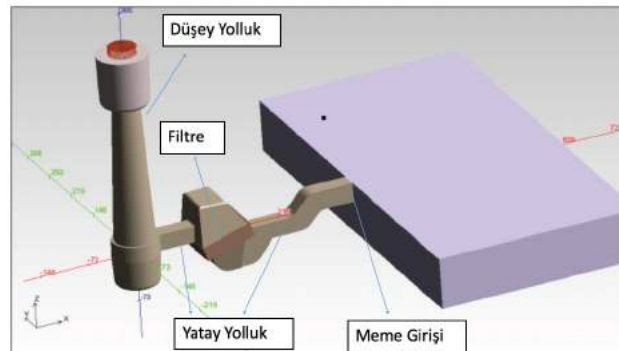


Şekil 1: Düşey Yolluk, Yatay Yolluk, Filtre, Meme Girişi

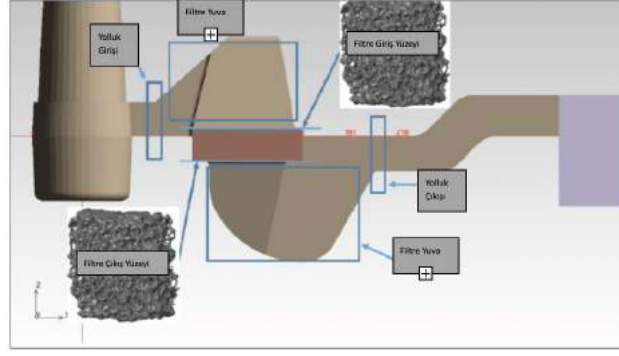


Şekil 2: Standart Dikey Filtre Yuvası

Temel yatay filtre yuvası temsili olarak Şekil 3 ve 4 te gösterilmektedir.



Şekil 3: Düşey Yolluk, Yatay Yolluk, Filtre, Meme Girişi



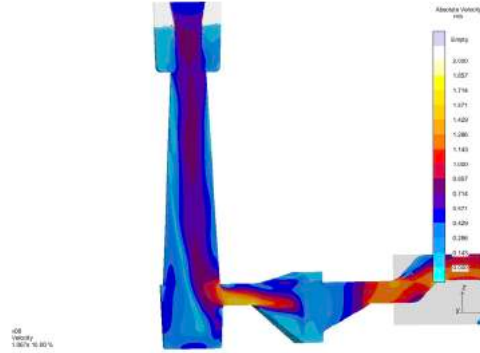
Şekil 4: Standart Yatay Filtre Yuvası

3. DEĞERLENDİRME ÇALIŞMASI VE TARTIŞMA

Gösterilen tüm sıvı metal akış sonuçları analitiktir ve Navier-Stokes akış denklemlerine dayanmaktadır. Bu ilk temel akışkan dinamiği yaklaşımının akış tahminleri, sıvı metal uygulamaları da dahil olmak üzere birçok endüstride ve uygulamada birkaç yıl boyunca doğrulanmıştır. Beklenti, gösterilen karşılaştırmalı sonuçların çok anlamlı ve doğru olmasıdır. Ancak, bu belgede sunulan sonuçları daha da doğrulamak için gelecekteki çalışmalarda dökümhane denemeleri yapılacaktır.

3.1. Dikey Filtre Yuva Örneği

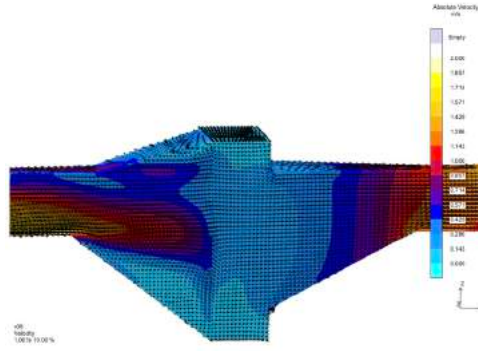
Standart bir dikey filtre yuvası için akış özellikleri Şekil 5'te gösterilmiştir. Renkler akış hızlarını temsil eder.



Şekil 5: Standart Dikey Filtrenin Yuvasının Kesiti, %10 Dolumda Yolluk Sistemi Akış Hızı

% 10 dolulukta akış, filtre yuvasının içinde ve çevresinde sabit durumdadır. Renk skalası açık mavimsiden (düşük hız, yaklaşık 0,2 m/sn) beyaza (daha yüksek hız, yaklaşık 2,0 m/sn) döner. Filtreden geçen akış hızı yaklaşık 0,3-0,4 m/s'dir ve filtreden önceki akış laminedir ve tüm filtreyi kaplar. Filtreden sonraki akış tekdüze ve kararlıdır.

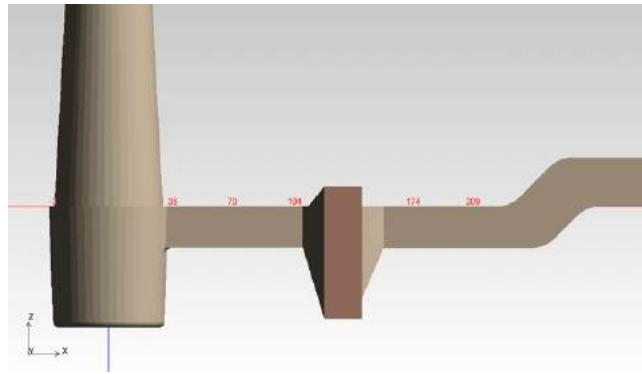
Aynı zamanda filtre yuvasının ortasından bir kesit, sıvı metal akış hızını ve vektörlerini gösterir (Şekil 6).



Şekil 6: Standart Dikey Filtrenin Yuvasının Kesiti, %10 Dolumda Akış Hızı

Bu görüntü, tek tip akışı ve hem akış kontrolü hem de filtreleme için tüm filtre yüzeyinin kullanımını açıkça göstermektedir. Bu, iyi tasarlanmış bir filtre yuva ve yolluk sistemi olarak düşünülebilir. Bu çalışmanın bu dikey filtre yuva bölümü için bir temel teşkil edecektir.

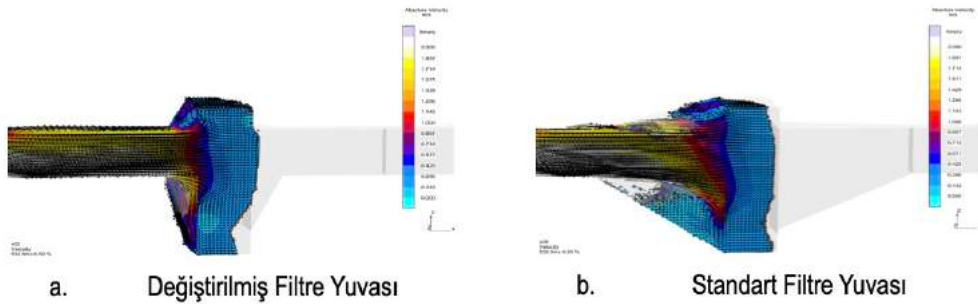
Uygulamada, bazen ağırlıktan tasarruf etmek, verimi artırmak ve/veya model plakası kısıtlamalarına uymak için standart filtre yuvalarında aşırı değişiklikler yapılmaktadır. Şekil 7, gerçek bir örneği göstermektedir.



Şekil 7: Filtre yuvası Giriş ve Çıkışları ile Dikey Filtre Yuvası Önemli Ölçüde Daraltılmış

Bu filtre yuva tasarımı (0.9 kg) ağırlıkta % 35 azalma sağlarken, filtre yuvası ve yolluk sistemindeki akış özellikleri olumsuz etkilenir. Şekil 6, % 6,5 dolu filtre yuva ve yolluk sisteminin merkez hattındaki akış özelliklerini göstermektedir.

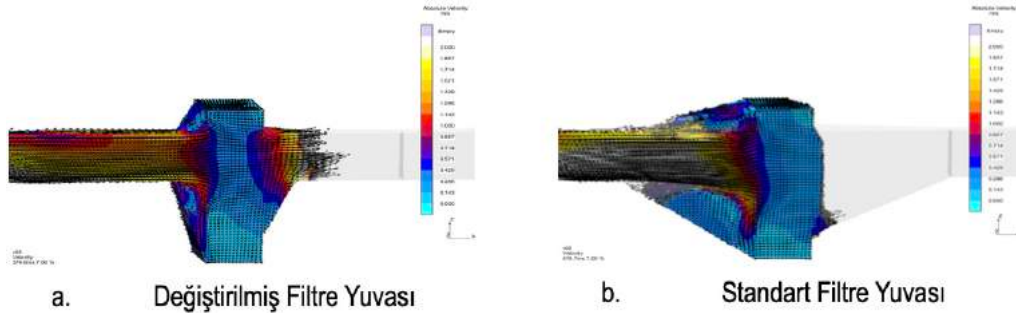
(Not: Tüm tasarımların sonuçları, standart filtre yuva tasarımı sonuçlarıyla karşılaştırılır. Standart sonuçlar, dikey filtre yuva örnekleri için karşılaştırmalı şekillerle yanyana gösterilmiştir.)



Şekil 8: Filtre yuvası Giriş ve Çıkışları ile Dikey Filtre Yuvası Önemli Ölçüde Daraltılmış, % 6,5 Dolu Karşılaştırması

Değiştirilmiş filtre yuva girişinin keskin açıları nedeniyle akış, filtre giriş yüzünün ortasına doğru hızlanır ve filtre yuva giriş alanını tamamen doldurmadan önce filtreden geçmeye başlar. Standart filtre yuva tasarımı için akış özellikleri, filtre yuva girişi içinde ve filtre giriş yüzünde daha eşit dağıtılmış bir akış modeli gösterir.

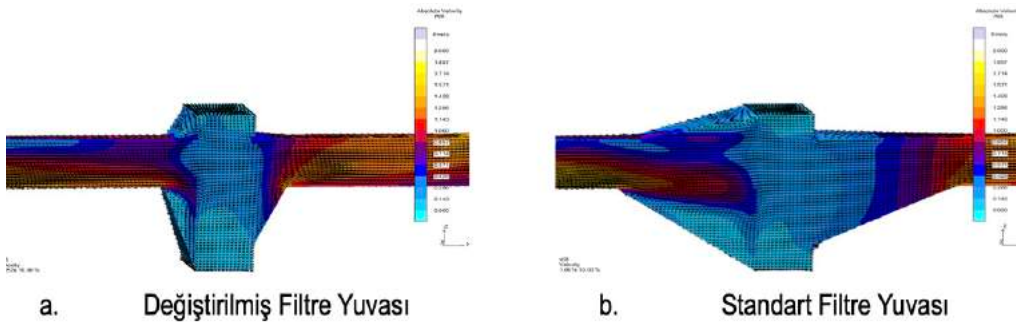
Daraltılmış filtre yuva giriş alanı tasarımının filtre giriş yüzü yüksek hızları, Şekil 9'da gösterildiği gibi filtre çıkış yüzü çok yüksek hızlarla bazen sonuçlanır.



Şekil 9: Filtre yuvası Giriş ve Çıkışları ile Dikey Filtre Yuvası Önemli Ölçüde Daraltılmış, % 7 Dolu Karşılaştırması

İdeal olarak filtre, akış süresizliği hareketiyle akış enerjisini ve türbülansı azaltmalıdır. Ancak, bu etki, filtrenin yalnızca küçük bir alanı kullanılıyorsa hafifletilir. Bu, şekil 9'da açıkça gösterilmektedir. Düşük alanlı filtre yuvası filtreden yüksek hızda çıkan akışı gösterirken, standart tasarım bu aşamada filtrenin kendisinden çok düşük hızda metalle dolu tüm filtreyi ve minimum metal akışını sağladığını gösterir.

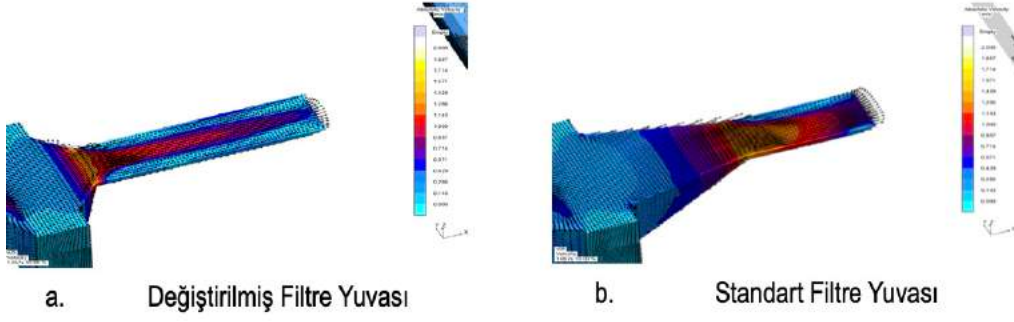
Şekil 10'da bu, kararlı durum akışında bile durumun böyle davrandığını göstermektedir.



Şekil 10: Filtre yuvası Giriş ve Çıkışları ile Dikey Filtre Yuvası Önemli Ölçüde Daraltılmış, % 10 Dolu Karşılaştırması

Sabit durumda bile, daraltılmış alanlı filtre yuva tasarımı, tüm filtre yuva giriş alanının kullanılmasına izin vermez ve bunun yerine metali filtrenin ortasından geçirir. Bu, filtrenin sonrasında olası türbülans riskine neden olur. Bunun karşısında tekdüze akış profili, özellikle filtre çıkış yüzünde standart filtre yuva tasarımı için filtre yuva çıkışında ve sıvı metalin aşağı akışını gösterir.

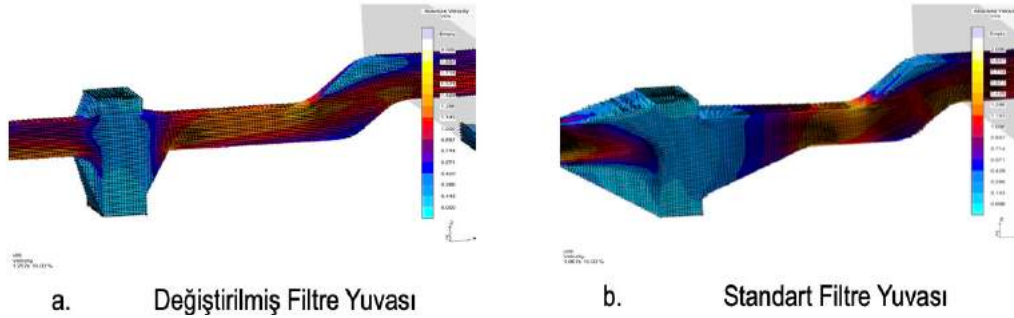
Ayrıca, filtre yuva çıkışının dik açısına bağlı olarak, akış yukarı doğru başlatılır. Böylece akış aşağı akış stabilitesini olumsuz yönde etkiler. Bu, Şekil 9'da daha net görülebilir.



Şekil 11: Filtre yuvası Giriş ve Çıkışları ile Dikey Filtre Yuvası Önemli Ölçüde Daraltılmış, % 10 Dolu Karşılaştırması

Şekil 11, filtre yuvasından hemen sonra, yatay yolluk altına yakın alınan enine bir kesitin üstten bir görünümünü göstermektedir. Daraltılmış alanlı filtre yuva tasarımı için, yatay yolluğun her iki tarafındaki akışın çok yavaş hareket ettiğini ve en önemlisi, amaçlanan akışın ters yönünde hareket ettiğini gösterir. Dik açı nedeniyle metal akışının yukarı doğru hareketinin sağlanması, akışı yavaşça geriye doğru iten büyük ve ters bir girdap akımı yaratmıştır. Bu durum, bu alt kısımdaki yatay yolluğun üçte biri için mevcuttur. Standart filtre yuva tasarımı, bir tarafta alt kısım yolluğa yakın bir yavaş akış alanı gösterir. Ancak birincil akış özellikleri hız ve yönde çok daha tekdüzedir.

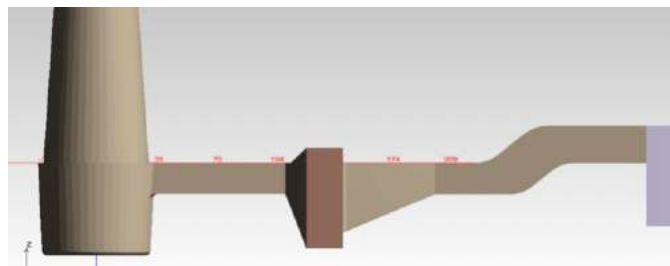
Şekil 12, aynı zamanda yatay yolluğun yandan bir görünümünü gösterir. Döküm için daha homojen kontrollü metal akışı sağlayan standart filtre yuvası ile iki tasarım arasındaki açık bir farkı gösterir.



Şekil 12: Filtre yuvası Giriş ve Çıkışları ile Dikey Filtre Yuvası Önemli Ölçüde Daraltılmış, % 10 Dolu Karşılaştırması

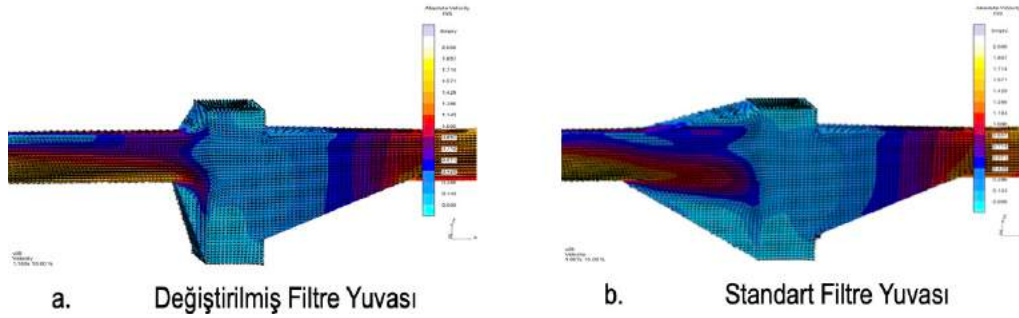
Filtre yuva alanını bu şekilde daraltarak verimi biraz arttırmak (0,9 kg tasarruf edilir), filtre yuva girişinde, filtre giriş yüzeyinde, filtre çıkış yüzeyinde, filtre yuva çıkışında ve düşey akış yolluğunda akış özellikleri üzerinde olumsuz önemli etkilere sahiptir. Bu tür bir değişiklik, en iyi uygulama olarak filtre yuva tasarımı için önerilmez.

Şekil 13, Şekil 1'de gösterilen standart yuvaya uyacak şekilde değiştirilmiş filtre yuva giriş alanı ile bir konfigürasyonu göstermektedir, ancak filtre yuva çıkış alanı değişmemiştir.



Şekil 13: Filtre Yuva Giriş Alanıyla Dikey Filtre Yuvası Önemli Ölçüde Daraltılmıştır

Bu durumda, filtre yuva giriş alanındaki ve filtre giriş yüzündeki sorunlar daha önce tartışılanlarla aynı kalır, ancak filtreden sonraki akış net bir gelişme gösterir. Şekil 14'te, daraltılmış filtre yuva giriş alanı yapılandırmasını standart filtre yuvası ile karşılaştırırken filtre çıkış yüzü ve filtre yuva çıkış akış profillerinin benzer olduğu görülmektedir.

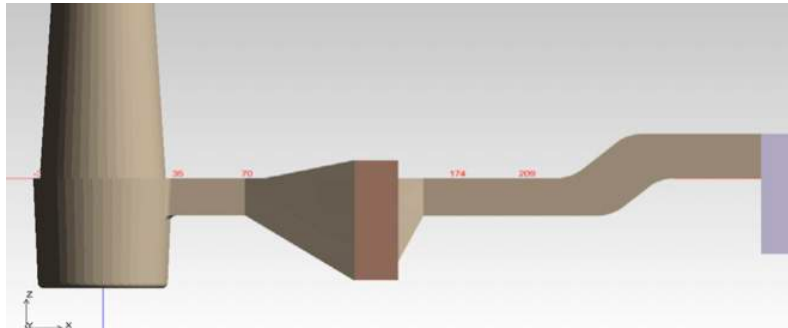


Şekil 14: Filtre yuvası Giriş Alanı Dikey Filtre Yuvası Önemli Ölçüde Daraltılmış, % 10 Dolum Karşılaştırması

Bu konfigürasyon ile standart filtre yuva arasındaki temel fark, daraltılmış alan tasarımı için filtre giriş yüzünde önemli ölçüde daha yüksek akış hızları ve filtrenin sadece küçük bir kısmının kullanılıyor olmasıdır. Bu, önceki konfigürasyonlardaki tartışılan durumla aynıdır, ancak getirisi bu sefer daha da nettir.

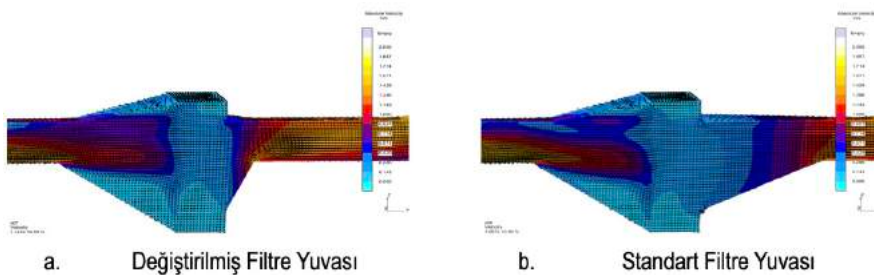
Filtre yuva giriş alanını azaltmak yalnızca 0,6 kg tasarruf sağlar, ancak akışı ters bir şekilde etkiler, öyle ki tüm filtre alanı metalden inklüzyonları verimli bir şekilde filtrelemek için kullanılamaz. Ek olarak bu küçük verim artışı, akış üzerinde olumsuz önemli bir etkiye sahiptir ve pratikte tavsiye edilmemektedir.

Şekil 15, yalnızca filtre yuva çıkışında daraltılmış alana sahip benzer bir tasarımı göstermektedir.



Şekil 15: Filtre Yuva Çıkış Alanıyla Dikey Filtre Yuvası Önemli Ölçüde Daraltılmıştır

Filtre yuva çıkışının alanını daraltmak yalnızca 0,3 kg tasarruf sağlar ve filtre yuvasından çok zayıf bir akışın çıkmasına neden olur. Akış karşılaştırması Şekil 16'ta gösterilmektedir.

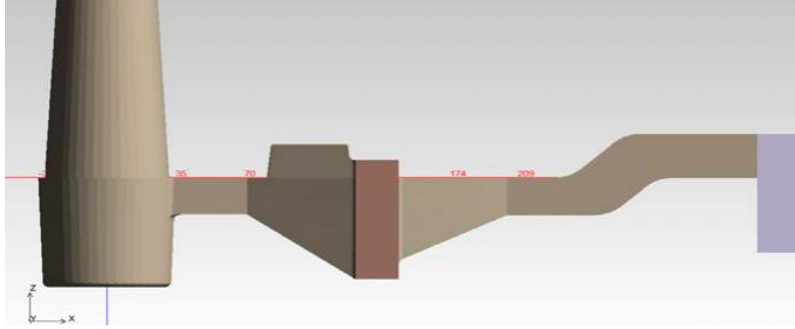


Şekil 16: Filtre yuvası Çıkış Alanı Dikey Filtre Yuvası Önemli Ölçüde Daraltılmış, % 10 Dolum Karşılaştırması

Bu durumda, filtre yuva girişindeki ve filtre giriş yüzündeki akış, standart filtre yuvası ile aynı faydalı özelliklere sahiptir. Bununla birlikte, filtre çıkış yüzündeki, filtre yuva çıkışı içindeki ve aşağı akış yolundaki akış, Şekil 9-12'de gösterilen aynı zayıf tüm özellikleri sergiler. Akış özelliklerini olumsuz etkileyen ve minimum verim artışı sağlayan bir filtre yuva tasarımı pratik olarak değerlendirilmemelidir.

3.2. Cüruf Tutma Odası ile Dikey Filtre Yuva Örneği

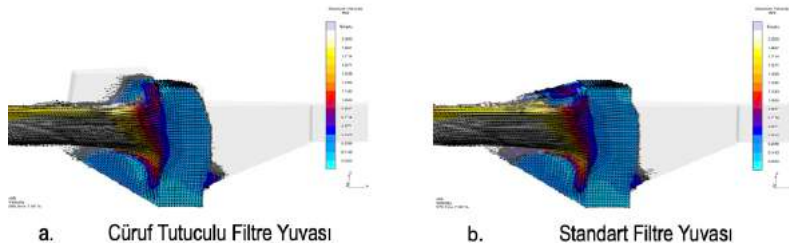
Şekil 17, filtreden önce cüruf tutma odası eklenen standart bir yuva örneğini göstermektedir.



Şekil 17: Cüruf Tutma Odası ile Dikey Filtre Yuva Örneği

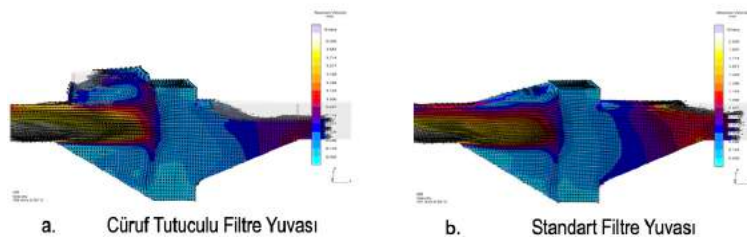
Bu değişiklik, filtre yuva tasarımına yalnızca yaklaşık 0,23 kg ekler, ancak filtre yuvasının genel akış özellikleri üzerinde olumlu bir etki ile sonuçlanır. Düzgün tasarlanmış bir cüruf tutuculu filtre yuvası, daha iyi filtre yuva giriş akışı ve potansiyel olarak daha iyi filtreleme verimliliği ek faydası ile standart filtre yuvasında gösterilen yüksek kaliteli tüm akış özelliklerini gösterir.

Şekil 18, sıvı metal filtreye ulaşır ulaşmaz cüruf tutucusunun çalışmaya nasıl başladığını göstermektedir.



Şekil 18: Cüruf Tutuculu ve Standart Dikey Filtre Yuvası için % 7 Dolu Karşılaştırması

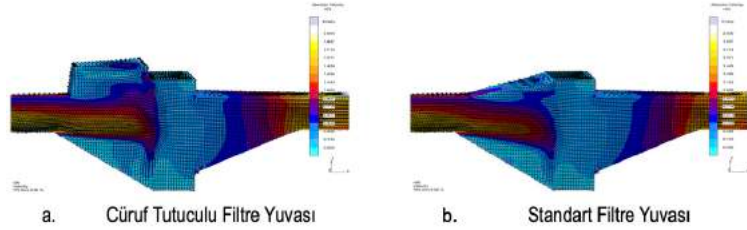
Filtre yuva girişinin alt kısmının hızlı bir şekilde dolduğunu, akışın filtre giriş yüzünü yıkadığını ve cüruf tutucu alanına doğru yukarı hareket ettiği görülmektedir.



Şekil 19: Cüruf Tutuculu ve Standart Dikey Filtre Yuvası için % 8,5 Dolu Karşılaştırması

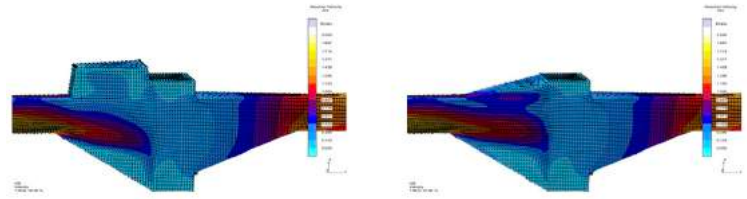
% 8,5'te (Şekil 19), akış neredeyse stabilize olur ve cüruf tutucu, başlangıçtaki metali saat yönünün tersine faydalı bir girdap akımına zorlar. Böylece potansiyel olarak inklüzyonların yönünü tersine çevirmesine ve tutucuya doğru yavaşça yukarıya doğru yüzmesine izin verir.

Cüruf tutucusuz standart filtre yuvası, filtre yuva girişinin üstünde küçük bir yararlı girdap akımları alanına sahiptir, ancak kalıntıları yakalamak ve tutmak için çok az yer vardır.



Şekil 20: Cüruf Tutuculu ve Standart Dikey Filtre Yuvası için % 9 Dolu Karşılaştırması

% 9 doluluk oranıyla (Şekil 20), filtre yuvasında cüruf tutucu dahil tamamen dolar. Tutucuda hala küçük faydalı bazı girdap akımları vardır. % 10 doldurulduğunda (Şekil 21), filtre yuvası tamamen stabilize olur ve cüruf tutucusuna giren herhangi bir kalıntı tutulacaktır.

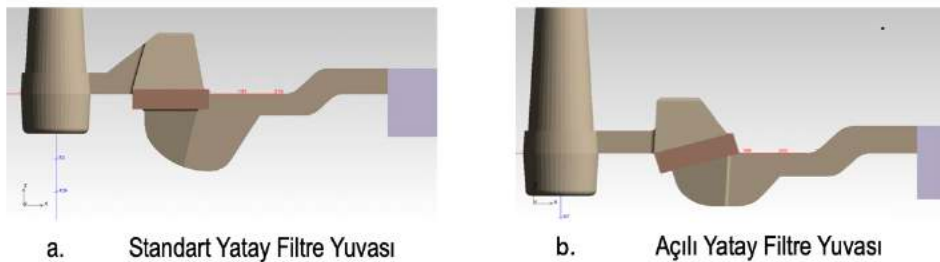


Şekil 21: Cüruf Tutuculu ve Standart Dikey Filtre Yuvası için % 10 Dolu Karşılaştırması

Filtre yuva girişinde cürufu yakalamak için küçük bir alan eklemek, yolluk tasarımının akış özelliklerini ve filtre yuvasının kalıntıları yakalama yeteneğini geliştirir. Bunlar, verimde minimum azalma için önemli faydalardır.

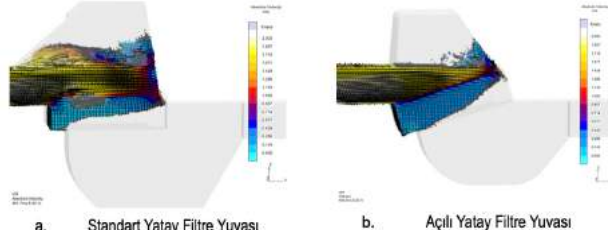
3.3. Yatay Filtre Yuva Örneği

Yatay filtre yuva tasarımları için, filtreyi akışa göre basitçe uyarlanan bir açıyla yerleştirerek filtrasyon verimliliğine yönelik bazı önemli avantajlar elde edilebilir. Şekil 22, açılı filtre yuva konfigürasyonlarına kıyasla standart bir yatay filtre yuvasını göstermektedir.



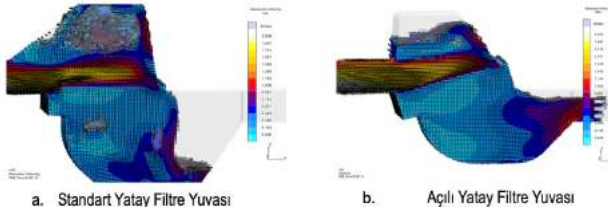
Şekil 22: Yatay Filtre Yuvası

Şekil 23, % 5,5 dolulukta akış hızı karşılaştırmasını göstermektedir.



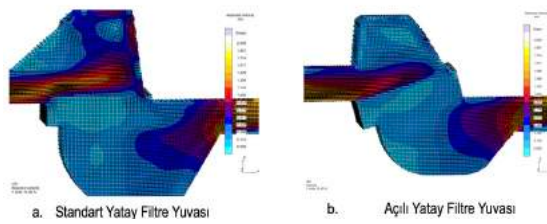
Şekil 23: Standart Yatay ve Açılı Yatay Filtre Yuvası için % 5,5 Doluluk Karşılaştırması

Açılı filtre, akışı daha kolay kabul eder ve filtre giriş yüzünün hem içinde hem de üstünde daha düzgün bir akış modeli sağlar.



Şekil 24: Standart Yatay ve Açılı Yatay Filtre Yuvası için % 8,5 Doluluk Karşılaştırması

% 8,5 dolulukta (Şekil 24), açılı filtre yuvası akış profili tamamen oluşmuştur ve baştan sona tek tiptir. Filtre yuva girişinde cüruf tutucunun etkinliğini artıran faydalı bir girdap akımı görülebilir. Girdap akımının oluşumu, açılı filtrenin doğrudan bir sonucudur.

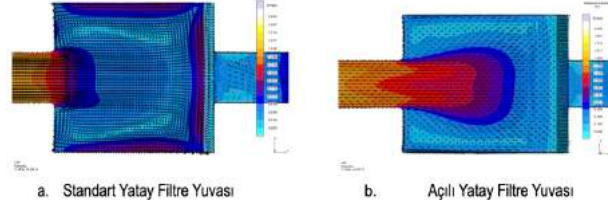


Şekil 25: Standart Yatay ve Açılı Yatay Filtre Yuvası için % 10 Doluluk Karşılaştırması

% 10 dolulukta (Şekil 25), her iki filtre yuvası da sabit durum koşullarında çalışır ve her ikisi de tek tip bir akış modeli üretir. Açılı tasarım, filtre giriş yüzünde ve çıkış yüzünde akış enerjisini dağıtmak ve en aza indirmek adına daha iyi bir iş çıkarır.

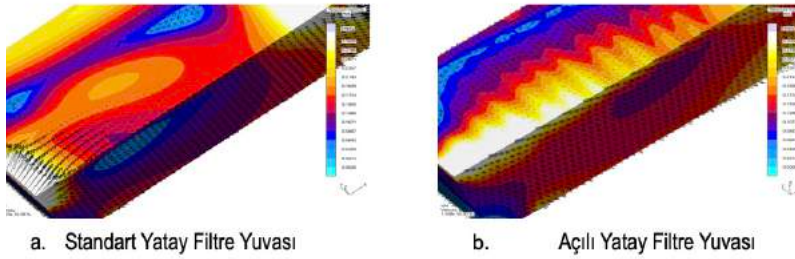
Filtreye açı vermenin bir başka avantajı, filtrenin kendisi üzerinde sıkışmış olabilecek herhangi bir inklüzyonu tutmak için akışı filtre giriş yüzü boyunca yönlendirmektir. Bu oluşan inklüzyonlar daha sonra girdap akımına girebilir ve mekanik olarak cüruf tutucusuna taşınabilir.

Filtre giriş yüzündeki hızlar Şekil 26'da üstten görünümde gösterilmiştir.



Şekil 26: Standart Yatay ve Açılı Yatay Filtre Yuvası Giriş Yüzü için % 10 Doluluk Karşılaştırması

Şekil 26, esas olarak filtre giriş yüzünde akış profilinin bir üstten görünüşünü göstermektedir. Her iki durumda da metal akışı filtre giriş yüzü boyunca bir uçtan diğerine açıkça hareket eder. Ancak şekil 26 b. de görüldüğü gibi açılı filtre durumunda daha belirgin şekilde hareket eder. Açılı filtre için, akış, Şekil 27'de gösterildiği gibi, filtre içinde daha hızlı hareket eder.



Şekil 27: Standart Yatay ve Açılı Yatay Filtre Yuvası Orta Kesitinde % 10 Doluluk Karşılaştırması

Şekil 27'deki görüntüler yalnızca filtre geometrisini temsil eder (filtre yuvası veya yolluk sistemi yok). Görüntüler karşılaştırmalı görüntüleme için yönleri döndürülmüştür yani bu nedenle normal akış yönlerinde değildir.

Filtreler merkez çizgisi boyunca bölünmüştür ve ölçek, akış yönünü göstermek ve hız farklılıklarını daha net bir şekilde tanımlamak için ayarlanmıştır (düşürülmüştür). Şekil 27 b. de filtre giriş yüzündeki paralel vektörlerle ve hatta filtre kalınlığının kendisinde birkaç milimetre ile temsil edilen açılı filtre giriş yüzünün yıkanmasını göstermektedir. Karşılaştırıldığında, yatay filtrenin sadece iki küçük bölümü (Şekil 27 a), filtre giriş yüzünde paralel akışı gösterir. Akış o zaman bile sadece filtrenin yüzeyinde görülür.

İnklüzyonların filtre giriş yüzünden cüruf tutucusuna taşınmasının mekanik hareketinin özelliği iki katlı olmasıdır. Bu hareket, filtrenin maksimum akış hızında çalışmasına izin verir çünkü filtrenin yüzeyinde sıkışan ve filtreden geçen metal akışını kısıtlayan daha az partikül vardır. Ek olarak, önemli cüruf seviyeleri içeren sıvı metaller için filtre bloke olmadan ve cüruf veya diğer inklüzyonların tutulmadan önce filtreden daha fazla sıvı metal geçirme filtreleme imkanıyla standart filtre yuvaya göre daha yüksek kapasitede çalışmasına da izin verebilir.

Genel olarak, filtreyi metal akışına göre bir açıyla yerleştirmek, filtre akış hız kapasitesi ve filtrasyon verimliliği açısından faydalıdır.

4. DEĞERLENDİRME SONUÇLARI

Yolluk sisteminde sıvı akışın özellikleri üzerindeki etkinin dikkatli bir şekilde analiz edilmesine gerek kalmadan verimi artırmak için bazen standart filtre yuvalarında değişiklikler yapılır. Bu çalışma, çeşitli filtre yuva tasarım değişikliklerinin metal akış kalitesinin filtre yuvası, yolluk sistemi ve filtrenin kendisi üzerindeki etkisini değerlendirmiştir.

Genel olarak sonuçlar aşağıdaki gibidir:

- Filtre yuva giriş ve çıkış alanlarındaki büyük daralmalar ve yuvanın kendi içindeki keskin açılar, akış özelliklerini olumsuz bir şekilde değiştirerek homojen olmayan akış ve türbülansa neden olur.
 - Verim artışı minimumdur.
 - Önerilmez.
- Filtre giriş yüzeyinden önce tasarlanmış bir cüruf tutucu, filtre yüzünü yıkayan ve inklüzyonların yakalanmasına yardımcı olan saat yönünün tersine bir girdap akımına neden olur.
 - Tavsiye edilir.
- Yatay uygulamalarda, filtreyi metal akışına göre açılı yerleştirmek, filtre akış hızı kapasitesi ve filtrasyon verimliliği açısından faydalıdır.
 - Tavsiye edilir.

Bu makale, çeşitli SEDEX filtre yuva tasarımlarının ilk, teorik çalışmasını ve bunların akış özellikleri üzerindeki etkisini oluşturmaktadır. Ek tasarım konseptlerinin gözden geçirilmesi ve bu konfigürasyonların sıvı metal ile doğrulanması için gelecekteki çalışmalar planlanmaktadır.

5. KAYNAKÇA

1. Giebing, S., Baier,, A. "SEDEX – Process Reliability Through Effective Quality Control," Foundry Practice, vol. 254, pp. 4 (June 2011).
2. Morales, R.D., Adams, A., Dickinson, B. "Enhancing Filtration Knowledge to Improve Foundry Performance", Foundry Practice, Special Edition, pp. 21 (May 2008).
3. Baier, A. "The Influence of Filter Type and Gating System Design on the Machinability of Vertically Parted Grey Iron Castings", Foundry Practice, Special Edition, pp. 29 (May 2008).
4. Taylor, K.C., Baier, A. "Application of SEDEX Ceramic Foam Filters on Vertically Parted Moulds Such as Disamatics", Foundry Practice, vol. 238, pp. 10 (March 2003).
5. Midea, A.C. "Pressure Drop Characteristics of Iron Filters", AFS Transactions, 01-042, (2001).
6. Brown, J.R. "Foseco Ferrous Foundryman's Handbook", pp. 250-266, Butterworth-Heinemann, Woburn, MA, 2000.
7. Park, W.H. "SEDEX Ceramic Foam Filter Applications in Korea", Foundry Practice, vol. 221, pp. 2 (March 1991).
8. Matsuo, H. "SEDEX Ceramic Foam Filter Applications on Regular Production Casting in Japan, Foundry Practice, vol. 220, pp. 4 (September 1990).
9. Kallisch, W. "SEDEX – A Filter with Authority", Foundry Practice, vol. 217, pp. 18 (April 1989).
10. Rietzcher, R. Sipl. – Ing. "The Filtration of Molten Iron", Foundry Practice, vol. 212, pp. 5 (March 1986).
11. Heine, R.W., Loper, C.R., Rosenthal, P.C. "Principles of Metal Castings", pp. 223, McGraw-Hill Book Company, New York, 1967.

KALIN KESİTLİ ÖSTEMPERLENMİŞ KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRİN DARBE DAYANIMINA İLK BASAMAK ÖSTEMPERLEME SÜRESİNİN ETKİSİ

*Ekin KOLUAÇIK, *Uğur KURUOĞLU, *Yağmur LALEÇİ, *Ferhat GÜL
**Akdaş Döküm San. Tic. AŞ. Ankara, Türkiye, *Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye*

ÖZET

Kalın kesitli ferritik/perlitik küresel grafitli dökme demirin, mekanik performansı ve tokluğu üzerinde olumlu etkisi olan, iki basamaklı bir östemperleme yöntemi kullanarak, malzemenin darbe direncinin iyileştirilmesi amaçlanmaktadır. Isıl işlem olarak, iki basamaklı yüksek-düşük sıcaklık östemperleme işlemi (HLAT) uygulanmıştır. Numuneler östenitlendikten sonra, farklı sürelerde 360°C'de tutulan ergimiş tuz banyosunda hızla soğutulmuştur. Hemen ardından, numuneler 260°C'de düşük sıcaklıklı tuz banyolarına aktarılmış ve son olarak havada soğutulmuştur.

Anahtar kelimeler: östemperlenmiş küresel grafitli dökme demir, iki basamaklı östemperleme, sertlik, mikro yapı, darbe dayanımı.

ABSTRACT

It is aimed to improve the impact resistance of the thick section ferritic/perlitic spheroidal graphite cast iron by using a two-step austempering method, which has a positive effect on the mechanical performance and toughness of the material. As the heat treatment, HLAT was applied. After the samples were austenitized, they were rapidly cooled in a molten salt bath kept at 360°C for different times. Afterwards, the samples were transferred to low temperature salt baths at 260°C and cooled in air.

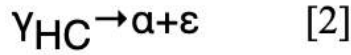
Keywords: Austempered ductile iron, two step austempering, hardness, microstructure, impact toughness

1. GİRİŞ

Östemperlenmiş küresel grafitli dökme demir, yüksek mukavemet ve süneklik, yüksek tokluk, gelişmiş darbe direnci, gelişmiş aşınma dayanımı, çelik alaşımlara göre fiyat performans açısından uygun olması nedeni ile çeşitli endüstriyel uygulamalar için cazip bir malzeme haline gelmiştir. Bunun yanı sıra, yaklaşık 7,20 g/cm³ yoğunluk ile, 7,85 g/cm³ yoğunluğa sahip çeliğe göre daha hafif bir malzemedir. Bu nedenle, uygulanabilecek çeşitli östemperleme işlemleri ile bu malzemenin özellikle tokluk gibi mekanik özelliklerini geliştirmeye yönelik çalışmalar yapılmaktadır [1] [2] [3] [4] [5]. Literatürde, östenitleme işlemi sonrası uygulanan östemperleme ısıl işlemi çalışmaları, yaygın olarak 250 °C ile 400 °C arasında tuz banyosunda yapılmaktadır [6] [7]. Şekil 1'(a)'da tek basamaklı östemperleme işleminin tipik bir uygulaması görülmektedir [8]. Östemperleme sırasında, malzeme iki aşamalı dönüşüme uğrar. İlk aşamada, mevcut östenitik yapı, iğnesel ferrit ve yüksek karbonlu dönüşmüş östenite ayrışır. Dönüşüm prosesi aşağıda verilmiştir [8] [9] [10].



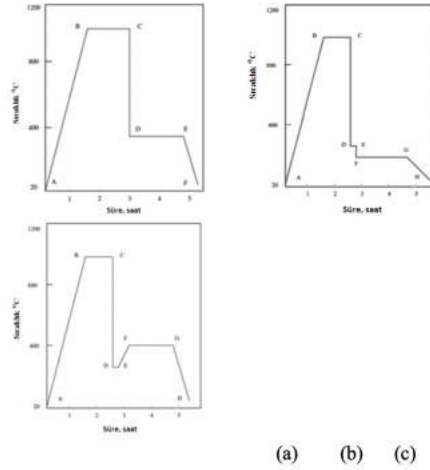
Östemperleme işlemi gereğinden fazla uzun sürerse, yüksek karbonlu östenit, aşağıdaki gibi ferrit ve epsilon karbürüne dönüşür.



Epsilon karbür kırılma tokluğuna sebep olur, bu nedenle östemperleme süresi epsilon karbürün çökmesine neden olacak kadar uzun olmamalıdır. En iyi mekanik özellikler, aynı zamanda gelişmiş olan mukavemet ve süneklik, östemperleme sırasında ilk reaksiyon bitip ikinci reaksiyon başlamadan hemen önce elde edilir. Bu periyot proses veya işlem penceresi olarak adlandırılır. Bakır ve nikel gibi alaşım elementleri sayesinde işlem penceresi genişlemektedir. Bu nedenle ve ayrıca sertleşebilirlik açısından bakır ve nikel ilavesi yapılmaktadır [11] [12] [10] [13] [14]. Östemperlemeden sonra incelenen mikroyapılarda çelik mikroyapısında görülen beynite benzeyen ve ösferrit adı verilen, ilk reaksiyonda da görüldüğü gibi, iğnemsel ferrit ve karbon miktarı yüksek olan östenitik yapıdan oluşan faz görülmektedir. Östenitleme işlemi de dahil olmak üzere, östemperleme parametreleri, malzeme özelliklerinin belirlenmesinde çok önemli rol oynamaktadır. Östenitleme sıcaklığı ele alınırsa, bu parametrenin optimum seviyede olması, mikroyapı ve malzeme özelliklerinin belirlenmesinde etkili olmaktadır. Östenitleme sıcaklığı düşük olursa östenitleme prosesi yetersiz olur. Sellamuthu ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, östenitleme sıcaklığının yüksek olması durumunda, sertleşebilirliğin yükselmesine rağmen, faz dönüşüm mekanizmalarının daha karmaşık hale gelmesine ve tanelerin büyümesine ve kabaşmasına neden olduğu ifade edilmektedir. Bu durum da mekanik özelliklerin düşmesine de neden olurken, östenitleme süresinin de kimyasal bileşim, östenitleme sıcaklığı ve küre sayısı dikkate alınarak belirlenmesi gerektiği belirtilmiştir. Östemperleme sıcaklığı hedeflenen mekanik özelliklere göre belirlenmelidir. Asıl hedef yüksek süneklik, kırılma tokluğu ve darbe enerjisi ise östemperleme sıcaklığı 350-400 °C aralığında olmalıdır. Yüksek mukavemet, sertlik ve aşınma dayanımı hedeflenirse, östemperleme sıcaklığı 350 °C'den düşük olmalıdır. Östemperleme sıcaklığı arttıkça zaman, küre miktarı azalmış olup, küre boyutunun artmış olduğu görülmüştür [5] [12]. Bunun yanı sıra östemperleme sıcaklığı yüksek olduğu zaman ferritler daha iri olur, ancak ferrit miktarı daha düşük olur. Östemperleme sıcaklığı düşük olursa ferrit miktarı yüksek ve ferritler ince taneli olur [11]. Östemperleme süresi kısa olduğu zaman sertlik yüksek olur, ancak kırılma tokluğu ve süneklik düşük olur. Süre proses penceresinin gerektirdiğinden daha uzun olursa, ikincil reaksiyon olur, epsilon karbür çökmesi gözlemlenir, mukavemet, süneklik ve kırılma tokluğu düşük olur [5]. Tek basamaklı östemperleme işlemi, mukavemet, süneklik, aşınma dayanımı ve tokluk gibi özelliklerin aynı anda gelişmesi noktasında yetersiz kalmıştır. Özellikle yapısal malzemelerde, katastrofik arızanın önlenmesi için, kırılma tokluğu ve akma dayanımı gibi özelliklerin geliştirilmiş olması gerekmektedir, çünkü bu durum çalışma stres aralığını artırır ve emniyet faktörünün gelişmesini sağlar [11]. Bu nedenle araştırmacılar iki basamaklı östemperleme prosesle-

rinin üzerinde çalışma ihtiyacı hissetmiştir. İki basamaklı östempereleme iki kategoriye ayrılmaktadır.

- Yüksek-Düşük Basamaklı Isıl İşlem (High Low Stepped Heat Treatment/HLAT): İlk basamak sıcaklığının yüksek ve ikinci basamak sıcaklığının düşük olduğu prosestir.
- Düşük-Yüksek Basamaklı Isıl İşlem (Low High Stepped Heat Treatment/LHAT): İlk basamak sıcaklığının düşük ve ikinci basamak sıcaklığının yüksek olduğu prosestir.



Şekil 1: a) Tek kademeli, (b) Yüksek-düşük (High-Low HLAT) ve (c) Düşük-Yüksek (Low-High, LHAT) östempereleme ısıl işlem prosesi [8]

Putatunda, tek basamaklı ve iki basamaklı östempereleme işleminin mikroyapı ve mekanik özellikleri üzerindeki etkisini incelemiştir. İki basamaklı östempereleme işleminde kırılma tokluğu, akma ve çekme dayanımı, süneklik, gerinim sertleşmesi sabiti gibi mekanik özellikler, tek basamaklı östemperelemeye göre daha yüksektir, çünkü XRD analizi ve paralelinde yapılan çalışmalarda, dönüşmüş östenit miktarı, iki basamaklı östempereleme yapılan malzemede daha yüksektir. Bunun yanı sıra, her iki işlemde de östempereleme sıcaklığı arttığı zaman, hacimsel olarak östenit miktarının ve aynı zamanda östenit karbon içeriğinin daha yüksek olduğu görülmüştür [11] [10]. HLAT prosesinin uygulandığı bir çalışmada, 910 °C 60 dakika östenitlemenin ardından 400 °C 8 dakika ilk basamak östempereleme yapılmış olup, ikinci basamak östempereleme ise 22, 52, 82, 172 dakikada, 360 ve 320 °C sıcaklıkta uygulanmış, östemperelemeden sonra havada soğutma işlemi gerçekleştirilmiştir. İkinci basamak östempereleme sıcaklık ve sürelerinin mikroyapı ve darbe enerjisi üzerindeki etkilerini incelemiştir. Çalışma sonucunda ikinci basamakta östempereleme sıcaklığı 320 °C ve östempereleme süresi 22 dakika olduğu zaman, darbe enerjisinin en yüksek olduğu tespit edilmiş olup, östempereleme süresinin artması ile her iki sıcaklıkta da darbe enerjisinin düştüğü görülmüştür. [3]. Bandanadjaja ve arkadaşları tarafından yapılan, LHAT işleminde ilk basamak östempereleme süresinin mekanik özellikler üzerindeki etkisini inceledikleri çalışmada, sabit sıcaklıkta ilk basamak östempereleme süresi, arttıkça çekme dayanımı artarken, yüzde uzama ve darbe enerjisinde düşüş gözlemlenmiştir. [1]. Peng-yue Yi ve arkadaşları, bakır içeren küresel grafitli dökme demir alaşımı için, 900°C'de 90 dakika sabit östenitleme sıcaklığı ve süresinde 280°C'de 15 dakikada birinci basamak östempereleme sonrası, ikinci basamak östempereleme işlemlerinde 320°C-400 °C sıcaklık ve 30-90 dakika arasındaki zaman parametrelerinin malzeme özellikleri üzerindeki etkisini incelemiştir. İlk basamak östemperelemeden sonra iğnemsiz ferrit yapısı elde edilmişken ikinci basamak östemperelemeden sonra demetlenmiş ferrit yapısı gözlemlenmiştir. İkinci basamak östempereleme sıcaklığı 360°C'yi aştığı zaman, östenitin ayrışması ve içindeki karbonun azalması, demetlenmiş ferritin kalınlaşması ve karbür çökmesinden dolayı, bu özelliklerin bariz bir şekilde azaldığı görülmektedir. İkinci basamak östenit sıcaklığı arttığı zaman, akma dayanımı, çekme dayanımı, sünekliğin artmış olduğu görülmüştür, ancak östenit miktarı azaldığı için, kırılma tokluğu, darbe enerjisi gibi özelliklerin az miktarda azaldığı görülmektedir [4].

Bu çalışmada, tek basamaklı ve HLAT metodunun iki basamaklı östempereleme işleminde ilk basamak süresinin mikroyapı, sertlik ve darbe özellikleri üzerine etkileri incelenmiştir. Toplam östempereleme süresi, 2 saat olarak sabit kalacak şekilde seçilmiştir. Küresel grafitli dökme demir numunelerin hepsi 850°C'de 90 dakika

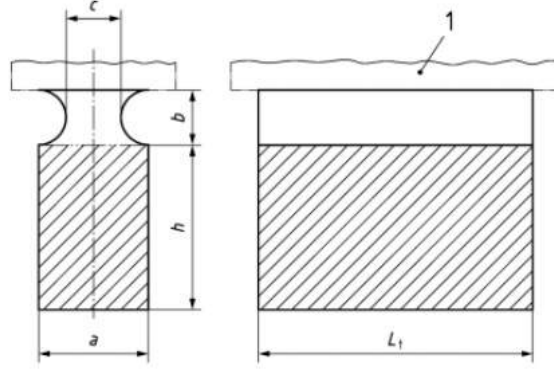
östenitlenmiş olup, tek basamaklı östempereleme yapılan referans malzemeler 260 °C'de 2 saat östempereleme işlemine tabi tutulmuş olup, HLAT prosesi uygulanan malzemeler, ilk basamakta 360 °C sıcaklıkta 4, 8, 10 ve 12 dakika süre ile östemperelemiştir. Hemen ardından numuneler 260 °C'de sırasıyla 116, 102, 110 ve 108 dakika tutulan düşük sıcaklıklı tuz banyolarına aktarılmış ve son olarak hava ile soğutulmuştur.

Geleneksel tek basamaklı ısı işlemde, düşük sıcaklıkta östempereleme yapıldıktan sonra, yüksek mukavemet ve sertlik elde edilmesine rağmen, süneklik ve darbe dayanımında düşme meydana gelmektedir. Bu durum yapısal uygulamalar için sorun teşkil etmektedir. Bu çalışmada ise, iki basamaklı östempereleme ısı işlemi uygulanmıştır. İlk basamak olarak yüksek sıcaklıkta östempereleme işlemi yapılmış, ardından ikinci basamak olarak düşük sıcaklık östempereleme işlemi uygulanmıştır. Böylece, uygulanan HLAT işlemi ile, mukavemet ve sertlikte düşüşe neden olmadan, süneklik ve darbe dayanımında gelişme sağlanması amaçlanmıştır. Birinci basamak östempereleme işleminde sürenin etkisi incelenerek, malzeme mikroyapısı, sertlik ve darbe enerjisi bazında malzeme özelliklerinde optimizasyon hedeflenmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Malzeme

Bu çalışmada kimyasal bileşimi Çizelge 1'de verilen GGG-50 küresel grafitli dökme demir malzeme, Şekil 2'de görülen formda, BS EN 1563:2018 standardına uygun olarak $a=70$ mm, $b=52,5$ mm, $c=35$ mm $L = 250$ mm ölçülerine sahip yaş kum kalıba dökülmüştür.

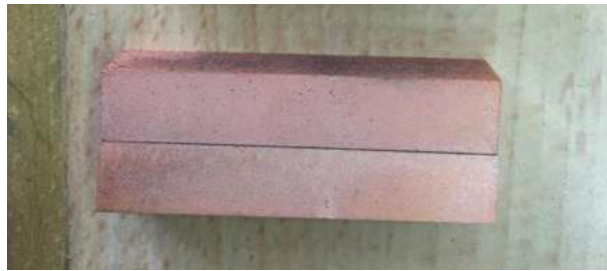


Şekil 2: BS EN 1563: 2018 standardına uygun döküm numune formu

C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V	W	Mg
3,54	2,53	0,207	0,036	0,144	0,069	0,08	0,003	0,016

Çizelge 1: KGDD'nin kimyasal bileşimi (Ağırlıkça %)

Darbe testi için, döküm numunedan tel erozyon metodu kullanılarak üretilen Şekil 3'te görülen 10x10x55 mm boyutlarında, bakır kaplanmış numuneler kullanılırken, mikroyapı ve sertlik için 10x10x10 mm boyutlarında mikroyapı numuneleri hazırlanmıştır. Tüm numuneler ısı işlem öncesi bakır kaplanmıştır.



Şekil 3: Östempereleme ısı işlemi için bakır kaplanmış darbe testi numuneleri

2. Yöntem

Mikroyapı, sertlik, darbe testi için hazırlanan numuneler Çizelge 2’de sunulan programa uygun olarak farklı östemperleme ısıl işlemlerine tabi tutulmuşlardır. Östemperleme işlemi sırasında malzemenin östenitleme işlemi 850 °C’de, 90 dakika olarak uygulanırken, östemperleme işlemi klasik alt ösferritik malzeme için 260 oC, 2 saat olarak uygulanmıştır. Kademeli veya iki basamaklı östemperleme işleminde ise, tek kademeli işleme ilave olarak 360 °C sıcaklıkta tuz banyosunda 4, 8, 10 ve 12 dakika olmak üzere farklı sürelerde ön östemperleme işlemi uygulanmış ve ön östemperleme işlemi de dahil olmak üzere, toplam süresi yine 120 dakika olacak şekilde, 260 °C’de düşük sıcaklıkta östemperleme işlemi uygulanmıştır. Bu şekilde alt östemperleme işlemi uygulanacak bir malzemeye, yüksek sıcaklıkta farklı sürelerde bir ön östemperleme uygulamasının, mikroyapı, sertlik ve darbe enerjisi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Östenitleme ısıl işleminde, 1100 oC \pm 1 °C ısıl kapasite ve hassasiyete sahip PID kontrollü elektrik direnç ısıtma ünitesi, östemperleme işleminde ise PID kontrollü 900 °C \pm 2 °C ısıl kapasite ve hassasiyete sahip elektrik direnç sistemiyle çalışan tuz banyosu kullanılmıştır. Östemperleme işleminde ağırlıkça % 45 NaNO₃ + % 45 KNO₃ + % 10 NaNO₂ bileşimine sahip tuz banyosu kullanılmıştır.

	Östenitleme Sıcaklığı, °C	Östenitleme Süresi, dakika	1. ve 2. Östemperleme Sıcaklık ve Süresi	Toplam östemperleme süresi, dakika
1	850	90	260 °C, 120 dk.	120
2	850	90	360 °C, 4 dk. - 260 °C, 116 dk.	120
3	850	90	360 °C, 8 dk. - 260 °C, 112 dk.	120
4	850	90	360 °C 10 dk. - 260 °C, 110 dk.	120
5	850	90	360, °C 12 dk.- 260 °C 108 dk.	120

Çizelge 2: Östemperleme işleminde kullanılan deneysel parametreler

3. Optik ve Tarama Elektron Mikroskobu Çalışmaları

Östemperleme işleminden sonra metalografik incelemenin yapılabilmesi için, Metkon marka Ecopress 102 model sıcak bakalit alma cihazında numuneler hazırlanmış ve Metkon marka Forcipol 202 model cihaz kullanılarak sırasıyla 220, 400, 800 ve 1200 Mesh zımpara işlemi yapıldıktan sonra, polisaj işlemi için 6 μ m, 3 μ m elmas süspansiyon kullanılarak parlatma işlemi uygulanmıştır. Nikon marka MA100 model optik mikroskop kullanılarak 300 dpi çözünürlükte ve farklı büyütmelerde inceleme yapılmıştır. Mikroyapısal incelemeler için ilk önce dağlanmadan küresel grafit yapısı optik mikroskopta incelenmiş, küre sayısı, küreleşme oranı ve küre boyutu gibi özellikler Clemex bilgisayar yazılımı kullanılarak 6 farklı bölgeden alınan görüntülerin ortalaması kullanılarak tespit edilmiştir. Daha sonra numuneler % 2 Nital çözeltisiyle dağlama işlemine tabi tutulup, matris mikroyapıları incelenmiştir. Öte yandan darbe testi sonucu ortaya çıkan kırık yüzeylerin incelenmesi için Jeol JEM 6060 LV Tarama Elektron Mikroskobu kullanılmıştır.

4. Sertlik testleri

Makro sertlik testleri, metalografik inceleme için hazırlanan numunelerden ve Emcotest marka Duravision 200 model sertlik ölçüm cihazı kullanılarak yapılmıştır. Brinell sertlik ölçümleri, 187,5 kg yük ve 2,5 mm çapa sahip karbür uç kullanılarak ve 5 sertlik testinin ortalaması alınarak gerçekleştirilmiştir.

5. Darbe Testleri

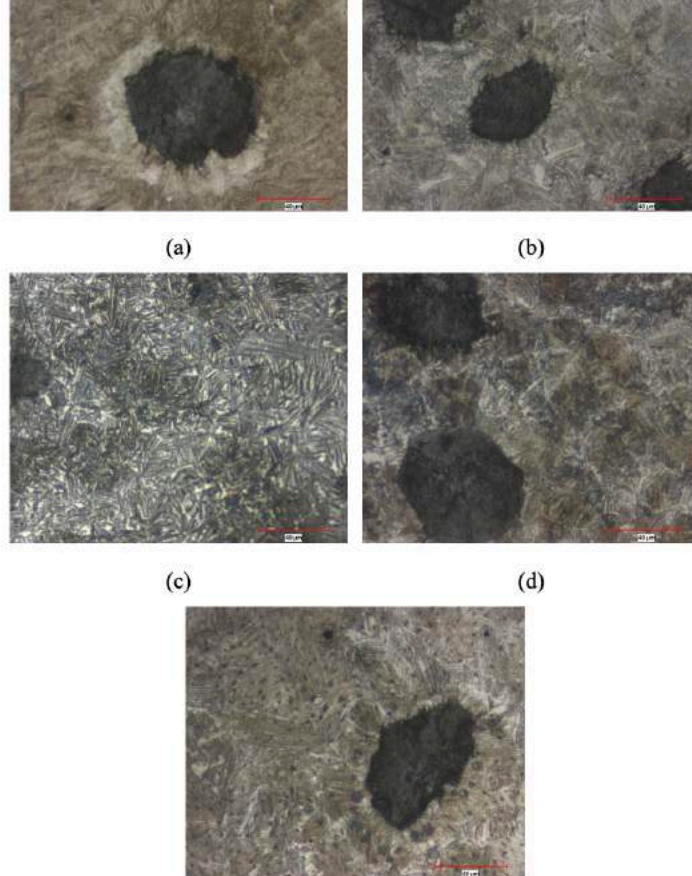
Darbe testlerinde için, 10x10x55 mm boyutlarında hazırlanmış olan çentiksiz numuneler kullanılmış ve darbe testi ASTM E 23 standardına uygun olarak, oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Darbe deneylerinde MTS marka Exceed 22.452 model 450 Joule kapasiteli Charpy darbe test cihazında kullanılmış olup, aynı grup malzemelerden en az 4 numune teste tabi tutulmuş ve test sonuçlarının ortalama değerleri alınmıştır.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

3.1. Mikroyapısal İnceleme Sonuçları

Mikroyapısal inceleme sonucunda, malzemenin kalın kesitli döküm parça olması nedeniyle, Şekil 4'de görüldüğü gibi küre sayısı ve küreleşme oranının düşük olduğu görülmektedir. Öte yandan 260°C sıcaklıkta ve tek basamakta uygulanan östemperleme işleminin, ösferritik yapının oluşumu için gerekli dönüşümleri sağlamada yetersiz kaldığı anlaşılmaktadır. İki basamakta östemperleme uygulanan ve 360°C gibi yüksek sıcaklıkta ilk basamak östemperleme işlemi yapılan numunelerde, I. basamak reaksiyonun meydana gelmesine yardımcı olduğu anlaşılmaktadır. Fras vd. tarafından yapılan çalışmada ösferritik yapının oluşumunda, ince kesitin ve yüksek küre sayısının çok etkili olduğu ve bu malzemelerde östenitleme ve östemperleme zamanının önemli derecede azaldığı ifade edilmiştir [2]. Yi vd. tarafından yapılan iki basamaklı östemperleme işleminde, ilk basamak östemperleme ürününün iğnesel ösferrit, ikinci basamak östemperleme işleminde ise demetlenmiş şekilde ferrit oluşumu gerçekleştiği ifade edilmiştir. Ancak bu araştırmacılar, mevcut çalışmanın aksine 900°C'de 90 dk. östenitlendikten sonra, ilk basamakta 280°C düşük sıcaklıkta 15 dk. sabit ön östemperleme, ikinci basamakta 320-400 °C gibi yüksek sıcaklıklarda 30-90 dk. östemperleme işlemi uygulamışlardır. Çalışma sonuçlarına göre, artan ikinci basamak östemperleme sıcaklığına bağlı olarak, gerek östenit miktarının, gerekse östenitin içerdiği karbon miktarının azaldığı ve aynı zamanda ikinci basamak östemperleme sıcaklığınının 380 oC'e ulaşması ile karbür oluşumunun meydana geldiği belirtilmektedir [4]. Bandanadjaja vd. tarafından 927°C'de 120 dk. östenitleme ardından, 260oC'de 30, 60 ve 90 dk. düşük-yüksek ön östemperleme (LHAT) işlemi ve ardından 400°C'de 90 dk. sabit sıcaklık ve sürede östemperleme işlemi uyguladıkları çalışmada, artan ön östemperleme süresi ile ferrit iğnelerinin daha çok incelendiği ve bunun sonucunda daha fazla miktarda alt ösferrit yapının meydana geldiği ifade edilmektedir [11].

Küre sayısı, küreleşme oranı, küre boyutu, küre boyutu sınıfı ve % grafit oranı Çizelge 3'te verilmiştir. Buna göre tek basamak ısıl işlem yapılmış malzemede küre sayısının, işlem yapılmış diğer malzemelerin yaklaşık iki katı oranında olduğu dikkat çekmektedir. Yine de başlangıç malzemesi olarak döküm durumu malzeme-deki küre sayısının, dökülen parçanın kalın kesitli olmasından kaynaklı olarak, küre sayısının nispeten düşük olduğu değerlendirilmektedir. Colin-García vd. [15] tarafından yapılan çalışmada, artan döküm modülü ile birlikte, küre sayısının ve küreleşme oranının azaldığı ve küre boyutunun arttığı tespit edilmiştir. Öte yandan Çizelge 3 incelendiğinde, uygulanan ısıl işleme bağlı olarak küre sayısının azaldığı, ancak küre boyutunun ve küreleşme oranının çok fazla Şekil 4. 850 °C'de 90 dk. östenitlenmiş, a) 260°C-120 dk.'da yapılan tek basamak



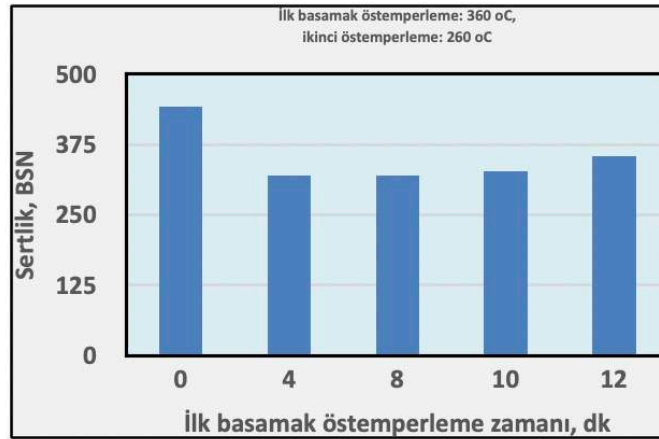
östemperleme işlemi. HLAT çift basamak östemperleme işlemi b) 360°C/4 dk.-260°C/116 dk. c) 360°C/8 dk.-260°C/112 dk. d) 360°C/10 dk.-260°C/110 dk. b)360°C/12 dk.-260°C/108 dk. östemperleme işlemi uygulanan numunelerin mikroyapısı değişmediği anlaşılmaktadır. Sellamuthu vd tarafından yapılan çalışmada ise, artan östemperleme sıcaklığı ile birlikte küre sayısının sürekli azaldığı, % grafit oranının ise 300 °C'de östemperlenmiş numunede, döküm durumuna göre azaldığı, artan sıcaklıkla tekrar artmaya başladığı, daha sonra 320 ve 340°C sıcaklıklar arasında değişmediği, 360 °C sıcaklıkta tekrar azaldığı ifade edilmiştir [5]. Daha önce yapılan çalışmalarda da ısıl işlem şartlarına bağlı olarak grafit küre sayısı ve boyutunda değişim gerçekleştiği tespit edilmiştir [16]. Bu çalışmada kademeli ısıl işlem yapılmış numunelerde küre sayısında en fazla değişimin 360 °C'de 12 dk, bekletilen numunede meydana geldiği tespit edilmiştir.

Numune No	Küreleşme Oranı (%)	Grafit (%):	Küre boyutu sınıfı	Ortalama küre boyutu, µm	Küre sayısı, küre/mm ²
1	74,64	8,38	6	21,02	317
2	71,38	9,05	6	25,65	219
3	74,33	6,42	6	21,61	275
4	74,44	7,17	6	24,68	231
5	68,78	3,68	7	10,84	304

Çizelge 3: Farklı ısıl işlem şartlarında malzemenin grafit küre özelliklerinin değişimi

2. Sertlik Sonuçları

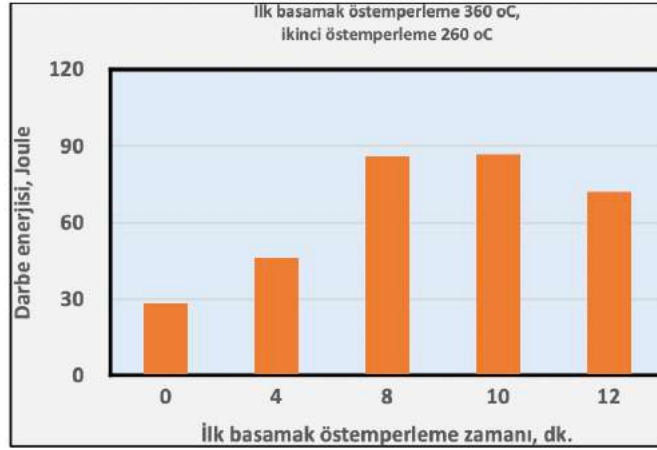
Şekil 5'de görüldüğü gibi 260 °C sıcaklıkta, 2 saat tek basamaklı östemperlenen numune sertliğinin, en yüksek değere sahip olduğu, 4 dk. birinci basamak östemperleme ile sertlik değerinin düşüş gösterdiği, 8, 10 ve 12 dk. gibi artan ilk basamak östemperleme işlem süresi ile birlikte bu değer az da olsa artmış olduğu görülmektedir. Bandanadjaja vd. tarafından düşük-yüksek östemperleme (LHAT) işleminde 260 °C'de yapılan alt ön östemperleme işlemi ile sertlik, mukavemet artış gösterirken, süreklilikte artan süre ile birlikte azalma meydana geldiği tespit edilmiştir [1]. Mevcut çalışmada ise yüksek-düşük kademeli östemperleme (HLAT) uygulandığı için, iki basamaklı östemperleme işlemi ile sertlikte düşme meydana gelmiş, ancak artan ilk basamak östemperleme zamanı ile ösferritik yapıda artış ile beraber sertlik değerinin de artış gösterdiği değerlendirilmektedir.



Şekil 5: 260 °C'de -2 saat tek basamak östemperlenen numune ve ilk basamakta 360 °C sıcaklıkta, farklı sürelerde östemperlenen ve ardından 260 °C'de östemperlenen küresel grafitli dökme demirlerin sertlik değerlerinin değişimi

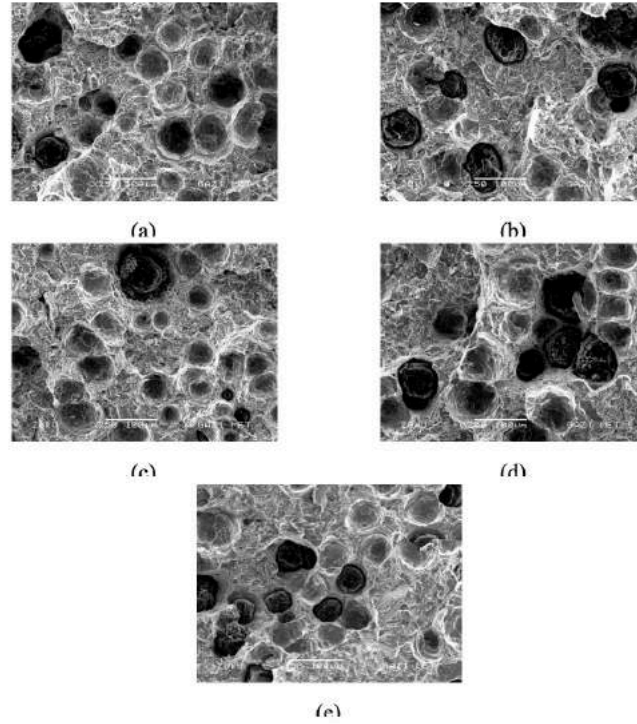
1. Darbe Testi Sonuçları

Yapılan Charpy darbe testi sonuçları Şekil 6'da verilmiştir. Buna göre 260 °C'de 2 saat östemperlenen numunelerin, darbe testi sonuçları, tek basamak alt östemperleme işleminin, sertlik değerini arttırmasına rağmen, darbe değerinde yeterli artışı sağlayamadığını ortaya koymaktadır. Genel olarak tüm çalışmalarda düşük sıcaklıkta yapılan tek basamak östemperleme işleminin sertlik ve mukavemeti arttırdığı [11] [17] ve süneklik ve darbe dayanımını düşürdüğü [11] [17] bilinmektedir. Ancak alt östemperleme işleminden önce, kısa süreli üst östemperleme işlemi uygulanması durumunda, malzemenin darbe dayanımının önemli oranda artış gösterdiği tespit edilmiştir. Özellikle malzemenin kalın kesitli olması ve östenitleme sıcaklığının nispeten düşük ve kısa süreli uygulanması sonucu, 260°C gibi tek basamak düşük sıcaklıklarda yapılan östemperleme işleminin, yeterli şekilde dönüşümü sağlayamadığı, yüksek sıcaklıkta yapılan birinci basamak ön östemperleme işlemi ile bu sürecin gerçekleştiği ve sertlik grafiğindeki değerlerde de artışın meydana geldiği görülmektedir. Hafız tarafından 910°C'de 60 dk. yapılan östenitleme ve ardından 400°C'de 8 dakika sabit ön östemperleme sonrası gerçekleştirilen, iki kademeli işlem neticesi, 360 °C'de 22 dakikada, 320 °C'de ise 82 dk. östemperleme ile, darbe testinde, maksimum çatlak başlangıç enerjisi elde edilmiştir [3]. Bandanadjaja vd. tarafından uygulanan düşük-yüksek östemperleme (LHAT) işleminde 260°C'de yapılan birinci basamak alt östemperleme işleminde, artan süre ile birlikte darbe dayanımında azalma meydana geldiği tespit edilmiştir [1]. HLAT işlemi uygulanan bu çalışmada ise, 10 dk.'ya kadar birinci basamak östemperleme süresinin artması, darbe dayanımında artış meydana getirirken, daha fazla artan süre ile, bu değer düşüğü tespit edilmiştir. 260°C'de yapılan tek kademe işleme göre, iki kademeli işlem (360°C'de 10 dk + 260°C'de 110 dk) ile optimum sürede yapılan ısı işlem ile darbe dayanımında yaklaşık % 206 oranında bir gelişme sağlanmıştır. Literatürde de iki basamaklı işlemin daha ince ferrit yapısı oluşturduğu, ısı işlem sürecinin işlem penceresi içerisinde bitirilmesi, kırılgan olan karbür oluşumundan kaçınılması, daha tok bir malzeme elde edilmesi için, çok aşırı uzun östemperleme işlemlerinin uygulanmaması önerilmektedir [1].



Şekil 6: 360 oC sıcaklıklarda ve farklı sürelerde ön östemperlenen ve ardından 260 oC 'de östemperlenen küresel grafitli dökme demirlerin darbe enerjisi

Şekil 7'de 260 °C'de 2 saat tek basamaklı östemperlenen numunenin ve ilk basamakta 360 °C'de 4 dk. östemperleme işlemi yapılan numunenin kırılma yüzeyleri incelendiğinde, bir miktar sünek kırılma yüzeyleri bulunsa da ilk basamakta 360 °C'de 8 ve 10 dk. östemperlenen numunelere kıyasla, belirli yüzeylerde kısmen daha gevrek bir kırılma meydana geldiği görülmektedir. Andoko vd. tarafından 900 °C'de 60 dk. östenitlenen ve ardından 260 °C de 5 ve 15 dk. ön östemperleme ile, LHAT çalışması yapılarak 340 °C'de 60 dk. östemperlenen malzemede, 5 dk.'lık ön östemperleme ile yapının az miktarda kaba taneli iğnesel ferrit ile beraber östenit matriksten oluştuğu, oysa 15 dk.'lık ön işlem ile bu yapının östenit miktarının azaldığı, ince iğnesel ferrit miktarında artma olduğu tespit edilmiştir. Mikroyapıdaki bu gelişmeye paralel olarak, mukavemet ve sünekliğin artış gösterdiği tespit edilmiştir. Dolayısı ile 5 dk östemperlenen numunenin akma, çekme dayanımı ve uzama değerleri düşük kalırken, kırılma yüzeyinin gevrek kırılmanın göstergesi olan klivaj bir yüzey sergilediği ifade edilmektedir [18].



Şekil 7. 850 °C'de 90 dk. Östenitlenmiş a) 260 °C'de 120 dk. (x250), b) 360 °C'de 4 dk.-260 °C'de 116 dk. (x250), c) 360 °C'de 8 dk. -260 °C'de 112 dk. (x250), d) 360 °C'de 10 dk.-260 °C'de 110 dk. (x250), e) 360 °C'de 12 dk.-260 °C'de 108 dk. (x250), östemperlenmiş numunenin darbe testi sonucu elde edilen kırık yüzey görüntüsü

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada kalın kesitli küresel grafitli dökme demirlere toplam süresi 120 dakika olacak şekilde sabit tutarak, geleneksel östemperleme ve ayrıca HLAT tipi çift basamaklı östemperleme ısı işlemi uygulanarak, birinci ve ikinci basamak sıcaklık parametreleri sabit tutulmuş, farklı ilk kademe östemperleme sürelerinin mikroyapı, sertlik ve darbe enerjisi üzerine etkileri incelenmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Tek basamak düşük sıcaklık östemperleme işleminde, sertlik değeri yüksek iken, darbe dayanımının nispeten düşük olduğu tespit edilmiştir.
- Mikroyapısal inceleme sonucunda, malzemenin kalın kesitli döküm parça olması nedeniyle, ısı işlem sonrası küre sayısı ve küreleşme oranının nispeten düşük olduğu tespit edilmiştir.
- Tek basamak östemperleme işlemi neticesi, mikroyapının yüksek çekirdeklenme hızı nedeniyle, ince yapılı ferrit ve yüksek karbonlu östenitten meydana geldiği görülmüştür.
- İki basamaklı yapılan östemperleme işleminde mikroyapının, alt ve üst ösferrit yapısından meydana geldiği tespit edilmiştir.
- Sertlik sonuçlarına göre, 360 °C sıcaklıklarda uygulanan ilk kademe östemperleme süresi arttıkça sertlik değerlerinin kademeli olarak arttığı ve maksimum sertlik değerinin 12 dakika birinci basamak östemperleme yapıldıktan sonra elde edildiği görülmüştür.
- İki basamaklı östemperleme işleminde, 360 °C sıcaklıkta yapılan ilk basamak östemperleme süresi arttıkça, 260 °C'de uygulanan ikinci basamak östemperleme süresi azaltılmıştır. Birinci basamak östemperleme işleminde, sürenin 10 dakikaya kadar artması durumunda, darbe enerjisi değerlerinde kademeli bir artış meydana gelmiştir. Bu sürenin daha fazla artması, darbe enerjisinde düşmeye neden olmuştur.
- SEM'de kırık yüzey incelemeleri sonucunda, 360 °C'de 8 dk. ve 10 dk. ilk basamak östemperleme ve ardından 260 °C'de sırasıyla 112 dk. ve 110 dk. iki basamaklı östemperleme yapıldığı zaman, numunelerin diğer sürelerde östemperlenmiş numunelere göre darbe testi sonucunda daha sünek kırıldığı görülmüştür.

5. KAYNAKLAR

[1] B. Bandanadjaja, A. Lestarianto, N. Widarmansyah, D. Idamayanti, "The Effect of Two-Step Austempering Heat Treatment Holding Time to The Mechanical Properties of Austempered Ductile Iron (ADI)"

- 06 Ağustos 2018. [Çevrimiçi]. Available: https://www.researchgate.net/publication/326838249_The_Effect_of_Two-Step_Austempering_Heat_Treatment_Holding_Time_to_The_Mechanical_Properties_of_Austempered_Ductile_Iron_ADI.
- [2] E. Fraś, M. Górny, E. Tyrała, H. Lopez, "Effect of nodule count on austenitising and austempering kinetics of ductile iron castings and mechanical properties of thin walled iron castings", *Materials Science and Technology*, Vol.28, no. 12, pp. 1391-1396, 2012.
- [3] M. Hafiz, "EFFECT OF SECOND STEP AUSTEMPERING TEMPERATURE AND TIME ON THE IMPACT PROPERTIES OF TWO-STEP AUSTEMPERED SG-CAST IRON", *Journal of Al Azhar University Engineering Sector, Kahire*, 2010.
- [4] P. Yi, E. Guo, L. Wang, Y. Feng, C. Wang, "Microstructure and mechanical properties of two step Cu-alloyed ADI treated by different second step austempering temperatures and times", *China Foundry*, Vol.16, no. 5, pp. 342-351, 2019.
- [5] P. Sellamuthu, D. G. Harris Samuel, D. Dinakaran, V. P. Premkumar, Z. Li, S. Seetharaman, "Austempered Ductile Iron (ADI): Influence of Austempering Temperature on Microstructure, Mechanical and Wear Properties and Energy Consumption" 12 Ocak 2018. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.mdpi.com/2075-4701/8/1/53/htm>. [Erişildi: 30 Mayıs 2022].
- [6] S. R. Soria, X. H. Schulz, M. Boin, M. Hofmann, "Determination of martensite content and mapping phase distribution on Austempered Ductile Iron using energy selective neutron imaging", *Materials Characterization*, no. 166, 2020.
- [7] B. Wang, G. C. Barber, C. Tao, X. Sun, X. Ran, "Characteristics of tempering response of austempered ductile iron", *Journal of Materials Research and Technology*, Vol.2, no. 7, pp. 198-202, 2018.
- [8] S. K. Putatunda, "Comparison of the mechanical properties of austempered ductile cast iron (ADI) processed by conventional and step-down austempering process", *Materials and Manufacturing Processes*, Vol.25, no. 8, pp. 749-757, 2010.
- [9] B. Wang, F. Qiu, G. C. Barber, Y. Pan, W. Cui, R. Wang, B. Wang, F. Qiu, G. C. Barber, Y. Pan, W. Cui, R. Wang, "Microstructure, wear behavior and surface hardening of austempered ductile iron", *Journal of Materials Research and Technology*, Vol.5, no. 9, pp. 9838-9855, 2020.
- [10] J. Yang, S. K. Putatunda, "Improvement in strength and toughness of austempered ductile cast iron by a novel two-step austempering process", *Materials&Design*, no. 25, pp. 219-230, 2004.
- [11] S. K. Putatunda, "Development of austempered ductile cast iron (ADI) with simultaneous high yield strength and fracture toughness by a novel two-step austempering process", *Materials Science and Engineering A315*, p. 70-80, 2001.
- [12] M.T. Saidi, N. Baghersaee, N. Varahram, M. H. Rao, G. V. S. N. Rao, "Effect of heat treatment cycle the mechanical properties of mechanical properties of machinable austempered ductile iron", *METAL*, pp. 1-7, 2007.
- [13] A.-J. I. J. C. F.V.Guerral, "Effects of boron addition and austempering time on microstructure, hardness and tensile properties of ductile irons", *Materials Science and Engineering: A*, no. 648, pp. 193-201, 2015.
- [14] B. Çetin, H. Mecan, K. Davut, E. Arslan, M. C. Uzun, "Microstructural Analysis of Austempered Ductile Iron Castings", *Hittite Journal of Science and Engineering*, Vol.3, no. 1, pp. 29-34, 2016.
- [15] E. Colin-García, A. Cruz, G. Reyes-Castellanos, J.A. Romero-Serrano, "Influence of nickel addition and casting modulus on the properties of hypo-eutectic ductile cast iron", *Journal of Mining and Metallurgy Section B Metallurgy*, Vol.2, no. 55, pp. 1-17, 2019.
- [16] L. ŞENEL, H. HASIRCI, F. GÜL, "Östemperlenmiş Küresel Grafli Dökme Demirlerde Isıl İşlem Şartlarına Bağlı Olarak Grafit Küre Sayısı ve Boyutlarının Değişimi" *Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi e- Bildiriler Kitabı*, İstanbul, 2002.
- [17] E. V. Pereloma, C. S. Anderson, "Microstructure and properties of austempered ductile iron subjected to single and two step processing" *Materials Science and Technology*, pp. 1112-1118, 2006.
- [18] A. Andoko, P. Puspitasari, F. Gapsari, "Effect of Two-Step Austempering Time on Tensile Strength and Fracture Morphology of Austempered Ductile Iron (ADI)" *International Review of Mechanical Engineering (I.R.E.M.E.)*, Vol.13, no. 8, 2019.

BAKIR VE MANGAN İLE ALAŞIMLANDIRILAN KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRLERİN MİKROYAPI MEKANİK VE AŞINMA ÖZELLİKLERİ

Erdu Doğuş GÜL*, Zafer AY*, Yaşar Uğur AKI*, Emre AYDIN**,
Harun MİNDİVAN**

*Demisaş Döküm Emaye Mamulleri Sanayi A.Ş. Ar-Ge Merkezi, Bilecik, Türkiye

**Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği
Bölümü, Bilecik, Türkiye

ÖZET

Bu çalışmada, bakır (Cu) ve mangan (Mn) ilavesinin tek başına ve kombinasyon halinde 15 mm çapındaki döküm yapısındaki EN-GJS-500-7 kalite küresel grafitli dökme demirlerin (KKDD) mikroyapısı, mekanik ve aşınma özelliklerine etkisi incelenmiştir. Katkısız, Cu ve Mn katkılı KGDD'lerde mikroyapılar ferrit-perlit fazlarından oluşurken, her iki alaşım elementinin birlikte bulunması durumunda mikroyapı hemen hemen perlit fazını içermektedir. Katkısız KGDD'e göre Cu ve Mn'nin birlikte bulunması durumunda KGDD'nin kütleli sertliği, akma ve çekme mukavemeti önemli oranda artarken darbe tokluğu da büyük ölçüde azalmıştır. İncelenen KGDD'lerin aşınma hızları ise artan kütleli sertlik ile azalmıştır.

Anahtar Kelimeler: Aşınma, Sertlik, Dökme Demir, Tokluk.

ABSTRACT

In this study, the effect of copper (Cu) and manganese (Mn) addition, singly as well as in combination, on the microstructure, mechanical and wear properties of EN-GJS-500-7 quality ductile cast iron with a diameter of 15 mm was investigated. While microstructures of unalloyed and alloyed (Cu and Mn) ductile cast irons are composed of ferrite-pearlite phases, microstructure of ductile cast iron containing both alloying elements almost includes the pearlite phase. According to the unalloyed ductile cast iron, if Cu and Mn are present together, the bulk hardness, yield and tensile strength of ductile cast iron increase significantly while the impact toughness is greatly reduced. Wear rates of the ductile cast irons decreased with increasing bulk hardness.

Keywords: Wear, Hardness, Ductile cast Iron, Toughness.

1. GİRİŞ

Küresel grafitli dökme demirler (KGDD), çeliğin mekanik özelliklerine ve dökme demirin üretim özelliklerine sahip bir dökme demir grubudur. KGDD'ler yüksek mukavemet ve tokluk ile mükemmel dökülebilirliklerinin yanı sıra düşük üretim maliyeti ve işlenebilirlikleri nedeniyle kullanım alanları her geçen gün daha da artmıştır. Günümüzde KGDD'ler özellikle otomotiv endüstrisinde krank milleri, vites dişlileri, egsoz sistemleri ve motor bağlantı çubukları gibi birçok mühendislik uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır [1-3].

Teknolojik gelişmelere paralel olarak alaşımlama ve/veya ısıl işlem ile KGDD'lerin mekanik özelliklerini geliştirmenin yolları araştırılmaktadır. Ancak, yapılan çalışmalarda grafitte küreselden başka bir morfoloji kazandırmanın imkânsız olduğunun anlaşılması üzerine bakır, nikel, mangan ve molibden gibi alaşım elementlerinin eklenmesi ile KGDD'lerin mikroyapısı değiştirebilir ve sertleşebilirliği artırabilir. KGDD'ye bakır ilavesi perlitik yapı oluşumunu teşvik etmektedir [4]. Perlitik yapıyı stabilize etmek ve mukavemeti artırmak için mangan gibi daha ucuz bir alaşım elementi de eklenebilir; ancak kalın kesitli döküm parçalarında segregasyonlar oluşturabilir [5]. Ayrıca KGDD'de karbür oluşumunu önlemek için mangan oranının kontrol altında tutulması gerekir. Mangan'ın karbür oluşturucu etkisinden dolayı % Si ve kesit aralığına bağlı olarak mangan miktarı bir maksimum değerde sınırlanır. Kesit kalınlığı 25 mm veya daha fazla olan ince dökümlerde, mangan'ın karbür oluşturucu etkisi, silisyum miktarının artışı ile karşılanmaktadır. 12 mm kesit kalınlığındaki bir döküm parçası için silisyum oranının % 2,5 dan % 3,0'e artışı, mangan oranının % 0,25 den, % 0,35'e artmasına imkân vermektedir [6]. Kimyasal bileşim KGDD'lerin yapısında önemli rol oynamaktadır ve başlangıçtaki kimyasal bileşim istenen özelliklere uygun olarak seçilmeli ve karbür içermeyen bir döküm yapısı elde edilmelidir. Bu nedenle bu çalışmada, 15 mm çapındaki EN-GJS-500-7 kalite KGDD'lere bakır (Cu), mangan (Mn) ve her iki alaşım elementi (Cu ve Mn) katkısıyla KGDD'lerin mikroyapı, mekanik ve kuru ortam aşınma özellikleri araştırılmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Ergitme işlemi 6000 kg kapasiteli ABB marka indüksiyon ocağında yapılmıştır. Bu çalışmada EN-GJS-500-7 kalite küresel grafitli dökme demirlerin kimyasal bileşimleri Çizelge 1'de verilmiştir. KGDD'lerin metalografik incelemesi kapsamında, reçineye alınan numuneler, standart yöntemlerle zımparalanıp parlatıldıktan sonra % 2'lik nital çözeltisi ile dağlanarak Nikon marka Eclipse LV150 model optik mikroskop (OM) ve enerji saçılımı X-ışını spektroskopisi (EDX) donanımlı Zeiss Supra taramalı elektron mikroskop (SEM) ile incelenmiştir.

Malzeme Kodu	Kimyasal Bileşim (% Ağı.)						
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu
1	3,7	2,1	0,2	0,019	0,005	0,057	0,5
2	3,7	2,3	0,2	0,018	0,004	0,061	0,8
3	3,7	2,2	0,8	0,019	0,003	0,054	0,5
4	3,7	2,2	0,8	0,019	0,003	0,055	0,8

Çizelge 1 : İncelenen EN-GJS-500-7 KGDD'lerin kimyasal bileşimleri.

Mekanik özellik karakterizasyonu sertlik, çekme ve darbe deneyleriyle yapılmıştır. İncelenen KGDD'lerin kütle-sel sertliği, mikroyapı çalışmalarında kullanılan numuneler üzerinde Shimadzu HVM mikrosertlik cihaz ile 1 kg yük altında Vickers sertlik değeri cinsinden ölçülmüştür. Sertlik izi, matrisi ve grafiti kapsadığından elde edilen mikrosertlik değeri, dökme demirin kütle-sel sertliğini karakterize etmektedir. Ayrıca incelenen KGDD'lerin matris bileşenlerinden ferrit ve perlit fazlarının sertlikleri 25 gr yük altında ölçülmüştür. Sertlik değerleri, en az 5 ölçümün ortalaması alınarak tespit edilmiştir. Çentiksiz charpy darbe deneyi Mohr & Federhaff A.G. marka darbe testi cihazı yardımıyla ASTM A327 standardına uygun olarak oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Darbe deneyi için 10x10x55 mm boyutlarında hazırlanan standart numunelerin kırılması için gerekli enerji, Joule cinsinden en az üç numuneden alınan verilerin ortalaması ile belirlenmiştir. DIN 50125 standardına göre ha-

zırlanmış çekme test numuneleri 100 KN kapasiteli Zwick Z100 marka test cihazında 5 mm/dk çekme hızında gerçekleştirilmiştir.

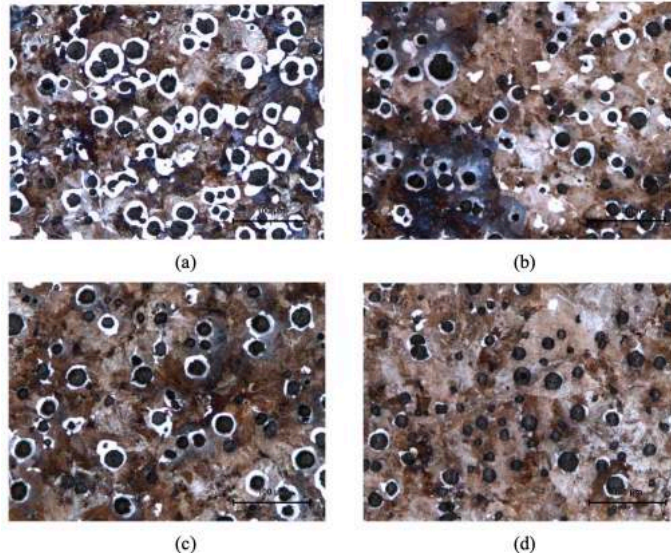
Küresel grafitli dökme demirlerin aşınma davranışları, 20 N'luk normal yük altında oda şartlarında doğrusal zıt yönlü düzlem-bilye aşınma (reciprocating ball-on-flat) yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Karşı malzeme olarak 5 mm çaplı alümina (Al₂O₃) bilye kullanılmıştır. Sürtünme kuvveti bilgisayar tarafından aşınma cihazındaki yük hücresi (loadcell) ile sürekli olarak kaydedilmiştir. Aşınma deneyi sonrasında aşınma izlerinin profili Mitutoyo Surtest SJ-400 profilometre cihazı ile ölçülmüştür. Her bir numune için 2 adet aşınma izi topografik profilleri çıkarılmıştır. Aşınma deneylerine ait diğer şartlar Çizelge 2'de verilmiştir. Aşınma deneylerinin ardından KGDD'lerin aşınmış yüzeyleri OM ve SEM ile incelenmiştir.

Normal Yük (N)	20
Aşınma izi uzunluğu (mm)	10
Kayma hızı (cm s ⁻¹)	1,9
Aşındırma süresi (s)	2880
Aşındırma mesafesi (m)	50
Nem (%)	44±1
Sıcaklık (°C)	25±1

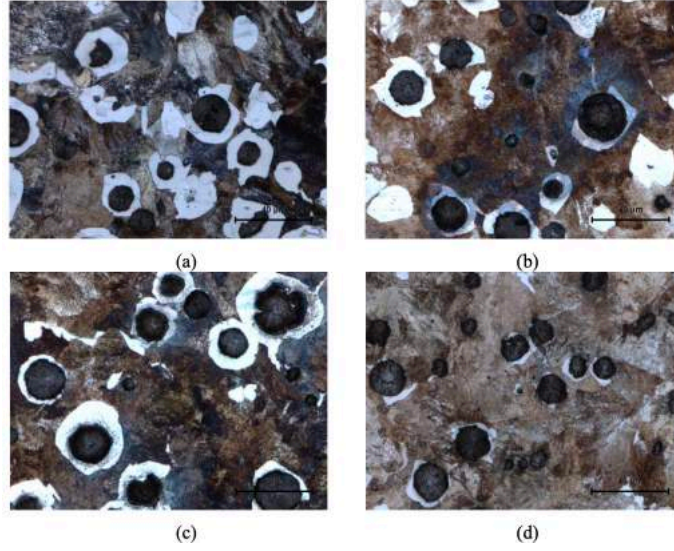
Çizelge 2 : Aşınma deney şartları.

3. DENEYSEL SONUÇLAR VE İRDELEME

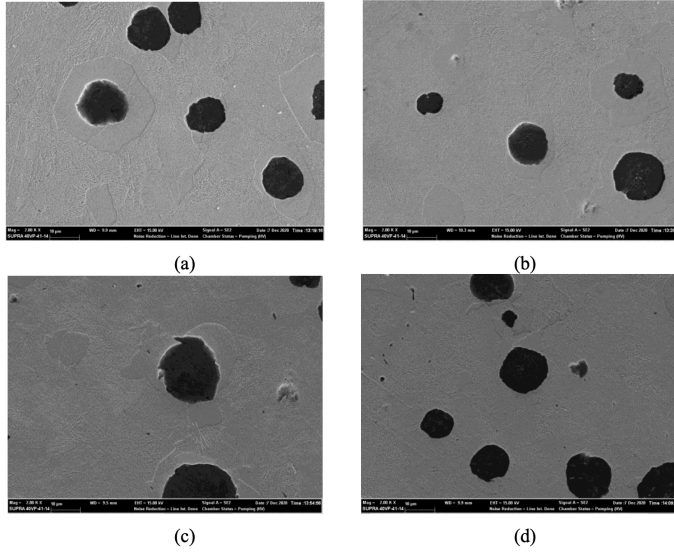
İncelenen EN-GJS-500-7 kalite KGDD'lerin düşük ve yüksek büyütme OM görüntüleri sırasıyla Şekil 1 ve Şekil 2'de verilmektedir. Şekil 1'den görüleceği üzere 1, 2, 3 ve 4 numaralı KGDD'in yapısı ferrit, perlit ve küresel grafitten oluşmaktadır. Cu ve Mn katkılı 4 numaralı KGDD'in yapısında çok az miktarda ferrit fazı içermekte iken, 1, 2 ve 3 numaralı KGDD'lerde grafitler ferrit fazı tarafından çevrilmiş olup, ferrit halkaları arasındaki kısımda perlit fazı yer almaktadır ve bu mikroyapı tipik "boğa gözü" olarak adlandırılmaktadır. Cu ve Mn katkısı mikroyapıyı neredeyse tamamen perlitik yapıya dönüştürmüştür. Yapılan SEM incelemeleri sonucunda bu durum daha belirgin olarak görülmektedir (Şekil 3).



Şekil 1: (a) 1 numaralı, (b) 2 numaralı, (c) 3 numaralı, (d) 4 numaralı KGDD'lerin düşük büyütme OM (X200) görüntüleri.



Şekil 2: (a) 1 numaralı, (b) 2 numaralı, (c) 3 numaralı, (d) 4 numaralı KGDD'lerin yüksek büyütme OM (X500) görüntüleri.

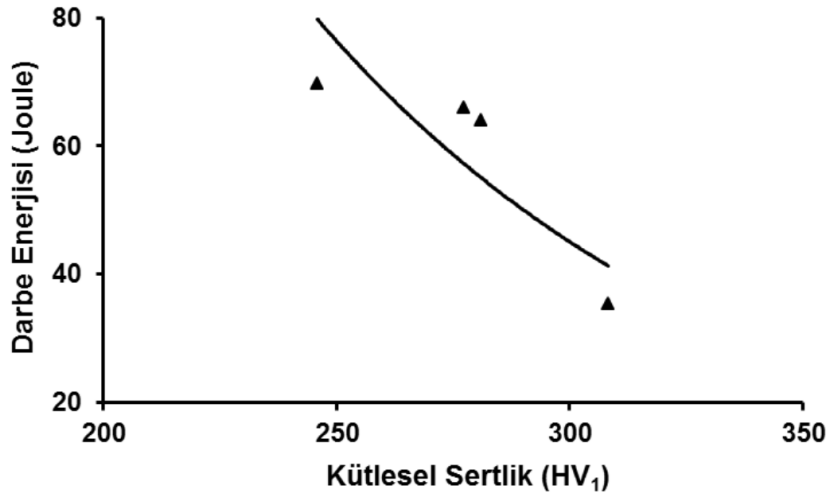


Şekil 3: (a) 1 numaralı, (b) 2 numaralı, (c) 3 numaralı, (d) 4 numaralı KGDD'lerin SEM görüntüleri (X2000).

Çizelge 3'de görüldüğü gibi katkısız 1 numaralı KGDD'ye nazaran sırasıyla Cu ve Mn içerikli 2 ve 3 numaralı KGDD'lerin mikroyapısında sert ve mukavemetli bir karakterde olan perlit fazının artması ile malzemenin kütlelesel ve perlit fazının sertliğinde, akma ve çekme mukavemetinde artış sağlarken darbe tokluğunda ise azalma meydana getirmiştir (Şekil 4). Ancak her iki alaşım elementinin beraber bulunması ile yapının neredeyse tamamen perlitik olması (Şekil 1-Şekil 3), malzemenin kütlelesel sertliğini, perlit fazının sertliğini, akma ve çekme mukavemetini önemli oranda artırırken darbe tokluğunu ise büyük ölçüde azaltmıştır (Çizelge 3 ve Şekil 4).

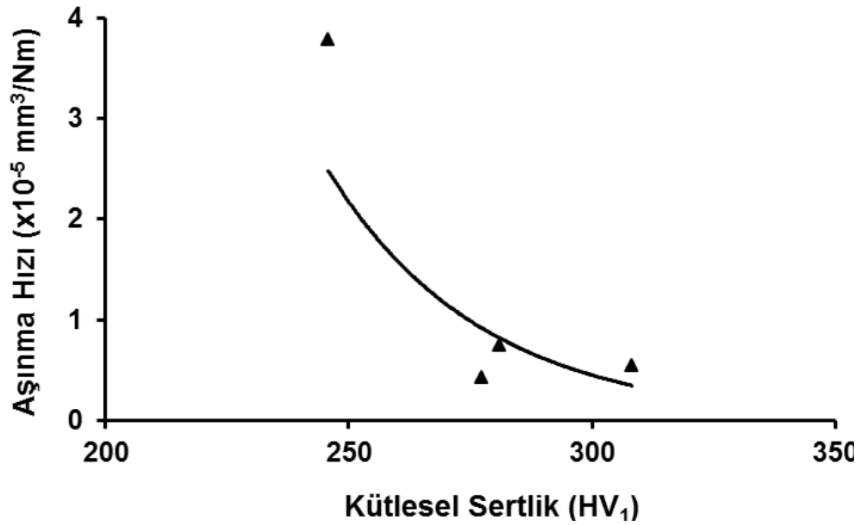
Malzeme Kodu	Çekme Sonuçları		Darbe Enerjisi (Joule)	Kütlesel Sertlik (HV ₁)	Mikrosertlik (HV _{0.025})	
	Akma Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)			Ferrit	Perlit
1	472±7,5	737±14,8	69,6±10,9	245±5,7	121±8,0	321±7,0
2	552±15,9	805±13,2	64±19,9	281±10,5	170±8,0	345±28
3	530±2,8	815±22,5	66±25,9	283±8,3	-	356±41
4	602±8	875±16,5	35,3±24	308±10,4	-	378±38

Çizelge 3 : İncelenen KGDD'lerin akma ve çekme mukavemetleri, darbe enerjisi, kütlesel sertlikleri ve mikro-yapı bileşenlerine ait mikrosertlik sonuçları.yüksek büyütme OM (X500) görüntüleri.



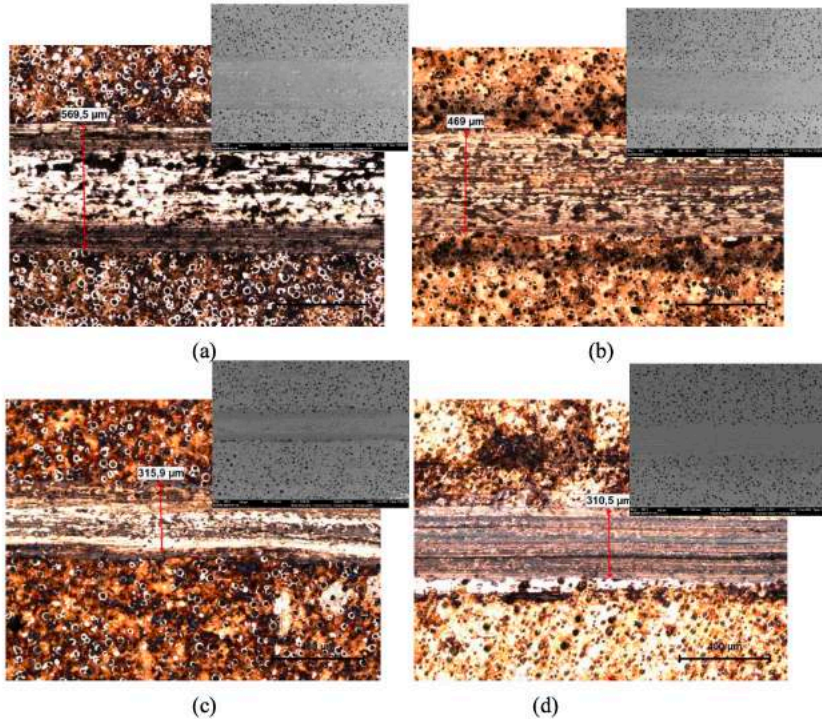
Şekil 4 : İncelen KGDD'lerin kütlesel sertliğine bağlı olarak darbe enerjisinin değişimi.

İncelenen KGDD'lerin aşınma hızlarının sertliğe bağlı olarak değişimi Şekil 5'de verilmiştir. KGDD'lerin aşınma hızları, sertliğin artışıyla birlikte düşmektedir. Bu sonuç, aşınmada malzemenin sertliğinin en etkili parametre olduğunu vurgulayan literatür çalışmaları [1, 7] ile uyumludur.

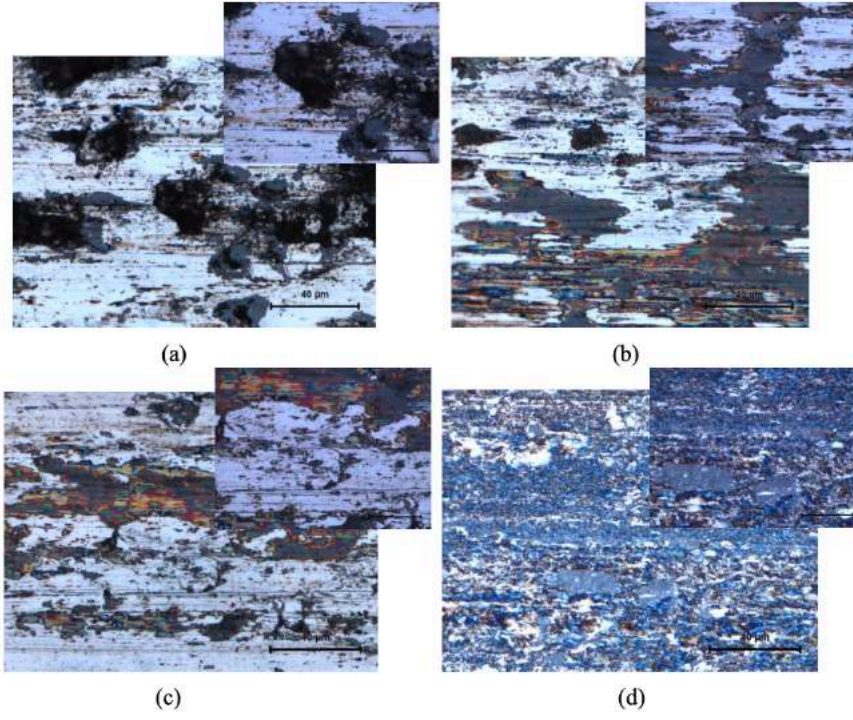


Şekil 5 : İncelenen KGDD'lerin aşınma hızının ölçülen kütlesel sertliğe bağlı olarak değişimi.

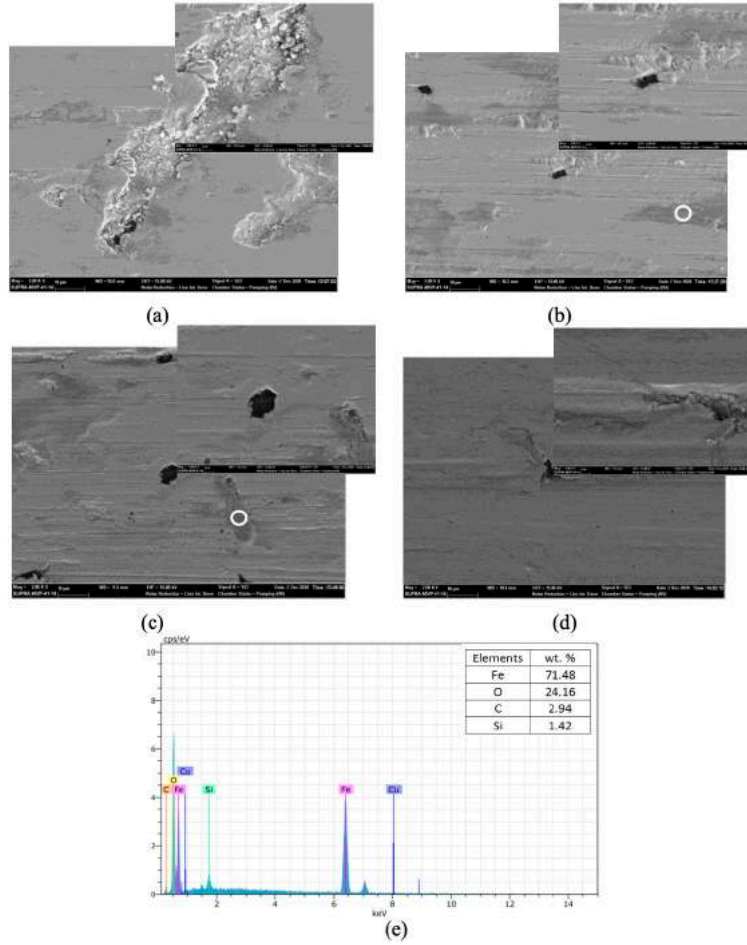
Aşınma deneyleri sonrası incelenen KGDD'lerin aşınma yüzey görüntüleri Şekil 6 ve Şekil 7'de verilmiştir. Aynı mikroskobik büyütmelerdeki aşınma yüzeyleri kıyaslandığında daha düşük sertlik ve daha yüksek aşınma hızına sahip katkısız 1 numaralı KGDD, diğer KGDD'lere nazaran daha geniş aşınma izi sergilemiştir. Ayrıca aşınma yüzeyinde yapılan detaylı incelemelerde katkısız 1 numaralı KGDD'nin aşınma yüzeyinde şiddetli aşınma yüzünden (Şekil 7 a ve Şekil 8 a) grafit nodüllerinin ayrıldığı görülmektedir ve 40 m kayma mesafesinden sonra sürtünme katsayısı hızlı bir şekilde artma eğilimindedir (Şekil 9). Ancak katkısız 1 numaralı KGDD'ye nazaran Cu katkılı 2 numaralı KGDD'nin aşınma yüzeyinde hasarlı bölgenin azalması (Şekil 7 b ve Şekil 8 b) ve kayma mesafesine bağlı olarak sürtünme katsayısının tedricen artması (Şekil 9) grafit nodüllerinin bir kısmının matriste kaldığını göstermektedir. Şekil 7'de görüldüğü gibi Cu katkılı 2 numaralı KGDD, Mn katkılı 3 numaralı KGDD ile her iki alaşım elementi içeren 4 numaralı KGDD'nin aşınma yüzeyleri gri ve kahverengi bir filmle kaplı olup aşınma yüzeylerinde demir oksit oluşmasından (Şekil 8 e) dolayı oksidatif aşınma görünümü hakimdir. Perlitik yapının, ferritik olanlardan daha büyük bir oksit tabakası oluşturma eğilimine sahip olduğunu belirtmek gerekir [8]. Özellikle Mn katkılı 3 numaralı KGDD ile her iki alaşım elementi içeren 4 numaralı KGDD'nin aşınma yüzeyinde oksitlenme ile sürtünme katsayısı değerleri düşük salınımla yakın değerdedir (Şekil 9).



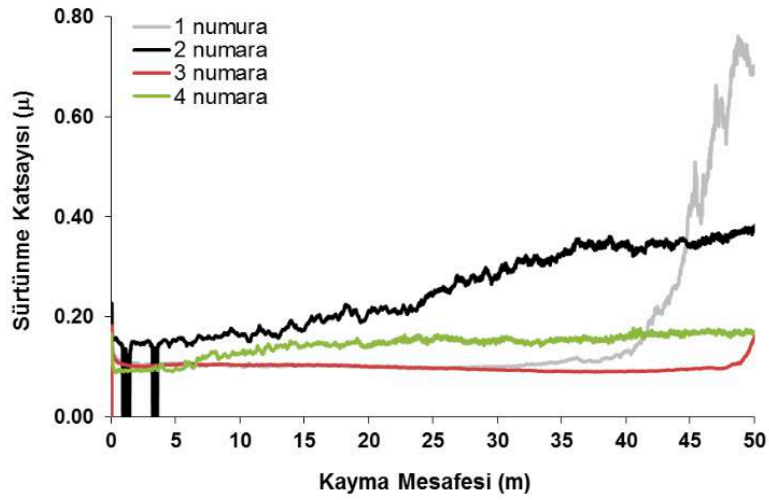
Şekil 6 : Aşınma deneyine tabi tutulan (a) 1 numaralı, (b) 2 numaralı, (c) 3 numaralı, (d) 4 numaralı KGDD'lerin düşük büyütme OM ve SEM aşınma yüzey görüntüleri.



Şekil 7 : Aşınma deneyine tabi tutulan (a) 1 numaralı, (b) 2 numaralı, (c) 3 numaralı, (d) 4 numaralı KGDD'lerin yüksek büyütme OM aşınma yüzey görüntüleri.



Şekil 8 : Aşınma deneyine tabi tutulan (a) 1 numaralı, (b) 2 numaralı, (c) 3 numaralı, (d) 4 numaralı KGDD'lerin aşınma izlerine ait detaylı SEM görüntüleri ve (e) halka içerisinde gösterilen gri şekilli bölgeler üzerinde gerçekleştirilen EDX analiz sonuçları.



Şekil 9 : İncelenen KGDD'lerin kayma mesafesine bağlı olarak sürtünme katsayısı grafikleri.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, KGDD'lerin mikroyapı, mekanik ve kuru ortam aşınma özellikleri incelenmiş ve aşağıdaki genel sonuçlar elde edilmiştir.

- 1- Cu ve Mn katkılı KGDD'lerde mikroyapılar ferrit-perlit fazlarından oluşurken, her iki alaşım elementinin birlikte bulunması durumunda mikroyapı hemen hemen perlit fazını içermektedir.
- 2- Katkisız KGDD'e göre Cu ve Mn'nin birlikte bulunması durumunda KGDD'nin kütsel sertliği, akma ve çekme mukavemeti önemli oranda artarken darbe tokluğu da büyük ölçüde azalmıştır.
- 3- İncelenen KGDD'lerin aşınma hızları ise artan kütsel sertlik ile azalmaktadır.

KAYNAKLAR

1. ASM Specialty Handbook, Cast Irons, ASM International, 1996.
2. M. Mourad, S. El-Hadad, M. Ibrahim, "Influence of Inoculant Type on the Microstructure Characteristics and Mechanical Properties of Ductile Iron", Transactions of the Indian Institute of Metals, Vol. 73, 2020, P. 1027.
3. X. Chen, J. Xu, H. Hu, H. Mohrbacher, M. Kang, W. Zhang, A. Guo, Q. Zhai, Effects of Niobium Addition on Microstructure and Tensile Behavior of As Cast Ductile Iron", Materials Science & Engineering A, Vol. 688, 2017, P. 416.
4. C-H. Hsu, K-T. Lin, "A Study on Microstructure and Toughness of Copper Alloyed and Aus-tempered Ductile Irons" Materials Science and Engineering A, Vol. 528, 2011, P.5706.
5. R. K. Dasgupta, D. K. Mondal, A. K. Chakrabarti, A. C. Ganguli, "Microstructure and Mechanical Properties of As-Cast Ductile Irons Alloyed with Manganese and Copper", Journal of Materials Engineering and Performance, Vol. 21(8), 2012, P. 1728.
6. B. Kılınc, GGG 50 Sınıfı Dökme Demire Bakır İlavesinin Mekanik Özelliklere Etkisi", Y. Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, 2009.
7. I.M. Hutchings, Tribology: Friction and Wear of Engineering Materials, CRC Press, London, 1992.
8. H.R. Abedi, A. Fareghi, H. Saghafian, S.H. Kheirandish, "Sliding Wear Behavior of a Ferritic-Pearlitic Ductile Cast Iron with Different Nodule Count", Wear, Vol. 268, 2010, P. 622.

AL7Si0.3Mg (A356) ALÜMİNYUM ALAŞIMININ BİLFİLM İNDEKSİ KULLANILARAK ÖZELLİKLERİ İLE SIVI METAL KALİTESİ ARASINDAKİ İLİŞKİSİNİN TESPİTİ MEKANİK

Çağlar YÜKSEL^{1,3}, Ferhat SAYDAM¹, Derya DIŞPINAR², Mustafa ÇİĞDEM³, Uğur AYBARÇ⁴

¹ Atatürk Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye ² İ.T.Ü. Kimya-Metalürji Fakültesi, İstanbul, Türkiye

³ Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalürji Fakültesi, İstanbul, Türkiye

⁴ CMS Jant ve Makine A.Ş., İzmir, Türkiye

ÖZET

Mekanik isterlerin en önemlilerinden birisi olan çekme testi sonuçlarından çekme dayancı ile kopma uzaması değerleri alaşımların sıvı metal kalitesi konusunda bizlere bilgi vermektedir. Bu özellikler de metal içerisindeki bifilm gibi katışıklardan (inklüzyon) doğrudan etkilenmektedir. Bu katışıkları zararlı etkilerini bertaraf etmek için sıklıkla kimyevi madde olan eritken (flaks) kullanılır. Bu çalışmada da Na_3AlF_6 (ticari kriyolit), Na_2SiF_6 (NaCl), NaF/AlF_3 (kriyolit oranı) = 1.85, 2.8, ve 3, NaF, ile Na_2SiF_6 (MgCl_2) ilaveleri yapılan alaşımların sıvı metal kalitelerinin bifilm indeksi açısından öncesi ve sonrası olarak değişimi gözlemlenmiş olup, bu değişimin mekanik özellikler üzerine etkisi ve ilişkisi araştırılmıştır.

Anahtar kelimeler: metal kalitesi, bifilm indeksi, alüminyum alaşımları, mekanik özellikler

ABSTRACT

Ultimate tensile strength (UTS) and elongation at fracture obtained from the tensile test, one of the most vital mechanical specifications, give information on the quality of the liquid metal of the alloys to the foundrymen. Such as bifilms, inclusions have direct effects upon these alloy properties. To eliminate or minimize the deleterious effect of these inclusions, fluxes are commonly added to the liquid metal. In this study, alloys were investigated concerning difference on bifilm index, including additives of Na_3AlF_6 (commercial cryolite), Na_2SiF_6 (NaCl), NaF/AlF_3 (cryolite ratio) = 1.85, 2.8, and 3, NaF, and Na_2SiF_6 (MgCl_2+KCl) fluxes, and these correlations between mechanical properties and bifilm index were analyzed.

Keywords: melt quality; bifilm index; aluminum alloys, mechanical properties

1. GİRİŞ

Mekanik isterlerin en önemlilerinden birisi olan çekme testi sonuçlarından akma ve çekme dayancı ile kopma uzaması değerleri sıvı metalin kalitesi hakkında bilgi vermektedir. Ancak böylesi bir tespitin yapılması için mutlaka sıvı metalin kalitesinin sayısallaştırılması gerekmektedir. Dışınar ve Campbell [1, 2] bu eksikliği gidermek için Bifilm İndeksi kavramını ileri sürmüşlerdir. Bu indeksin belirlenmesinde metalin doğası gereği sıvı faza geçtiğinde oluşturduğu oksitlerin sayısallaşması esas alınmıştır [3]. Alüminyum ve alaşımları gibi kolayca oksitlenebilen metallerin içerdiği en büyük sorun aslında kendi oksidir [4, 5]. Bu oksidin eritme sırasındaki ve döküm esnasında oluşumu gibi iki önemli kısmı vardır ve bu iki önemli noktaya dikkat edilmeden gerçekleştirilen tüm dökümlerde büyük kuşku ve neticesinde isterlerinde de talepleri karşılayamama durumları söz konusudur [6, 7].

Bu noktada Bifilm İndeksi toplam oksit uzunluğunu ölçümünü gerçekleştirerek sıvı içerisindeki oksitlerin büyüklüğü hakkında bilgi vermektedir [8, 9]. Bu ölçümü yaparken vakum altında katılaştırma (VAKT=RPT) testi kullanılmaktadır. Bununla birlikte günümüzde Bifilm İndeksi literatürde ve sanayide kullanımı kabul görmüş bir sıvı metal kalitesi ölçütü olarak da kabul görmüştür. Bifilm İndeksinin doğru şekilde muamele edilerek düşürülmediği takdirde şartnamelerdeki isterlerin karşılanamayacağını daha önceki çalışmalardan da tespit edilmiştir. Bu sebeple araştırmacılar tarafından gaz giderme, eritken (flaks), vb. birçok yöntem denenmiş olup bu sıvı metalin kalitesinin artırılması arzulanmıştır [9-13]. Bu çalışmada da farklı eritkenler kullanılarak Bifilm İndeksinden faydalanılarak sıvı metal kalitesinin eritken kullanımı öncesi ve sonrasındaki metal kalitesi tayin edilmiş olup bu değerleri mekanik özellikler ile kıyas yapılarak aralarında ilişki kurulmaya çalışılmıştır.

2. MALZEME VE YÖNTEM

Çalışmanın hammaddeleri CMS Makine Jant A.Ş. tarafından sağlanmıştır. Ergitmede Al7Si0,3Mg (A356) alaşımının ağırlıkça %50 talaş ve %50 külçeye göre ayarlanmış olup, kullanılan birincil alüminyum ve ikincil alüminyumun kimyasal bileşimleri sırasıyla Çizelge 1 ve 2'de verilmektedir.

Si	Mg	Fe	Ti	B	Ni	Sr	Al
7,31	0,32	0,07	0,11	0,00	0,01	0,02	92,16

Çizelge 1 : Al7Si0,3Mg alaşımının külçe bileşimi

Si	Mg	Fe	Ti	B	Ni	Sr	Al
7,28	0,227	0,07	0,11	0,003	0,004	0,013	92,29

Çizelge 2 : Al7Si0,3Mg alaşımının talaş bileşimi

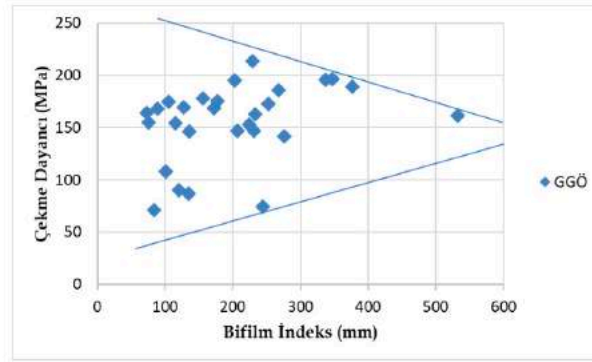
Buna ek olarak sıvı metal kalitesinin artırılmasında da döner (rotari) gaz giderme sistemi vasıtasıyla Çizelge 3'de verilen farklı eritkenler kullanılmıştır. Bu eritkenlerin verimliliği de Bifilm İndeksi vasıtasıyla tespit edilmiş olup, öncesi ve sonrası olarak nitelendirilerek ΔBI kavramı türetilmiştir.

Eritken	Ağ.%
Na ₃ AlF ₆ (Ticari kriyolit)	10, 20, 30, 40
Na ₂ SiF ₆ (NaCl+KCl)	10, 15, 20, 25, 30, 35, 40
NaF/AlF ₃ (CM) = 1.85	10, 15, 20, 25, 30, 35, 40
NaF	10, 20, 30, 40
NaF/AlF ₃ (CM) = 2.8	10, 20, 30, 40
NaF/AlF ₃ (CM) = 3	10, 20, 30, 40
Na ₂ SiF ₆ (Mg Cl ₂ +KCl)	10, 20, 30, 40

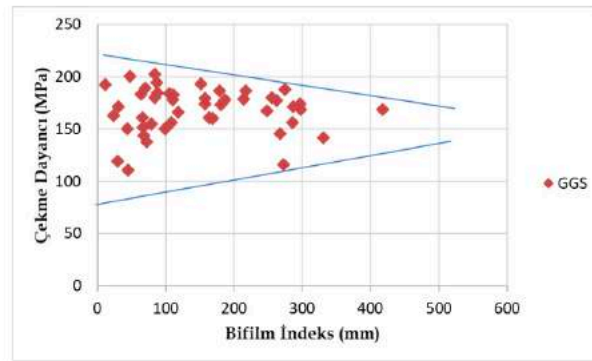
Çizelge 3: Kullanılan farklı eritkenler ve oluşum oranları

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Eritkenlerin verimliliği ve etkisini araştırmak için çekme testi uygulanmıştır. Çekme testi sonuçları eritken eklenmeden ve eklendikten sonra incelenmiştir ve eritkenler gaz giderme işlemi ile sıvı metale ilave edilmiştir. Şekil 1'de gaz giderme öncesi (GGÖ) ve gaz giderme sonrası (GGS) çekme testi sonuçlarının çekme dayanıcı verileri sunulmuştur. Şekil 1. a'dan görüldüğü üzere gaz giderme eritken eklenmeden ve gaz giderme işlemi yapılmadan evvel en düşük 60-70 MPa civarında olacak şekilde çekme testi sonuçları oldukça geniş bir aralıkta saçılım gösterirken, gaz giderme işlemi ve eritken kullanımının doğru şekilde proses edilmesinden en düşük 110 MPa civarında olacak şekilde sonra saçılım azalmıştır ve hemen hemen 150-200 MPa aralığında olacak şekilde dağılım sergilemişlerdir. Eritken ve gaz giderme kullanımının verimlilik açısından faydalı olduğu bu grafiklerden açıkça gözlemlenebilmektedir. Buna ek olarak Bifilm İndeksi de 600 mm civarından 400 civarına düşüş göstermiştir. Ayrıca Şekil 1. b'den görüldüğü üzere istikrarlı bölge 100 mm civarında Bİ sahip alaşımlarda ortaya çıkmıştır. Buradan net bir şekilde düşen Bİ ile çekme arasında ilişki görülmektedir.



a)



b)

Şekil 1: a) Gaz giderme öncesi (GGÖ) ve b) gaz giderme sonrası (GGS) çekme dayanıcı sonuçları.

Şekil 2'de ise Bifilm İndeksi farkı (ΔB_i) ile çekme dayancı ve kopma uzaması değerleri arasındaki ilişkiyi farklı eritken türlerine bağlı olarak nasıl değiştiği resmedilmektedir. Grafiklerden de anlaşıldığı üzere en etkili oksit filmi ya da nam-ı diğer bifilm giderici eritkenler Na_2SiF_6 , NaF ve kriyolit modülü (NaF/AlF_3) 3 olanlardır. Na_2SiF_6 tuzu hem NaCl hem de MgCl₂ tuzlarının esas olarak alındığı karışımlarda ilave oksit parçalayıcı olarak görev almıştır.

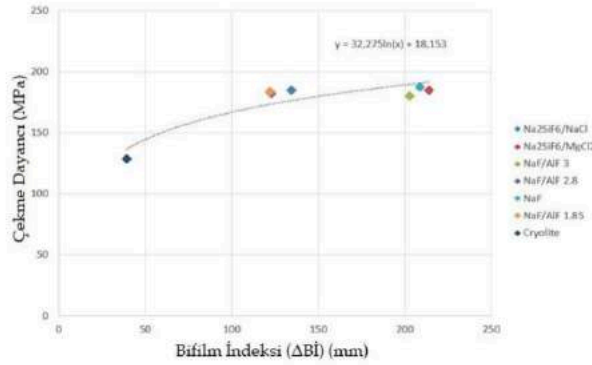
NaCl'deki etkinliğinin MgCl₂'ye göre düşük olmasının sebebi NaCl-KCl ikilisinin MgCl₂-KCl ikilisine göre yaklaşık 150 °C'lik bir ergime sıcaklığı farkıdır. İlave edilen eritkenin ergime sıcaklığı ne denli düşürülür ise o denli etkinliği ve verimi artar [6]. Şekil 2a'da ΔB_i ile σ çekme arasında Eşitlik (1) ile verilen ilişki ortaya konmuştur; $\sigma_{\text{çekme}} = 32,275 \ln(\Delta B_i) + 18,153$ (1)

Bu eşitlik ile örneğin 100 mm'lik bir Bİ artışı sağlamanız durumunda yaklaşık 170 MPa'lık bir çekme dayancı elde edebileceğiniz öngörülmektedir. Yalnız burada dikkat edilecek husus bu alaşımın %50'si talaş yani oldukça yüksek miktar yanma kaybı ve bu yanma kayıplarının da doğrudan sıvı metali kirletici oksit filmleri olduğu unutulmamalıdır. Böylesi bir durum için nihai Bİ değerinizin de önemi çok yüksektir. Doğru proses edilmiş bir alaşımda 50 mm altındaki bir Bİ değerinin sıvı metal temizliği açısından uygun olduğu önerilmektedir. Bu sebeple ΔB_i neticesinde elde edilmiş nihai Bİ değerinizin de 50 mm'nin altında olması gerekliliği asla gözden kaçmamalıdır. Bu durumların tamamı gerçekleştiğinde çekme dayancınızın bu değerler civarında seyretmesi mümkündür [3, 6].

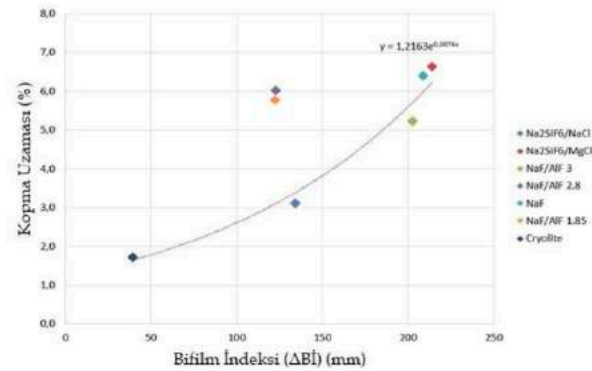
Bunlara ek olarak Şekil 2b'de de ΔB_i ile %e arasındaki ilişkinin farklı eritken türlerine göre nasıl değiştiği verilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı gibi bu mekanik özelliğin de üzerindeki en etkili eritken türleri çekme dayancı üzerindeki gibi Na_2SiF_6 , NaF ve kriyolit modülü (NaF/AlF_3) 3'dür. Şekil 2b'deki veriler analiz edildiğinde ΔB_i ile %e arasında Eşitlik (1)'e benzer bir ilişki ortaya koymuştur;

$$\%e = 1.2163e0,0076\Delta B_i \quad (2)$$

Bu eşitlik için de yaklaşık 100 mm'lik bir Bİ iyileştirilmesi neticesinde yaklaşık %3,5'luk bir kopma uzaması değerine tekabül etmektedir. Ancak yine unutulmamalıdır ki nihai Bİ değerleriniz mutlaka 50 mm'nin altında olmak zorundadır. Ayrıca kriyolit modülleri 1.85 ve 2.8 olan eritken türlerinde neredeyse benzer bifilm giderme oranları göze çarpmaktadır. Bu sonuçlar çekme dayancı verileriyle de örtüşmekte olup, benzer eğilim bu mekanik özellik için de mevcuttur.



a)



b)

Şekil 2 : Farklı eritken kullanımına bağlı olarak Bifilm İndeksi farkı (ΔB_i) ile a) çekme dayancı ve b) kopma uzaması değişimi.

4. SONUÇLAR

- En etkili oksit temizleyici eritkenler Na_2SiF_6 , NaF ve $\text{NaF}/\text{AlF}_3=3$ olanlardır.
- ΔBI ile σ çekme arasında σ çekme = $32,275 \ln(\Delta\text{BI}) + 18,153$ ilişki vardır.
- ΔBI ile %e arasında %e = $1.2163e0,0076\Delta\text{BI}$ ilişkisi vardır.

5. TEŞEKKÜRLER

Bu çalışma T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı (SAN-TEZ 0802.STZ.2014), TÜBİTAK (114M100) ve YTÜ BAPK (2014-07-02-DOP03) projeleri ile CMS Jant ve Makina Sanayi A.Ş. tarafından desteklenmiş olup, Dr. Öğr. Üyesi Çağlar Yüksel'in doktora çalışmasından türetilmiştir.

6. KAYNAKLAR

- [1] Dispınar, D., & Campbell, J. (2006). Use of bifilm index as an assessment of liquid metal quality. *International Journal of Cast Metals Research*, 19(1), 5-17.
- [2] Dispınar, D., & Campbell, J. (2011). Porosity, hydrogen and bifilm content in Al alloy castings. *Materials Science and Engineering: A*, 528(10-11), 3860-3865.
- [3] Dispınar, D. (2006). Determination of metal quality of aluminium and its alloys (Doctoral dissertation, University of Birmingham).
- [4] Campbell, J. (2006). An overview of the effects of bifilms on the structure and properties of cast alloys. *Metallurgical and Materials Transactions B*, 37(6), 857-863.
- [5] Campbell, J. (2006). Entrainment defects. *Materials science and technology*, 22(2), 127-145.
- [6] Yüksel, Ç. Alüminyum Alaşımlarının Sıvı Metal Kalitesinin Arttırılması (Doctoral dissertation, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, 2016, İstanbul, TÜRKİYE).
- [7] Yuksel, C., Tamer, O., Erzi, E., Aybarc, U., Cubuklusu, E., Topcuoglu, O., Çiğdem, M. & Dispınar, D. (2016). Quality evaluation of remelted A356 scraps. *Archives of Foundry Engineering*, 16.
- [8] Yüksel, Ç., Erzi, E., Tamer, Ö., Dışpınar, D., & Çiğdem, M. (2015). Yeniden Ergitilmiş A356 Alüminyum Alaşımı Hurdasının Çekme Dayancı Üzerine Olan Etkileri. *Alüminyum Sempozyumu. ALUS*, 7, 359-364.

INDUSTRY 4.0 FOR ALUMINUM FOUNDRY: AN OPTIMAL MANAGEMENT OF THE PROCESS TO ENHANCE COMPETITIVENESS OF THE COMPANY

A. Baquedano*, S. Orden*, E. Barbarias*, I. Lizarralde*, R. Suárez* **,
U. Gauermann***

**Azterlan, Basque Research and Technology Alliance (BRTA), Durango, Spain*

***Veigalan ESTUDIO 2010, Durango, Spain*

**** Electronics GmbH, Neuhausen / F, Germany*

ABSTRACT

4.0 industry technologies are called to revolutionize the foundry industry. The target is clear: to improve the competitiveness, reducing the quality costs and optimizing the processes. This research work is focused on the industry 4.0 solutions in the HPDC technology. The first challenge is the definition and capture of the critical variables such as curve injection (speed and pressure of the first phase, commutation point, the speed of the second phase, the stroke of the second and third phases, building and delay time...), thermal management of the die (flows, temperatures,...), vacuum system (commutation points, vacuum pressures, flows,...), die lubrication process (flows, times,...),... . All process data provided must capture, digitalize, organize, trace and store in customized developments. The data also will get reliable, accurate and standardized. In the next step, the data is managed through artificial intelligent solutions identifying which input variables are critical within the process or which ones better adjust to the prediction target. It helps define the best working conditions to obtain optimized results. Finally, the data is monitoring, managing and real-time evaluated. A predictive control system run by artificial intelligence that monitors and controls the whole process. The Key Performance Indicators are displayed and evaluated in real-time so, when undesired deviations are detected, an alarm system identifies the problem to apply immediately the corresponding corrective actions. These technological innovations are oriented towards providing an added value to aluminium foundries to give the technological leap needed to become the "Foundry of the Future" with zero defect manufacturing.

Keywords: Industry 4.0, aluminum casting, process control, data analytics, enhance competitiveness.

1. INTRODUCTION

High Pressure Die Casting (HPDC) technology is used for high production rates and it is applied in several industrial fields. Nowadays, approximately half of the world production of light metal castings is obtained by this technology. (1)

Several operations are involved in the whole HPDC process, from the spraying and blowing out the die to the opening and closing of the die, even if the main steps are the filling of the shot chamber, the injection of the metal into the die, the solidification and the further extraction of the casting (Fig. 1) (2-7). Therefore, the HPDC is a complex process, not only due to the phase transformation the metal undergoes when solidifying in the die. (1, 2):

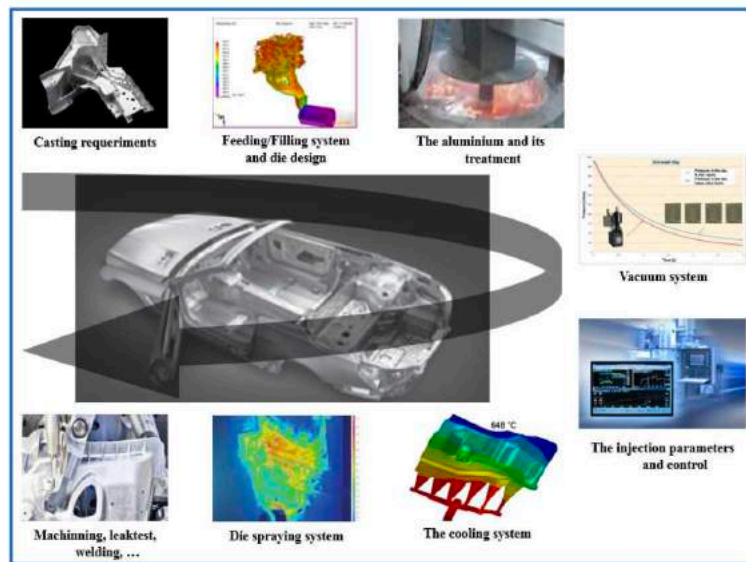


Figure 1 : Flow chart of the HPDC process.

Because of the complexity of the HPDC, the scrap rate is high, being not uncommon to have 3-10% of scraps (or even higher), with different kind of defects (8, 9). This high scrap rate is normally due to a unstable process (usually the combination of different parameters produces this high scrap ratio). The HPDC machine makers are working on improving the control over the entire die-casting system and the integration of the different peripheral variables in the process control management. (10). Industry 4.0 tools give a global solution to have a better process control which has a direct impact on scrap reduction.

The next graph shows the different steps of the HPDC companies are going to achieve a integrated and standardized data to feed the Industry 4.0 applications. From the standard HPDC machine until the fully monitored and everywhere to detect any deviation from the goal. The complex issue is also how to get reliable, accurate, homogeneous and standardized data to make the correlation of the HPDC variables and the output of the process (scrap, maintenance, costs, ...).

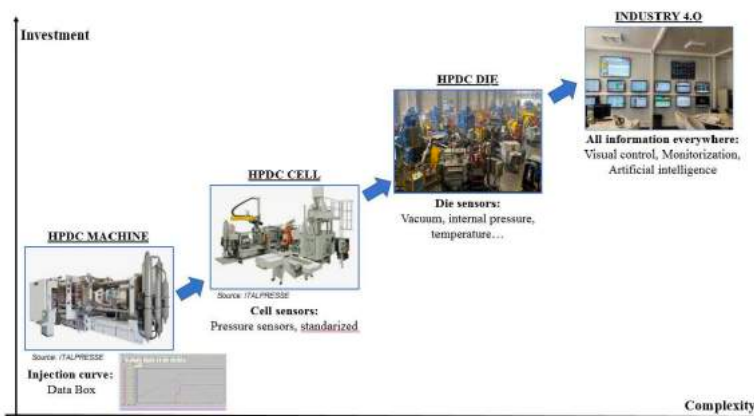


Figure 2 : The different steps to achieve a integrated and standardized data in a HPDC company.

In a standard HPDC machine the basic parameters are analyzed (V1, V2, Pressure, Stroke, ...) and compared to the control limits to ensure the quality of the casting (10). In addition to those values that are related to the injection curve, nowadays, turn-key acquired HPDC cells will integrate also peripheral equipment's variables as vacuum, release agent amount, aluminum melt temperature or die parts temperatures.

On standard HPDC foundry is likely to have different HPDC machines from different machine producers and from different generations. So the monitoring systems are machine builder proprietary which involves that the variables definition and calculation varies among machines, having the no standardized and heterogenous data. Taking it into consideration the data is not easily comparable, generating no solid ground to build a sound INDUSTRY 4.0 project.

The way of solving these limitations should be the use of a HPDC specialized measuring system in order to have an accurate, comparable and modular solution. This equipment can obtain reliable and scalable data implemented in any brand of HPDC presses and independent from the HPDC machine makers.

A more controlled and standardized variables can be easily analyzed by implementing a new measuring system. This measuring system will be able to control other variables more than the basics from the HPDC machine (injection curve), even peripheral equipment and internal die sensors making the decision-making simpler, more precise and more coherent.

2. EXPERIMENTAL PROCEDURE

A case study of a HPDC specialized measuring system on a HPDC foundry was performed. The study was made in Alinar company, HPDC company with different HPDC cells from different generations and HPDC makers. The mobile HPDC specialized measuring system was implemented to:

- 1) Get reliable, accurate and homogeneous from the HPDC injection curve.
- 2) Arrange a comparable and standardized data of the HPDC variables from the different cells.
- 3) Integrate the different data from the peripheral equipments (dossing furnace, spraying equipment, ...) and the internal die sensors.

Also a higher and deeper analysis was made in a specific die and HPDC cell of Alinar. This analyzed HPDC cell was integrated by a Petransa HPDC cold sleeve machine with 7520 KN closing force, a robot for the extraction of the casting from the die and a full automatic wolling system for the spraying. The main reference casting is a structure component for the electrical conductivity application. The aluminium alloy is EN AC - 46.000 (AlSi9Cu3(Fe)). The die has four different cavities (net weight per cavity: 390 g, and the full shot: 3050 g). The speed of the first step of the injection is 0.15 m/s needing a pressure lower than 10 bars from the hydraulic power. The conmutation point is 380mm and the speed of the second phase (to fill the cavities) is 3.6m/s (achieving the melt in the cavity gate: 35m/s). After the cavities filling, the built-up time for end pressure is 45 microseconds to get the 240 bars (870-900 bars as specific pressure).

The next picture shows how the mobile measuring application is used by Azterlan technician in the different cells with very simple connection.



Figure 3 : Mobile HPDC specialized measuring system.

VARIABLE	DEFINITION
BT[mm]	Biscuit thickness
CP[mm]	Commutation point (from 1p. to 2p.)
FB[mm]	Start die filling point (mm)
OF[kN]	Closing forcé
P1[bar]	Maximum pressure of the 1 p.
PN[bar]	Pressure of the 3 p.
PS[bar]	Specific pressure
PXN[bar]	Pressure of the 3 p. after x seconds
S2[mm]	2 p. stroke
S3[mm]	3 p. stroke
SG[mm]	Total stroke
TG[ms]	Filling time of the die
TN[ms]	Built-up time for end pressure
TZ[s]	Cycle time
V1[m/s]	Speed of the 1. phase
V2[m/s]	Speed of the 2. phase
VA[m/s]	Speed at gate
Va1CP[mbar]	Vacuum at commutation point
tVa1 [ms]	Time difference (from the vacuum falls under Va1CP*1.25 until CP)
F1x [g]	Total flow of the air until 3*TN
F1ICP [g]	Total flow of the air until CP
F11SCP [g]	Total flow of the air in the time interval tVa1
T1(°C)	Temperature of the die in the fix
T2(°C)	Temperature of the die in the mobile
Tal(°C)	Temperature of the aluminum melt

Table 1 : List of variables obtained by the HPDC specialized measuring system.

Mostly the HPDC process engineers control the next main parameters: BT (biscuit thickness), V2 (2.phase speed), TG (filling time), P3 (pressure of the 3.phase), S3 (3.phase stroke) and the temperature of the melt. However, the amount of the key parameters are significant higher with this innovative solution, taking a higher control about the HPDC process, achieving a integrated, accurate and reliable data and getting a expertise knowledge about the

The next sensors were implemented in the machine, equipment and die in order to get the commented data:

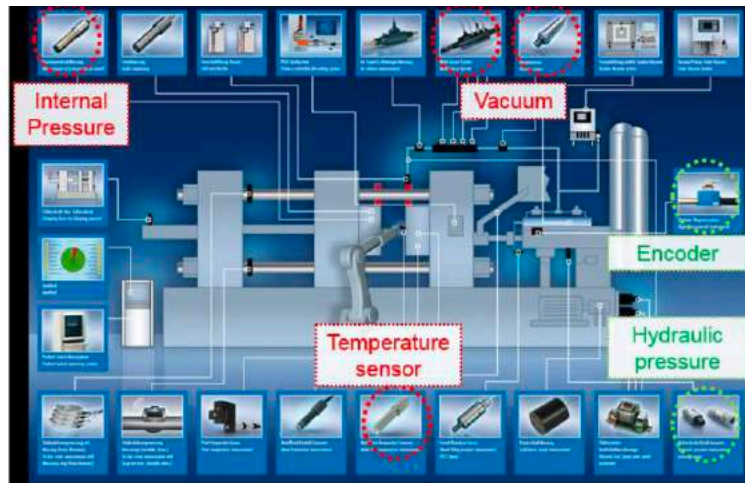


Figure 4 : List of sensors implemented on the HPDC cell and die.

Besides these sensors, normally included in every HPDC machine, there is the possibility to include other extra sensors implemented on the HPDC die in order to have a deeper process control and to accelerate the knowledge of the process, especially suitable for new references. Some proposed sensors, which were analyzed, are the vacuum sensor, the internal pressure sensor and the temperature sensor.

This data processing is required in order to start creating a precise variable correlation, use the industry 4.0 predictive model analysis.

DATA PROCESSING - NON-DISCRETIZATION OF VARIABLES

The main critical variables of the injection curve were checked with the aim of compare the results obtained from the injection machine and Azterlan's analysis. The goal is to detect the differences among them in order to have a more accurate and reliable data.

DATA STANDARDIZATION

A data standardization on some variables is required to obtain a more reliable information. CP (the commutation point (CP) is the point where the first phase ends and the second phase begin. It is measured in mm.) and S3 (The third phase stroke (S3) is the aluminum needed to feed the shot in order to remove the shrinkage. It is measured in mm.) variables are studied and their calculations were standardized in order to reduce the dispersion and have a more reliable data.

DIE SENSOR IMPLEMENTATION

Apart from the sensors included on the HPDC machines some new die sensors have been implemented:

Vacuum sensor:

A vacuum sensor was implemented in the pipe of the vacuum system and tank (this is a standard solution of the HPDC Vacuum systems (11)), however, as a innovative solution, a extra sensor was included in the die only connected with the cavity (indirectly with the vacuum system). This innovative sensor measured the real vacuum in the cavity during the injection of the melt. The goal was to check the correct vacuum level inside the mold and to ensure the correct closing of the die. A comparison between the vacuum given by the HPDC machine and the real vacuum obtained inside the cavity will be analyzed.

Internal pressure sensor

Two internal pressure sensors were introduced into the die in contact with the aluminium melt during the injection. The goal was to check the real pressure on the cavity and to compare with the pressure given by the machine during the intensification phase. Both sensors are placed in different zones inside the cavity, one close to the gate and other far from the gate, providing the most complete information about the intensification process.

The sensor and its system records and monitories the pressure versus time graph during the filling and feeding processes (12).

Fast Temperature sensor

Fast temperature sensors are introduced into the die placed in different positions of the cavity: also close to the gate and as far as possible from the gate. These sensors records the time when the aluminum contacts them but also the cavity temperature, peak or cooling (13). The temperature graph pattern also is used to control the amount of heat transfer to the sensor which is related to temperature, mass and contact pressure.

The aim of these sensors is to characterize the filling of the cavity and to ensure the correct flow in order to avoid prefillings/presolidifications on the castings.

3. RESULTS AND DISCUSSION

NON-DISCRETIZATION OF VARIABLES

A significant difference in some of the main variables was detected between the extracted by the injection machine and Azterlan analysis using the new measuring system (V1, S3, CP mostly, lower difference in BT, and quite similar in V2). After checking 7815 injection curves, the following graphs show the comparison data of the main variables previously described.
 V1: Speed of the first phase (m/s).

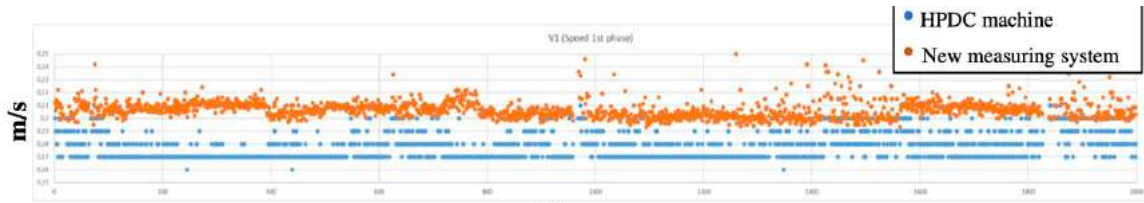


Figure 5 : Comparison data for the V1 variable

V2: Speed of the second phase (m/s).

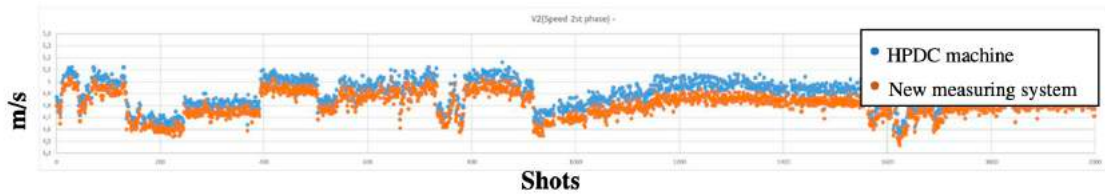


Figure 6 : Comparison data for the V2 variable.

CP. Switch point of the second phase (mm).

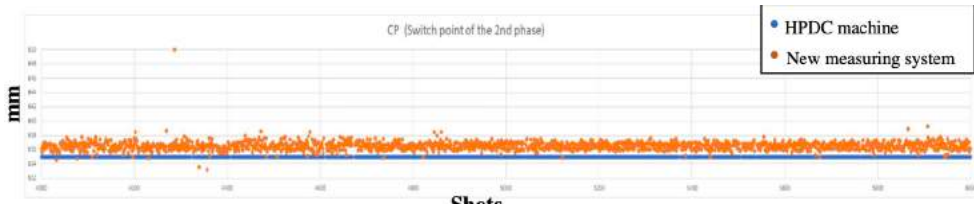


Figure 7 : Comparison data for the CP variable

S3: stroke of the third phase (mm).

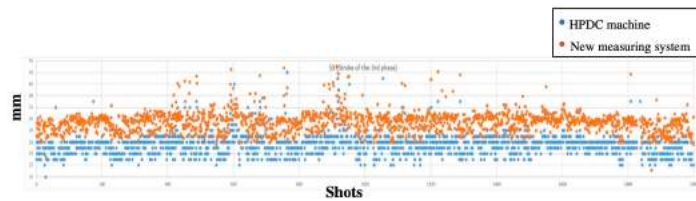


Figure 8 : Comparison data for the S3 variable

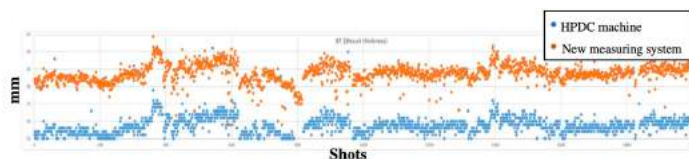


Figure 9 : Comparison data for the BT variable

The analysis of the results obtained for each variable is explained below:

V1: Speed of the first phase (m/s).

The data is discretized by the HPDC machines in five main groups (0.17, 0.18, 0.19, 0.20 and 0.21 m/s) and the analysis after the implementation of the new control system shows a more accurate information (the data is not discretized and some high speed shots are detected with this new control system).

V2: Speed of the second phase (m/s).

The data obtained from the HPDC machine is not discretized and the values obtained by the new control system are similar in both conditions, being the data from the new control system slightly underestimated. The velocity obtained by the HPDC machine mainly goes from 4,7 to 5,1 m/s, while the data obtained by the measuring system goes from 4,6 to 5,0 m/s.

CP: Switch point of the second phase (mm).

A significant difference is observed in this parameter between the HPDC values and the new measuring system values. The data obtained in the HPDC machine shows the same value (635mm) in all the shots while a more accurate data is observed using the new control system (data mainly between 634-639mm). This difference has an impact in the quality of the parts. The melt was introducing in the cavity with low speed and it produced a pre-solidifications in the casting component.

S3: stroke of the third phase (mm).

There is a significant difference between the HPDC values and the new measuring system values. The data is discretized by the HPDC machines in five main groups (29, 30, 31, 32 and 33 mm) and the analysis after the implementations shows a more accurate information (the data is overestimated with values mainly going from 31 to 37 mm). This difference has an impact on the quality of the component due to the difference in aluminum volume to feed the solidification process. Also the pressure curve morphology was different in the several injections.

BT: Thickness of the biscuit (mm)

The data obtained from the HPDC machine is not discretized. The values obtained by both systems follow the same trend, even if they have different absolute values, being the data from the new control system overestimated. The thickness obtained by the HPDC machine mainly goes from 15 to 25 mm, while the data obtained by the measuring system goes from 30 to 40 mm.

As a summary, the HPDC machine discretize the values and important process information is losing. The information obtained by the new implemented method gives a more accurate and reliable on the critical values.

DATA STANDARDIZATION CP (Commutation point)

CP is automatically calculated by the system without any coherent repeatability in two different injection curves (curves A and B) are shown on the following curves:

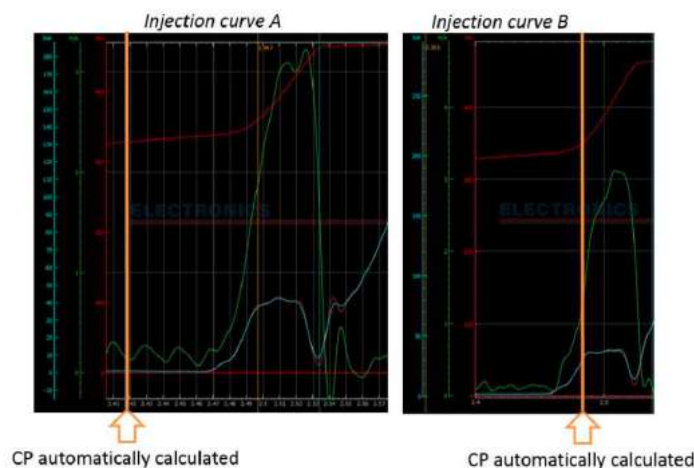


Figure 10 : Examples of the CP calculation in two injection curves.

Azterlan adjusted the way how is calculated the CP to a more accurate value (CPV) is modified and a new variable called CPV is generated. It is calculated by considering that the CP point begins when the velocity is 0,5m/s

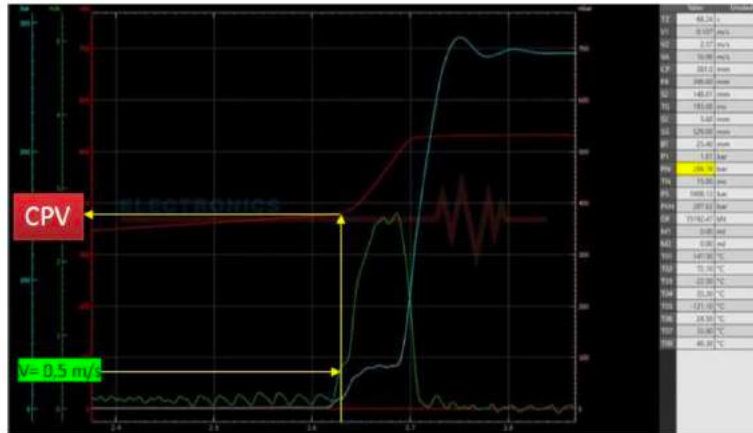


Figure 11 : CPV result on an injection curve after the calculation adjustment.

S3 (3 phase stroke)

An example on how the S3 is automatically calculated in two different injection curves are shown on the following curves (curves C and D):

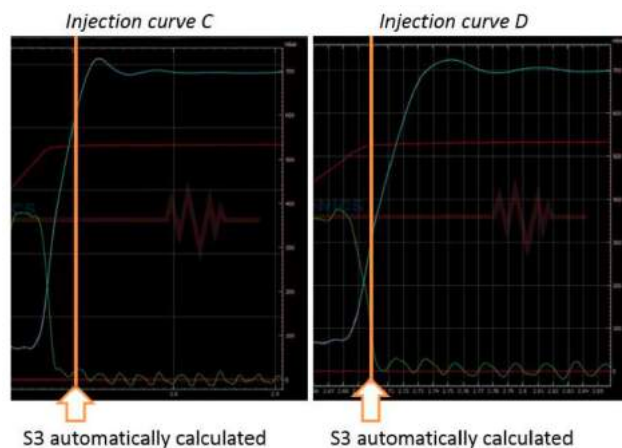


Figure 12 : Examples of the S3 calculation in two injection curves.

After a deep analysis on several injection curves performed by an Azterlan technician the way how is calculated the S3 is modified and a new variable called S3V is generated. It is calculated by considering that the S3 point begins when the velocity drops to 0,5m/s after the second phase.

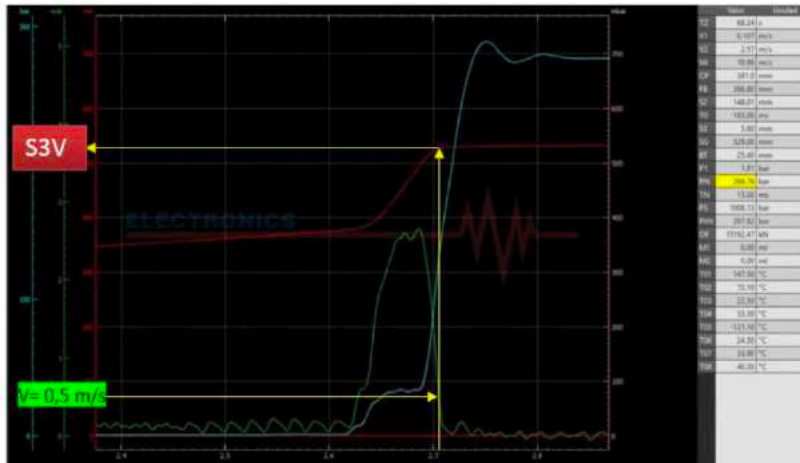


Figure 13 : New S3 result on an injection curve after the calculation adjustment.

After fitting the new S3 calculation more stable results were obtained with less dispersion comparing with the previous calculation.

DIE SENSORS IMPLEMENTATION

Vacuum sensor (vacuum inside cavity \neq vacuum in the pipe). The readings of the sensors are:

- - -

Vacuum measured in circuit #1 (grey) was 220mbar (so 780mbar of depression).

Vacuum measured in circuit #2 (yellow) was 50mbar (so 950mbar of depression).

Vacuum measured inside the mold's cavity (blue) was only 860mbar (so 140mbar of depression).

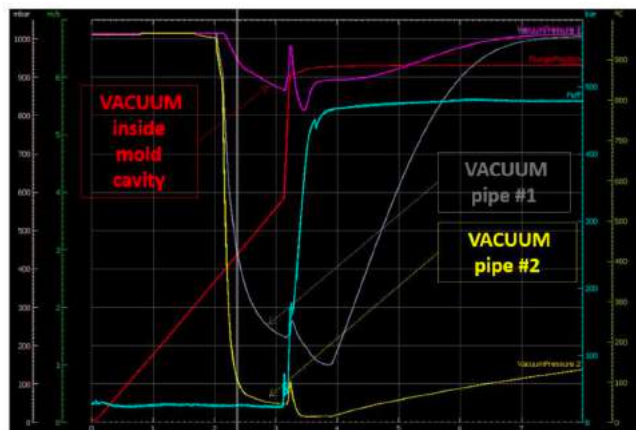


Figure 14 : Results of the vacuum sensor readings.

There is a significant vacuum difference on the readings given by the vacuum system and the sensor in the pipe and the values given by the sensors implemented on the die. It is showing that the importance to implement this sensor in order to have a reliable and accurate data.

Internal pressure sensor (hydraulic pressure and intensification time versus internal cavity pressure)

Here it is showed how the hydraulic pressure and its curve impacts in the internal cavity pressure (transmitted from the melt to the sensor). There is no linear relation, between hydraulic pressure values and actual values inside the cavity. A 8% of delay in build up pressure (TN from 525 to 569 ms) translates in 25% of the cavity pressure in P2 (from 420 to 317 bar). Pressure difference on the casting means a difference on the solidification of the part. Note that P1 is unaffected and is kept at 490 bar. The sensor which is placed close to the gate does not de-

detect any value deviation when the pressure curve has other performances, however the sensor which is not so close to the gate is significant more sensible to the build up pressure changes.

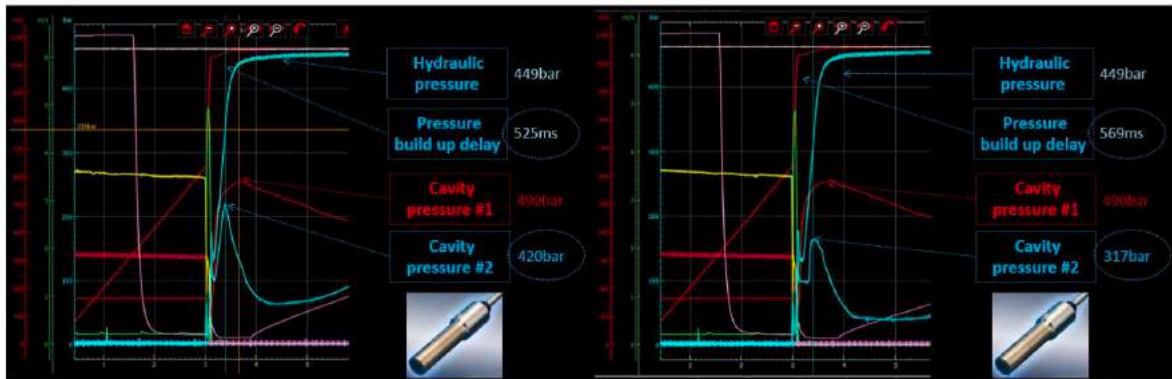


Figure 15 : Results of the internal pressure sensor readings.

Fast Temperature sensors (metal front, filling pattern under vacuum)

In this case, for the very similar piston movement (red line), the metal front is significantly different. The technical reason is that the vacuum is sucking the melt in an uncontrolled way generating prefilling on the castings having a direct impact on the casting quality.

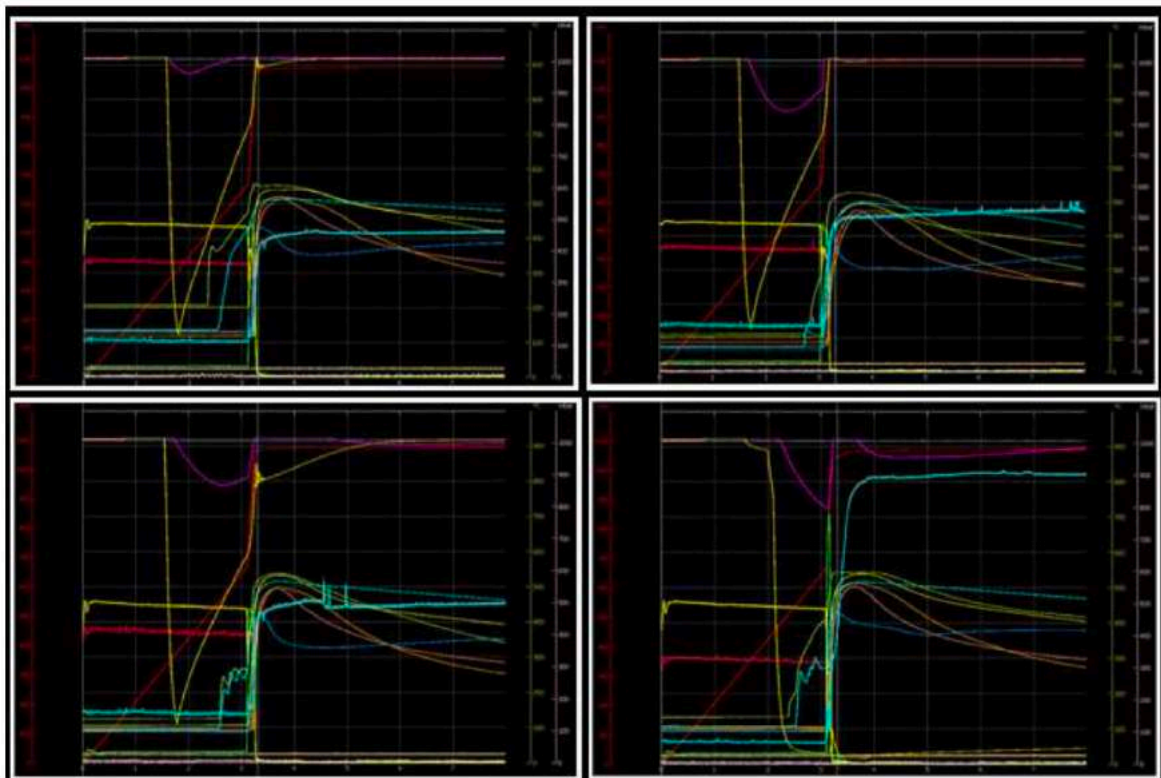


Figure 16 : Curves of the fast temperature sensor readings with the injection curves

After analysing these fast temperature sensors curves, one of the conclusions is that there could not be a direct relation between plunger stroke and metal front position during cavity filling when the vacuum system is not properly adjusted or set up. It is important that the foundry process engineers get involved on the selection and definition of the sensors location and the calculation and understanding of the representative variables to be extracted from these sensor curves.

4. CONCLUSIONS

- HPDC is a complex process involving many variables that can benefit from INDUSTRY 4.0. solutions as the standard measuring system developed by Azterlan and Electronics GmbH.
- Reliable, accurate, homogeneous, standardized data is a must in order to be compared and further treated to have the best quality control about the process:
 - Reliable and accurate: No discretization of the variable to have most reliable information about the process. Basic HPDC variables are not homogeneous from one machine to another and these variables fall short representing what it is actually happening inside the cavity.
 - Standardized: Signals must be always processed the same way. For example, actual CP (switch point from first to second phase) or S3 (intensification stroke) are not calculated in the same way from one machine to another.
 - Comparable: Once data is accurate and standardized; it can be compared among different production cells and time periods.
 - Integration. The difference variables of the processes coming from peripheral equipment could be integrated in the standard measuring system developed by Azterlan and Electronics GmbH (flow of the release agent, vacuum variables, ...).
- The internal pressures sensors, vacuum sensors and fast temperature sensors provide more reliable and accurate information about the process than the basic HPDC injection curve variables. Their implementation could make in a modular and scalable manner, and mostly for the most complex dies or castings.
- All process data provided must capture, digitalize, organize, trace and store in customized developments. Finally a predictive control system can run by artificial intelligence that monitors and controls the whole process.

5. REFERENCES

- 1) E.J. Vinarcik, High Integrity Die Casting Processes, 1st ed. (New York: Wiley, 2003), pp. 3–25, 145–156.
- 2) L.J.D. Sully, Casting, ed. ASM Metals Handbook (Materials Park, OH: ASM International, 1990), pp. 611–632.
- 3) D.R. Gunasegaram, B.R. Finnin, and F.B. Polivka, Mater. Forum 29, 190 (2005).
- 4) D.R. Gunasegaram, B.R. Finnin, and F.B. Polivka, Mater. Sci. Technol. 23, 847 (2007).
- 5) M.R. Ghomashchi, J. Mater. Process. Technol. 52, 193 (1995).
- 6) M.S. Dargusch, G. Dour, N. Schauer, C.M. Dinnis, and G. Savage, J. Mater. Process. Technol. 180, 37 (2006).
- 7) S. Otarawanna, H.I. Laukli, C.M. Gourlay, and A.K. Dahle, Metall. Mater. Trans. A 41, 1836 (2010).
- 8) F. Bonollo and G. Timelli, Aluminum Alloy Castings: The EU StaCast Guide to Defects Classification, Mechanical Potential and Design Issues, 1st ed. (Milano: Assomet Servizi, Associazione Italiana di Metallurgia, 2014).
- 9) W.G. Walkington, Die Casting Defects—Causes and Solutions, 1st ed. (Des Plaines, IL: North American Die Casting Association, 2003), pp. 1–11.
- 10) Buhler, Improved control over your entire die-casting system, Buhler, viewed 03 August 2020, <https://www.buhlergroup.com/content/buhlergroup/global/en/product-families/die-casting-machines.html>.

- 11) Electronics, Vacuum sensor, Electronics, viewed 04 August 2020, https://www.electronics-gmbh.de/electronics/english/produkt_vakuumsensor.html
- 12) Electronics, Internal Pressure sensor, Electronics, viewed 04 August 2020, https://www.electronics-gmbh.de/electronics/english/produkt_forminnendruck.htm
- 13) Electronics, Temperature sensor, Electronics, viewed 04 August 2020, https://www.electronics-gmbh.de/electronics/english/produkt_temperatur.htm
- 14) Veigalan, Salomon, software to perform an advanced and efficient multivariate analysis, Veigalan, viewed 05 August 2020, <https://salomon-metallurgy.com/en/>

MAKING ALUMINIUM CASTINGS IN GREEN SAND: EXPLORING THE BENEFITS AND CHALLENGES

Per Larsen

DISA Industries A/S, Taastrup, Denmark

ABSTRACT

This paper looks at the opportunities and challenges involved in casting aluminum in green sand. Potential benefits include cost savings, flexibility, speed and rapid prototyping.

This paper will consider the efficient production in green sand of safety-critical aluminum components as well as parts with less demanding mechanical properties. Large and smaller production volumes are also dealt with.

This paper will also show that the green sand process's historical reputation for poorer dimensional accuracy and undesirable microstructures associated with the slower solidification process is unjustified.

Keywords: green sand, aluminium, low pressure pouring, productivity, mechanical properties

1. INTRODUCTION

The green sand process is well known for producing high quality iron castings efficiently and inexpensively. Growing global demand for aluminium castings combined with mounting pressure to cut costs is leading more foundries and manufacturers to explore the green sand process for aluminium castings.

Lower cost per casting along with other advantages like flexibility and short lead time from CAD design to starting production are the rewards for successfully transferring the benefits of the green sand process enjoyed by iron foundries to the production of aluminium components.

This article investigates the opportunities and challenges of efficiently producing aluminium castings in green sand. It considers both safety-critical aluminium components and those with less stringent demands on mechanical properties, as well as high and low production volumes.

Historically, green sand cast aluminium parts have had a reputation for lower dimensional accuracy and a less desirable microstructure caused by slow cooling. Neither of these is now justified, as will be shown below.

2. MOULDING:

Green sand moulds can be produced both vertically and horizontally, with vertical moulding delivering the highest production rates.

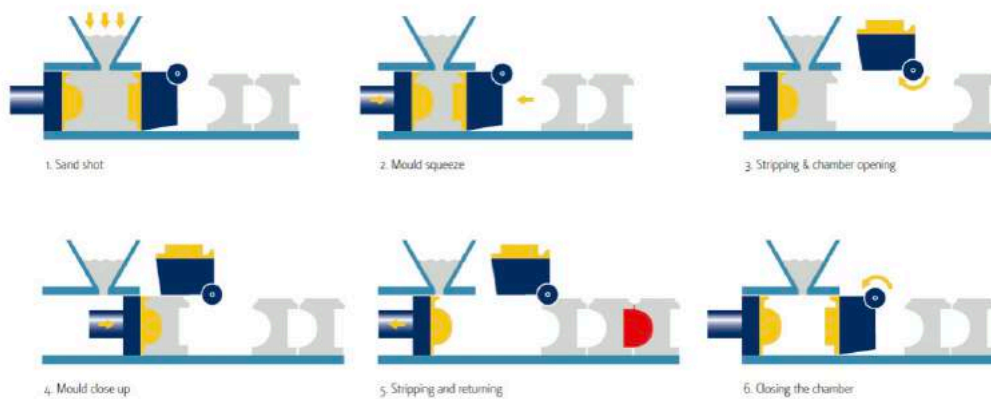


Figure 1: The six steps of the vertical moulding process

The six operations of the vertical moulding process are shown in Figure 1. The DISAMATIC® vertical moulding lines achieve very high moulding rates of up to 555 moulds per hour without cores and up to 485 moulds per hour with cores. Within the moulding cycle, it is possible to set feeder sleeves and/or filters.



Figure 2: DISAMATIC C3-150-B with a mould size of 650x530 mm

However, DISA now supplies vertical moulding lines designed for lower moulding rates starting at 150 moulds per hour without cores and 120 moulds per hour with cores. Their starting price is approximately a third of the cost of the high-speed vertical lines mentioned above. This makes the vertical moulding process both possible and economical for smaller production volumes. Fast pattern changing also makes it suitable for short series production down to a few castings per run. Figure 2 shows the DISAMATIC C3-150 moulding machine that produces up to 150 moulds per hour with a mould size of 650 x 530 mm. The compact design of the moulding line takes up a minimum of floor space.

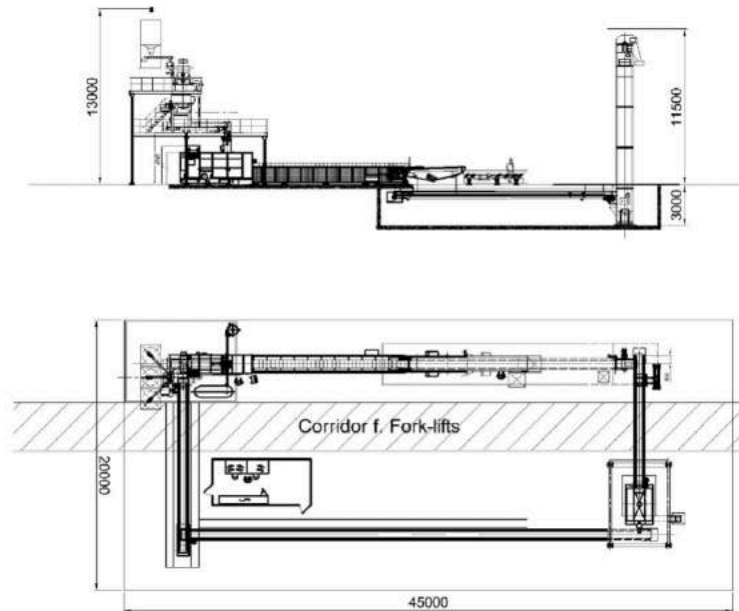


Figure 3 : DISAMATIC C3-150 with sand plant

Sand plants are available that match the needs of these lower-output moulding lines, delivering less sand per hour and designed with a strong focus on keeping the investment at a minimum. An example of such a sand plant is seen in Figure 3. Combining the DISAMATIC C3-150 with such a sand plant results in a very competitive price of around €1 million for both moulding line and sand plant, with the final cost depending on the scope of each individual project.

The green sand process also offers a high degree of flexibility. For instance, producing 120 moulds with cores per hour gives a cycle time of 30 seconds. That allows plenty of time for pouring and any manual interventions required; for example, setting complex cores that are not glued together. This gives a degree of flexibility unusual in vertical mould making.

Horizontal moulding using matchplate technology is an attractive alternative to vertical moulding, especially with lower production volumes and when high flexibility is required. It employs the well-known horizontal principle. Existing pattern plates for horizontal equipment can usually be transferred to matchplate moulding machines with little effort.

3. MOULDING MATERIAL COMPOSITION:

The green sand moulding material for aluminium components is usually silica sand bonded with bentonite and water. The table below shows the recommended moulding material properties for aluminium applications using vertical moulding. These are similar to the parameters used for cast iron components but, as with cast iron applications, they will have to be adjusted for each individual aluminium application, for example, if the casting is thin walled or has heavier sections.

Coal dust can be used but is not necessary for aluminium. Moisture levels are kept low, preferably below 3%, to minimise hydrogen pickup. After casting, the green sand will be reused

after reconditioning with added water, bentonite and new sand to compensate for the small amount lost during casting. Hence the disposal costs per casting are low compared to other sand-based processes.

As the pouring temperature of aluminium is far below the fusion temperature of silica sand, the green sand mould can be easily broken to extract the casting once it has solidified and the moulding sand returned to the sand plant. The casting usually requires little cleaning to remove any adhered sand.

Average grain size (washed)	0.14 - 0.16mm (AFS 110 – 95)
Grain size distribution (washed)	4 sieves
Gas permeability	100
Compressibility	38 - 40%
Moisture content	<3%
Green compression strength	20.0 N/cm ² (29 psi)
Green tensile strength	2.5 N/cm ² (3.6 psi)
Spalling strength	4.0 N/cm ² (5.8 psi)

Table 1 : Recommended sand properties for aluminium applications (650x535 mm mould)

4. ADVANTAGES OF THE GREEN SAND PROCESS:

The green sand process offers numerous advantages:

- Optimised solutions for production rates ranging from below 100 to 555 moulds per hour;
- Allows a simple and proven core setting process. That makes creating hollow parts straightforward, with speeds from below 100 up to 485 cored moulds per hour;
- When changing tooling to produce a new component, the moulding line only halts for one or two minutes;
- Low disposal quantity compared to chemically bonded sands
- Initial pattern costs are low: depending on size, complexity and country of origin, pattern prices start around €3,500;
- Pattern costs can be optimised by careful material selection. Depending on the required pattern service life, everything from hardwood to tool steel can be used;
- Pattern lifetime is high: one steel pattern can produce several hundred thousand moulds;
- Even for high production volumes, normally only one set of pattern plates is needed. Keeping one spare set on site will assure continued production in case the first set is damaged;
- Pattern maintenance costs are low due to their long service life and only having one production set of pattern plates to maintain for each part;
- Lead times from CAD design to the first casting prototypes and to the start of series production are both short, thanks to simple and inexpensive tooling. Thereafter, changes to gating and feeding systems are easy, fast and cheap to make.

5. POURING THE MOULD:

Aluminium forms oxides very quickly; these harm its aesthetics and mechanical properties. Gravity pouring from the top of the mould can generate these unwanted oxides. To achieve the best possible mechanical properties, another way of pouring is needed.

A better alternative is low-pressure pouring through an inlet positioned low down on the side of the mould. Filling from the bottom up combined with a properly designed gating system that incorporates low melt front velocities makes it possible to achieve laminar flow and have full control over the liquid aluminium's inflow, minimising oxide formation. Mould filling speed is no longer dependent on gravity and the metal flow rate profile can be easily optimised for each individual component.

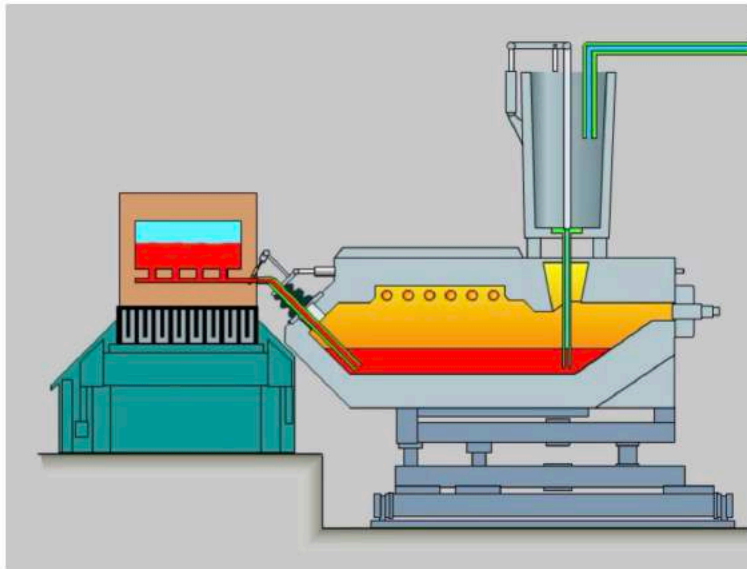


Figure 4 : Low-pressure filling system for vertical green sand casting (schematic)

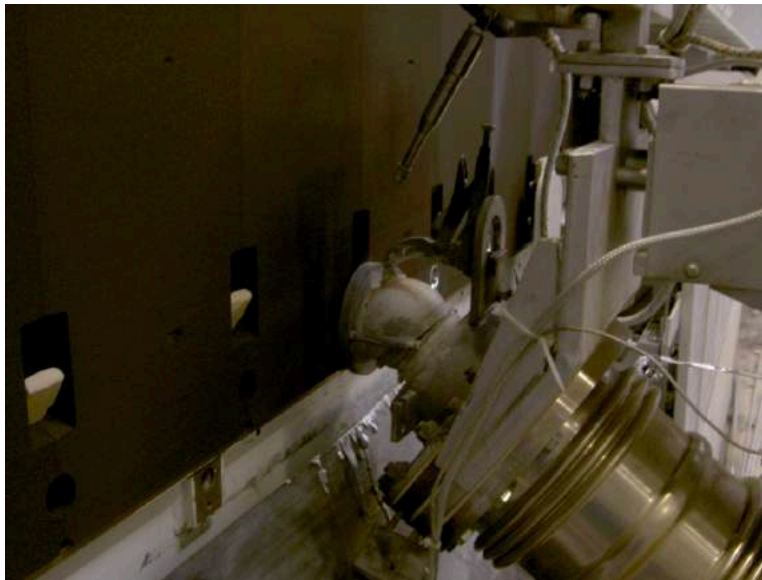


Figure 5 : The nozzle of the pouring unit docked onto the side of the mould



Figure 6 : Standard inlet pouring system on pattern plate

The principle of low pressure pouring for vertically-parted moulds is shown schematically in Figure 4. A close-up of the nozzle of the pouring device in contact with the green sand mould can be seen in Figure 5. The associated first section of the gating system is shown in Figure 6.

A simple, small and inexpensive core is placed in a specific area just above the inlet channel. The core print for this core can be seen Figure 6. After filling the mould, a pneumatic cylinder pushes this core into the channel to block it and prevent any melt from escaping from the channel. This makes it possible to move the pouring nozzle away from the mould as soon as mould filling has finished, allowing the mould transport to take place and permitting typical production speeds of up to 300 moulds per hour. Actual cycle times depend on the amount of melt to be poured. DISA has produced a 30kg engine block with a 15 second cycle time. This variant of low-pressure pouring of aluminium sand castings not only helps to improve the mechanical properties, it also fully automates the pouring process. As can be seen in Figure 6, the channels can be very short and, furthermore, a conventional pouring cup is not needed, all of which improves the metal yield compared to conventional gravity casting with pouring from the top of the mould. Smaller, compact gating systems also mean that there is more space available on the pattern plate to accommodate more cavities.



Figure 7 : Pouring arm

For aluminium parts with less stringent demands on their mechanical properties, gravity pouring of green sand moulds is a good alternative. This can be done both by hand and automatically. Hand pouring requires little investment and offers high flexibility, making it well suited to shorter series. Automated pouring can be done with a stopper-rod-based system or using a robotic pouring arm as is often seen in gravity die casting foundries (see Figure 7). These solutions are suitable for longer series and where better control over the process is needed.

6. METALLURGY:

Apart from mould filling, handling the metallurgy correctly is also important when aiming to achieve the best possible mechanical properties for aluminium castings produced in green sand.

Castings poured in green sand moulds have a lower cooling rate. This makes it more suited for parts with thinner wall thicknesses, from 3mm up to approximately 10mm, where cooling power is less critical. However, thicker walled parts can still be suitable for the green sand process, as will be shown with an example of a brake caliper below.

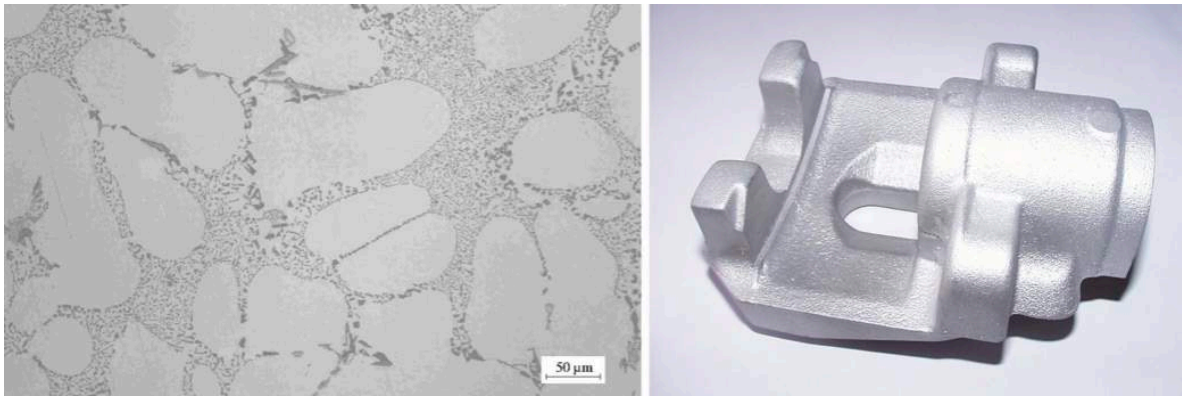


Figure 8 : Left (Microstructure of brake caliper) – Right (Picture of brake caliper)

Modification of the silicon phase has been achieved with strontium, making it possible to have continuous production flow between treatments. An example of a microstructure achieved in green sand after treating with 230ppm strontium can be seen in Figure 8. The alloy used was a standard aluminium silicon magnesium alloy (AlSi7Mg0.3).

Although this brake caliper had a relatively heavy cross section (its typical wall thickness is 22 mm), the obtained mechanical properties were excellent and exceeded the customer specifications:

- Elongation (%): 4
- Yield strength (MPa): 233
- Tensile strength (MPa): 270

These mechanical properties were measured on test bars machined from the casting with a T6 heat treatment. The melt used had been degassed to a density index of 0.75%.

7. ACCURACY:

Traditionally, aluminium sand castings have had a reputation for lower dimensional accuracy. The accuracy of castings produced by automated moulding, in green sand has improved over the years, today achieving as little as 0.1mm machine-related mismatch. State-of-the-art systems for in-line checking of mismatch, mould gaps and so on just before the moulds are poured give extra protection against possible dimensional problems. This is the job that DISA MAC (Mould Accuracy Controller) does for vertical moulds.



Figure 9 : Left (Reference blocks added to pattern plates) – Centre (Reference impressions the mould) – Right (Lasers measuring)

This system is based on reference blocks added to each of the four corners of the pattern plates which leave corresponding impressions in both mould halves (see Figure 9). After the mould is closed, lasers measure the positions of these reference impressions in the mould halves, just before the moulds are cast. This makes it possible to calculate mismatch and other dimensional values. Using sophisticated software, the system detects and measures mismatch with an accuracy of +/- 0.05mm – well below the average sand grain size of approximately 0.15mm. Operators can directly read the current values for each mould on the screen of the moulding machine. In the event of a problem, they automatically receive warning messages and the casting process can automatically be stopped, for example, if mould gaps appear. Receiving early warnings gives enough time to react before a real problem arises. Real-time data can be accessed via the operator's screen on the moulding machine while historical data can be viewed and analysed using DISA Monitizer® on a PC.

With a machine-related mismatch of less than 0.1mm and by employing the DISA MAC monitoring system, the dimensional accuracy of aluminium sand castings is no longer an issue.

8. ABILITY TO REDUCE THE WEIGHT OF PARTS:

The drive to reduce a component's weight does not stop after converting it to aluminium. Being able to cast sections with low wall thicknesses with high quality is of great importance here, especially when designing structural elements. In-house tests at DISA were conducted with a generic casting with a hat-shaped geometry that emulated thin walled casting geometries (see Figure 10).



Figure 10 : Generic thin walled casting

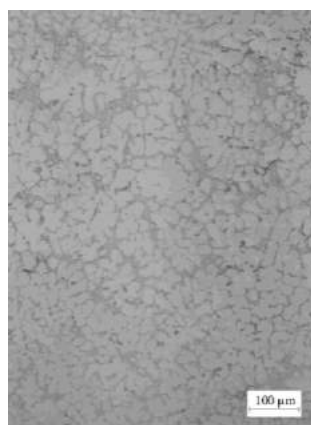


Figure 11 : Microstructure

The outside dimensions of the casting were 300 x 120 x 80 mm with a 3mm wall thickness. The part was cast with the low pressure pouring system described above. This, together with a properly designed gating system, resulted in a very controlled filling pattern and made it possible to use a pouring temperature of 725°C. The microstructure of the casting can be seen in Figure 11 showing a fine dendritic structure.

For automatic green sand moulding, the patterns only need to be preheated to a temperature 5°C (9°F) above the temperature of the mixed green sand, which typically is around 45 °C. When preheated, the patterns are still safe to handle manually without risk of burn injuries.

9. MEETING PRESENT AND FUTURE DEMANDS FOR CASTING PRODUCTION:

State-of-the-art tools (E.g. Monitizer | PRESCRIBE) are now being implemented in green sand foundries that support the drive towards consistently high casting quality. These tools have their origin in the Industry 4.0 approach. DISA offers a complete digital package for collecting, storing, exchanging, monitoring and analysing this process data which helps foundries to minimize scrap rates towards the target of zero scrap.

Process parameters that influence quality, such as pouring temperature and sand properties, are digitally collected and stored together with corresponding scrap data. Artificial Intelligence (AI) is then applied to analyse these huge amounts of data and to obtain data-based conclusions on what the root cause(s) of any possible defects is.

Digital systems and AI make it possible to identify the relationships between hundreds of different process parameters that lead to scrap – relationships that are impossible to accurately describe manually due to the volume of data and the sheer complexity of the interconnections between the many variables involved in the entire foundry process. Systems now under development will reliably trace individual castings and link each one to the process parameters that created it, making analysis even more precise and effective.

Many different casting types can be made in green sand, ranging from safety critical parts to less demanding components. Seven examples of the many different types of aluminium castings already being produced in green sand are shown in the table below.

Part name	Information on part	Parts / hour	Moulding	Figure
Control arm	<p style="text-align: right;">Obtained</p> Demand Elongation (%) 6 >3 Yield strength (MPa) 245 >200 Ultimate strength (MPa) 309 >250 With T6 heat treatment	260	DISAMATIC	12
Brake caliper	<p style="text-align: right;">Obtained</p> Demand Elongation (%) 4 >3 Yield strength (MPa) 233 >215 Ultimate strength (MPa) 270 >260 With T6 heat treatment	800	DISAMATIC	13
Transmission housing	Weight 4.5 kg	250	DISAMATIC	14
Intake manifold	Weight 2.9 kg	280	DISAMATIC	15
Gas valve	Weight 2.4 kg	400	DISAMATCH	16
Engine block	Weight 16 kg	200	DISAMATIC	17
Flange	Weight 0.76 kg	400	DISAMATIC	18

Table 2: Examples of casting aluminium in green sand



Figure 12 : Control arm



Figure 13 : Brake caliper



Figure 14 :Transmission housing



Figure 15 : Intake manifold



Figure 16 :Gas valve



Figure 17 : Engine block



Figure 18 :Flange

10. TAKE FULL ADVANTAGES OF THE GREEN SAND PROCESS:

Most parts are designed with a production process in mind. The full potential of green sand can be reached by designing castings for the green sand process. This way, further weight reduction, design flexibility, productivity gains and, of course, cost savings can be achieved.

Examples of valuable design adjustments that make the most of the green sand process include: designing parts with hollow sections for weight reduction; optimising wall thickness to achieve uniform stress levels while maintaining wall thickness at 3mm or more; adding ribs to increase stiffness; designs that allow good filling/feeding during casting; and avoiding pockets that are too deep and narrow.

Taking full advantage of the potential in the aluminium green sand process ideally starts with the casting designers. For instance, US casting designers have long produced component designs that make full use of the green sand process's advantages. This is reflected in a significantly higher concentration of green sand aluminium foundries in the US compared to other regions around the world.

11. CONCLUSION:

Both safety-critical aluminium castings and castings with less stringent demands on their mechanical properties can be feasibly produced in green sand moulds. Moulding systems available today can deliver production speeds of several hundred moulds per hour, but lower throughputs of fewer than 100 moulds per hour are also efficiently served by green sand lines.

It does not make sense to produce every aluminium casting in green sand and this article does not claim this. Instead, the suitability of each component and application should be judged individually. With the widely-known ability – particularly amongst automotive manufacturers and suppliers – of green sand moulding to reduce costs and increase freedom of design, bringing aluminium and the green sand process together looks like an increasingly attractive combination.

PRODUCTION AND CHARACTERIZATION OF ALUMINUM MATRIX COMPOSITES FOR SMALL-SCALE UNMANNED AIRCRAFT ENGINE PISTONS

Muammer DEMİRALP, Ali KALKANLI

Metallurgical and Materials Engineering Department, Middle East Technical University, Ankara, Turkey

ABSTRACT

Composite materials are having more attention and taking place in our daily life with advance applications. In most applications, the main purpose of adding reinforcement to the matrix is to increase strength and stiffness of the matrix. In this study, metal matrix composites were studied to develop wear resistance piston ring of engine pistons of small-scale unmanned aircraft. Conventional pistons are produced by Al-Si alloys having high temperature resistance with addition of 1 wt. % each of Cu, Mg and Ni. Pistons are generally degraded from the crown part due to the high temperature cycle load and fatigue. Therefore, the head of piston should be modified to increase the piston life. For this purpose, the material of piston head was replaced with the metal matrix composite material in this study. The matrix of this composite is near eutectic Al-Si powder with addition of 10 wt. % silicon carbide particles (F320 type) as a reinforced material. Production was taken place by using squeeze-casting technique.

Keywords: Aluminum matrix composites, engine, squeeze casting, composite piston, unmanned aircraft

ÖZET

Bu çalışmada, kompozit malzemeler, küçük ölçekli insansız hava araçlarının motor pistonlarında kullanılmıştır. Geleneksel pistonlar, içerisinde ağırlıkça % 1 Cu, Mg ve Ni bulunan, yüksek sıcaklık dayanımına sahip Al-Si alaşımlarından üretilir. Pistonlar, yüksek sıcaklık devir yükü ve yorulma nedeniyle genellikle tepe kısmından deforme olur. Bu nedenle, piston ömrünü artırmak için piston baş kısmı modifiye edilmelidir. Bu amaçla, bu çalışmada pistonun yanma odasına bakan ön tarafına metal matrisli kompozit yerleştirilmiştir. Bu kompozit malzeme, ağırlıkça %10 silisyum karbür parçacık takviyeli ötektik Al-Si tozundan oluşmaktadır.

1. INTRODUCTION

In the industry, most pistons are produced Al-Si alloys that have high temperature resistance [1]. Three of them are listed on table 1. The first composition is typical Al-Si eutectic alloy with addition of 1 wt. % each of Cu, Mg and Ni. The main reason why Cu, Mg and Ni are added is to increase the strength of the alloy. The second and the third compositions are hypereutectic Al-Si alloy. Higher Si content provides lower expansion coefficient and higher wear resistance. However, it decreases the strength of the piston.

Type of Alloy	Al	Si	Cu	Mg	Ni
Alloy 1	Bal	12	1	1	1
Alloy 2	Bal	18	1	1	1
Alloy 3	Bal	24	1	1	1

Table 1 : Typical Piston alloys with their compositions wt. % [2]

The typical pistons are produced by using two main steps; forging and machining. Firstly, the rod of aluminum is cut to desired dimensions. Then, these pieces are hot forged to obtain semifinal products. After forging operation, they are heat treated according to their composition. Finally, they are machined. On the other hand, the main aim of this study is to develop a special processing technique for production of an aluminum alloy-based ceramic particulate reinforced composite engine piston for unmanned light aircraft. The local reinforcement by SiC powders in piston-ring segment is a major interest field of this study. To have a homogenous distribution of SiC particles in a narrow section of piston head, a combination of powder metallurgy and squeeze casting techniques is required. Therefore, two different methods were used to aluminum alloy-based metal matrix composite pistons as the details are given below:

1. The first method is SiC particles corporation via vortex technique in induction furnace. After complete wetting SiC particles in Mg modified Al-Si eutectic alloy, the squeeze casting process of cylindrical shape preforms was performed by using a high pressure vertical hydraulic press.

2. The second method is mixing Al-Si eutectic powders with SiC powders for a period of time in V type powder mixer, then cold pressing into a rectangular shape using a double acting hydraulic press. After compaction step, while the green powder compact is in the mold cavity, the same Al-Si eutectic alloy was prepared in an induction furnace and poured on top of compact and finally melt infiltration for complete penetration through preform.

The heat treatment of piston alloy is generally T5 and T6. They are consisted of three steps; solution treatment, quenching and ageing [3]. The aim of solution treatment is to dissolve primary soluble phases having Cu and Mg during solidification, to homogenize the alloying elements and to modify Si particles.

The microstructure of Al-Si consists of coarse Si primary phases, need-like eutectic phases and α (Al) phases. Figure 1 illustrates microstructure and SEM images of hypoeutectic Al-10Si alloy. Increasing Si content increases the primary Si phases. Increasing primary phases leads to increase in hardness due to presence of primary silicon [4].

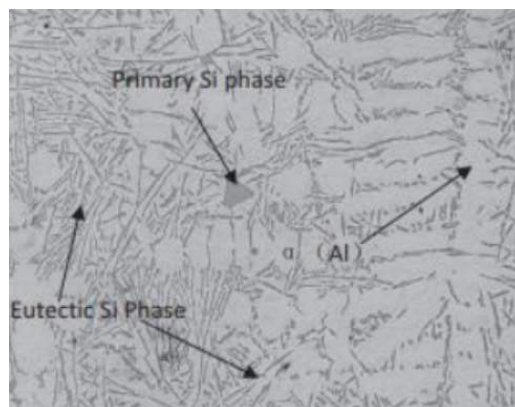


Figure 1 : Optical image of initial hypoeutectic Al-10Si alloy with 50 μm scale [5]

Squeeze-casting method is used to produce composite pistons in this study since squeeze casting has some advantages as follows:

1. Offering complex shape and dimension than other manufacturing methods
2. Less porosity
3. Good surface texture
4. Fine microstructures with higher strength components
5. No waste material.

As it is mentioned above, squeeze-casting offers have superior mechanical properties, finer grain size and more homogenous microstructure [11]. Figure 2 and figure 3 show us the effect of pressure on microstructure of product.

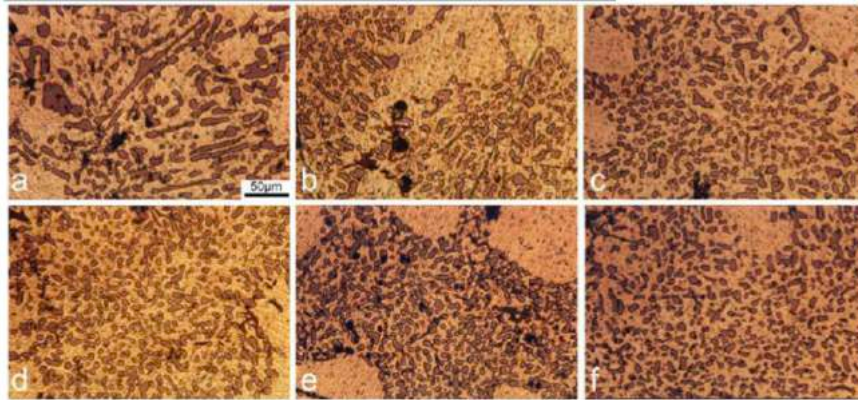


Figure 2 : Effect of external pressure on the morphology of squeeze cast alloy: (a) 0 MPa, (b) 20 MPa, (c) 53 MPa, (d) 106 MPa, (e) 171 MPa, (f) 211 MPa [12].

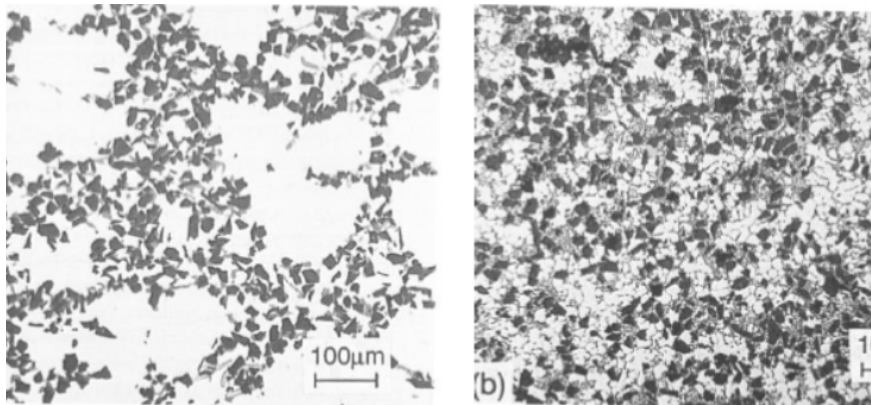


Figure 3 : Microstructure of Al-7 % wt. Si + SiC particles (a) investment cast and (b) pressure die cast [13].

Applying pressure on the solidification of metal could change liquids temperature of alloys. This is deduced by the Clausius - Clapeyron equation [14].

$$\frac{\Delta T_f}{\Delta P} = \frac{T_f(V_l - V_s)}{\Delta H_f},$$

The mechanical properties of conventional piston alloys are listed on table 2. Here, there are three different alloys. Two of them are near eutectic and the one of them is hypereutectic aluminum - silicon alloy. This table shows that although the addition of Cu, Mg and Ni increases the strength of alloy, the addition of Si decreases the strength of alloy.

	Eutectic Alloy		Hypereutectic Alloy		Special Eutectic Alloy
	AISI12 CuMgNi		AISI18CuMgNi		AISI12Cu4Ni2Mg
	cast	forged	cast	forged	cast
Yield Strength $R_{p0.2}$ (MPa) at Temperature					
20°	190 – 230	280 – 310	170 – 200	220 – 280	200 – 280
150°	170 – 220	230 – 280	150 – 190	200 – 250	–
200°	120 – 170	–	100 – 150	–	150 – 200
Ultimate Tensile Strength R_m (MPa) at Temperature					
20°	200 – 250	300 – 370	180 – 230	230 – 300	210 – 290
150°	180 – 230	250 – 300	170 – 210	210 – 260	–

Table 2 : Mechanical properties of piston alloys [10]

EXPERIMENTAL PROCEDURE

1. Selection and Preparation of Raw Materials

In this project, the piston was produced in two parts. The first part is metal matrix composite and the second part is Al alloy. Al alloy part is consisted of Al-Si eutectic alloy with adding 2.5 wt.% copper and 1.0 wt.% magnesium. On the other hand, the composite part was created by three different ways and compositions. The first one was performed by only adding 10 wt. % silicon carbide particles to the Al-12Si-2.5Cu-1Mg which is mentioned above in liquid form. The type of silicon carbide is F320 having an apparent density of 1.29 – 1.35 g/cm³, a bulk density of 3.4 g/cm³ and the average powder size is 29.2 ± 1.5 μm. The carbide powders were supplied by KLA Exalon, Norway [8]. The second composite part was formed by using pure Al powder having 44.0 ± 1.5 μm particle size for matrix instead of Al alloy in liquid state. The amount and the type of the reinforced particle are the similar to the composition of the first composite part. Finally, the third composite part was formed by using Al-Si eutectic powder with 44.0 ± 1.5 μm particle size for matrix instead of Al alloy in liquid state. The amount and type of reinforced powders are the same in the all composites. That is to say, in this experiment only the matrix material was changed. The designation of the specimens is listed in the table 3.

Designation	Description
Conventional Piston	The piston which is already used in the engine. It is consisted of Al-12Si-2.5Cu-1Mg alloy.
Sample 1	Al-12Si-2.5Cu-1Mg alloy in liquid + 10 wt. % SiC powder preform infiltrated with Al-12Si-2.5Cu-1Mg alloy.
Sample 2	Pure Al powder + 10 wt. % SiC powder preform infiltrated with Al-12Si-2.5Cu-1Mg alloy.
Sample 3	Al-12Si powder + 10 wt. % SiC powder preform infiltrated with Al-12Si-2.5Cu-1Mg alloy.

Table 3 : Detailed designation of the specimens

2. Casting of Piston Alloy

After preparation of raw material, the casting process was carried out. In this work, pistons were produced in two parts as it is mentioned before. The first part is composite production for piston head and the second part is infiltration of Al alloy. Firstly, the piston head was produced. After that, the rest of the part was produced by insertion casting. The production flow chart is also schematically shown in figure 4

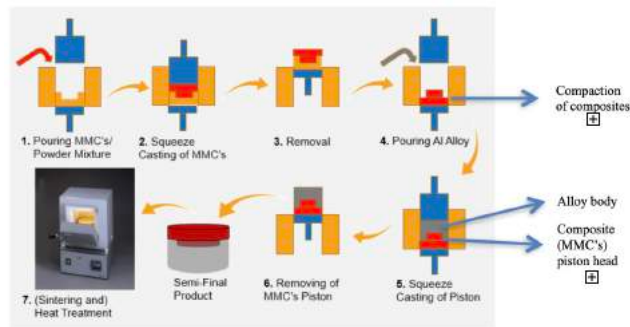


Figure 4 : Production flow chart of insertion casting of MMC's aluminum pistons developed in this work.

Sample 1 refers to Al-12Si-2.5Cu-1Mg alloy in liquid form + 10 wt.% SiC infiltrated with Al-12Si-2.5Cu-1Mg alloy. To form this composite, firstly, aluminum was put into the crucible. When aluminum melted at 680 OC, silicon particles were put into a melting pot. After silicon was dissolved in alloy, copper and magnesium were added into the liquid alloy. After all the alloying elements was dissolved in the crucible, SiC powders were added to the alloy while the alloy is in mushy state. At this time, the alloy was mixed with the help of the graphite rod until all SiC particles were completely wetted. Then, the furnace was turned on, and the temperature was again increased to 680 OC. Then, the composite alloy was poured into the mold.

Sample 2 refers to pure Al powder + 10 wt. % SiC powder preform infiltrated with liquid Al-12Si-2.5Cu-1Mg alloy. The powder size of pure Al is approximately 44.0 μm . To produce this composite, firstly, the Al powder and 10 wt.% of SiC particles, whose properties are explained before, were put into V shape mixer to mix homogeneously. They were mixed for about 75 minutes. Meanwhile, the die was heated up to 80-100 OC. After mixing the powders, this mixture was placed into the squeeze-casting die, and they were pressed at 500,000 N for 10 seconds. Then, the pressure was released. After these operations, the piston heads are ready for the insertion casting part.

Sample 3 refers to Al-12Si powder + 10 wt. % SiC powder preform infiltrated with Al-12Si-2.5Cu-1Mg alloy. The experimental procedures are the same as the production of "sample 2". However, in this sample, the Al-Si eutectic powder was used as a matrix material instead of pure Al powder. The powder size is about 50.0 μm . After composite heads were produced, the rest of the pistons were produced by using composite heads. Alloy preparation is the same as the production of sample 1. However, in this stage, SiC particles are not used. After alloy was produced, mold was heated at approximately 100 OC. The molten alloy was poured on the composite head, which is in the mold. The pouring temperature was approximately 730 OC. Casting and solidification time was approximately 25 seconds. After pouring, 680,000 N pressure was applied for 10 seconds. Then, the pressure was removed. The semi-final product which is shown in figure 4 was produced.

3. Heat treatment of Composite Pistons

After producing semi-final pistons, "sample 2" and "sample 3" were sintered at 560 OC for 85 minutes. For this operation, the samples are firstly put into the furnace at 25 OC. The furnace was switched on and started to heat with the 3 OC/min heating rate. When the furnace was heated up to 560 OC, the samples were hold on this temperature for 85 minutes. Then, they were cooled in air.

After sintering sample 2 and sample 3, all semi-final products including sample 1 that were produced by using squeeze-casting machine were heat-treated. For these samples, T6 heat treatment was applied. The samples were heated to 520 OC with again 3 OC/min heating rate, and hold on for 2 hours at this temperature. Then, it was rapidly cooled to room temperature in cold water. After that, they were aged. For ageing, products were heated to 180 OC for 6 hours.

4. Machining Operation

Heat-treated semi-final products were obtained up to here. Piston should be machined to desired dimensions and properties to fit the engine appropriately. Piston design was not changed in this project. Therefore, the semi-final pistons were machined according to the prior piston. For this purpose, the dimensions of the prior piston were measured. With the help of these dimensions, technical drawing of piston was made. Pistons were machined according to these technical drawings.

After machining operation, the pistons were ready to fit engine and work. The pistons that were machined are shown in figure 5. In this work, totally 4 pistons were produced.



Figure 5 : Pistons after squeeze casting and machining

5. Material Characterization

The pistons were characterized according to their physical and chemical properties. They were examined with spectrometer analysis machine, micro-hardness testing machine, 3-point bending test, X-Ray diffraction test and optical microscope analysis.

RESULTS AND DISCUSSION

1. Chemical Analysis

At the beginning of this study, the chemical analysis of the conventional piston (C. Piston) was done. According to this chemical composition, the material of the novel pistons was determined. The chemical analysis results of all specimens are shown in Table 4 below. These results belong to the Al alloy part of the novel pistons. All pistons are consisted of Al, Si, Cu and Mg.

C. Piston	84.5	12.2	2.48	0.34
Sample 1	82.82	12.13	3.18	1.61
Sample 2	82.4	12.02	3.25	1.58
Sample 3	82.9	12.05	3.3	1.63

Table 4 : Chemical analysis results in wt % of the pistons produced for this study.

2. Hardness Results

The hardness is an important mechanical property for the pistons. Pistons are exposed to high temperature and wear [7], [9]. Therefore, it shall be sufficiently hard to meet the requirements. For this reason, the hardness of the samples was measured. In the following, the hardness profiles of each samples are given.

The average hardness was measured as 117.0 HV for the conventional piston, 136.5 HV for Sample 1, 114.0 HV for Sample 2, 135.4 HV for Sample 3. Sample 1 and 3 have highest and nearly the same hardness value. However, Sample 2 has the lowest hardness value due to its composite part. Its composite part is consisted of only the Al powder. There are no additional elements such as Si, Cu and Mg.

In general, it can be said that the transition region has lower hardness value as it is seen on Sample 1 and 3 hardness profile, except for Sample 2.

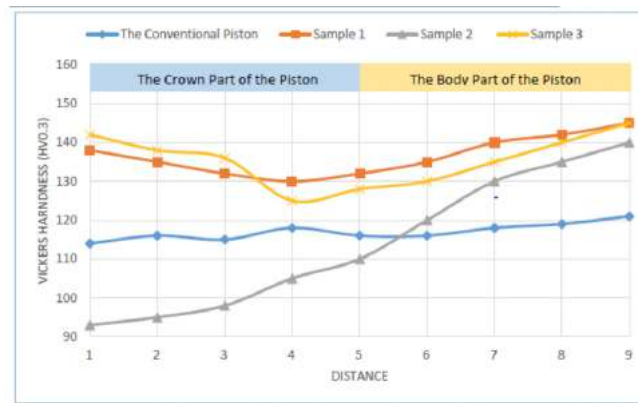


Figure 6 : Vickers hardness profile of the pistons developed for this work. Variation of hardness through section against the distance from surface of the crown section.

3. 3-Point Bending Test

The bending test was applied to only the sample 2 and the sample 3. The results of the conventional pistons and the sample 1 are taken from literature. Then, these results are compared to each other.

The flexural test results, showing in figure 8, are taken from literature “Effects of SiC particulates on the fatigue behavior of an Al-alloy matrix composite” [15]. In Figure 9 and 10, the flexural test results of sample 2 and sample 3. When considering the figures, it can be said that the addition of SiC particles increases the flexural stress. However, it decreases the ductility due to the mismatch between the matrix and the particulates resulting in a high dislocation density.

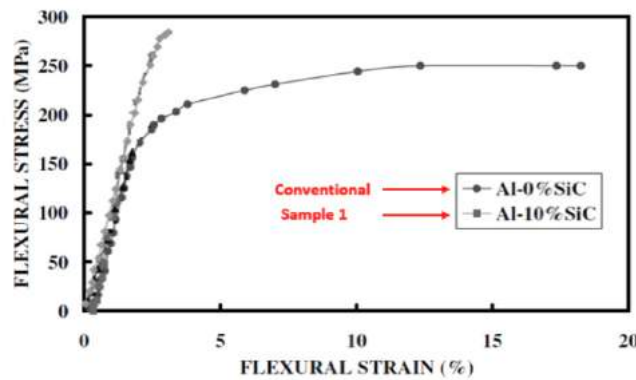


Figure 8 : Flexural test results of the conventional piston and the sample 1 [15].

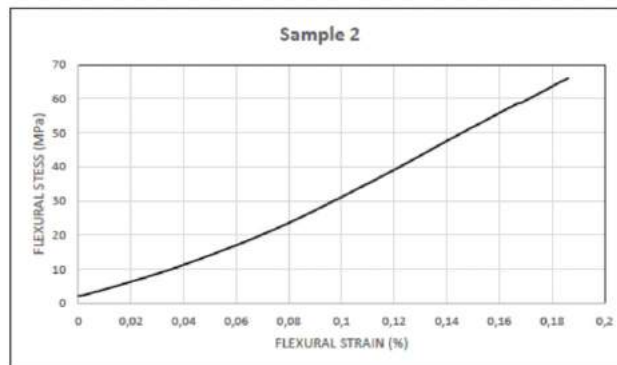


Figure 9 : Flexural test result of the sample 2.

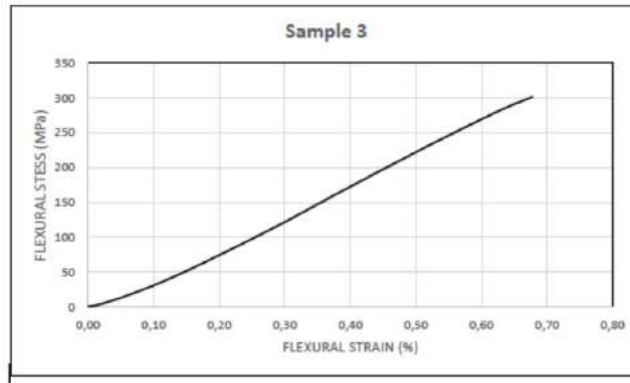


Figure 10 : Flexural test result of the sample 3.

4. X-Ray Diffraction Test

XRD tests of the novel pistons were done in two parts as composite region and Al alloy region. They are shown and examined in detail in the followings.

Al alloy parts are the same in all novel pistons. Therefore, only one XRD analysis was applied. The XRD pattern is shown in Figure 11 below. As it is seen in the figure, Al_2Cu , α -Al, primary Si, and $Al_4Cu_2Mg_8Si_7$ phases can be identified in the alloy investigated. These results are expected because the alloy consists of Al, Si, Cu, and Mg.

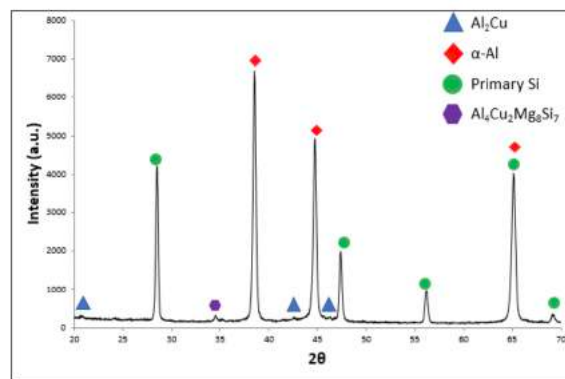


Figure 11 : The XRD pattern of Al alloy part of novel pistons.

XRD analysis was applied to composite parts of all samples separately. In Figure 12, the XRD pattern of the composite part of the sample 1 is shown. Here, SiC phases are observed, and $Al_4Cu_2Mg_8Si_7$ phases are not available compared to the alloy part of the piston. These results are also expected because it has SiC particles.

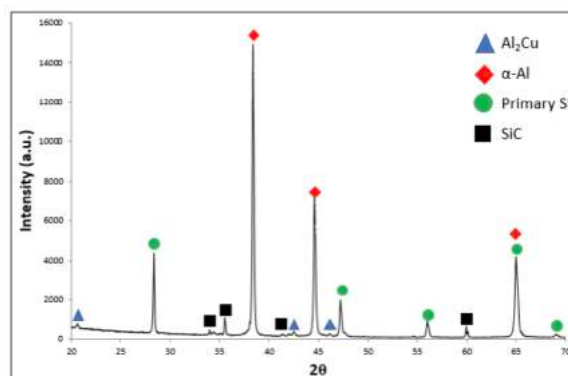


Figure 12 : The XRD pattern of the composite part of the sample 1.

In Figure 13, the XRD pattern of the sample 2 is available. This region consists of only Al powder and SiC particles. Therefore, as it is seen in the figure, only the α -Al and SiC phases are available.

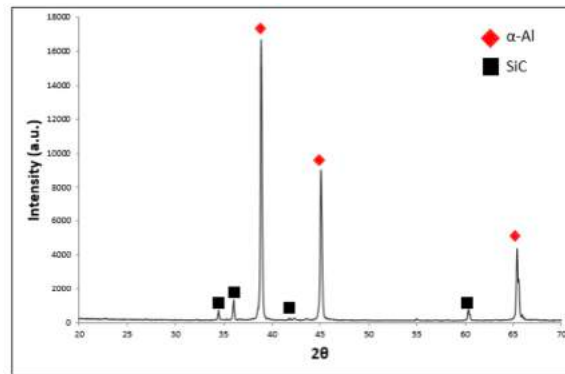


Figure 13 : The XRD pattern of the composite part of the sample 2.

Finally, the XRD pattern of the sample 3 is shown in Figure 14. This composite consists of Al-Si powder and SiC particles. When considering the figure below, α -Al, primary Si, and SiC phases are observed. This result is also expected.

All these results show us that the preparation of alloy and heat treatment operation of the novel pistons were done correctly. Expected phases are observed in all samples.

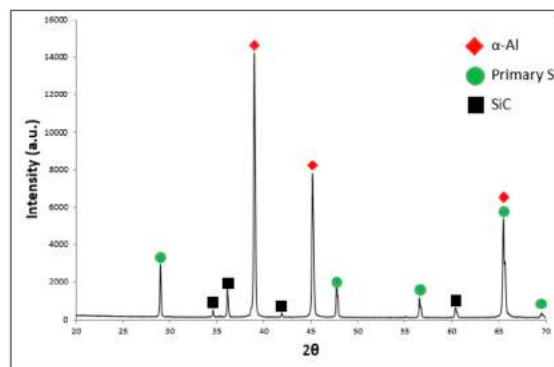


Figure 14 : The XRD pattern of the composite part of the sample 3.

5. Microstructure of Samples

The microstructures of conventional piston, which is etched with Keller solution of the conventional piston with different magnification are shown In Figure 15. In these micrographs, the primary Si phases are also observed. However, apart from primary Si phases it can be seen that they are Al₂Cu phases. These phases are marked on the microstructure (d). As it is mentioned above, Al₂Cu phases provide higher mechanical property to alloy. Especially after heat treatment, Cu forms Al₂Cu with Al [6].

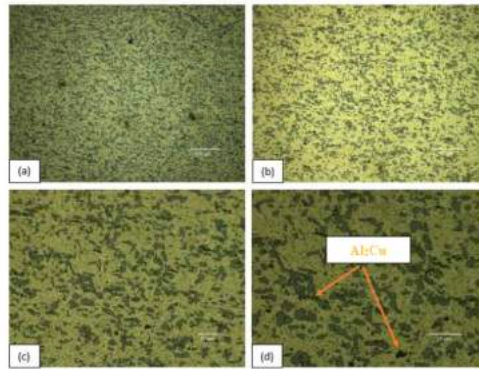


Figure 15 : Microstructures of the conventional piston with different magnifications, (a) lower magnification to (d) higher magnification as etched with Keller solution

The etched microstructures of the composite parts are shown In Figure 16. Here, the primary Si phases are observed in addition to SiC particles in sample 1 and 3. In sample 1, the non-homogenous structure is drawn the attention again. In this study, the non-homogeneity becomes the main issue. In the light of the information mentioned so far, homogeneity of reinforcement particles is the main point that should be considered when producing particle reinforcement pistons or etc. Moreover, in sample 2, only the SiC particles are observed with the optical microscope.

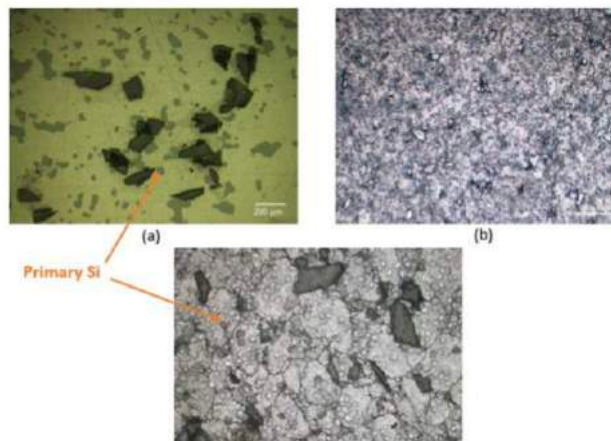


Figure 16 : Microstructures of the composite parts of (a) sample 1 in 200x magnification, (b) sample 2 in 200x magnification, and (c) sample 3 in 200x magnification.

In this study, the novel pistons consisted of two parts. The piston head was produced by metal matrix SiC particle reinforcement composite. The rest is Al-12Si-2.5Cu-1Mg alloy. It was mainly focused on the piston head MMC's alloy development because the piston head is the most damaged area. Figure 17 and 18 clearly show why the piston head is essential. To prevent pistons from wear and high temperature creep related damage, MMC's material is to be used.



Figure 17 : The example of damaged pistons [16].

The most critical section of a piston simulated by ANSYS software is given in Figure 18. In this figure, strain localization is maximum at the crown region, and strain values are in the range of 0.0088- 0.0706 mm deformation under 3.3 MPa applied stress reported by in K. Sathish Kumar's study [17]. This study attempts to improve wear and high-temperature fatigue resistance of pistons head used small-scale unmanned internal combustion engines. The Ansys simulation of the pistons shows the need and requirement of local reinforcement by adding SiC and primary silicon phase together to improve high temperature resistance for fatigue crack initiation and growth

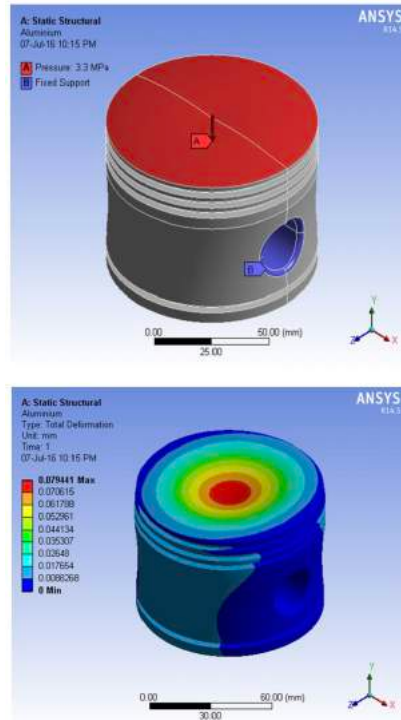


Figure 18 : Total deformation on piston simulated by Ansys stress analysis [17].

CONCLUSION

- 1- The sample 1 (Al-12Si-2.5Cu-1Mg alloy in liquid + 10 wt. % SiC powder preform infiltrated with Al-12Si-2.5Cu-1Mg alloy) revealed a non-homogenous microstructure which is not acceptable for wear resistant ring application.
- 2- The characterization of sample 2 (pure Al powder + 10 wt. % SiC powder preform infiltrated with Al-12Si-2.5Cu-1Mg alloy) revealed that the bonding of particles and matrix is weak and has poor mechanical properties when only Al powder is used.
- 3-Among three samples produced in this study, the sample 3 where Al-12Si powder + 10 wt. % SiC powder preform infiltrated with Al-12Si-2.5Cu-1Mg alloy gave the best results. This can be attributed to the presence of primary silicon and SiC particles together in the same matrix.

REFERENCES

- [1] Kim Young-Hwan, Lee S, Kim NJ. Fracture mechanisms of a 2124 aluminum matrix composite reinforced with SiC whiskers. *Metal. Mater. Trans. A* 1991;23A:2589–96.
- [2] The Aluminum Automotive Manual, European Aluminum Association 2011 9
- [3] E. Sjölander, S. Seifeddine, «The heat treatment of Al–Si–Cu–Mg casting alloys», *Journal of Materials Processing Technology* 210 (2010), pp. 1249–1259
- [4] Haskel, T., Ourique Verran, G., Barbieri, R., Rotating and bending fatigue behavior of A356 aluminum alloy: effects of strontium addition and T6 heat treatment, *International Journal of Fatigue* (2018), doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2018.04.012> 89
- [5] L. Diankun, G. Bo, Z. Guanglin, High-Current Pulsed Electron Treatment of Hypoeutectic Al-10Si Alloy, *High Temp. Mater. Proc.* 2017; 36(1), pp. 97–100

- [6] M.R. Ghomashchi, G.A. Chadwick, Solidification Behavior of Al/Si Alloy During High Pressure Die-casting, SERC-UK Supported Project, University of Southampton, UK, 1983
- [7] W. Meyer, Squeeze Forming, a Process for Producing High Quality Castings, Metall. 30 (1976), pp. 46-54 (GKN Translation 7547, BISI 14353).
- [8] A. Kalkanlı, S. Yılmaz, «Synthesis and characterization of aluminum alloy 7075 reinforced with silicon carbide particulates», Materials and Design 29 (2008), pp. 775-780
- [9] Karl U.Kainer Metal Matrix Composites Custom-made Materials for Automotive and Aerospace Engineering Wiley-VCH pp.49, 88, 264-265.
- [10] The Aluminum Automotive Manuel, European Aluminum Association 2011
- [11] A. Kamio, H. Tezuka, K. Takagi, Structures and Mechanical Properties of Squeeze-Cast Al-Li Alloys, vol. 541, The Light Metal Education Foundation, Chou-ku, Osaka, Japan, 1990.
- [12] A.Maleki, A.Shafyei, B.Niroumand, Effects of Squeeze Casting parameters on the Microstructure of LM13 alloy, Journal of Materials Processing Technology 209, pp 3790- 3797, 2009.
- [13] Lloyd, D. J. (1991) Factors Influencing the Properties of Particulate Reinforced Composites Produced by Molten Metal Mixing, in Metal Matrix Composites – Processing, Microstructure and Properties, National Laboratory: Denmark pp. 81-99
- [14] Arda Cetin, Ali Kalkanli, Effect of Solidification rate on Spatial Distribution of SiC Particles in A356 alloy Composites, Journal of Materials Processing Technology 205, pp 1-8, 2008.
- [15] C. Kaynak, S. Boylu, “Effects of SiC particulates on the fatigue behavior of an Al-alloy matrix composite”, Materials and Design, Vol 27, January 2005, pp. 276-282.
- [16] Comparison of Wear and New Pistons, Retrieved April 2018 from <http://www.protectivecoatingsystems.com/zmax>
- [17] K. Sathish Kumar, “Design and Analysis of I.C. Engine Piston and Piston-Ring on Composite Material Using Creo and Ansys Software”, Journal of Engineering and Science, Vol. 01, Special Issue 01, July 2016.

ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ YÜKSEK BASINÇLI DÖKÜMÜNDE KALIP TASARIM KRİTERLERİ VE PROSES PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ

Tufan ÖZAY ^a, Ali Serdar VANLI ^{b,c},

^aCan Metal Enjeksiyon Döküm San. Tic. A.Ş., Nilüfer, Bursa, Türkiye.

^bAscast Müh. San. Tic. Ltd. Şti., Esenler, İstanbul, Türkiye.

^cYıldız Teknik Üniversitesi, Beşiktaş, İstanbul, Türkiye.

ÖZET

Alüminyum alaşımlarının yüksek basınçlı döküm yönteminde makine, ekipman, hammadde ve insan girdilerinin yanı sıra, döküm kalıbı da oldukça önemli bir yer tutmaktadır. Bu girdiler sonucunda ulaşılmak istenen hedef; müşteri beklentilerini tam olarak karşılayan, yeterli kapasiteye sahip, kabul edilebilir fire oranında bir prosesin sağlanması ve talep edilen üretimin yapılmasıdır. Bu noktada kalıp tasarımı yapılırken, yukarıda bahsi geçen şartların iyi analiz edilmesi gerekmektedir. Yapılan analizler sonucunda kalıp tasarımına etki eden faktörlerin dikkatle incelenmesi, bu faktörlerin kalıp tasarımı hesaplamalarında giriş verilerini oluşturması ve çıktıların hesaplanan bu değerlerle karşılaştırması yapılmalıdır. Bu çalışma kapsamında, kalıp tasarım kriterlerinin belirlenmesi ve optimum proses parametrelerinin hesaplanması konusunda, literatür ve tecrübelerden elde edilmiş sonuçlar paylaşılacaktır. Bu sonuçların irdelenmesi esnasında, müşteri beklentilerinin de hesaplamalara nasıl dahil edileceği konusu ele alınacaktır.

Anahtar Kelimeler: Alüminyum Alaşımları, Basınçlı Döküm, Kalıp Tasarımı, Proses Parametreleri

ABSTRACT

The casting mold has an important place, in the high-pressure die casting method of aluminium alloys, besides machinery, equipment, raw material and operator inputs. The aim to be achieved as a result of these inputs; providing a process that fully meets customer expectations, having sufficient capacity, with an acceptable rate of loss and performing the requested production. At this point, while designing the mold, the conditions mentioned above should be analysed well. As a result of the analysis, it should be ensured that the factors affecting the die design are carefully examined and these factors generate input data in the mould design calculations and the outputs are compared with the calculated values. Within the scope of this study, the results obtained from the literature and experience will be shared in determining the mold design principles and calculating the optimum process parameters. During the examination of these results, the subject of how to include customer expectations in the calculations will also be discussed.

Keywords: Aluminium Alloys, High Pressure Die Casting, Mold Design, Process Parameters

1. GİRİŞ

Birçok avantajı sebebiyle günümüz imalat sektöründe, üretim miktarı ve kalite beklentisinin yanı sıra, tasarlanan parçanın karmaşık şekillerden oluşması ve klasik döküm yöntemleri ile üretilmesi zor olan parçaların üretiminde yüksek basınçlı döküm tekniğinin kullanımı artmıştır. Yüksek basınçlı döküm yöntemi ile birçok farklı alaşım kullanılarak döküm yapılabilmektedir.

- Alüminyum alaşımları
- Magnezyum alaşımları
- Çinko (Zamak) alaşımları
- Kurşun alaşımları
- Bakır alaşımları

Bu çalışmada alüminyum alaşımlarının yüksek basınçlı döküm yöntemiyle üretilmesi için gerekli olan tasarım kriterleri ve parametre değerleri paylaşılmıştır. Böylesine zorlu değişkenlerin (yüksek basınç, yüksek hız, sıcaklık, sıvı metal, kalıp ve döküm makinesi) iç içe olduğu bir üretim yönteminde, müşteri beklentilerini karşılayacak parça kalitesini sürdürülebilir şekilde sağlayabilmek için uygulanacak proses parametrelerini, riskleri azaltacak şekilde ortaya koymak ve hesaplamak gerekmektedir. Kalıp tasarımı, yolluk tasarımı, hava tahliye sistemi tasarımı, hesaplanan proses parametreleri ile uyumlu olmalı ve proses değişkenliklerinin getireceği riskleri azaltıcı yönde bir etki sağlamalıdır. Tüm çalışmalar, istenilen döküm parça kalitesini, kabul edilebilir değişkenlikler içinde sürekli olarak sağlamayı amaç edinilerek yapılmaktadır. Bu sebeple, sürece döküm parça kalitesini etkileyen konuları inceleyerek başlamak gerekmektedir.

2. PARÇA KALİTESİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Döküm parçasının kalite kriterleri kullanılacağı yere (iç ortam, dış ortam), fonksiyonelliğine (dar veya geniş toleranslar), üzerine uygulanacak yükün türüne ve miktarına (statik, dinamik, değişken) kısacası müşterinin beklentilerine bağlıdır. Bu sebeple kalıp tasarım kriterleri ve proses parametreleri incelenirken üretilecek parça iyi anlaşılmalı ve müşteri beklentilerinde üzerinde durulmayan açık bir nokta kalmamalıdır.

Unutulmamalıdır ki yapılacak üretimin kabulü, bu beklentilerin sağlanması ve sürekliliği ile sağlanacaktır. Yüksek basınçlı döküm prosesinde üretimin kalitesini etkileyecek genel faktörleri listelemek istersek;

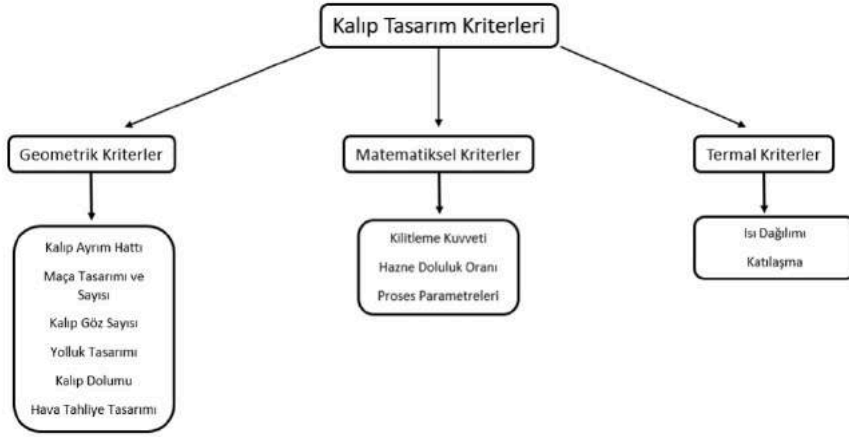
- Ergiyik metal
- Döküm makinesi
- Döküm kalıbı
- Kalıp şartlandırıcı
- Yağlama ünitesi
- Proses parametreleri

Bu faktörlerin kendi içlerinde değişkenlikleri, birbirlerini olumlu veya olumsuz yönde etkilemektedir. Örnek vermek gerekirse, artan sıvı metal sıcaklığı akışkanlığı iyileştirdiği gibi kalıba gelecek ısı yükü de arttırmaktadır. Bu durum ise kalıp şartlandırıcısının artan ısı yükü altında çalışma koşullarını zorlaştırmaktadır. Sonuç olarak bu değişkenler birbiriyle uyumlu olarak değerlendirilmeli ve mühendislik bakış açısına göre optimum bir tasarım ve hesaplama yapılmalıdır.

Günümüzde bu tasarımlarla hesaplanan değerler arasındaki uyumu ve ilişkiyi inceleyebileceğimiz, değerlendirilebileceğimiz ve değişiklikleri karşılaştırabileceğimiz gelişmiş simülasyon yazılımları mevcuttur. Bunlar son yıllarda oldukça yaygın hale gelmiş olup birçok dökümhane ve kalıphane bu yazılımlar yardımıyla tasarımlarını doğrulamakta ve imalata geçmeden önce mevcut durumu değerlendirme imkânı bulmaktadır [1].

3. KALIP TASARIM KRİTERLERİ VE PROSES PARAMETRELERİ

Kalıp tasarım kriterleri, uygulamada kalıp tasarımı için gerekli giriş bilgilerini toplamak ve ilk hesaplamaları yapmak için elde edilen bilgiler topluluğudur (Şekil 1). Tüm bu değişkenler ve kriterlerin optimum hale gelmesiyle, sürekli ve beklentiye karşılayan parça kalitesi, kabul edilen bir kalıp ömrü, optimum bir çevrim süresi değerlerine ulaşmak hedeflenmektedir [2].



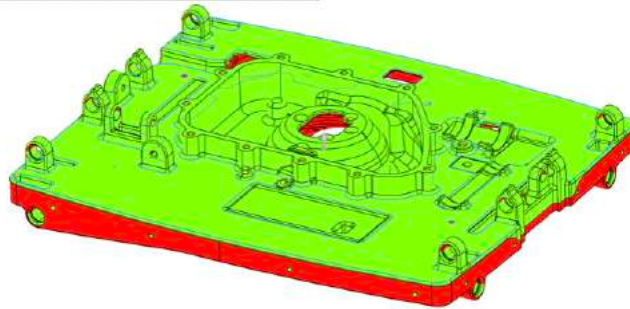
Şekil 1 : Kalıp tasarım kriterleri

3.1 Geometrik Kriterler

Bu bölümde incelenen değişkenler parça geometrisi ve bu geometrinin kalıba etkileri olarak değerlendirilmektedir.

3.1.1 Kalıp Ayrım Hattı

Bu kavram genellikle müşterinin parça tasarımı ile ortaya konulmaktadır. Ayrım hattı, basınçlı döküm yöntemi ile üretilecek parçanın proses gereği iki ayrı çelik grubuna ayrılacağı şeklin ve kesişim bölgelerinin tanımlanmasını içerir. Bu hattın ilk tasarımı müşteri verisi ile gelir ve kalıp tasarımı yönünden uygun olup olmadığı yönünde değerlendirilir. Eğer gerek duyulursa revize edilir ve mutlaka müşteri onayı alınılarak kalıp tasarımında uygulanır. Günümüz modern tasarım programları bu incelemeyi otomatik olarak yapabilmektedir (Şekil 2).

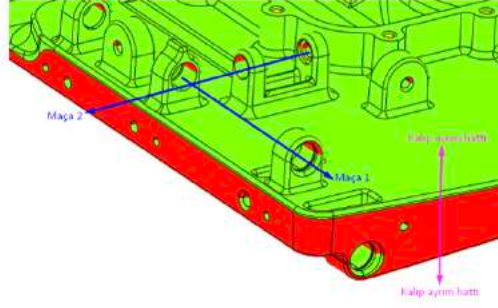


Şekil 2 : Yeşil ve kırmızı yüzeyler parçanın ayrım hattını göstermektedir.

3.1.2 Maça Tasarımı ve Sayısı

Maça; kalıp ayrım hattına dik yönde bulunmayan ve parçanın kalıp içinden çıkarılmasını engelleyen geometrik figürleri elde etmek için kullanılan çeşitli tahrik mekanizmaları ile (hidrolik ve mekanik) hareket eden kalıp bileşenidir. Maçaların sayısı, parçanın kendi içindeki maça hareketlerinin sıralanması ve birbirleri ile kesişme durumlarının tespiti açısından çok önemlidir.

Şekil 3'te, aynı parça içinde maça grupları birbirleriyle kesişmektedir. Tasarım açısından içi içe geçen maçalar, basınçlı döküm yönteminde uygulaması zor ve riskli bir durum oluşturur. Böyle durumlarda kalıp tasarımında genellikle tek maça uygulanır ve istenen figür döküm sonrası talaşlı imalat yöntemi ile elde edilir. Bu ise ilave işçilik, operasyon ve masraf anlamına gelmektedir. Şekil 3'te, Maça 1 ve Maça 2 hareketleri birbirleri ile çalışmaktadır. Bu örnekte maçalardan sadece bir tanesi kalıplama ile uygulanabilir, ikinci maça ile çıkması gereken figürler ise döküm prosesi sonrası talaşlı imalat yöntemleri ile elde edilmelidir.



Şekil 3 : Aynı parça içinde birbirisiyle kesişen maça grupları

3.1.3 Kalıp Göz Sayısı

Kalıp göz sayısı, kalıbın bir çevrimde kaç adet parça üreteceğini belirleyen, parça maliyeti üzerinde oldukça büyük etkisi olan önemli bir kriterdir. Kalıp göz sayısını belirlemek için parçanın yıllık ortalama üretim (forecast) miktarı üzerinde basit bir kapasite kullanım oranı hesabı yapılarak öngörü verisi oluşturulmalıdır. Sonrasında, bu öngörü verisinin geometrik kıstaslar göz önüne alındığında sağlanıp sağlanamayacağı ve bu göz sayısında kalıp üretiminin riskleri görüşülerek çok disiplinli bir karar mekanizması ile nihai sonuca ulaşılması önerilir [3].

Kapasite kullanım oranı hesaplamak için;

- Yılda kaç hafta çalışma olduğu (52 haftanın tamamı üretim olmamaktadır, resmi bayramlar, yıllık izinler ve bakım zamanları düşülerek hesaplama yapılmalıdır),
- Haftalık çalışma günü (İşletmenin çalışma düzenine göre 5 gün veya 6 gün olabilir),
- Günlük çalışma saati (Yemek, çay ve dinlenme gibi molalar düşülmelidir),
- Toplam çalışma süresi Çizelge 1’de verilmiştir.

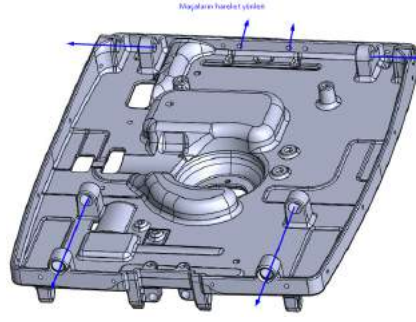
Toplam Çalışma Süresi	
Yıllık Çalışma Haftası	48 hafta
Haftalık Çalışma Günü	6 gün
Günlük Çalışma	21 saat
Yıllık Çalışma Süresi	21.772.800 saniye

Çizelge 1 : Toplam çalışma süresi hesabı

- Mevcut kalıp için tahmini bir çevrim zamanı belirlenir (Benzer projelerden referansla),
- Üretim kayıplarını hesaba dahil edebilmek için proje için genel bir OEE (Overall Equipment Effectiveness) oranı belirlenir veya genel dökümhane OEE değeri kullanılabilir (%75 gibi),
- Yıllık kapasite kullanım formülü aşağıdaki gibi oluşturulabilir,

$$\text{Yıllık Sipariş Miktarı} \div \left[\left[\frac{\text{Yıllık Çalışma Süresi (s)}}{\text{Çevrim zamanı (s)}} \right] \times \text{Göz sayısı} \times \text{OEE} \right] \quad (1)$$

Bunun sonucunda parça için öngörülen göz sayısının geometrik olarak değerlendirilip kalıp tasarımına uygun olması gerekmektedir. Mevcut parça için kalıp yerleşiminde çok gözlü tasarım yapılması geometrik olarak mümkün değildir. Kalıp ebatları ve maça hareketlerinin birbirisiyle çakışması çok gözlü tasarımı mümkün kılmamaktadır. Bu sebeple, tek gözlü tasarım üzerinde mutabık kalınmıştır (Şekil 4).

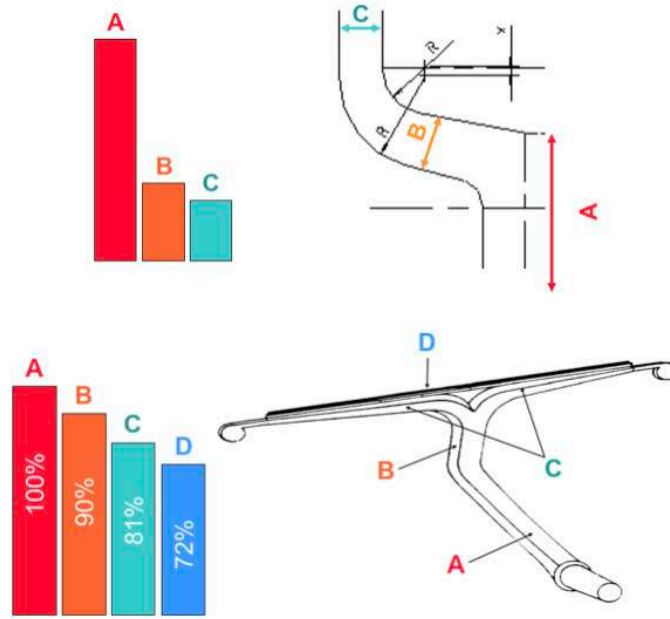


Şekil 4 : Tek gözlü tasarımda maçaların hareket yönleri

3.1.4 Yolluk Tasarımı

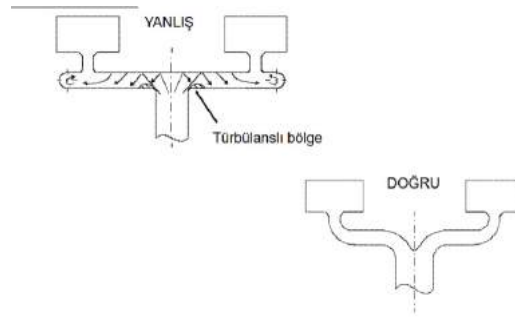
Yüksek basınçlı döküm kalıbı tasarımında en önemli konulardan biri de yolluk tasarımıdır. Yolluk tasarımı, akışkanlar mekaniği kurallarına uygun olacak şekilde ve hesaplamalar esnasında belli başlı kabul kriterlerine dikkat edilerek yapılmalıdır. Yolluk kesitleri hazneden kalıp boşluğunu oluşturan figüre doğru kademeli olarak (laminer akışı bozmayacak şekilde) ayarlanmalıdır. Sıvı metalin laminer akışını koruyabilmek için dönüşlerde %10-30 oranında kesitler daraltılmalıdır.

Genel kural olarak sıvı metalin akışı yönünde kesitlerin azaltılması, sıvı metali statik basınç altında tutar, ergiyik içine hava kapma ihtimalini azaltır ve laminer bir akış sağlar. Şekil 5'te kesit değişiminin hatalı bir uygulaması üstte, kesit daralmasına göre uygun yapıda bir çizim de altta gösterilmektedir [2].



Şekil 5 : Kesit değişimi hatalı uygulama (üstte), kesit değişimi doğru uygulama (altta)

Yolluk tasarımının alt maddelerinden biri de özellikle çok gözlü kalıplarda yolluğun kollara ayrılması konusudur. Bu ayırma işlemi düzgün yapılmadığı takdirde akışta bozulma, hız ve basınç kaybı, sıvı metalin içine hava kapması gibi problemler ortaya çıkabilir ve ürün kalitesi kötü yönde etkilenir. Doğru ve yanlış uygulama örnekleri Şekil 6'da gösterilmektedir [4].

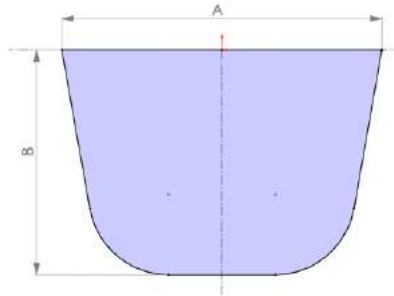


Şekil 6 : Yolluğun kollara ayrılması

Yolluk kesit geometrilerinin karşılaştırması için aşağıda bulunan karşılaştırma tablosu hazırlanmıştır (Çizelge 2). Kalıp tasarımında trapez yolluk tercih edildiğinde optimum akış ve soğuma için A / B oranı olarak $1 / 0,6 - 0,8$ uygulanmalıdır (Şekil 7) [4].

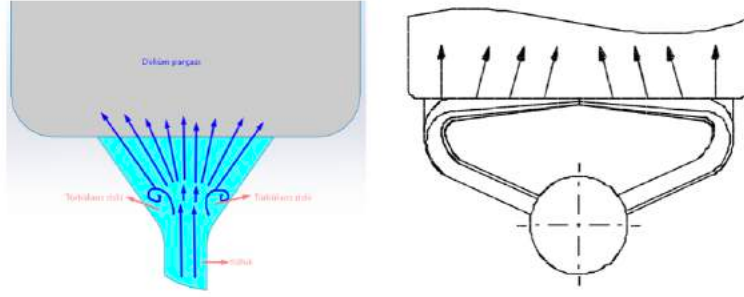
Düzlemsel Kesitli Yolluk	Silindirik Kesitli Yolluk	Trapezoidal Kesitli Yolluk
Geniş yüzey	Dar yüzey	Optimum yüzey
Yüksek ısı kaybı	Az ısı kaybı (geç soğuma)	Optimum ısı kaybı
Yüksek akış direnci	Düşük akış direnci	Optimum soğuma zamanı
Akış açısından tercih edilmez	Optimum akışı sağlar	Optimum akış direnci
Üretimi kolay	Üretimi zor	Üretimi kolay

Çizelge 2 : Yolluk kesit geometrilerinin karşılaştırma tablosu



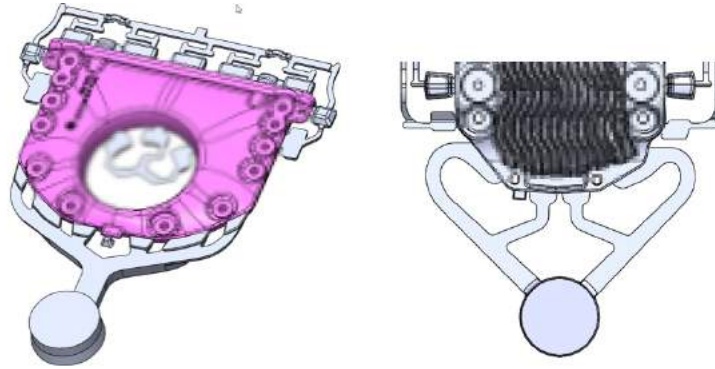
Şekil 7 : Trapez yollukta A / B oranı $1 / 0,6 - 0,8$ olmalıdır

Farklı yolluk giriş tipleri uygulamada karşımıza çıkmaktadır. Fan tipi (yelpaze) yolluk girişi (Şekil 8, solda), genellikle düzlemsel parçalara yolluk girişi olarak uygulanmaktadır. Tanjant tipi yolluk girişi (Şekil 8, sağda) ise fan tipi yolluğa göre daha az türbülans olması istenen yerlerde ve düzlemsel parçalarda uygulanmaktadır. Genellikle uygulamada bu temel giriş prensipleri karma şekilde, bir veya birden çok adetli olarak karşımıza çıkmaktadır [4].

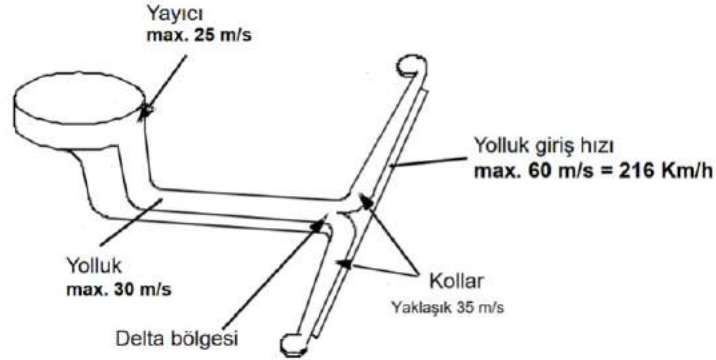


Şekil 8 : Fan tipi yolluk girişi (solda), trapez tipi yolluk girişi (sağda)

Şekil 9'da birden çok yolluk girişi uygulaması ile olumlu sonuçlar alınmıştır. Sağdaki örnekte iki yerde tanjant yolluk girişi ve iki adet de fan tipi yolluk girişi ile uygun sonuç alınmıştır. Yolluk içerisinde sıvı metal hareket ederken belirli bir hız aralığında yol almalıdır. Alüminyum alaşımlarının yüksek basınçlı dökümünde sıvı metal için önerilen yolluk giriş hızları Şekil 10'da verilmiştir.

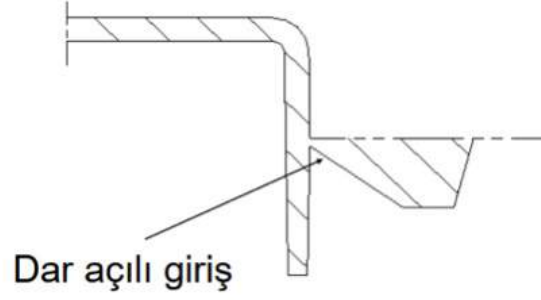


Şekil 9 : Karma yolluk girişi örnekleri



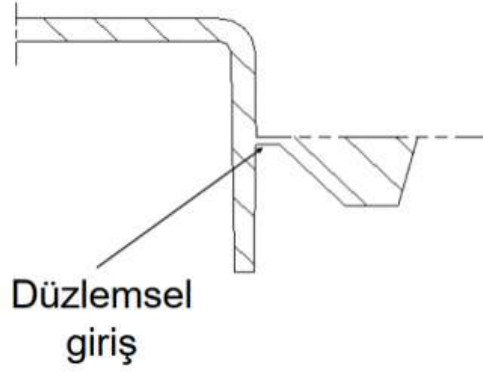
Şekil 10 : Alüminyum için önerilen yolluk giriş hızları

Yolluk tasarımında parçaya giriş tipleri için pratikte uygulanan yöntemler şöyledir; Dar açılı giriş; bu giriş şeklinde yolluğun belirli bir eğimle hiç düzlük alan bırakılmadan kalıp boşluğuna geçişi sağlanır. Bu giriş tipinde sıvı metalin parçaya giriş hızının 30-50 m/s olarak alınması önerilmektedir. Bu giriş tipinde sıvı aşırı derecede ısınmaktadır ve bu durum yolluk girişinde sorunlara sebep olabilmektedir (Şekil 11).



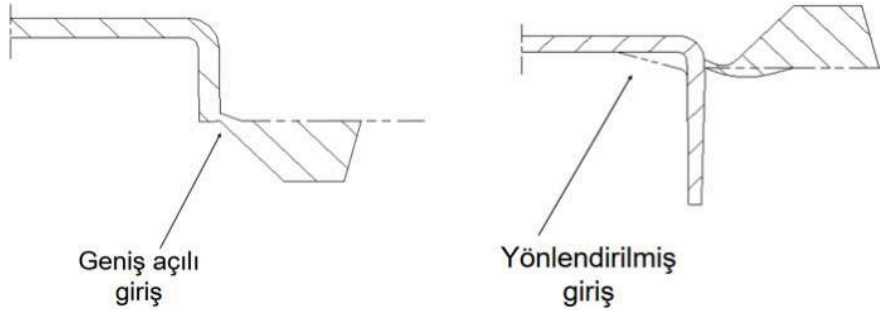
Şekil 11 : Dar açılı yolluk girişi

Düzlemsel giriş; bu giriş şekli dar açılı girişe benzemekle beraber, giriş kısmında düz bir yüzey elde edildiği için bu ismi almaktadır. Bu giriş tipinde sıvı metalin parçaya giriş hızının 30-55 m/s aralığında olması önerilmektedir. Bu giriş yöntemi aşırı ısınmaya engel olmaktadır ancak katılaşma fazında ihtiyaç duyulan sıkıştırma basıncının etkinlik süresini oldukça azaltmaktadır (Şekil 12) [4].



Şekil 12 : Düzlemsel yolluk girişi

Geniş açılı giriş; bu giriş şekli dar açılı girişin tam tersidir. Aşırı ısınmış bölge oluşumunu engellemektedir. Ancak trimleme operasyonunda istenmeyen olumsuz sonuçlara sebep olabilmektedir (Şekil 13, sol). Yönlendirilmiş giriş; bu giriş şeklinin uygulanabilmesi için, parça geometrisinin de elverişli olması gerekmektedir. Bu giriş, aşırı ısınmayı önlediği gibi sıvı metali yönlendirerek iyi bir dolum sağlamaya da yardımcı olmaktadır (Şekil 13, sağ) [4].



Şekil 13 : Geniş açılı yolluk girişi (sol), yönlendirilmiş yolluk girişi (sağ)

Yolluk giriş hızları hesaplanırken üretilecek parçanın “kritik et kalınlığına” bağlı olarak önerilen yolluktan parçaya giriş hızları aşağıdaki tabloda verilmiştir (Çizelge 3) [4].

Et Kalınlığı	Yolluk Giriş Hızları (Alüminyum)
Kalın Cidarlı Parça (3 mm ve üstü)	20 - 30 m/s
Normal Cidarlı Parça (1.2 - 3 mm)	30 - 50 m/s
İnce Cidarlı Parça (0.8 - 1,2 mm)	45 - 60 m/s

Çizelge 3 : Yolluktan parçaya giriş hızları

Yolluktan parçaya giriş şekli tasarlanırken önemli noktalardan bir tanesi de giriş bölgesinin kalınlık değerinin belirlenmesidir. Bu kalınlık değeri, üretilecek parçanın et kalınlığına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bu ilişkiyi aşağıdaki tabloda görebilirsiniz (Çizelge 4).

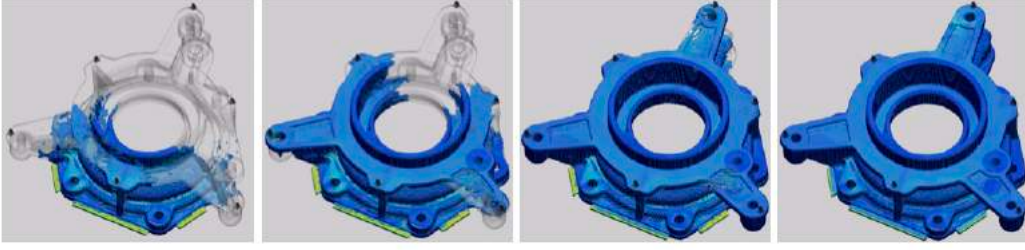
Et Kalınlığı	Yolluk Giriş Kalınlıkları (Alüminyum)
Kalın Cidarlı Parça (3 mm ve üstü)	1.5 - 3.0 mm
Normal Cidarlı Parça (1.2 - 3 mm)	1.0 - 1.5 mm
İnce Cidarlı Parça (0.8 - 1,2 mm)	0.8 - 1.0 mm

Çizelge 4 : Yolluk giriş kesiti için önerilen kalınlık değerleri

Çizelge 4 ile ilgili olarak, 1.0 mm'nin altında giriş kesiti kalınlıkları sadece çok ince cidarlı parçalarda uygulanır. Uygulandığı takdirde dolumu sağlayabilmek için sıvı metali yüksek hız ve sıcaklık değerlerine getirerek dolum yapılması gerekebilir. 3.0 mm'den daha kalın giriş kesiti ise trimleme operasyonu sırasında yüksek parça tahribatı riski taşıdığından, pratikte uygulanması önerilmemektedir. Uygulandığı durumlarda üretilecek parçanın trim sırasında tahrip olmaması için özel çözümler planlanması gerekebilir.

3.1.5 Kalıp Dolumu

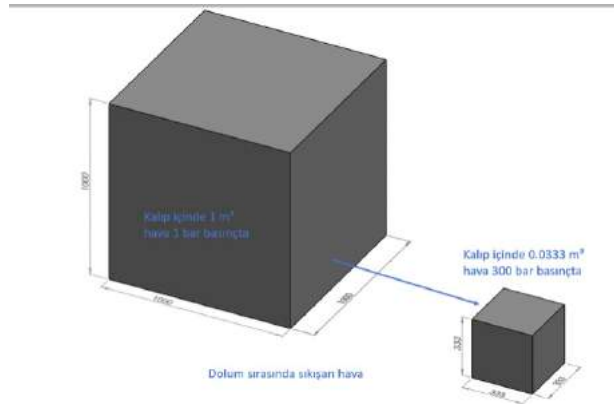
Kalıp dolumu günümüzde simülasyon programlarının gelişmesiyle incelenebilen bir kavram olmuştur. Burada amaç tasarlanan yolluğun istenilen kalite seviyesinde parça üretmeye yeterli olup olmadığının belirlenmesidir [5]. Yolluk tasarım kriterleri göz önüne alınarak hazırlanan yolluklu döküm salkımı, simülasyon programları yardımıyla analiz edilir ve sonuçlarda görülen uygunsuzluklar değerlendirilip, revizyonlardan sonra tekrar simülasyon koşumu yapılarak yeniden değerlendirilir. Bu döngü istenilen parça kalitesinin kesintisiz olarak sağlanacağı düşünülen noktaya kadar sürdürülür. Şekil 14'te simülasyon programından dolum esnasında alınan görsellere yer verilmiştir.



Şekil 14 : Simülasyon programından dolum esnasında alınan görseller

3.1.6 Hava Tahliye Tasarımı

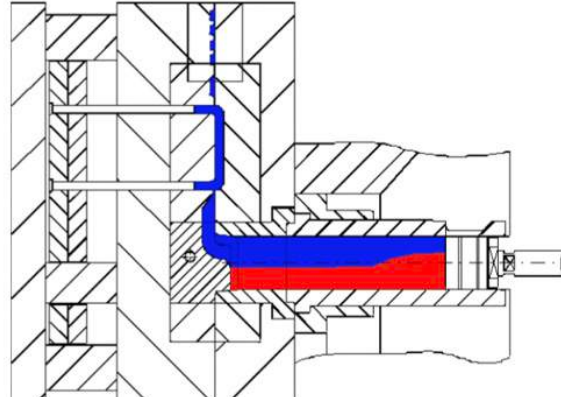
Yüksek basınçlı alüminyum parça dökümü esnasında en çok mücadele gerektiren konulardan birisi döküm kalıbı içinde bulunan havanın sıvı metalin içine karışmadan ve hapsolmeden tahliye kanallarından dışarıya atılmasıdır. Eğer kalıp içindeki hava, döküm sırasında dışarı atılmaz ise mevcut hava hacmi, sıvı metalin kalıp boşluğunu doldurmasıyla azalacak, buna karşılık basıncı artacaktır (Şekil 15) [6].



Şekil 15 : Hacim ve basınç sabitliği ilkesine göre $1 \text{ m}^3 \times 1 \text{ bar} = 0.0033 \text{ m}^3 \times 300 \text{ bar}$

Bu durum ilerlemeye çalışan sıvı metale karşı kuvvet oluşturur, daha da kötüsü kalıp içerisinde tahliye edilemeyen hava, parçanın içine yayılarak yüksek basınçta hapsolmüş baloncuklar haline dönüşür. Bu durum üretilen parçanın fonksiyonlarını yerine getirememesine, döküm prosesinden sonra uygulanacak fırın boya, kaplama, ısıl işlem, kaynak gibi proseslerde yüzeyde kabarcık oluşturarak alüminyum döküm parçasının hurdaya ayrılmasına ve kullanılamaz hale gelmesine sebep olabilir [4].

Bu gibi durumları yaşamamak ve parça kalitesini istenilen seviyede sağlayabilmek için kalıp içerisindeki havanın mutlaka tahliye edilmesi gerekmektedir. Aşağıda kapalı halde döküme hazır bekleyen bir kalıpta sıvı metal “kırmızı” renkte ve hava “mavi” renkte gösterilerek atılması gereken hava miktarı şematik olarak belirtilmiştir (Şekil 16).



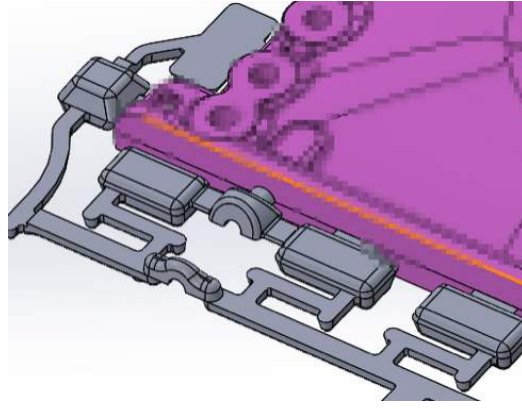
Şekil 16 : Kalıp içinden tahliye edilmesi gereken hava (mavi renkte)

Hava tahliye kanalları; kalıp boşluğundan kalıbın dışına doğru açılan, havanın atmosfere ulaşmasını sağlayan kanallardır. Bunlar açılırken genişlik ve derinlik oranına dikkat edilmelidir. Eğer fazla derin veya geniş açılırsa katılaşma gecikeceğinden kalıptan dışarıya doğru sıvı metal püskürmesi meydana gelebilir ve üretim sırasında istenmeyen bir durum oluşur. Yetersiz kesitli kanallarda ise verimli ve etkili bir hava tahliyesi yapılamaz. Bu durum kanallarda yüksek akış direnci oluşturur ve tahliye olan hava miktarı oldukça düşük seviyelerde kalır. Bu sebeple, hava tahliye kesitleri dikkatli bir şekilde hesaplanmalı ve kalıba uygulanmalıdır (Şekil 17) [6].



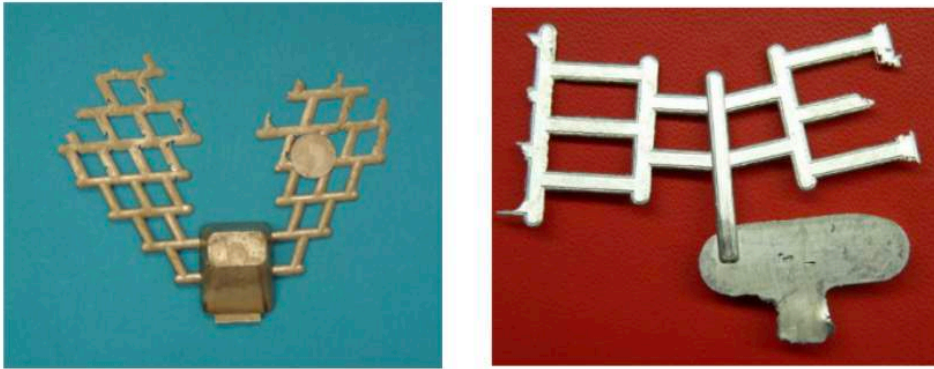
Şekil 17 : Hava tahliye kanalları

Taşma cepleri (hava cepleri); parçayı oluşturan kalıp gravürünün dışına açılan kalıp boşluklarıdır. Bu boşluklara kalıp yüzeyine ilk temas eden sıvı metalin dolması hedeflenir. Bu sayede içeriğinde oksit ve impürte barındıran, kalıp yüzeyi ile ilk temas eden sıvı metal, gravür kısmında kalmadan parça dışına alınmış olur. Taşma ceplerinin parça kalitesine etkisi oldukça büyüktür. Özellikle sıkıştırma fazında oluşabilecek basınç piklerini sönmüleyerek kalıbın çapağa gitmeden döküm yapılmasına yardımcı olur. Parçanın kalıptan iticilerle çıkarılması sırasında dengeleme yaparak parçanın çıkışını kolaylaştırır. Tüm bu faydalarının yanı sıra parça boşluğuna ilave bir hacim oluşturduğundan, dolum süresini uzatır ve ihtiyaçtan fazla hammaddenin dökülmesine yol açar. Açılacağı yerleri belirlemek için simülasyon programlarından yardım alınabilir. Genel uygulama, kalıp boşluğu dolduktan sonra havanın sıkışacağı yerlere taşma ceplerinin açılması yönündedir. Ancak parça beklentileri ve proses gereklilikleri doğrultusunda farklı tasarımlar da yapılabilir (Şekil 18).



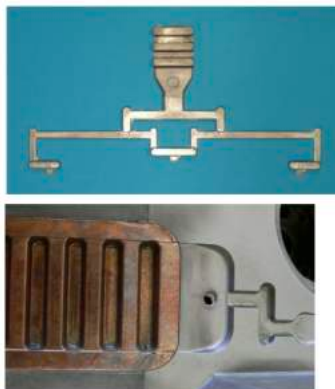
Şekil 18 : Taşma (hava) cepleri

Menderes ile havalandırma; bu yöntem ilk maddede bahsi geçen hava tahliye kanallarının, taşma cebinden sonrasında zikzaklar şeklinde birbirine dik doğrultuda oluşturulan kanallar topluluğu ile yapılmasıdır (Şekil 19). Burada amaçlanan kanallarda hızla hareket eden sıvı metalin kanalın duvarlarına çarparak enerji, hız ve sıcaklığını kaybedip katılaşmasını sağlayarak havanın tahliye edilmesidir. Bu kanalların derinliği 0.3-0.5 mm aralığında yapılmalıdır. Genişlikleri ise 3-5 mm aralığında olabilir.



Şekil 19 : Menderes ile havalandırma

Chilvent ile havalandırma; sıvı metalin chilblok adı verilen ilave parçalarda soğutulur katılaşması ile kalıp dışına havanın tahliye edilmesi yöntemidir. En efektif ve etkili tahliye yöntemlerinden biridir. Kalıbın dışına açılan derin ve geniş kanallar havayı ve sıvı metali chilbloklara getirir, bu blokların tasarımı ve bloklara işlenmiş soğutma sıvısı delikleri sayesinde ergiyik metal katılaşır ve hava tahliye olur (Şekil 20).



Şekil 20 : Chilvent ile havalandırma

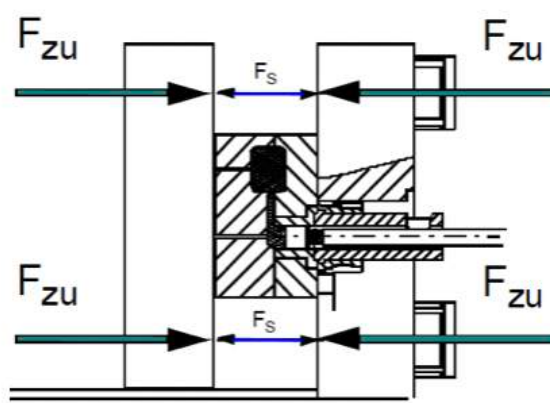
3.2 Matematiksel Kriterler

Bu bölümde tanımlanan kavramlar akışkanlar mekaniği kuralları ve mühendisliğin temel kanunları yardımıyla hesaplanarak elde edilen değerlerdir. Matematiksel ve geometrik kriterler değerlendirilirken, aynı anda incelenir ve hesaplanır. Birindeki revizyon diğer kısmı etkiler ve kontrol edilmesini gerektirir. Kavramlar sistematik bir döngü şeklinde ele alınmalıdır. Bu döngü geometrik ve matematiksel değerlendirme kriterleri optimum noktaya gelene kadar ve sonuçları simülasyon programları ile doğrulanana kadar devam eder.

3.2.1 Kilitleme Kuvveti Hesaplanması

Genellikle iki ayrı çelik yarisından oluşan döküm kalıbı, parçanın dolum ve sıkıştırma fazları esnasında döküm makinasının enjeksiyon grubu tarafından parçaya uygulanan bir hidrostatik basınca maruz kalır. Bu durum kalıp çeliklerini birbirinden ayıracak bir kuvvet oluşmasına sebep olur, eğer kalıp bu kuvvet etkisiyle açılırsa sıvı metale uygulanan sıkıştırma basıncının parça üzerindeki etkisi azalır, kalıp çapağa gider ve parça kalitesi azalır.

Kalıbın açılmasına karşı koyan bu kuvvet kavramı “kilitleme gücü” olarak tanımlanır ve hesaplanarak istenilen parçanın üretilebileceği döküm makinasının seçiminde değerlendirilir (Şekil 21) [4].



Şekil 21 : TKilitleme kuvveti hesabı

“Fzu” kilitleme kuvvetini, “Fs” açma kuvvetini, “S” ise güvenlik katsayısını göstermektedir. Aralarındaki ilişki aşağıdaki (2), (3) ve (4) numaralı eşitlikler ile hesaplanır. Emniyet katsayısı olarak 1.1-1.3 arasında bir değer seçilir. Bu formülasyondaki “P” (bar) ise istenilen parça kalitesine göre belirlenecek olan spesifik kalıp içi ütüleme basıncını tanımlamaktadır (Çizelge 5). “As” (cm²) ise kalıbı açma yönünde etkileyen direkt “Ad” ve indirekt “Aid” (maça yüzeyleri) kalıp içi basınca maruz kalan yüzey alanlarının toplamıdır ve kısaca projeksiyon alanı olarak adlandırılır (Şekil 22). Örnek bir hesaplama tablosu Şekil 23’te görülmektedir. [4]

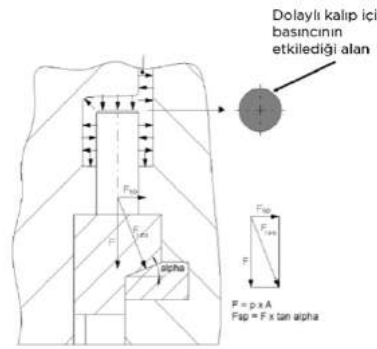
$$F_{zu} \text{ (kN)} = F_s \text{ (kN)} \times S \quad (2)$$

$$F_s \text{ (kN)} = A_s \text{ (cm}^2\text{)} \times P \text{ (bar)} \quad (1 \text{ bar} = 10 \text{ N/cm}^2) \quad (3)$$

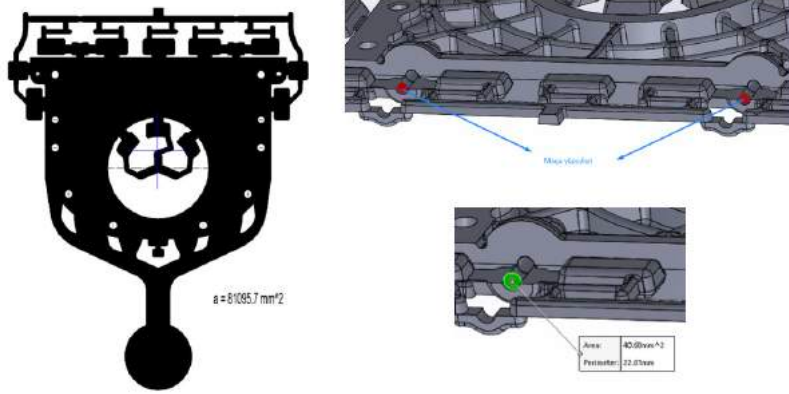
$$A_s \text{ (cm}^2\text{)} = A_d \text{ (cm}^2\text{)} + A_{id} \text{ (cm}^2\text{)} \quad (4)$$

Döküm Parçası Kalite Seviyesi	
Parça Beklentisi	Alüminyum için Önerilen Kalıp İçi Sıkıştırma Basıncı (bar)
Mekanik yük etkisinde <u>çalışmayan</u> parça	400 - 600
Mekanik yük etkisinde <u>çalışan</u> parça	600 - 800
Basıncı altında çalışan parça	800 - 1200
Geniş yüzeyli ince et payına sahip parça	600 - 800

Şizelge 5 : Alüminyum basıncılı dökümde önerilen kalıp içi basınç değeri



Şekil 22 : İndirekt olarak kalıp içi basıncın etkilediği maça yüzey alanları



Locking Force Calculation			
Projected area of part x number of die A_p	=	810,90 cm ²	x 1 = 810,9 cm ²
Projected area of slider x tan α x number of die A_s	=	0,80 cm ²	x 0,31 x 1 = 0,24 cm ²
Total projected area A_t	=		= 811,14 cm ²
Casting Force F_s (kN)	=	Projected Surface Area A_t (cm ²) x Specific Casting Pressure p (1 bar = 10 N / cm ²)	
		$\frac{811,14 \text{ cm}^2}{1.000 \text{ cm}^2} \times 10000$	= 8111 kN
Locking Force F_{sin} (kN)	=	Casting Force F_s x Safety Factor (1,1 - 1,3)	
		8111 x 1,2	= 9734 kN
Locking Force F_{sin} (ton)	=	Locking Force F_{sin} (kN) / gravity acc. (9,8 m / s ²)	
		$\frac{9734 \text{ kN}}{9,8 \text{ m/s}^2}$	= 993 ton

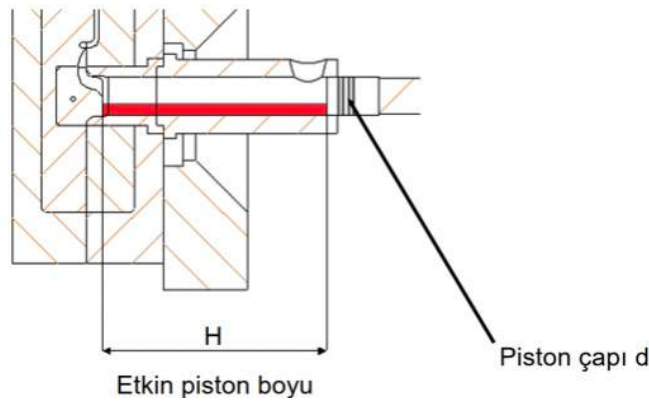
Şekil 23 : Örnek kilitleme kuvveti hesabı

3.2.2 Hazne Doluluk Oranı Hesaplanması

Sıvı metal hacminin toplam hazne hacmine oranına “hazne doluluk oranı” adı verilmektedir. Hazne içerisindeki sıvı metal miktarının, toplam hacmin en az 1/3’ü, en fazla ise 2/3’ü arasında bir değerde olması önerilmektedir. Sıvı metal miktarının proses gereği toplam hacmin 2/3’ünden fazla olması durumunda, enjeksiyon fazı esnasında kovandaki döküm ağızından dışarıya sıvı metal sıçraması ihtimali oldukça artmaktadır.

Buradan anlaşılacağı üzere, yüksek basınçlı döküm prosesinin kendine özgü karakteristiği gereği, tasarım esnasında hazne doluluk oranının döküm parça kalitesini kontrol altında tutabilmek için belli bir değer aralığında olması gerekmektedir. Yapılan çalışmalara göre hazne doluluk oranının % 40-60 arasında seçilmesi, olumlu sonuçlar vermektedir. Döküm salkımının toplam hacmi (yolluk, taşma cepleri ve havalandırma kanalları dahil edilerek), çizimi tamamlanmış 3 boyutlu data üzerinden tasarım programları yardımıyla alınarak Eşitlik (5) ile hesaplanan ve Şekil 24’te gösterilen toplam hacim ile oranlanır. [4]

$$V \text{ (cm}^3\text{)} = ((\pi \times d^2) / 4) \times H \quad (5)$$



Şekil 24 : Toplam hazne hacmi

3.2.3 Proses Parametreleri

Basınçlı döküm, oldukça hassas bir yöntem olmasının yanı sıra parça kalitesini ve mekanik özellikleri etkileyen birçok faktörü de bünyesinde barındırmaktadır. Bu faktörler hiç kuşkusuz proses parametreleri ile yakından ilişkilidir. Kusursuz bir kalıp tasarlanıp imalatı gerçekleştirilse bile, döküm prosesi esnasında yanlış seçilen parametreler, doğru tasarımların bile hatalı ve kötü mekanik özelliklere sahip olacak şekilde üretilmesine sebep olabilmektedir. Bu yüzden parça kalitesini ve mekanik özellikleri etkileyen unsurların başında proses parametreleri gelmektedir [7]. Proses parametreleri olarak döküm sıcaklığı, kalıp sıcaklığı, ütüleme basıncı, dolum süresi ile 1. ve 2. faz piston hızları ile faz geçiş noktaları sayılabilir. Döküm sıcaklığı için kalıbı eksiksiz şekilde dolduracak akıcılığın sağlandığı minimum sıcaklık değerleri tercih edilmelidir. Kalıp yüzey sıcaklığı için seçilecek değer, kullanılan su bazlı kalıp ayırıcıların aktivasyon sıcaklığı gereği en az 150°C olması gerekmektedir. Ütüleme basıncının belirlenmesinde ise parçanın fonksiyonu ve kullanım yeri oldukça önemli bir kriterdir. 3. faz basıncı veya spesifik basınç adı verilen bu değer, aynı zamanda kilitleme kuvvetinin hesaplanması esnasında dikkate alınmaktadır. 1. ve 2. faz piston hızları için mümkün olan en düşük hız değerlerinin kullanılması önerilmektedir. 1. faz için piston hızı için 0.05 m/s değerinin altı, 2. faz için ise 5 m/s değerinin üstü pratik uygulamalarda tercih edilmemektedir (Çizelge 6).

Uygulamada Önerilen Proses Parametreleri Aralıkları	
1. Faz Hızı	0.05 - 0.2 m/s
2. Faz Hızı	2 - 5 m/s
3. Faz Basıncı	Maksimum değeri kilitleme kuvveti hesaplamasında kabul edilen seviyededir.

Çizelge 6 : Pratik uygulamada önerilen proses parametreleri

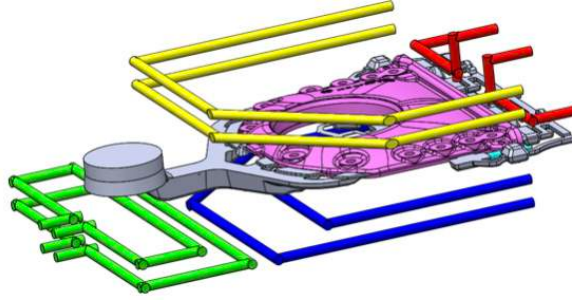
Optimum proses parametrelerinin belirlenmesi için simülasyon programları yaygın şekilde kullanılmaktadır. Optimum parametreler ile elde edilen ürünlerde oluşabilecek mikro ve makro porozite değerleri en az seviyelerde tutularak, yüksek mekanik dayanıma sahip parçaların imalatı gerçekleştirilebilmektedir [1].

3.3 Termal Kriterler

Kalıplar uygun bir şekilde ön ısıtmaya tabi tutulduğunda, birçok olası problem ortadan kalkacaktır. Bilinen problemlerin başında, kalıp yüzeyi boyunca değişken sıcaklık dağılımı ve termal şoklara bağlı olarak yaşanan düşük kalıp ömürleri söylenebilir. Basınçlı döküm yönteminde, kalıbın ön ısıtması, kalıp yüzeyindeki termal şokları ve gerilim dalgalanmalarını azaltmaya yardımcı olan çok önemli bir prosedürdür. Soğuk bir kalıp yüzeyi ile ergimiş metal arasındaki ilk temas, çelikte şiddetli bir termal şoka neden olur. Bu nedenle her zaman ön ısıtma yapılması önerilir. En uygun ön ısıtma sıcaklığı, parçanın şekline ve alaşımın türüne bağlıdır. Alüminyum alaşımları için bu değer 150 ile 250°C arasında değişmektedir. Kalıpların ön ısıtılmasının yanı sıra çevrim esnasında sabit sıcaklıkta kalması da oldukça önemlidir. Kalıpları ısıtarak ve/veya soğutarak istenilen sabit sıcaklık seviyesinde tutan cihazlara kalıp şartlandırıcı adı verilmektedir [8]. Kalıp sıcaklığı döküm çevrimini doğrudan etkilemekle kalmaz, aynı zamanda parça kalitesi üzerinde de büyük bir etkiye sahiptir. Bu nedenle kalıp sıcaklığının ön ısıtma sonrasında da sürekli olarak kontrol edilmesi büyük bir önem taşımaktadır. Kalıp sıcaklığı, döküm çevrimi boyunca şartlandırma sıvısının kalıptaki ısıtma/soğutma kanallarından geçirilmesi ile kontrol edilmektedir. Bu sayede, kalıp sıcaklığı her çevrimde neredeyse sabit kalmaktadır.

Günümüzde termo-regülasyon cihazları, ısı transfer yağı veya şartlandırılmış su ile kalıbı ısıtmak veya soğutmak için kullanılmaktadır. Isı transfer kanalları, kalıptaki sıcaklık dağılımını sabit ve homojen hale getirecek şekilde konumlandırılmalıdır (Şekil 25). Şartlandırılmış su, ısıtmadan çok soğutma ihtiyacı söz konusu olduğunda, yaygın bir çözüm olarak kullanılmaya devam edilmektedir. İnce cidarlı ve yapısal parçalarda ise ısı transfer yağı uygun bir çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır. Ancak hacimli veya kalın cidarlı parçalar için şartlandırılmış su kullanımı daha uygundur [8].

Kalıp sıcaklığı olması gereken değerden düşükse; parça hızlı bir şekilde kendini çekmeye başlayacağından, kalıptan parçanın çıkması zorlaşır. Ayrıca, soğuk kalıp yüzeyiyle temas eden sıvı metal nedeniyle parçalarda soğuk birleşme, eksik dolum veya laminasyon dediğimiz hatalar meydana gelebilir. Bununla beraber soğuk kalıp yüzeyi, büyük termal şoklara ve su bazlı kalıp ayırıcıların yüzeyde artık bırakması sebebiyle porozite oluşumuna sebep olabilmektedir. Kalıp sıcaklığının yüksek olması ise çevrim süresinin uzamasına, parçanın kalıba sarmasına, yüksek miktarda kalıp ayırıcı ajan ihtiyacına, artan çekinti boşluklarına ve düşük mekanik dayanımlı parçalara sebep olabilmektedir. Bu nedenle, kalıplar her zaman en uygun yüzey sıcaklıklarını sağlayacak şekilde termal yöntemlerle şartlandırılmalıdır.



Şekil 25 : Parçaya uygun şekilde konumlandırılmış ısı transfer kanalları

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Alüminyum alaşımlarının yüksek basınçlı döküm yönteminde makine, ekipman, hammadde ve insan girdilerinin yanı sıra, döküm kalıbı da oldukça önemli bir yer tutmaktadır. Bu girdiler sonucunda ulaşılmak istenen hedef; müşteri beklentilerini tam olarak karşılayan, yeterli kapasiteye sahip, kabul edilebilir fire oranında bir prosesin sağlanması ve talep edilen üretimin yapılmasıdır. Bu noktada kalıp tasarımı yapılırken, yukarıda bahsi geçen şartların iyi analiz edilmesi gerekmektedir. Yapılan analizler sonucunda kalıp tasarımına etki eden faktörlerin dikkatle incelenmesi, bu faktörlerin kalıp tasarımı hesaplamalarında giriş verilerini oluşturması ve çıktıların hesaplanan bu değerlerle karşılaştırması yapılmalıdır. Bu çalışma kapsamında, kalıp tasarım kriterlerinin belirlenmesi ve optimum proses parametrelerinin hesaplanması konusunda, literatür ve tecrübelerden elde edilmiş sonuçlar paylaşılmış olup bu sonuçların irdelenmesi esnasında, müşteri beklentilerinin de hesaplamalara nasıl dahil edileceği konusu ele alınmıştır.

KAYNAKÇA

1. A. Çelik, E. Gençalp, A.S. Vanlı, "Basınçlı Dökümde Simülasyon Yardımı ile Optimum Tasarım ve Doğrulama", 10. Uluslararası Döküm Kongresi, İstanbul, Türkiye, Bildiriler Kitabı, pp. 197-204, Ekim 2018.
2. A.S. Vanlı, "Basınçlı Dökümde Proses ve Kalıp Dizayını", TUDOKSAD Akademi, İstanbul, Türkiye, Kasım 2017.
3. A. Uludağ, "Basınçlı Döküm Yönteminde Kalıp Sistem Tasarımı ve Simülasyon Analizi", Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, Kasım 2007.
4. A.S. Vanlı, "Alüminyum Alaşımlarının Basınçlı Dökümü", TUDOKSAD Akademi, İstanbul, Türkiye, Kasım 2019.
5. M. Kuru, O. Serçe "Yüksek Basınçlı Döküm Prosesinde Enjeksiyon Parametrelerine Bağlı Olarak Döküm Simülasyonu", Cumhuriyet Üniversitesi Fen Fakültesi Fen Bilimleri Dergisi, Cilt:36, No:5, pp. 10-23, Haziran 2015.
6. A. Çelik, E. Türkmen, A.S. Vanlı, "Alüminyum Alaşımlarının Yüksek Basınçlı Döküm Yönteminde Hava Tahliye Sistemleri", 2. Ulusal Döküm Kongresi, İzmir, Türkiye, Bildiriler Kitabı, pp. 285-292, Kasım 2019.
7. A.S. Vanlı, H. Sönmez, "Magnezyum Alaşımlarının Basınçlı Dökümünde Proses Parametrelerinin İncelenmesi", 3. Uluslararası Döküm ve Çevre Sempozyumu (IFES'09), Bildiriler Kitabı, pp. 316-326, Ocak 2010.
8. M. Demirci, A.S. Vanlı, A. Akdoğan, "Investigation of Thermal Conditioning of High Pressure Die Casting Dies" International Conference on Energy Systems (ICES'15), İstanbul, Turkey, Bildiriler Kitabı, pp. 149-153, Aralık 2015.

MECHANICAL PROPERTY COMPARISON OF Al11Si WHEELS GRAIN REFINED BY Ti, Nb AND MTS

Ferhat Aydogan¹, Kerem Can Dizdar², Hayati Sahin², Elvan Mentese¹,
Derya Dispinar³

¹Doktas Aluminum Casting, Manisa, Turkey

²ITU, Metallurgical and Materials Engineering, Istanbul, Turkey

³Foseco, R&D, NonFerrous Metal Treatment, Enschede, Netherlands

ABSTRACT

In this work, 25 wheels were cast with three different grain refiners: Al5Ti1B, Al3Nb1B and MTS 1582. Samples were machined from the wheels to check the mechanical properties. It was found that Nb grain refinement had the lowest grain size and highest tensile properties. Al5Ti1B and MTS 1582 revealed quite similar results. The fading of Ti was observed in both Nb and Ti added castings whereas there was no fading when MTS 1582 was used.

Keywords: Al11Si, grain refinement, Nb, MTS

Achievement of finer grains in casting of aluminum alloys known to have positive effects such as increased fluidity, increased feedability, decreased shrinkage, decreased porosity and increased mechanical properties. The process of grain refinement is the heterogeneous nucleation initiation by Al_3Ti , TiB_2 and AlB_2 intermetallic phases peritectically nucleates the α -dendrites [1–4]. Due to the fundamentals of a peritectic reaction, the solid particles present in the liquid melt have the tendency to settle at the bottom of the crucible during casting operations known as the fading effect [5–8]. In foundries, the economical way is to melt large quantities and cast as many parts as possible. Therefore, the liquid metal is kept for long durations until the castings are complete. Limmaneevichitr [5] and Schaffer [7] showed that 20 minutes was enough to start the settlement process of TiB_2 and $TiAl_3$. Thus, the grain refinement efficiency decreases. In Al-Si alloys, there is also poisoning of Ti in the presence of Si which results in the formation of $TiSi_2$ to inhibit the grain refinement [9]. Kori [10] and Ravi [11] on the other hand proposed that higher B content overcomes the poisoning effect when Si content is higher than 7 wt%. Sigworth [8] suggested that high Ti content is needed in Al-Si alloys where minimum of 0.1 wt% Ti is required. Timelli [12] looked into the grain refinement of recycled A356 alloy and concluded that addition of extra Ti to the recycled alloy had revealed no significant improvement in the grain size.

Several works have focused on alternative grain refiners, particularly rare-earth additions. Nowak [13–16] studied the use of Nb as grain refiner in aluminum alloys. It was reported that in the presence of B, Nb was an effective grain refiner in Al-Si alloys.

In this work, the effect of three different grain refiners on microstructure and mechanical properties of Al11Si alloy was investigated. Al_3NbB and MTS 1582 additions were used as the grain refiner where the results were compared with the existing Ti grain refined system. 25 wheels were cast. Degassing was carried out for 10 minutes with Foseco SMARTT system in 900 kg capacity transfer crucible. Nb content was targeted to achieve 0.1 wt% in the alloy. For MTS 1582 trials, 450 g of the flux was added to the melt during degassing. The chemical composition of the starting melt is given in Table 1. Wheels were collected in the sequence of 5 parts. Baker test samples were collected for grain size measurements. Wheels were heat treated for the conditions of 540 °C solutionizing for 6 hours, quenched in water and aged at 145°C for 4 hours. Samples were collected from three regions: bore, spoke and rim; and subjected to tensile testing.

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ni	Sr	Ti
10.794	0.128	0.0031	0.0039	0.140	0.010	0.004	0.037	0.090

Table 1: Chemical composition of the alloy used in the experiments

In Figure 1, representative microstructure images of Al11Si alloy with different grain refiner additions is given.

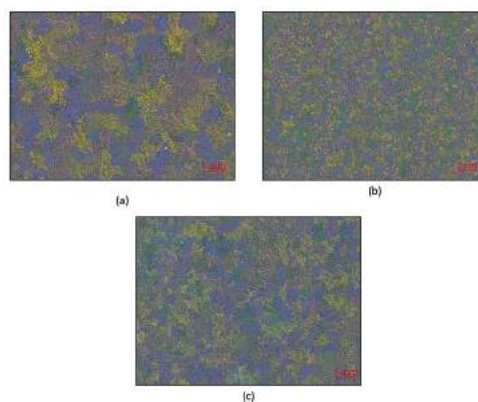


Figure 1: Microstructural images of (a) Ti, (b) Nb, (c) MTS 1582 grain refined Al11Si alloy

As seen in Figure 2, Nb added castings had the lowest average grain size of 260 μm . This was followed by MTS 1582 where the average grain size was around 320 μm . On the other hand, Ti rod added casting revealed the highest grain size ranging between 350-550 μm with high scatter.

Nb master alloy contains 3 wt% Nb and 1 wt% B, therefore, during solidification NbB₂ and AlNb₂ is formed which are responsible for the heterogeneous nucleation of α -dendrites. In Ti master alloy, there are actually potentially three phases that has the tendency to nucleate primary grains: Al₃Ti, TiB₂ and AlB₂. However, there is a long going debate in the literature as to which one has the active role in grain refinement. In both of these master alloys (Ti and Nb), these intermetallic phases exist already as a solid phase and the general approach is that they react peritectically to form the primary grain. On the other hand, MTS 1582 flux offers the in-situ nucleation of TiB₂ during solidification. Thus, the reaction of the flux with the molten aluminum results in the formation of TiB₂ which then nucleates the grain.

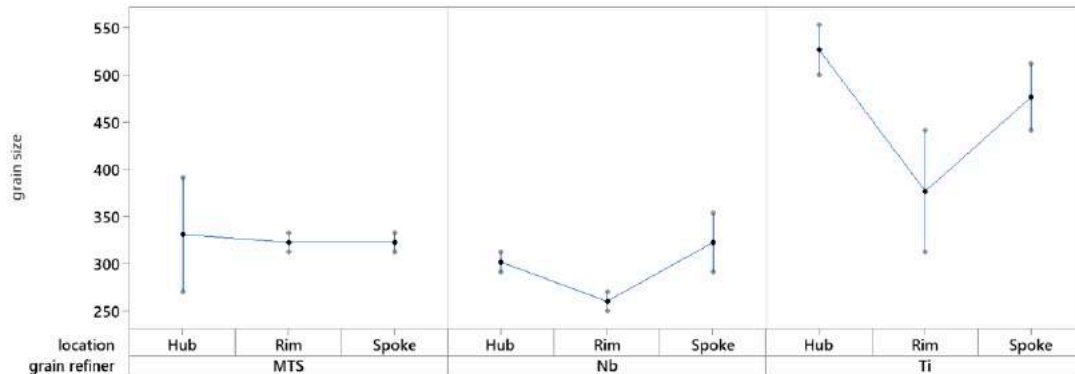


Figure 2 : Grain size change with different grain refiners

The yield strength of Ti and MTS added melts revealed similar values as seen in Figure 3a which was around 110 MPa. Yield strength was not significantly changing by the location of the wheel. Nb added wheels on the other hand had the highest yield strength about 10-12 MPa higher than other additions. A similar scenario applies for the UTS values. As seen in Figure 3b, Ti and MTS added melts had almost the same UTS value with Nb having the highest UTS for each section of the wheel. For elongation at fracture values, Nb reveals significantly higher values while, whereas, again, Ti and MTS added melts had similar values (Fig 3c). The increase in mechanical properties is not just related with decreased size, but also the presence of dissolved and/or intermetallic phases in the matrix. In such cases, the resistance of dislocation movement appeared to be the highest in Nb containing melt and thereby the tensile properties were higher for this alloy.

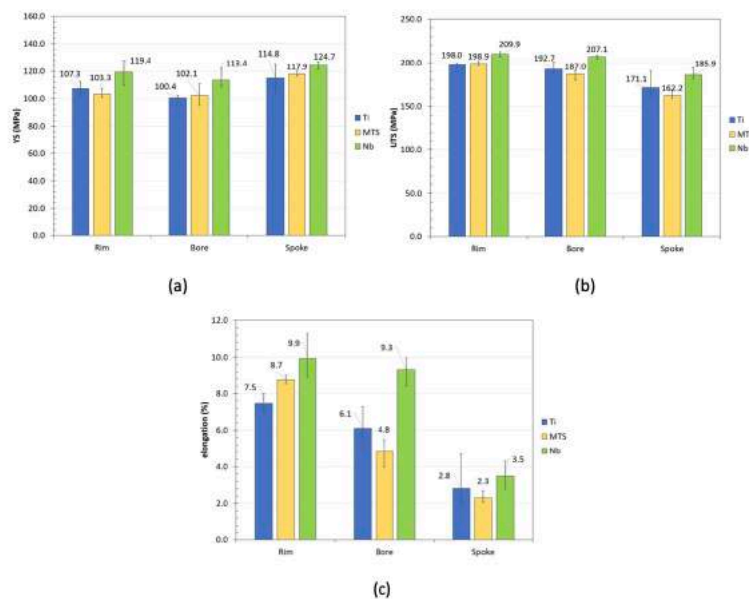


Figure 3 : Mechanical property change by section with different grain refiners: (a) yield strength, (b) ultimate tensile strength, (c) elongation at fracture

One of the interesting observations was the change in Ti content of the melt by the casting sequence. At every 5th wheel, an OES sample was collected from the furnace and the results are presented for all three grain refiners in Figure 4. It can be seen that Ti content was decreasing towards the end of the melt for Ti and Nb added melt. On the other hand, when MTS 1582 was used, the Ti level was not changing and had remained constant through the casting process. This is mainly due to the fact that the working principle of MTS 1582 is based on in-situ nucleation of TiB₂ once the flux is reacted in the melt. On the other hand, Ti has the tendency to sediment to the bottom of the furnace due to higher density[5-7].

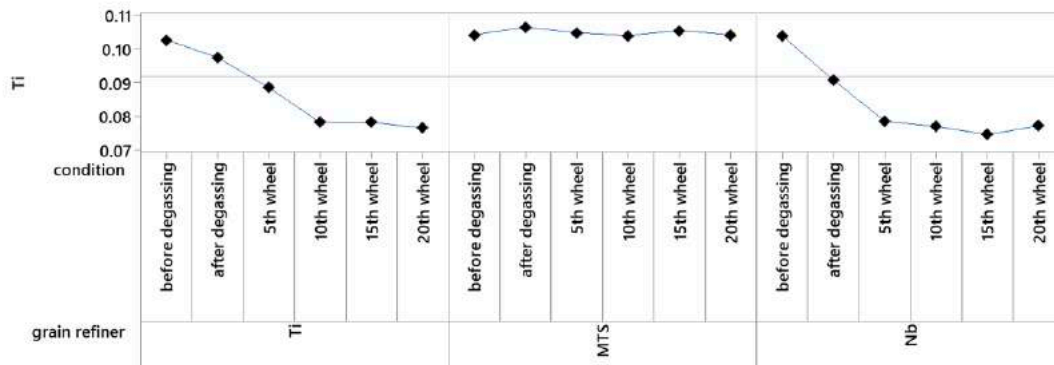


Figure 4 : Change in Ti content by casting sequence

Nb grain refinement has significant effect on the microstructure with highest mechanical properties in Al11Si alloy. Ti addition results in heterogeneous microstructure with decreasing grain refinement efficiency towards the end of the casting furnace. MTS 1582 exhibits lower grain size than Ti rod addition. Fluxes are typically used in foundries for melt cleaning. MTS 1582 offers at the same time both cleaning of the melt and grain refinement of the microstructure and without any fading effect due to in-situ nucleation of TiB₂. Additionally, MTS 1582 reveals similar tensile properties as Ti rod addition.

References

- [1] Z. Fan, Y. Wang, Y. Zhang, T. Qin, X. Zhou, G. Thompson, T. Pennycook, T. Hashimoto, Grain refining mechanism in the Al/Al-Ti-B system, *Acta Mater.* 84 (2015) 292–304.
- [2] P. Schumacher, A. Greer, J. Worth, P. Evans, M. Kearns, P. Fisher, A. Green, New studies of nucleation mechanisms in aluminium alloys: implications for grain refinement practice, *Mater. Sci. Technol.* 14 (1998) 394–404.
- [3] M. Easton, D. StJohn, Grain refinement of aluminum alloys: Part I. the nucleant and solute paradigms—a review of the literature, *Metall. Mater. Trans. A.* 30 (1999) 1613–1623.
- [4] M. Easton, D. StJohn, Grain refinement of aluminum alloys: Part II. Confirmation of, and a mechanism for, the solute paradigm, *Metall. Mater. Trans. A.* 30 (1999) 1625–1633.
- [5] C. Limmaneevichitr, W. Eideh, Fading mechanism of grain refinement of aluminum–silicon alloy with Al-Ti-B grain refiners, *Mater. Sci. Eng. A.* 349 (2003) 197–206.
- [6] Ö. Gürsoy, E. Erzi, D. Dişpınar, Ti Grain Refinement Myth and Cleanliness of A356 Melt, in: *Shape Cast.*, Springer, 2019: pp. 125–130.
- [7] P.L. Schaffer, A.K. Dahle, Settling behaviour of different grain refiners in aluminium, *Mater. Sci. Eng. A.* 413 (2005) 373–378.
- [8] G.K. Sigworth, T.A. Kuhn, Grain refinement of aluminum casting alloys, *Int. J. Met.* 1 (2007) 31–40.
- [9] A.L. Greer, P.S. Cooper, M.W. Meredith, W. Schneider, P. Schumacher, J.A. Spittle, A. Tronche, Grain refinement of aluminium alloys by inoculation, *Adv. Eng. Mater.* 5 (2003) 81–91.
- [10] S. Kori, B. Murty, M. Chakraborty, Influence of silicon and magnesium on grain refinement in aluminium alloys, *Mater. Sci. Technol.* 15 (1999) 986–992.
- [11] K. Ravi, S. Manivannan, G. Phanikumar, B. Murty, S. Sundarraj, Influence of Mg on grain refinement of near eutectic Al-Si alloys, *Metall. Mater. Trans. A.* 42 (2011) 2028–2039.
- [12] G. Timelli, G. Camicia, S. Ferraro, Effect of grain refinement and cooling rate on the microstructure and mechanical properties of secondary Al-Si-Cu alloys, *J. Mater. Eng. Perform.* 23 (2014) 611–621.
- [13] M. Nowak, L. Bolzoni, N.H. Babu, Grain refinement of Al-Si alloys by Nb-B inoculation. Part I: Concept

development and effect on binary alloys, *Mater. Des.* 1980-2015. 66 (2015) 366–375.

[14] M. Nowak, W. Yeoh, L. Bolzoni, N.H. Babu, Development of Al-Nb-B master alloys using Nb and KBF₄ Powders, *Mater. Des.* 75 (2015) 40–46.

[15] L. Bolzoni, M. Nowak, N.H. Babu, Grain refinement of Al-Si alloys by Nb-B inoculation. Part II: application to commercial alloys, *Mater. Des.* 1980-2015. 66 (2015) 376–383.

[16] L. Bolzoni, M. Nowak, N.H. Babu, On the effect of Nb-based compounds on the microstructure of Al-12Si alloy, *Mater. Chem. Phys.* 162 (2015) 340–345.

KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRDE DÖKÜM PROSES PARAMETRELERİNİN SİMÜLASYON PROGRAMI İLE KIYASLANARAK DOĞRULANMASI

Kerem KARABAĞ, Okan GÜLER , Tuncer KIT
Mes Elektromekanik Döküm San. ve Tic. A.Ş.

SUMMARY

The purpose of simulation programs is to determine the risks above the process parameters in advance, to minimize the risks by considering their suitability for the production line and to determine the problems that may occur in advance.

There are two basic elements in casting of the desired geometric shapes of metals and alloys produced by casting method. The first is the chemical composition of the metal to meet the desired engineering properties, while the other element is the feeder and runner design calculated in accordance with the sections of the model. In the past, these designs were made in foundries over a long period of time by trial and error, based on certain experience and calculations. Today, with the help of simulation programs in a short period of time, the possibility of producing the highest quality casting parts with the minimum use of metal has increased.

A simple geometric shape piece has been preferred for more clarity and easy interpretation of simulation and casting results. In this study, a raw ductile iron part with a weight of approximately 24 kg was manufactured within the MES Elektromekanik Döküm factory and the results of the actual casting conditions were verified by simulation program by changing various parameters.

Key words: ductile iron casting, casting simulation, runner and feeder design, casting analysis.

ÖZET

Simülasyon programlarının amacı proses parametrelerinin üzerindeki riskleri önceden belirleyip, üretim hatına uygunluğunu göz önünde bulundurarak riskleri en aza indirmek ve oluşabilecek problemlerin önceden tespit edilmesidir.

Döküm yöntemi ile üretilen metal ve alaşımlarının istenilen geometrik şekillerin dökümün de iki temel unsur vardır. Bunlardan ilki istenilen mühendislik özelliklerini karşılayacak metalin kimyasal kompozisyonu, diğer unsur ise model parçanın kesitlerine uygun olarak hesaplanmış besleyici ve yolluk tasarımıdır. Eskiden bu tasarımlar dökümhanelerde belirli bir tecrübe ve hesaplamalara dayanarak deneme yanılma yöntemi ile uzun sürede yapılmaktaydı. Artık günümüzde simülasyon programları yardımıyla kısa süre içerisinde en az metal kullanımı ile en yüksek kalitede döküm parçası üretim imkanı artmıştır.

Simülasyon ve döküm sonuçlarının daha anlaşılır olması ve kolay yorumlanabilmesi için basit geometrik şekilli bir parça tercih edilmiştir. Bu çalışmaya konu olan işlenmemiş hali yaklaşık 24 kg ağırlığına sahip sfero (EN-GJS-500) döküm parçası MES Elektromekanik Döküm fabrikası bünyesinde imal edilmiş olup çeşitli parametreler değiştirilerek gerçek döküm şartlarının sonuçları simülasyon programı ile doğrulanmaya çalışılmıştır.

Anahtar kelimeler: Sfero döküm, döküm simülasyonu, yolluk ve besleyici tasarımı, döküm analizi.

1. GİRİŞ

Bilgisayar destekli mühendislik programları ile günümüzde bu tasarımları yapmak geçmiş zamana kıyasla çok daha kısa süre içerisinde ve üretim sahası ortamında hata payını en aza indirmektedir. Küresel grafit dökme demir bünyesinde bulunduğu üzere çeşitli alaşım elementleri bulunmaktadır. Bu alaşım elementleri içerisinde en önemli olanlarının küresel grafitli (sfero) dökme demire etkileri simülasyon programı ile desteklenerek incelenecektir.

Karbon (C): Grafitin temel taşı olan karbonun alaşımda yüksek oranda bulunması, sıvının akışkanlığını, dolayısıyla da malzemenin dökülebilirliğini olumlu yönde etkiliyor. Yüksek karbon, doğru aşılama pratiği ile birleştiği zaman, yapıda bulunan küre sayısının artmasına da yol açıyor. Küre sayısının artması bir yandan karbür oluşumunu engellerken, diğer yandan matris içindeki karbonu tüketerek perlit miktarını azaltıyor, ferrit oranını ise artırıyor.

Silisyum (Si): Küresel grafitli dökme demir özelliklerine tesir eden en önemli elementlerden biridir. Silisyum, grafit yapıcı özelliği sayesinde grafitin ayrışmasına destek verir. Karbonun serbest halde kalmasına ve grafit halinde çökmesini sağlar. Grafit oluşumunu desteklediği için, matristeki karbon miktarının azalmasını ve dolayısıyla da ferritik bir yapı elde edilmesini sağlar dolayısıyla kopma uzaması miktarıda artar. Aynı zamanda ferrit mukavemetlendiricisi olarakta bilinir.

Magnezyum (Mg): Magnezyum demirde bulunan kükürt ve oksijenle birleşerek sülfür ve oksitleri malzemeden uzaklaştırır. Magnezyum, sadece oksijen ve kükürtle tepkimeye girebilen bir element olduğu için değil, aynı zamanda demirle herhangi bir bileşik oluşturmaması, ve yüksek denge buhar basıncı sayesinde karıştırmaya gerek kalmadan sıvı içine kolaylıkla yayılabilmesi nedeniyle en çok tercih edilen küreselleştiricidir. Malzeme bünyesinde bir miktar kalıcı magnezyum olduğu zaman grafitler küresel şekilli teşekkül eder. Düşük magnezyum miktarı küreselleşmenin tam olarak meydana gelmesini önler. Küresel grafitli dökme demir bileşiminde aşırı magnezyum bazı problemleri beraberinde getirir.

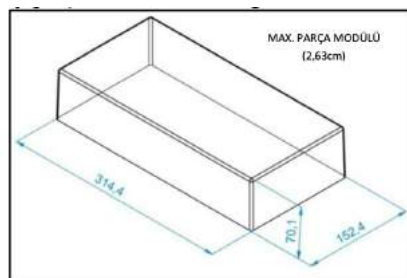
- Karbür oluşumunu destekler,
- Karınca tip döküm hatalarına yol açar,
- Dökümlerde keskin köşelerin kırılmasını sağlar,
- Malzemenin kopma uzamasını düşür.

Kükürt (S): Kükürt ve oksijenin düşük olması sıvının yüzey gerilimini, dolayısıyla da akma zıtlığını (viskozite) arttırdığı için, yüksek oranda magnezyum kullanılması mikro- çekinti gözeneklerinin oluşumunu tetikleyebiliyor. Kükürt küresel grafitli dökme demirde bozucu tesirler yaratmaktadır ve grafitlerin lamel şekilli büyümesine etki etmektedir.

Fosfor (P): Küresel grafitli dökme demirin fosfor kırılmalı ötektik yapı oluşturduğundan darbe ve süneklik özelliklerini kötü yönde etkilemektedir.

Mangan (Mn): Karbür oluşumunu teşvik eden bir elementtir. Bu sebepten dolayı yüksek miktardaki mangan malzeme yapısındaki karbürleri stabil hale getirerek malzemenin sert ve gevrek olmasına neden olur.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

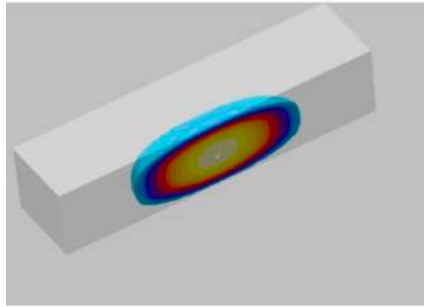


Resim 1: Deney parçasının katı model görünümü, modülü ve ölçüleri.

Bu çalışmaya konu olan (EN-GJS-500) analizine sahip basit geometrik şekilli küresel grafitli dökme demir parça görünümü Resim 1' de gösterilmiştir.

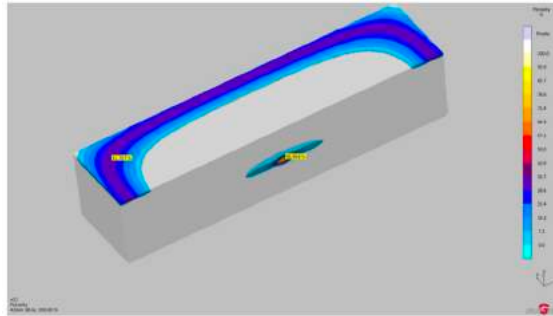
Initial Temperature (°C)	Feeding Effectivity (%)	Iron Composition
1420.0	100.0	C (Carbon) 3.8 %
		Ce (Cerium) 0.0 %
		Cr (Chromium) 0.02 %
		Cu (Copper) 0.5 %
		Mg (Magnesium) 0.053 %
		Mn (Manganese) 0.32 %
		Mo (Molybdenum) 0.0 %
		N (Nitrogen) 0.0 ppm
		Ni (Nickel) 0.0 %
		P (Phosphorus) 0.03 %
		S (Sulfur) 0.01 %
		Sb (Antimony) 0.0 %
		Si (Silicon) 2.44 %
		Sn (Tin) 0.0 %

Resim 2 : Deney parçasının EN-GJS-500 ergiyik metal analizi.



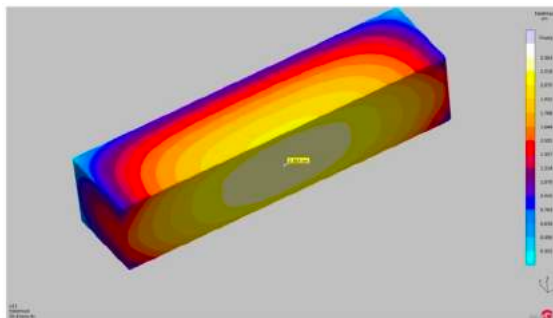
Resim 3 : Deney parçası risk analizi görüntüsü.

Deney parçası geometrisi kendi içerisindeki (yolluk, besleyici dizaynı olmadan) katılaşma simülasyonu sonucunda oluşan soğuma süresine bağlı risk bölgeleri belirlenmiş (Resim 3) ve buna bağlı olarak parçanın katılaşma süresi ile bu süre zarfı içerisinde oluşan boşluğun konumu tespit edilmiştir.



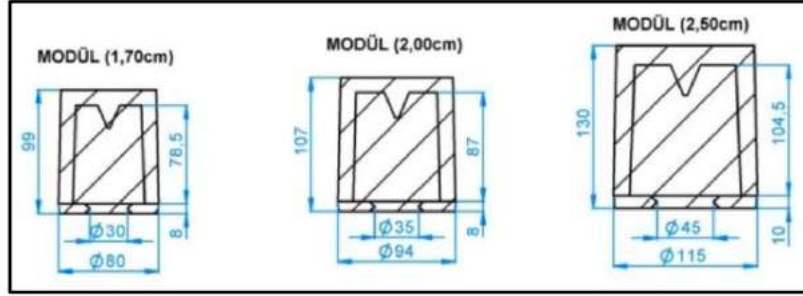
Resim 4 : Deney parçasının porozite (çekinti) görüntüsü.

Deney parçasının çekinti olan yerleri ile yüzey çökmesi oluşabilecek bölgeler tespit edilmiştir (Resim 4). Buna bağlı olarak tasarımı yapılacak olan yolluğun konumu ve besleyici bulunacağı bölge belirlenmiştir.

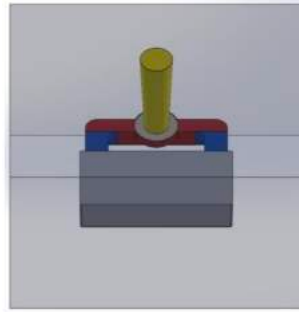


Resim 5 : Deney parçasının modül analizi görüntüsü.

Deney parçasının kritik bölgedeki maksimum modülü 2,363 cm olarak simülasyon programı yardımıyla hesaplanmıştır (Resim 5). Parça modülüne göre minimum maliyete bağlı en az metal kaybıyla besleyici tercihi yapılmıştır. Kullanılması muhtemel olan ekzotermik besleyici gömlekler Resim 6 ' da verilmiştir.

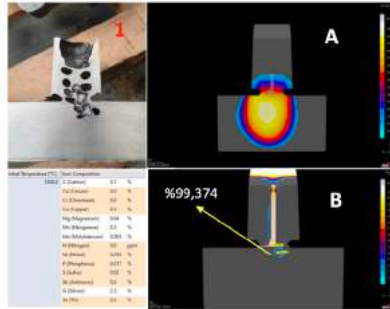


Resim 6 : Tercih edilebilecek silindirik ekzotermik besleyici gömlek ölçü ve modülleri.



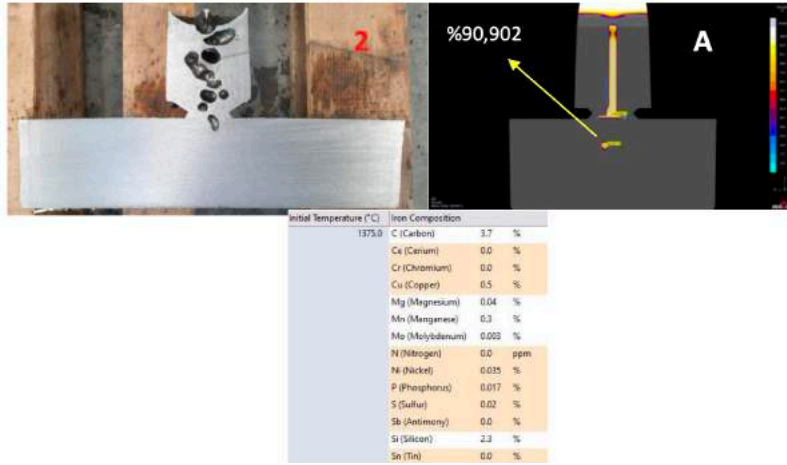
Resim 7 : Deney parçasına göre hesaplanmış yolluk tasarımı görüntüsü.

Parçada simülasyon sonucuna göre gerekli olan girişler, kullanılacak filtre, yolluk ve çıkma açılarıyla birlikte verilerek çizimi yapıldı. Deney parçası olduğu için basit geometrik şekilli ve yolluk dizaynı yapıldı.



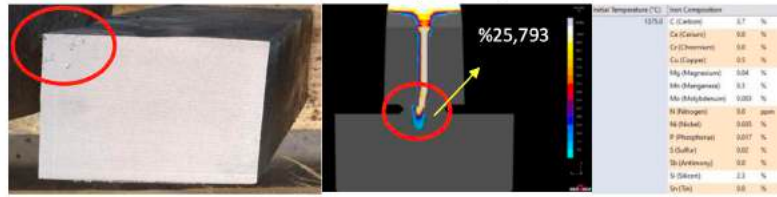
Resim 8 : Modülü 1,70 cm olan besleyici gömleği ile yapılan parçanın 1. deneme dökümü ve simülasyon sonuçları.

Resim 8' da sıcaklık ve kimyasal analizi belirtilmiş olan 1 numaralı bölgede döküm sonrası parçada oluşan çekinti görülmüştür. Aynı şartlarda simülasyon sonucu A ve B harfli resimlerde gösterilmiştir. A harfli resimde çekintinin hangi bölgede çıkacağını belirtmiş olup B harfli resimde ise boşluk oluşumu katılma sonrası meydana gelebilecek olan çekintinin yüzdesel değerini vermektedir. Simülasyon sonucunda gözlemlenen değer ne kadar yüksekse, gerçekteki porozitenin çıkma ihtimali o kadar yüksek olacaktır. Resimde de görüldüğü gibi porozite oranı %99,374 oranında risk göstermektedir.



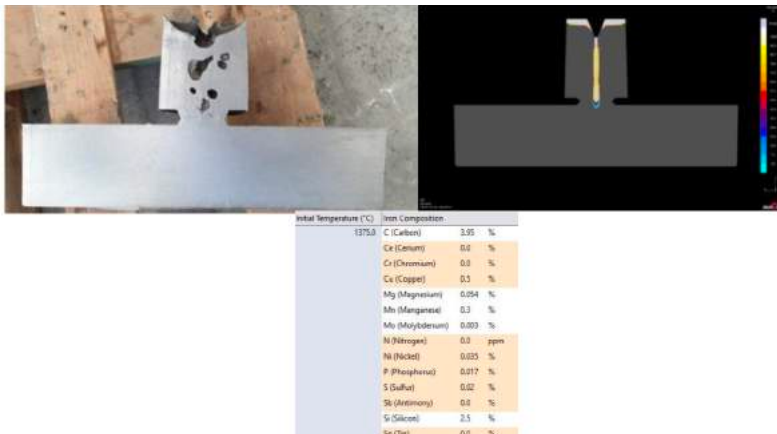
Resim 9 : Modülü 1,70 cm olan besleyici gömleği ile yapılan parçanın 2. deneme dökümü ve simülasyon sonuçları.

Resim 9'da aynı kimyasal kompozisyonda sadece sıcaklık parametresi yaklaşık 45°C düşürülerek 2. deneme yapılmıştır. Deneme sonucunda dökümhane ortamında çekintinin bir miktar küçüldüğünü, simülasyon sonucunda ise çekinti riski %90,902 göstermektedir. Yüzdesel olarak bir önceki denemeye göre çekinti riskinin yaklaşık %9 oranında düştüğü gözlemlenmiştir. Sonuç itibari ile sıcaklık çekintiye doğrudan etki eden parametrelerden biri olarak görülmüştür.



Resim 10 : Modülü 2,00 cm olan besleyici gömleği ile yapılan parçanın 3. deneme dökümü ve simülasyon sonuçları.

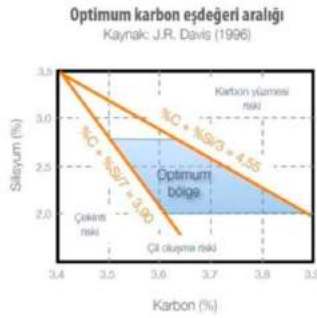
Yapılan bu 3. denemede, 2. denemede ki sıcaklık ve kimyasal analiz parametreleri sabit tutularak 1,70 cm modüllü besleyici yerine 2,00 cm modüllü besleyici tercihi yapılmıştır. Porozite miktarı gözle görülür oranda azaldığı simülasyon ve dökümhane şartlarında denemesi yapılarak görülmüştür. Simülasyon sonucuna göre besleyici tercihi porozite riskini %65 oranında düşürmüştür.



Resim 11 : Modülü 2,00 cm olan besleyici gömleği ile yapılan parçanın 4. deneme dökümü ve simülasyon sonuçları.

$$CE = \% C + \%0,14Si + \%0,33 P + \%0,11 Ni + \%0,16 Al + \%0,13 Ti + \%0,065 Cu - \%0,08 Mn - \%0,33 Cr - \%0,15 Mo - \%0,8 V$$

Bu ampirik formülden anlaşılacağı üzere karbon eşdeğeri üzerine kimyasal kompozisyona etki eden elementler görülmektedir. Bu elementler içerisinde en çok etki edenler C, Si, ve P' dur.



Dolayısıyla $CE = \%C + 1/7(\%Si) + \%P$ olacaktır.
 $CE < 4,3$ ötektik altı alaşım
 $CE = 4,3$ ötektik alaşım
 $CE > 4,3$ ötektik üstü alaşım

Resim 12 : Optimum karbon eşdeğeri aralığı.

Grafikten anlaşılacağı gibi karbon eşdeğeri $\% C + \% 1/7 Si = \% 3,90$ değerinin alt bölgelerinde çekinti riskine yakalanma olasılığı yüksektir.

Yukarıda da bahsedildiği gibi Silisyum malzeme içerisinde karbonun serbest halde çökmesine yardımcı olur. Serbest halde çökelen karbonlar matris içerisinde belirli bir hacim kaplayarak ve grafit büyümesinin etkisi ile parça içerisindeki küçük porozitelerin giderilmesinde etkili olduğu bilinmektedir. Kimyasal kompozisyon ile porozite riskinin azaltılması için optimum bölge $CE=4,3$ (ötektik nokta) olduğu bölgedir.

Bu bilgiler eşliğinde deney 4' de (Resim 11) yapılan çalışmada deney 3' te (Resim10) görülen küçük poroziteler giderilmeye çalışılmış ve olumlu sonuç alınmıştır.

Initial Temperature (°C)	Iron Composition	
1375.0	C (Carbon)	3.7 %
	Ce (Cerium)	0.0 %
	Cr (Chromium)	0.0 %
	Cu (Copper)	0.5 %
	Mg (Magnesium)	0.04 %
	Mn (Manganese)	0.3 %
	Mo (Molybdenum)	0.003 %
	N (Nitrogen)	0.0 ppm
	Ni (Nickel)	0.035 %
	P (Phosphorus)	0.017 %
	S (Sulfur)	0.02 %
	Sb (Antimony)	0.0 %
	Si (Silicon)	2.3 %
	Sn (Tin)	0.0 %

Resim 13 : Deney 3 analiz değerleri. $CE < 4,3$ ötektik altı

Initial Temperature (°C)	Iron Composition	
1375.0	C (Carbon)	3.95 %
	Ce (Cerium)	0.0 %
	Cr (Chromium)	0.0 %
	Cu (Copper)	0.5 %
	Mg (Magnesium)	0.054 %
	Mn (Manganese)	0.3 %
	Mo (Molybdenum)	0.003 %
	N (Nitrogen)	0.0 ppm
	Ni (Nickel)	0.035 %
	P (Phosphorus)	0.017 %
	S (Sulfur)	0.02 %
	Sb (Antimony)	0.0 %
	Si (Silicon)	2.5 %
	Sn (Tin)	0.0 %

Resim 14 :Deney 4 analiz değerleri. $CE = 4,3$ ötektik nokta

Deney 3' te $\% 3,7$ olan karbon, $\% 2,3$ silisyum oranları deney 4' te $\% 3,95$ karbon ve $\% 2,5$ silisyum değerlerine çekilerek optimum karbon eşdeğeri aralığına getirilerek porozite miktarı düşürülmeye çalışılmıştır.

SONUÇ

Yapmış olduğumuz bu çalışmada simülasyon programı yardımıyla parçanın ilk olarak modülü hesaplanmış ve bu parçanın modülüne uygun besleyiciler tercih edilmiştir. Hacmi ve modülü en küçük olan besleyiciden başlayarak parça sağlam alınana kadar besleyici modülü ve hacmi arttırılmıştır. Bu sayede en az metal tüketimi ile optimum döküm sıcaklığı belirlenmiş ve bu hususlara bağlı olarak kimyasal analiz çalışması yapılmıştır.

Besleyici modülü ve hacmi, Parça döküm sıcaklığı, Kimyasal kompozisyon etkisi, % C etkisi, % Si etkisi, % Mg etkisi.

Simülasyon ve dökümhane şartları kıyaslanarak parça porozite miktarına olan etkileri deneysel çalışmalarla irdelenmiştir.

KAYNAKÇA

- 1) N. ARAS, “Küresel Grafitli Demir Dökümü”, Makine Mühendisleri Odası, Ankara, Ankara, 1970, pp 44
- 2) S.I. KARSAY, “Ductile Iron I Prdouction”, The State of the Art, Canada, 1992, pp 65
- 3) M.P. GROOVER, “Modern İmalatın Prensipleri”, “Nobel Akademik Yayıncılık”, “Ankara”, 2015, pp 197-245
- 4) E. TEKİN, “Çelikler ve Dökme Demirler İçin Kuramsal ve Uygulamalı Metalografi”, “Türkiye Döküm Sanayicileri Derneği”, İstanbul, 2013, pp 469-531

SİMÜLASYONDA OPTİMİZASYON YÖNTEMİ YARDIMI İLE ÇEKİNTİSİZ OLARAK ÜRÜN ÇEŞİTLİLİĞİNİ ARTIRACAK ŞAFT DESTEĞİ PARÇASININ ÜRETİMİ

ANIL GÜLEÇ

Demisaş Döküm Emaye Mamulleri Sanayi A.Ş. Bilecik, Türkiye

ÖZET

Ürün çeşitliliğimiz dışında olan büyük bir şanzıman desteği parçasının devreye alınması sağlanmıştır, tüm bu süreçte üründe meydana gelen çekinti problemleri simülasyon programı yardımı ile optimizasyon yaparak çözümlenmiştir. Böylelikle işletmemiz için yeni bir ürün çeşitliliğine sahip büyük bir parçanın çekintisiz üretilmesi sağlanmıştır.

ABSTRACT

A big transmission support part, which is out of our product range, has been enabled to be commissioned. In this process, the micro shrinkage problems in the product have been solved by optimization with the help of the simulation program. Thus, it has been ensured that a big raw part with a new product range can be produced without any micro shrinkage for our company.

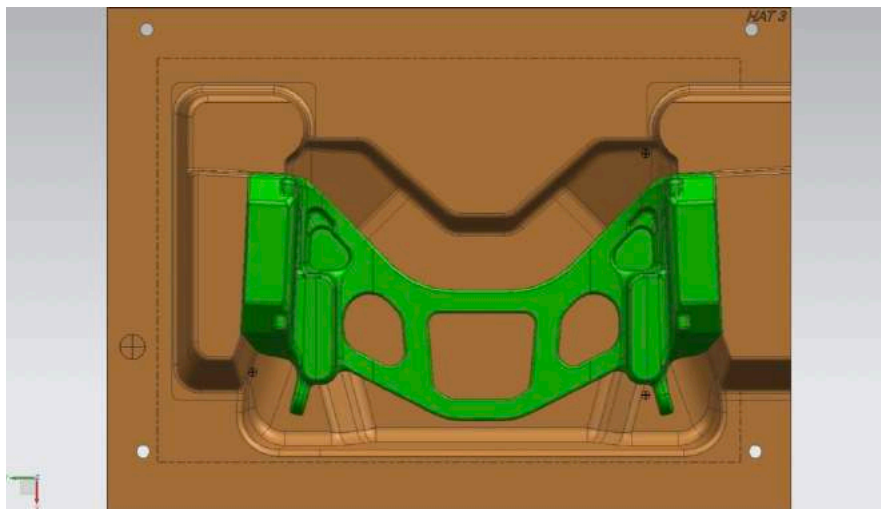
GİRİŞ

Şaft desteği parçası dikey kalıplama hatları için üretilmesi zor ve büyük bir parçadır. Demisaş bünyesinde bulunan büyük kalıplama hattının plaka ölçüleri 950mm x 700 mm'dir. Parçanın boyu 673 mm olmakla birlikte yüksekliği 342 mm'dir. Dolayısıyla böylesine büyük ve mont yüksekliği 200 mm olan bir parçanın bu kalıplama hattında üretilebilmesi yoğun çaba ve özveri gerektirir. Tüm bu süreçte öncelikle detaylı bir yerleşim yapmak çok önemlidir. Aksi halde 39,8 kg'lık bir parçanın üretimi esnasında kalıp patlatması gibi güvenlik riski oluşturacak durumlarla karşılaşılabilir. Parçanın boyutları Resim 1'de gösterilmektedir.

Parçanın yerleşiminde montlu yapısı gereği farklı problemlerle karşılaşmıştır, parçanın boyutlarının büyük olması normal şekilde montların plaka yüzeyine inebilmesine olanak tanıyamamıştır, dolayısıyla bu süreçte yolluk geçecek kısım hariç diğer kısımda montlar kalıp dışına doğru patlatılarak yerleşim için çözüm bulunabilmiştir.

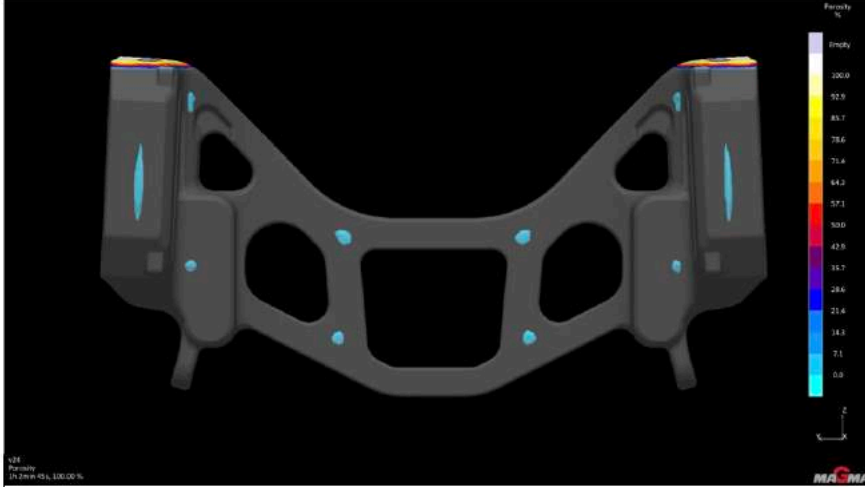


Yerleşim sürecinde montların kalıp dışına patlatılması pratik çözüm olmakla birlikte kalıptan metal akışına neden olabilecek risklere karşı patlatılan yüzey mümkün olduğunca kalıp dış duvarında uzak tutularak süreç güvence altına alınmıştır. Aksi halde yakın olması bu riski arttıracaktır. Kalıptaki yerleşim Resim 2'de gösterilmiştir.

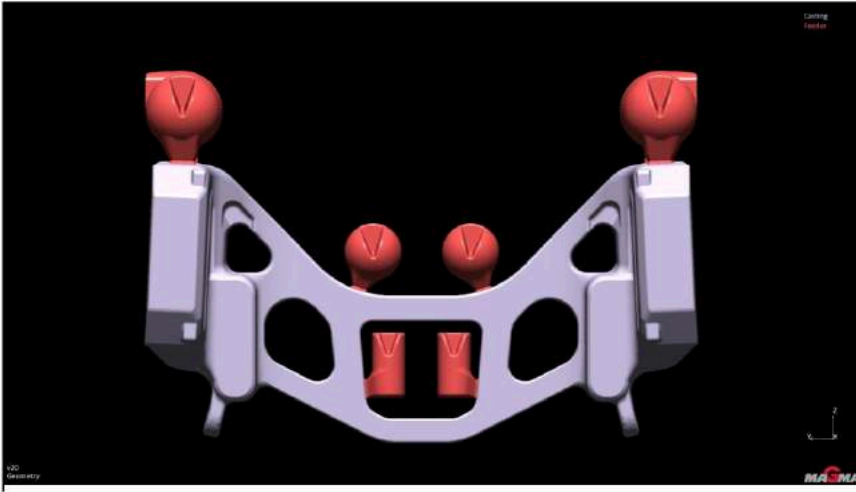


DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Yerleşim sürecinden sonra parçanın üretimi ile ilgili süreci ele almak için ön MAGMA simülasyon çalışmaları yapılmıştır. Besleyicisiz yapılan ön simülasyon çalışmasında, boşluk riski olan yerler saptanarak sonraki süreçte yol göstermesi sağlanmıştır. Ön çalışma simülasyon görseli Resim 3'de gösterilmektedir.

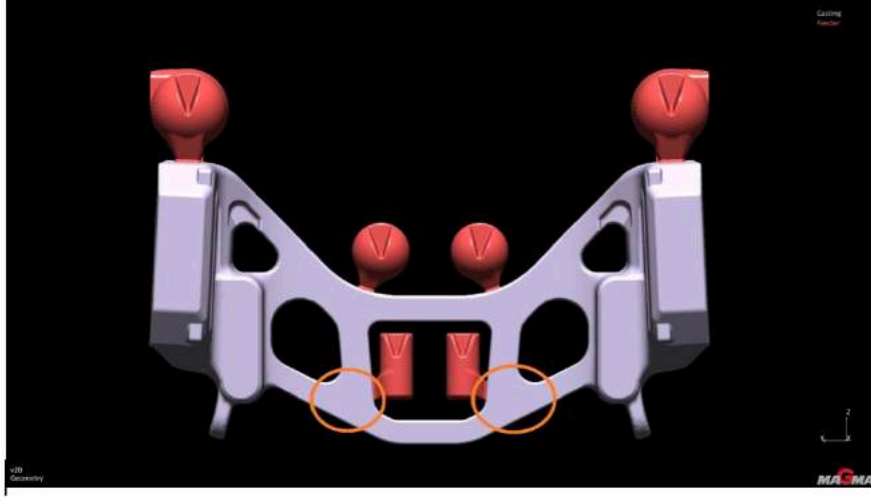


Yapılan ön süreç sonrası parçanın riskli bölgelerine besleyiciler konulmuş ve deneme planlanmıştır, parçanın besleyici yerleşimi Resim 4'de gösterilmiştir. Yapılan deneme sonucunda parçalar incelenmiştir. Bu inceleme gerek X-Ray gerekse parçalar kesilerek yapılmıştır. İncelemeler sonrasında parçaların T kol bölgelerinde çekintilere rastlanmıştır, diğer bölgelerde problem gö-



rülmemektedir. firma bu bölgelerde çekinti istememektedir. Dolayısıyla bu problemin çözüme kavuşturulması gerekmektedir.

Çekinti oluşan bölgeler Resim 5'de gösterilmiştir. Bunun yanı sıra Resim 6'da dökülen parçaların çekintili ve çekintisiz bölgeleri gösterilmektedir.



T kollarındaki çekintinin çözümü için optimizasyon yapılması planlanmıştır, Parçanın ağır oluşu ve salkım ağırlığının fazla olması nedeniyle yapılan her deneme ekstra maliyet getireceğinden sorunun minimum deneme yapılacak şekilde çözülmesi önem kazanmıştır.

Yapılacak olan optimizasyon için değişkenler besleyici boyutu ve besleyicinin yeri olarak seçilmiş olup her bağımsız değişken için 3 farklı düzey seçilmiştir. Seçilen düzeyler aşağıdaki gibidir (Tablo 1);

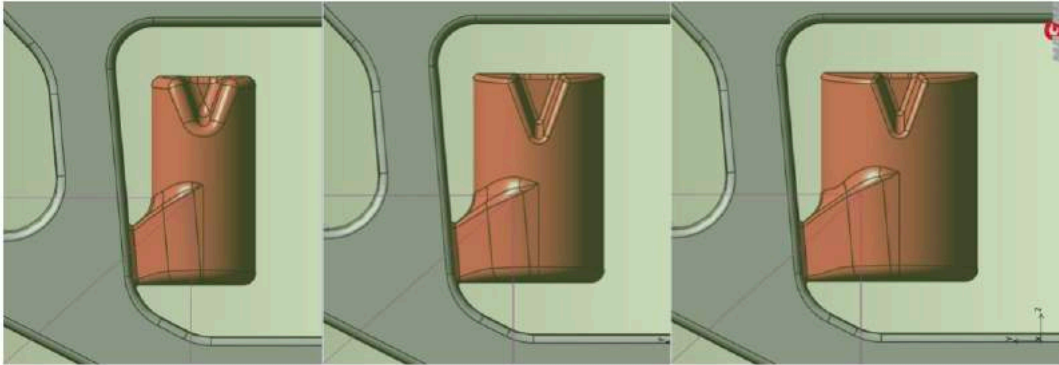
				Adım
Besleyici yarıçapı	20 mm (1 nolu)	25 mm (2 nolu)	30 mm (3 nolu)	5'er 5'er
Besleyicinin yeri	-10 mm	-5 mm	0 mm	5'er 5'er

Bu değişkenler tablosuna bağlı olarak toplamda 9 farklı kombinasyon oluşmakta olup tüm bu kombinasyonlar MAGMA'nın optimizasyon modülü sayesinde hesaplanacaktır. Resim 7'de deneylerin bilgileri ve farklı kombinasyonlar gösterilmektedir.

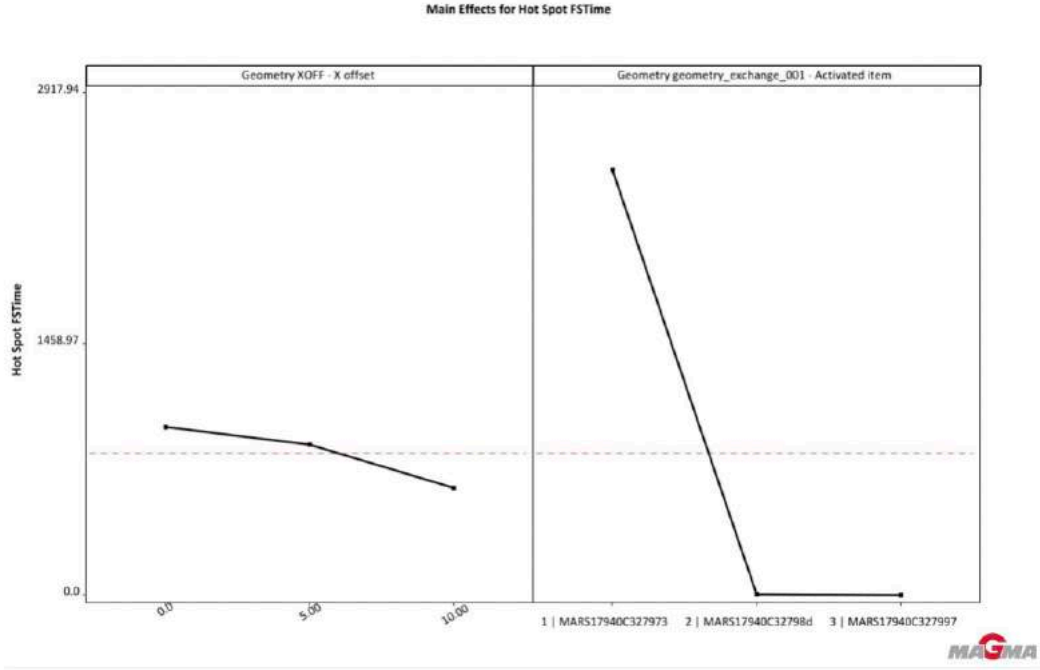
Start Sequence

Design ID	Geometry geometry_exchange_001 - Activated item	Geometry XOFF - X offset (mm)
1	1 | MARS17940C327973	0.0
2	2 | MARS17940C32798d	0.0
3	3 | MARS17940C327997	0.0
4	1 | MARS17940C327973	5.0
5	2 | MARS17940C32798d	5.0
6	3 | MARS17940C327997	5.0
7	1 | MARS17940C327973	10.0
8	2 | MARS17940C32798d	10.0
9	3 | MARS17940C327997	10.0

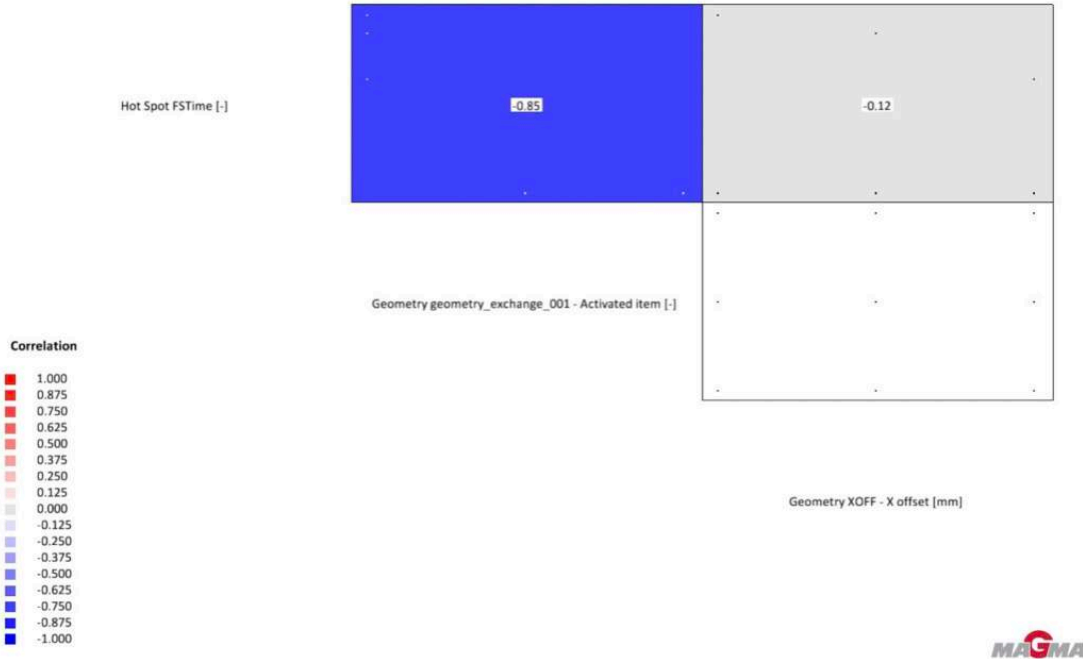
Besleyicilerin düzeyleri örnek olarak Resim 8'de gösterilmiştir, yarıçap boyutları sırasıyla 20mm, 25mm ve 30mm olacak şekilde değişmektedir. Yine aynı şekilde besleyicinin konumu -Z yönünde 3 farklı kademede hareket edecek olup tüm bu değişkenler için toplamda 9 kombinasyon hesaplanarak sonuçlar elde edilecek ve Hotspot bölgesini parçadan besleyiciye çeken T kolda çekinti riski bırakmayan en iyi dizayn bulunacaktır.



Yapılan optimizasyon çalışması sonucunda besleyici boyutu değişkeni ve besleyici yeri değişkeninin hotspot'a etkisi Resim 9'daki gibidir. Besleyici boyutu yarıçap 20mm'den daha fazla olduğunda iyileşme çok belirgin şekilde görülmekte ancak besleyici yeri çok büyük ölçüde etki yaratmamaktadır.



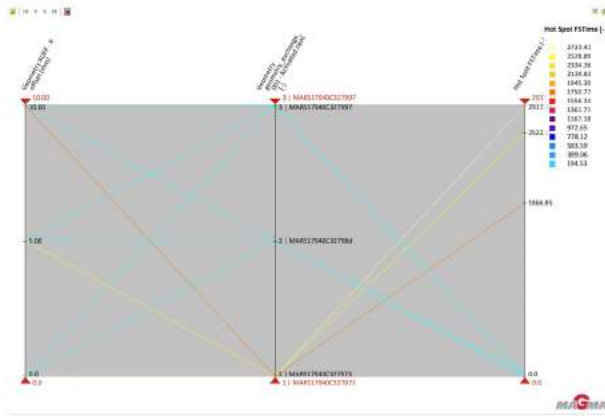
Her iki bağımsız değişkenin de hotspot'a olan etkisi kolerasyon tablosunda (Resim 10) gösterilmiştir. Besleyici boyutuyla ve yerile ters orantılı bir ilişki olup besleyici boyutunun etkisi -0,85 iken besleyici yerinin etkisi -0,12 ile daha azdır.



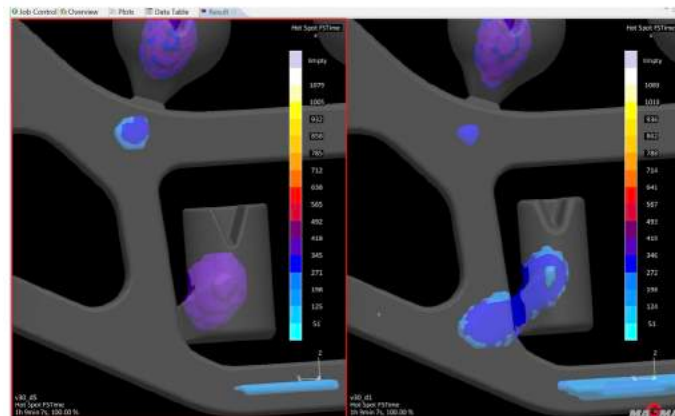
Yapılan tüm deneyler sonucunda hotspot değerleri 9 farklı deney için de aşağıda belirtilmiştir. (Resim 11)

Rank	Design	Geometry XOFF - X off...	Geometry geometry_ex...	Hot Spot FSTime (-)
Rank 1	Design 3	0.0	3 | MARS17940C327997	0.0
Rank 1	Design 5	5.0	2 | MARS17940C32798d	0.0
Rank 1	Design 6	5.0	3 | MARS17940C327997	0.0
Rank 1	Design 8	10.0	2 | MARS17940C32798d	0.0
Rank 1	Design 9	10.0	3 | MARS17940C327997	0.0
Rank 6	Design 2	0.0	2 | MARS17940C32798d	10.48
Rank 7	Design 7	10.0	1 | MARS17940C327973	1866.85
Rank 8	Design 4	5.0	1 | MARS17940C327973	2622.89
Rank 9	Design 1	0.0	1 | MARS17940C327973	2917.94

Deney sonuçlarına göre yarıçapı 20mm olan besleyiciler seçildiğinde Hotspot değeri artarken, 25mm ve 30 mm yarıçaplı besleyiciler seçildiğinde boğaz yerleri çok farketmeksizin Hotspot değerleri sıfır gelmiştir. Paralel koordinat sisteminde bu durum daha iyi görülebilmektedir. (Resim 12). 25 mm ve 30 mm yarıçaplı besleyiciler seçildiğinde (mavi çizgiler) Hotspot değeri sıfır çıkarken, 20 mm yarıçaplı besleyici seçildiğinde Hotspot değeri artış göstermiştir. (Renkli çizgiler)



Deney sonuçlarına göre 20 mm'lik yarıçaplı hotspot değeri yüksek çıkan besleyici ile 25 mm'lik yarıçaplı hotspot değeri sıfır çıkan besleyici karşılaştırmalı olarak Resim 13'de gösterilmiştir. Küçük olan besleyicilerde T bölgesinde çekinti riski görünürken büyük olan besleyicide bu risk T bölgesinde görülmeyp besleyicinin içine çekilmiştir.



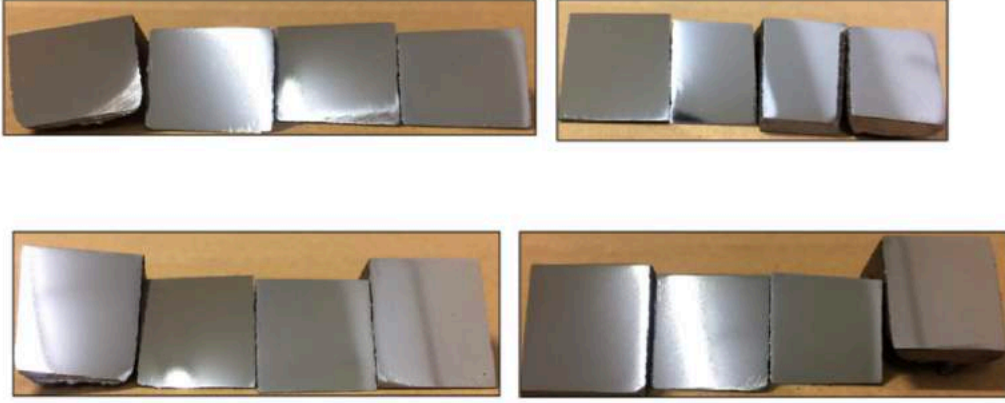
SONUÇLAR

Yapılan optimizasyon çalışması sonucu 20mm yarıçaplı besleyicinin yetersiz geldiği, diğer 25 mm ve 30 mm yarıçaplı besleyicilerde ise Hotspot'un iyileştiği görülmüştür, besleyicinin boğazının aşağı veya yukarı 5'er mm kaydırılması büyük bir etki göstermemektedir.

Tüm bu sonuçlar ışığında verimliliğin de düşmesini önlemek için Hotspot değerleri iyi gelen 25 mm ve 30 mm yarıçaplı besleyicilerden küçük olanı seçilerek modele yerleştirilmiş ve deneme planlanmıştır.

Yapılan deneme sonrasında T kollarda çekinti görülmemiştir, sonraki süreçte de parça dökülmüş olup T bölgelerde çekinti kaynaklı problem yaşanmamıştır. Parçanın 39,8 kg ağırlığı göz önüne alındığında sadece T bölgesindeki çekinti yüzünden parçaların sakata ayrılması engellenmiştir.

Yapılan deneme sonrası T bölgeleri X Ray bakılarak ve parça kesilerek kontrol edilmiş, çekintiye rastlanmamıştır. (Resim 14)



Tüm bu süreçte MAGMASOFT'un optimizasyon modülü kullanılarak çalışma yapılmış ve uygulanan sonuçlardan olumlu geri dönüş alınmıştır. Böylelikle farklı, büyük ve Demisaş'ın ürün çeşitliliğini artıracak bir parçanın çekintisiz şekilde üretilebilmesi sağlanmış ve aynı zamanda yapılacak olan gereksiz deneme maliyetleri engellenmiştir.

Anahtar kelimeler: Simülasyon, Optimizasyon, Döküm, Şanzıman Desteği

Keywords: Simulation, Optimizaytion, Casting, Transmission Support

MECHANICAL PROPERTIES OPTIMIZATION OF AS-CAST AUSFERRITIC DUCTILE IRON AS A FUNCTION OF SECTION SIZE AND HOLDING TIME

U. de la Torre, R. González-Martínez and S. Méndez

Azterlan, Basque Research and Technology Alliance (BRTA), Durango, Spain

ABSTRACT

The ADI family shows the best resistance ductility relationship of the ductile iron materials due to an ausferritic microstructure. This research work is focused on the as-cast state obtention of this type of microstructures, with no need of heat treatment. It studies the effect of section size and holding time on the evolution of the microstructure and mechanical properties of as-cast ausferritic ductile iron. For that, Y block standard samples of 50.0 mm thickness and thermal analysis cups were produced using a novel engineered cooling methodology. The temperature arrest was performed at 400 °C and the holding time changed from 0 to 180 minutes. The obtained experimental results show that, 60 minutes holding time are needed to obtain the optimal mechanical properties (U.T.S.> 800 MPa and El.> 12%).

Keywords: ADI, as-cast; ausferrite; controlled cooling.

1. INTRODUCTION

Ductile cast iron (DI) has a wide range of mechanical properties depending on its microstructure. Due to its strength-ductility ratio, in addition to the lower density, there are many applications where DI can replace cast and forged steel. For this reason, the search for new DI alloys, having improved mechanical properties and lowered production costs is still an important research field. Among the DI family, the material which presents the highest resistance/ductility rate is austempered ductile iron (ADI) (Fig. 1). ADI has an excellent combination of high resistance, good ductility and high fatigue strength (1- 4).

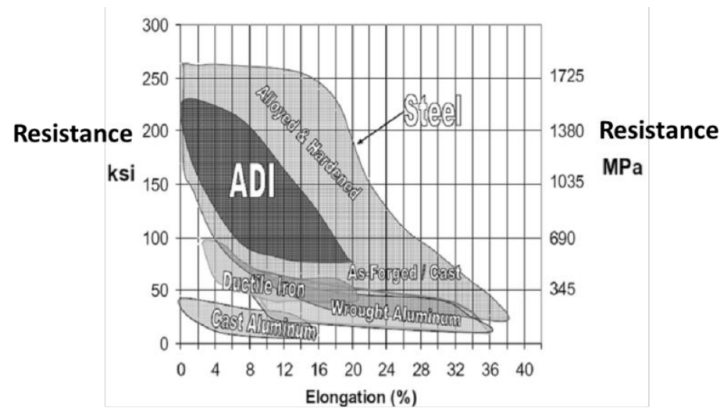


Figure 1. Tensile strength-elongation relationships for different engineering materials. The mechanical properties of the ADI materials are based on an ausferritic microstructure, which is made up of acicular ferrite (AF) and carbon enriched or reacted austenite. The conventional way of obtaining this microstructure, is by carrying out a heat treatment to the as-cast obtained foundry casting, called austempering. This heat treatment consists of an austenization step followed by an isothermal quench (5-8). Nonetheless, the heat treatment involves lead time, cost and manufacturing complexity increases, that weaken the competitiveness of these materials.

One alternative to the heat treatment is an engineered cooling process, which means, acting on the cooling process of the casted component when its solidification process has finished (9-13). This way, the energy that the castings have after the solidification is profited and modifying the cooling conditions, the targeted microstructure is achieved in as-cast conditions.

In the present work an engineered cooling process with no extra energy addition to obtain a fully ausferritic microstructure is shown. The influence of the thermal modulus and the tempering time are analysed and compared to the results already available in the literature.

2. EXPERIMENTAL PROCEDURE

The melts were prepared in a 100 kg capacity medium frequency induction furnace (250 Hz, 100 kW). The metallic charge was 50% of low-alloyed steel and 50% of low-alloyed pig iron, in addition to high purity nickel, ferromolybdenum, graphite and FeSi75. Once melted, the composition was checked and adjusted according to the required carbon, silicon, nickel and molybdenum contents.

The transfer of the melt from the furnace to the ladle was made at a temperature between 1490-1510 oC. The spheroidization treatment was carried out following the sandwich methodology adding 1.2 wt.% of a FeSiMg alloy (6.3 % Mg; 1.01 % Ca; 0.47 % Al and 0.87 % Rare Earth). An amount of 2.4 wt.% steel scrap was used to cover the Mg alloy.

The inoculation was performed in mould adding 0.2 wt.% of an inoculant product (72.10 % Si, 1.62 % Ca, 0.46 % Bi, 0.38 % Ba, 0.85 % Al, 0.19 % Zr, 0.39 % R.E., the rest being Fe) with a grain size of 0.2-0.5 mm.

The chemical composition obtained on the different trials is shown in Table 1.

Table 1. Chemical composition ranges considering the different trials (wt. %).

C	Si	Ni	Mo	Mn	Cu	Mg	S
3.54- 3.61	2.02- 2.13	2.90- 3.05	0.19- 0.20	0.17- 0.21	<0.05	0.045- 0.059	0.005- 0.010

In order to analyse the effect of the thermal modulus on the ausferritic reaction, keel blocks Y3 (as per the standard EN 1563) and thermal analysis samples were poured. A type K thermocouple was inserted in the centre of the samples. To these samples, the following engineered cooling was applied.

a) Early shakeout at 800 oC.

b) Air cooling till the tempering temperature. The target of this step is to avoid the pearlitic nose.

c) Temperature arrest: At 400 oC, the samples were introduced into an insulating material (thermal conductivity: 0.04-0.06 W/mK; mesh size less than 5 mm; bulk density: 33-55 kg/m³) so that the temperature can be maintained and the ausferritic reaction evolve. Different holding times were tested (0, 10, 20, 30, 60, 90 and 180 minutes).

An example of this engineered cooling process is shown in figure 2, compared to an austempering heat treatment thermal evolution.

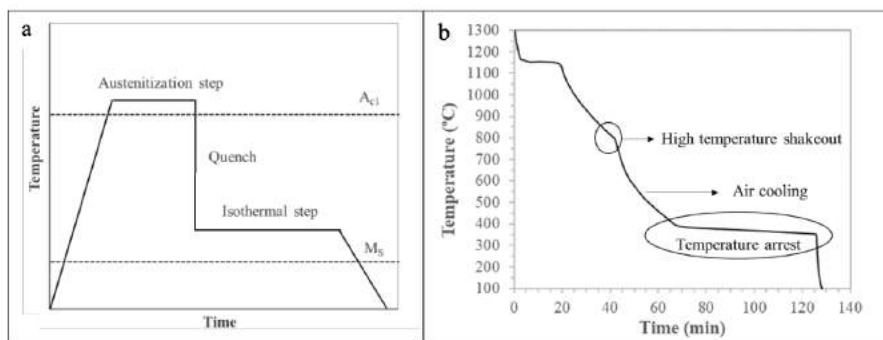


Figure 2 : Thermal evolution of (a) austempering heat treatment; (b) engineered cooling process for a Y3 block.

In order to determine the effect of the section size on the ausferritic reaction evolution, the thermal modulus (TM) for the studied samples was calculated by means of the simulation software QuickCAST®. The results were of 1.75 cm for the Y3 block and 0.60 cm for the thermal analysis cup.

Tensile and hardness specimens were machined from the bottom of the Y3 blocks. A 10 mm diameter specimen was used for tensile tests. The mechanical parameters measured were the ultimate tensile strength (U.T.S.), the yield strength (Y.S.), the elongation (El.) and the Brinell hardness (HBW).

Once the tensile specimens were broken, a surface close to the fracture was cut and prepared for metallographic examination. Additionally, the thermal analysis cups were metallographically examined on their thermal centre. To define the different phases that make up the microstructure (AF, reacted austenite and martensite (M)), the methodology described on the standard ASTM E562 was performed to define the volume fraction of AF and M, considering a

square grid of 100 points per image, at 1000 magnifications. Ten fields per sample were analysed. Light Optical Microscopy (LOM) and Scanning Electron Microscopy (SEM) were used for these evaluations.

3. RESULTS AND DISCUSSION

In the figure 3, it is shown, the evolution of the microstructure with the holding time for the studied different thermal moduli considering the temperature of 400 °C. The holding time is the time that the castings are maintained inside the insulating material.

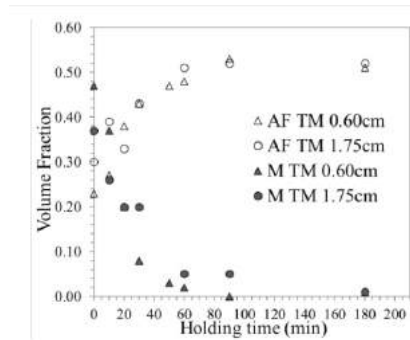


Figure 3 : AF and M evolution for the different TM at 400 °C with the holding time.

It is observed how the ausferrite formation evolves similarly for both thermal moduli. As the holding time increases, the AF increases till a maximum value and the martensite content decreases. The maximum content of AF is defined by the so-called incomplete reaction phenomenon, because the reaction stops before the austenite reaches the equilibrium carbon content (14,15). This maximum is obtained after 60 minutes holding time, which means that the reaction is completed at that time. Then a fully ausferritic microstructure is obtained, made up by acicular ferrite (52 %) and reacted austenite (48 %). Only at the very early stages of the reaction there are some differences between the studied thermal moduli. This is because the ausferritic reaction starts before the temperature arrest, since the air cooling is not a high enough cooling rate so as to avoid the ausferritic nose till the castings are introduced into the insulating material, as was seen on a former development (16).

In figure 4, the results of the present work are shown together with data from the literature (16) regarding the microstructure evolution with the holding time.

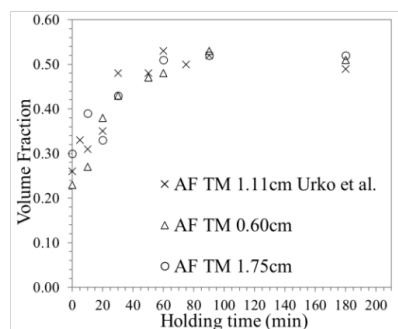


Figure 4 : AF formation evolution at 400 °C for different TM data from the literature.

It is seen, how the tendency is maintained considering data from the literature. This means that the TM or the section size is not significantly affecting the evolution of the transformation. This could discard that the ausferritic transformation in ductile iron is a diffusive phenomenon, because it would then have a relationship with the section size.

For a diffusive phenomenon, the higher the section size, the longer the time the reaction needs to be completed, because the atoms need to through longer distances. On this case, however, independent of the section size, the transformation rate is similar. For this reason, it can be considered that the reaction occurs simultaneously on the different parts of the casting, and thus, the ausferritic transformation can be considered a displacive phenomenon.

In figure 5, some micrographs showing the evolution of the microstructure with the holding time for the two studied thermal moduli are shown. The target is to illustrate the evolution that was plotted in figure 3.

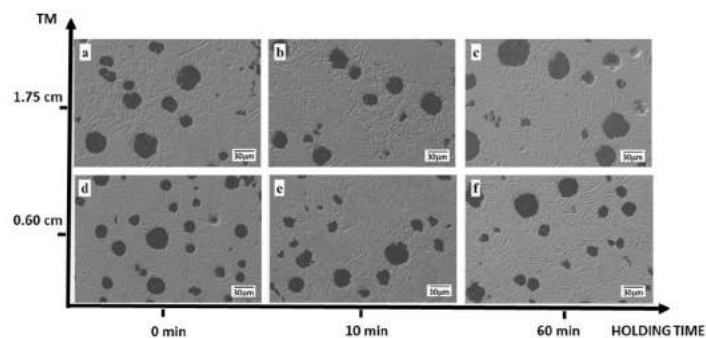


Figure 5 : Examples of the microstructure for the TM 1.75 and 0.60 cm at 400 °C for different holding times (a) 0 min, TM 1.75cm; (b) 10 min, TM 1.75cm; and (c) 60 min, TM 1.75cm; (d) 0 min, TM 0.60cm; (e) 10 min, TM 0.60cm; (f) 60 min, TM 0.60cm.

The evolution of the mechanical properties with the holding time for the Y3 block is shown in figure 6. Additionally, the requirements of the standard EN 1564 are indicated, which is the standard that defines the mechanical properties of the ADI materials.

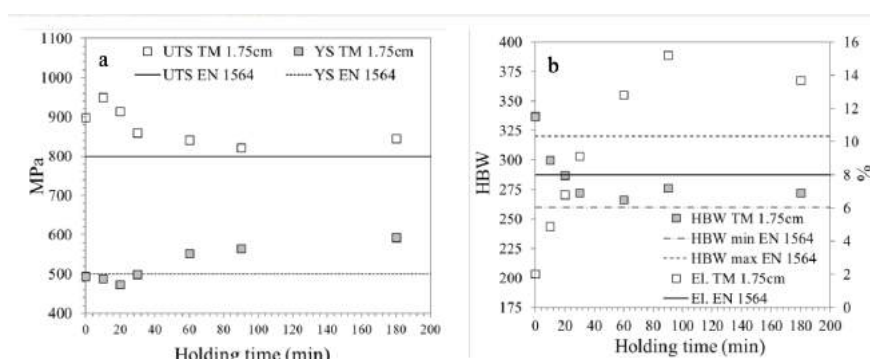


Figure 6 : (a) Ultimate tensile strength, and yield strength evolution with the holding time; (b) hardness and elongation evolution with the holding time.

It is observed that the ultimate tensile strength, at the first step of the reaction increases, and after reaching a maximum, it decreases to reach a constant value. On the other hand, the yield strength is constant at short holding times and from 40 to 60 minutes holding time increases to reach a constant value. As the ausferritic reaction evolves (longer holding times), the hardness decreases while the elongation increases till they reach a constant value.

After 30 minutes holding time, the requirements of the standard EN 1564 are satisfied. The mechanical properties improve till 60 minutes holding time, in terms of a yield strength and an elongation increase. Afterwards, they remain constant.

This evolution of the mechanical properties is in good agreement with the microstructure evolution shown in figure 3. At short holding times, the reaction is incomplete, and this means that martensite is formed after the temperature arrest. A high martensite content involves a low ductility together with a high hardness of the material. As the transformation evolves, more AF is formed, and the austenite is enriched in carbon, so the martensite formation decreases because the austenite is stabilized at room temperature by this carbon enrichment. Once the reaction is completed after 60 minutes holding time, then the mechanical properties remain constant.

In figure 7, the results of the present work are shown together with data from the literature (16) regarding the mechanical properties evolution with the holding time. The requirements of the standard EN 1564 are indicated.

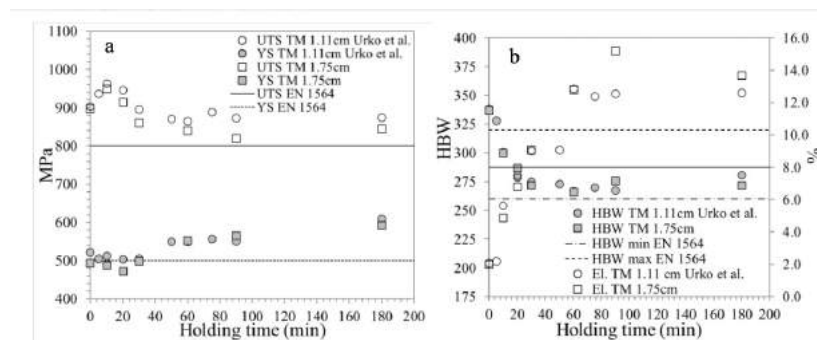


Figure 7 : (a) Ultimate tensile strength, and yield strength evolution with the holding time; (b) hardness and elongation evolution with the holding time for different TM data from the literature.

It is observed how both results follow the same tendency and the differences between both thermal moduli are small and attributable to the longer solidification time of the Y3 block compared to the TM 1.11 cm.

4. CONCLUSIONS

- A complete ausferritic microstructure was obtained by means of an engineered cooling methodology with no extra energy addition to the poured casting.
- The microstructure evolution shows that the ausferritic transformation is completed after 60 minutes holding time.
- No influence of the section size is shown regarding the microstructure evolution during the temperature arrest. This is in good accordance with a displacive nature of the reaction.
- The mechanical properties requirements of the ADI materials are satisfied after 30 minutes

holding time. The mechanical properties improve till 60 minutes holding time, in terms of a yield strength and an elongation increase. Afterwards, they remain constant.

5. REFERENCES

- 1) Y. Tanaka and H. Kage, "Development and application of austempered spheroidal graphite cast iron", *Materials Transactions, The Japan Institute of Metals*, Vol. 33, 1992, P. 543-557.
- 2) J. Liu, "Unique microstructure and excellent mechanical properties of ADI", *China Foundry*, Vol. 3, No. 4, 2006, P. 253-257.
- 3) A. Vaško, "Chosen factors influencing microstructure and mechanical properties of austempered ductile iron", *Materials Engineering*, Vol. 16, No. 4, 2009, P. 11-15.
- 4) K.B. Rundman, D.J. Moore, K.L. Hayrynen, W.J. Dubensky and T.N. Rouns, "The microstructure and mechanical properties of austempered ductile Iron", *Journal of Heat Treating*, Vol. 5, 1998, P. 79-95.
- 5) N. Darwish and R. Elliot, "Austempering of low manganese ductile irons Part 3 Variation of mechanical properties with heat treatment conditions", *Materials Science and Technology*, Vol. 9, 1993, P. 882-889.
- 6) S.K. Putatunda and P.K. Gadicheria, "Effect of austempering time on mechanical properties of a low manganese austempered ductile iron", *Journal of Materials Engineering and Performance*, Vol. 9 (2), 2000, P. 193-203.
- 7) M. Baydoğan and H. Çimenoğlu, "The effect of austempering time on mechanical properties of a ductile iron", *Scandinavian Journal of Metallurgy*, Vol. 30, 2001, P. 391- 395.
- 8) K.M. Kumar, P. Hariharan, P. Venkateshwaran and S. Tamilarasan, "Examination of microstructure and mechanical properties of austempered ductile iron (ADI) as per austempering temperature and time", *Transactions of the Indian Institute of Metals*, Vol. 68, 2015, P. 67-71.
- 9) U. de la Torre, D.M. Stefanescu, D. Hartmann, R. Suárez, "As-cast ausferritic ductile iron", *Keith Millis symposium proceedings, Nashville, American Foundry Society*, October 2013, P. 233-243.
- 10) S. Méndez, U. de la Torre, R. González-Martínez, R. Suárez, "Advanced properties of ausferritic ductile iron obtained in as-cast conditions", *International Journal of Metalcasting*, Vol. 11, 2017, P. 116-122.
- 11) S. Méndez, U. de la Torre, R. Suárez, P. Larrañaga and D.M. Stefanescu, "Processing thickness window for as-cast ausferritic castings", *AFS proceedings 2015, Columbus, April 2015, American Foundry Society*, 2015, P. 219-226.
- 12) S. Lekah, B. Hebrek, R. Scott and J. Schobohm, "High strength ductile iron produced by engineered cooling: application for different casting processes", *AFS proceedings 2016, Minneapolis, April 2016, American Foundry Society*, 2016, P. 1-15.
- 13) K. Liu, A. Xu, D. Xiang and B. Xu, "Microstructures and properties of bainitic nodular cast iron treated by controlled cooling and austempering treatment", *Advanced Materials Research*, Vols. 152-153, 2011, P. 259-262.
- 14) A. Ali, M. Ahmed, F.H. Hashmi and A.Q. Khan, "Incomplete reaction phenomenon un high strength bainitic steels", *Metallurgical Transactions A*, Vol. 24A, 1993, P. 2145- 2150.
- 15) Y. Amran and A. Katsman, "Quantitative analysis of austempering kinetics of ductile iron with Cu addition", *Materials Science and Technology*, Vol. 29, No. 5, 2013, P. 529- 533.
- 16) U. de la Torre, R. González-Martínez and S. Méndez, "Effect of the section size, holding temperature and time on the kinetics of the ausferritic transformation and mechanical properties of as-cast ausferritic ductile iron", *Materials Science and Engineering A*, Vol. 788, 2020.

ÖSTEMPERLEME İŞLEMİNİN VERMİKÜLER DÖKME DEMİRİN MİKROYAPI SERTLİK ÇEKME DAYANIMI VE DARBE DİRENCİ ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Yiğit GÜLERYÜZ¹, Hakan GAŞAN², Zafer AY³, Ali Emre ZOBAROĞLU⁴

¹Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü 26480 / Eskişehir

²Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü 26480 / Eskişehir

³Demisaş Döküm Emaye Mamülleri A.Ş, Bilecik, Türkiye

⁴Demisaş Döküm Emaye Mamülleri A.Ş, Bilecik, Türkiye

ÖZET

Bu çalışmada GJV300 vermiküler dökme demire, farklı parametrelerde uygulanan östemperleme ısı işleminin numunelerin sertlik, çekme dayanımı ve darbe direnci ile mikroyapısal özelliklerine olan etkisi incelenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda östemperleme işlemine tabii tutulmuş numunelerin sertlik ve çekme dayanımı değerlerinin orijinal numuneye göre artış gösterdiği gözlemlenirken, darbe direnci değerlerinin ise düştüğü saptanmıştır. Östemperleme parametrelerinin etkisi gözlemlendiğinde ise östemperleme sıcaklığı arttıkça sertlik ve çekme dayanımında düşüş olduğu belirlenmiştir. Mekanik özelliklerde meydana gelen değişimlerin mikroyapı ile ilişkisi açıklanmıştır.

Anahtar Kelimeler: vermiküler dökme demirler, östemperleme, sertlik, çekme dayanımı, darbe direnci

ABSTRACT

In this study, the effect of austempering heat treatment applied to GJV300 vermicular cast iron with different parameters on the hardness, tensile strength, impact resistance and microstructural properties of the samples was investigated. As a result of the studies, it was observed that the hardness and tensile strength values of the samples subjected to austempering process increased compared to the original sample, while the impact resistance values decreased. When the effect of the austempering parameters was observed, it was determined that the hardness and tensile strength decreased as the austempering temperature increased. The relationship between changes in mechanical properties and microstructure is explained.

Keywords: vermicular cast iron, austempering, hardness, tensile strength, impact resistance

GİRİŞ

Küresel ısınma günümüzün en büyük sorunlarının başında gelmektedir. Küresel ısınmaya neden olan kaynaklar içinde fosil yakıtların kullanımı önemli bir yer tutmaktadır. Bu kapsamda alternatif kaynaklar araştırılrsa da endüstrinin çeşitli kollarında ve başta otomotiv sanayisinde kullanılan parçaların en az aynı mekanik değerlerde ve daha hafif olmasını sağlayabilmek hala en önemli konudur. Bu gereklilikler alternatif malzeme kullanımlarının yanı sıra var olan malzemelerin özelliklerini geliştirmek için yapılan işlemleri de beraberinde getirmektedir.

Vermiküler dökme demirlerin yüksek mekanik, ısı ve yorulma dayanımı özellikleri, yüksek dayanım/ağırlık oranı gibi özellikleri nedeniyle otomotiv sektöründe kullanımı gün geçtikçe artmaktadır.

Östemperleme ısı işlemi; 850-950 °C sıcaklıklarda östenitleme işlemi takiben, tuz banyosunda malzemenin türüne göre 250-600 °C sıcaklık aralığında belirli sürelerde bekletilmesi ile malzemenin mikroyapısında değişim ve mekanik özelliklerinde iyileşmeyi sağlayan bir ısı işlemidir. Kim et all. (2008) gri dökme demirlerde yaptıkları çalışmada, Ramadan et all., (2006) ise küresel grafitli dökme demirde yaptıkları çalışmada östemperleme işleminin mekanik özelliklerine etkisini incelemişler ve yapılan çalışmalar sonucunda östemperleme ısı işleminin mekanik özellikleri geliştirdiğini ortaya koymuşlardır.

Tüm malzemelerde olduğu gibi dökme demirlerde de mekanik özellikler mikroyapıya oldukça bağlıdır. Sonradan yapılacak ısı işlemlerle mikroyapıda meydana getirilecek değişikliklerin beraberinde mekanik özellikleri de iyileştireceği açıktır.

Bu çalışmada GJV300 vermiküler dökme demire farklı parametrelerde östemperleme ısı işlemi uygulanmış ve numunelerin sertlik, çekme dayanımı ve darbe direnci ölçülerek mikroyapıda meydana gelen değişimlerle ilişkisi ortaya çıkarılmıştır.

2.MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada kullanılan GJV 300 vermiküler dökme demirin kimyasal analizleri Tablo 1' de verilmiştir. Çekme numuneleri silindirik şekilde (80x15 mm), sertlik numuneleri küp şeklinde (10x10x10 mm) ve darbe direnci numuneleri ise dikdörtgenler prizması şeklinde(55x10x10 mm) Demisaş Döküm Emaye Mamülleri tarafından hazırlanmıştır. Numuneler ölçülerine göre yapının tamamen östenite dönüşebilmesini sağlayacak sürelerde 900 °C sıcaklıkta östenitleme işlemine tabi tutulmuştur. Östenitleme işlemi sonrası numuneler fırından çıkarılarak sıcaklıkları sırasıyla 250, 300, 350 °C olan tuz banyosunda (%40 NaNO₂, %40 NaNO₃, %20 KNO₃) sırasıyla 2, 4 ve 6 saat bekletilmiştir. Östemperleme işlemi sonrası numuneler oda sıcaklığında soğutulmuştur.

VERMİKÜLER DÖKME DEMİR(CGI)						
Alman DIN Standartına Göre İsimlendirme	Kimyasal Analizi (%)					
	C	Si	Mn	P	S	CEQ
GJV	3.78	2.155	0.258	0.026	0.025	4.512

Tablo 1 : Vermiküler Dökme demirin kimyasal analizi

Metalografik inceleme için LaboPress 3 cihazı kullanılarak bakalite alınan numuneler Struers-TegraPol-21 cihazında sırasıyla 800 ve 1000 meshlik zımparalar ile zımparalanmış ve sonrasında 3 mikronluk elmas pasta ile parlatılmıştır. Dağlama işlemi %2 nital dağlayıcı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Metalografik işlemler sonucu numuneler Clemex görüntü analiz sistemine sahip Nikon marka optik mikroskopta incelenmiştir.

Sertlik ölçümleri Zwick marka sertlik ölçüm cihazında, çekme testleri Zwick/Roell çekme cihazında, darbe testleri ise MFL Systeme D6800 cihazda yapılmıştır.

Yapılan östemperleme işlemi süre ve sıcaklığına bağlı olarak numunelere verilen kodlar Tablo 2' de gösterilmektedir.

Numune Kodu	Östenitleme Sıcaklığı (°C)	Östemperleme Sıcaklığı (°C)	Östemperleme Süresi (saat)
Orijinal-1	-	-	-
250-2	900	250	2
250-4	900	250	4
250-6	900	250	6
300-2	900	300	2
300-4	900	300	4
300-6	900	300	6
350-2	900	350	2
350-4	900	350	4
350-6	900	350	6

Tablo 2 : Numune kodları

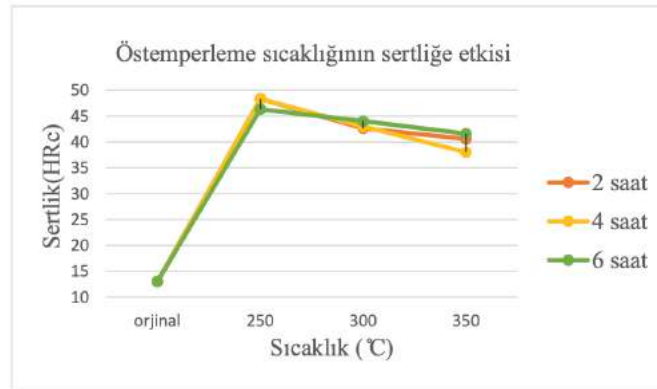
3.BULGULAR VE TARTIŞMA

Numunelerin her yüzeyinden 3 ölçüm yapılarak alınan ortalama sertlik değerleri Tablo 3' te verilmiştir.

Numune Kodu	Sertlik, HRc
Orijinal-1	13
250-2	48.33
250-4	48.33
250-6	46.33
300-2	42.6
300-4	43
300-6	44
350-2	40.6
350-4	38
350-6	41.6

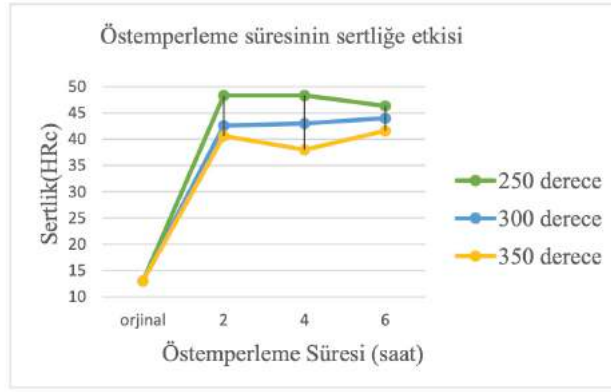
Tablo 3 : Numunelerin sertlik dağılımı

Östemperleme sıcaklığının ve süresinin etkisinin rahat kıyaslanabilmesi açısından izotermal ve izkronal olarak sınıflandırma yapılarak östemperleme sıcaklığının etkisinin incelendiği grafik Şekil 1'de; östemperleme süresinin sertliğe etkisinin incelendiği grafik ise Şekil 2' de verilmiştir.



Şekil 1 : Östemperleme sıcaklığının sertliğe etkisi

Şekil 1'de görüldüğü gibi 250 °C de yapılan östemperleme işlemi sonucunda sertlik oldukça artış göstermiştir. Bunun yanı sıra aynı sürede östemperleme sıcaklığı arttıkça sertliğin düştüğü saptanmıştır.



Şekil 2 : Östempereleme süresinin sertliğe etkisi.

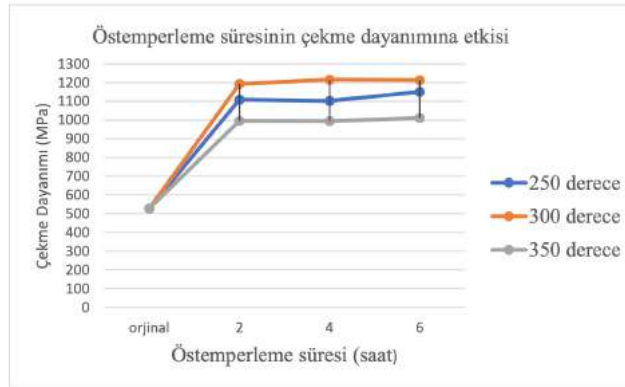
Şekil 2' de görüldüğü üzere östempereleme süresinin sıcaklık kadar etkisi yoktur. Ancak en yüksek sertlik değerleri 2 saat östemperelemiş numunelerde elde edilmiştir.

Çekme mukavemeti değerleri MPa cinsinden ölçülmüş olup her parametre için 3 ölçüm yapıldıktan sonra ortalama değerler hesaplanarak Tablo 4' te sunulmuştur.

Numune Kodu	Çekme Dayanımı(Mpa)
Orjinal	528
250-2	1109
250-4	1103
250-6	1151
300-2	1194
300-4	1216.5
300-6	1213.5
350-2	996
350-4	995.5
350-6	1011.5

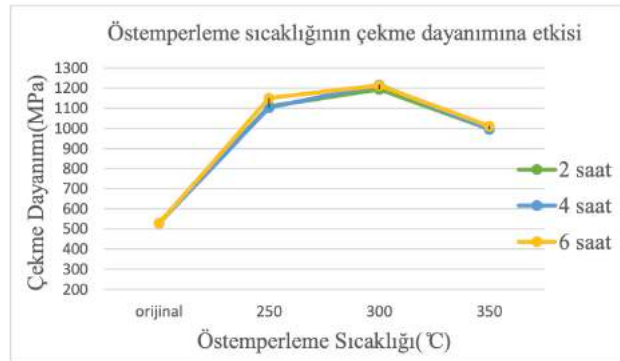
Tablo 4 : Çekme Mukavemeti.

Östempereleme süresinin çekme dayanımına etkisinin görülebilmesi için hazırlanan grafik Şekil 3' te; östempereleme sıcaklığının çekme dayanımına etkisi ise Şekil 4' de verilmiştir.



Şekil 3 : Östempereleme süresinin çekme dayanımına etkisi.

Şekil 3’de görüldüğü üzere östemperleme işlemi sonucu malzemenin çekme dayanımı artmaktadır. Ayrıca östemperleme süresinin çekme dayanımı üzerinde etkisinin oldukça az olduğu saptanmıştır. Çekme dayanımı değerlerinde etkin olan parametrenin östemperleme sıcaklığı olduğu görülmüştür.



Şekil 4 : Östemperleme sıcaklığının çekme dayanımına etkisi

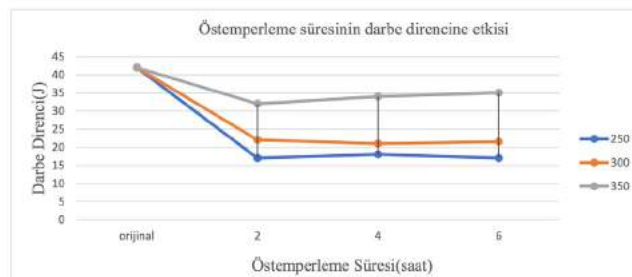
Şekil 4’den maksimum çekme dayanımının 300 °C sıcaklıkta elde edildiği görülmektedir. Düşük ve yüksek östemperleme sıcaklıklarında da orijinal malzemeye göre çekme dayanımında artış gözlemlenirken düşük östemperleme sıcaklığındaki çekme dayanım değerlerinin yüksek sıcaklıklara göre daha yüksek olduğu görülmüştür.

Darbe direnci değerleri Joule cinsinden ölçülmüş olup her parametre için 3 defa tekrarlanıp elde edilen ortalama değerler Tablo 5’de verilmektedir.

Numune Kodu	Darbe Direnci Değeri(J)
Orijinal	42
250-2	17
250-4	18
250-6	17
300-2	22
300-4	21
300-6	21.5
350-2	32
350-4	34
350-6	35

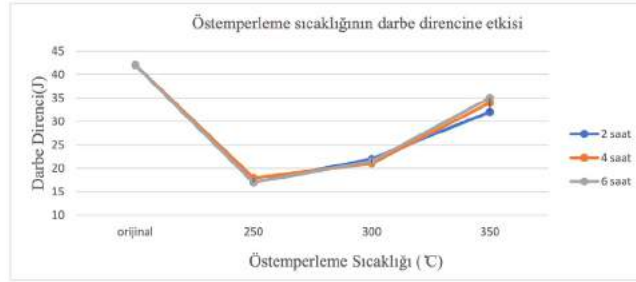
Tablo 5 : Darbe direnci değerleri

Östemperleme süresinin darbe direncine etkisi Şekil 5’ de; östemperleme sıcaklığının darbe direncine etkisi ise Şekil 6’ da verilmiştir.



Şekil 5 : Östemperleme süresinin darbe direncine etkisi

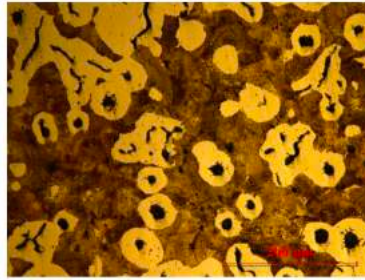
Şekil 5' de görüldüğü üzere östemperleme işlemi sonucu malzemenin darbe direnci düşmektedir. Östemperleme süresinin darbe direnci üzerinde etkisinin oldukça az olduğu saptanmıştır. Darbe direncinde de çekme dayanımında olduğu gibi etkin olan parametrenin östemperleme sıcaklığı olduğu görülmüştür.



Şekil 6 : Östemperleme sıcaklığının darbe direncine etkisi

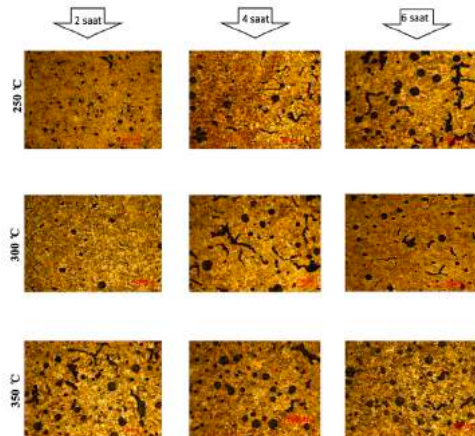
Östemperleme ısı işlemi sonucu malzemenin sünekliğinin azalması ile darbe direnci düşmüştür. Bununla beraber artan östemperleme sıcaklığı ile darbe direncinin de artış gösterdiği saptanmıştır.

Hem orjinal numunelerin, hem de östemperlenmiş numunelerin mikroyapı görüntüleri Nikon Eclipse L150 optik mikroskobunda, Clemex görüntü analiz sistemi ile alınmış olup orjinal numunelerin mikroyapı görüntüleri Şekil 7' de verilmiştir.

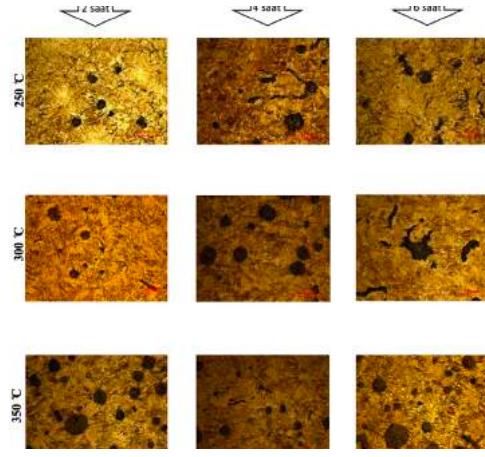


Şekil 7 : Orjinal Numune x200

Östemperlenmiş numunelerin dağlanmış 200x büyütmede mikro yapı görüntüleri Şekil 8'de, 500x büyütmede mikro yapı görüntüleri ise Şekil 9'da verilmiştir. Mikroyapılardan ösferrit yapısının oluşumu açıkça görülmektedir. Mekanik özelliklerde meydana gelen değişimler bu mikroyapı değişimi ile açıklanabilir.



Şekil 8 : Östemperlenmiş numunelerin x200 mikroyapı görüntüleri



Şekil 9 : Östemperlenmiş numunelerin 500x mikroyapı görüntüleri

4.SONUÇLAR

- Östemperleme işleminin malzemenin sertliğinde artış sağladığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte östemperleme sıcaklığı arttıkça sertlik değerlerinin azaldığı görülmüştür.
- Darbe direnci sonuçları incelendiğinde ise; artan sıcaklıkla beraber darbe direnci değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir.
- Mekanik değerlerdeki bu değişimler mikroyapısal değişimlerden dolayı kaynaklanmıştır.
- Östemperleme işleminin mekanik özellikler demeydana getirdiği değişimin mikroyapı ile ilişkisini açığa çıkarmak için SEM ve XRD-Rietveld analiz yöntemleri gibi detaylı karakterizasyon çalışmalarının yapılmasına ihtiyaç vardır.

KAYNAKÇA

- [1] Ghasemi, R., Hassan, I., Ghorbani, A., & Dioszegi, A. (2019). Austempered Compacted Graphite Iron—Influence of austempering temperature and time on microstructural and mechanical properties. *Materials Science and Engineering: A*, 767, 138434.
- [2] Guilemany, J. M., & Llorca-Isern, N. (1990). Relationships between microstructure and properties of unalloyed compacted graphite cast irons. *Materials Science and Engineering: A*, 130(2), 241-246.
- [3] Kim, S., Cockcroft, S. L., & Omran, A. M. (2009). Optimization of the process parameters affecting the microstructures and properties of compacted graphite iron. *Journal of Alloys and Compounds*, 476(1-2), 728-732.
- [4] Erić, O., Jovanović, M., Šid, L., Rajnović, D., & Zec, S. (2006). The austempering study of alloyed ductile iron. *Materials & Design*, 27(7), 617-622.
- [5] Kim, Y. J., Shin, H., Park, H., & Lim, J. D. (2008). Investigation into mechanical properties of austempered ductile cast iron (ADI) in accordance with austempering temperature. *Materials Letters*, 62(3), 357-360.
- [6] Ramadan, M., Nofal, A. A., Elmahalawi, I., & Abdel-Karim, R. (2006). Comparison of austempering transformation in spheroidal graphite and compacted graphite cast irons. *International Journal of Cast Metals Research*, 19(3), 151-155.
- [7] Panov, A. G., Gurtovoy, D. A., & Shaekhova, I. F. (2018). About the Possibility of Increase in CGI Properties by Austempering. In *Solid State Phenomena* (Vol. 284, pp. 224-228). Trans Tech Publications.
- [8] Hassan, I. (2019). Effects of Austempering Process on Mechanical Behavior Properties of Compacted Graphite Iron.
- [9] Guilemany, J. M., & Llorca-Isern, N. (1990). Mechanism of bainitic transformation in compacted graphite cast irons. *Metallurgical Transactions A*, 21(3), 895-899.

BİRİM ALAN YÖNTEMİNE GÖRE BESLEYİCİ ÖLÇÜLENDİRİLMESİNİN PRATİK UYGULAMALARI

Şemsettin ÖZDEMİR
Ostim Teknik Üniversitesi

ÖZET

Birim Alan yöntemi, dökümlerin katılaşma sürelerinin hesaplanması, besleyicilerin ölçülendirilmesi, katılaşma izotermelerinin tespiti ve yolluk sistemlerinin boyutlandırılmasında uygulanabilmektedir. Besleyici hesaplamalarında Modül metodu halen yaygın olarak kullanılmaktadır. Besleyici boyutlarının tespitinde, Birim Alan yönteminin Modül yöntemine olan avantajları, hesaplamaların daha kolay yapılabilmesi ve her iki yöntemin dayanağı olan katılaşma süresinin tespitinin daha doğru yapılabilmesidir. Bu çalışmada besleyici hesaplamalarının Birim Alan yöntemine göre pratik olarak nasıl uygulanacağı örnekleriyle açıklanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Birim Alan, Besleyici, Döküm.

ABSTRACT

The Unit Area method can be applied to calculation of the solidification times of castings, dimensioning of the feeders, determination of solidification isotherms and estimation of the gating systems. Modulus method for feeder calculations is still widely used. The advantages of the Unit Area method over the Modulus method are that the calculations are easier, and the determination of the solidification time, which the basis of both methods, can be obtained more accurately. In this study, calculation of feeders and their practical applications by using the Unit Area Method is explained with examples.

Key Words: Unit area, Feeder, Riser, Casting.

GİRİŞ

1.1 Başlıca Besleyici Hesaplama Yöntemleri

Dökümlerin katılaşması sırasındaki çekmesini karşılamak için besleyiciler kullanılmaktadır. Ancak besleyicilerin gereğinden daha küçük boyutlarda kullanılmaları döküm parçalarda çekintilere ve gereğinden daha büyük boyutlarda kullanılmaları da ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Bu nedenlerle besleyici büyüklüklerinin tespiti optimum olarak yapılmalıdır.

Besleyicilerin büyüklüklerinin yanı sıra, şekli, uygulama yeri, besleyici boğazı ve bir parçada kaç adet kullanılacağı da oldukça önemlidir. Ancak bu çalışmada sadece besleyicilerin ölçülendirilmesi ele alınacaktır.

Besleyici büyüklüklerinin tespitinde çok sayıda metot uygulanmıştır. Bunların en önemlileri Caine [1], NRL [2], Adams ve Taylor [3], Merchant [4] ve Heine [5-7] tarafından geliştirilmişlerdir. Ancak bunların hiçbiri uzun süre ve etkili olarak kullanılmamıştır.

Bugün halen yaygın olarak kullanılan Modül yöntemi Chvorinov'un [8] katılaşma zamanı eşitliğine dayanmaktadır.

Burada, t = Katılaşma zamanı, (1)

k = Malzeme özelliklerine bağlı sabite,

V = Döküm parçanın hacmi, cm^3 ,

A = Döküm parçanın soğuma yüzey alanı, cm^2 .

Vlodawer [9] 1966 yılında Chvorinov'un kuralının besleyicilerin boyutlandırılmasına uygulanmasını basitleştirdi. Bu nedenle, Modül yöntemi olarak da bilinen Vlodawer'in yaklaşımı uygulayıcılar tarafından geniş ölçüde benimsendi.

Burada, M = Modül (2)

V = Döküm parçanın hacmi, cm^3 ,

A = Döküm parçanın soğuma yüzey alanı, cm^2

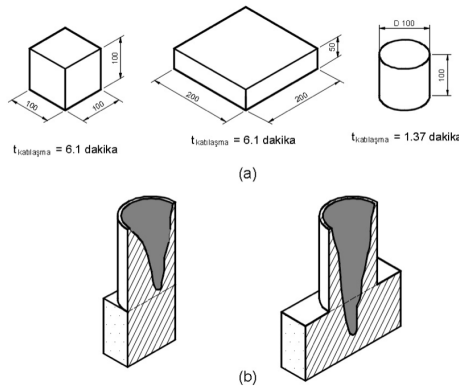
Vlodawer, döküm parçanın sağlam olabilmesi için, besleyici modülünün, döküm modülünün 1.2 katı olmasını önermektedir:

Burada, MB = Besleyici Modülü (3)

MD = Döküm Modülü

1.2 Besleyici Ölçülendirme Parametreleri

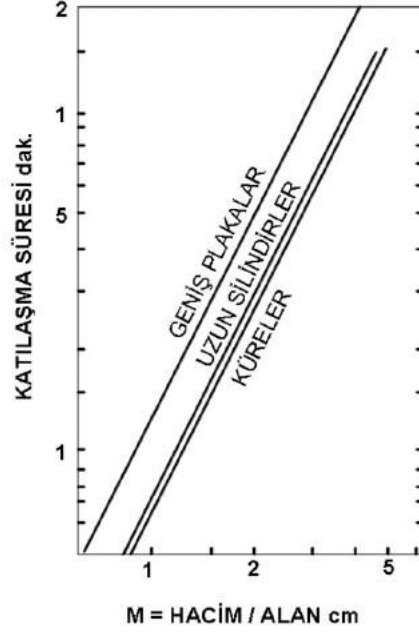
Flemings ve Arkadaşları [10] 1959 yılında Chvorinov'un, kuralının mükemmel bir yaklaşım olduğunu ancak katılaşma çekmesini dikkate almadığından, Şekil 1'de görüldüğü gibi, tam anlamıyla başarılı olmadığını ileri sürdüler.



Şekil 1 : (a)Basit şekilli çelik dökümlerin kum kalıptaki katılaşma süreleri. Silindir iki uçtan yalıtılmıştır.

(b)Küp ve plakanın beslenmesi. Her iki parçanın da katılaşma süreleri aynıdır. Besleyici küpü beslerken plakayı besleyememiştir. Besleyici 10 cm çap ve 10 cm yüksekliğindedir. Küpün kenar ölçüsü ise 10 cm'dir. Plaka ölçüsü de 20·20·5 cm'dir [10].

Aynı yıl Kondic ve Arkadaşları [11] tarafından yapılan çalışmada aynı modül değerine sahip farklı şekillerin, farklı zamanlarda katılaştıkları ortaya konuldu. Bu çalışmaya göre aynı modül değerine sahip şekiller içinde geniş plakalar kürelerden daha geç katılaşıyordu, Şekil 2.



Şekil 2 : Kondic ve arkadaşlarının katılma süresi deney sonuçları [11].

Katılma zamanını daha iyi ifade eden bir yaklaşım bulunmadığından, bu konudaki çalışmalar 1979 yılında Rudella [12] ve 1980 yılında Johns [13], 1986 yılında Creese [14] Modül'ün düzeltilmesi veya revize edilmesi yönünde devam etti. Ancak birçok araştırmacıya göre [10-12] modül yöntemi katılma çekmesini dikkate almadığı için hatalıydı. Bu konuda halen geçerli olan temel yaklaşım, besleyici ölçülendirilmesinde, katılma süresinin, katılma çekmesiyle birlikte dikkate alınmasıdır.

Bizim görüşümüz, katılma süresi daha doğru hesaplanır ve besleyici dökümden sonra katılırsa, döküm parçasındaki çekinti tam olarak karşılanabilir. Ayrıca katılma çekmesini dikkate almaya da gerek olmaz.

Birim Alan yaklaşımına göre, herhangi bir düzeltme faktörü kullanmadan ve katılma çekmesini dikkate almadan besleyici hesaplamaları sağlıklı olarak yapılabilmektedir. Ancak, besleme mesafesinin yeterli olmaması halinde birden fazla besleyici kullanmak zorunlu olmaktadır. Bu durumda besleyici çapı küçültülmeden sayısı artırılır.

1.3 Birim Alan Yöntemi

Birim Alan yaklaşımı, ilk olarak doktora tezinde [15] ortaya konuldu. Dökümlerin katılma süreleri, besleyicilerin boyutlandırılması ve izotermal eğrilerin bu yöntemle göre belirlenebileceği deneysel olarak gösterildi.

Daha sonra, katılma süresi ve besleyicilerin ölçülendirilmesiyle ilgili çalışma 1995 yılında yayınlandı [16]. Bu çalışmada Birim Alan yaklaşımının, katılma süresinin hesaplanmasında Chvorinov yaklaşımına göre daha iyi sonuç verdiği gösterilmiştir. Ayrıca, plaka, küp ve silindir de dahil bütün farklı şekilli parçalar için Birim Alan yaklaşımına göre hesaplanan besleyici-

lerin uygulanmasında, döküm parçalarda çekintiye rastlanmamıştır. “Cast Metals” dergisinde yayınlanan çalışmamıza [16] Tiryakioğlu ve Campbell [17] tarafından 1997 yılında yapılan yanlış değerlendirme, 2018 yılında cevaplanarak adı “International Journal of Cast Metals Research” olarak değişen aynı dergide yayınlanıp düzeltilmiştir [18]. Birim Alan yaklaşımına göre katılma izotermelerinin belirlenmesini gösteren çalışma da 2019 yılında yayınlanmıştır [19].

Birim Alan yaklaşımına göre, katılma süresi döküm hacminin döküm yüzey alanına oranıyla değil, döküm hacminin döküm boyutlarının bileşkesine oranıyla bağıntılıdır.

Burada, BA= Birim Alan, cm², (4)
V= Döküm parçanın hacmi, cm³,
U= Döküm boyutlarının bileşkesi, cm,
t= Katılma süresi,
k= Sabite

Bu çalışmada besleyici katılma süresinin (t_B) dökümün katılma süresine (t_D) eşit olması halinde beslemenin gerçekleşebileceği kabul edilmiştir.

(5) Besleyici ve döküm aynı şartlarda döküldüğünden, “k” sabitesi her ikisi için de eşittir. Bu nedenle “k” sabitesi hariç tutulduğunda, besleyici birim alanının, döküm birim alanına eşit olması gerektiği varsayılırsa:

(6) Bu durumda, besleyici boyutunun bulunması için, dökümün birim alanı hesaplanarak aynı birim alana sahip besleyici ölçüsünün bulunması gereklidir. Temel geometrik şekillerin Birim Alan eşitlikleri aşağıda verilmektedir:

(a,b,c prizmanın boyutlarıdır)

(7) (D=çap, H=yükseklik)

(8) (D=çap)

(9) Döküm parçanın bütünü veya besleme ihtiyacı olan kalın kısımları, yukarıda verilen üç şekilden birine dönüştürülerek Birim Alan hesaplanabilir. Daha sonra, aynı birim alan değerine sahip silindir şekilli besleyicinin çapı aşağıdaki formüllere göre hesaplanabilir:

$$(H = D \text{ için}) D_B = \sqrt{1.9 \cdot BA_D} \quad (10)$$

$$(H = 1.5 \cdot D \text{ için}) D_B = \sqrt{1.58 \cdot BA_D} \quad (11)$$

$$(H = 2 \cdot D \text{ için}) D_B = \sqrt{1.47 \cdot BA_D} \quad (12)$$

1.4 Birim Alan ile Modül Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Şekil 1'de verilen küp ve plaka için besleyici çaplarının modüle ve birim alana göre hesaplanması:

Küp ölçüsü = 10x10x10 cm

Plaka ölçüsü = 20x20x5 cm

Modüle göre H=D olduğunda:

Küp için:

Plaka için:

Birim Alana göre $\Rightarrow H=D$ olduğunda:

Küp için:

Plaka için:

Plaka için Birim Alana göre besleyici hacmi $V_B=1.193 \text{ cm}^3$ iken, plaka için Modüle göre besleyici hacmi $V_B=1.000 \text{ cm}^3$ olmuştur. Yukarıdaki hesaplamalardan açıkça görüldüğü gibi, küp ve plakanın modülleri eşit olduğundan, besleyici ölçüleri de eşittir. Ancak aynı ölçüye sahip ($D=10 \text{ cm}$) besleyici küpü iyi beslediği halde plakayı besleyememektedir. Birim Alana göre yapılan hesaplamada, plakanın BA değeri, aynı zamanda katılma süresi, küpten büyük olduğundan besleyici de daha büyük olacaktır. Küp ve plaka için Birim Alana göre hesaplanan besleyiciler her iki parçayı da çekinti olmadan beslemiştir [16].

2. BİRİM ALANA GÖRE BESLEYİCİLERİN PRATİK UYGULAMALARI

Döküm parçalar çok farklı şekillerden oluşmaktadırlar. Birim alan değerleri de ancak prizmatik, silindirik ve küresel, basit şekilli dökümler için hesaplanabilmektedir. Bu durumda döküm parçanın tümünü veya sadece, daha geç katılacak kalın kısımlarını dikkate alarak, bazı kabullerle basit şekillere dönüştürmek mümkün olabilmektedir. Dönüştürmüş olan basit şekil için birim alanı hesaplanıp, aynı birim alana sahip besleyici ölçüsü bulunmaktadır.

Aşağıdaki bölümlerde besleyici ölçülerinin bulunabilmesi için, döküm parçanın bütününün veya bazı kalın kesitlerinin basit temel şekillere nasıl dönüştürülebileceği gösterilmektedir. Verilen örneklerde ölçü birimi cm. olarak alınmıştır.

2.1 Kademeli Takoz

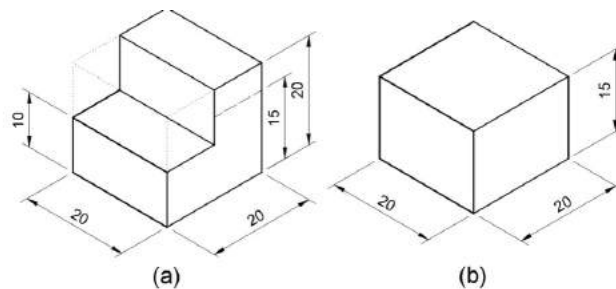
Şekil 3a'da kademeli takoz şekilli döküm parça, hacmini değiştirmeden Şekil 3b'de görüldüğü gibi bu şekli en iyi temsil edebilecek üç boyutlu prizmatik bir şekle çevrilebilir. Bu durumda Şekil 3b için:

$$BA=187.41 \text{ cm}^2$$

$$H=D \text{ için, } DB =18.87 \text{ cm} \Rightarrow VB=5.294 \text{ cm}^3,$$

$$H=1.5 \cdot D \text{ için, } DB =17.32 \text{ cm} \Rightarrow VB=7.910 \text{ cm}^3,$$

$$\text{Küresel besleyici için } DB =1940 \text{ cm} \Rightarrow VB=3.821 \text{ cm}^3.$$



Şekil 3 : Kademeli Takoz için besleyici çapının hesaplanması. (a) Gerçek şekil, (b) Dönüştürmüş şekil.

Bu sonuçlardan görüleceği gibi, en uygun besleyici şekli küredir. Silindirik besleyici seçildiğinde de ölçüleri mümkün olduğu kadar $H=D$ oranına yakın olmalıdır.

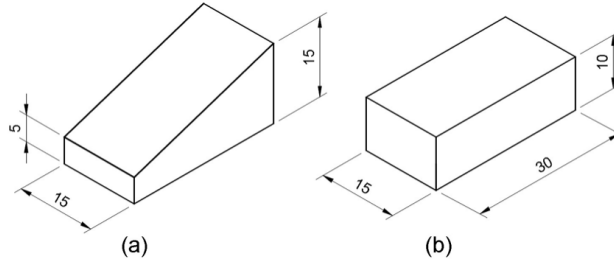
2.2 Eğik Takoz

Şekil 4a'da verilen eğik takoz şekilli döküm parça, hacmi değişmeden, Şekil 4b'de görülen prizmatik şekle dönüştürülebilir. Bu durumda Şekil 4b için:

$BA=128.57 \text{ cm}^2$ olur ve buradan,

$H=D \Rightarrow DB =15.63 \text{ cm}$,

$H=1.5 \cdot D \Rightarrow DB =14.34 \text{ cm}$ bulunur.



Şekil 4 : Eğik Takoz için besleyici çapının hesaplanması. (a) Gerçek şekil, (b) Dönüştürmüş şekil.

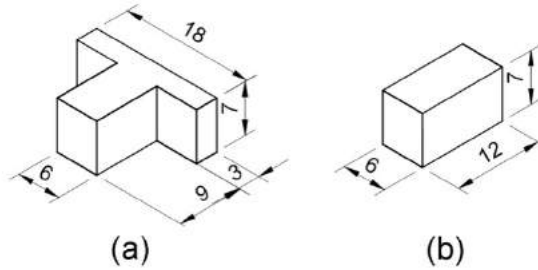
2.3 "T" Şekli

Şekil 5a'da görülen "T" şeklindeki döküm parçanın içine sığacak en kalın kısım dikkate alınır. Parçanın toplam katılma süresi en kalın kısımdan fazla olamaz. Şekil 5b'de, Şekil 5a'daki döküm parçanın yalnızca en kalın kısmı dikkate alınarak elde edilen dikdörtgen prizma ve ölçüleri verilmektedir. Buna göre:

$BA=33.31 \text{ cm}^2$ olur ve buradan,

$H=D \Rightarrow DB =7.95 \text{ cm}$,

$H=1.5 \cdot D \Rightarrow DB =7.30 \text{ cm}$ bulunur.



Şekil 5 : "T" Şekli Takoz için besleyici çapının hesaplanması. (a) Gerçek şekil, (b) Dönüştürmüş şekil.

2.4 Silindir

Şekil 6a'da görülen silindirin Birim Alan ve besleyici çapı iki şekilde hesaplanabilir:

1- Silindir olarak:

$BA=139.08 \text{ cm}^2$ olur ve buradan,

$H=D \Rightarrow D_B =16.26 \text{ cm}$

$H=1.5 \cdot D \Rightarrow D_B =14.92 \text{ cm}$ bulunur.

2- Plaka olarak:

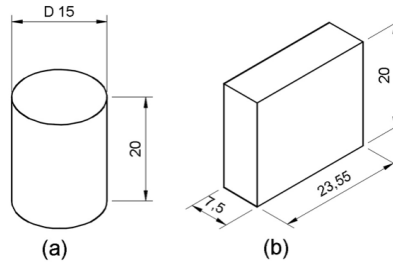
$BA=111.11 \text{ cm}^2$ olur ve buradan,

$H=D \Rightarrow D_B =14.53 \cdot 1.1=15.98 \text{ cm}$

$H=1.5 \cdot D \Rightarrow D_B =13.33 \cdot 1.1=14.66 \text{ cm}$ bulunur.

Bu örnekte, silindirlerin de plakaya dönüştürülerek besleyici çapının bulunabileceği, ancak uç etkisinin de dikkate alınarak, bulunan çapın 1.1 katsayısı ile çarpıldığında, silindir olarak bulunan ölçüye yakın bir ölçü elde edilebileceği açıkça görülmektedir. Farklı çap ve yüksekliklerdeki silindirlerle yapılan hesaplamalarda yaklaşık sonuçlar bulunmuştur.

Ancak silindire dönüşebilecek şekilleri plakaya değil doğrudan silindire dönüştürmek gerekir. Bu örnek sadece, delikli silindir ve burç şeklindeki parçaların, plakaya dönüşümleri halinde, hesaplanan besleyici ölçülerinin, uç etkilerini telafi eden 1.1 katsayısı ile çarpılarak daha doğru olarak belirlenebileceğini göstermektedir. Silindirden dönüşen plakalarda uç etkisi bulunmaz.



Şekil 6 : Silindir için besleyici çapının hesaplanması. (a) Gerçek şekil, (b) dönüşmüş şekil.

2.5 Burç

Şekil 7a'daki burç şeklindeki döküm parça, ortalama çap dikkate alınarak Şekil 7b'deki gibi çubuk biçimine dönüştürülür. Bu durumda:

$BA=49.50 \text{ cm}^2$ olur ve buradan,

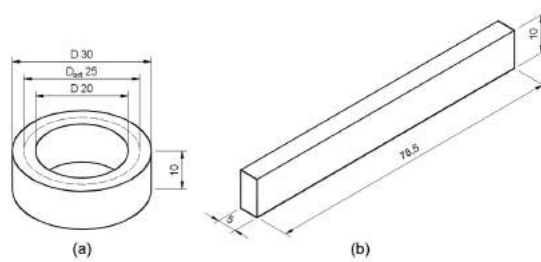
$H=D \Rightarrow DB =9.70 \text{ cm}$,

$H=1.5 \cdot D \Rightarrow DB =8.90 \text{ cm}$ bulunur.

Bulunan sonuçlar, uç etkisi olmamasını dikkate alarak 1,1 ile çarpılarak, daha uygun besleyici ölçüleri elde edilir:

$H=D \Rightarrow DB = 9.70 \cdot 1.1=10.67 \text{ cm}$,

$H=1.5 \cdot D \Rightarrow DB =8.90 \cdot 1.1=9.79 \text{ cm}$ bulunur.



Şekil 7 : Burç için besleyici çapının hesaplanması. (a) Gerçek şekil, (b) dönüşmüş şekil.

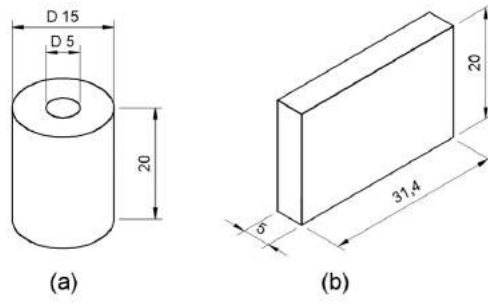
2.6 Delikli Silindir

Şekil 8a'daki delikli silindir, ortalama çap dikkate alınarak Şekil 8b deki gibi bir plakaya dönüştürülür. Bu durumda:

$BA=83.59 \text{ cm}^2$ olur ve buradan,

$H=D \Rightarrow DB =12.60 \text{ cm}$,

$H=1.5 \cdot D \Rightarrow DB =11.57 \text{ cm}$ bulunur.



Şekil 8 : Delikli silindir için besleyici çapının hesaplanması. (a) Gerçek şekil, (b) dönüşmüş şekil.

Plakadan elde edilen besleyici çapı 1.1 katsayısıyla çarpılarak daha uygun bir besleyici çapı bulunabilir:

$$DB = 12,60 \cdot 1,1 = 13,80 \text{ cm.}$$

2.7 Kulaklı Silindir

Şekil 9a'daki kulaklı silindirde en kalın kesit orta kısımda deliği olan silindirik parçadır. Döküm parça farklı kesitlerden oluştuğu zaman en kalın kesit dikkate alınır ve silindirin temas ettiği kısımlar dikkate alınmaz. Bu kısımlar daha incedir ve daha erken katılaşacakları için soğutma görevi dahi yapabilirler.

Burada iki kademe vardır:

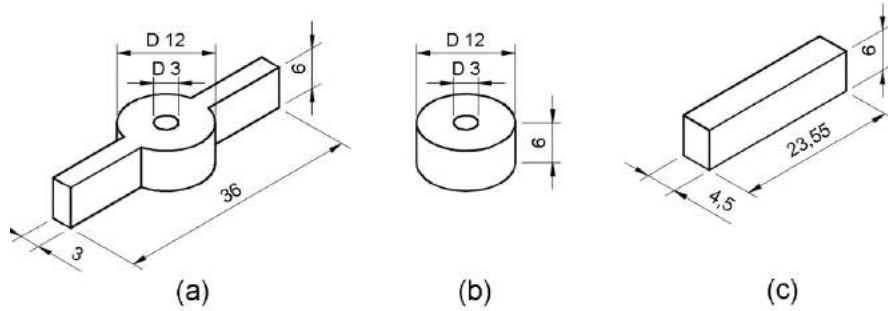
Şekil 9b: Parçanın en kalın kısmının tespiti,

Şekil 9c: 9b'deki şeklin dönüştürülmesi ve buna göre Birim Alan ile besleyici çapının bulunmasıdır:

$BA = 25,70 \text{ cm}^2$ olur ve buradan,

$$H = D \Rightarrow DB = 6,99 \cdot 1,1 = 7,68 \text{ cm,}$$

$$H = 1,5 \cdot D \Rightarrow DB = 6,41 \cdot 1,1 = 7,05 \text{ cm bulunur.}$$



Şekil 9 : Kulaklı Silindir için besleyici çapının hesaplanması. (a) Gerçek şekil, (b) En kalın kısım, (c) Dönüşmüş şekil.

3. SONUÇ

İkinci bölümde verilen örneklerden de açıkça görüleceği gibi, Birim Alan yöntemi ile besleyici hesaplamaları Modül yöntemine göre daha kolay ve daha sağlıklı olarak yapılabilmektedir. Bu yöntem, Alfa Döküm fabrikasında yaklaşık 30 yıldır uygulanmaktadır. Sfero döküm yapan bu fabrikada net döküm oranının son altı ay ortalaması, fire hariç, %66 olarak gerçekleşmiştir. Bu oran firmadan firmaya değişen bazı faktörler nedeniyle doğal olarak değişiklik gösterebilir, ancak bir fikir vermesi bakımından da oldukça önemlidir.

Birim alana göre yapılan hesaplamalarda, ayrıca katılma çekmesini veya bir düzeltme

katsayısını dikkate almaya gerek yoktur. Sfero dökümde yapılan uygulamalarda, bulunan birim alan değeri, modülde olduğu gibi 1,2 gibi bir katsayı ile çarpılmamıştır. Bunun yerine, doğrudan birim alan değerine göre besleyici ölçüsü bulunmuştur. Besleyici deneyleri [16] saf alüminyumla yapıp, tüm şekiller için uygun sonuçlar alındığından, bu malzeme için de katsayı gerekmeden uygulama yapılabileceğini varsayabiliriz. Gri dökme demirlerde, katılma süresinin tümünde çekme olmadığından, malzeme sınıfına göre nasıl uygulama yapılacağı ayrı bir çalışma konusudur. Ancak firmalar kendi çalışma şartlarına göre, Birim Alanı baz alarak besleyicileri belli ölçüde küçültebilirler. Bazı durumlarda da hiç besleyici kullanmayabilirler. Çelik dökümde de uygulama yapılmamakla birlikte, birim alana göre ölçülendirilen besleyiciler için, sfero ve alüminyum döküme benzer sonuçlar alınabileceği düşünülmektedir.

Simülasyon programları da besleyici uygulamasında kullanılmaktadır. Bu çalışmada, Birim Alan yönteminin de Modül ve simülasyon metotlarına alternatif olarak kolay ve güvenilir biçimde uygulanabileceği görülmektedir.

KAYNAKÇA

- 1- Caine, J.B., "Rising Casting", AFS Transactions, 60, 16, 1952.
- 2- Bishop, H.F., Myskowski, E.T., Pellini, W.S., "A simplified method for determining riser dimensions", AFS Transactions, 63, 241, 1955.
- 3- Adams, C.M., Taylor, H.F., "Fundamentals of riser behaviour", AFS Transactions, 61, 681-693, 1953.
- 4- Merchants, H.D., "Dimensioning or round casting risers", Modern Casting, 35, 73, 1959.
- 5- Heine, R.W., "Riser design for mold dilation", AFS Transactions, 92, 659, 1967.
- 6- Heine, R.W., "Feeding paths for rising castings", AFS Transactions, 76, 463, 1968.
- 7- Heine, R.W., "Riser base and connection design for white iron castings", AFS Transactions, 76, 559, 1968.
- 8- Chvorinov, N., "Theory of solidification of casting", Giesserei, Vol 25, P.177-225, 1940.
- 9- Wlodawer, R., "Directional solidification of steel castings", Pergamon Pres, Oxford, 1966.
- 10- Taylor, H.F., Flemings, M.C., Wulf, J., Foundry Engineering, John Wiley and Sons Inc., New York, 1959.
- 11- Berry, J., Kondic, V., Martin, G., "Solidification times of simple shaped casting in sand molds", Modern Casting, 36, 39, 1959.
- 12- Ruddle, R.W., "Profit through steel rising technology", AFS Transactions, 10, 423, 1979.
- 13- Johns, R.A., "Rising steel castings easily and efficiently", AFS Transactions, 05, 77, 1980.
- 14- Creese, B.C., "The MC method for riser design for non-ferrous and ferrous metals", AFS Transactions, 86, 5, 1986.
- 15- Özdemir, Ş., "Dökümlerde besleyicilerin ölçülendirilmesinde yeni bir yaklaşım", Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1989.
- 16- Ozdemir, S., Atasoy, E., "A new approach to feeder dimensioning", Cast Metals, V8, N3, P.129-137, 1995.
- 17- Tiryakioğlu, M., Campbell, J., "Comments on the paper 'A new approach to feeder dimensioning', International Journal of Cast Metals Research, 9, 369-369, 1997. DOI: 10.1080/13640461.1997.11819679
- 18- Ozdemir, S., Atasoy, E., "Answers to the comments on the paper 'a new approach to feeder dimensioning', International Journal of Cast Metals Research, V31, 288-288, 2018. DOI: 10.1080/13640461.2018.1459346
- 19- Tuzunalp, K.K., Ozdemir, S., "A geometry-based model for determining solidification isotherms of basic casting sections", Materials Chemistry and Physics, 233, 27-45, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2019.04.082>

YÜKSEK BASINÇ YAŞ KUM KALIPLAMA HATLARINDA BESLEYİCİ GÖMLEK SİSTEMLERİNİN UYGULAMASI

Haydar KAHRAMAN*, İbrahim Hayri KESER***, Serkan ÇELİK*,
Özge AKSIN ARTOK*, Ümit CÖCEN**

* Çukurova Kimya Endüstrisi A.Ş., Manisa/Türkiye

** Dokuz Eylül Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, İzmir/Türkiye

*** Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir/Türkiye

ÖZET

Yaş kum kalıba döküm yöntemi dökme demir alaşımli otomotiv parçalarının dökümünde yaygın olarak tercih edilmektedir. Yüksek basınç yaş kum kalıplama hatları kum kalıba dökümün seri üretime uydurulması açısından büyük bir gelişme olarak görülmektedir. Böylece ayrıntılı otomotiv ve makine imalatında kullanılan döküm parçalar hızlı, çok sayıda ve yüksek kalitede dökülebilmektedir. Hatasız döküm yapılabilmesi için uygun yolluk tasarımının yanı sıra kusursuz besleyici sistemi tasarımı da ön plana çıkmaktadır. Yüksek basınç otomatik kalıplama hatlarında besleyici kullanımında seri üretim hızını düşürmeyecek ve besleme performansı yüksek besleyici sistemleri kullanılmaktadır. Bu hatlardaki besleyici gömlek sistemlerinin yüksek kalıplama basıncına dayanabilecek özelliklere sahip olması gerekmektedir. Bu nedenle hem besleyici gömlek yapısında değişiklik yapılarak hem de yardımcı yük sönmüleyebilen sistemler kullanılarak gömleğin kalıplama sırasında hasar alması engellenmiş olmaktadır. Bu amaçla geliştirilen yeni besleyici gömlek sisteminin incelemesi ve deneme döküm çalışmaları ile uygulaması yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yaş kum, besleyici, kalıplama hattı, besleyici gömlek

ABSTRACT

Green sand casting method is commonly preferred at automobile parts. The high-pressure green sand molding lines are very effective improvement on casting for mass production integration. Thus, detailed casting parts can be casted quickly, in large numbers and in high quality. In addition to the appropriate runner design for defect free casting, the perfect feeder system design also comes to be crucial. In high pressure molding lines, feeder systems that will not slow down the serial production rate and high feeding performance are used. The feeder systems in these lines must have features that can withstand high molding pressure. For this reason, the sleeve is prevented from getting damaged during molding, both by changing the feeder sleeve structure and by using auxiliary load damping elements. The new feeder system developed for this purpose was examined and applied by trial castings.

Keywords: Green sand, feeding, molding system, feeder line

GİRİŞ

Döküm parçasının sağlam olarak üretilmesi aşamasının başlangıcı kalıp tasarımında geçmektedir. Kalıp tasarımında kullanılan döküm kumu özellikleriyle birlikte yolluk ve besleyici tasarımları da önem taşımaktadır. Genel olarak döküm kalıbı; döküm parçası, besleyici, yolluk, çıkıcılar ve diğer yardımcı bileşenlerden oluşmaktadır. Bileşenlerin tamamı yüksek sıcaklık çalışma şartlarına dayanıklı olmakla birlikte kalıp tasarımında uygun boşluklar yaratılmak amacıyla kullanılmaktadır. Döküm parçasının sağlam bir şekilde üretilmesi için belirtilen bileşenler için sistematik bir şekilde tasarım yapılması gerekmektedir. Yolluk tasarımı yardımıyla sıvı metalin kalıp boşluğu içerisinde hareketi sağlanmaktadır. Besleyici tasarımları ek sıvı metal ihtiyacı karşılamak ve muhtemel döküm hatalarını engellemek amacıyla kullanılmaktadır. Belirtilen diğer bileşenler besleyici ve yolluk sistemine yardımcı olmaktadır [1, 2, 3].

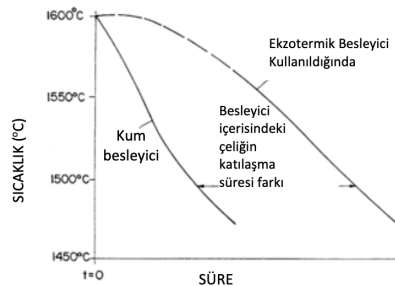
Besleyicilerin işlevi sıvı metal kalıbı doldurup katılaşma başladıktan sonra başlamaktadır. Besleyici tasarımında dikkat edilmesi gereken hususların en başında besleyicinin ve besleyicinin döküm parçasına bağlandığı boyun kısmının en son katılaşmasıdır. Bu sırada besleyicinin, besleme mesafesi içerisindeki tüm bölgelere katılaşma tamamlanmadan sıvı metali ulaştırması beklenir. Besleyicinin belirlenmesinde yapılan tüm hesaplamalar söz konusu kısıtlamalar nedeniyle büyük önem taşımaktadır. Besleyici belirlenmesinde besleyicinin şekli, boyutu ve bağlantı bölgesi tespit edilerek en uygun tasarıma karar verilir.

Yapılan çalışmalar incelendiğinde besleyiciyi daha uzun süre sıcak tutmak amacıyla besleyicinin tamamını veya büyük kısmını saran ekzotermik ve yalıtım esaslı gömlekler en sık kullanılan yardımcı elemanlardır. Besleyici gömlek kullanımı ile besleyici metalinin yüzeyinden ısı kaybı hızı düşer. Kum besleyiciler ile karşılaştırılarak besleyici gömlek kullanımı ile besleyici metalinin kullanım oranı düşürülebilir. Besleyici gömlek kullanımı ile katılaşma süresi aşağıda gösterilen eşitlik ile hesaplanır.

$$t_F = kM_F^2 \quad [1]$$

t_F besleyicinin katılaşma süresi, M_F besleyici modülü, k gömlek ve toz olmak üzere iki bileşene bağlı katsayıdır. Besleyici gömleklerin temel amacı içerdiklerin bileşenlerin gösterdiği kimyasal reaksiyon ile sıvı metali ısıtması ve uzun süre sıcak tutmasıdır. Ayrıca bileşimindeki refrakter malzemeler sayesinde hem kimyasal yollarla üretilen ısının hem de sıvı metalin katılaşması sırasında ortaya çıkan yüksek ısının hızlı yayılımını engellemektir [6]. Böylece metalin soğuma süresinin uzamasına ve besleyicideki sıvı metalin en yüksek oranda döküm parçası içerisindeki en uzak mesafeye aktarılmasını sağlamaktır. Tüm bu özellikleriyle besleyici gömlekler ısı üretebilen yüksek yalıtım özelliğine sahip kalıp yardımcı malzemeleri olarak bilinmektedir [5, 8].

Besleyici metali yan duvarlarında gömlek kullanımı metalin ısı kaybını azaltmaktadır. Bütün besleyici gömlek tiplerinin asıl amacı, gömleksiz kullanımdan daha az metali daha uzun süre sıvı tutabilecek besleme sistemini sağlamaktır. Ekzotermik gömlek kullanıldığında ve kullanılmadığında karbon çeliğinin soğuma rejimi Şekil 1'de verilmektedir. Sıvı metal hareketinin en kolay olduğu, soğuma eğrisinin düzleşmeye başlamadan hemen önceki kısma kum içerisindeki sıvı çelik daha hızlı ulaşırken gömlek içerisindeki sıvı metal nispeten daha uzun sürede ulaşmaktadır. Bu da katılaşma tamamlanana kadar döküm parça için sıvı metal deposu olarak kullanılan besleyicinin daha geç katılaşmasını sağlamaktadır. Ayrıca besleyici gömlekler sahip oldukları ısıtma ve yalıtım özelliği sayesinde daha az metalle daha uzun mesafeyi besleyebilmektedir. Böylece bilinen tüm yöntemlerle yapılan besleyici hesaplarında bu gömlekler sayesinde belirgin bir etkin besleme mesafesi artışı olmuştur [7].



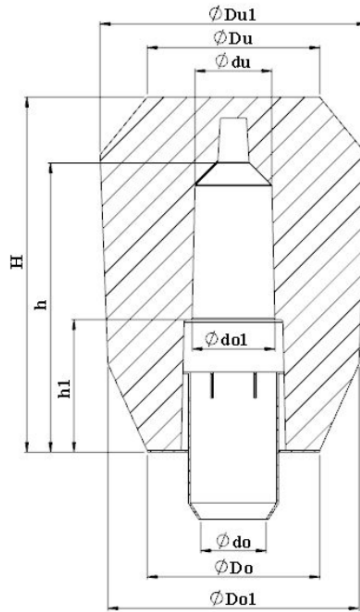
Şekil 1 : Ekzotermik besleyici kullanımının sıvı çeliğin soğumasına etkisi [7].

Dökümhaneler yaygın olarak maliyet azaltmak amacıyla döküm verimi arttırmaya yönelik çalışmalar yapmaktadır. Döküm veriminin artırılması amacıyla kum besleyiciler yerine besleyici gömlekler kullanılmaktadır. Besleyici gömlekler üretim yöntemine göre su bazlı ve partikül bazlı olmak üzere iki farklı şekilde üretilmektedir. Besleyici gömleklerin kullanılmasıyla döküm parçasının üretilmesi için gerekli olan besleyici gömlek metal miktarı azaltılarak verimi yüksek çalışmalar yapılmaktadır. Besleyici verimi en yüksek olan partikül bazlı üretim sistemi yöntemiyle üretilen mini besleyicilerdir [2, 3, 4].

Otomatik hatlarda döküm çalışmaları yapan firmalar yaygın olarak sağladığı avantajlardan dolayı mini besleyicileri tercih etmektedirler. Döküm uygulamalarında kullanılan mini besleyicileri işlevini yerine getirmesi için yeterli dayanıma sahip olması veya yeterli dayanım için belirli bir tasarımla birlikte kullanılması gerekmektedir. Bu kapsamda farklı tasarımlar yapılarak mini besleyicinin işlevini yerine getirmesini sağlanmaktadır. Yapılan tasarımlarda kullanılan yardımcı aparatların (sabitleme elemanı) sıvı metalde kirliliğe sebep olmaması ve mikro yapıyı bozmasını beklenmektedir. Yapılan bu çalışma ile geliştirilen ve geliştirilmesi muhtemel sistemlerin döküm parçasına olan etkisini irdelemek amacıyla yapılan karakterizasyon çalışmalarını yansıtmakla birlikte yeni geliştirilen mini besleyici tasarımının sonuçları anlatılmaktadır.

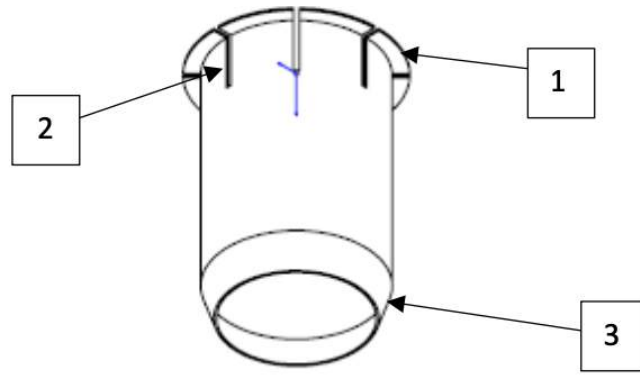
2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmanın amacı yüksek basınçlı kalıplama hatlarında kullanılan partikül bazlı üretim yöntemine göre üretilen yüksek ekzotermik özellikli besleyici gömleklerin basınç altında hasara uğramasını engellemek amacıyla farklı geometrik tasarım geliştirmek ve sabitleme elemanının metal ile olan etkileşimini incelemektir. Belirtilen amaç doğrultusunda besleyici gömleklerde yapılan geometrik tasarımlar ile uygulanan basınç altında deforme olması engellenerek besleyici gömleğin işlevini yerine getirmesi sağlanmak amacıyla yeni bir tasarım gerçekleştirilmiştir. Yeni geliştirilen tasarım besleyici gömlek ve yardımcı elemandan oluşan bir sistemdir ve Şekil 2'de gösterilmektedir.



Şekil 2 : Geliştirilen mini besleyici sisteminin görünümü.

Geliştirilen sistemde besleyici gömlek üzerine düşen yükü gömlek içerisinde hareketli olan ve belli bir ilerlemeden sonra gömlek iç yan duvarlarına sürtünerek deforme olan konveksiyonel plastik şekillendirme yöntemleri ile şekillendirilebilen metalik malzemeden üretilmiş sabitleme elemanı karşılaşmaktadır (Şekil 3).



Şekil 3 : Mini besleyici sabitleme elemanı.

Hareketli iç sabitleme elemanı farklı şekillerde tasarlanmış olmasına rağmen temel olarak aynı işlevi yerine getirmektedir. Besleyici gömlek içerisinde düşey ekseninde uygulanan yük vektörüne ters yönde hareket ederek besleyici gömlek iç yan yüzeylerine sürtünmesi ve plastik deformasyona uğraması sonucunda kalıplama hattının gömlek üzerinde oluşturduğu yükü karşılamaktadır. Şekil 3'te gösterilen iç hareketli sabitleme elemanı 1 numara ile gösterilen çıkıntıları besleyici gömlek iç yüzeyine sürtünmektedir. 2 numara ile gösterilen yarıklar sayesinde sabitleme elemanının gömleğe temas eden kısmı içe doğru esneyebilmektedir. Ayrıca 1 numara ile gösterilen çıkıntılar sabitleme elemanı fazla yüke maruz kaldığında dışa doğru plastik deforme olup gömlek içerisindeki uygun durdurma kademesine temas ederek besleyici gömlek üzerinde oluşan yükü karşılayabilmektedir. 3 numara ile gösterilen çapta daralmanın olduğu kısım sayesinde uygulama alanında dar temas yüzeyine sahip bölgelere uygulanabilmesi ile döküm sonrasında boğaz kısmı olarak tabir ettiğimiz besleyici ve döküm parçası arasındaki bölgeden besleyicinin kolay kırılmasını sağlamaktadır.

Sabitleme elemanının uygulama alanında maruz kalacağı basınca dayanabilirliğini incelemek amacıyla laboratuvar ve saha çalışmaları yapılmıştır. Laboratuvar testleri kapsamında tasarlanan gömlek sistemine Manisa Celal Bayar Üniversitesi Deneysel Fen Bilimleri Araştırma ve Uygulama Merkezi laboratuvarlarında Shimadzu AGX 300kN Üniversal test cihazı ile basma testleri uygulanmıştır. Testlerden sonra besleyici gömlek sistemi yüksek basınç otomatik yaş kum kalıplama sisteminde döküm uygulaması yapılmıştır.

Döküm sonrası besleyici gömlek metali ile sabitleme elemanın etkileşimini incelemek amacıyla karakterizasyon çalışmaları yapılmıştır. Numune hazırlama işlemleri kapsamında besleyici gömlek metali Şekil 4'te gösterildiği gibi kesilmiştir. Mikro yapı incelemeleri stereo ve optik mikroskop ile taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak yapılmıştır. Mikro yapı görüntüleri inceleyerek bölgeler arasındaki farklılık olup olmadığı incelemiştir. EDS analizleri yapılarak bölgeler arasındaki kimyasal farklılık belirlenmiştir.

Numune çıkarma işleminin ardından zımparalama ve parlatma işlemleri yapılmıştır. Zımparalama işlemlerinde SiC esaslı 80, 200, 400, 800, 1000, 1200, 2000 numaralı zımparalar kullanılmıştır. Zımparalama işleminin ardından numuneler parlatma işlemine hazır hale getirilmiştir. Parlatma işlemlerinde 1 µm elmas pasta kullanılmıştır.



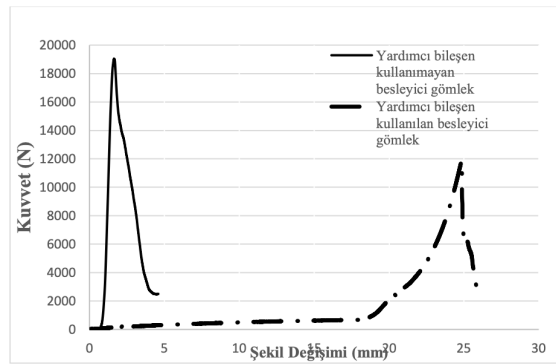
Şekil 4 : Numune kesme işlemi.

Karakterizasyon çalışmaları Dokuz Eylül Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Stereo görüntüleri Carl Zeiss Drossel 2x4W marka mikroskop kullanılarak alınmıştır. Optik mikroskop görüntüleri Olympus GX51 marka cihaz ile çekilmiştir. SEM görüntüleri ve EDS incelemeleri Jeol JSM 92349 cihazıyla gerçekleştirilmiştir.

Yapılan çalışmalarda piyasada mevcut ürünlerden ve literatürde bahsedilen besleyici gömlek tasarımlarından tamamen farklı geometrik tasarımlar gerçekleştirilmiştir. Yeni tasarımda bulunan sabitleme elemanın döküm metali ile olan etkileşimi incelenmiştir.

3. BULGULAR

3.1. Basma Testi ve Deneme Dökümü Sonuçları: Yüksek basınç yaş kum otomatik kalıplama hatlarına uygun olarak geliştirilen besleyici gömleklerin kalıplamada yüklere karşı davranışları basma testi ile belirlenmiştir. Şekil 5'te yardımcı eleman kullanılan ve kullanılmayan gömleklerin basma testi karşılaştırılması verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde yardımcı eleman kullanılmayan gömlekte şekil değişimi neredeyse hiç meydana gelmeyerek gömlek hasara uğramaktadır. Ancak yardımcı elemanlı gömlekte yükün büyük bir kısmı esnek koruma elemanı tarafından sönmüldüğünden deformasyon miktarı fazladır. Bu durumda gömleğin hasar alması engellenerek aşırı yüklenme durumunda koruyucu eleman ilk aşamada yan yüzeylerden sürtünme, ardından alt kısımda esneme yaparak yükü sönmlediği tespit edilmiştir.



Şekil 5 : Geleneksel ve yeni tasarımı yapılan mini besleyicilerde kuvvete bağlı şekil değişimi

Yüksek basınç yaş kum otomatik kalıplama hatları için geliştirilen tasarımın döküm kalıplama görüntüleri Şekil 6'da verilmiştir. Kalıplama sırasında yardımcı malzemenin partikül bazlı besleyici gömlek üzerine düşen yükü sönmüleyerek gömleğin kırılmasını engellediği görülmüştür. Ayrıca döküm sonrasındaki gömlek içerisinde kalan sıvı metalin diğer gömleklere benzer biçimde çekme yaptığı görülmüştür. Döküm sonrası kırılan besleyici metali boğaz kısmında ve parça içerisinde herhangi bir çekintiye rastlanmamıştır. Bu durumda besleyici gömleğin sorunsuz çalıştığına göstergesidir. Şekil 7'de döküm sonrası yüzey görüntüsü verilmiştir.



Şekil 6 : Yeni tasarlanan mini besleyici ile yapılan (a) kalıp, (b) besleyici bağlantı noktası, (c) kalıp içi görüntüleri.



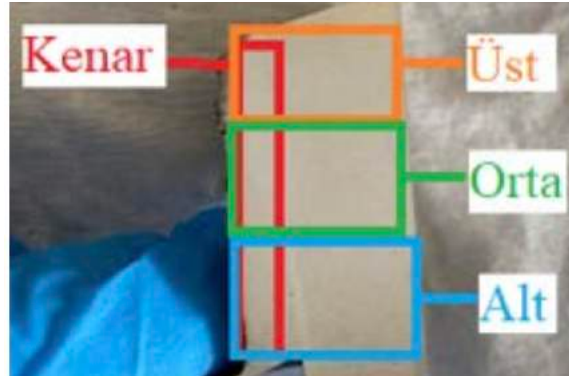
Şekil 7 : Döküm sonrası yüzey görünümü.

3.2. Mikro yapı İncelemeleri: Besleyici gömlek metali ile sabitleme elemanının etkileşimini irdelemek amacıyla stereo mikroskopa çekilen görüntü Şekil 8'de gösterilmektedir. Şekil 8 incelendiğinde sabitleme elemanı bulunduğu bölgede kontrast farklılıkları tespit edilmiştir. Bu durumun besleyici gömleğin işlevine ve döküm parçasının yapısına etkisini incelemek amacıyla Şekil 9 ve Şekil 10'da gösterilen bölgelerden optik mikroskop ve SEM görüntüleri alınarak incelenmiştir.



Şekil 8 : Mini besleyici metali içerisindeki sabitleme elemanının arayüzey görünümü.

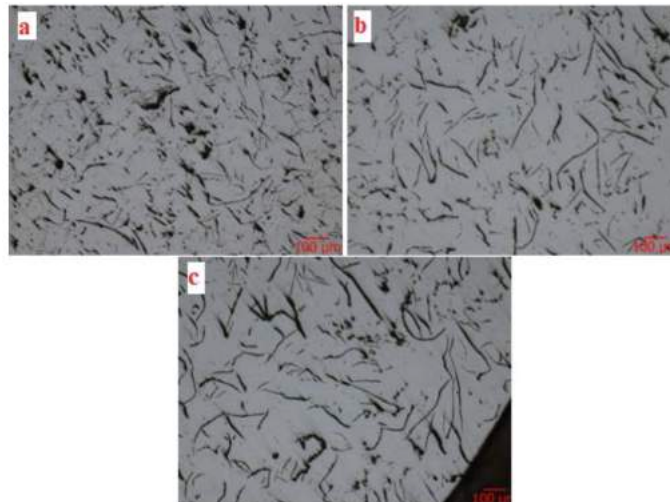
Küresel grafitli dökme demirin sağlam olarak üretilmesi için döküm parçasının mikroyapısında küresel şekilde grafit yapılarının olması gerekmektedir. Bu küresellik sayesinde dökme demir alaşımının özelliği değişmektedir. Bu kapsamda yapıda küreselliğin bozulması durumunda istenilen mekanik özellikler sağlanamayacaktır. Şekil 11 incelendiğinde besleyici gömlek metali mikroyapısının bozulduğu tespit edilmiştir. Ancak belirtildiği gibi döküm parçasının sağlam olarak dökülmesi hedefi doğrultusunda döküm parçasının mikroyapı görüntüleri değerlendirilmelidir. Şekil 10'da mikro yapı işlemleri için hazırlanan döküm parçası ile besleyici gömlek metali arasında kalan boyun gösterilmektedir. Şekil 12 incelendiğinde besleyici gömlek metalinde görülen flake grafit olarak tanımlanan bölgelerin döküm parçası ve besleyici gömlek metali arasında kalan bölgede görülmediği belirlenmiştir ve küreselliğin bozulmadığı tespit edilmiştir. Bu durum küresel grafitli dökme demirin performansı açısından önem arz etmektedir.



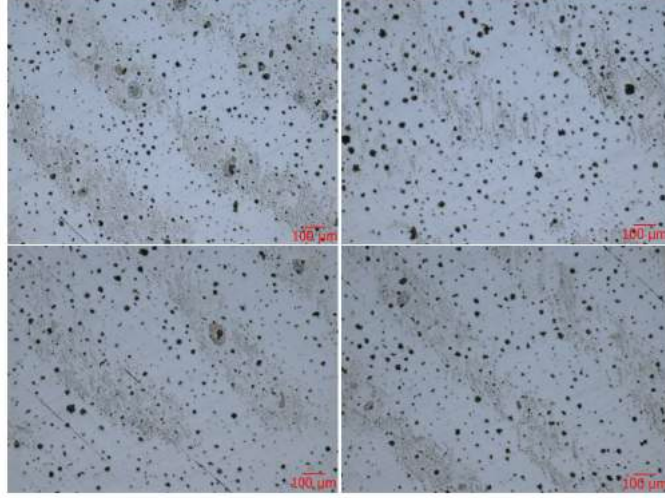
Şekil 9 : Mini besleyici metalinden mikro yapı görüntüleri için alınan bölgelerin gösterimi.



Şekil 10 : Döküm parçasından mikro yapı görüntüleri için alınan bölgenin gösterimi.

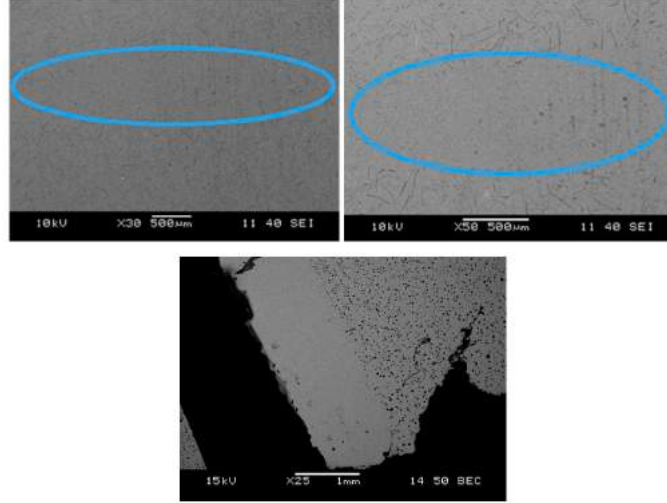


Şekil 11 : Şekil 8'de belirtilen bölgelerden alınan görüntüler; a) Üst bölge kenar kısım, b) Orta bölge, kenar kısım, c) Alt bölge kenar kısım (5x büyütme).



Şekil 12 : Boyun bölgesinin görüntüleri (5x büyütme).

Şekil 13'te sabitleme elemanının arayüzey görünümü gösterilmektedir. Sabitleme elemanının olmadığı bölgelerde grafit oluşumu tespit edilmekle birlikte sabitleme elemanının olduğu bölgede döküm hatasına sebep olabilecek empürite veya boşluk tespit edilememiştir. Sabitleme elemanının geçtiği bölge ile besleyici gömlek metali içerisinde kalan bölgelerin mekanik özelliklerini karşılaştırmak amacıyla 8 farklı bölgeden sertlik ölçümü alınmıştır. Sabitleme elemanının arayüzeyi etrafında ve besleyici metalinin diğer bölgeleri arasında sertlik değerleri birbirine yakın olup 45 HRC olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 13 : Sabitleme elemanının arayüzey görünümü.

Sonuç olarak mikro yapı görüntüleri incelendiğinde besleyici metali içerisindeki sabitleme elemanının arayüzeyinin sıvı metali iyi bir şekilde ıslattığı tespit edilmiştir. Yeni geliştirilen istemde kullanılan sabitleme elemanının besleyici gömlek işlevine ve döküm parçasının mikro yapısına etki etmediği belirlenmiştir. Bu bulguları kanıtlar nitelikte sertlik sonuçları gösterilebilir. Yeni geliştirilmiş tasarımın dökümhane uygulamalarında kullanılmasında problem oluşturabilecek bulgular görülmemiştir.

4. TEŞEKKÜR

Döküm denemesi çalışmalarında bizlere kapılarını sonuna kadar açan ve desteklerini esirgemeyen Atik Metal A.Ş. ailesine ve Sayın Oğuz ATLIHAN'a teşekkürü bir borç biliriz

5. KAYNAKÇA

- 1) J. Campbell, "Casting practice", 2003, Butterworth-Heinemann.
- 2) Aran, A. (2019, Mayıs 15). "Döküm Teknolojisi İmal Usülleri Ders Notları" Işık Üniversitesi Resmi Sitesi: <http://www2.isikun.edu.tr/personel/ahmet.aran/dokum.pdf>
- 3) ASM. (1998)." Casting" Ohio: American Society of Materials.
- 4) Beeley, P. (2001) "Foundry Technology" Oxford: Butterworth Heinemann
- 5) S. Ou, K. D. Carlson, R. A. Hardin ve C. Beckarmann, "Development of New feeding- distance rules using casting simulation: Part II. The New Rules", Metallurgical and Materials Transactions B, 33B, 2002, 741-755.
- 6) M. G. Neu ve M. J. Gough, "Patent No. US 005180759A", 1993, Birmingham- England.
- 7) Menon, P. R. (1997)." Sa Paulo Brazil Patent No. US 006133340A".
- 8) Tavakoli, R., & Davami, P. (2008) "Automatic optimal feeder design in steel casting process. Computer Methods in Applied Mechanics an Engineering" 921-932..

BESLEYİCİ TASARIMI

Mehmet ÖZGÜL

Trakya Döküm San. Ve Tic. A.Ş. / Kırklareli, Türkiye

ÖZET

Döküm parçalarda istenilen mekanik özelliklerin karşılanabilmesi için dikkat edilmesi gereken en önemli unsurlardan biri parçaların boşluksuz, döküm hatasız olarak üretilmesidir. Hemen hemen her sıvı metalin hacminde katılaştırken azalma olur, parça çeker. Çeken bu miktar karşılanmaz ise parçada süreksizlik, çekinti veya porozite hatası oluşur. Çekintinin oluşmaması için pratikte besleyici kullanılır. Besleyici ve yolluk tasarımı hatanın görülmemesi için kritik öneme sahiptir.

Katılma prosesi incelenerek çekintinin nasıl oluştuğu değerlendirilmelidir. Daha sonra geometrik, fiziksel ve metalürjik gereksinimler değerlendirilerek uygun besleyici & yolluk dizaynı yapılmalı gerekirse parça tasarımında bile değişikliğe gidilmelidir.

Anahtar Kelime: Besleyici Tasarımı, Katılma, Porozite, Çekinti

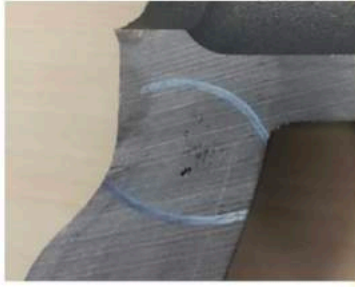
ABSTRACT

One of the most important things to meet desired mechanical properties for cast part is to be sound casting, which free of porosities. Volume of metal decreases when it solidifies/freezes for almost every liquid metal. It becomes contract. If this contraction is not compensated, the discontinuity or porosity is seen in the casting part. The feeder or riser is used to avoid shrinkage in the practice. Gating & runner and feeder design is critical issue to prevent this defect. We understand how porosities occur by investigating solidification phenomena. Then physical, metallurgical and geometrical factors can be evaluated to make suitable feeder design or even part design

Keywords: Feeder/Riser Design, Solidification, Porosities, Shrinkage

GİRİŞ

İstenilen mekanik özelliklerin karşılanabilmesi için parçanın döküm hatasız, boşluksuz olarak üretilmesi oldukça önemlidir. Böylelikle parçanın daha kaliteli ve daha ucuz üretilmesi sağlanabilir.



Mikro Çekinti



Makro Çekinti

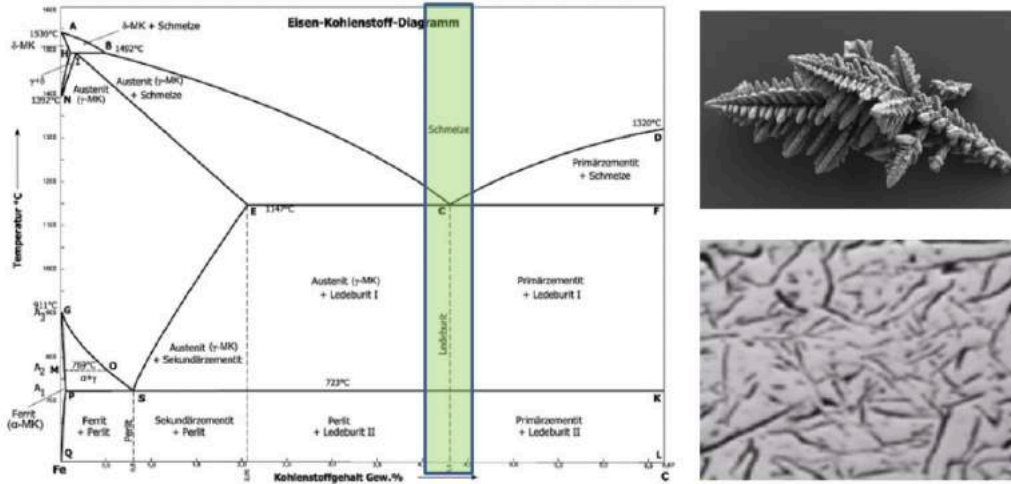


Çökme

Çekinti hatasının önlenmesinde metalürjik faktörlerle birlikte besleyici ve yolluk tasarımı kritik rol oynamaktadır. Çekinti hatasını önleyebilmek için katılaşma mekanizmasını anlamamız ve buna uygun parça ve yolluk dizaynını oluşturmamız gerekmektedir.

2.KATILAŞMA

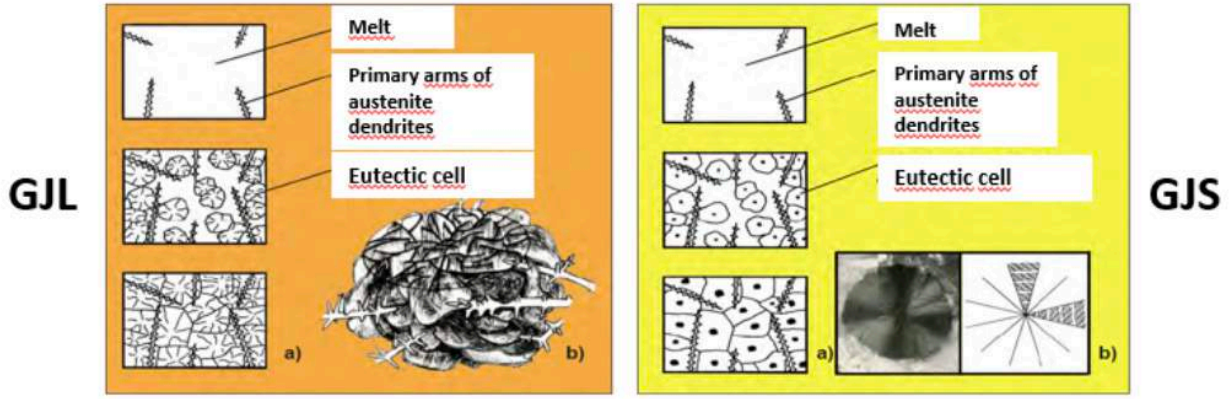
Eriyik malzemenin katı hale geçme sürecine katılaşma denir. Döküm prosesi, temel olarak katılaşma prensiplerine dayanır. Eriyik malzeme katılaşırken öncelikle çekirdekleşme gerçekleşir. Daha sonra, oluşan çekirdekler büyür ve yayılır. Bu süreç sonunda oluşan mikroyapı, malzemenin fiziksel özelliklerini etkileyecektir [1].



Şekil 1 : Demir - Karbon Denge Faz Diyagramı

Demir, birçok elementten farklı olarak, katılaşırken allotropik faz değişimlerine uğrar. Demir - Karbon denge faz diyagramında bu değişimler gösterilmiştir (Şekil 1).

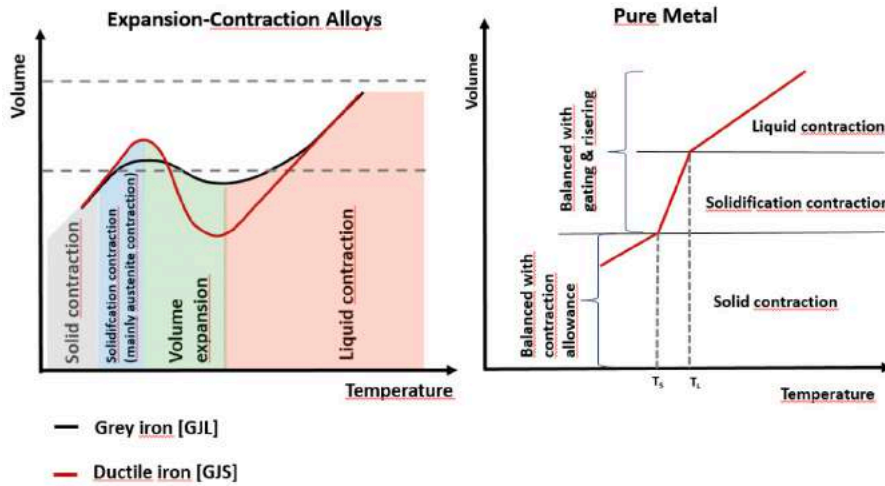
Dökme demir, genelde ötektik veya ötektiğe yakın miktarda yüzde karbon içerir. Ergitilmiş demir, önce östenite sonra karbon yüzdesine bağlı olarak perlitte, ferrite ya da sementite dönüşür. Bu fazlar tek başlarına ya da aynı anda görülebilirler. Dökme demirde, sementit oluşumundan ziyade karbonun grafit olarak çökmesi tercih edilir. Grafit, lamellar (yapraksı) ya da daha küresel yapılar oluşturabilir. Dökme demir, yapraksı yapıda grafit içeriyorsa "pik" demir, küresel yapıda grafit içeriyorsa "sfero" olarak adlandırılır. Daha az yaygınlıkla, lamel ve sfero arasında bir geçiş yapısı olarak vermiküler grafit yapısı görülebilir [2].



2.1 Soğuma Eğrisi

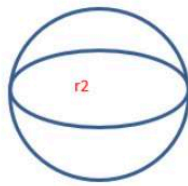
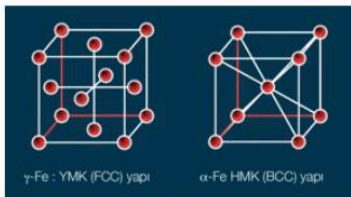
Ötektik altı katılaşmada liquidus sıcaklığına ulaşıldığı anda denritik östenit fazı oluşmaya başlar. Katılaştan östenit kristalleri daha düşük miktarda karbon içermektedir. Soğuma devam ettikçe sıvıdaki karbon miktarı artmaya devam edecektir. Çünkü östenit içerisinde atılan karbon sürekli sıvı içerisinde birikmektedir. Ötektik dönüşüm sonrası karbon /grafit sıvıdan ayrılarak östenit fazı üzerinde ortaya çıkar. Ötektik dönüşüm sonrası katılaşma ısısının salınması nedeni ile sıcaklığın yükseldiği gözlemlenir. Ötektoid noktasına göre katılaşma devam eder.

2.2 Hacim-Sıcaklık Grafiği



Katılaşma esnasında, sıvı halden katı hale geçerken her zaman bir çekinti olur. Düzensiz ve yüksek enerjiye sahip sıvı atomları, katı hale geçerken enerjileri azalır ve hacim küçülür. Sıvı metalin hacminde liquidus sıcaklığına kadar kadar azalma, çekme olur. Bu çekintiyi takviye etmek kolaydır. Ancak demir, östenitten ferrit fazına geçerken bir kez daha çekinti oluşur ve bu çekintiyi beslemek daha zordur. Bu durum östenitin yüzey merkezli kübik (FCC), ferritin hacim merkezli kübik (BCC) yapıda olmasından kaynaklanır. Ayrıca oluşan dendritler besleme mesafesini kısaltacaktır.

Dökme demir için yaklaşık %3.2 çekinti görülür. Bu çekintiyi karşılayabilmek için besleyici tasarlanması gerekebilir.



$$\text{Küre hacmi} : v = \frac{4}{3} \pi r^3$$

$$r_2 = r_1 (0.032)^{1/3}$$

$$r_2 = 0,31 r_1$$

Yani; %3,2 çekimde oluşan boşluk küre radiusunun %31'i kadardır.

Son olarak, katı metal oda sıcaklığına soğurken çekme görülecektir. Bu çekme miktarı, modele çekme payı verilerek karşılanmaktadır.

3.BESLEYİCİ TASARIMI

Bir parçanın besleyici ve yolluk sistemi iyi tasarlanmış ise yalın üretim yapılması sağlanabilir. Böylelikle, ürünler maksimum verimlilik ve minimum işçilik ile en kısa zamanda sevke hazır hale getirilebilir.





İyi tasarlanmış yolluk dizaynı sayesinde yüksek kaliteli (sound) döküm parça elde edilebilir, yüksek plaka verimliliği ve düşük maliyet ile döküm yapılabilir, düşük döküm sakatı, düşük ergitme maliyeti, minimum taşlama ve yolluk ayırma işçiliği gerçekleşir. Böylelikle çevrim süresi kısaltılmış olur. Ayrıca, ek işçilik, yeniden işlem tamamen ortadan kaldırılabilir.

3.1. Besleyici Tasarımında Dikkat Edilecek Hususlar

Besleyici tasarımındaki en temel husus, besleyicinin parçadan önce katılaşmasının engellenmesidir. Bunun sağlanması için modül hesapları yapılır. Modül, parça hacminin soğuma yüzey alanına oranı olarak tanımlanabilir. Parça hacmi arttıkça, ısı miktarı artar ve soğuma hızı azalır. Öte yandan, soğuma yüzey alanı arttıkça, soğuma hızı artacaktır. Modül, parçanın hacmi ve yüzey alanıyla, soğuma arasındaki ilişkiyi ifade eder. Besleyici modülü, parça modülünden eşit ya da büyük olmalıdır.

$$\text{Modulus} = \frac{\text{Volume of Casting}}{\text{Cooling Surface Area}}$$

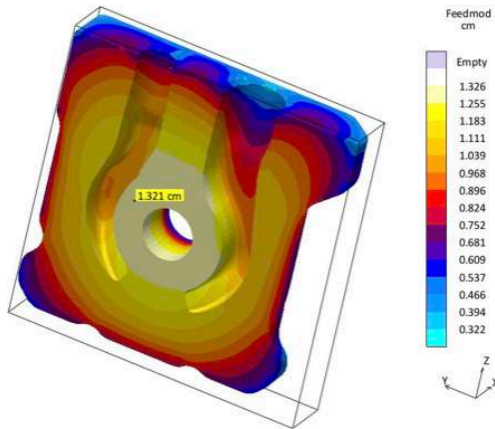
- The more heat content, the slower the cooling rate
- The more surface area the faster cooling rate.

Simple Forms		
Geometrical Form	Description	Solidification Modulus M (cm)
	Cube	$\frac{a}{6}$
	Sphere	$\frac{a}{6}$
	Bar with square cross section.	a) $\frac{a}{4}$
	a) with infinite length b) with finite length	b) $\frac{a+1}{2(a+2)}$
	Bar with circular cross section, cylinder	a) $\frac{a}{4}$
	a) with infinite length b) with finite length	b) $\frac{a+1}{2(a+2)}$

Besleyici parçadan önce katılaşmamalıdır.

Besleyici modülü parça modülünden eşit ya da büyük olmalıdır.

Parçanın maçalı olması, soğutucuların kullanılması, model plaka yerleşimi ve yolluk dizaynı ısı dağılımını etkileyeceğinden modülün simülasyon programları hesaplanması daha doğru sonuç verecektir.



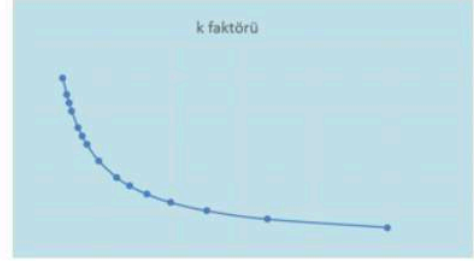
$$M_{feeder} = kM_{casting}$$

[1]

Yukarıda verilen denklem, besleyici modülü ile parça modülü arasındaki ilişkiyi ifade eder. “k” faktörü dökümhanelerin döküm pratiğine göre belirlenmelidir. Proses dizaynı ve şartlarına göre değişkenlik gösterebilir. Besleyicinin sıcak ya da soğuk olması, hurda tipleri ve oranları, alaşım elementleri ve oranları, ergitme pratiği, kullanılan döküm metotları, aşılama metotları ve malzemeleri, kalıp kumu ve malzemeleri, maça tipleri ve kondisyonları, kalıplama metotları k faktörünü etkileyen etmenlerdir.

Genel olarak k faktörü aşağıdaki gibi alınabilir.

- 0.7-1.1 for hypoeutectic grey irons
- 0.8-1.2 for ductile irons
- 1.2-1.5 for malleable irons
- 1.2-1.5 for steels



Besleyici tasarlarken bir diğer önemli husus; besleyicinin çekintiyi karşılayabilecek miktarda sıvı metal vermesinin sağlanmasıdır.

$$\alpha (V_c + V_f) \quad [2]$$

$$\varepsilon \cdot V_f \quad [3]$$

$$\varepsilon \cdot V_f \geq \alpha (V_c + V_f)$$

Çekintiyi takviye edecek minimum sıvı metal hacmi (2), ve beslenebilecek metal miktarı (3) hesaplanmalıdır. Yukarıda verilen formüllerde VC: parça hacmi, Vf : besleyici hacmi, ε : besleyici verimi, α : çekme yüzdesi olarak kullanılmıştır.

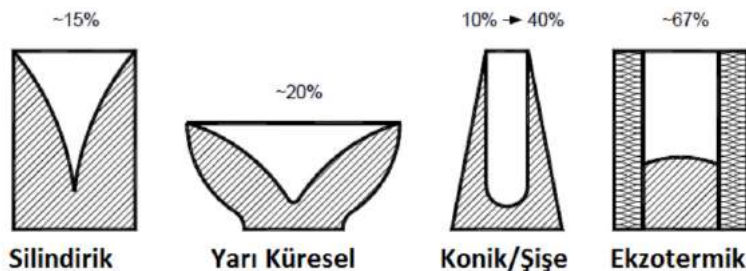
Beslenebilecek metal miktarı her zaman gerekli hacimden büyük ya da eşit olmalıdır.

Örneğin, %14 besleyici verimliği olan kum kalıp için ;
verim alüminyum için %50 iken, çelik parça için yaklaşık %78 'dir.

α : %3,2 for steel

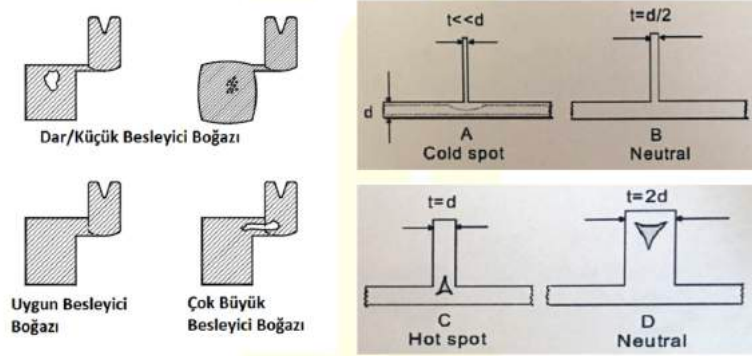
α : %7 for alüminyum

Besleyici ağırlığı plaka verimini etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Aynı modüllü en düşük ağırlığa sahip geometri küredir. Fakat parça geometrisi, plaka yerleşimi ve proses şartlarına bağlı olarak farklı besleyici tipleri kullanılabilir.



Besleyici tipine bağılı olarak, besleyici verimliliği değişmektedir. Besleyici verimliliği arttırılarak yüksek plaka verimi elde edilebilir.

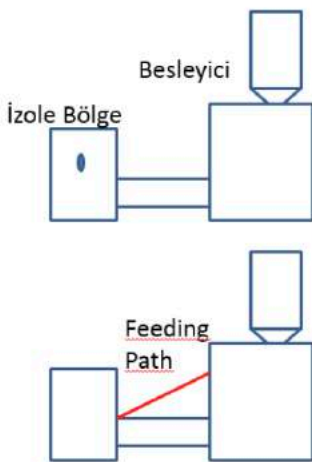
Besleyici tasarımında, besleyici ile parça birleşim noktasında hot spot yaratılmamasına dikkat edilmelidir.



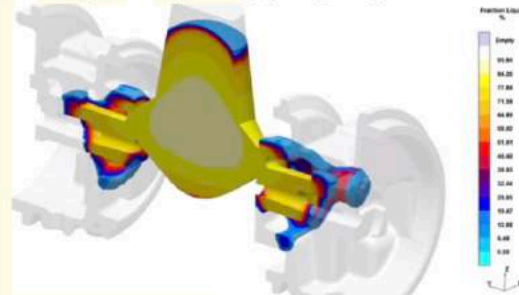
Besleyici boğazı, parça ile besleyici arasında kaldığı için daha uzun süre sıcak kalır. Boğaz hem parça tarafından hem de besleyici tarafından ısıya maruz kalır ve dolayısıyla hot spot oluşumuna eğilimli bir noktadadır. Besleyici boğazının modülü, besleyici modülünün üçte biri kadar olmalıdır.

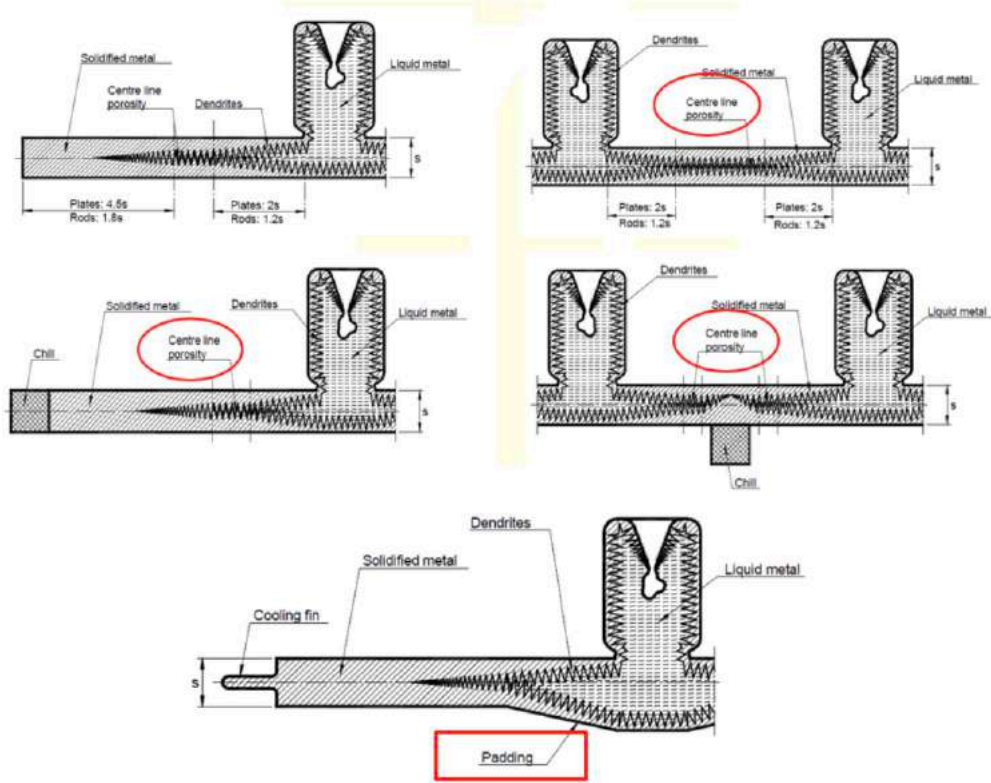
$$M_{\text{neck}} = \frac{M_{\text{Feeder}}}{3}$$

Feeding path, besleme mesafesi açık olmalıdır.



Besleyici ile beslenmek istenen bölge arasında sıvı metal bağlantısı olmalıdır. Buna göre katılma yönlendirilmelidir. İzole bölgeler oluşmamasına dikkat edilmelidir. Bu durumlarda üretim maliyetinin artmaması için dizayn değişikliği değerlendirilmelidir.

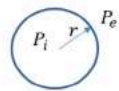




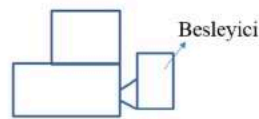
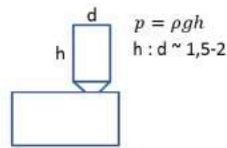
Besleyici çekinti oluşmasını engelleyecek basıncı oluşturabilmelidir.

Besleyicinin parça üzerinde oluşturacağı basınç, besleyici tasarımında hesaba katılması gereken konulardan biridir. Katılaştıran sıvı metal üzerinde basınç oluşturulursa hatanın oluşması zorlaşır. Hatanın çekirdeklenmesi ve büyümesi basınçla engellenebilir. Besleyicinin oluşturacağı basınç, hatayı engelleyebilecek büyüklükte ve besleme metalinin akması için yeterli basınç farkı oluşturacak seviyede olmalıdır. Besleyicideki net basıncın, parçanın basıncından daha yüksek olması sağlanmalıdır. Böylelikle basınç farkı beslemeyi sağlayacak yönde olacaktır.

Katılaştıran sıvı üzerine basınç uygulanırsa, hatanın oluşması güçleşir. Böylelikle hatanın çekirdeklenmesi ve büyümesi engellenebilir.

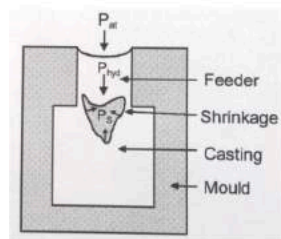


$$P_i - P_e \geq \frac{2T}{r}$$



Besleyici parça yüksekliğini geçmeli

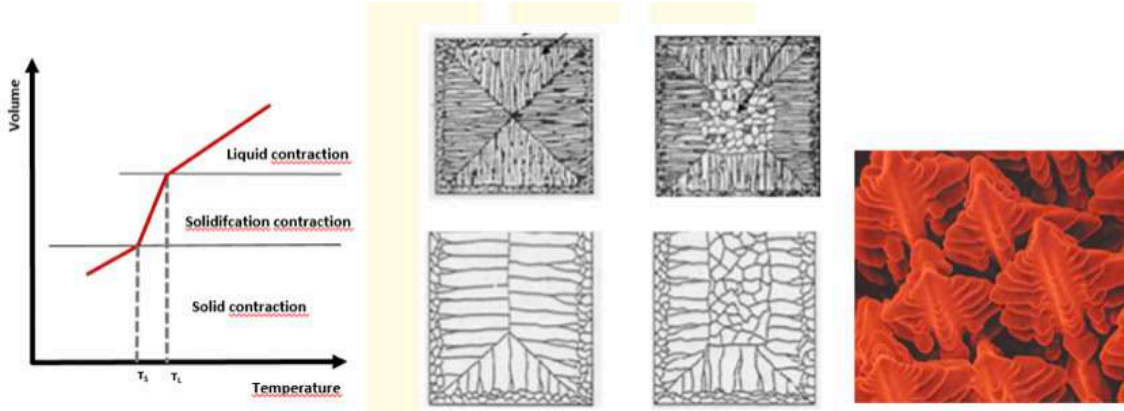
Beslemenin sağlanabilmesi için doğru yönde yeterli basınç farkı oluşturulabilmelidir.



$$\text{Driving Force} = \underbrace{P_{atm} + P_{hyd}}_{\text{Positive}} + \underbrace{P_s}_{\text{Negative}}$$

Besleyicideki net basınç parçadan yüksek olmalıdır.

İlk katılaşma anında dış yüzeyde kabuk oluşur ve giderek kalınlaşır. Katılaşmadan dolayı oluşan hacimsel azalma geri kalan sıvı içerisinde çekme gerilimi oluşturur. Bu iç emme, vakum, katılaşan kabuktan daha kuvvetli ise, kabuğun içe doğru çökmesine neden olur. Basınç kabuğu kırmak için yeterli değilse geri kalan sıvıyı parçalayarak boşluk oluşmasına neden olur.



Bu basınç besleyicinin tepesinde kırılmaya neden olur ise atmosferik basınç besleyici içerisindeki sıvı metale etki eder. Bu da sıvı metalin besleyiciden parçadaki çekintiye doğru akması için basınç farklılığı oluşturur. Bu durumda besleyici çalışır.



Öte yandan, parçada hot spot olan bölgede en son katılaşan metal bulunur. Bu bölgedeki hidrostatik çekme gerilimi döküm parça kabuğunda çökmeye neden olursa atmosferik basınç bu sefer parça içindeki sıvı metale etki eder. Bu durumda basınç farklılığı, eğilimi, parçadan besleyiciye doğru olur ve besleyici çalışmaz.



Bu hatanın oluşmaması için besleyici boyu uzatılmalı ya da besleyicide hot spot oluşturacak dizaynlar uygulanmalıdır. Böylelikle besleyicide kabuk oluşması geciktirilir ve kabuğun daha kolay kırılması/delinmesi sağlanır.

Son olarak, besleyici kullanımının gerçekten gerekli olup olmadığı değerlendirilmelidir. Besleme ihtiyacı olmayan parçalarda besleyici kullanılması beklenenin tam aksine çekintiye bile neden olabilir. Bu durum aynı zamanda döküm verimliliğini ve işçiliğini olumsuz yönde etkileyecektir.

4. SONUÇ

Döküm parçanın çekintisiz olarak üretilebilmesi için uygun kimyasal kompozisyon ve proses şartlarının yanında optimum dizayn edilmiş parça ve yolluk tasarımına ihtiyaç vardır. Porozite oluşmaması için besleyicinin çalışması gerekmektedir. Bunun için aşağıdaki kurallara uyulmalıdır.

- Besleyici parçadan önce katılaşmamalıdır.
- Besleyici çekintiyi takviye edebilecek miktarda sıvı metal içermelidir.
- Besleyici ile parça arasında hot spot oluşturulmamalıdır.
- Feeding path, besleme mesafesi açık olmalıdır.
- Besleyici çekinti oluşmasını engelleyecek basıncı oluşturabilmelidir.
- Beslemenin sağlanabilmesi için doğru yönde yeterli basınç farkı oluşturulabilmelidir.
- Son olarak, besleyici kullanımının gerçekten gerekli olup olmadığı ilk baştan değerlendirilmelidir. Gereksiz yere besleyici kullanılmamalıdır.

5. KAYNAKÇA

- 1) Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2010). Materials Science and Engineering: An Introduction (8th ed.). Hoboken, NJ: Wiley.
- 2) Stefanescu, Doru & Ruxanda, Roxana. (2004). Fundamentals of Solidification.
- 3) Campbell, J. Castings, Butterworth Heinemann, 2003
- 4) DISA 270-A Sand Moulding System, Application Manual, Reg. No. 9157 H 0210, Edition 12-04

DEMİR VE DEMİR DIŞI DÖKÜMHANELERİNİN GÜNÜMÜZ VE GELECEKTEKİ İHTİYAÇLARI İÇİN YENİLİKÇİ VE LİTYUM İÇERMİYEN KATKI MALZEMELERİ

Önder ORHANER*, Hakan KAKAÇ*, Kadir BIYIK*
İsmail YILMAZ**

*ASK Chemicals TR Tic. Ltd. Sti, Ankara

**ASK Chemicals GmbH, Almanya

ÖZET

Döküm sektöründe, kaliteden ödün verilmeden (hatta arttırarak) üretkenlik ve verimlilik artışı beklentileri artarak devam etmektedir. Bu durum, hem dökümhaneler hemde tedarikçileri üzerinde ciddi bir beklenti ve baskı yaratmaktadır. Günümüzde sosyal ve politik değişimler yaşanmaktadır. Ekolojik sorunlar üzerindeki farkındalık ve duyarlılık, çevreyi ve kaynakları koruma yönündeki gayretler gittikçe önem kazanmaktadır.

Birçok dizel araç için sürüş yasağı, egzoz gazı manipölasyonu ile ilgili yaşanan yasa dışı durumlar, elektrikli ulaşım alanına olan ilgi ve plastik atık ve mikro plastiklerin yüksek orandaki ortam varlıkları hakkındaki tartışma, bu tür konuların gerçekliği ve öneminin örnekleridir.

Günümüzde toplum ve siyaset, mevcut geleneksel yanmalı motorlardan elektrikli bir aktarma organının geliştirilmesine geçmek istemektedir. Bununla birlikte, elektrikli ulaşım, döküm endüstrisini ve tedarikçilerini temelde çalışma yöntemlerini yeniden düşünmeye zorlamaktadır.

Spesifik özellikleri nedeni ile lityum şarj edilebilen piller için önemli bir bileşendir. Olası başka gelişmeler bile bu gerçeği hiçbir şekilde değiştirmeyecektir.

Elektrikli ulaşım için çok önemli olan bu hammaddenin tedarik durumunu ve fiyat gelişimini tahmin etmek zordur ve Güney Amerika'da (örneğin Şili'de) madencilik koşulları ve işletme maliyetleri çevre için yıkıcı ve yerel halk için korkunç sonuçlara sebep olmaktadır.

Lityum madeni, Avustralya kaynaklı olması ile beraber, birçok kum katkı malzemesi için de önemli bir bileşen olmuştur.

Sürdürülebilirlik ve sorumluluk büyük önem taşımaktadır.

Firmamız, katkı malzemelerinde lityum kullanımını önemli ölçüde azaltmayı hedef olarak belirlemiştir. Birçok dökümhaneyle yakın işbirliği içinde, son 2 yılda önemli ilerlemeler kat edilmiştir. Başarılar elde edilmiş ve şimdiye kadar toplam talebin % 40'ından fazlası halihazırda değiştirilmiştir.

Firmamız AR-GE çalışmaları, yenilikçi ve yeni lityum içermeyen katkı malzemeleri ile dökümhanelerin gelecekte belirtilen gereksinimlerini karşılamaya devam edecektir:

- Yeniden işlem veya sakata neden olan döküm hatalarının önemli ölçüde azaltılması,
- Bazı durumlarda özel kum kullanım oranının azaltılması,
- Bu katkı malzemelerini kullanırken boyasız parça dökümü,
- Mükemmel ayırma özellikleri sayesinde yüksek, takım (tooling) ömrü ve kullanılabilirliği,
- Alüminyum dökümhaneleri de Poli Üretan Soğuk Kutu maça prosesinde katkı malzemeleri kullanabilir, örneğin: kalıp (maça) malzemesinin ayrışmasını iyileştirmek amacıyla.

Anahtar Kelimeler: Kum Katkı Malzemleri, Lityum İçermeyen Katkı Malzemeler

ABSTRACT

Constantly growing demands on productivity and efficiency with at least the same or even better quality are omnipresent in the foundry industry - both on the side of the foundries and on the side of the suppliers. At the same time, a social and political change is taking place. The awareness and sensitivity for ecological problems and the consistent -absolutely right- striving to protect the environment and conserve resources are becoming ever more present.

The discussion about driving bans for many diesel vehicles, the horror about exhaust gas manipulation, the interest in the field of electromobility and the high media presence of plastic waste and micro plastics are examples of the actuality and importance of such topics.

At present, society and politics want to move away from the existing traditional combustion engines towards the electrification of the powertrain very soon. However, electromobility is forcing the foundry industry and its suppliers to fundamentally reorient themselves. Due to its specific properties, lithium is a key component for rechargeable batteries. Even if there will be further developments, nothing will fundamentally change.

The supply situation and the price development for this raw material, which is so important for electromobility, is difficult to predict.

Sustainability and responsibility are of great importance.

ASK Chemicals has set itself the goal of significantly reducing the use of lithium in additives. In close cooperation with many foundries, considerable progress has been achieved in the last 3 years, so that now more than 60% of the total requirement has already been exchanged.

With ASK Chemicals' innovative and new lithium-free additives, foundries can continue to meet requirements mentioned in the future by:

- casting defects that lead to rework or rejects are significantly reduced,
- in some cases, the special sand quota is reduced,
- parts with these additives can be cast without coating,
- High tool availability due to excellent parting effect
- aluminum casters can also use additives in the PUR cold box process, with the goal e.g. to improve the decay of the (core) molding material.

Keywords: Automotive, Sand additives, Productivity, Casting defects, Environment, Coating-free production, Special sands

1. INTRODUCTION

The constant further development or new development of cast parts in the shortest possible time often pushes even well-established foundries to their limits and is a stress test for everyone involved people and facilities.

The lightweight construction, the construction of core-intensive and complex castings with good material properties and high dimensional accuracy as well as short delivery times can be used here as examples of the increasing requirements are given.

However, the foundries still have to assert themselves financially in international and national competition, made difficult by e.g. wage and ancillary wage costs, extremely high energy costs, etc.

The expectations of some casting buyers with regard to the product price and product quality (casting properties) are, not to mention, unabatedly high.

It is common practice, to avoid casting defects i.e. avoid veining defects or penetration, especially in cold box applications with sand additives. A further application field of sand additives is the partial or complete replacement of special sands or coatings in the casting process.

In order to remain competitive or even to meet the qualitative requirements, sand additives have become indispensable in leading and innovative foundries.

One of the key raw materials used in the manufacture of additives is lithium. A raw material that is in high demand due to its importance for electromobility, which translates into high market prices.

Given this specific situation, ASK Chemicals has set itself the goal of significantly reducing the use of Lithium in sand additives.

Test results have shown in a reproducible manner, that the new lithium-free additive development has very good anti-veining properties but also produce outstanding casting surfaces, even without the use of coatings.

This paper shows foundry men ways in which they can respond to these challenges by selecting the right sand additive and without Lithium as a content.

2. MATERIAL AND METHODS

During the conversion from α -SiO₂ to β -SiO₂, the sand grains expand by approx. 1.3%. This leads to enormous stress inside the core as well as at its surface. Cracks form at the core surface which fill with liquid metal, resulting in casting defects commonly known as veining.

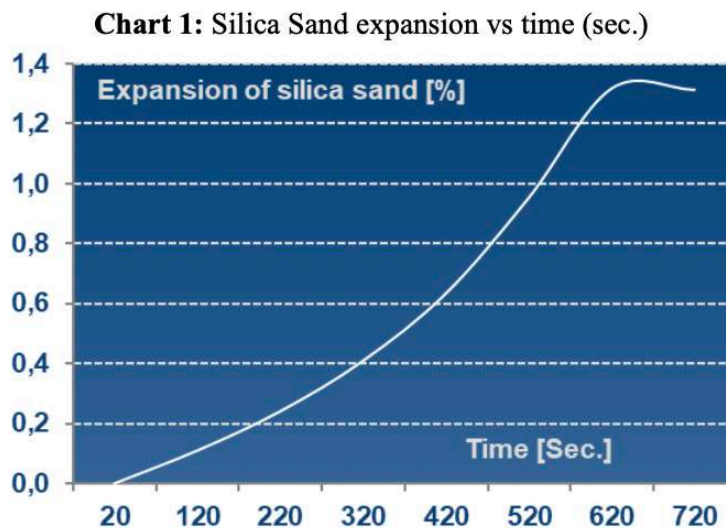


Figure 1: Veining Defect

A few different types of materials have been used as anti-veining sand additives. These include organic materials like wood flour, starch/dextrin, and sea coal (powdered bituminous coal).

These organic materials are effective against veining, but they also increase gas evolution and can contribute to metal penetration by leaving gaps between the sand grains after they burn away.

Fluxes, or inorganic materials that react with and soften the surface of the silica sand, have also been used successfully. Lithium, titanium ore, carbonates, iron oxides and other metal oxides have been used for several decades.

3. STATE OF THE ART

There are essentially 3 different groups of sand additives. Organic-, Inorganic- and Hybrid additives.

These differ in their composition and function. The choice for the "right sand additive" depends on many factors.

1.1.Organic additives

This class generally consists of hardwood or plant extracts and is usually dosed at 0.5% to 5%. These additives are often used in the core production of cold-box processes in order to avoid sand expansion defects.

1.2.Inorganic additives

Inorganic additives include, lithium, iron oxides, ceramics or minerals. By their nature gas development do not occur and thus gas defects are prevented. Due to the absence of organic components, tool contamination is lower than the contamination when using organic additives.



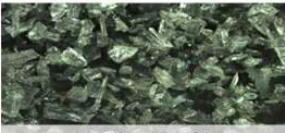
Inorganic additives are particularly suitable for coating-free casting, but they require a high additive rate of 2% to 12% and often result in high raw material costs.

1.3.Hybrid additives

A relatively new generation of additives are hybrid additives. They combine the advantages of the additive systems. They are very effective against veining. They can also be used for coating-free casting. Hybrid additives of the latest generation are also used to replace expensive specialty sands. The addition rate is usually between 0,5-5,0 %.

Chart 2: Sand Additives

All three groups of additives are suited to produce high quality cast parts. Independently, the selection of a specific additive solution, is highly dependent on the specific casting application or which project the foundry wants to realize.

	Advantages	Challenges
 <p>0,5% – 5,0%</p>	<p>Organic Additives</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hardwood- / plant-based granulate • Dextrine / starch 	<ul style="list-style-type: none"> • Impregnated additives • High gas & odor development • Tooling contamination (wipe off performance) • Expensive additive production
 <p>2,0% – 12,0%</p>	<p>Inorganic Additives</p> <ul style="list-style-type: none"> • Iron oxide • Ceramics • Minerals 	<ul style="list-style-type: none"> • High addition amount • High raw material cost
 <p>0,5% – 5,0%</p>	<p>Hybrid Additives</p> <ul style="list-style-type: none"> • Organic & inorganic raw materials 	<ul style="list-style-type: none"> • Lower gas emissions • Coating-free casting possible • Low tendency to deformation • Reduced tooling contamination • Replacement of special sands

4. DEVELOPMENT METHODOLOGY

ASK Chemicals researched extensively to find a new mineral component as an alternative for the raw material lithium in sand additives.

Criteria assessed and evaluated:

a) On the alternative raw material:

- Chemical comparison
- Granulometry, fraction, distribution
- Heating microscope
- Density

b) After replacement in the additives

- Transversal strengths
- Linear expansion
- Casting results ASK Pilot Plant
- Field trials

c) Sustainability

- Environmental – friendliness
- Economic and reliable supply source
- Availability

As an example, two hybrid additives were compared:

VEINO ULTRA 3010 = Lithium containing sand additive formulation

VEINO ULTRA 3030 = only the Lithium component has been replaced

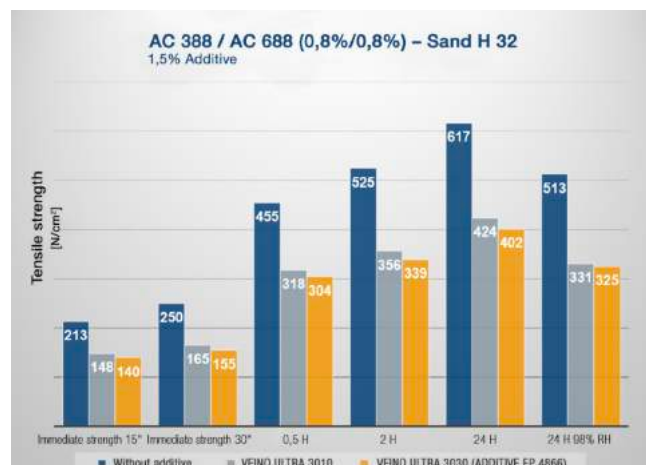
4.1 Core strength:

Depending on the geometry, casting material, handling of cores/molds in the whole process, stress during the pouring (gating system, pouring height) etc. the cores/molds need certain strength values which must be achieved.

It is also not unusual, that the core strength is lower when using sand additives as without additive. The lower strengths are mainly based on the lower density, finer particle size and the surface structure of the sand additive in comparison to the used core sand. Therefore, for most sand additives an increase of binder level is necessary in order to compensate the decrease in tensile strength.

However, the strength values of the alternative lithium-free sand additives should be in the same range as the existing lithium containing sand additives.

Chart 3: Core Strengths Comparison (H 32 Sand, with/without Sand Additive and Binder System)



The lab tests have shown similar transversal strengths between both sand additives. The first hurdle for foundry suitability was overcome with the similar strengths.

4.2 Casting testing/anti veining effect:

For the internal assessment to the functionality of the sand additives, the formulation was poured in ASK Chemicals own casting facility (pilot plant). The so-called dome core test was used for this test.

The dome core test is an interesting and good method to evaluate the functionality and anti-veining effect. Another advantage is the simultaneous comparison of various sand composition.



Figure 2: Dome Core

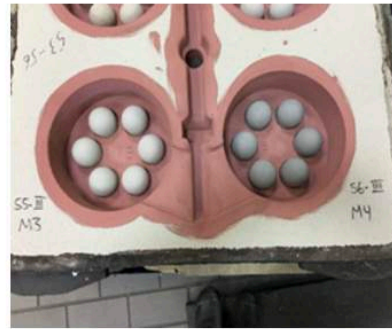


Figure 3: Dome Cores & Mold

The dome cores were casted, uncoated, in GJL. Pouring temperature = 1420°C



Without additive

with lithium-containing
sand additive
VEINO ULTRA 3010

with lithium-free
sand additive
VEINO ULTRA 3030

Figure 4: Casting results with/without Sand additive types

5. FIELD TESTS AND RESULTS

After the prerequisites were met, the new formulations had to prove themselves in trials under fluctuating real foundry conditions.

The sand additives were always tested in same binder and additive quantities. As expected, and admittedly also hoped for, the results were in most cases consistently positive. No abnormalities in the core production nor in the castings were observed.

6. CONCLUSION/SUMMARY

Now with more than 3 years of experience with ASK Chemicals' innovative and new lithium-free additives, foundries are meeting current and future requirements:

- Significant reduction of casting defects that lead to rework or scrap
- Reduction of the special sand quota in some cases to become more economic
- Coating-free application to reduce process steps and material costs

New application fields of lithium-free additive:

- Additives to increase tooling availability thanks to excellent release properties of the additive
- Aluminum foundries can also use additives in the PUR Cold Box process, for ex. with the aim of improving in decoring (decay) of the core and molding material
- Beta Set & Novanol additives to increase the transversal strength or to reduce the binder quantity (flowability increasing)

7. ACKNOWLEDGMENTS

We would like to express our special thanks of Dr. Reinhard Stötzel as well as ASK Chemicals GmbH.

8. REFERENCES

- 1) 71. WFC, Bilbao Additives to reduce veining and avoid refractory coatings; Jaime Prat, Dr. Reinhard Stötzel, Ismail Yilmaz
- 2) The certain something in the casting process; New hybrid additive for more effectiveness and efficiency in casting production. Ismail Yilmaz, Verena Sander

ÇELİK DÖKÜMLERDE BASINÇLI YOLLUK SİSTEMİ TASARIMI VE OPTİMİZASYONU

M. Murat ZOR *, Alper YOLOĞLU *, Serdar KESİM *, Ferhat TÜLÜCE*,
*Kasım BİLGİN *, Süleyman YILDIRIM *, Deniz CEBECİ *, Serkan DAŞ *
*Çimsataş Çukurova İnşaat Makinaları SAN. TİC. A. Ş. Mersin, Türkiye

ABSTRACT

The aim of this study is to establish a correlation between the proven version of pressurized gating system for steel castings and the cost-effective version of pressurized gating system in industrial conditions. In the study, computer aided design solid modeling program was used in the design of the pressurized gating system for steel castings and the ratio of the pressurized gating system was selected as 1: 3: 1. Flow simulation of the gating designed casting part was made in computer aided design metal casting simulation. In the study, calculations used in the design of the pressurized gating system were made based on the weight of the part and effective casting height. The study clearly shows that the well-designed pressurized gating system has revealed that it plays a significant role in preventing non-metallic casting defects in steel castings, such as sand, gas and slag. In addition, the " Spin Trap " that is recommended to be used in gating systems in ferrous based castings in the literature, was used for the first time in the ÇİMSATAŞ foundry in the steel castings at the end of the runner in the pressurized gating system and appropriate result were obtained. Computer aided flow and solidification simulation was used in the design of the gating system containing Spin Trap.

Keywords: Steel casting, pressurized gating system design, casting defect, modelling and simulation, Spin Trap.

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, çelik dökümler için kanıtlanmış basınçlı yolluk sistemi versiyonu ile endüstriyel koşullarda uygun maliyetli basınçlı yolluk sistemi versiyonu arasında bir ilişki kurmaktır. Çalışmada, çelik dökümler için basınçlı yolluk sistemi tasarımında bilgisayar destekli katı modelleme programı kullanılmış ve basınçlı yolluk sistemi oranı 1:3:1 olarak seçilmiştir. Yolluk tasarımı yapılan döküm parçanın akış simülasyonu bilgisayar destekli metal döküm ve katılaşma programında yapılmıştır. Çalışmada, basınçlı yolluk sistemi tasarımında kullanılan hesaplamalar, dökümü yapılacak parçanın ağırlığı ve etkin döküm yüksekliği esas alınarak yapılmıştır. Çalışma açıkça göstermektedir ki iyi bir şekilde tasarlanmış basınçlı yolluk sistemi çelik dökümlerde döküm parçada kum, gaz ve cüruf gibi metalik olmayan döküm hatalarının engellenmesinde önemli ölçüde rol oynadığını ortaya çıkarmıştır. Ayrıca, literatürde demir esaslı dökümlerde yolluk sistemlerinde kullanılması tavsiye edilen "Spin Trap", ÇİMSATAŞ dökümhanesinde ilk defa çelik dökümlerde basınçlı yolluk sisteminde kanalın sonunda kullanılmış ve uygun sonuç alınmıştır. Spin Trap içeren yolluk sistemi tasarımında bilgisayar destekli akış ve katılaşma simülasyonu kullanılmıştır.

Anahtar kelimeler: Çelik döküm, basınçlı yolluk sistemi tasarımı, döküm hatası, modelleme ve simülasyon, Spin Trap.

GİRİŞ

Çelik dökümlerde sıvı metalin kalıp boşluğunu problemsiz olarak doldurması için kum kalıp içerisinde oluşturulan boşlukların tamamı yolluk sistemi olarak adlandırılır. Bir döküm parçada besleyicilerin efektif kullanılması ne kadar önemli ise yolluk sisteminin doğru dizaynı da bir o kadar önemlidir. Döküm proseslerinde yolluk sisteminin temel bileşenleri; döküm haznesi (döküm havşası), düşey yolluk, yatay yolluk ve meme olmak üzere dört kısımdan oluşmaktadır. Yolluk sisteminin asıl görevi sıvı metale yön vererek kalıbın sıvı metalle dolmasını sağlamak olsa da, iyi tasarlanmış yolluk sistemi döküm parça yüzeyinde ve içinde oluşabilecek çeşitli döküm hatalarını (kum, gaz ve cüruf gibi non-metalik inklüzyonlar) önlemede önemli ölçüde rol oynamaktadır [1-3]. Aynı şekilde iyi tasarlanmamış bir yolluk sistemi döküm parçada tamir ihtiyacı doğurabilecek hatalara ya da parçanın hurda olmasına sebep olabilmektedir. İyi bir şekilde tasarlanmış yolluk sistemi; kalıbı uygun zamanda doldurabilmeli, sıvı metali istenilen ve/veya hedeflenen yere yönlendirebilmeli, hava ve gazların kalıptan dışarı çıkabilmesine izin vermeli, non-metalik inklüzyonların kalıp içerisine girmesini engellemeli, kalıbın erozyon ile bozulmasına neden olmamalı, türbülans nedeni ile gaz emişine neden olmamalı ve maksimum verim için minimum ağırlıkta olmalıdır [3-9].

1.1. Basınçlı yolluk sistemi

Çelik döküm proseslerinde kullanılan basınçlı yolluk sistemlerinin en dar kesit alanı memedir. Meme kesit alanına göre yatay yolluk, düşey yolluk ve döküm haznesi tasarlanır. Basınçlı yolluk sisteminde toplam kesit alanı kalıp boşluğuna doğru azalır ve sıvı metalin yolluk içerisindeki basıncı sayesinde ters basınç oluşumu engellenir. Basınçlı yolluk sisteminde yatay yolluk döküm süresi boyunca sürekli dolu kaldığından dolayı gaz emişi önemli ölçüde azalmaktadır. Ayrıca, çelik dökümlerde basınçlı yolluk sistemi kullanımı memelerde dolumun eşit olmasını ve yüksek yolluk verimi için minimum yolluk ağırlığının oluşmasını sağlar. Basınçlı yolluk sistemi tasarımının başarılı bir şekilde yapılabilmesi için kalıplama sistemi şartlarının, parça brüt ağırlığının (yolluk ve besleyicisi dahil toplam parça ağırlığı), parçanın kalıp içerisindeki konumunun, parçanın alt ve üst derece yüksekliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Basınçlı yolluk sistemi tasarımında kullanılan tipik oranlar 1:3:2 ve 1:3:1'dir [3-6].

1.2. Spin Trap (Döndürerek Yakalama) sistemi

Çelik dökümlerde basınçlı yolluk sisteminin sıvı metalin dökümü esnasında oluşan kum, gaz ve cüruf gibi non-metalik inklüzyonların parça içerisine girmesini önemli ölçüde engelleyebildiği bilinmektedir. Ancak, bazı durumlarda basınçlı yolluk sisteminin bu inklüzyonların parça içerisine girmesini engellenmede yetersiz kaldığı durumlar ortaya çıkmaktadır. Çelik dökümler için literatürde çeşitli cüruf yakalama sistemlerinin bir çok versiyonu bulunmaktadır. Son yıllarda literatürde çelik dökümler için basınçlı yolluk sistemlerinin sonunda Spin Trap haznesinin kullanılması bir çok yazar tarafından tavsiye edilmektedir. Spin Trap sistemi döküm proseslerinde yolluk sisteminin geliştirilmesi için kullanılan cüruf yakalama sisteminin bir versiyonu olarak literatürde tanımlanmaktadır. Spin Trap sisteminin temel amacı; yolluk sisteminin parça içerisine girmesini engelleyemediği kum, gaz ve cüruf gibi non-metalik inklüzyonları yakalayarak daha temiz bir döküm parça elde edilmesini sağlamak ve yolluk sistemini optimize etmektir [6-15].

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Çalışmada bilgisayar destekli katı modelleme programı kullanılarak çelik dökümler için basınçlı yolluk sisteminin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Müşterimize ait çatal adlı parçanın basınçlı yolluk sistemi tasarımı parçanın brüt ağırlığı (besleyicisi ve yolluğu dahil toplam ağırlık) esas alınarak yapılmıştır. Parça yaş kum kalıplama sisteminde kalıplanmış ve ÇİMSATAŞ dökümhanesinde dökümü gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, parçanın malzemesi TS EN 10293 standardına göre G17CrMo9-10 QT'dir. Bu malzemenin karbon eş değerinin yüksek olması ve parça görseelliğinin önemli olması nedeniyle, parçanın dökümü esnasında parça yüzeyinde meydana gelebilecek kum, gaz ve cüruf gibi metalik olmayan inklüzyonların minimize edilmesi hedeflenmiştir. Parçanın brüt ağırlığı 145 kg ve etkin döküm yüksekliği 33,2 cm olarak belirlenmiştir. Parçanın basınçlı yolluk sistemi tasarımı bilgisayar destekli katı modelleme programında yapılmış ve parçanın akış simülasyonu ise, bilgisayar destekli metal döküm ve katılma programında yapılmıştır.

Çalışmada parçanın üst derece yüksekliği 330 mm ve alt derecede kalan parça yüksekliği ise 37 mm olarak belirlenmiştir. Parçanın dolum süresi aşağıdaki eşitlik yardımıyla belirlenmiştir. Bu eşitlikteki parça brüt ağırlığına göre değişen 'k' katsayısı şekil 1'de verilen grafikten yararlanılarak bulunmuştur.

$$t = k\sqrt{W}$$

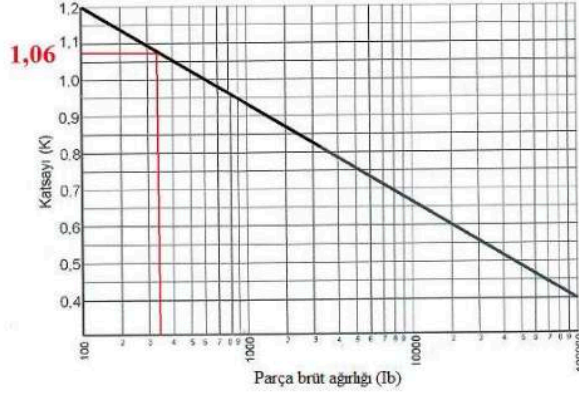
[1]

t : Dolum süresi (sn)

k : Dolum süresi katsayısı

W : Parça brüt ağırlığı (Ib)

Ib : Pound (1 Ib = 0,452 kg)



Şekil 1 : Parça brüt ağırlığına karşılık gelen 'k' katsayısı.

1 lb' ye karşılık gelen kilogram cinsinden ağırlık değeri 0,452 kg'dır. Buna göre; $145 \text{ kg} / 0,452 \text{ kg/lb} = 320,8 \text{ lb}$ 'dir.

Şekil 1'de 320,8 lb'ye karşılık gelen 'k' katsayısı 1,06'dır. Buna göre parçanın dolum süresi; $1,06\sqrt{320,8} = 19 \text{ sn}$ 'dir.

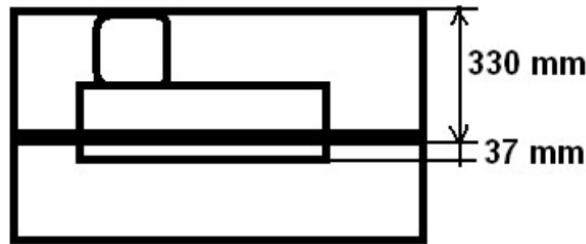
Çalışmada parçanın dolum süresi hesaplandıktan sonra, parçanın dökümü esnasındaki etkin döküm yüksekliği belirlenmiştir. Etkin döküm yüksekliği hesaplamasında ise şekil 2'deki şematik gösterimden yararlanılmış ve aşağıdaki formül yardımıyla parçanın etkin döküm yüksekliği bulunmuştur.

$$h = H - (P^2 / 2c) \quad [2]$$

h: Etkin döküm yüksekliği (cm)

H: Yolluk girişi ile pota arasındaki mesafe (cm) P: Parçanın üst derece yüksekliği (cm)

c: Parçanın alt derece bölgesindeki derinliği (cm)



Şekil2 : SKalıplanacak parçanın üst derece ve alt derece yüksekliklerinin şematik gösterimi.

'H' ölçüsü pota ağzı ile yolluk girişi arasındaki mesafedir. ÇİMSATAŞ dökümhanesinin deneyimlerine istinaden yolluk sistemi tasarımlarında 'H' ölçüsünü reçineli kalıpma sisteminde üst derece yüksekliğinden 25 cm, yaş kum kalıplama sisteminde ise üst derece yüksekliğinden 20 cm yukarısı referans alınarak hesaplamalar yapılmaktadır.

$H = 33 + 20 = 53$ cm'dir. Parçanın etkin döküm yüksekliği;

$h = 53 - (332 / 2 \times (33 + 3,7)) = 38,2$ cm'dir.

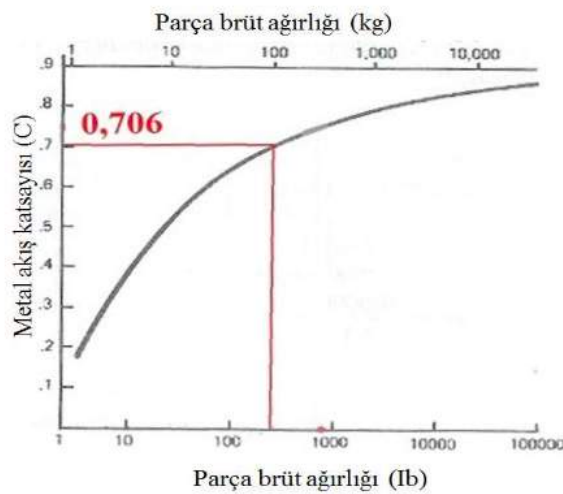
Çalışmada parçanın etkin döküm yüksekliği hesaplandıktan sonra, metal akış hızı aşağıdaki formüle göre ve şekil 3'deki grafikten yararlanılarak hesaplanmıştır. 4

$v = C\sqrt{2gH}$ [3]

v: Metal akış hızı (cm/sn)

C: Akış katsayısı

H: Parçanın etkin döküm yüksekliği (cm) g: Yer çekimi ivmesi (981 cm/sn²)



Şekil3 : Parça brüt ağırlığına karşılık gelen metal akış kat sayısı.

Şekil 3'deki grafikten parçanın brüt ağırlığına karşılık gelen metal akış katsayısı 0,706 olarak belirlenmiştir.

$0,706\sqrt{2 \times 981 \times 38,2} = 193,3$ cm/sn'dir.

Parçanın basınçlı yolluk sistemi tasarımının en önemli basamağı olan meme kesit alanını belirlemek için parçanın hacmi, dolum süresi ve metal akış hızı hesaplanmıştır. Parçanın meme kesit alanı aşağıdaki formül ile belirlenmiştir.

$A = V / t \times v$ [4]

A: Meme kesit alanı (cm²) V: Parça hacmi (cm³)

v: Metal akış hızı (cm/sn)

Parçanın meme kesit alanının hesaplanabilmesi için parça hacminin hesaplanması gerekmektedir.

Parça hacmi; $145000 \text{ gr} / 7,2 \text{ gr/cm}^3 = 20138,8 \text{ cm}^3$ 'dür. Parça meme kesit alanı;

$20138,8 / (19 \times 193,3) = 5,48 \text{ cm}^2$ 'dir.

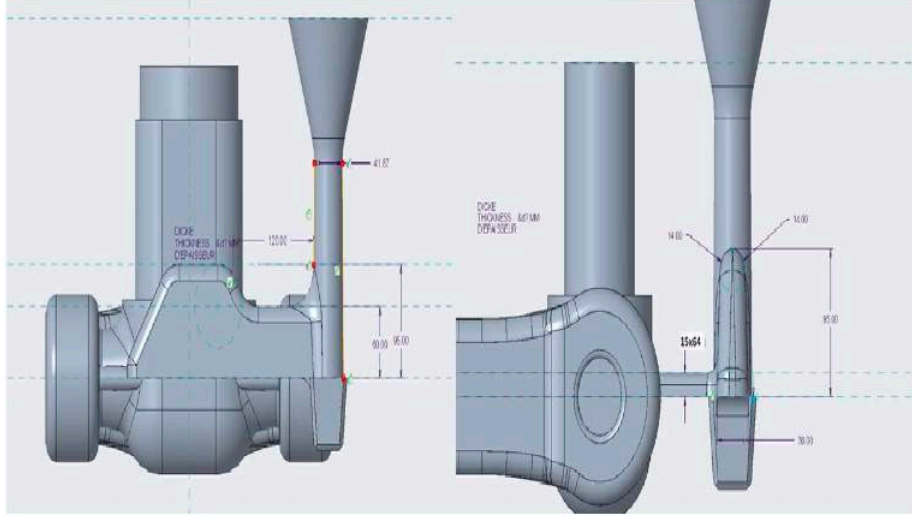
Çalışmada basınçlı yolluk sistemi tasarımında yolluk sistemi oranı 1:3:1 olarak seçilmiştir. Ancak, parçanın meme girişi yolluk sistemine göre 90° açığa sahip olması nedeniyle, meme kesit alanı 1,8 kat sayısı ile çarpılarak ÇİMSATAŞ dökümhanesi döküm pratiğine göre hesaplanmıştır. ÇİMSATAŞ döküm pratiğine göre parçanın meme kesit alanı;

$5,48 \times 1,8 = 9,86 \text{ cm}^2$ 'dir.

Yolluk sistemi oranı	Düsey yolluk	Yatay yolluk	Meme
1:3:1	1	3	1
	9,86 cm ²	29,58 cm ²	9,86 cm ²

Çizelgec 1 : Basıncı yolluk sistemi oranı ve ölçüleri.

Çizelge 1'deki verilerden yararlanılarak bilgisayar destekli katı modelleme programında tasarımı yapılan basınçlı yolluk sisteminin görseli aşağıdaki gibidir.

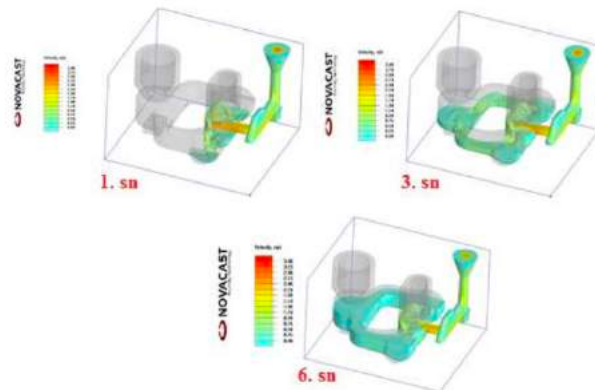


Şekil 4 : Tasarımı yapılan basınçlı yolluk sisteminin şematik gösterimi.

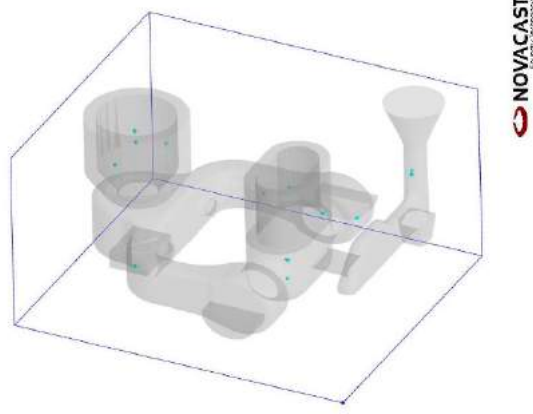
Basıncı yolluk sistemi tasarımı yapılan döküm parçasının metal akış ve dolun simülasyonu; ağızdan dökümlü pota ile ve döküm sıcaklığı 1600 °C seçilerek yapılmıştır. Döküm parçasının nominal kimyasal kompozisyonu çizelge 2'de gösterildiği gibi seçilmiş ve parçaya metal akış ve dolun simülasyonu yapılmıştır.

İçerik	% C	% Mn	% S	% P	% Si	% Ni	% Cr	% Mo
Min	0,13	0,5	0	0	0,4	0	2	0,9
Max	0,2	0,9	0,02	0,02	0,6	0,3	2,5	1,2

Çizelgec 2 : Döküm parçasının nominal kimyasal kompozisyonu.



Şekil 5 : Döküm parçasının 1, 3 ve 6. saniyelerdeki metal akış ve dolun simülasyonunun gösterimi.



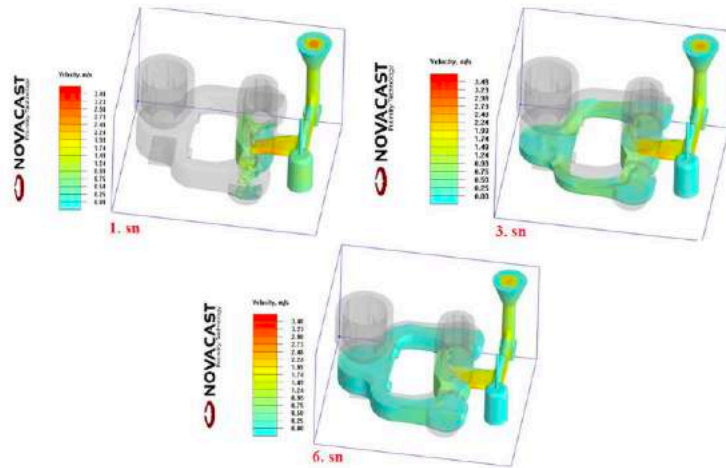
Şekil 6 : Döküm parçanın cüruf simülasyonunun gösterimi.

Parçaya metal akış ve cüruf simülasyonu yapıldıktan sonra ÇİMSATAŞ dökümhanesinde yaş kum kalıplama sisteminde 12 adet parça kalıplanmıştır. Kalıplanan 12 adet parça 1586 °C'de ağızdan dökme pota ile dökümleri gerçekleştirilmiştir.

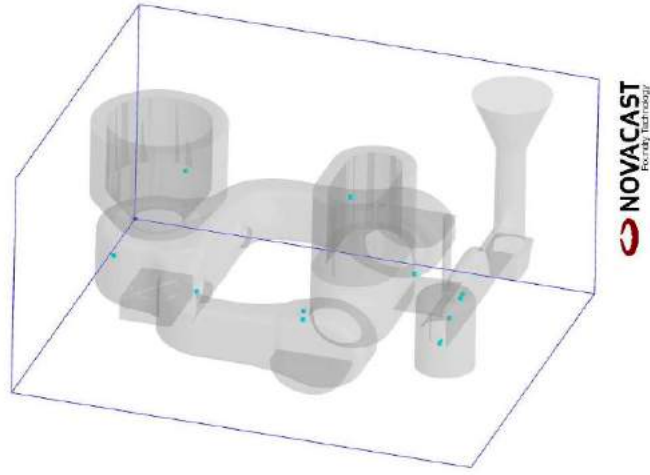


Şekil 7 : Basıncılı yolluk sistemi ile dökülen parçaların görseli.

Basıncılı yolluk sistemi tasarımı yapılan parçanın, metal akış ve dolun simülasyonu verilerinden yararlanılarak parça yolluk sistemi ölçüleri değiştirilmeden, yolluk sisteminin sonuna Spin Trap haznesi yerleştirilmiş ve parçaya aynı şartlarda tekrar simülasyon yapılmıştır.



Şekil 8 : Döküm parçanın 1, 3 ve 6. saniyelerdeki metal akış ve dolun simülasyonunun gösterimi.



Şekil 9 : Döküm parçanın cüruf simülasyonunun gösterimi.

Simülasyon sonuçları verilerine göre parça modelinde basınçlı yolluk sisteminin sonuna şekil 9'da gösterildiği gibi Spin Trap haznesi montajlanmıştır.



Şekil 10 : Parça modelinde basınçlı yolluk sistemine montajlanan Spin Trap haznesinin gösterimi.

Parça modeline Spin Trap haznesi montajlandıktan sonra ÇİMSATAŞ dökümhanesinde yaş kum kalıplama sisteminde 12 adet parça kalıplanmıştır. Kalıplanan 12 adet parça 1580°C'de ağızdan dökme potası ile dökümleri gerçekleştirilmiştir. Dökümleri yapılan Spin Trap hazneli parçaların kum kalıpları bozulup bilye bombardıman yöntemi ile temizlendikten sonra, parçaların yolluk sistemlerinden Spin Trap hazneleri şaloma ile kesilmiştir. Şaloma ile kesilen Spin Trap haznelerine ilk önce gözle muayene yapılmıştır. Daha sonra Spin Trap haznelerine tahribatlı muayene yapılarak incelenmiştir.

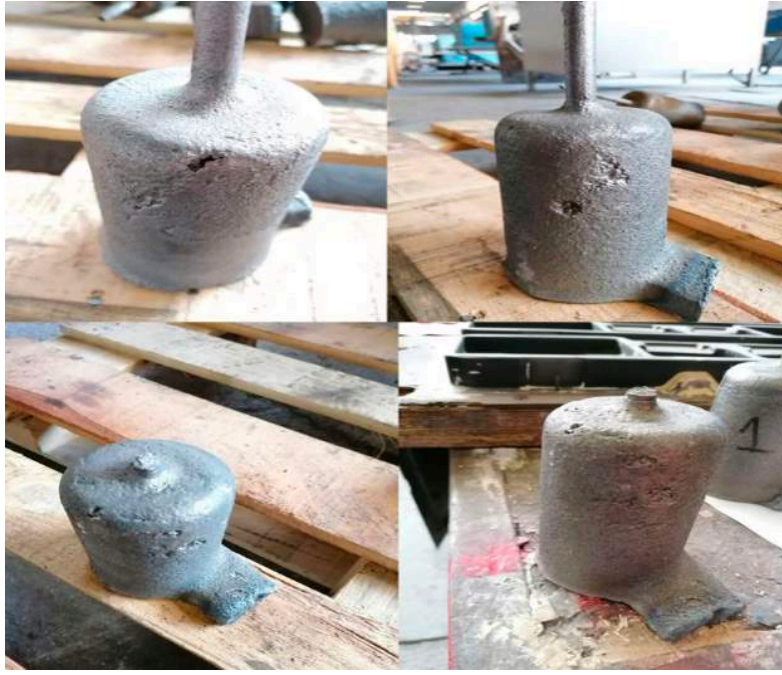


Şekil 11 : Spin Trap haznesi ile dökülen parçaların görseli.

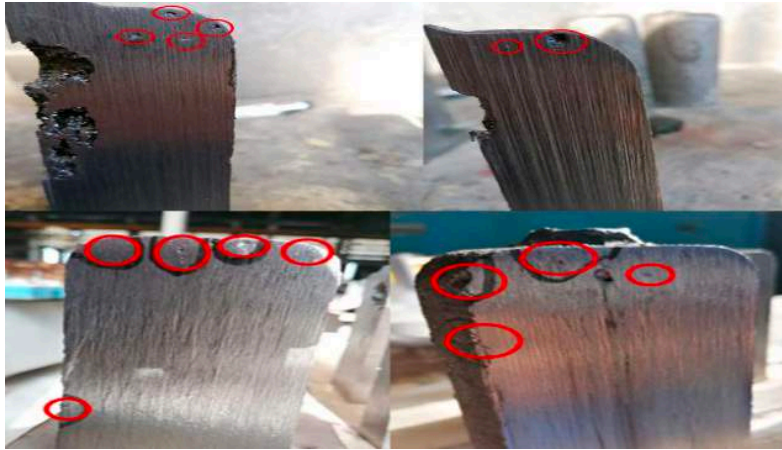
3. BULGULAR

Bu makalede farklı basınçlı yolluk sistemi versiyonuna sahip parçaların simülasyon sonuçlarına göre parça dökümleri yapılmıştır. Parçaların simülasyon ve döküm sonuçları ışığında elde edilen bulgular aşağıda sıralanmıştır.

- Farklı basınçlı yolluk sistemine sahip parçaların simülasyon sonuçları ile dökümü yapılan fiili parça sonuçlarının önemli ölçüde paralellik gösterdiği ortaya çıkmıştır.
- Çelik dökümler için basınçlı yolluk sistemi her ne kadar metalik olmayan inklüzyonların parça içerisine girmesini minimize etse de, bazı durumlarda bu inklüzyonların parça içerisine girmesini engelleyemediği durumların ortaya çıkabileceği sonucu elde edilmiştir.
- Spin Trap haznesiz dökülen parçaların dolum süresi 17-18 saniye aralığında, Spin Trap haznesi ile dökülen parçaların dolum süreleri ise 19-20 saniye aralığında gerçekleşmiştir. Spin trap haznesi parça brüt ağırlığını 8 kg ve parça dolum süresini ise 2 saniye arttırdığı gözlemlenmiştir.
- Şekil 5'te; sıvı metal hızının meme girişinde 2,24 - 2,48 m/s hız aralığında olduğu, şekil 8'de Spin Trap hazneli parça simülasyonunda ise, bu hız değerinin aynı aralıkta kaldığı gözlemlenmiştir.
- Şekil 6'da; parça yolluk sisteminin cüruf yakalayamadığı verisi elde edilse de, şekil 7'de dökümü yapılan parçaların yolluk sistemlerinde gözle görülebilecek non- metalik inklüzyonların varlığı tespit edilmiştir.
- Şekil 9'da; Spin Trap haznesi parça dolumunun ilk anlarında non-metalik inklüzyonları önemli derecede yakaladığı ve dökümün ilk anlarında basınçlı yolluk sisteminin bu inklüzyonları yakalama kapasitesini arttırdığı gözlemlenmiştir. Şekil 12'de elde edilen sonuçlar parça simülasyonunun fiili durumu önemli derecede doğruladığını ortaya çıkarmıştır.
- Şekil 13'de; Spin Trap haznelerine tahribatlı muayene yapılmış ve kesilen parçaların içerisinde non-metalik inklüzyonların varlığı tespit edilmiştir.



Şekil 12 : Spin Trap haznesinde yakalanan inklüzyonların görselleri.



Şekil 13 : Spin Trap hazneleri içerisine hapsolan non-metalik inklüzyonların gösterimi.

Çalışma bulgularına göre; çelik dökümlerde basınçlı yolluk sisteminin sonunda kullanılan Spin Trap haznesi, parça yüzey kalitesine pozitif yönde etki gösterdiği ve parçada düzeltme işçiliği oluşturabilecek non-metalik inklüzyoların varlığını önemli ölçüde azalttığı ortaya çıkmıştır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada bizlerden destek ve katkılarını esirgemeyen ÇİMSATAŞ Üretim Grup Müdürü Sn. Necmettin ACAR'a, ÇİMSATAŞ Dökümhane Müdürü Sn. Kazım ÇAKIR'a, ÇİMSATAŞ Dökümhane Üretim Şefi Sn. Buğra ERBAKAN'a, ÇİMSATAŞ Dökümhane Üretim Mühendisi Sn. Vedat UZ'a ve ÇİMSATAŞ Döküm Üretim Modelhane Formeni Sn. Ahmet AVCI'ya teşekkür ederiz.

KAYNAKÇA

1. J. Campell, Complete Casting Handbook, 2nd ed., Butterworth-Heinemann, Oxford, 2015
2. J. Campell, Casting Praticce The 10 Rule of Castings, 1st ed., Butterworth-Heinemann, Oxford, 2004
3. S. I. Karsay, Ductile Iron Production, 1st ed., Quebec Iron and Titanium Corporation, Canada, 1976

4. R. Dojka, J. Jezierski, and J. Campell, Optimized Gating System for Steel Castings, *Journal of Materials Engineering and Performance*, 2018, 27(10), p 5152-5163
5. J. Jezierski, R. Dojka, and K. Jenerka, Optimizing Gating System for Steel Castings, 5th International Conference on Modern Manufacturing Technologies in Industrial Engineering, 2017, p 14-17
6. J. Jezierski, R. Dojka, K. Kubiak, W. Zurek, and T. Ltd, Experimental Approach for Optimization of Gating System in Castings, *Metal 2016: 25th Anniversary International Conference on Metallurgy and Materials*, 2016, p 104-109
7. F. Hsu, M. Jolly, and J. Campell, Vortex-Gate Design for Gravity Casting, *International Journal of Casting Metal Research*, 2006, 19(1), p 5736-5750
8. N. Ducic, R. Slavkovic, I. Milicevic, Z. Cojbasic, S. Manasijevic, and R. Radisa, Optimization of the Gating System for Sand Casting Using Genetic Algorithm, *International Journal of Metalcasting Research*, 2017, 11(2), p 225-265
9. K. Ogawa, S. Kanou, and S. Kashihara, Fewer Sand Inclusion Defects by CAE, *Komatsu Technical Report*, 2006, 52(158), p 1-7
10. P. David, J. Massone, R. Boeri, and J. Sikora, Gating System Design to Cast Thin Wall Ductile Iron Plates, *International Journal of Metal Casting Research*, 2006, 19(2), p 98-109
11. A. J. Melendez, K. D. Carlson, C. Beckermann, Modelling of Reoxidation Formation in Steel Casting, *International Journal of Casting Metal Research*, 2010, 23(5), p 278-288
12. J. Campell, Stop Pouring, Start Casting, *International Journal of Metal Casting Research*, 2012, 6(3), p 7-18
13. F. Hsu, M. Jolly, and J. Campell, A Multiple-Gate Runner System for Gravity Casting, *Journal of Material Processing Technology*, 2009, 209(17), p 5736-5750
14. K. Renukananda and B. Ravi., Multi-Gate System in Casting Process: Comparative Study of Liquid Metal and Water Flow, *Materials and Manufacturing Process*, 2016, 31(8), p 1091-1101
15. A. Moderasi, A. Safihani, A. Noohi, N. Hamiznezhad, and S. Maki, Gating System Design and Simulation of Gray Iron Casting to Eliminate Oxide Layers Caused by Turbulance, *International Journal of Metal Casting Research*, 2017, 11(2), p 328- 339

CO² İLE KÜRLEŞEN ALKALI REÇİNELERDE SODYUM-POTASYUM KONSANTRASYONUNUN MAÇA PERFORMANSINA VE UYGULAMALARINA ETKİSİ

Alper Emre GÜVENDİK*, Bahadır KIYAK*, Özge AKSIN ARTOK*

*Çukurova Kimya Endüstrisi A.Ş., Manisa/Türkiye

ÖZET

Alkafen reçinesi, soğuk kutu üretim tekniğine uygun geliştirilmiş, karbondioksit gazı ile kürleşen döküm kumu bağlayıcısıdır. Yüksek alkali içeriğine sahip reçine, bor modifikasyonu sonucu karbondioksit gazı ile hızla kürleşerek, döküm maça ve kalıplarının yapılmasına imkân tanımaktadır. Geliştirilen Alkafen reçinelerinde potasyum / sodyum iyon konsantrasyonu reçine sentezi sırasında farklı oranlarda kullanılmıştır. Yapılan incelemeler sonucu, K⁺ ve Na⁺ konsantrasyonuna bağlı olarak reçinenin akışkanlığı ve kumu ıslatma kabiliyetinin değiştiği tespit edilmiştir. Reçinenin fiziksel ve kimyasal özellikleri farklı yöntemlerle incelenmiştir. Yeni geliştirilen reçine ile karbondioksit gaz sarfiyatı düşürülürken, yüksek dayanımlı maçalar elde edilmiştir. Hedeflenen reçine dökümhane denemesinde kullanılarak, elde edile çelik parçanın döküm yüzeyleri incelenmiştir. Geliştirilen reçine ile daha verimli maça/kalıp üretimi hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Soğuk kutu, CO₂ ile kürleşen reçine, fenolik reçine, çelik döküm

ABSTRACT

Alkafen resin is a CO₂ cured casting binder that developed in accordance with cold box production technique. The resin, which has a high alkali content, cures quickly with CO₂ as a result of boron modification, allowing the cores and molds necessary for casting to be made. As a result of the investigations, it has been determined that the fluidity of the resin and the wetting of the cast sand vary depending on the sodium and potassium concentration. Different ratios of the sodium and potassium usage was examined during the new resin synthesis. Physical and chemical properties of the resin, have been determined by analysis methods. With the new formulated resin, higher strength cores were produced with less CO₂ usage. Target resin was used in casting trial to examine the casting surfaces. With the developed resin, it is aimed to achieve more efficient production of cores/molds.

Keywords: Cold Box, CO₂ curable resin, phenolic resin, steel casting

GİRİŞ

Fenolik reçineler sahip oldukları yüksek termal ve mekanik özellikler sayesinde özellikle döküm sektörü başta olmak üzere pek çok sektörde bağlayıcı olarak kullanılmaktadır. 2. Dünya savaşından sonra tırmanışa geçen döküm endüstrisinin hızlı ve pratik kum kalıp hazırlamasına uygun yöntemler farklı tipte fenolik reçinelerin modifikasyonu sonucu elde edilen bağlayıcıların kullanımı ile mümkün olmuştur [1,2,3].

Yeni reçineler ve bu reçinelerin sunduğu döküm kalıbı/maçası hazırlama teknikleri Tablo 1 'de yer almaktadır. 1990 yılında benzersiz özellikleri ile döküm sektöründe kullanımı başlanan bir soğuk kutu sistemi reçinesi olan karbondioksit (CO₂) ile sertleşen bor katkılı alkali fenolik reçineler Çukurova Kimya Endüstrisi A.Ş (ÇKE) tarafından Alkafen markasıyla uzun yıllardır sektöre hizmet etmektedir. ÇKE bu reçinelerin sentezinde yıllar içinde uzmanlaşmış ve ürün ile ilgili yenilikleri yenilenen talepler doğrultusunda hızla müşteriyle buluşturmayı başarmıştır.

Bu yenilikler çeşitli gözlemlerin ve araştırmaların verdiği veriler değerlendirilerek yerine getirilmektedir. Ar-Ge denemelerinde, Potasyum/Sodyum (K/Na) konsantrasyonunun Alkafen reçinelerinin performansı üzerindeki etkisi mercek altına alınmış ve polimer sentezi ve modifikasyonu esnasında ortama farklı oranlarda K ve Na katılarak farklı içeriklere sahip reçineler elde edilmiştir. Elde edilen yeni reçinelerin X ışını floresansı cihazı (XRF) ile ölçümleri yapılmış ve kum dayanım testi ile bağlayıcılık performansları belirlenmiştir.

Reçine	Proses	Kullanım Yılı
Fenolik Novolak	Kaplanmış Kum	1950
Furan Reçineleri	No-Bake	1958
Üre, Furan ve Fenolik Reçineler	Sıcak Kutu	1962
Alkid Kuruyan Yağlar	Alkid Yağ Üretan	1965
Fenolik Rezoller	Fenolik Sıcak Kutu	1965
o-Kondanse Resoller	PU Soğuk Kutu	1968
Kondanse Furan Reçineleri	Furan SO ₂	1971
Modifiye Furan Reçineleri	Ilık Kutu	1978
Furan ya da Fenolik Reçineler	Vakumlu Ilık Kutu	1981
Alkali Fenolik Reçineler	Ester ile kürleşen No-Bake	1982
Alkali Fenolik Reçineler	Metil Formiat Soğuk Kutu	1983
o-Kondanse Resoller	Soğuk Kutu Plus	1983
Akrilik ve Epoksi Reçineler	Akrilik-Epoksi SO ₂	1984
Modifiye Fenol Reçinesi	Sıcak Kutu Plus	1987
Resorsinol Reçinesi	Asetal	1988
Bor Modifiye Alkali Resoller	CO ₂ Soğuk Kutu	1990
Metil Ester Çözgenli o-Kondanse Resol	Biodiesel-UCB	1995
Tetraetil Silikat Çözgenli o-Kondanse Resol	TEOS-UCB	2001

Çizelge 1 : Döküm sektöründe kullanılan reçineler ve bu reçinelerin kullanımı

Yurtiçi ve yurtdışı soğuk kutu maça üretim sistemi ile kum kalıba döküm yapan müşteri döküm hanelerinin kullanmakta oldukları Alkafen C 150 reçinesi uzun yıllardır Çukurova Kimya Endüstrisi A.Ş. ürün gamında yer almaktadır. Reçineler literatürde geçtiği üzere rezol yapıda sentezlenmiştir [1-4]. Bu reçinenin üretimi sırasında belirlenen rezol reçineler için uygun sentez basamaklarında reçinenin baz polimer kısmı sabit tutularak içeriğindeki alkalinite arttıran katkıları ve bazları değiştirilerek yeni Alkafen L 292 ve Alkafen L 5060 reçineleri elde edilmiştir.

Yeni reçinelerin sahip oldukları K/Na oranları XRF ölçümleri ile belirlenirken, reçinelerin nihai viskozitesi, katı madde yüzdesi ve pH değerleri laboratuvar ekipmanları yardımı ile ölçülmektedir. Elde edilen yeni reçineler ile dökümhane denemeleri öncesinde laboratuvar şartlarında kum dayanım testleri gerçekleştirilmiştir [5,6]. Bu testlerde bazı parametreler değiştirilerek iyon değişiminin farklı şartlar altındaki etkileri gözlenmiştir. Değiştirilen parametreler; kumun ağırlığına oranla % 2,5 ve % 3,5 reçine,

alkol bazlı ÇK 782 A boyalı ve boyasız maça uygulamaları ve düşük ve yüksek gazlamalar elde edilen maçaların hemen, 1 saat, 3 saat, 24 saat ve 72 saat maça stok dayanım ölçümleridir.

Yapılan XRF analizleri sonucunda saptanan K/Na konsantrasyon oranları, Alkafen C 150 için 16.57, Alkafen L 292 için 33.53, Alkafen L 5060 için 42.46 olarak hesaplanmıştır. Genel olarak, sodyum yerine potasyumun yüksek miktarda yer aldığı yeni reçine sistemlerinde akışkanlık artmış ve bu akışkanlığın katı madde miktarından bağımsız bir şekilde gerçekleştiği tespit edilmiştir. İyon değişimi ve yenilenen katkıları ile mekanik performansları değişen yeni yeni reçinelerin düşük karbondioksit miktarlarında daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Alkafen L 292 reçinesinin maça stok dayanımının kullanım oranından bağımsız bir şekilde arttığı saptanırken, Alkafen L 5060 reçinesinde az gazlama ile hemen dayanımların diğer reçinelerden daha yüksek değerlere eriştiği saptanmıştır. Boyalı maçaların performansı her üç reçine içinde yaklaşık olarak birbirleri arasında fark göstermemektedir. Dayanımlarda 1 saat ve 3 saatlik tepe noktaları Alkafen C 150 reçinesi ile en yüksek değere ulaşmıştır. Elde edilen sonuçların dökümhane uygulamalarında sınındığı çalışmada, dökümhane sonuçları laboratuvar sonuçları ile örtüşmektedir. Viskozite değişiminin bu denli K/Na konsantrasyonuna bağlı olması ve mekanik özelliklerinde bu durumdan etkilenmesi her iki alkali metalin bir sulu sistem olan reçinedeki suyun dinamik özelliklerine olan etkilerinin farklı oluşu ile açıklanmaktadır [7]. Dökümhaneler her iki yeni reçinenin de kum ile daha rahat karıştığını ve vakum pompalarının reçineyi sisteme çekerken daha az zorlandığını, oluşturulan maçaların oluşur oluşmaz daha sert olduğu yorumlarında bulunmuşlardır.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Laboratuvar ortamında standart Alkafen C 150 reçinesinin polimer sentez kısmı sabit tutularak birçok girdide değişiklikler denendi ve sodyum miktarı azaltılarak potasyum konsantrasyonunun artırılması hedeflendi. Bu denemelerin sonunda farklı iki K/Na konsantrasyon oranlarına sahip iki farklı reçine geliştirildi. Her iki reçinenin laboratuvar üretimlerinden elde edilen prototip ürünler ile GOST standartlarında [6] kum testi gerçekleştirildi ve başarılı bulunan bu iki reçine Alkafen L 292 ve Alkafen L 5060 olarak isimlendirildi.

Prototip ürünlerin pilot üretimleri ilk olarak 50 litre hacmindeki reaktörde sonrasında ise sırasıyla 100 litre ve 1 m³ hacmindeki daha büyük reaktörlerde gerçekleştirildi. Elde edilen ürünler standart Alkafen C 150 ürünü ile karşılıklı olarak test edildi.

Şekil 1'de test için bir araya alınmış numuneler ve tartım cihazı yer almaktadır. 250 C'de santipois cinsinden viskozitesi ölçülen reçinelerin 2 gramı 1350 C'de 1 saat kurutularak katı madde içerikleri elde edildi. pH (20o C) değerleri kıyaslanan reçinelerin serbest formaldehit miktarları kontrol amaçlı titrasyon yöntemi ile ölçüldü ancak hepsinin de serbest formaldehit miktarlarının % 0.0 olduğu saptandı.



Şekil 1 : Deneysel ortamda kullanılan hassas tartı ve kıyaslanan üç farklı reçine.

Pilot denemeleri gerçekleştirilen Alkafen L 292 ve Alkafen L 5060 reçineleri aynı şartlar altında Alkafen C 150 ile bir dizi kum dayanım testine alındı. Bu testlerde 2 kilogram 45- 50 AFS Siltaş silis kumuna % 2,5 ve % 3,5 oranlarında reçineler ilave edildi ve toplamda 6 farklı kum karışımı ile bir dizi teste başlandı. Testlerde gazlama süresi ve basıncı 1. Set için 25 saniye 0.1 Bar, 2. Set için 60 sn 0.5 Bar olarak belirlendi. Her set için maçaların hem boyalı hem boyasız mekanik performansları, hemen ile 1, 2, 3, 24 ve 72 saatlik eğme mukavemetleri GOST standartlarına uygun olarak DISA elektronik dayanım ölçüm cihazı (Şekil 2) kullanılarak tespit edildi.



Şekil 2 : DISA elektronik dayanım ölçüm cihazı.

Boyama işlemi, numune maçalar basıldıktan 15 dakika sonra uygun viskozitedeki alkol bazlı ÇK 782 A boyasına daldırılarak ve sonrasında yakma işlemi uygulanarak yapılmıştır (Şekil 3). Elde edilen sonuçlar bulgular kısmında detaylı bir şekilde yer almaktadır.



Şekil 3 : Alkafen maça numuneleri ve boyama işleminde kullanılan ÇK 782 A döküm boyası.

Araştırmanın son basamağında; yeni ürünlerin tonajlı üretimleri gerçekleştirilerek denenmek üzere müşteri firmalara gönderilmiştir. Müşteri tarafından gerçekleştirilen denemede kullanılan maçalara ait bir seri örnek aşağıdaki Şekil 4'de yer almaktadır. Alkafen L 5060'ın düşük viskozitesi ve hızlı kürleşme gibi özellikleri olumlu karşılanırken döküm sonrası performansından memnun kalınmıştır. Alkafen L 292 reçinesinin de Alkafen L 5060 kadar olmasa da akışkanlığının iyi olduğu ve soğuk havalardaki uzun vadeli maça performansından memnun olduğu belirtilmiştir.



Şekil 4 : Saha denemelerinde karşılıklı olarak test edilen yeni reçineler ile yapılan maçalar.

BULGULAR

Reçineler ile gerçekleştirilen fiziksel ve kimyasal analiz test sonuçları Tablo 2’de yer almaktadır. Çizelge 2: Reçinelerin fiziksel ve kimyasal analiz test sonuçları

	Alkafen L 292	Alkafen L 5060	Alkafen C 150
Serbest Formaldehit Miktarı, %	0	0	0
pH, 20°C	15.12	15.20	15.06
Viskozite, 25°C, cP	406	326	520
K/Na oranı, XRF	33.53	42.46	16.57
Katı Madde Miktarı, %, 135°C, 1 saat	64.31	63.22	64.06

Farklı reçine kullanım oranları ve gazlama miktarları ile birlikte boyalı/boyasız eğme testi maça dayanım sonuçları Tablo 3’den Tablo 4’e kadar aşağıda yer alan tablolarda yer almaktadır. İlk değer boyasız mukavemeti “/” işaretinden sonraki değer boyalı mukavemeti göstermektedir.

Çizelge 3: % 2,5 Reçine ve düşük gazlamada maça dayanım testi sonuçları

25 sn 0.1 Bar CO ₂	Hemen	1 saat	2 saat	3 saat	24 saat	72 saat
Alkafen C 150	106	176/156	174/162	176/164	162/156	146/152
Alkafen L 292	120	168/150	170/152	172/146	166/156	162/164
Alkafen L 5060	132	166/146	162/150	152/150	148/144	146/152

Çizelge 4: % 2,5 Reçine ve yüksek gazlamada maça dayanım testi sonuçları

60 sn 0.5 Bar CO ₂	Hemen	1 saat	2 saat	3 saat	24 saat	72 saat
Alkafen C 150	142	186/166	188/164	186/168	170/172	156/160
Alkafen L 292	118	164/154	168/152	162/154	162/152	158/162
Alkafen L 5060	122	156/132	156/136	148/138	150/142	142/148

Çizelge 5: % 3,5 Reçine ve düşük gazlamada maça dayanım testi sonuçları

25 sn 0.1 Bar CO ₂	Hemen	1 saat	2 saat	3 saat	24 saat	72 saat
Alkafen C 150	104	194/192	210/196	226/206	210/204	170/196
Alkafen L 292	134	192/186	196/192	232/204	236/216	232/216
Alkafen L 5060	152	190/184	192/182	204/186	206/186	210/182

Çizelge 6: % 3,5 Reçine ve yüksek gazlamada maça dayanım testi sonuçları

60 sn 0.5 Bar CO ₂	Hemen	1 saat	2 saat	3 saat	24 saat	72 saat
Alkafen C 150	156	210/212	220/216	230/216	208/206	172/200
Alkafen L 292	146	204/192	212/196	228/212	226/214	224/218
Alkafen L 5060	142	186/182	186/172	184/178	192/196	184/192

TARTIŞMA VE SONUÇ

Sodyum hidroksit ile yağ asitlerinin tepkimesi sonucu sert bir yapı kazandığı ve sodyum hidroksiti potasyum hidroksit ile değiştirdiğimizde suda çözünürlüğü yüksek “arap sabunu” elde ediliyor oluşu [8], akıllara aynı durumun su bazlı alkali fenolik reçine olan Alkafen reçinelerinde uygulanıp uygulanamayacağı sorusunu getirmiştir. Bu durumu açıklayan kapsamlı bir araştırmada [7], su moleküllerinin kendi arasında oluşturduğu hidrojen bağlarının, sodyum iyonu eklenmesi ile daha kuvvetli hale geldiği ancak potasyum iyonlarının hidrojen bağlarında zayıflamaya sebep vererek sulu sistemin dinamik yapısını artırdığı görülmektedir. Aynı durumun reçine üzerindeki etkisini gözlemlemek için modifiye edilmemiş rezol reçine kısmındaki önemli kriterlerden [4] mol oranı ve pH sabit tutularak reçinenin bitmiş hali içinde bulunan toplam sodyum miktarını azaltmaya yönelik katkılar denenmiştir. Denenen katkılar ile elde edilen düşük viskoziteli ön çalışmalar farklı çözümlerin viskozite limitlerini geçmeden eklenmesine olanak tanımaktadır ve katı madde miktarı Alkafen C 150 ile neredeyse aynı olan düşük viskozitelere Alkafen L 5060 ve Alkafen L 292 reçineleri ilerleyen araştırmalarda laboratuvar ölçeğinde üretilmiştir.

Üretilen reçineler farklı dökümhane şartlarını da simule ederek laboratuvar koşullarında [5,6] test edilmiştir. Dökümde kullanılacak maçanın büyüklüğüne göre değişen reçine kullanım oranları için kumun ağırlığının % 2,5 ve % 3,5 reçine oranları denenmiştir. Maçaların kürleşmesi için verilen gazın verildiği nokta ve karbondioksitin daha az ulaşacağı uç kısımlar farklı gaz basıncı ve süresi uygulanarak tespit edilmeye çalışılmıştır. Maçaların boyadan etkilenişleri boyalı ve boyasız numune maçaları eş zamanlı kırılarak gözlenmiştir. GOST standartlarında da bahsedildiği üzere, tekrarı yapılan ölçümlerde %10'luk bir dayanım farkına rastlanmadığı için elde edilen sonuçlar güven vermektedir.

Alkafen C 150 reçinesinin mekanik özelliklerinden en önemlisi; reçinenin yüksek kullanım ve gazlama şartları altındaki performansının diğer reçinelere göre yüksek olduğu ancak bu durumunun daha düşük gazlama şartlarına geçildiğinde kaybolduğudur. Düşük gazlama altında Alkafen C 150 % 3,5 oranında kullanılarak elde edilen numune maçalarının yarı performansta kürleştiği saptanmıştır. Her ne kadar bu durum kendini birkaç dakika içinde toparlasa da özellikle yeni üretilen Alkafen L 5060 reçinesinde böyle bir durumun oluşmadığı, gazlama sonrası elde edilen maçaların tam olarak kürleşerek tüm köşelerinin tam olarak sertleştiği tespit edilmiştir.

iştir. Dayanım değerlerinde de bu durum kendini gösterirken, yüksek basınçlı gazlamanın yeni Alkafen L 5060 reçinesine olumlu bir etkisi olmadığı saptanmıştır.

Alkafen L 292 reçinesinde viskozite artışına sebep olan başka katkılar da denenmiştir. Bu katkılar ile artan viskozite Alkafen C 150 reçinesinden düşük viskozite değerinde kalsa da 24 saatlik maça dayanımların çok daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Gün aşırı dayanımlarda ortam koşullarından neredeyse hiç etkilenmeyen Alkafen L 292 ile gerçekleşen müşteri denemelerinde de bu durum dile getirilmiştir.

Viskozitenin düşük olması müşterilerin kullanmakta olduğu reçine pompasında direkt olarak artısını göstermiş ve kum karışımının rahatlamasıyla kullanıcı tarafından onay almıştır. Alkafen C 150 ile elde edilen numune maçaları boyandıktan sonra gün aşırı dayanımları artarken, yeni reçinelerde bir miktar düşüş gözlenmiştir. Bu düşüşe rağmen Alkafen L 292 reçinesi % 5 ila % 10 oranında daha iyi mekanik performans sağlamıştır. Hemen dayanımlarda ise en büyük fark Alkafen L 5060 ile düşük gazlamada gerçekleşmiş olup Alkafen C 150 reçinesinden % 30 ila 50 daha yüksek değer göstermesi ile oluşmuştur.

Genel olarak döküm öncesi yapılan kapsamlı testlerin sonunda gazlama ventillerinin konumuna ve gazlama miktarına göre büyük maçalarda en yüksek performansı Alkafen L 292'nin sunacağı öngörülmüş ancak dökümhane denemelerinde Alkafen L 5060'ın sahip olduğu çok düşük viskozite değerlerinin ve hemen sertleşmenin ön plana çıktığı tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, teorik olarak mümkün gözüken bir durumun reçine performansına olacak etkisi araştırıldı. Sentezlenen reçinelerde sodyum kaynakları azaltılarak K/Na oranı artırıldı ve bu artış ile viskozitenin önemli ölçüde düştüğü saptandı. Ölçek büyütme çalışmaları yapılarak sorunsuz bir şekilde elde edilen yeni ürünler laboratuvar ortamında detaylı bir şekilde test edilerek dökümhane denemeleri öncesi hazır hale getirilmiştir.

Alkafen L 5060 ve Alkafen L 292 reçineleri, döküm sonrası metal yüzeyleri değerlendirildiğinde de kullanıcılardan onay almıştır.

KAYNAKLAR

- [1] A. Knop and L. A. Pilato, "Phenolic resins: chemistry, applications and performance", Springer-Verlag, Berlin, 1985.
- [2] A. Pizzi, C.C. Ibeh, in "Handbook of Thermoset Plastics" (Third Edition), 2014.
- [3] M.J. Mullins, D. Liu, H.-J. Sue, "Mechanical properties of thermosets, Thermosets", Woodhead Publishing, 2012, 28-61.
- [4] Byung-Dae Park, Bernard Riedl, Yoon Soo Kim, Won Tek So, "Effect of Synthesis Parameters on Thermal Behavior of Phenol-Formaldehyde Resol Resin", Journal of Applied Polymer Science, Vol. 83, 2002, 1415-1424.
- [5] H. Kuhn, "ASM Handbook", (Vol 8 Mechanical Testing and Evaluation), 9th ed., US: ASM International, 2000.
- [6] Moulding sands, moulding and core sand mixtures. Methods for determination of compressive, tensile, bending and shearing strength, Rus Standartları, GOST 23409.7-78 [7] Zhang Q, Chen H, Wu T, "The opposite effects of sodium and potassium cations on water dynamics". Chem Sci.;8(2), 2017, 1429-1435 .
- [8] Arthur F. Nelson, "Potassium soap—Soft or hard?", J. Chem. Educ., 25, 7, 1948, 379.

LAMEL VE KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRLERİN METALOGRAFİK ADIMLARI VE MİKROYAPI ANALİZLERİ

Mustafa Özgül ABAY

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

ÖZET

Bu çalışmada lamel ve küresel grafitli dökme demirlerin metalografi analizleri esnasında karşılaşılabilecek hatalar ve uygun bir mikroyapı analizi yapmak adına tüm metalografik adımlar belirtilmiştir. Metalografik testler sonucunda ortaya çıkan mikroyapı görüntülerinden alınan sonuçların üretim prosesinde yaşatabileceği problemlere karşı alınması gereken önlemler, vaka çalışmaları üzerinden açıklanmıştır. Çalışmada, mikroyapılarda görülen ferrit, perlit, Fe₃C, steadit ve inklüzyon gibi yapılar tanımlanmıştır.

ABSTRACT

In this study, all metallographic steps are explained in order to see the defects that may be encountered during metallographic analysis of lamellar and spherical graphite cast iron and to make a good microstructure analysis. The precautions to be taken against the problems that the results obtained from the microstructure images obtained as a result of the metallographic tests may cause in the production process are explained through case studies. Also in the study, the formation phases of structures such as ferrite, perlite, Fe₃C, steadite and inclusion in microstructures are mentioned.

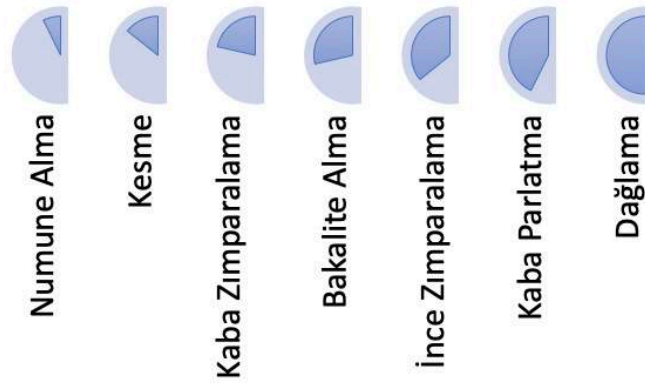
Keywords; metallographic analysis, microstructure, lamellar graphite iron, ductile iron, inoculation

1. METALOGRAFİ BİLİMİ

19. yüzyılda Henry Sorby tarafından geliştirilen metalografi, bugün gelişmiş cihazlar yardımı ile hem üretilen parçaların yorumlanmasını geliştirmekte hem de geliştirilmesi hedeflenen yeni ürünlerin en önemli adımlarından birini oluşturmaktadır.[6] Metalografi bilimi sayesinde fiziksel metalbiliminin bizlere verdiği fotoğraflar analiz edilip, ürünlerin mekanik özellikleri hakkında yorum yapılmaktadır. Dökülen parçaların servis performanslarını etkileyecek türlü parametreler, düzgün bir metalografik analiz adımlarından sonra ortaya çıkacaktır. Atılan bu adımlar ile metalografi biliminin bizlere vereceği bilgiler;

- Dökümlerin dallantı yapıları
- Gaz gözeneklerinin yorumlanması
- Tane Sınırları
- Grafitlerin büyüklük ve dağılımları
- Isıl işlemler sonucunda oluşan evreler
- Karbürler, ötektik fazlar
- Yüzey kaplamaları'dır.

Alınacak bu bilgilerin doğru bir şekilde ortaya çıkmasının sağlanması için tüm metalografik kademelerin dikkatli bir şekilde yapılması gerekmektedir. Aksi halde mikroyapıların bize vereceği bilgiler doğru bir şekilde alınamaz. Alınacak bilgilerin uygulamaya yönelik bir bilgi haline dönüştürülmesi ise, verilerin yorumlanmasından geçmektedir. Kısacası hem metalografik adımlar düzgün bir şekilde atılmalı hem de bu bilgiler anlamlı hale getirilerek, fiiliyatta kullanılmalıdır. Metalografinin bu adımları Şekil 1 de gösterilmiştir.



Şekil 1 : Metalografik Adımlar

Lamel ve küresel grafitli dökme demirlerde grafitlerin büyüklükleri, dağılımları, sayıları ve oluşan fazlar bu malzemelerden elde edeceğimiz mekanik özellikleri ve kullandıkları yerlere göre istediğimiz performanslara ulaşmamıza yardımcı olmaktadır. Bu dökme demirlerden elde ettiğimiz veriler ile;

- Katılaşmanın hızı
- Çekinti oluşumu
- Malzemenin sünekliği
- Akma dayanımı
- Gevreklik ve sertlik performansı
- Isıl işlem ile değişen ya da değişmesi muhtemel yapıları
- Kimyasal analiz içinde standartların dışında kalan oranları ve bu elementlerin kimliği hakkında yorum yapabilmeyi
- Aşılmanın ve kullanılan ilave şartlandırıcıların etkinliğini
- Malzemenin ısı iletkenliğini,
- Termal dayanım bilgilerine ulaşılmaktadır.

2. METALOGRAFİK ADIMLAR

2.1 Numune Alma:

Numune alınırken belirlenen en önemli adım, aldığımız numunenin mikroskop tablası üzerinde rahatça oturmasını sağlamaktır. Bu yüzden belirlenen ölçülerin parça kesit kalınlığının 25 ila 30 mm arasında, çapının ise

25 mm'i aşmamasıdır.[5] Belirlenen bu aralıklardan daha küçük değerler olması durumunda ise zımparalama ve parlatma kademelerinde zorluklar yaşanacağı hesap edilerek, numuneyi kalıplamak doğru bir yol olacaktır. Döküm parçalarında genel itibariyle düzlemler arasında fark olmazken, katılaşma yönüne paralel düzlemlerden numune alınması daha doğru olacaktır. Numuneyi alırken, hedeflenen veriye ulaşmak için enine ya da boyuna kesitten numune alınması doğru olacaktır. Enine ve boyuna kesitten alınan veriler amaca göre farklılıklar göstermektedir.

Enine kesit alınması gereken durumlar;

- Genel mikroyapı incelemeleri
- Karbonlaşma derinliği ve bölgenin iç yapısı
- Dekarbürizasyon derinliği
- Oksitlenme derinliği
- Kaplama kalınlığının tespitini gerektiren durumlardır.

Boyuna kesit alınması gereken durumlar;

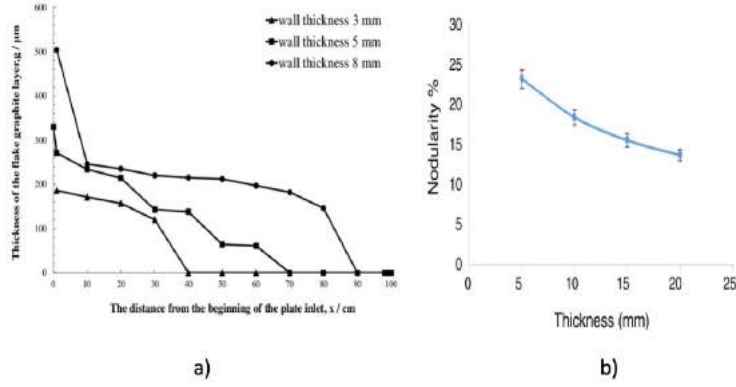
- Genel mikroyapı görünümü
- Isıl işlem görmüş yapılar
- Plastik deformasyon görmüş yapılar
- İç yapıda meydana gelen bantlaşma hakkında bilgi alınması gereken durumlardır.

Lamel ve küresel grafitli dökme demir üretimi yapan dökümhaneler, metalografik numuneleri almak için farklı yöntemler uygulamaktadır. Üreticiler, ya parçalarında fire çıkmasını ümit ederek bu kontrolleri yapmakta ya sağlam parçalarını belirli periyotlar ile bu analiz için feda etmekte ya da parça yolluklarından alınan numuneler ile mikroyapı analizlerini gerçekleştirmektedirler. Dökümhaneler, mevcut koşullarda maliyetlerin düşünülmesinden ötürü parçadan numune almaktan imtina etmektedir ancak parçanın gerçek soğuma koşullarını yansıtması bakımından, döküm parçasından numune alınması her zaman en doğru sonucu verecektir. Bir parçayı kesmeyi maliyetli görüp, gerçek anlamda veri alınacak bir kaynağı yok saymak, metalürjik yanılısama ortaya çıkarabilir.

Parçadan Alınan Numune	Dışarıdan Alınan Numune	Parça Yolluklarından Alınan Numune
<ul style="list-style-type: none">•Parçanın Gerçek Soğuma Koşullarını Yansıtır	<ul style="list-style-type: none">•Parçanın Soğuma Koşullarını Yansıtmaz•Dışarıdan Alınan Numune ile Parçanın Kalıp Bozma Zamanları Eşleşmeyebilir.•Geç Aşılmalıların Miktarı Parça Ağırlığına Göre Belirlenemeyebilir.•Sönümlenme Parçanın Gerçek Kimliğini Yansıtmayabilir	<ul style="list-style-type: none">•Parçanın Soğuma Koşullarını Yansıtmaz•Parçada Sürekli Olarak Sıcak Kalan Bölge, Mikroyapı Analizini Yanıltabilir.•Parçalara Göre Değişen Yolluk Kalınlıkları Mikroyapı Analizini Yanlış Yönlendirebilir.

Şekil 2 : Numunelerin Alınış Yerleri

Parçadan alınan numunelerde ise dikkat edilecek husus, parçanın en kalın ve en ince yerlerinden numune almaktır. Bu şekilde parçanın soğuma koşullarında pik noktalar görülüp doğru bir yorum yapılabilir. Hızlı soğuma koşullarında değişen mikroyapı ile yavaş soğuma koşullarında görülen mikroyapılar parçanın gerçek kimliğini ortaya çıkaracaktır. Çünkü bilinmektedir ki parça kesit kalınlığı değiştikçe soğuma hızı bu durumdan etkilenecektir.



Şekil 3 : a) Lamel Grafitli Dökme Demirlerin Duvar Kalınlıklarının Grafit Kalınlığına Etkisi
b) Küreselliğin Duvar Kalınlığına Göre Değişimi [3]

2.2 Kesme:

Kesme işleminde en çok dikkat edilmesi gereken nokta ısıl kesme metotlarının kullanılmaması ve kesme işlemini yapan makinenin sadece laboratuvar için kullanılmasıdır. Aşırı ısınma ile numunede meydana gelebilecek faz değişimlerinin önüne geçilmesi gerekmektedir. Kesme esnasında dikkat edilmesi gerekenler;

- Plastik deformasyondan
- Sürtünmeden dolayı yanma belirtilerinden kaçınılması olmalıdır.



Şekil 4 : Disk Çeşitleri ve Kullanıldığı yerler

Kesme işleminde kullanılacak olan diskler, analizini yaptığımız numunenin mekanik özelliklerine göre değişkenlik göstermektedir. Malzemenin yüksek ya da düşük alaşımlı olması veya sert ya da yumuşak olması gibi parametreler disk seçiminde önemli noktaları oluşturmaktadır. Piyasada bulunan aşındırıcılar farklı türlerde farklı bağlayıcı tipleri ile üretilmektedir.



Şekil 5 : Al₂O₃, SiC ve CBN (Kübik Boron Nitrür) Disklerin Kullanıldığı Yerler [6]

2.3 Zımparalama:

Otomatik ve manuel olmak üzere yapılmakta olan işlemdir. Genel itibariyle hız ve verimlilik açısından otomatik makineler daha çok kullanılırken, manuel olanlar ise numunelerde opsiyonel derinlik istenmekteyse kullanılabilir ama manuel teknik insana dayalı olmasından dolayı, parçadan istenen görüntülerin almasını zorlaştırmaktadır.

SiC tanelerinin kağıt üzerine bağlanması ile oluşturulabildiği gibi % 50 nin üzerinde Al₂O₃ içeren aşındırıcılar ile de kullanılabilir. Zımpara kağıtlarında bulunan numaralar arttıkça tane boyutlarında küçülmeler görülmektedir. Kullanılan disklerin çapları ise genel itibariyle 200 ila 300 mm arasında olmaktadır. Zımparalama, kaba ve ince olmak üzere 2 ye ayrılır.

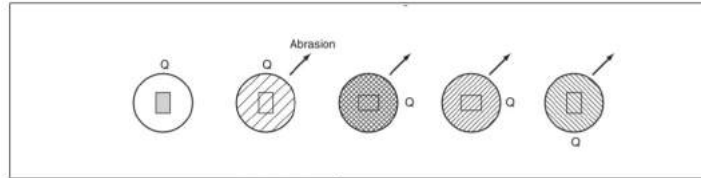
2.3.1 Kaba Zımparalama:

Bu kademe numune kesme işlemine tabi tutulduktan sonra keskin köşelerin giderilmesi için tercih edilir. 60,80,120,180 numaralı zımparalar kaba zımparalardır. Bu işlemlerden sonra yüzeydeki pürüzlülük değerleri 10 – 100 μ değerlerine kadar indirilebilir. Bu kademedeki işlem esnasında su kullanılması doğru olacaktır.

2.3.2 İnce Zımparalama:

Kaba zımparanın bıraktığı çiziklerin giderildiği kademedir. Bu kademedeki; 240, 320, 400, 600, 800 numaralı zımparalar bulunmaktadır. Parlatma makinesinin performansı ve işlem adımlarına göre daha ince zımparalardan olan 1000 ya da 1200 numaralı zımparalar eklenebilir. Bu zımparalama işleminde yüzey pürüzlülüğü 1 μ seviyesine kadar indirilebilir. Bu işlem esnasında dikkat edilmesi gereken adımlar;

- Bir sonraki zımpara kademesine geçerken, partiküllerin temizlenmesi ve numuneye partiküllerin yapışması için el ve numenin yıkanmasına özen gösterilmelidir.
- Sert malzemelerde düşük zımpara hızları seçilmelidir. Artan zımpara hızları yüzeyde ısınmaya yol açacağından dolayı, ısıya karşı hassas malzemelerde dikkat edilmesi gerekir.
- Grafitlerin kaybolmaması adına 400 – 600 numaralı zımparalarda su kullanılmayabilir. 240 ile 320 numaralı zımparalarda su kullanılmalıdır.
- Her kademeye geçişte numune 900 kadar döndürülmelidir.



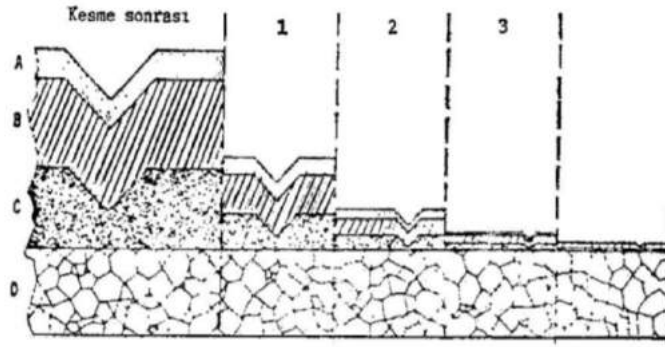
Şekil 6 : Zımparalama İşleminde Numune Yönleri [5]

2.4 Parlatma:

Zımpara kademelerinin düzgün şekilde aşılmasından sonra parlatma kademesinde, numune yüzeyinde kalan son çizikler uygun aşındırıcılar vasıtasıyla giderilir. Parlatma manuel teknikler ile yapılabildiği gibi otomatik makineler yardımıyla da yapılabilir. Parlatma adımında dikkat edilmesi gereken noktalar;

- Parlatma kumaşı, parçaya uygun şekilde seçilmelidir.
- Parlatma kumaşının nem oranı kontrol edilmelidir. (yeterli nem olmalı ki uygun yağlama yapılabilsin, fazla nem ise numune yüzeyinde bir su tabakasının oluşmasını sağlar)
- Parça kimyasal analizine göre uygun aşındırıcı seçilmelidir
- Manuel bir uygulama yapılmaktaysa; tecrübeli kullanıcılar tarafından yapılması gerekmektedir.
- Aşındırıcının miktarına bağlı bir durumdur.

Aşındırıcılar oksit içeriklidir ve damıtık su ile süspansiyon edilerek servis edilir. Bu aşındırıcıların dışında kullanılan elmas ise parlatmanın tüm kademelerinde ve genel itibarıyla sprej ya da macun şeklinde kullanılan bir aşındırıcıdır. Uygun aşındırıcı seçimi ve parlatma kumaşı belirlendikten sonra zımpara ile giderilememiş çiziklerin giderilmesi işlemine başlanır. Şekil 8 de görüldüğü gibi şeklin gerçek mikroyapısı D katmanında yer almaktadır. Kesme kademesinden sonra zımparalama kademesine geçilmesi ile V şeklinde bir açılmayla diğer kademelere geçiş söz konusudur. Bu görüntüden anlaşılmaktadır ki nihai görüntüye ulaşmak için kaba parlatma kademesine özen gösterilmelidir.



Şekil 8 : Numune kesme ve nihai görüntü arasındaki katmanları [5]

Aksi halde yapının açığa çıkması tam anlamıyla sağlanamamış olmaktadır. Bundan dolayı kaba parlatma esnasında numune merkezden çevreye doğru olacak şekilde çevrilmelidir ve numune; parlatma diskinin dönme yönünün tersine olacak şekilde konumlandırılmalıdır. Kullanılan aşındırıcının numunede gerekli kesme işlemini yapabilmesi için, aşındırıcının performansı göz önüne alınarak parlatma işlemi yapılmaktadır. Elmas solüsyon ile yapılan bir numunedeki kesicilik ile Al₂O₃ arasında bir fark olacaktır. Bu fark parlatma işleminin manuel tekniğine etki edebilir. 0,05 mikronluk Al₂O₃ ile yapılan son işlem ise ince parlatma olarak kabul edilir. Bu adıma uygun solüsyon ve parlatma kumaşı, kaba parlatma kademelerinden farklı olmalıdır.

Hata Adı	Görüldüğü Yer	Hata Çözümü
Çizik	Genellikle Yumuşak Yapılı Ferritik Dökme Demirler	<ul style="list-style-type: none"> Bir önceki kademelerde çizikler giderilmelidir. Parlatma kumaşı temizlenmelidir çünkü numuneyi her adımdan sonra numune yüzeyindeki parçacıklardan arındırmak gereklidir. Al₂O₃ yerine MgO tercih edilebilir.
Grafitlerin Kaybolması	Genellikle Lamel ve Küresel Grafitli Dökme Demirlerde	<ul style="list-style-type: none"> Uzun süreli parlatmanın grafit ve matris arasında erozyona yol açmasından dolayı kısa parlatma sürelerinde çalışılması gerekmektedir.

Tablo 1 : Zimparalama ve Parlatma Kademelerinde Görülen Hatalar

2.5. Bakalite Alma:

Aldığımız numunenin metalografi analizi için küçük olması durumunda rahatça bir tutuş sağlanabilmesi ve numune kenarlarının daha düz bir şekilde olması için bakalite alma tercih edilmektedir. Uygulanacak kalıplama yöntemi, tercih edilecek reçinenin cinsine göre değişiklik göstermektedir.

Malzeme	Akrilik	Polyester	Epoksi
Katılaşma Süresi – 18 C	15 dk	40 dk	8 saat
Çekme	Az	Yüksek	Çok Az
Fiyat	Pahalı	Ucuz	Normal
Özelliği	Kolay İşlenir	Ucuza malolur	Düşük Vizkosite düşük buhar basıncı
Uygulama	Genel Metalografik Uygulamalar	Çok Sayıda Numune	Mineroloji

Tablo 2 : Bakalit İçin Kullanılan Reçineler ve Uygulama Biçimleri [6]

Bu reçinelerin genel itibariyle kürleşme süreleri kısadır ve kullanımları kolaydır. Sertlikleri yüksek değildir. Bakalite alma konusunda karşılaşılabilecek en büyük problem çekme eğilimlerinin fazla olmasıdır (0,004-0,008 mm/mm) [6] Bu eğilimin fazla olmasından dolayı parlatma ve dağlama sıvılarının bu bölgelerde dolması ve dışarı çıkması sonucunda mikroyapı görüntüleri için yanlış yorumlanma durumu ortaya çıkabilmektedir.

2.6. Dağlama:

Parlatılmış numuneler, bir reaktif yardımı ile dağlanmaktadır. Makro ve mikro olarak dağlanan numunelerden katılaşma koşullarına göre birçok bilgi alınması sağlanmış olmaktadır. En önemli parametrelerden biri dağlama reaktifinin numune yüzeyinde homojen bir şekilde dağılım göstermesidir. Bu yüzden iyi bir parlatma yüzeyine sahip bir numunede dağlama işleminden sonra yüzeydeki kararma net bir şekilde görülmektedir. Aksi takdirde homojen olmayan yüzeyler görülecektir.

Dağlama reaktifi ile numunenin fazları arasında meydana gelen anodik ve katodik fazlar; yüksek potansiyel ve düşük potansiyelli reaksiyonlar oluşturur. Seçmiş olduğumuz reaktifin etki edeceği alanlar, mikroskoptan gönderilen ışınları difraksiyona uğratarak kararmasına ya da açık renkli görünmesine yol açacaktır. Ortaya çıkan bu karanlık ve aydınlık bölgeler yüksek enerji potansiyeline sahip tane sınırlarında oluşan çukurlaşmalar sayesinde oluşan fazları diğerlerinden ayırt etme imkanı sunmaktadır. Bu bölgeler lamel ve küresel grafitli dökme demirlerde ferrit, perlit, Fe₃C, steadit gibi fazların ortaya çıkmasını sağlamaktadır.

Bu fazları daha görünür hale sokmak için türlü reaktifler diğer fazları daha karartırken spesifik görüntüler alma imkanı sunmaktadır. Buna benzer görüntüleri almak için ya dağlayıcı reaktifi değiştirilir ya da yüzdeliği artırılarak agresifleşmesi sağlanır. Bu reaktiflerin uygulanış biçimleri de uygulama için önemlidir. İstenilenden daha uzun reaktif içerisinde bekletmek difraksiyona uğramasını beklemediğimiz durumları çıkarır ve katodik fazların anodik fazmış gibi davranmasına yol açabilmektedir. Bu da numune yüzeyinde fazla kararmalar oluşturur. Böylece tekrar parlatma kademesine dönüş yapmak gerekmektedir.

Dağlama uygulaması; pamuk ile sürme ya da daldırma yöntemi ile uygulanabilir. Daldırma yönteminde numune, dağlama reaktifine tamamen temas ettirilir. Yüzeyde kabarcıklar oluşmaması için hareket ettirilir. Pamuk ile sürme işleminde ise; pamuğun yüzeye çok bastırılmaması gerekmektedir.

DAĞLAMA TÜRÜ	REAKTİFLER	GÖRÜNEBİLECEK YAPILAR
Makro Dağlama	HCl, H ₂ SO ₄ , HNO ₃	<ul style="list-style-type: none"> - Porozite ve Çatlaklar - Dentritik Yapı - Yüzey Sertleşmeleri - Kaynaklı Yapılar - Karbürler
Mikro Dağlama	Pikrik Asit (C ₆ H ₃ N ₃ O ₇), HNO ₃	<ul style="list-style-type: none"> - Ferrit Oranı - Perlit Oranı - Fe₃C Oranı - Steadit Fazı - İnküzyonlar

Tablo 3 : Mikro ve Makro Dağlayıcı Reaktifleri ve Görülebilecek Yapılar

2.7 Deneysel Çalışmalar:

Bu başlık altında lamel ve küresel grafitli dökme demirlere ait metalografik analizleri gösteren 9 adet vaka çalışması bulunmaktadır. Bu çalışmalar ile tespit edilen unsurların üretim prosesindeki karşılığı ve hataları çözmek adına yapılacakların açıklamaları yapılmıştır.

2.7.1 Çalışma:



Resim 1 : %3 Nital ile dağlanmış numune



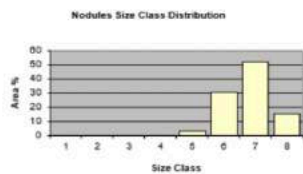
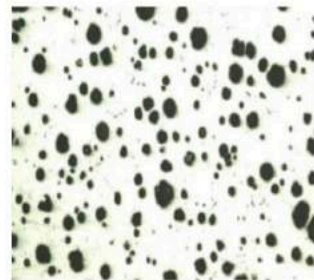
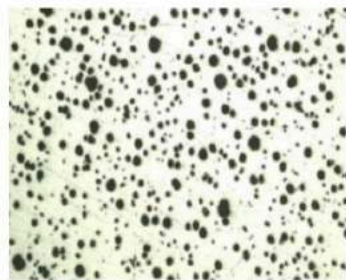
Resim 2 : %3 Nital ile uzun dağlanmış numune



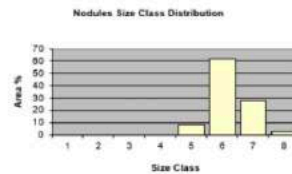
Resim 3: Yeterli parlatma yapılmadığı için dağlama sıvısının homojen olarak dağılmaması

Numunenin parlatmadan sonra görünebilecek fazların uygun şekilde görünebilmesi için; reaktifin cinsine göre uygulama süreleri değişmektedir. Resimde görüldüğü üzere uygulayış biçimlerinin doğru ya da yanlış olması bile bazı durumlarda gözle görülebilecek hataları ortaya çıkarmaktadır. Parça üzerinde homojen bir dağlayıcı sıvısının olmaması ise fazların doğru bir şekilde görülmesini engelleyecektir. Problemin karşılaşılmaması adına yapılacaklar; Şekil 6 da gösterildiği üzere; zımparalama yapılırken numunenin döndürülmesine dikkat edilmeli, diğer zımpara kademelerine geçerken numune mutlaka yıkanmalıdır. Zımparanın yapıldığı makinenin genel balans kontrolleri periyodik olarak yapılmalı ve bakımları eksik edilmemelidir. Numunenin kimyasal analizine uygun dağlayıcı sıvı seçilmeli ve dağlayıcı sıvının uygulayış biçimine göre süresi belirlenmelidir.

2.7.2 Çalışma:



a)



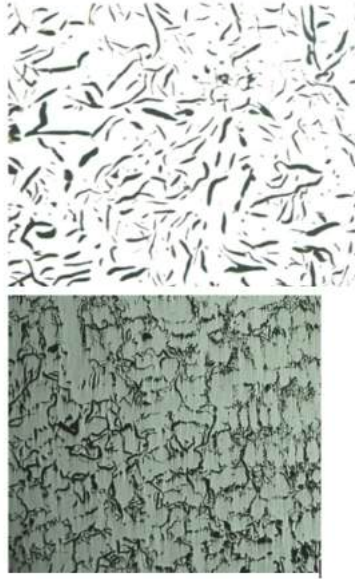
b)

Resim 4 : Küresel grafitli dökme demir mikroyapısı ve nodül büyüklük dağılımları

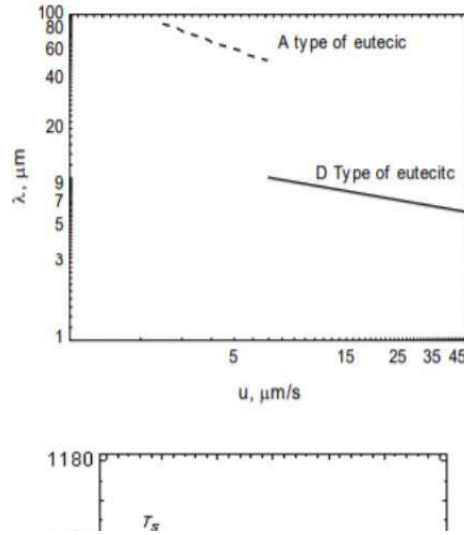
Resim 4 de görüldüğü üzere iki tip küresel grafitli dökme demir mikroyapısında, nodüllerin dağılımlarının ve sayısının farklılığı görülmektedir. Aynı kimyasal analize sahip iki mikroyapı da görülmektedir ki ; a mikroyapı resminde milimetre karede 704 nodül hesaplanırken, b mikroyapısında 313 nodül hesaplanmıştır. Farklı tipte ve oranda verilen aşılama oranlarının etkisi, nodüllerin dağılımı ve sayısına etki etmektedir. Küresel grafitli dökme demirlerin çekinti eğilimlerinin diğer demir esaslı malzemelere göre düşük olmasının nedeni; oluşan nodüllerin genişleşerek etrafındaki sıvıyı çekinti olan bölümlere itmesiyle mümkün olmaktadır. Bu mekanizmanın doğru bir şekilde işleyebilmesi; nodül sayısının yeterli oranda ve tane dağılımlarının geniş bir spektrumda olmasıyla mümkündür. Özellikle mikroyapı görselindeki gibi ferritik yapıya sahip bir küresel grafitli dökme demirde, nodüllerin sayısının artması bir avantaj olmaktadır sadece perlit yapıcı ilavelerin artışı ile birlikte nodül sayısının fazla olması, beklenen mekanik özelliklere erişilmesinde engel olabilmektedir. Problemin karşılaşılmaması adına yapılması gerekenler; dökülen parçanın kesit kalınlığı ve istenen mekanik özelliklere göre uygun aşılama oranının belirlenmesidir. Yapılan termal analiz ile belirlenebileceği üzere; çekirdeklenmenin katılaşmanın son safhasına kadar devam edebilmesi için uygun aşılama miktarının tespiti gereklidir.

2.7.3 Çalışma:

Resim 5 ve 6 da görülen mikroyapılar aynı kimyasal analize sahip ancak farklı aşılama oranları ile değişen yapıları göstermektedir. Resim 5, mekanik özelliklerinin iyi olmasının beklendiği ve hedeflenen A tipi grafit yapısını gösterirken, Resim 6 ise grafit yapısının bozulduğu D tipini göstermektedir. Yapılardan anlaşılmaktadır ki A ve D tipi grafitlerin birbirlerine olan mesafeleri; sıvının çekirdeklenme koşullarına bağlı olarak değişen alt soğuma miktarına göre değişmektedir.



Resim 5 : A Tipi Lamel Grafitli Mikroyapı **Resim 6:** D Tipi Lamel Grafitli Mikroyapı



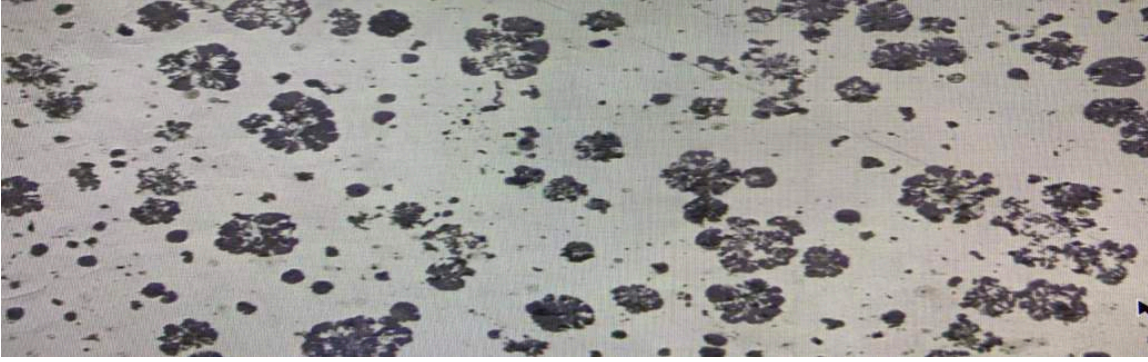
Şekil 9 : a) A ve D Tipi Grafitlerin Düzlemler Arası Mesafesi, b) A ve D tipi Mikroyapıların Dönüşüm Noktasının Kükürt İçeriğine Göre Değişimi [2]

Şekil 9 a da belirtilen değerler grafitlerin birbirlerine olan mesafeleridir. Şüphesiz mikroyapıda A tipi oluştuğunda düzlemler arası mesafelerde bir artış görülmektedir ama mevcut yapıdaki mukavemeti artırmak ya da termal dayanımı geliştirmek için grafitlerin boylarında ve mesafelerinde yapılacak değişikliklere göre bu mesafeler ayarlanabilmektedir. Yapının D tipine doğru değişiklik göstermesi, parçanın tamamında homojen özellik göstermesi beklenen grafit yapısının avantajının görülmemesine sebep olabilir. Ayrıca iyi bir aşılama pratiğine rağmen sıvı metalde yeterli MnS bileşiğinin sağlanamayışı; A tipi mikroyapıdan D tipi mikroyapısına geçişi tanımlayan transisyon noktasına yaklaşma ihtimalini arttırmaktadır. Sıvıda aşının doğru bir şekilde etkinlik gösterebilmesi adına mutlaka Mn (Mangan) ve S (kükürt) bulunmak zorundadır. Sıvı içinde oluşan oksit inklüzyonlarını çevreleyen MnS bileşiğinin oluşumu ile grafitlerin oluştuğu bilinmektedir. Dolayısıyla etkin bir aşılama pratiği ve uygun oranda şarj oranının belirlenmesi halinde; yeterli oranda MnS dengesinin sağlanamadığı durumlarda beklenen mikroyapının görünmemesine sebep olabilir. Eğer alaşımda Mn seviyesini dengeleyecek kadar S bulunmaz ise düşük erime fazında FeS oluşmaya başlayacaktır. Sülfür kendi başına zararlı bir element olarak adlandırılır. Grafitleri bozucu yapısı, hücrelerarası karbürleşme ihtimali ve çilleşme derinliğini arttırması gibi olumsuz birçok özelliği bulunmaktadır. Bu yüzden sıvı alaşım içerisinde S'nin yeterli Mn ile bağlanması gerekmektedir. Mn ve S 'nin kendi aralarında yapmış oldukları bu bağ sayesinde grafitlerin oluşumu için zemin hazırlanmış olur ve aşı ile beraber beklediğimiz mekanik özelliklerinin artması sağlanır. Problemin yaşanmaması adına yapılacaklar; Kimyasal analizde var olan %Mn oranını dengeleyecek %S oranını doğru bir şekilde belirlenmesidir. 1 numaralı formül ile belirtildiği üzere yapıda serbest kükürt olmayacak kadar fazla olmayan ancak %Mn ile bileşik oluşturacak kadar %S ilavesi yapılmalıdır.

$$\% \text{ Mn} = \% 1,7 \times \% \text{ S} + 0,3 \quad [1]$$

Aşının etkinliğinin ölçülmesi adına termal analizden faydalanılmalıdır. Özellikle ocakta bekleyen sıvı metalin alt soğuma miktarının, aşılama numuneden alınan alt soğuma miktarına oranı, aşının etkinlik ve miktarı hakkında fikir edinilmesini sağlayabilmektedir. Üretim koşulları gereğince; fazla beklemeden dolayı canlılığını kaybetmiş sıvı metale gerekli ön koşullandırıcıların ilavesi gerekebilir. Döküm sürelerinin uzaması ve aşı sönümlenmesinin fazla olduğu durumlarda aşılamanın uygulanış biçimlerinin değiştirilip, geç aşılama yöntemleri ile avantaj sağlanabilmektedir.

2.7.4 Çalışma:



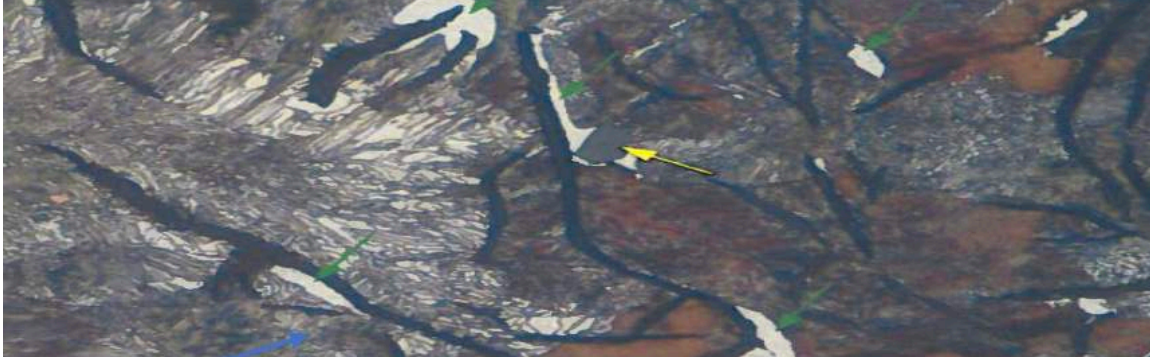
Resim 7 : Küresel Grafitli Dökme Demirde Patlak Nodül

Resim 7’de görülen mikroyapı, patlak nodül hatasını göstermektedir. Bu mikroyapı sıvı metalde yüksek RE (rare-earth) birikmesinden kaynaklanmaktadır. Dökümhaneler mevcut koşullarını iyileştirmek adına FeSiMg içeriklerine %1’e kadar RE içeriği isteyebilmektedir. Lantanit grup olarak adlandırılan RE; içeriğinde bulunan La, Ce, Pr, Nd, Eu gibi elementler ile hafif ve ağır RE olarak ayrılmaktadır. Yaygın olarak kullanılan RE içeriğinde La ve Ce bulunmaktadır. Bu elementlerin oksijen ve kükürtle girmiş olduğu reaksiyon; nodülleştirici olarak ilave edilen FeSiMg den daha öncedir. Ayrıca Ce’un atomik kütle ağırlığının Mg’a göre fazla oluşu ve kaynama sıcaklığının yüksek olmasından kaynaklı sıvı formunu tretman boyunca koruması, bu elementlerin güçlü konumlarını doğrulamaktadır. Bu içerikler özellikle ocakta şarj edilen malzemelerin giriş kontrollerinin yapılamadığı ya da istenmeyen elementlerden olan Ti, As, Sn, Sb, Pb varlığı ile kullanılmaktadır. RE, istenmeyen bu elementlerin zararlı etkilerini nötralize etmektedir ancak sıvı metalde istenmeyen element bulunmamasına karşılık ısrarla kullanılacak bu ürünler, parça yolluklarında birikmesinden dolayı belirli bir zamandan sonra mikroyapıda bozulmalara yol açmaktadır. Bu problemin yaşanmaması adına 2 nolu formül ile kimyasal analizde yer alan elementlerin, sıvı metalde oluşturacağı “poison” hesaplanabilir. [2]

Formülden hesaplanan değerlere göre S değerinin 1 den yüksek olması RE içerikli malzemelerle sıvı metalin desteklenmesi gerektiğini anlatır. Ancak değer 1 den küçük olması durumunda RE içerikli FeSiMg kullanımında azaltmaya gidilebilir.

2.7.5 Çalışma:

Resim 8 de lamel grafitli dökme demire ait mikroyapıda ferrit, perlit ve inklüzyonların görünüşleri belirlenmiştir. Mikroyapının doğru bir şekilde yorumlanabilmesi için fazların buldukları yere göre nasıl adlandırılacakları hakkında bilgiler verilmiştir. Ferrit fazını karbürden ayırmanın en doğru yollarından birisi ferritin grafitlere yakın bölgelerde, karbürün ise daha serbest bölgelerde kaldığıdır. Sıvıda çözülmüş karbonun grafit olarak çökmesi sonucunda ferritik yapı elde edilirken, hepsinin grafit olarak ayrışmadığı durumlarda ise perlitik yapı elde edilir. Dolayısıyla sıvı metal içerisine perlit yapması için koyduğumuz elementler karbonun grafit olarak ayrışmasını bir miktar zorlaştıran, güçlü elementlerdir. Bu elementlerin oranı çok iyi belirlenmelidir çünkü bunlar genel itibariyle güçlü karbür yapıcılarıdır. MnS inklüzyonları ise lamel grafitli dökme demir yapılarında sıklıkla karşılaşılır. Yapıdaki kükürdün demir ile yapacağı ve düşük ergime sıcaklığına sahip bir faz oluşturan FeS oluşumunu engellemek için bir miktar Mn ile desteklenmesi gerekir.



Resim 8 : Lamel Grafitli Dökme Demirde Perlit , Ferrit ve İnküzyonlar. Sarı Ok İle Gösterilen İnküzyon, Mavi Ok İle Gösterilen Perlit , Yeşil Ok İle Gösterilen Ferrit (% 2 Nital İle Dağlanmış Numune)

Yapıdaki perlit yapıcı elementlerin karbür oluşma riskini engellemek için; soğuma koşullarının takibinin yapılması, aşılama miktarının ve uygulanış biçiminin termal analizler ile kontrol edilmesi gereklidir. Ayrıca inklüzyon oluşumundan ötürü parça tokluklarını düşüren fazın engellenmesi için formül 1 de belirtilen eşitliğin korunması gereklidir.

2.7.6 Çalışma:



Resim 9 : Lamel Grafitli Dökme Demirde Steadit ve İnküzyon. Kırmızı Ok İle Gösterilen Steadit, Sarı Ok İle Gösterilen İnküzyon, Yeşil ok ile gösterilen ferrit (% 2 Nital İle Dağlanmış Numune)

Resim 9 da lamel grafitli dökme demire ait steadit fazının ferrit ve inklüzyondan ayırt edilmesi sağlanmıştır. Kimyasal analizde fosfor içeriğinin artışı ile görülecek steadit fazı bir demir fosfor bileşiğidir ve ergime sıcaklığı yaklaşık olarak 9000 dir. Geç katılaşmadan dolayı mikroyapıda farklı şekillerde görülür. Kimyasal analize akıcılığı arttırması adına konulan P içeriğinin genellikle %1,0 seviyesinin üzerine çıkmasıyla görülmektedir. Bu yapı dökme demire kırılabilirlik vermekte, mikroçekinti ihtimalini arttırmaktadır. Bu problemin oluşmaması adına kimyasal analizde fosfor içeriğini arttıracak girdi malzemelerin kontrolleri doğru yapılmalı, ilave edilen fosforun steadit faz oluşumunu engellemek adına; şarj talimatları, aşılama pratikleri ve soğuma koşulları gözden geçirilmelidir.

2.7.7. Çalışma:

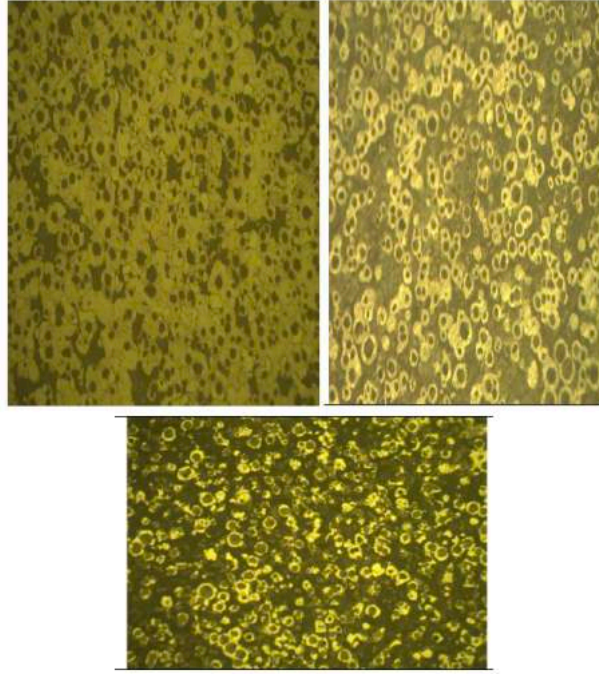


Resim 10 : Küresel Grafitli Dökme Demirde Görülen Yoğun Karbür

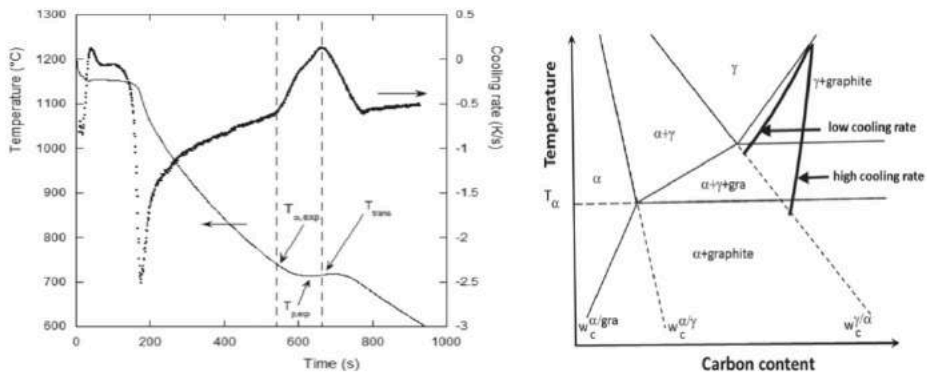
Resim 10 da görülen mikroyapı küresel grafitli mikroyapıda istenmeyen fazlardan olan Fe₃C (demir-karbür) yapısını göstermektedir. Bu fazın istenmemesinin nedeni, küresel grafitli dökme demirin avantajı olarak görülen yüksek mukavemet ve süneklik gibi özelliklerin karbür oluşumu ile birlikte sekteye uğramasıdır. Karbür oluşumu özellikle döküm süresinin uzamasına bağlı olarak aşının sönmelenmesinin gerçekleştiği; geç aşılama ya da kalıp içi aşılama yöntemlerinin uygulanmadığı durumlarda gerçekleşebilmektedir. Küresel grafitli dökme demirlerde oluşan küre yapısının düşük oranda yüzey alanına sahip olması ve lamel grafitli dökme demirlere göre grafit büyüme süreçlerinin yavaşlamasından ötürü karbür oluşumu tetiklenmektedir. Ayrıca nodülleştirici element olarak tercih edilen Mg'un primer karbür oluşturucu olduğu bilinmektedir. Yoğun karbür yapıcı elementlerden olan Mg, sıvı metal içerisinde yeterli O ve S ile reaksiyona girmezse, Mg yoğun bir karbür oluşumuna neden olabilir. Firmalar genel itibariyle O ve S seviyelerini en alt kademelerde seçip, aşının ve Mg un etkinliğini sınırlamaktadır. Oysaki küresel grafitli dökme demirlerin katılaşması esnasında yeterli oranda yüzey aktif elementlerin bir miktar bulunması gereklidir Ayrıca eser oranda olsa bile etkileri güçlü olan elementlerin (Sb, Te, V, Mo vb.) ; yerine göre şarj malzemelerinin içerisinde, yerine göre mekanik özellikleri arttırması adına kullanımı, karbür oluşma ihtimalini güçlendirebilmektedir. Problemin oluşmaması adına tretman işleminden sonra kalıcı %Mg seviyeleri ile beraber %S seviyeleri ve yapılabiliyorsa oksijen aktivitesi ölçülmelidir. Parçanın değişen kesit kalınlıklarının doğurduğu soğuma koşullarını tolere edecek uygun bir aşılama yönteminin yapılması gerekebilir. Şarj malzemelerinin girdi kontrollerinde karbür oluşum riskini arttıran elementler mutlaka kontrol edilmelidir.

2.7.8. Çalışma:

Resim 11 de farklı analizlerdeki küresel grafitli dökme demirlere ait mikroyapı görüntüleri yer almaktadır. Yapıdaki perlit oranının artmasına rağmen nodüllerin etrafındaki ferrit tabakasının varlığını sürdürmektedir. Kimyasal analiz ferritik yapıdan perlitik yapıya doğru bir dönüş sergilese de nodüllerin etrafında kalan ferritik faz yok olmamaktadır. "Bull-eyes" olarak adlandırılan bu durum, grafit-östenit arasındaki karbon difüzyonundan kaynaklı bir durumdur. Şekil 13 de görüldüğü üzere ötektoid sıcaklığa erişmeden önce soğuma hızına bağlı olarak ferritik ve perlitik reaksiyonların oluşmaya başladığı görülmektedir. Dökümü yapılacak kimyasal analize perlit yapıcı ilavelerin eklenmesinin yanı sıra, soğuma hattında dereceleri çıkarma durumumuza göre şekillenen bu durum mikroyapıda bazı değişimler oluşturabilmektedir.

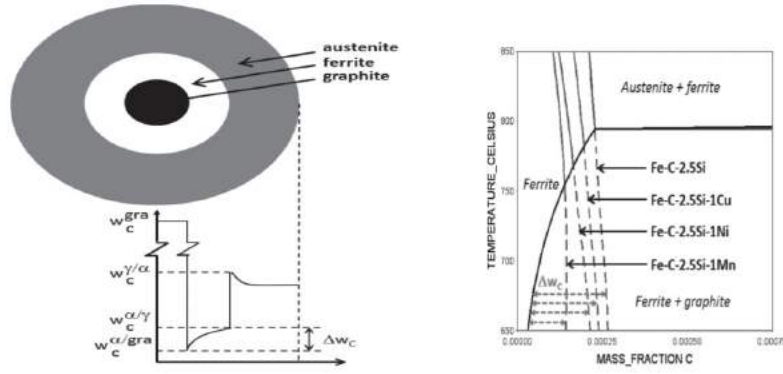


Resim 11 : Küresel Grafitli Dökme Demirde Sırasıyla GGG 40, GGG 50 ve GGG 60 Mikroyapılarının Değişen Perlit Oranları (% 3 Nital İle Dağlanılmış Numuneler)



Şekil 13 : Soğuma Hızlarına Bağlı Olarak Ferrit ve Perlit Oluşumları [4]

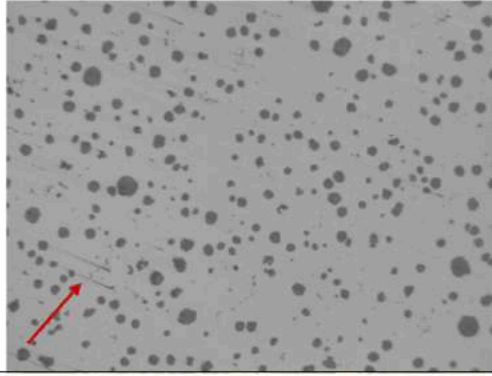
Soğuma hızlarının farklı olması sonucunda ferrit oluşum sıcaklığının değişmesi gösterilmiştir. Yüksek soğuma hızlarında ferrit oluşum sıcaklığı düşmeye başlamaktadır. Sadece soğuma hızı da değil kimyasal element içerisine eklediğimiz elementlerin varlıkları da ferrit oluşum sıcaklığını değiştirecek kalibrede olabilir. Şekil 14 den görüldüğü üzere grafitlerin çevresinde ferrit ve onunda dışında da östenit kılıf yer almaktadır. Grafitlerin büyümesi esnasında, östenit kılıftan difüze edilen karbon grafitlerin çevresinde yer alan kısımda yeterli oranda olmamasından dolayı perlit oluşumuna müsaade etmemektedir.



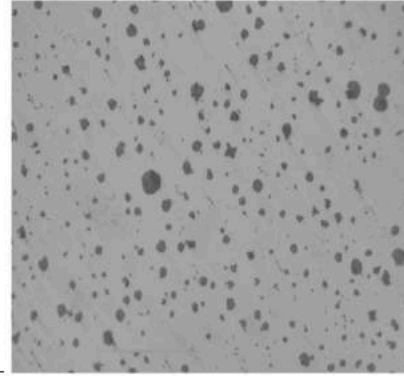
Şekil 14 : Grafit, Östenit, Ferrit Katmanlarının Mesafeleri ve Bu Mesafelere Etki Eden Etmenler [4]

Kimyasal analizi her ne kadar perlitik yapsak dahi nodüllerin etrafında bir miktar ferritin kalma sebebi bu olmaktadır. Ayrıca kimyasal analize perlitik ya da ferritik yapması için ilave edilen elementler östenit ve grafit arasındaki mesafelerinde değişmesine neden olmaktadır.

2.7.9 Çalışma:



Resim 12 : Tabanında Sıvı Metal Olmayan Pota İle Yapılan Tretman Sonrası Küresel Grafitli Dökme Demir Yapısı. Kırmızı ok parlatma hatasını gösterir.



Resim 13 : Tabanında Sıvı Metal Olan Pota İle Yapılan Küresel Grafitli Dökme Demir

Resim 12 ve 13 de görülen küresel grafitli dökme demire ait mikroyapılar; aynı ocaktan aynı üretim koşullarınca dökümü yapılan parçalara aittir ancak resim 12 de nodüllerin küresellik derecesi, resim 13 de bulunan nodüllerin küreselleşme değerlerinden daha iyi olmaktadır. Küresel yapının avantajından kaynaklı parçadan beklenen mukavemet ve süneklilik, küreselleşme değerinin düşmesiyle birlikte azaltılmaktadır. Peş peşe yapılan tretmanlardan sonra görülmektedir ki her ne kadar pota boşalıyormuş gibi görünse de pota dibinde bir miktar sıvı metal kalmaktadır. Kalan bu sıvı metalin oksijen ile olan teması normal şartlarda oksijeni bağlaması için ilave edilen Mg'un etkinliğini azaltmaktadır. Bu durum grafitin etrafını östenit kılıfın tam anlamıyla sarmamasına ve grafitlerin büyümesi için difüze olan karbonun kendine en kolay olan yerden eklenip nodüllerin yapısının bozulmasına sebep olmaktadır. İki mikroyapıda da görüldüğü üzere tabandaki bir miktar sıvı metalin kalması bile küresellik derecesine etki etmektedir. Bu oran ne kadar çok artarsa o kadar mekanik özelliklere yansımaları olacaktır. Kırmızı ok ile gösterilmiş olan kısım ise uzun süren parlatma kademelerinden kaynaklı olarak grafitlerin sürünüşünü göstermektedir.

3. SONUÇ

Lamel ve küresel grafitli dökme demirlerin performansına arttırmaya yönelik yapılan önemli analizlerden biri metalografidir. Bu analizlerin tüm adımlarının uygun bir şekilde uygulanması ile parça muayenesi doğru bir şekilde yapılacaktır. Adımların uygulanmasındaki titizlik, parçanın katılma esnasında bizlere söyleyeceklerini gün yüzüne çıkaracaktır. Amaç doğru teçizat ve teknik ile analiz yapabilmek olmalıdır.

Metalografik analizlerin doğru yapılması ile dökümhanelerde kontrol edilecek parametreler;

- Aşı miktarların ve etkinliğinin ölçülmesi ve parça kesit kalınlıklarına göre hedeflerin belirlenmesi
- Kimyasal analizdeki ferro alyajların etkilerinin görülmesi ve atılacak yeni adımlarla bu malzemelerin miktarının optimize edilmesi ya da şarj malzemesi olarak kullanılmaması
- Döküm sıcaklığının parçada olası etkileri
- Parça soğuma hızının tespiti yoluyla, grafitlerin gelişiminin takip edilmesi ve hedeflenen mekanik özelliklere erişilebilmesi
- Özellikle küresel grafitli dökme demirlerde besleyicisiz döküm için yapılan çalışmaların takibi sağlanmaktadır

Bütün bu çalışmalar; gerek dökümhanelerdeki maliyet hesaplamalarının kontrol edilmesine gerekse ileride yapılması gereken geliştirme faaliyetlerine destek olacaktır. Kimyasal analizde fark edilemeyen bir elementin olası etkilerini mikroyapıda görmemiz, ve bu bilgiler doğrultusunda bir sonraki şarjda gerek pik gerekse çelik malzemelerinin kalitesini yakinen görme şansını verecek ve istenmeyen fazların ya da grafit bozulmasından ötürü mekanik özelliklerde yaşanacak olumsuzlukların önüne geçilecektir. Termal analiz ile yakalanamayan ya da uygun ekipman eksikliği yaşayan dökümhaneler, bu analiz ile kullandığı aditiflerin etkisini görme şansını bulacaktır.

4. KAYNAKÇA

1. H. Nakae, Y. Igarashi, " Influence of Sulfur on Heterogeneous Nucleus Of Spheroidal Graphite", Materials Transactions, Vol 43, 2002, pp 2826-2831
2. E. Fras, M. Gorny, "Inoculation Effects of Cast Iron", Polish Academy of Science, Vol 12, 2012, pp 39-46
3. H. Megahed, E. El-Kashif, A.Y. Shash, M.A. Essam, " Effect of Holding Time Thickness and Heat Treatment on Microstructure and Mechanical Properties of Compacted Graphite Cast Iron, Materials Research and Technology, Vol 8, 2019, pp 1188-1196
4. J. Lacaze, J. Sertucha, L.M. Aberg, " Microstructure of As-Cast Ferritic-Pearlitic Nodular Cast Irons", Isij International, Vol 56, 2016, pp 1606-1615
5. T. Lyman (Ed), " Metals Handbook Vol 8", American Society For Metals, Ohio, 1973, pp 2-93
6. S. Salman, Ö. Gülsoy, "Metalografi Bilimi", Nobel, Ankara, 2019, pp 13-41

KALIPLAMA HATLARINDA QM MATRİS UYGULAMASI VE SAHA ADAPTASYONU

Hande BİRENGEL, Veysel DURAK

Erkunt Sanayi A.Ş., Ankara, Türkiye

ÖZET

Sektörde var olmak, rekabet gücünü arttırabilmek ürünü, pazara istenen kâr marjı ile sunmak her geçen gün zorlaşmaktadır. Üreticiler, zorlayıcı koşullar altında çeşitli iyileştirme araçları ile ürün maliyetini düşürerek kâr marjını garanti altına almak istemektedirler. Bu durumlar gözetildiğinde üretim alanında ürün maliyetine doğrudan etkisi olan düşük ürün kalitesi bugün, içinde bulunduğumuz koşullarda tartışılmaz bir öneme sahiptir. Kalitesizlik maliyeti, içerisinde işçilik, atık bertaraf, fazladan malzeme kullanımı, gereksiz kapasite kullanımı, geç teslimat gibi birçok görünmeyen maliyeti bulunduran bir buz dağıdır.

Bu çalışmada, kalitesizlik maliyeti altında oluşan görünmeyen maliyetlerin mümkünse yok edilmesi, değilse azaltılması ve kalite problemlerinin yeniden oluşumunun önüne geçerek, standardizasyonun sağlanması amacıyla gerçekleştirilen faaliyetler derlenmiştir. TPM'in sekiz ana unsurundan biri olan Kalite Bakım'ın, alt kırılımı konumundaki yatık sekiz yaklaşımının temel aracı QM (Kalite Bakım) matris çözümleme, tüm faaliyetleri kapsayıcı bir şemsiye olmuştur. Çalışma kapsamında, kalıplama hatlarında ürün kalitesini doğrudan etkileyen makine-proses parametreleri, makine bileşenleri ve bu bileşenlerin anormallik oluşumları (fenomenleri) belirlenmiş ve birbirleri ile ilişkilendirilmiştir. Sonrasında ise bu parametrelerin mevcut durumdaki anlaşılabilirlik, izlenebilirlik, ayarlanabilirlik, değişkenlik ve önlenebilirlik düzeyleri analiz edilip, gereken iyileştirmeler (kaizenler) uygulanmıştır.

Neticesinde, kalite aracı olan QM matris metodu ile kalıplama hatlarındaki makine parametrelerin yönetim hakimiyeti %20 oranında iyileştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: QM, TPM, Matris, Yalın, Sürekli İyileştirme, Makine Parametreleri, Standardizasyon, Kalite Bakım, Yatık Sekiz Metodu

ABSTRACT

It is getting harder each day to exist in the sector, to increase competitiveness moreover to release a product with desired profit margin every single day. Producers desire to guarantee their profit margin by adapting several process improvement instruments in order to decrease production costs under compelling circumstances. As a result of these circumstances, product quality which has a direct effect on product cost, has become an indisputable topic today. Poor-quality cost is an iceberg which includes labor, waste disposal, additional material usage, unnecessary capacity utility, late delivery etc. related unseen costs.

In this study, we compiled activities for elimination of the unseen costs occurred under poor-quality where it is possible, if not reduce processes on those costs and ensuring standardization in order not to face with failure repetition. QM (Quality Maintenance) is one of the pillars of TPM (Total Productive Maintenance) and QM matrix is a subsuming tool which is the most important branch of the Figure-of-Eight Method. In this study, machine-process parameters which directly effects part quality in molding lines, machine components and abnormality formations of those components (phenomenon) have been correlated. Later on, comprehensibility, traceability, variability, configurability and preventability levels of those parameters in current status have been analyzed and necessary improvements (kaizens) have been done.

As a result, machine parameter domination rate has been increased by 20% with using QM matrix quality tool in molding lines.

Key Words: QM, TPM, Matrix, Lean, Continuous Improvement, Machine Parameters, Standardization, Quality Maintenance, The Figure-of-Eight Method

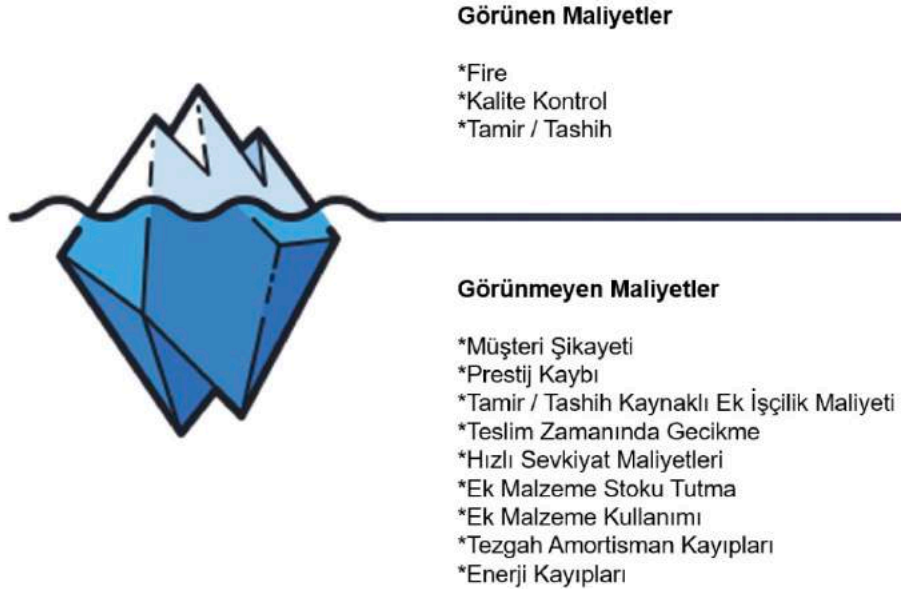
GİRİŞ

Günümüzün getirdiği şartlarda üretilen ürünlerden elde edilecek kar marjları, ürün birim fiyatlarının piyasa şartları tarafından belirlenmesinden ötürü ancak ürün maliyetinin azaltılması ile artırılabilir. Ürün maliyetinin azaltılması söz konusu olduğunda ise akıllara ilk gelen unsurlar; işçilik maliyetlerini azaltma, üretim standart sürelerini iyileştirme ve malzeme kullanım miktarlarını optimize etmek gibi sistematik yürütülmesi gereken çalışmalardır.

Bu çalışmalara ek olarak kalite unsuru da en az diğer kalemler kadar önem ihtiva eder. Örneğin %99 başarı oranı kulağa her ne kadar hoş gelse de 2019 yılı için dünya genelinde toplam doğan 1.4 M bebeğin doğum operasyonlarının başarısız gerçekleşmesi, üretilen 920.000 aracın hatalı üretilmesi, 389.000 uçuşun başarısız gerçekleştirilmesi anlamına gelmektedir. Kalite oranı gerçekleştirilen faaliyetin kritikliğine göre etkisi ekspansiyel artan bir rasyodur.

Bahsi geçen bu kalitesizlik maliyeti ise içerisinde işçilik, malzeme, üretim standart süresi vs. tüm alt maliyetleri içeren bir buzdağdır. Tüm bu sebeplerle işletmeler, süreçlerinde kalite unsurunu ön plana alarak çalışmalarına devam etmektedirler.

1.KALİTESİZLİK KAYNAKLI GÖRÜNMEYEN MALİYETLER



Şekil 1 : Kalitesizlik Maliyetleri

Kalitesizlik kaynaklı görünen ve akla ilk gelen maliyetlerin yanı sıra görünmeyen veya etkisini daha sonra hissedebileceğimiz büyük kayıplar da mevcuttur. Bu görünmeyen kayıplardan en önemlisi müşteri şikayetleri ve akabinde gelişen şirket prestij kayıplarıdır. Tamir / tashih işlemleri ise ek işçilik ve malzeme kullanımı doğurmaktadır. Bu ek malzeme ve istihdam ihtiyacını sağlamak için ise, tam kapasite çalışılan bir işletmede mesai ve aşırı hammadde stoku tutmak gerekir. İstenen ürünü kaliteli üretememe kaynaklı geç teslimatlar yaşanır. Bu geç teslimatlarda ise müşterileri memnun edebilme ve hatayı tölere etme adına hızlı teslimat gerçekleştirilmek istenir ve aşırı navlun bedelleri ödenir.

Tüm bu kayıplara ek olarak gecikme sürecinin etkin yürütülebilmesi için ise yönetsel efor üst düzeyde sarf edilir. Kalitesizlik kaynaklı gelişen ve kendi içinde büyüyen bu zincirleme israf reaksiyonunu kırmak için çalışmalara yerinde kalite kavramını geliştirerek başlamak gerekir.

2.KALİTE BAKIM 'A DUYULAN İHTİYAÇ

“Kalitesizlik” kavramı İngilizce’de “Poor Quality” ifadesinin eş değeri olarak dilimize geçmiştir fakat bu sözcük anlamını tam olarak karşılamamaktadır. Bir ürün veya hizmetin kalitesiz olarak tanımlanması, onun işe yaramaz (fire) veya kullanılamaz olduğunu göstermez. Müşteriler aldıkları üründe bekledikleri özellikleri bulamazlarsa o üründen vazgeçebilirler. ABD’de yapılan bir araştırmaya göre, üretilen mal ve hizmetlerden tatmin olan müşteri izlenimlerini ortalama 20 kişiye aktarıırken, tatmin olmayan müşteri ise bunu ortalama 40 kişiye duyurmaktadır.

Bu nedenle kalitesizlik maliyeti, ürünün son durağı olan müşteriye kadarki yolunda etkisini artan oranda göstermektedir.



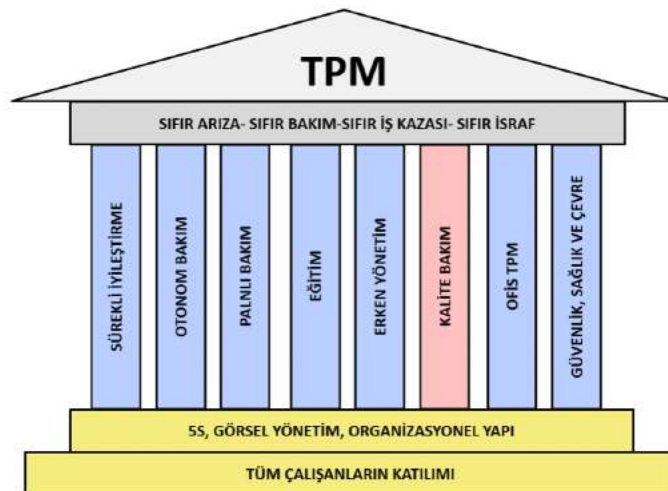
Çizelge 1: Kalitesizlik Tespit Noktası ve Maliyet İlişkisi

Çizelge 1’de gösterildiği gibi kalitesizlik maliyetinden işletmelerin en az etkileneceği nokta, kalitesizliğin oluştuğu prosestir. İşletmeler ise kalitesizlik maliyetini en aza indirmek adına öncelikli olarak proseslerini stabil tutmaya yönelmelidirler.

Proseslerin stabil tutulması ise, proses kaynaklarının standardizasyonuna dayanmaktadır. Makina ve tesislerin durumu, kalite üzerinde yüksek etkiye sahiptir. Makina koşullarını daima optimal durumda tutarak kaliteyi güvence altına alınabilir. Makina ve proses parametrelerinin optimal seviyeye getirilmesi ve burada tutulması ise “Kalite Bakım” olarak ifade edilmektedir.

3.QM VE KALİTE BAKIM İLİŞKİSİ

Kalite Bakım, TPM’in (Total Productive Maintenance) sekiz ana unsurundan bir tanesidir.



Şekil 2 : TPM ve Sütunları

Kalite Bakım temelde kusurlu ürün üretmeyen ekipmanların sürdürülebilirliğini garanti altına almaktadır. Kalite Bakım felsefesinde ilk olarak kusursuz ürün koşulları teknik boyutta oluşturulur ardından bu koşullar, kurallar ve prensiplerin belirlenmesi ile korunur hale getirilir. Son olarak ise koruma uzun dönemde devam ettirilir ve mükemmelleştirme üzerine çalışmalar yapılır.

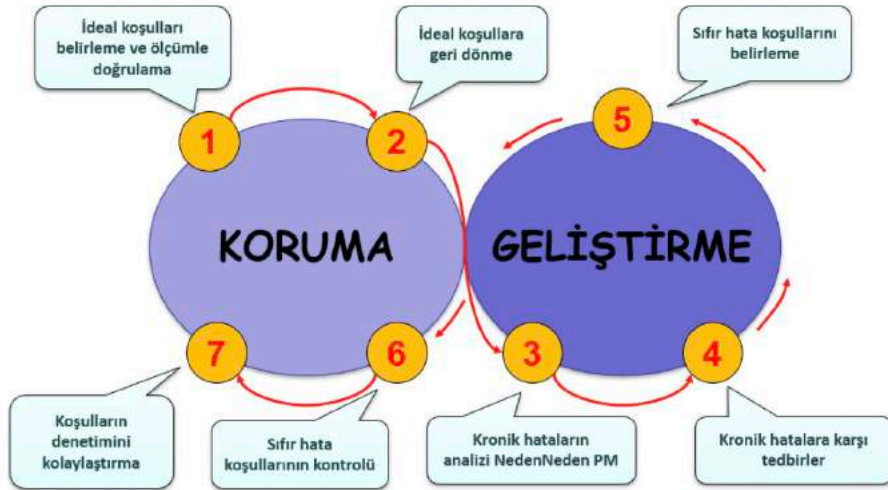
Kalite Bakımın uygulanması için iki ana metod bulunur. Bunlardan ilki FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) benzeri veya eşleniği hata kaynaklı risklerin belirlenmesi, puanlandırılması ve RPN puanlarının azaltılması için yürütülen faaliyetden ileri gelmektedir. Diğer metod ise “Yatık Sekiz Metodu” olarak adlandırılır.

QM (Quality Maintenance) matris çalışmaları Toyota Üretim Sistemleri’nde gerçekleştirilen Jikotei Kanketsu’dur. Aynı zamanda QM bir Yatık Sekiz uygulama metodudur ve amacı kalite bakımla eşlenik iyi ürün koşullarının sağlanmasıdır.

4.YATIK SEKİZ METODU

Yatık Sekiz Metodu adından da anlaşılacağı gibi sekiz basamaktan oluşan bir QM uygulama yöntemidir. Kaliteli üretimi sağlamak için ideal makina koşullarını belirleme ve ölçümlerle doğrulama adımından koşulların denetimini kolaylaştırmaya ve sürekli olarak sürdürmeye kadar devam eden sistematik bir akışa sahiptir.

Bu yöntemi özel kılan ise işletmelerin koşullarına ve durumlarına göre çift yönlü bir akışa sahip olmamasıdır.

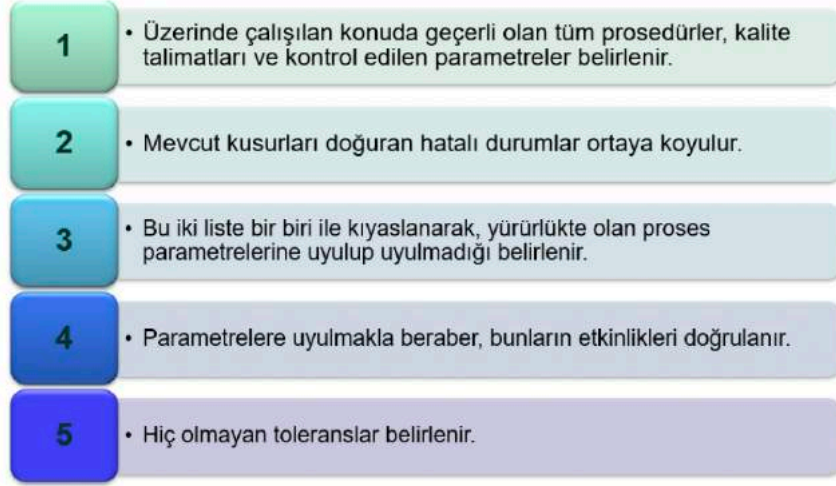


Şekil 3 : Yatık Sekiz Metodu

Akış kendi içerisinde aslında bir karar değişkeni noktası da bulundurmaktadır. 2. adıma gelindiğinde mevcut iyileştirmelerin yeterli olup olmadığı uygulayıcılar tarafından değerlendirilmelidir. 1. ve 2. adımın uygulanması sonrası yeterli iyileştirme sağlandıysa, 6. ve 7. adımları takip ederek çalışmalar sonlandırılabilir. Koruma ve Geliştirme olmak üzere iki faza sahip bu yöntem kullanılarak sıfır hatalı ürün garantileyen proses / makineler sağlanabilmektedir.

4.1 İDEAL KOŞULLARI BELİRLEME

Yatık Sekiz Metodu ile QM matris hazırlanırken ilk adımda aşağıdaki faaliyetler yürütülür.



Şekil 4 : Yatık Sekiz Metodu, 1. Adım

4.2 İDEAL KOŞULLARA DÖNÜŞ

İdeal koşullara dönüş için öncelikli olarak ilk adımda karşılanmadığını veya uyulmadığını tespit edilen mevcut kalite talimat ve yönergelerine paralel işleyiş sağlanır. Mevcut ve talimatlarda belirtilen istenen durum arasındaki farklar giderildikten sonraki durum gözlemlenir.

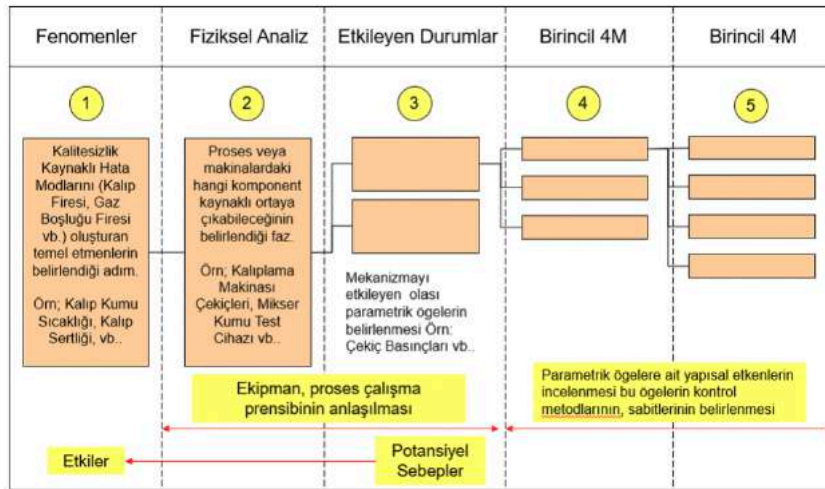
Talimatlar ile önceden belirlenmiş daha sonraları ihmal edilmeye başlanmış kuralların uygulanma etkisiyle muhtemelen bir çok kusurdan arınmış bir makina / proses elde edilmiş olur.

Elde edilen netice eğer proje yöneticilerini tatmin eder seviyede ise 6. adımdan devam edilir. Değilse bir sonraki adıma geçiş sağlanır.

4.3 KRONİK HATALARIN ANALİZİ

İlk iki adımdan sonra koruma çemberinden geliştirme çemberine, yani yatık sekizin ikinci halkasına geçiş yapılmış olur. Yürürlükte olan talimat ve kurallara uyulmasına rağmen kusurlar devam ediyorsa yetersiz bulunan standartlar tanımlanır ve bu standartlara uyum sağlanır.

Tespit edilen kronik hatalara karşı bu noktada ileri bir adım olarak PM analizine başvurulması gerekebilir.



Şekil 5 : PM Analiz Uygulama Adımları

4.4 KRONİK HATALARA YÖNELİK TEDBİRLER ALINMASI

Kusura neden olan tüm sebepler ki bunlar temelde yanlış parametreler ve limit dışı ayarlardan oluşmaktadır, toplu şekilde kontrol altına alınır ve prosese uygulanır.

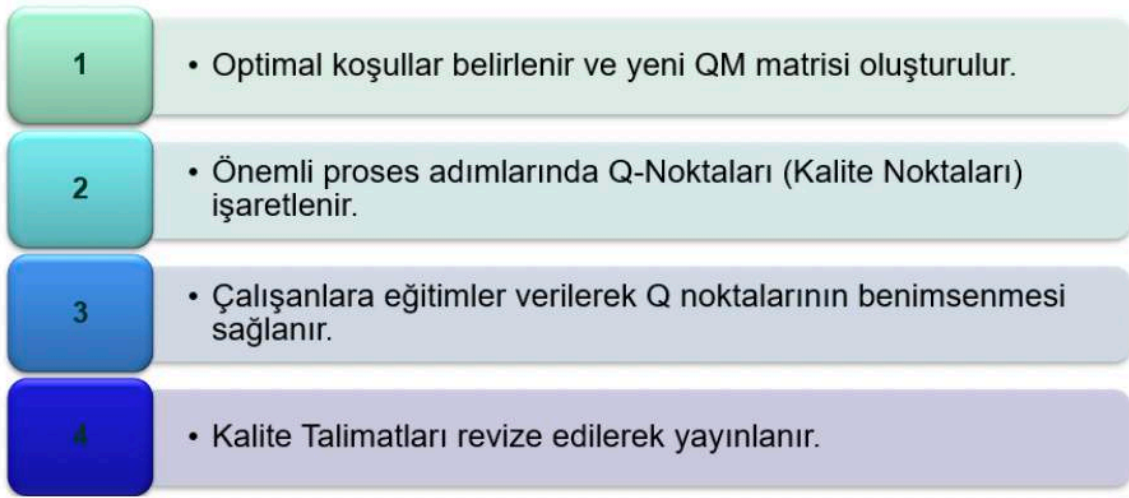
Kontrol altına almadan kasıt ise belirlenen hatalı parametrelerin düzeltilmesi ve etkene göre limit dışı değerlerin ortadan kaldırılma faaliyetlerinin sahada uygulanmasıdır.

4.5 OPTİMAL KOŞULLARIN BELİRLENMESİ

Bu aşamada ise QM matrisi oluşturulmaya başlanır. Standartların ve ideal parametrelerin temelleri atılır ve prosese / ekipmana ait kaliteyi etkileyen hiçbir tanımsız parametrenin / standardın bulunmaması sağlanır.

5. adım Şekil 6'da ifade edildiği üzere 4 temel faaliyetten oluşmaktadır.

5. adım tamamlandığında ise, prosese/ ekipmana ait eksik, belirsiz parametre veya standart kalmamış olur.



Şekil 6 : Yatık Sekiz Metodu 5. Adım Uygulama Faaliyetleri

4.6 OPTİMAL KOŞULLARIN SÜREKLİLİĞİ

Bu aşamada ekipmana / prosese ait kusur seviyeleri sürekli izlenerek, iyileşmenin devamlılığında emin olunur. Kaliteyi etkileyen kontrol noktalarında yapılması gereken denetimlere ait kontrol listeleri hazırlanır, kontrol periyotları belirlenir ve bu doğrulamaların yapılması sağlanır.

4.7 OPTİMAL KOŞULLARIN GELİŞİMİ

Hata modlarının oluşmamasına yönelik oluşturulan kontrol listeleri ek işçilik gerektireceğinden ötürü işgücü verimsizliğine sebep olabilir. Bu noktada ise optimal koşulların denetimlerini kolaylaştırmaya yönelik çeşitli araçların kullanımına başvurulabilir.

Bu araçlardan ilk akla geleni kontrol kolaylığı sağlayıcı uygulamalardır. Kontrollerin görselleştirilmesi, otomasyon ile sanala entegrasyonu ek kontroller kaynaklı işçilik gereksinimini ortadan kaldırabilmektedir.

Örneğin; Kalıplama hatlarında bulunan su basınçlarının ölçümü ve standart çalışmasının sağlanması adına yerleştirilen su basınç şalterleri gibi.

Kontrol kolaylığı sağlama yönteminden önce düşünülmesi ve irdelenmesi gereken en temel uygulama ise hatanın oluşmasını kökten engelleyen poka-yoke yöntemleridir.

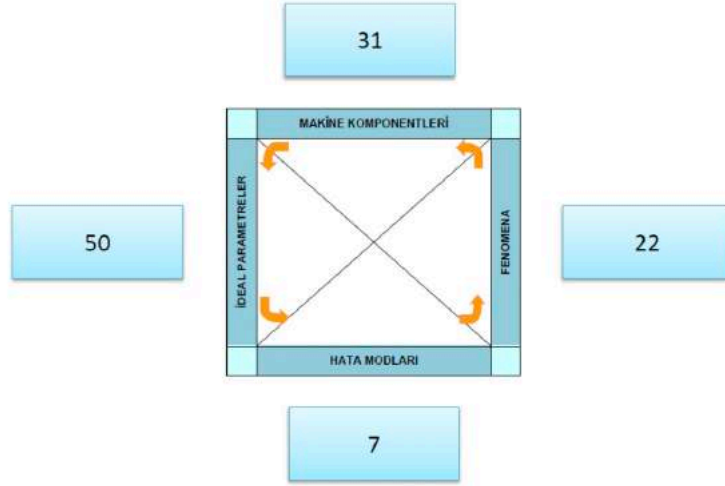
5. KALIPLAMA HATLARINDA QM MATRİS UYGULAMASI

Yatık sekiz metodu prensipleri takip edilerek bu çalışmada kalıplama hatları üzerine QM matris uygulaması yapılmıştır.

Uygulama sürecinde 3 temel kazanca ulaşım hedeflenmiştir.

- 1-Kalıplama hatları kritik parametrelerin belirlenmesi
- 2-Kritik makine parametrelerine müdahale kolaylığı kazandırılması
- 3-Kritik makine parametrelerinin görselleştirilmesi ve bu parametrelere hakimiyetin arttırılması

Çalışmada kalıplama hatlarında tanımlanmış 7 ana hata modu üzerinden faaliyetler yürütülmüştür. Bu modlar sırasıyla; Kalıp Koparma, Gaz Boşluğu, Kum Düşmesi, Derece Kaçırma, Ezik, Kalıp Firesi, Çekinti kaynaklı kusurlardır.



Şekil 7 : Kalıplama Hattı QM Matrisinde Belirlenen Temel Öge Sayıları

QM matris tamamlandığında ise 7 kalıplama hattı hata moduna yönelik toplam 11 fenomen olası etken, bu etkenlere yönelik ise 31 olası makine komponenti belirlenmiştir. Bu komponentlere yönelik ise 50 farklı parametre tanımlanmıştır. Tüm bu çalışmalar esnasında ise hata modlarının fenomen, makine komponent ve ideal parametre ilişkileri QM matris üzerinde yapılandırılmıştır.

Örneğin; Kalıp koparma hata modu, kalıplama kumu mukavemet düşüklüğü fenomeni ile eşleştirilmiştir. Bu fenomen ise, kalıplama makinası çekiçleri makine komponenti ile ve bu komponent ise iç ve dış çekiç basınçları olmak üzere iki farklı parametre ile eşleştirilmiştir.

Tanımsız standartlara tanımlamalar getirilmiş, ölçülemeyen parametreler ölçülebilir hale getirilmiştir. Çalışmalar esnasında ölçümler için harcanan efor ve maliyetleri azaltıcı poka-yoke uygulamaları yapılmıştır.

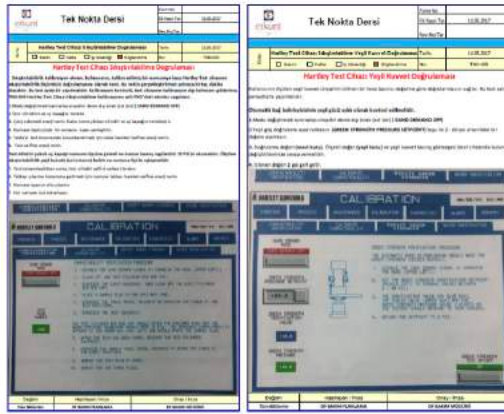
Örneğin; Kalıplama hatlarında kalıp koparma ve gaz firesi hata modlarının ortak fenomenlerinden biri olan besleyici yüksekliği, besleyici pimi sayesinde ayarlanabilmektedir. Bu noktada matriste besleyici pimleri, komponent olarak belirtilmiştir. Besleyici pimlerinin ise kullanılan standart versiyonunda iç gövdesine kalıp kumu dolmakta ve pim içindeki yayın sıkışmasına sebebiyet vermektedir. Bu durum karşımıza, besleyici yüksekliğinin ayarlanamaması ve besleyicinin görevini etkin yapamaması olarak çıkar.

Etkin maden beslemesinin en temel öğelerinden olan besleyici yüksekliklerini ayarlamak için kullandığımız pimlerin standardını değiştirerek kapalı tip besleyici pimi uygulamasını, kalıplama hatlarımızda poka-yoke olarak uyguladık. Yeni tip pimlerde yarık bulunmamakta ve bu sayede kalıp kumunun yay halkaları arasına sıkışarak yayı ve dolayısıyla pimi işlevsizleştirme olasılığı ortadan kalkmıştır.



Şekil 8 : Yeni Standart Besleyici Pim (Poka Yoke)

Belirlenen standart parametrelere yönelik ise, poka-yoke'nin uygulanmadığı noktalar için kontrol listeleri hazırlanmıştır. Planlanan kontrollere yönelik metod ve iş tarifleri için talimatlar, tek nokta dersleri ve eğitimler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 9 : Kalıplama Hattı Kum Test Cihaz Kalibrasyon Tek Nokta Ders Örneği

Çalışma etkinliğinin takip edilebilmesi adına makine parametrelerine hakimiyet anahtar göstergesi olarak belirlenmiştir. Belirlenen bu ana göstergesi için Q noktalarına ait bir kontrol listesi oluşturulmuş ve QM matrisi içerisinde yerleştirilmiştir.

Makine parametrelerine hakimiyet anahtar performans göstergesi belirlenen tüm Q noktaları için aşağıdaki puanlama listesi bazında değerlendirilmiştir. (Toplam 50 parametre)

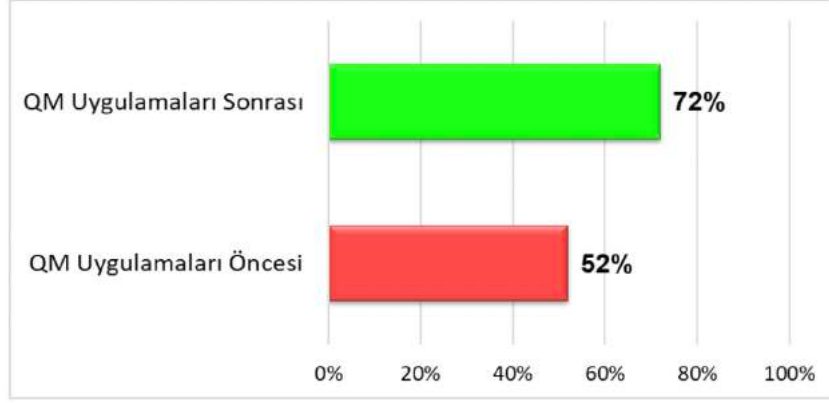
Soru No	Soru	Açıklama	Puan
1	Değerler net olarak anlaşılabilir mi?	Ayarlı ve kalıcı	1
		Bir metod ile kontrol ediliyor	3
		Değerler kolayca görülebilir ve ayarlanabilir	5
2	Değerler kolayca ayarlanabilir mi?	Zor	1
		Kolay	3
		Çok Kolay	5
3	Değerler değişkenlik gösteriyor mu?	İmalat sürecinde	1
		Üretim başlangıcında	3
		Kabul edilebilir düzeyde	5
4	Değişkenlik görülebilir mi?	Görmesi ve kontrol etmesi zor	1
		Kontrol edilerek görülebilir	3
		Her zaman görülebilir	5
5	Değişkenlik kolayca düzeltilebilir mi?	Bakım yapılarak	1
		Operatör müdahalesi ile	3
		Otomatik olarak	5

Şekil 10 : Kalıplama Hattı QM Matrisi Parametrelere Hakimiyet Ölçüm Puanlama Listesi

6. SONUÇLAR

Erkunt Sanayi A.Ş.'de QM matris uygulamalarına 2018 yılından başlanmıştır. 2018'den günümüze toplamda 3 temel süreçte QM matrisi uygulanmıştır. Bu süreçler; Kalıplama Hatları, Maça Üretim Süreci ve Otomatik Taşlama Prosesleri'dir.

Makalede incelenen Kalıplama Hattı QM analizi neticesinde makine parametrelerine hakimiyet %52 seviyesinden %72'ye yükseltilmiştir.



Çizelge 2 : GZ Kalıplama Hattı QM Analiz Makine Parametrelerine Hakimiyet Oranı (%)

Ek olarak, QM matris çıktısı olarak uygulanan poka-yoke ve standart güncellemeleri ağırlıklı olarak kalıp koparma ve gaz boşluğu hata modları ile alakalı olup, bu hata modlarında sırası ile %25 ve %27 oranlarında fire iyileştirmeleri gerçekleşmiştir.

Sürece ait yan kazançlardan bir kısmı ise aşağıda özetlenen şekildedir;

- Çalışanların makine parametrelerine yönelik bilgi ve birikiminin artması kaynaklı niteliklerinin gelişimi.
- Hata modlarına yönelik kalitesizlik kaynaklı görünmeyen maliyetlerin azalması.
- Bu süreçte birbiri ile entegre çalışacak organizasyonel takımların kurulması sayesinde şirket içi iletişimin kuvvetlenmesi & motivasyonun artması.
- Süreç içinde elde edilen bilgi & birikimin MP (Maintenance Prevention, Bakım Önleyici) Arşiv bilgisi ve Tek Nokta Dersleri ile kayıt altına alınması ve şirkette sahip olunan uzmanlık bilgisinin sonraki çalışmalarda değerlendirilmek üzere saklanması. Bu sayede şirket yatırım bilgi kataloğu oluşturulması.
- Poka-yoke uygulamaları veya yeni standartların belirlenmesi çalışmalarında ortaya çıkan fikirler ve iyileştirmeler fikri ve sinai açıdan yenilikçi ise, şirketlerin patent / marka tescil başvurularında bulunabilmesi ve şirket prestijinde artışın yanı sıra bu fikirlerin sözleşmeler halinde kullandırılması ile ek kaynaklar oluşması.

7.QM VE GELECEĞİ

QM matrise ait yakın gelecekte hepimizin aşına olmaya başladığı endüstri 4.0 devrimi büyük katkı sağlayacaktır. Ekipmana ait parametrelerin kontrol edilebilirlik seviyeleri otomasyon yardımı ile dijitalleştirilecek ve uzaktan denetimlerin gerçekleştirilebilirliği sağlanacaktır. Bu hususta en önemli nokta ise izlenmesi zor, kontrol edilmesi meşakkatli kalite noktalarına yönelik önlemlerin alınabilmesi olacaktır.

Bir başka husus ise, uygulamalarına ülkemiz işletmelerinde kısmi başlanan kontrol noktalarına yönelik arttırılmış ve sanal gerçeklik adaptasyonlarıdır. Arttırılmış ve sanal gerçeklik sayesinde ekipmanlar üzerindeki kritik bölgeler kolay şekilde görselleştirilmiş olacak ve bu noktalara ait müdahale adımları / yönerge ve tarifleri sanal gerçeklik ile anlık operatör ve uzmanlara sunulabilecektir.

8. KISALTMALAR

Poka-Yoke: "hata engelleme" anlamındaki Japonca terim.

QM: Quality Maintenance (Kalite Bakım)

TPM: Total Productive Maintenance (Toplam Üretken Bakım)

Jikotei Kanketsu: Tüm üretim süreçlerinde "sıfır hata" elde etmeyi amaçlayan Built-in Quality Ownership (Gömülü Kalite Sahipliği) anlamına gelen Japonca terim.

9. TEŞEKKÜR

Bu süreçte bilgi ve birikimlerini esirgemeyen, sürecin uygulanmasındaki yüksek seviyede desteklerinden ötürü Erkunt Sanayi A.Ş. Genel Müdürümüz Sayın Dilek GÜNDÜZ ve Genel Müdür Yardımcımız Sayın Hakan GÜNDÜZ'e son olarak ise TPM ve Yatık Sekiz Metodu ile ilgiliengin bilgi ve birikimlerini bizlerle paylaşan Yalın Enstitü danışmanlarından Sayın Sedat CANOĞLU'na teşekkür ederiz.

10. KAYNAKÇA

- 1) Statistica. (2020, Nisan 1). Worldwide Automobile Production <https://www.statista.com/statistics/262747/worldwide-automobile-production-since-2000/>
- 2) Our World In Data (2019, Eylül 10). Births and Deaths. <https://ourworldindata.org/births-and-deaths>
- 3) İsmail Efil, Toplam Kalite Yönetimi ve Toplam Kaliteye Ulaşmada Bir Araç- ISO 9000 Kalite Güvence Sistemi, Bursa: Uludağ Üniversitesi Basımevi,1990, s.48
- 4) İsmail Efil, Toplam Kalite Yönetimi ve Toplam Kaliteye Ulaşmada Bir Araç- ISO 9000 Kalite Güvence Sistemi, Bursa: Uludağ Üniversitesi Basımevi,1990, s.61
- 5) Sedat Canoğlu, TPM- Kalite Bakım (Hinshitsu Hozen) Eğitim Notları
- 6) TPM® Manual Chapter 7 Quality-Hazen (Quality Maintenance), JMA Consultants Inc. TPM Company, 2013, s.2-25.

FARKLI ÖZELLİKTEKİ EKZOTERMİK BESLEYİCİ GÖMLEKLERİN KATIĞAŞMAYA ETKİSİ VE DÖKÜM SİMÜLASYON YAZILIMI İLE UYUMLULUĞU

İbrahim Hayri KESER*,***, Haydar KAHRAMAN*, Eray KOYUNCU*,
Özge AKSIN ARTOK*, Ümit COCEN**

* Çukurova Kimya Endüstrisi A.Ş., Manisa/Türkiye

** Dokuz Eylül Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, İzmir/Türkiye

*** Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir/Türkiye

ÖZET

Kalıp tasarımının verimli bir şekilde yapılması sonucunda katılma kontrolü sağlanabilir ve döküm parçasının mikroyapısı kontrol edilebilir. Kalıp tasarımında besleyici gömleğin kullanılmasıyla besleyici verimi artırılabilir. Döküm parçasında besleme kaynaklı oluşan hataların giderilebilmesi için işlevini yerine getirecek uygun özelliklerde besleyici gömleğin seçilmesi önem arz etmektedir. Yapılan bu çalışmada farklı özellikteki besleyici gömleğin MagmaSoft programına tanıtılması için yapılan deneysel çalışmalar açıklanmıştır. Deneme dökümleri ve simülasyon çalışmalarından alınan besleyici gömlek sıcaklık ölçümleri karşılaştırılmıştır. Deneme dökümleri ile simülasyonda kullanılan besleyici gömlek özelliklerinin uyumluluğu artırılmıştır. Ayrıca besleyici gömlek özellikleri simülasyon yazılımına tanıtılmış olup parçaların katılması incelenmiştir. Bunun sonucunda katılma kontrol edilmesiyle döküm hataları azaltılması ve döküm veriminin artırılması hedeflenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çelik, küresel grafitli dökme demir, besleyici gömlek, soğuma eğrisi, döküm simülasyon programı.

ABSTRACT

The solidification and microstructure of casting part can be controlled as a result of efficient mold design. Feeder efficiency can be increased by using feeder sleeve in the mold design. It is important to choose feeder sleeves with suitable properties to fulfill their functions in order to eliminate the casting defects caused by feeding. In this study, experimental studies have been explained to enter the feeder sleeve with different features into MagmaSoft. The temperature measurements of feeder sleeve were compared with simulation and trial casting. The compatibility of feeder sleeves properties between casting simulation and trial casting tried to enhance. Moreover, properties of exothermic feeder sleeve were introduced to the simulation program and the solidification of casting parts was examined. As a result, casting defect can be reduced and casting efficiency can be increased through the solidification control.

Keywords: Steel, spheroidal graphite cast iron, feeder sleeve, cooling curve, casting simulation.

GİRİŞ

Dökümde katılaşma sürecine etki eden birçok parametre bulunmaktadır. Döküm parçasının mikroyapısı ve sağlamlığı, dökülecek olan metalin katılaşma davranışına bağlı olmasının yanı sıra alaşımın bileşimi ve fiziksel özellikleri gibi birçok faktörden etkilenir. Döküm sıcaklığından itibaren soğuma sırasında sıvı, sıvı-katı ve katı aşamalarında büzülme meydana gelir. Hacim azalması kademeli olarak üç aşamada gerçekleşmektedir. Bu aşamalar sıvı büzülmesi, sıvı-katı büzülmesi, katı büzülmesi olarak ifade edilmektedir. Besleyici kullanılarak sıvı büzülmesi ve sıvı-katı büzülmesi giderilir. Katı büzülmesinin karşılanması için gerçekleştirilen kalıp tasarımlarında model payı hesaba katılarak olası hatalar giderilmeye çalışılmaktadır [1].

Dökümlerde katılaşma ve besleme mekanizmaları birlikte dikkate alındığında özellikle katılaşma sırasında ortaya çıkan büzülmeler sonucu taneler ve dentritler arasında oluşabilecek hataların giderilmesi için besleyici kullanımı gerekmektedir. Kullanılan besleyicinin işlevini yerine getirebilmesi için besleyici tasarım prensiplerine uygun olacak şekilde tasarlanmalıdır. Besleyici tasarımında modül ve hacim değerleriyle birlikte besleme mesafesi göz önünde bulundurulmalıdır ve her üç kriter karşılanmalıdır [1].

Döküm parçasının katılaşması sırasında besleyicinin işlevi kullanılan besleyici şekli, boyutu, konumu bağlı olarak değişmektedir. Ayrıca kalıp tasarımında soğutma elemanı kullanılması, yalıtkan ve ekzotermik bileşiklerin kullanılması, döküm parçasının kesit durumu besleyicinin işlevini değiştirecektir. Besleyici işlevinin değişmesi sonucunda besleyici veriminde değişimler olacaktır. Besleyici verimini arttırmak amacıyla besleyici gömlekler kullanılmaktadır. Besleyici gömlekler 3 ana özellikleri ile sınıflandırılmaktadır; ekzotermik, yalıtım özellikli, hem ekzotermik hem de yalıtım özellikli besleyici gömlekler [2].

Genel olarak besleyici gömleklerin temel bileşenleri metalik alüminyum, oksitleyiciler, ateşleyiciler ve refrakter malzemelerden oluşmaktadır. Besleyici gömleklerin yapısında bulunan metalik alüminyum ile metal oksitlerin reaksiyona girmesi sonucunda yüksek enerjiler ortaya çıkmaktadır. Bu reaksiyonlar alüminatermik reaksiyonlar olarak adlandırılmaktadır (Eşitlik 1 ve Eşitlik 2). Bu reaksiyonların başlaması için ateşleyiciler kullanılmaktadır [2]. Reaksiyonlar sonucunda ortaya çıkan ısının yayılımını azaltmak için besleyici gömlek karışımlarında yalıtım özelliğine sahip dolgu malzemeleri kullanılmaktadır [3].



Ekzotermik ve yalıtım özellikli besleyici gömleklerin kullanılmasıyla besleyici metalinin daha geç katılaşması sağlanarak döküm parçasına sıvı metal akışı sürekli olarak sağlanır ve döküm parçası hata içermeden üretilebilir. Silindirik besleyiciler için %14 olan besleyici verimi besleyici gömleklerin kullanılmasıyla %80'e kadar artmaktadır [1]. Bundan dolayı besleyici gömlek kullanımı yaygınlaşmaktadır.

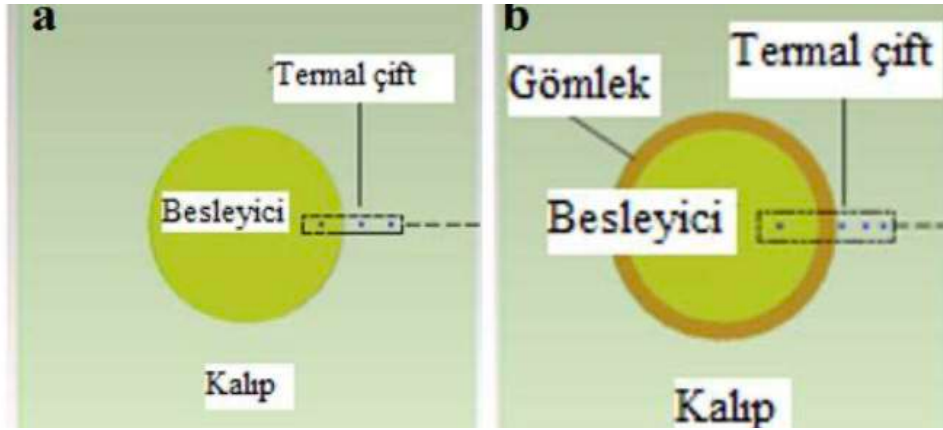
Simülasyon yazılımları dökümhanelerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Simülasyon yazılımları kalıp tasarımını kolay, ekonomik ve doğru yapabilmeye olanak sağlayarak deneme ve yanılma maliyetini ortadan kaldırmaktadır. Bilgisayar ortamında üç boyutlu katı model üzerinde, kaç tane ve hangi boyutlarda besleyicinin gerekli olduğunu ve nereye yerleştirileceği belirlenerek yolluk-besleyici tasarımı yapılabilir. Tasarımı yapılan parçanın simülasyon sonuçları bilgisayar ortamında katılaşma davranışı ve çekinti oluşumu incelenebilir.

Simülasyon çalışmalarının hedefi döküm parçasını hata içermeyecek şekilde üretmektir. Bu kapsamda optimum tasarımlara ulaşmak için çekinti hatalarının analizi ve soğuma eğrisi grafiklerinin değerlendirilmesi önem arz etmektedir. Çalışmalarda ölçülen sıcaklık değerleri ile gerçekte yapılan çalışmalarda ölçülen sıcaklık değerlerinin uyumlu olması simülasyonun güvenilirliğini arttıracaktır. Bu kapsamda optimum tasarımlara ulaşmak için gerçekte yapılan döküm çalışmalarının sıcaklık ölçümleri ve çekinti görüntüleri ile simülasyon sonuçları karşılaştırılmalıdır. Simülasyon sonuçlarının doğruluğunu arttırmak amacıyla kayıtlı malzeme datalarının doğruluğunun teyit edilmesi gerekmektedir. Döküm parçasının sağlam üretilmesi için kaçınılmaz olarak kullanılan besleyici gömleklerin termo-fiziksel özelliklerinin belirlenmesi bu açıdan önemlidir [4].

Literatürde yapılan çalışmalarda kum, ekzotermik ve yalıtım özellikli besleyici olmak üzere farklı türlerde besleyiciler kullanılmıştır. Kum besleyici kullanılarak yapılan simülasyon çalışmaları incelendiğinde döküm parçasının çekinti miktarı ve verimi değerlendirilerek söz konusu döküm parçası için optimum besleyici boyutlarını elde etmek hedeflenmiştir. Bu hedef doğrultusunda izlenen yöntemler ayrıntılı olarak açıklanmıştır. İncelenen çalışmalarda genellikle simülasyon yazılımından ve döküm denemelerinden ölçülen sıcaklık değerleri karşı-

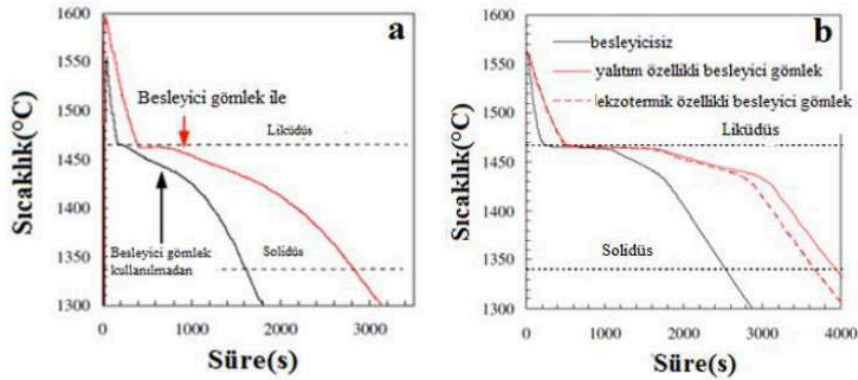
laştırılmıştır. Döküm denemelerinde kullanılan besleyici gömleğin türüne göre soğuma eğrilerinin nasıl değiştiği sıcaklık-süre grafikleri ile ortaya konulmuştur. Bundan dolayı yapılan literatür çalışmaları incelenmiştir.

Hardin ve diğer., (2013) besleyici gömleklerin termo-fiziksel özelliklerini belirlemek için yapılan çalışmaları açıklamışlardır. Gerçekleştirilen çalışmada, besleyici gömleklerin farklı bölgelerinden termal çift yardımıyla sıcaklık ölçümleri alınmıştır. Araştırmacılar referans dökümü kum besleyici kullanılarak yapılan döküm çalışması olduğunu belirtmişlerdir. Referans dökümün ve termal çiftlerin kalıptaki konumları Şekil 1a'da, besleyici gömlekler için sıcaklık ölçümü alınan bölgeler Şekil 1'de gösterilmektedir [4].



Şekil 1: a) Referans dökümün üst görünüşü, b) Termal çiftlerin kalıp içindeki pozisyonu[4].

Döküm çalışmalarında; metalin sıcaklığını ölçmek için B-tipi termal çift, kalıp kumundan sıcaklık verileri almak için K-tipi termal çift kullanılmıştır. Sıcaklık-süre grafikleri çizilerek referans dökümün, ekzotermik ve yalıtım özellikli besleyici gömleklerin soğuma eğrisi karşılaştırılmıştır (Şekil 2) [4]. Döküm çalışmalarında ekzotermik ve yalıtım özellikli besleyici gömlekler kullanılmıştır ve döküm alaşımı AISI 1040'dır. Kalıp kumu olarak %1,25 pepset bağlayıcılı silis kumu kullanılmıştır[4].

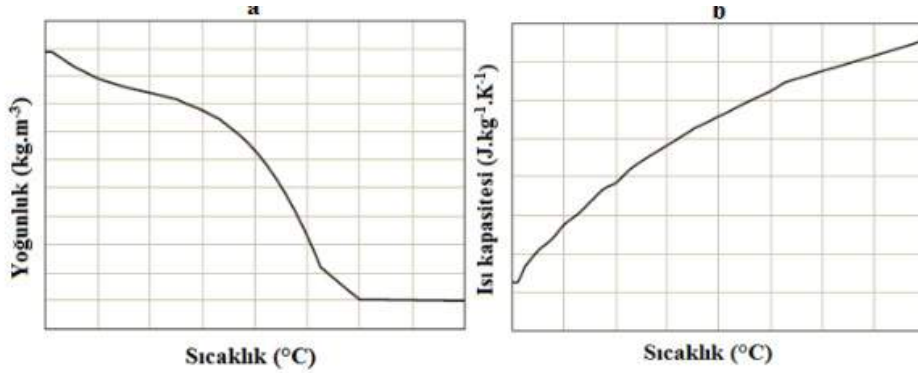


Şekil 2: a) Sıvı metalin soğuma eğrisi, b) Farklı besleyici gömleklerin kullanılması sonucunda sıvı metalin soğuma eğrisi[4].

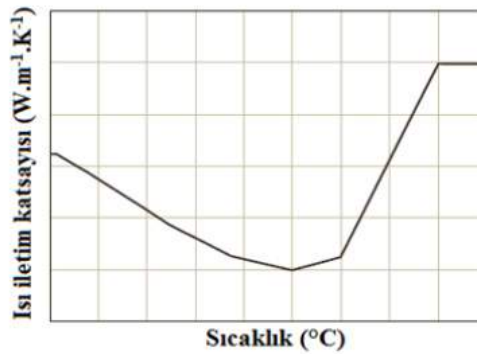
Besleyici gömlek kullanılmadan, ekzotermik ve yalıtım esaslı besleyici gömlek kullanılan üç farklı tasarım için simülasyon sonuçlarına bakılarak besleyicilerin çekinti görüntüleri karşılaştırılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde farklı özellikli besleyiciler kullanılarak yapılan deneme dökümlerindeki döküm parçası ile besleyici içerisindeki çekintinin bitiş noktası arasındaki mesafe karşılaştırılarak uyumluluğu incelenmiştir [4].

Midea ve diğer., (2007) ekzotermik besleyici gömleklerin termo-fiziksel özelliklerini belirlemişlerdir ve bu özelliklerin sıcaklıkla değişimini incelemişlerdir. Besleyici gömleklerin termo-fiziksel özellikleri yoğunluk, ısı iletim katsayısı ve ısı kapasitesi olarak belirtilmiştir. Yoğunluğun sıcaklıkla değişimi push rod dilatometre ile yapılmıştır. Sıcaklığın artmasıyla yoğunluğun ilk başta azaldığı ve artan sıcaklıkla sabit kaldığı Şekil 3'te gö-

rülmektedir. Isı kapasitesinin sıcaklıkla değişimi DSC analizi yapılarak incelenmiştir. Sıcaklığın artması ile ısı kapasitesi parabolik olarak artmaktadır. Lazer flash yöntemi ile besleyici gömleğin ısı iletim katsayısının sıcaklıkla değişimi incelenmiştir. Isı iletim katsayısı değerinin sıcaklık ile ilişkisi, yoğunluk ve ısı kapasitesinin sıcaklık ile olan ilişkisinden farklı olduğu grafiklerden anlaşılmaktadır. Isı iletim katsayısı-sıcaklık grafiği incelendiğinde, ısı iletim katsayısı sıcaklık artışı ile ilk başta azalmaktadır, ancak sıcaklığın daha da artmasıyla ısı iletim katsayısı artmaktadır (Şekil 4)[5].



Şekil 3 : a) Besleyici gömleğin yoğunluk-sıcaklık grafiği, b) Besleyici gömleğin ısı kapasitesi- sıcaklık grafiği [5].

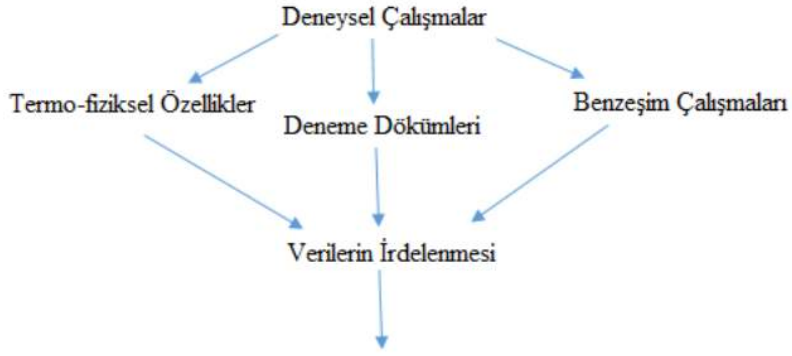


Şekil 4 : Besleyici gömleğin ısı iletim katsayısı-sıcaklık grafiği [5]

Yapılan literatür çalışmaları incelendiğinde araştırmacıların dökümhane kullanılan besleyici gömlekler ile simülasyonda seçilen besleyici gömleklerin termo-fiziksel özelliklerinin uyumluluğunu arttırarak doğru sonuçlara ulaşmayı hedeflemişlerdir. Deneme dökümleri ile simülasyon sonuçları arasındaki muhtemel uyumsuzlukları en aza indirmek amacıyla döküm çalışmaları yapılmıştır ve soğuma eğrileri çıkarılmıştır. Sonuç olarak besleyici gömlek özelliklerinin döküm simülasyon yazılımında doğru tanımlanması sonucunda hata oranı düşmekte oldukça düşmektedir. Çukurova Kimya Endüstrisi A.Ş.'nin ekzotermik karakterli besleyici gömleklerinin MagmaSoft veri tabanında tanımlanması amaçlanarak muhtemel uyumsuzlukların önüne geçilmesi için çalışmalar yapılmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Döküm simülasyon yazılımında besleyici gömleklerin tanıtılması veya mevcut verilerin iyileştirilmesi için özelliklerinin karakterize edilmesi ve uygulamalı olarak irdelenmesi gerekmektedir. Besleyici gömlek işlevinin iyileştirilmesi için gömlek karakterizasyonu, deneme dökümleri, dökülen metalin çekinti görüntüleri karşılaştırılması ve simülasyon çalışmaları yapılmıştır. Deneysel çalışmaların akış şeması Şekil 6'da gösterilmektedir.



Şekil 6 : Deneysel çalışmaların şematik gösterimi

Deneysel çalışmalarda Çukurova Kimya Endüstrisi A. Ş'de üretilen ekzotermik özellikleri farklı olan iki farklı besleyici gömlek kullanılmıştır. Besleyici gömlekler A ve B şeklinde isimlendirilmiştir. Termal difüzyon testi ile A ve B besleyici gömleklerin termal özellikleri simülasyonda kullanılmak üzere belirlenmiştir.

Döküm simülasyon yazılımında besleyici gömlek malzeme datalarının doğru tanıtılması için sadece besleyici gömlek özelliklerinin enstrümantal analizleri yeterli değildir. Deneme dökümleri yapılarak soğuma eğrisi ve besleyici gömlek metalinin çekinti görünümü incelenmelidir. Bu kapsamda deneme dökümleri için küp model ve besleyici gömlek boyutu hesaplanmıştır. Besleyici gömlek hesaplamaları modül, hacim ve besleme mesafesi kriterleri göz önünde bulundurularak hesaplanmıştır. Döküm alaşımı MagmaSoft malzeme veri tabanında bulunan EU EN 20Mn5 olarak belirlenmiştir. Döküm kumu Alfanol bağlayıcı içeren silis kumudur. Şekil 7'de gösterilen modeller üzerine besleyici gömlekler yerleştirilmiştir ve döküm sırasında besleyici gömleklerden ve kumun farklı bölgelerinden literatür çalışmaların belirtildiği gibi sıcaklık ölçümleri kayıt altına alınmıştır [2, 4, 6]. Deneme dökümlerinin ardından sıcaklık ölçümlerinin süreye bağlı grafikleri çizilerek soğuma eğrileri oluşturulmuştur. Deneysel çalışmalarda ölçümler sonucu çıkarılan soğuma eğrileri ile simülasyondaki soğuma eğrileri karşılaştırılmıştır. Ayrıca deneme dökümü sonrası besleyici gömlek metalinin çekinti görünümü ile simülasyondan elde edilen çekinti görünümü karşılaştırılmıştır. Belirtilen deneysel yöntemler doğrultusunda MagmaSoft optimizasyon programı kullanılarak simülasyon çalışmalarında besleyici gömlek özelliğine etki eden parametreler değiştirilmiş ve iyileştirme çalışmaları yapılmıştır.



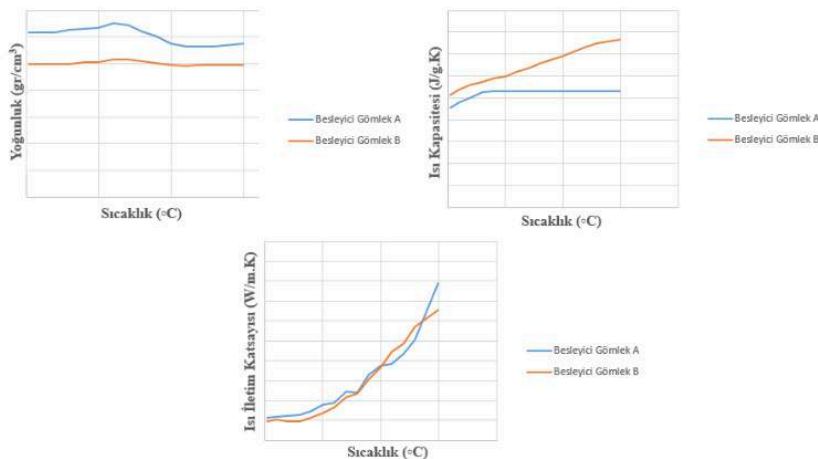
Şekil 7 : Deneme dökümü kalıbın hazırlanması.

Döküm simülasyon çalışmaları sonucuna etki eden parametreler malzeme, döküm ve simülasyon olmak üzere 3 ana başlık altında toplanabilir. Döküm malzemesi, kalıp malzemesi ve kalıp elemanları (besleyici gömlek, çiller, filtreler gibi) ile kalıp boşluğunun durumu (strafor, hava ile dolu olması gibi) malzeme parametreleri olarak değerlendirilebilir. Döküm sıcaklığı, döküm hızı, döküm yapılan potanın durumu ve kalıp sıcaklığı döküm parametreleri, hücre sayısı, hücre boyutu ve ısı yayınımlı durumları da simülasyon parametreleridir. Simülasyon sonuçlarının güvenilirliğini arttırmak amacıyla söz konusu parametreler dökümhane koşullarına göre değiştirilebilir. Dökümü planlanan parçanın kalıp tasarımı dikkate alınarak kalıp malzemesi seçimi yapılır. Kalıp tasarımında kullanılması düşünülen diğer malzemelerin özelliklerinin programda belirtilen özellikler ile aynı olması simülasyon sonuçlarının güvenilirliğini arttıracaktır. Yapılan simülasyon çalışmalarında deneme dökümlerinde seçilen alaşım ve döküm kumu seçilmiştir. Ayrıca deneme dökümlerinde ölçülen döküm sıcaklığı ve süresi simülasyonda kullanılmıştır. Toplam hücre sayıları birbirine yakındır. Bu doğrultuda besleyici gömlek özellikleri dışındaki parametreler sabitlenmiştir.

Deneme dökümleri Pınar Döküm A.Ş.'de gerçekleştirilmiştir.

3. BULGULAR

3.1. Besleyici Gömleklerin Termo-Fiziksel Özellikleri: Besleyici gömleklerin sıcaklık artışına bağlı olarak yapısında meydana gelen reaksiyonların türü, reaksiyonların başlama-bitiş sıcaklıkları ve süreleri, gerçekleşen reaksiyonlara bağlı olarak besleyici gömlek bileşiminde meydana gelen faz değişimleri besleyici gömleklerin yüksek sıcaklıklardaki termal davranışını etkilemektedir. Yüksek sıcaklıklardaki termal davranışın oda sıcaklığına göre farklılık göstermesinden dolayı sıcaklığa bağlı olarak besleyici gömleklerin yoğunluk, ısı kapasitesi ve ısı iletim katsayısının değişimi tespit edilmelidir. Bu doğrultuda farklı özellikteki A ve B besleyici gömleklerin sıcaklığa bağlı yoğunluk, ısı kapasitesi ve ısı iletim katsayı değerlerinin değişimi Şekil 8 ve Şekil 9'da gösterilmektedir. Aşağıdaki şekiller incelendiğinde sıcaklık artışı ile her iki besleyici gömleğin yoğunluk değeri ilk başta artmakta ardından azalmaktadır. Isı kapasitesinin sıcaklığa bağlı davranışı incelendiğinde A besleyici gömlek için başlangıçta doğrusal bir artış ardında sabit kalmaktadır. B besleyici gömlekte ise ısı kapasitesi artışının doğrusal olduğu tespit edilmiştir ve A besleyici gömleğe göre ısı kapasitesi artışı daha azdır. Isı iletim katsayısı değişimleri incelendiğinde her iki besleyici gömlek için benzer grafikler elde edilmiştir. A ve B besleyici gömlekleri farklı kompozisyona sahip olmasından dolayı grafiklerde gösterildiği yüksek sıcaklıklarda farklı davranışlar sergilemektedirler. Aşağıdaki şekillerde gösterilen grafiklerin sıcaklığa bağlı davranışı literatür çalışmalarıyla uyumludur [2]. A ve B besleyici gömlekleri için elde edilen veriler simülasyonda kullanılmıştır.



Şekil 8 : A ve B besleyici gömleğin sıcaklığa bağlı özelliklerinin değişimi.

3.2. Deneme Dökümleri: Kalıp tasarımına ilişkin bilgiler deneysel çalışmalar kısmında açıklanmıştır. Deneme dökümlerine ilişkin parametreler Çizelge 1’de gösterilmektedir. A ve B besleyici gömlekler kullanılarak 4 farklı döküm denemesi yapılmıştır. Deneme dökümü sonrasında besleyici gömlek metalinin çekinti görünümünü incelemek amacıyla kesme işlemi yapılmıştır ve simülasyon çalışmalarıyla karşılaştırmak için görüntüler alınmıştır (Şekil 9).

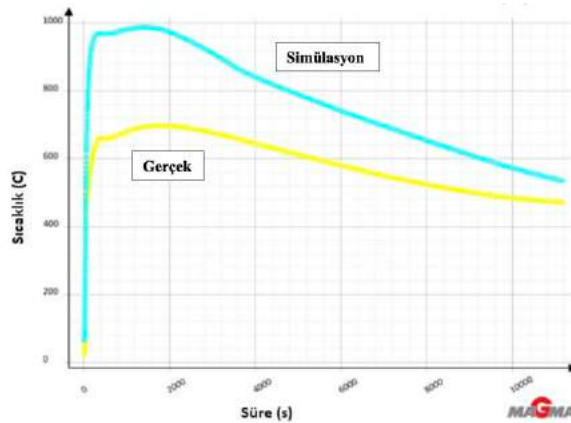
Döküm Alaşımı	20Mn5	20Mn5	20Mn5	20Mn5
Besleyici Tipi	A	A	B	B
Ocak Sıcaklığı (°C)	1650	1640	1650	1650
Döküm Sıcaklığı (°C)	1610	1610	1610	1600
Döküm Süresi (s)	12	11	12	13

Çizelge 1: Döküm parametreleri.

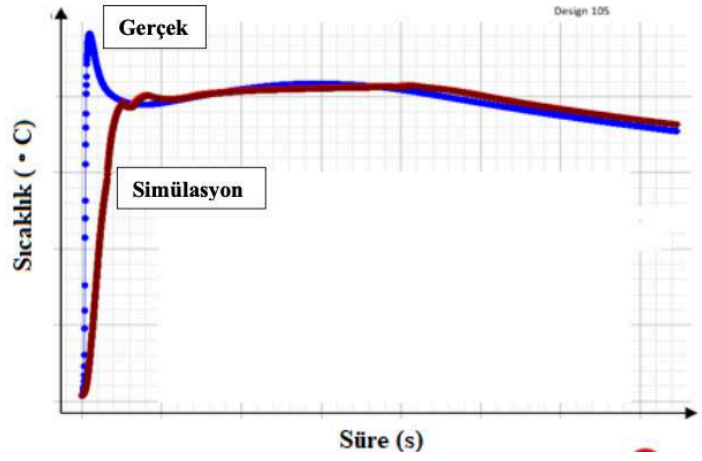


Şekil 9 : 1; A besleyici gömleğin kullanıldığı deneme dökümü sonrası besleyici gömlek metalinin çekinti görünümü, 2; B besleyici gömleğin kullanıldığı deneme dökümü sonrası besleyici gömlek metalinin çekinti görünümü.

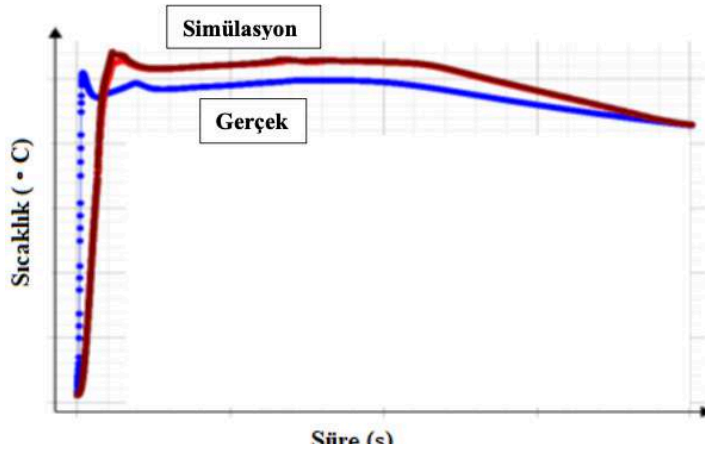
3.3. Simülasyon Çalışmaları: Besleyici gömlek özelliklerine etki eden parametreler ısı iletim katsayısı, yoğunluk, ısı kapasitesi ve bu özelliklere bağlı olarak ateşleme sıcaklığı, yanma ısı ve kapasitesidir. Besleyici gömlek analiz sonuçlarını kullanarak yaptığımız simülasyonlarda Şekil 10’da görüldüğü gibi oldukça büyük farklılıklar görülmüştür. Simülasyon çalışmalarında bir önceki bölümde (Bölüm 3.1.) açıklandığı gibi tespit edilen besleyici gömlek özellikleri sabit bırakılarak ateşleme sıcaklığı, yanma ısı ve yanma kapasitesi değerleri değiştirilmiştir. Magma-Soft optimizasyon programına parametrelerin hangi aralıklarda değişeceği girilmiştir. Farklı parametrelerin soğuma eğrisine olan etkisi yorumlanarak deneysel çalışmalardaki soğuma eğrileri ile simülasyondaki soğuma eğrilerini uyumlu hale getirmek için simülasyonlar yapılmıştır. A ve B besleyici gömlekleri için ilk başta yapılan çalışmalara örnek grafikler Şekil 11’deki gibidir. Ardından yapılan iyileştirmeler ile Şekil 12 ve Şekil 13’teki grafikler elde edilmiştir. Şekil 12 ve 13 incelendiğinde iyileştirme çalışmalarının sonuç verdiği görülmektedir.



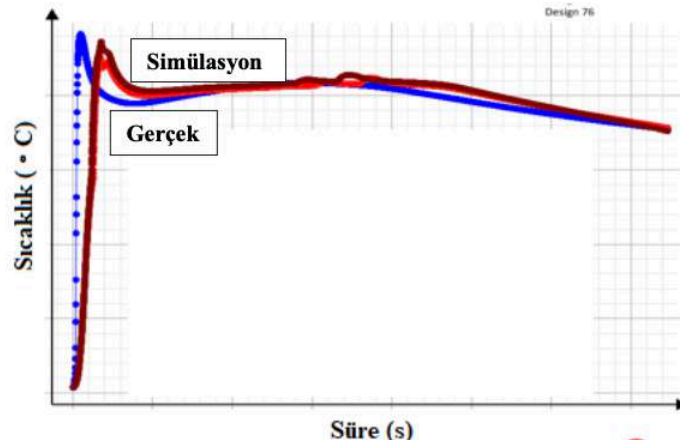
Şekil 10 : Simülasyon çalışmalarının başlangıç aşamasında deneysel ve deneme dökümü soğuma eğrilerinin karşılaştırılması.



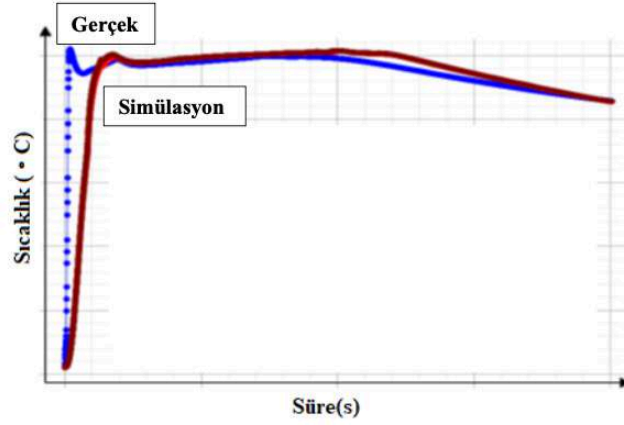
Şekil 11: Simülasyon çalışmalarının başlangıç aşamasında deneysel ve deneme dökümü soğuma eğrilerinin karşılaştırılması.



Şekil 12: Simülasyon çalışmalarının başlangıç aşamasında B besleyici gömlek için deneysel ve simülasyon soğuma eğrilerinin karşılaştırılması.

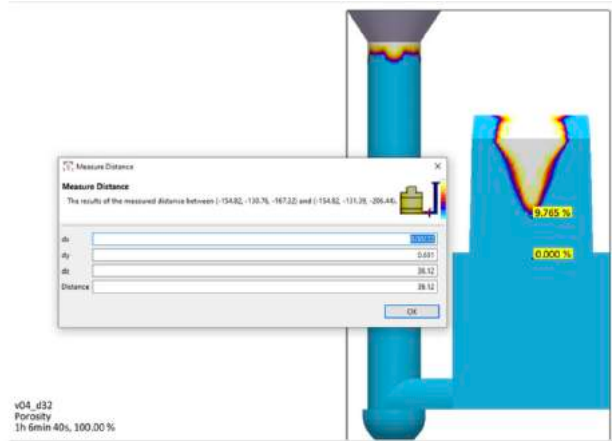


Şekil 13: Optimizasyon çalışmaları sonucunda A isimli besleyici gömlek için deneysel ve simülasyondan elde edilen soğuma eğrilerinin karşılaştırılması.

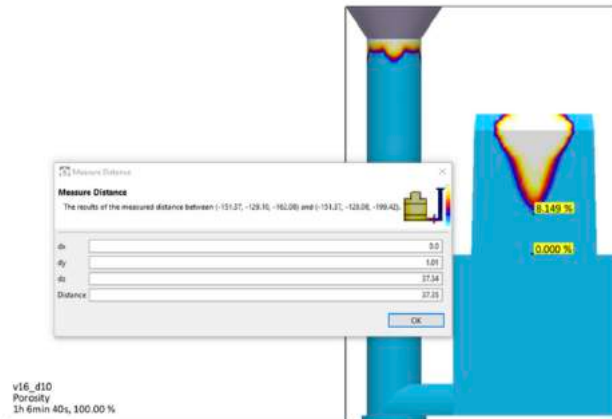


Şekil 14: Optimizasyon çalışmaları sonucunda B isimli besleyici gömlek için deneysel ve simülasyonda elde edilen soğuma eğrilerinin karşılaştırılması.

Simülasyon yazılımına besleyici gömleklerin tanımlanmasının doğru bir şekilde yapılması için son olarak deneysel ve simülasyon çalışmalarının çekinti görüntülerinin karşılaştırılması gerekmektedir. Şekil 9 incelendiğinde deneme dökümü sonrası A ve B besleyici gömlekleri için besleyici gömlek metalinde çekinti bitiş noktasının döküm parçasına olan uzaklığı sırasıyla 30 mm ve 40 mm'dir. Şekil 15 ve Şekil 16 incelendiğinde deneysel çalışmalar ile simülasyonun uyumlu olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 15: Simülasyon çalışmalarında elde edilen çekinti görüntüleri, A besleyici gömlek metali



Şekil 16: Simülasyon çalışmalarında elde edilen çekinti görüntüleri, A besleyici gömlek metali

Sonuç olarak yapılan bu çalışma ile simülasyon yazılımındaki hataları azaltmak amacıyla endüstride yaygın olarak kullanılan ekzotermik besleyici gömleklerin özelliklerinin belirlenmesine yönelik yöntemler açıklanmıştır. Deneysel çalışmaların sonucunda farklı özelliklere sahip Çukurova Kimya Endüstrisi A.Ş.'nin ürettiği A ve B tipi besleyici gömleklerin MagmaSoft programına tanımı gerçekleştirilmiştir. Bunun sonucunda dökümhanelerde kullanılan besleyici gömlek özellikleri ile simülasyon çalışmalarının sonuçları arasındaki farklar azaltılarak verim değeri yüksek ve hata payı az çalışmaların yapılmasının önü açılmıştır.

4. TEŞEKKÜR

Döküm simülasyon çalışmaları kapsamında çalışmaların iyileştirilmesine katkı sağlayan MagmaSoft ekibinde Sayın Murat Akçin ve Eric Hepp'e, döküm denemesi çalışmalarında bizlere kapılarını sonuna kadar açan ve desteklerini esirgemeyen Pınar Döküm A.Ş ailesine ve Muhammed Melih Çoban'a teşekkürü bir borç biliriz.

5. KAYNAKÇA

- 1) Campbell, J., 2003, Casting practice. Butterworth-Heinemann.
- 2) Neu, M. G. ve Gough, M. J., 1993, Patent No. US 005180759A. Birmingham, England.
- 3) Twardowska, H. ve Aufderheide, R. C. (2002). Patent No. US 006360808B1. Dublin Ohio.
- 4) 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.
- 13
- 5) 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.
- 6) Thomas, J.W., Hardin, R.A. ve Beckermann, C., "Thermophysical properties for ASK chemical and exochem riser sleeves for steel castings. Proceedings of the 68th SFSA Technical and Operating Conference, 2014, Paper No. 4.6, Steel Founders' Society of America, Chicago, IL.

YÜKSEK PERFORMANSA SAHİP YENİ NESİL FURAN REÇİNESİ

Hande ÖZCAN*, Serkan ÇELİK*, Özge AKSIN ARTOK*

**Çukurova Kimya Endüstrisi A.Ş., Manisa/Türkiye*

ÖZET

Yüksek tonajlı dökme demir ve çelik alaşımlarının dökümünde yüksek kalıp dayanımına sahip furan reçinelerinin önemli avantajları bulunmaktadır. Furan reçineleri asit içeren katalizörler ile sertleşmektedir. Organik reçinelerin bir kısmı döküm sıcaklığı ile yanma gazlarına dönüşerek kalıptan uzaklaşmaktadır. Bir kısmı da bozunma sıcaklığına ulaşmadığı için kumda birikmektedir. Azot içeren furan reçinelerinin kullanıldığı kumlarda azot birikmesi kontrol altında tutulmalıdır. Azot, sfero dökümde yüzey ve yüzeye yakın bölgelerde mikro yapının bozulmasına neden olmaktadır. Bu çalışmada, geliştirilen düşük azotlu yeni nesil furan reçinesi ile kuma katılan reçine gereksinimi azaltılmıştır. Düşük emisyon değerine sahip reçine kullanımı ile kalıplama sırasında rahatsız edici koku minimuma indirilmiştir. Yeni nesil furan reçinesinin kalıp dayanım değerleri ve döküm yüzeyine etkileri farklı metotlar ile incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Furan reçinesi, azot hatası, havada sertleşen, sfero döküm

ABSTRACT

Furan resins have excellent advantages in large scale cast iron and steel casting that required high strength mold. Furan resins are hardened with acids. Some of the organic resins convert to combustion gases with casting temperature and release from the sand mold. The other part of resin could not reach that temperate; therefore, organic compounds become cumulative in the sand. Nitrogen content should be under controlled in regenerated sand when using furan resin. The amount of nitrogen in molding sand can cause surface defects in cast iron. In this study, the new generation furan resin provides low nitrogen content and low resin consumption. The strong odor during sand molding is eliminated with low emission. Sand mold strengths and casting surfaces are analysed with different methods to determinate properties of new generation furan resin.

Keywords: Furan resin, nitrogen defects, no-bake system, cast iron

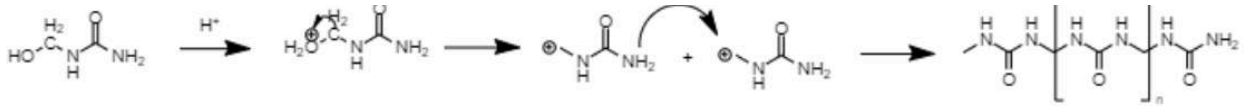
1. GİRİŞ

Asitler ile havada sertleşen furan reçineleri furfuril alkol ortamında çözünen bağlayıcılardır. Bu sistem reçine ve asit bazlı sertleştirici olarak iki kısımdan oluşmaktadır. Orta ve büyük kalıplarda etkin biçimde kullanılmaktadır. Havada sertleşen furan reçineleri ile üretilen kum kalıpları hızla sertleşerek yüksek mukavemet değerlerine ulaşmaktadır. Bu reçine sistemi ile hazırlanan kum kalıplarının rejenerasyon verimi yüksektir. [1, 2]

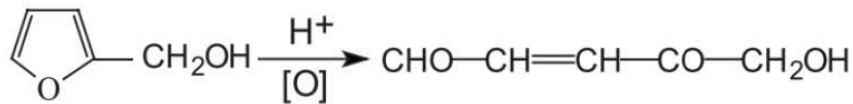
Furan reçineleri üre-formaldehit furan ve fenol-formaldehit furan olarak ikiye ayrılmaktadır. Kuma göre kullanım oranları kum tane boyut dağılımına, yeni:rejener kum oranına bağlı olarak değişebilmektedir. Genel olarak kumun % 1.5 - 2.5 oranında reçine, reçinenin % 30 - 40 oranında sertleştirici asit seçimi yapılmaktadır. [1, 3]

Asit içeren sertleştiriciler inorganik asitler veya organik asit katkılı asit karışımlarından oluşmaktadır. İnorganik asitlere örnek olarak aromatik, alifatik sülfonik asit ve fosforik asitler verilmektedir. Aromatik sülfonik asitlerde p-toluen sülfonik asit, ksilen sülfonik asit ve benzen sülfonik asit genellikle kullanılmaktadır. Rejener kum oranının yüksek olmasıyla birlikte sülfonik asit katalizörlerinden gelen kükürt miktarları kritik seviyeleri geçtiğinde döküm yüzey kalitesini kötü etkileyebilmektedir. Bu nedenle furan reçinelerini sertleştirmek için seçilen karışımda laktik asit gibi zayıf organik asitler değerlendirilmektedir. [1, 2, 3]

Üre-formaldehit furan reçineleri farklı mol oranlarında sentezlenen tutkalların belli oranda furfuril alkolde çözünmesi ile hazırlanmaktadır. Bu tip reçineler sertleştirilirken furfuril alkol ve üre-formaldehit tutkalı fiziksel karışım halinde olduğundan iki farklı reaksiyon ile kalıp dayanımı oluşturulmaktadır. Üre-formaldehit ve furfuril alkolün asit varlığında reaksiyonları Şekil 1 ve Şekil 2'de verilmiştir. [4, 5]

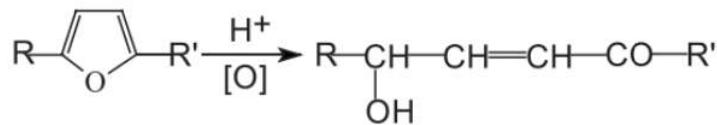


Şekil 1: Üre-formaldehit reçinesinin asit ortamında reaksiyon mekanizması [5]



Şekil 2: Furfuril alkolün asit ortamında reaksiyonu [4]

Yeni nesil furan reçinelerinde üre, aldehit ve furfuril alkol hammaddeleri ile reçine sentezlenmektedir. (Şekil 3) Final üründe furfuril alkol hem serbest halde bulunurken hem de polimer yapıya dahil olmaktadır. [4]

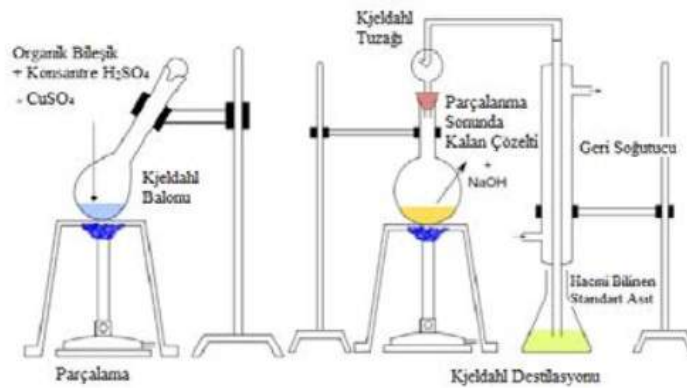


Şekil 3: Furan halkasının bağlı yapıların asit ortamında reaksiyonu [4]

Furan reçinesi ile yapılan kum kalıba metal dolduğunda bağlayıcı piroliz olmaktadır. Piroliz oksijensiz ortamda organik yapıların bozunmasıdır. Organik bağlayıcılar kullanılarak hazırlanan kum kalıp piroliz olduğunda karbon kum tanelerinin arasında sıvı metal tarafından ıslanmayan bir yüzey oluşturmaktadır. Karbonun yarattığı bu etki döküm yüzeyinin pürüzsüz olmasına katkı sağlamaktadır. Karbon ile birlikte kükürt ve azot da piroliz sonucu kum kalıp taneciklerinin arasında yer alarak yüzey hatalarına sebep olmaktadır. Üre-formaldehit furan reçine kullanımı rejenere kumda kükürt ve azotun birikmesine neden 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 hataları, sıvı metal içinde kalıpta yer alan organik bağlayıcı kaynaklı çözünmüş olan gazların katılma sırasında çözünürlüklerinin azalması ile oluşmaktadır. [2, 6]

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Reçine üretimi sırasında ve son ürünün kimyasal - mekanik özelliklerinin değerlendirilmesi gerekmektedir. Reçine sentezi sırasında reaksiyona girmeyen monomer miktarı Agilent 7890B gaz kromatografisi ile takip edilirken, serbest formaldehit miktarı ISO 11402 standardına göre tayin edilmektedir. Reçinede bulunan azot miktarı Kjeldahl metodu (Şekil 4) ve üniversiteden hizmet alımı yapılarak Perkin Elmer 2400 CHNS/O Series II cihazında CHNS ile tayin edilmektedir.



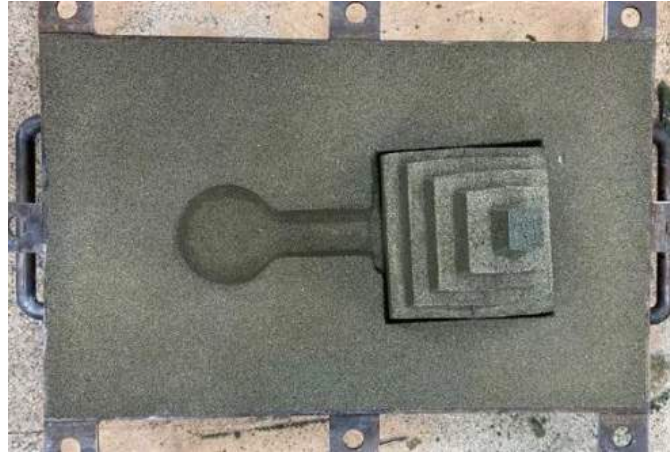
Şekil 4 : Kjeldahl metot şeması

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 testinde 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 direk etkileyen kil miktarı tayini de yapılmaktadır. Rejenere kumda birikmiş azot miktarı Kjeldahl yöntemi ve LECO ON 836 Azot Oksijen Tayin Cihazı ile tespit edilmektedir. Kumda biriken kükürt miktarı gravimetrik yöntem ve LECO C-S 230 Karbon Kükürt Tayin Cihazı ile laboratuvarında test 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 GOST 23409.7-78 standartına uygun kesme maça sandıklarını doldurularak kalıplanmaktadır. 4 adet kalıplanan numune maçalar sıyırılma sürelerinin sonunda kalıptan çıkartılarak kum karıştırma saatinin 4., 6., 12. ve 24. saatinde DISA cihazında dayanım değerleri ölçülerek kayıt altına alınmaktadır.

Dökümhane uygulamasında yüzey incelemesi ve azot hatalarının tespiti için özel tasarlanmış maça ve kalıp tasarımı Şekil 5’de görülmektedir. İstenen alaşım dökülerek farklı metotlarda incelemeler yapılmaktadır. Yüzeyden alınan talaş numunelerinde azot miktarı LECO ON 836 cihazı ile tespit edilmektedir.



Şekil 5 : Furan reçinesi ile kalıplanan kum kalıp ve maça görüntüsü

3. BULGULAR

Furfuril alkol, aldehit ve üre ile organik ve/veya inorganik katalizörler varlığında furan reçineleri sentezlenmektedir. CS 4426 kodu ile üretilen bu üründe su miktarı polikondenzasyon tepkimeleri sonucu oluşmaktadır. Azot kaynağı olan üre hammaddesinin girdisi her parti üründe sabit değerde tutulmaktadır. Üre-formaldehit tutkalı ve furfuril alkol ile yapılan geleneksel üre-formaldehit furan reçinelerinde azot miktarı değişkenlik göstermektedir. Aşağıda yer alan Çizelge 1’de geleneksel reçine ile CS 4426 reçinelerinin ürün spesifikasyon değerleri yer almaktadır.

	CS 4426	Geleneksel Reçine
Serbest Formaldehit, %	≤ 0.3	≤ 0.5
Su Miktarı, %	11 - 14	≤ 14
pH, 25 °C	7.4 – 7.6	7.0 – 8.0
Katı Madde Miktarı, %	21.5 – 23.0	10 - 14
Serbest Furfuril Alkol Miktarı, GC %	63.5 - 66	76 - 78
Azot Miktarı, Kjeldahl, %	2.70	≤ 3.00

Çizelge 1 : Üre-formaldehit furan reçine spesifikasyon değerleri

Laboratuvarda yapılan reçine performans çalışmalarında hem yeni kum hem de rejenere kum numuneleri kullanılmaktadır. Laboratuvarda yer alan kum numunelerine ait test sonuçları Çizelge 2’de yer almaktadır.

	Yeni Kum	Rejenere Kum
AFS No.	45 - 50	40 - 45
Kil Miktarı, %	≤ 0.20	-
Yanma Kaybı, %	-	3.5 – 4.0
pH, 25 °C	6.5 – 7.0	4.1 – 4.4
Kükürt Miktarı, %	-	0.10 – 0.15
Azot Miktarı, %	-	0.10 – 0.15

Çizelge 2 : Laboratuvar testlerinde kullanılan kum test sonuçları

Maça dayanım testinde reçine miktarı kuma göre % 1.0, reçineye göre sertleştirici miktarı % 40 olarak gerçekleştirilmiştir. Ortam sıcaklığı ve kum karışım sıcaklığı kaydedilmiştir. Kesme dayanım değerlerinin ölçüm birimi N/cm² dir. Çizelge 3 ve Çizelge 4’de verilen karışım sıcaklığı, sıyırılma süresi ve saatlere göre verilen dayanım değerleri birçok defa tekrarlanarak ortalama değerler kaydedilmiştir.

Kum (%80 Rejenere Kum + %20 Yeni Kum) % 1.0 Reçine % 40 Sertleştirici			Ortam Sıcaklığı: 25 °C			
Reçine Kodu	Karışım Sıcaklığı, °C	Sıyırılma Süresi, dk	4 saat	6 saat	12 saat	24 saat
CS 4426	29.7	35	232	240	246	260
Geleneksel Reçine	29.2	45	218	220	222	230

Çizelge 3 : Rejenere ve yeni kum ile yapılan kesme dayanım testi, N/cm²

Kum (% 100 Yeni Kum) % 1.0 Reçine % 40 Sertleştirici			Ortam Sıcaklığı: 25 °C			
Reçine Kodu	Karışım Sıcaklığı, °C	Sıyırılma Süresi, dk	4 saat	6 saat	12 saat	24 saat
CS 4426	28.6	45	248	256	272	284
Geleneksel Reçine	28.2	55	220	236	246	252

Çizelge 4 : Yeni kum ile yapılan kesme dayanım testi, N/cm²

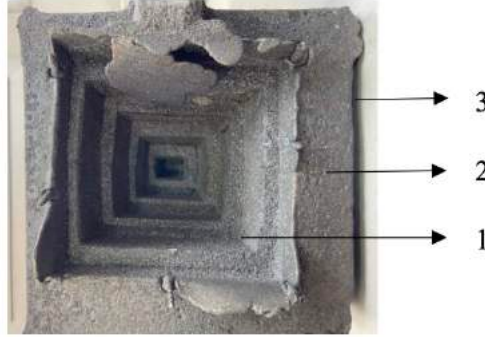
Dökümhane denemesinde yaygın olarak kullanılan EN GJS 500 dökme demir alaşımı ile yüzey incelemeleri yapılmıştır (Çizelge 5). Geleneksel reçine ve CS 4426 reçineleri ile kalıplanarak alınan döküm parçasından kesitler incelenmiştir. Şekil 6’da gösterildiği gibi iç yüzey, döküm parçasının ortası ve dış yüzey olmak üzere üç farklı noktadan 9 adet numune alınmıştır. Bu seçilen bölgelerin ortalama azot miktarı aşağıdaki Çizelge 5’de verilmiştir.

Element	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	Cu
Oran (%)	3,659	3,398	0,140	0,066	0,006	0,054	0,003	0,012	0,019	0,037

Çizelge 5 : EN GJS 500 dökme demir alaşımının

Kesit Bölgeleri	CS 4426	Geleneksel Reçine
İç Yüzey (1)	0.0138	0.0176
Orta Nokta (2)	0.0061	0.0084
Dış Yüzey (3)	0.0182	0.0267

Çizelge 6 : Dökülen parçanın farklı bölgelerinden alınan % azot değerleri



Şekil 6 : Döküm parçasından alınan kesitlerin bölgeleri işaretlenmiş hali

4. GENEL SONUÇLAR

Üre-formaldehit tip furan reçinelerinin özellikleri ve mekanik dayanım değerleri incelenerek azot kaynaklı oluşabilecek hatalara yönelik döküm sonuçları çalışılmıştır. Geleneksel üre-formaldehit furan reçineleri ile yeni nesil ürün karşılaştırıldığında serbest halde bulunan furfural alkol miktarı daha düşük olmasına rağmen yeni nesil CS 4426 reçinesinin dayanım değerlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Geleneksel reçine sistemlerinde azot değeri belli bir aralıkta üretilmekteyken yeni yapılan çalışmada, reaksiyona giren azot kaynağının bilinmesi ile her parti üretimde azot miktarı sabitlenebilmektedir. Rejenere kumda kükürt birikmesini önlemek için yeni kum kullanımı artırılabilir veya sıyırılma süresi daha uzun olan organik asitli ve kükürt miktarı daha düşük sertleştiriciler seçilebilmektedir. Azot birikmesini önlemek için ise reçinenin düşük kullanımı ile yüksek dayanım elde edilebilen reçine seçilmelidir. Yeni nesil reçine sistemi ile serbest formaldehit değeri daha düşük reçine kullanımına olanak sağlanarak kum kalıplama ortamındaki emisyon değerleri minimuma indirilmektedir.

5. TEŞEKKÜR

Döküm denemesi çalışmalarında bizlere kapılarını sonuna kadar açan Manisa Döküm A.Ş. ailesine ve yeni nesil furan reçinesini kullanarak gelişmesine olanak sağlayan Dirinler Döküm A.Ş. ailesine teşekkürü bir borç biliriz.

6. KAYNAKÇA

- 1) P. L. Jain, "Principles of Foundry Technology", 5th ed., McGraw-Hill, 2009, 155-157.
- 2) J. Campbell, "Complete Casting Handbook", Elsevier Butterworth-Heinemann, 2015.
- 3) M. Holtzer ve arkadaşları, "Microstructure and Properties of Ductile Iron and Compacted Graphite Iron Castings: the Effects of Mold Sand/Metal Interface Phenomena", Springer International Publishing, 2015, 27-42.
- 4) H. Renhe, ve arkadaşları, "Curing Mechanism of Furan Resin Modified with Different Agents and Their Thermal Strength", China Foundry, vol. 8, no. 2, 2011.
- 5) M. P. Ansell, "Wood Composites", Woodhead Publishing, 2015, 48-52.
- 6) Tüdoksad Akademi, "Dökme Demirlerde Gaz Hataları - 1", Tanıtım Makaleleri.

MAGMASOFT İLE KUMA DÖKÜMDE ÜRETİM DEĞİŞKENLERİNİN PROSES SAĞLAMLIĞI ÜZERİNE ETKİSİ

F.Murat AKÇİN , Baran H. SULAR

MAGMA Bilişim ve Teknoloji Hizmetleri Ltd. Şti., İstanbul, Türkiye

ÖZET

Pik ve sfero döküm parçaları dünyada birçok endüstride en çok kullanılan döküm malzemelerdendir. Özellikle otomotiv ve ağır sanayi sektörlerinde ağırlıklı olarak kullanılan pik&sfero dökümlerden kullanıldıkları alanlara göre birçok farklı mekanik özelliklere ihtiyaç duyulmaktadır. Döküm proses safhalarında ve malzeme kalitesinde gerçekleşen dalgalanmalara göre her döküm parçası birbirinden farklı mekanik özellikler gösterebilir. Bu özelliklerin belli bir aralıkta tutulabilmesi, parçalarda gerçekleşen döküm hatalarını azaltıp, üretim tutarlılığını arttırmakta ve dolayısıyla daha sağlam bir üretim yapılmasını sağlamaktadır. Bu çalışmamızda malzeme ve üretim safhalarında gerçekleşebilecek dalgalanmaların, parça kalitesine ve dolayısıyla üretim sağlamlığına etkisi döküm prosesi simülasyonunda kurulan sanal deney dizaynlarıyla incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Pik ve Sfero Döküm, Döküm Simülasyonu, DoE, Deney Dizaynı, Proses Sağlamlığı

ABSTRACT

Cast iron and ductile iron parts are among the most widely used casting materials in the world's many industries. Some mechanical properties are needed from gray & ductile iron castings, which are mainly used in the automotive and heavy industry, according to their areas of application. Due to the fluctuations in the casting process parameters and material qualities, each casting part may show different mechanical properties. Keeping these process parameters within a certain range decreases the amount of casting defects and increases production consistency, thus providing a more robust production. In our study, the effects of some fluctuations in material quality and process parameters on the quality of the part and thus, on the robustness of the production has been examined by the help of virtual design of experiments (DoE) set up in casting process simulation.

Keywords: Gray Iron Casting, Casting Simulation, DoE, Design of Experiment, Process Robustness

1. GİRİŞ

En genel tanımlama ile, %2,1'den daha fazla karbon içeren demir-karbon alaşımlarına dökme demir denir. Dökme demirlerin birçok türleri bulunmaktadır. Bunlar; gri, sfero, beyaz, vermiküler ve östemperlenmiş dökme demir olarak sınıflandırılabilirler. Bu sınıfların kimyasal kompozisyonlarının ve daha da önemlisi içerisinde bulunan grafit şeklinin farklı olmasından ötürü, birbirlerinden farklı mekanik özellikler ve performanslar göstermektedir.

Farklı dökme demir sınıflarının birbirinden farklı mekanik özellikler göstermesi normal olmasına karşın, aynı döküm malzemesi, döküm dizaynı ve kimyasal kompozisyonu içeren döküm potası ile dökülen parçalar bile farklı özellikler gösterebilir. Bu farklılığın temelinde soğuma hızı, kalıp tasarımı, kalıp sertliği, kimyasal kompozisyonu, aşılama ve küreselleşme (vermiküler ve sfero dökme demir için) uygulamasının etkinliği ve sıvı maden kalitesi (maden hazırlarken kullanılan döngü, hurda ve ferroalyaj malzemelerinin oranları ve kalitesi) bulunmaktadır.

Bu çalışmada kum kalıba dökülen küresel grafitli dökme demir alaşımı olan bir parça örnek olarak kullanılıp, bu değişkenlerin etkisi MAGMASOFT döküm simülasyon programı yardımıyla incelenmiştir. Sanal ortamda kurulan deney dizaynlarında; ürün kompozisyonu, aşılama ve küreselleşme etkinlikleri, döküm sıcaklıkları başta olmak üzere birçok parametrenin parça kalitesi üzerine etkisi analiz edilmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Parça kalitesine etki eden faktörler:

2.1.1. Soğuma Hızı

Mikroyapıda soğuma hızı oldukça önemli faktörlerden biridir. Döküm üretiminde soğuma hızına müdahale için farklı kum türleri, kalıp kumu nem oranları, soğutucu uygulamaları ve özel kalıp boyaları gibi uygulamalar gerçekleştirilebilir. Parçaların kesit kalınlıkları da temelde soğuma hızlarını etkiler. Soğuma hızlarının artması (ince kesitli bölgeler), grafitin mikroyapıya çökeltirken oluşturacağı çekirdek sayısının (nodül sayısının) artması yönünde destekler. Daha yavaş soğumalarda, karbon çekirdek oluşturmak yerine, oluşmuş çekirdeklerin büyümesine ve daha büyük tanelerin oluşmasına ve mekanik özelliklerin düşmesine sebep olur.

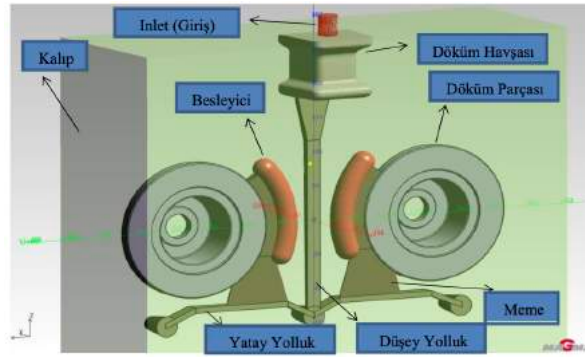
2.1.2. Kimyasal Kompozisyon:

Küresel grafitli dökme demirlerin içeriğinde bulunan ana elementler karbon, silisyum ve magnezyum olarak sıralanır. Bu elementlerin oranı, döküm parçasının nihai mikroyapısında bulunacak fazları ve miktarlarını, dolayısıyla döküm parçasının göstereceği mekanik özellikleri etkiler. Bu elementlerin dışında döküm parçasında istenen mekanik özelliklere ve mikroyapılara (örnek olarak perlit yapıcı etki gösteren ve mukavemeti arttıran bakır (Cu) gibi) göre diğer elementlerle alaşımlandırılabilir. [1]

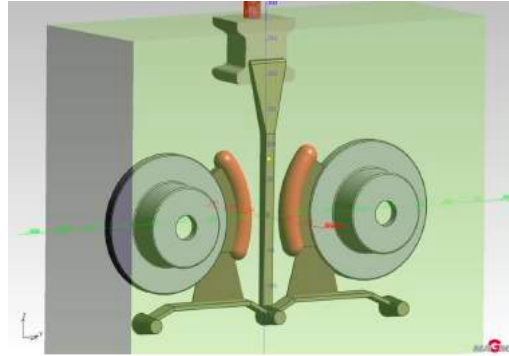
Katılaşma esnasında sadece hacim daralmasına uğrayan birçok metal alaşımının tersine, pik ve sfero parçaların içeriğinde bulunan karbonun mikroyapıya saf karbon (grafit) olarak çökeltilebilmesi durumunda hacim genişmesi de yaşanmaktadır. Bu hacim genişmesi, sıvı fazdan katı faza geçiş esnasındaki hacim daralmasını telafi ederek oluşabilecek çekinti boşluklarını da kısmen telafi eder. Dolayısıyla kimyasal kompozisyon döküm parçasının sadece mikroyapısal özelliklerinde değil, makro düzeydeki kalite problemlerinin önlenmesinde de rol oynar.

2.1.3. Kalıp Tasarımı:

Kalıp tasarımı içerisinde en önemli komponentler, kalıbın dolumunu ve sonrasında gerçekleşen katılaşma ve soğuma evrelerini en çok etkileyen: düşey yolluk, yatay yolluk, yolluk girişleri (memeler) ve besleyicilerdir. Çalışmamızda sabit bir kalıp tasarımı alınarak sadece proses değişkenlerine odaklanılmıştır.



Şekil 2.1. : Kalıp tasarımı ve komponentler



Şekil 2.2. : Kalıp tasarımı ve komponentlerin farklı perspektif görüntüsü

2.1.4. Kalıp Sertliği:

Kalıp ne kadar grafit genişmesine karşı koyabilecek sertlikte olursa, katılma esnasında parça içerisinde oluşabilecek çekinti boşlukları o kadar az görülmektedir. Bunun sebebi ise grafit çökmesi esnasında oluşan iç basınca kalıp duvarları tarafından karşı koyulabilmesi ve bu sayede basıncın parçanın kendi içerisinde oluşabilecek gözenekli yapının sıkıştırılmasında kullanılabilmesidir.

2.1.5. Aşılama:

Demir-karbon denge diyagramından bilindiği üzere dökme demirlerin içerisindeki karbon, mikroyapıya saf karbon (grafit) veya Fe₃C (sementit) olarak çökebilir. Pik ve sfero döküm parçalarından beklenen mekanik performansın elde edilebilmesi için çok kırılğan ve sert olan Fe₃C (sementit) fazı istenmemektedir. Bu sebeple karbonun grafit olarak çökmesini desteklemek amacıyla sıvı madene “aşılama” yapılır. Aşılama yapısının içindeki elementler oksitlenerek karbon için uygun bir çekirdek oluşturarak grafit çekirdeklenmesini destekler. Burada kullanılan aşılama yapısının türü, miktarı ve uygulanış şekilleri (Potada, kalıpta veya tel aşılama gibi.) de döküm parçanın kalitesi üzerinde etkilidir.

2.1.6. Kesit Boyutu:

Kesit boyutları temelde soğuma hızlarını (“2.1.1 Soğuma Hızı” bölümüne bakınız) etkilemesi nedeniyle döküm parçasının özelliklerini etkilemektedir. Çalışmamızdaki tüm denemelerde aynı parça ve döküm dizaynı kullanılmış olup, soğuma hızının etkisi sadece kalıp nem oranları değiştirilerek irdelenmiştir.

2.2. Deneysel Tasarım

Tüm bu etkenlerin parça kalitesi üzerindeki etkilerini incelemek adına sanal deney dizaynı (DoE) kurulmuştur. Böylelikle deneyde kullanılacak olan bütün değişkenlerin değerleri birbirleriyle eşleştirilerek tüm kombinasyonlar denenmiştir. DoE çalışmamız sonrasında değişkenlerimizin

hangi değerlerinin belirlediğimiz hedefler doğrultusunda optimum sonuçlar vereceği bulunmuştur. Ayrıca değişkenler ile hedeflerimiz arasındaki korelasyonlar da incelenmiştir.

2.2.1. Kullanılan Değişkenler:

Proje yapılırken birçok farklı değişken kullanılıp bu değişkenlerin sonuçlara yansımaları incelenmiştir. Bu değişkenler ise döküm sıcaklığı, kalıp sertliği, aşılama verimliliği, aşılama kabiliyeti, kimyasal analizdeki değişimler (C, Cu, Si olmak üzere), kalıp nem oranıdır.

Design Variable	Lower Limit (°C)	Upper Limit (°C)	Step (°C)	Dependency
<input checked="" type="checkbox"/> Cast Alloy Class - Initial Temperature	1400.0	1460.0	20.0	<None>

Şekil 2.3. Döküm sıcaklıkları için kullanılan değişkenler

Design Variable	Selection	Dependency
<input checked="" type="checkbox"/> Mold Effects - Mold Dilatation - Mold Type	StableMold WeakMold	<None>

Şekil 2.4. Kalıp sertlikleri için kullanılan değişkenler

'Stable Mold' (Dayanımı Yüksek Kalıp, örnek : Reçineli kum kalıp) ve 'Weak Mold' (Dayanımı Düşük Kalıp, örnek : el ile dövülmüş yaş kum kalıbı) olmak üzere iki farklı kum sertliği kullanılmaktadır.

Magmasoft® içerisinde aşılama tanımlayabilmek için ilgili iki parametre bulunmaktadır : "Treatment Yield"(aşılama verimliliği) ve "Graphite Precipitation" (Grafit çökmesi). "Treatment Yield" daha çok aşılamanın etkinliğini betimler. Gerçek aşılama prosesinde aşılamanın ne zaman ve nasıl yapıldığıyla (örnek : transfer potasında, döküm potasında veya kalıp içerisinde gibi) ilintilidir. Neticesinde oluşacak grafit çekirdek sayısını etkiler. "Graphite Precipitation" (Grafit çökmesi) ise aşılama içeriğindeki elementlerin çökelen grafit miktarını ne kadar desteklediğini belirler.

Design Variable	Lower Limit	Upper Limit	Step	Dependency
<input checked="" type="checkbox"/> Melt Treatment - Graphite Precipitation	7	9	1	<None>
<input checked="" type="checkbox"/> Melt Treatment - Treatment Yield	100.0	400.0	100.0	<None>

Şekil 2.5. Aşılama verimliliği ve grafit çökmesi için kullanılan değişkenler

Kalıp nem oranları için kumun kompozisyonu içerisinde yer alan su içeriğinin ağırlık yüzdeleri için farklı değerler kullanılmıştır. Bu değerler % ağırlık cinsinden olup, % 2, % 3.50, % 4 olmak üzere üç farklı değer kullanılmaktadır.

Design Variable	Lower Limit	Upper Limit	Step	Dependency
<input checked="" type="checkbox"/> Melt Treatment - Graphite Precipitation	7	9	1	<None>
<input checked="" type="checkbox"/> Melt Treatment - Treatment Yield	100.0	400.0	100.0	<None>

Şekil 2.5. Aşılama verimliliği ve grafit çökmesi için kullanılan değişkenler

2.2.2. Hedefler:

Üretimde ölçülebilir değişkenlerin proses üzerindeki etkisi araştırılırken, genel kalite beklentileri yani hedefler belirlenmiştir. Projede kullanılan bu değişkenler ile birlikte hedefler parça üzerindeki çekintileri minimum seviyelere indirmek, uzamayı arttırmaktır. Şekil 2.7'de hedeflerin program üzerinde tanımlamaları görülmektedir.

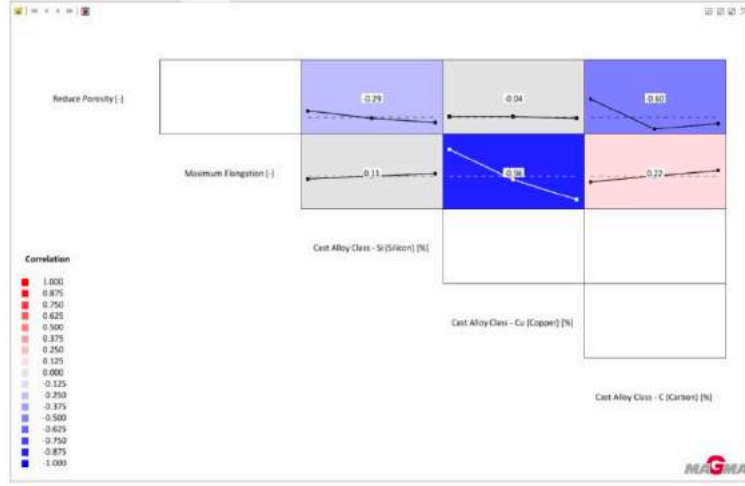
Name	Type	Value	Expression	Description
Reduce Porosity	Minimize		[Solidification & Cooling/Porosity/End of Solidification & Cooling/Weighted Volume/Casting All ID]	Add an objective
Maximum Elongation	Maximize		[Solidification & Cooling/Maximum Elongation/Avg/Casting ID]	

Şekil 2.7. Proje hedefleri

3-BULGULAR

3.1.Deney Sonuçları

3.1.1. Kimyasal Analizin Sonuçlara Etkileri:

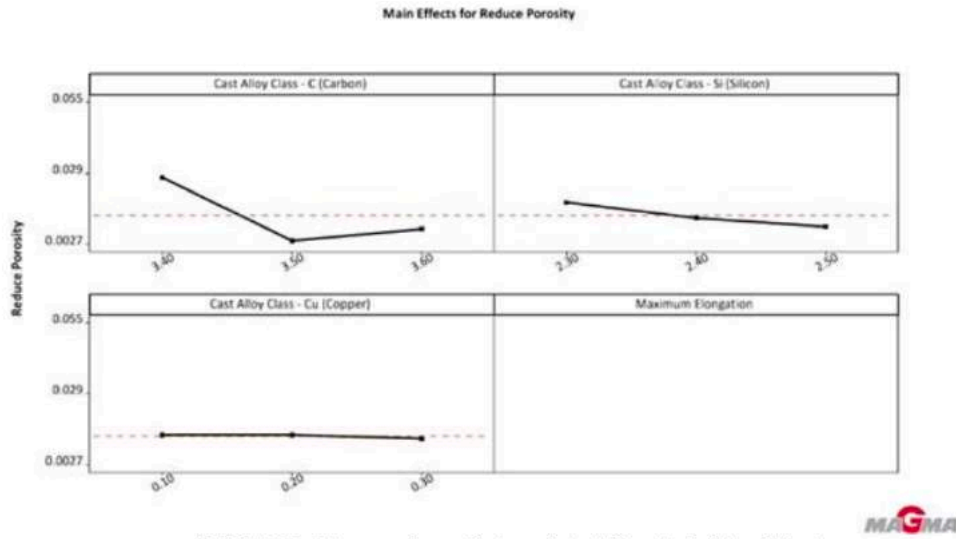


Şekil 3.1. Kimyasal analizin uzama ve çekinti üzerindeki etkileri

Bir korelasyon matrisi birkaç diyagramdan oluşmaktadır. Tüm sonuç veya değişken değerlerin bir özetini ve bunların birbirine olan etkilerini (ana etkileri) göstermektedir. Böylece, her bir değişken ve hedef arasındaki ilişkilere genel bir bakış elde edilebilmektedir.

Matris alanları içinde, hedeflerin korelasyonu renk kodludur. Dağılım koordinatlarını ve eğilim eğrilerini (ana etkileri) göstermektedir. Kırmızı renk, pozitif bir gradyana (değerlerde karşılıklı artış) karşılık gelir, mavi renk ise negatif bir gradyan anlamına gelmektedir (bir değer azalması, diğerinin yükselmesi). Gri renk, parametreler arasında neredeyse hiç ilişki olmadığını göstermektedir.

Şekil 3.1.'de bulunan korelasyon matrisleri incelendiğinde çekintiyi en çok etkileyen elementin karbon olduğu, silisyumun ise karbona göre düşük miktarlarda etkisi olduğu, bakır elementinin ise en düşük etkiye sahip olduğu görülmektedir. Karbon miktarının çekintiye etkileri gözlemlendiğinde karbon % 3.40 miktarında ürün kompozisyonunda bulunduğu çekinti en fazlayken, % 3.50 miktarına çıktığında çekinti miktarı azalır ve minimum çekinti gözlemlenir. Karbon miktarı biraz daha arttırılıp % 3.60 değerine çıkarıldığında ise çekinti tekrardan artmaktadır. Buna göre çekintiyi en aza indirmek için kullanılacak optimum değer % 3.50 karbondur. Uzamaya olan etkileri incelendiğinde ise bakır miktarının artışıyla birlikte uzamanın azaldığı, karbon ve silisyum miktarlarının artışıyla birlikte uzamanın arttığı görülmektedir.

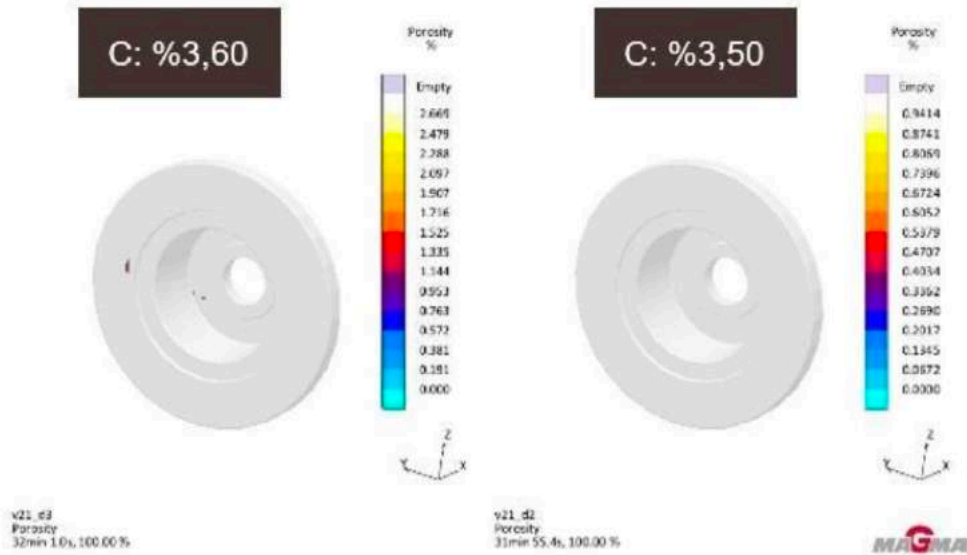


Şekil 3.2. Kimyasal analiznin çekinti üzerindeki etkileri

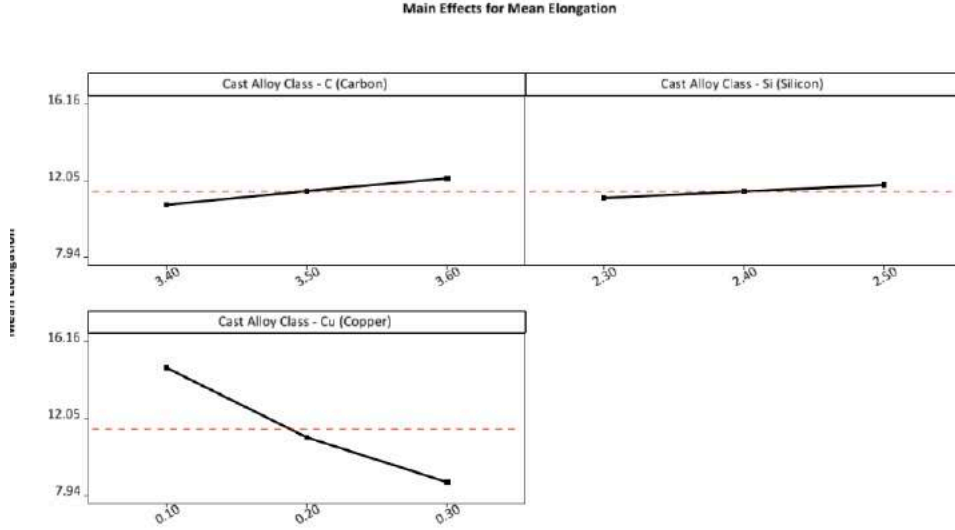
'Main Effect' ('Ana Etki') türündeki bir grafik, değişkenlerin hedeflere ulaşma üzerindeki etkilerini göstermektedir.

Şekil 3.2.'de görüldüğü üzere karbon miktarının % 3.40 değerinden % 3.50 değerine çıkarıldığında çekinti azalırken, % 3.60 değerine çıkarıldığında çekinti artmaktadır. Silisyum için % 2.30 değerinden % 2.40 değerine çıkarken çekintinin azaldığı ve % 2.50 değerine çıkarıldığında ise çekintinin azalmaya devam ettiği görülmektedir. Bakırın çekinti üzerindeki etkisi ise yok denecek kadar azdır.

Şekil 3.3.'de yukarıda ana etki grafikleri bulunan (Şekil 3.2.) karbon miktarına göre çekinti etkisi sonuçlar bölümünde görülmektedir.



Şekil 3.3. Karbon miktarının etkisine göre sonuçlarda çekinti incelenmesi



MAGMA

Şekil 3.4. Kimyasal analizin uzama üzerindeki etkisi

Karbonun ve silisyumun ürün kompozisyonu içerisindeki miktarının artmasıyla birlikte uzama düzenli artış göstermektedir. Bakırın miktarı arttığında ise uzama azalmaktadır. Bakırın uzamaya etkileri incelendiğinde;

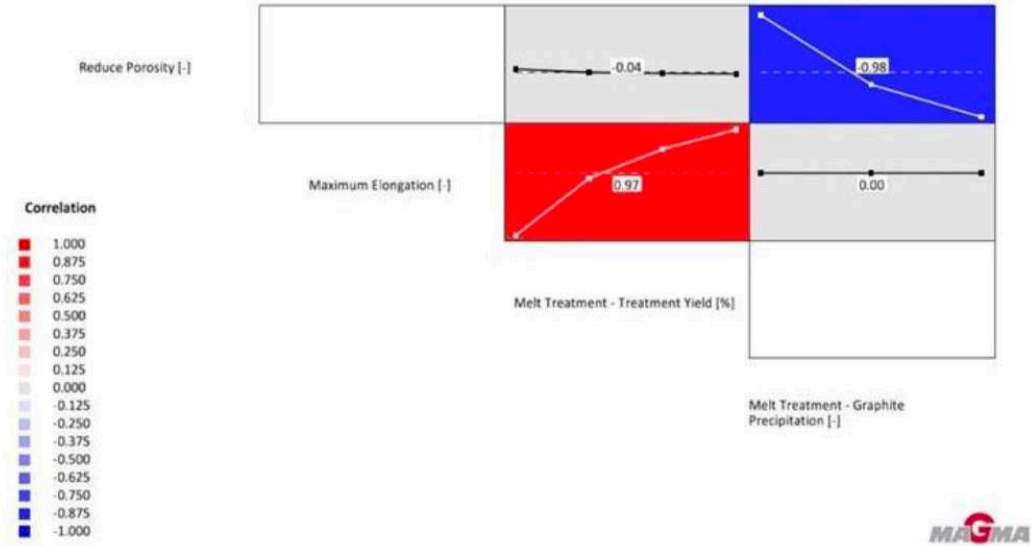
Bakır perlit yapıcı elementlerin başında gelmektedir. Perlit karışımı içerisinde bulunan ferrit ve sementit yapı dolayısıyla mekanik dayanımı ve sertliği yüksek bir yapıdır. Kullanılan bakırın artışıyla birlikte yapıda perlit artışına bağlı olarak mekanik dayanım ve sertlik artarken, uzama azalmaktadır.

Karbonun uzamaya etkileri incelendiğinde;

Karbon grafit yapıyaşadır. Karbon miktarı arttıkça grafit kürelerinin kapladığı alan artmaktadır. Grafitin kapladığı alan arttıkça matris yapı içerisindeki perlitin yeri oldukça azalmaktadır. Bu durum perlit yapıdan uzaklaşıp ferrit yapıya doğru dönüşüm göstermektedir. Ferrit yapıya daha çok yaklaşılan bu durumda mekanik dayanım ve sertlik azalırken, malzemenin sünekliği ve uzama miktarında artış görülmektedir.

Silisyumun uzamaya etkileri incelendiğinde;

Silisyum grafit yapıcı bir elementtir. Sıvının içerisinde bulunan karbonların grafit formda çökmesini sağlamaktadır. Bu durum karbonun karbür formunda çökmesini önlemektedir. Karbonun karbür yerine grafit formunda çökmesiyle birlikte yapı ferrite dönmektedir. Böylelikle oluşan yapının mekanik dayanımı ve sertliği azalırken, sünekliği ve uzama miktarı artış göstermektedir. [2]



Şekil 3.5. Grafit çökmesi, aşılama verimliliğinin uzama ve çekinti üzerindeki etkileri

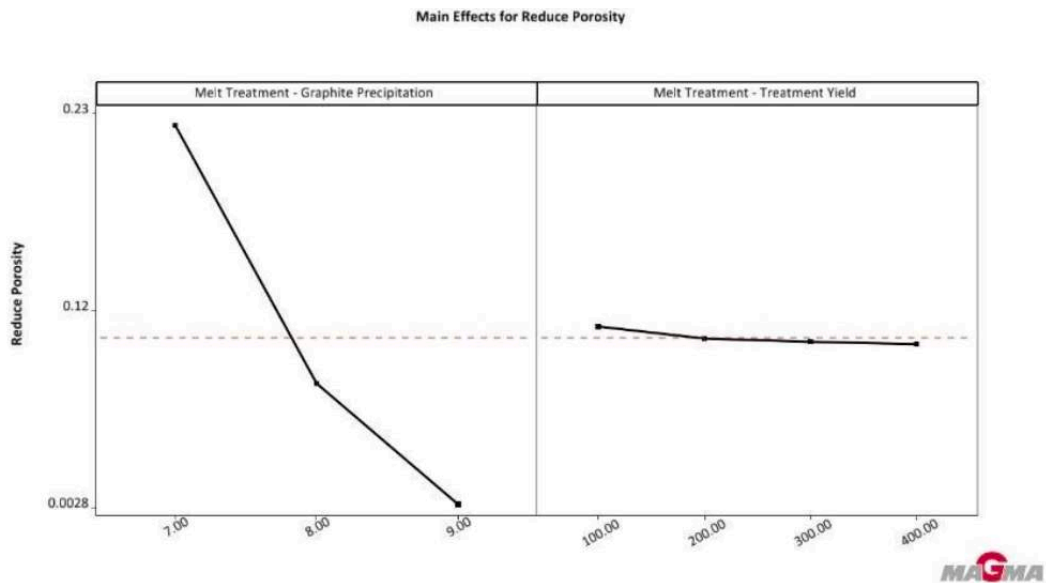
3.1.2. Grafit Çökmesi ve Aşılama Verimliliğinin Sonuçlara Etkileri

Aşılama verimliliği arttıkça uzamanın arttığı ve çekintinin neredeyse etkilenmediği görülmektedir. Grafit çökmesinin artması ile çekintinin aza indirildiği, uzamanın ise değişmediği görülmektedir.

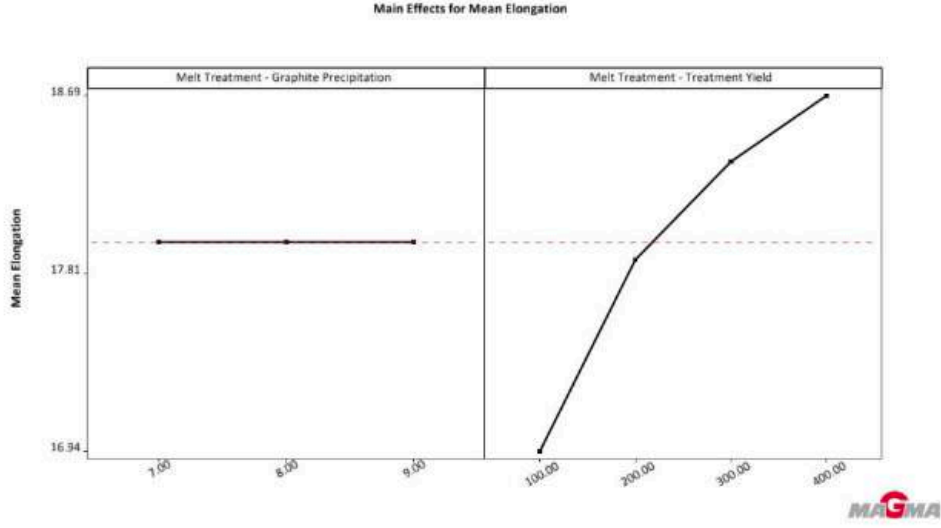
Grafit çökmesinin artmasıyla uzamanın artması beklenirken, programın hesaplama algoritmasında bu etkinin hesaplanmadığı görülmektedir.

Grafit çökmesinin artmasıyla katılma esnasında iç basınç artmaktadır. Artan iç basıncın etkisiyle çekinti azalmaktadır.

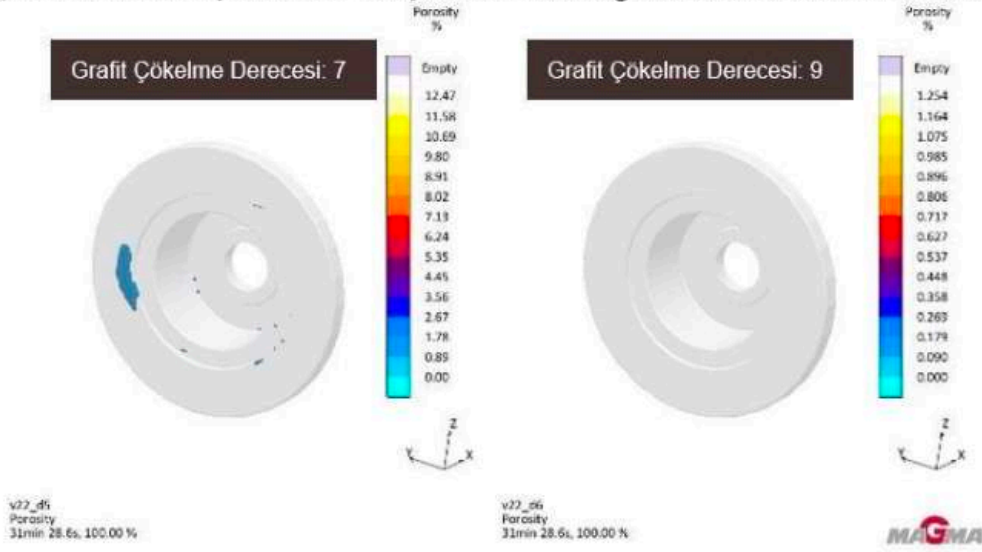
Aşılama verimliliğinin artmasıyla mekanik özelliklerde iyileşmeler görülmektedir. Buna bağlı



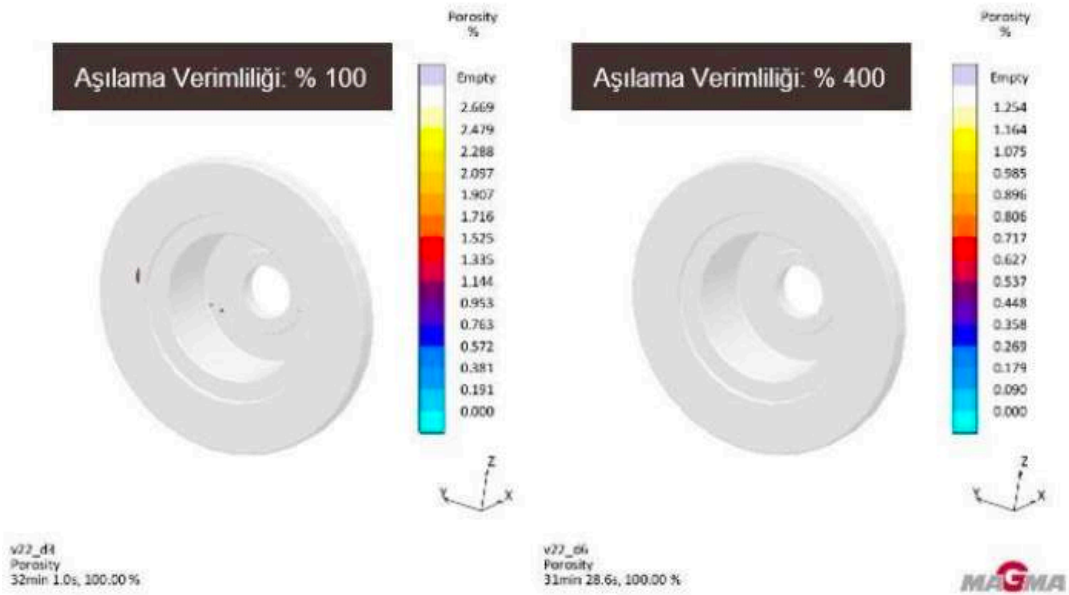
Şekil 3.6. Grafit çökmesi ve aşılama verimliliğinin çekinti üzerindeki etkisi



Şekil 3.7. Grafit çökmesi ve aşılama verimliliğinin uzama üzerindeki etkisi

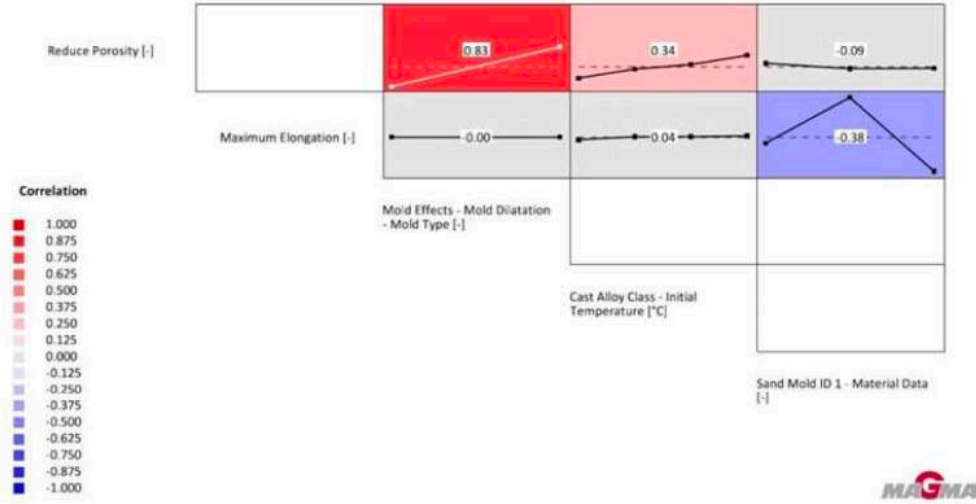


Şekil 3.8. Grafit çökme derecesine göre sonuçlarda çekinti incelenmesi

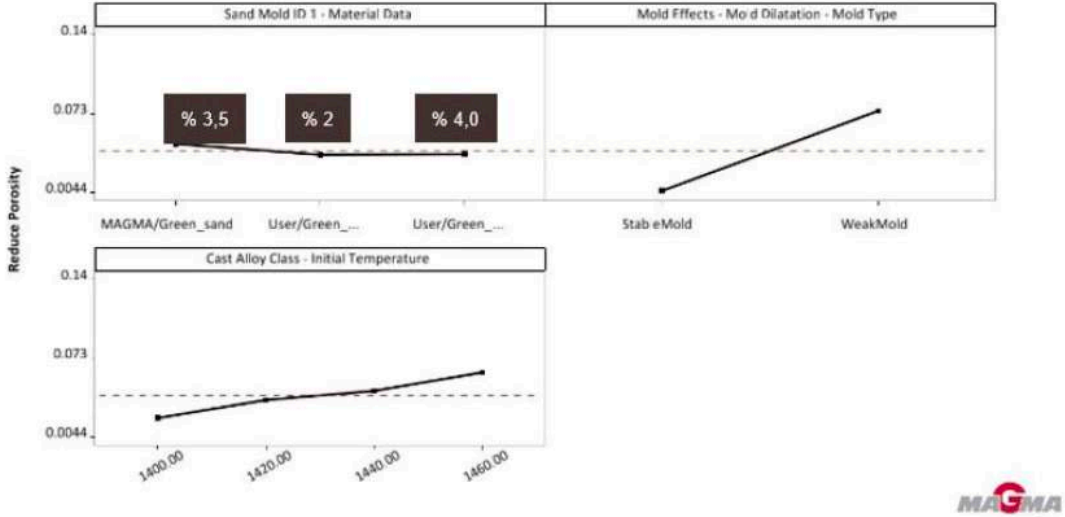


Şekil 3.9. Aşılama verimliliğine göre sonuçlarda çekinti incelenmesi

3.1.3. Kalıp Nem Oranı, Döküm Sıcaklığı ve Kalıp Sertliğinin Sonuçlara Etkileri:



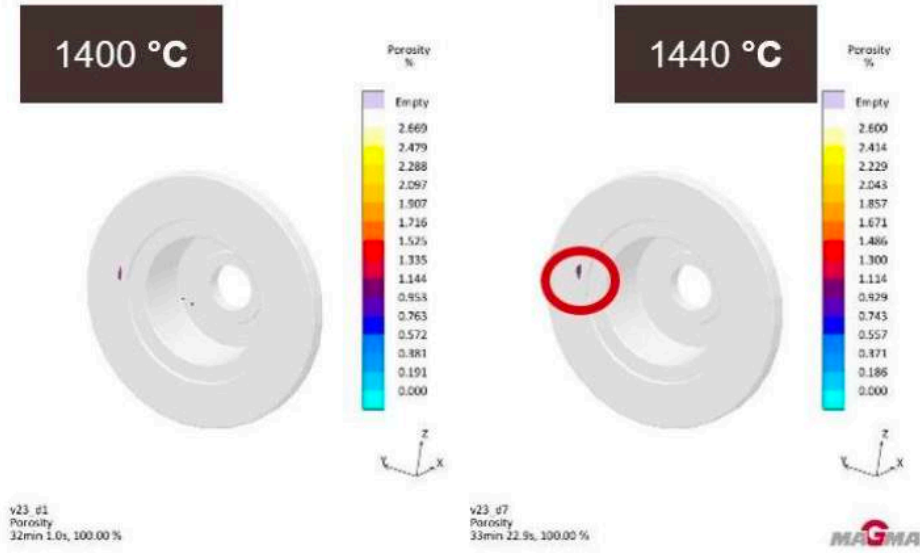
Şekil 4.0. Kalıp nem oranı, sıcaklık ve kalıp sertliğinin; uzama ve çekinti üzerindeki etkileri



olarak bulunan sonuçlarda çekinti azalmakta, uzama ise artmaktadır. [3]

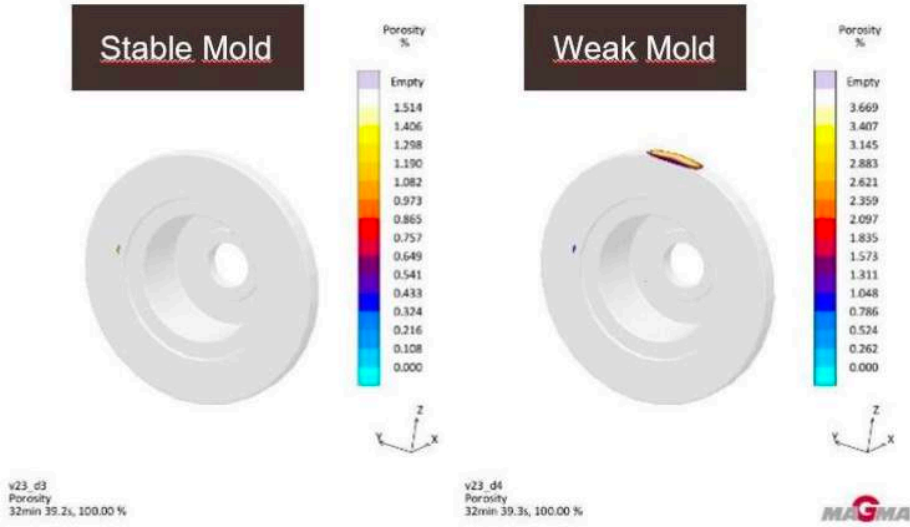
Alınan sonuçlara göre; kalıp nem oranının % 3.5 seviyesinde en yüksek çekinti görülürken kalıp nem oranı % 2 ve % 4 seviyelerinde çekintinin azaldığı ve aynı olduğu görülmektedir. Kalıp nem oranı arttıkça çekintiye olan eğilimin artması beklenirken simülasyon çalışmasında % 2 kalıp kumu nem oranında bu etki gösterilememiştir.

Döküm sıcaklığının artışıyla birlikte çekintinin arttığı görülmektedir. Döküm sıcaklığının artışıyla birlikte kalıp malzemesinin ısıl genişmesi ve kalıp duvarı hareketinin başlama zamanı etkilenmektedir. Dolayısıyla kalıp duvarlarındaki basınç düşüş göstermektedir. Buna bağlı olarak;

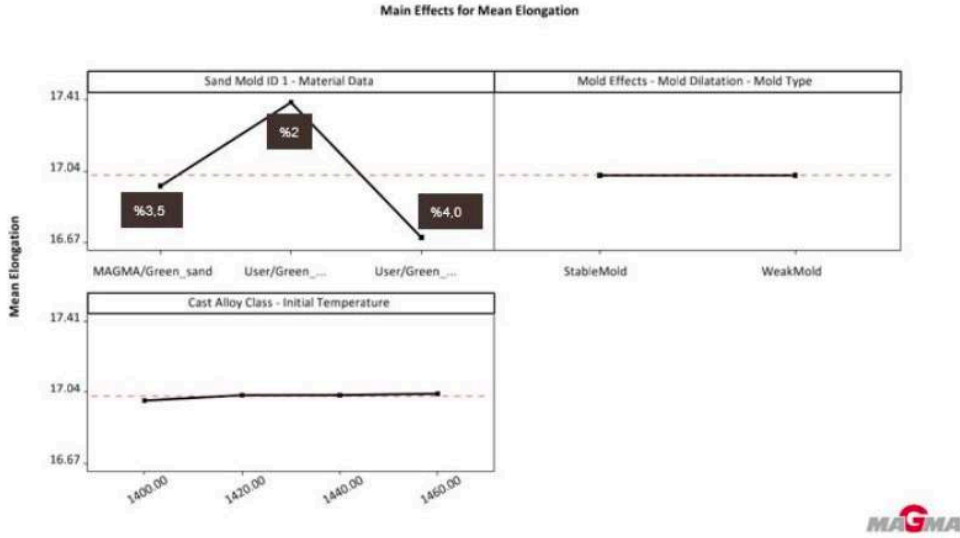


Şekil 4.2. Döküm sıcaklığına göre sonuçlarda çekinti incelenmesi

döküm sıcaklığı arttıkça, çekinti artmaktadır. Kalıp sertliğinin azalmasıyla çekintinin arttığı görülmektedir. Kalıp kumu sertliği artırıldığında, kalıp genişlemesinde ve dolayısıyla çekintinin oluşumunda ciddi oranlarda düşüş görülmektedir.



Şekil 4.3. Kalıp sertliğine göre sonuçlarda çekinti incelenmesi



Şekil 4.4. Döküm sıcaklığı, kalıp sertliği ve nem oranının; uzama üzerindeki etkileri

Döküm sıcaklığının artışıyla birlikte uzamanın arttığı görülmektedir. Kalıp nem oranının artmasıyla uzama azalma göstermektedir. Kalıp sertliğinin etkisi simülasyonda hesaplanmamıştır.

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bulgular bölümünde de bahsedildiği gibi iki hedefimiz olan “%Uzama”nın yükseltilmesi ve “çekinti boşluklarının” minimize edilmesine her değişkenimiz farklı etkiler göstermiştir.

Kalıp kumundaki nem oranı “%Uzama” miktarlarında çok büyük etki gösterirken, çekinti boşluklarında çok az bir etki görülmüştür. Diğer yandan karbon ve silis değerlerinin artması her iki hedefimizi de doğru orantılı olarak iyileştirmiştir. Dolayısıyla bir proses parametresindeki değişiklik bir hedefimizi iyileştirip, bir başka hedefimizi kötüleştirebilir.

Özetle sfero döküm parçalarından karşılaması istenen kabul kalite kriterleri hepsinin sağlanabilmesi için birçok proses parametresi bir arada değerlendirilmeli ve tüm hedefler için optimum bir “çalışma aralığı” belirlenerek sağlam bir proses oluşturulması döküm kalitesi açısından çok büyük önem arz etmektedir.

5. KAYNAKLAR

- [1] KILINÇ, B. (2008) ‘GGG 50 Sınıfı Dökme Demire Bakır İlavesinin Mekanik Özelliklere Etkisi’, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [2] YAZICI, A. (2006), ‘Küresel Grafitli Dökme Demirin Bortemperlenmesi’, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [3] YAVUZ, K. (2006), ‘GGG-70 Sınıfı Küresel Grafitli Dökme Demir Kam Millerinin İşlenebilirliğinin Deneysel Olarak Araştırılması’, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

TEMPERLEME SICAKLIĞININ HAVADA SERTLEŞTİRİLMİŞ 2,25CR-0.35MO ÇELİĞİNİN MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

^aFaruk ÖZTÜRK, ^aİsmail ALKAN, ^bUğur GÜROL, ^aMehmet UYSAL

^a Sakarya Üniversitesi, Metalurji & Malzeme Mühendisliği, Sakarya, Türkiye

^b İstanbul Gedik Üniversitesi, Metalurji & Malzeme Mühendisliği, İstanbul, Türkiye

ÖZET

Değirmen ocaklarında kullanılan astar plakaları için uygun ısıtım şartlarının belirlenmesi, astar ömrünü arttırmak ve buna bağlı olarak da bakım maliyetleri düşürmek adına hayati önem taşımaktadır. Yanlış ısıtım uygulamaları erken kırılmalara ve aşırı hızlı aşınma gibi durumlara sebebiyet verebilmektedir. Bu da operasyonel maliyetlerin artmasına ve şirketlerin gelir kaybına sebebiyet vermektedir. Bu çalışmada astar plakalarının üretiminde kullanılan 2,25Cr-0.35Mo çeliğinin farklı temperleme sıcaklıklarında mikro yapı ve mekanik özelliklere etkisi incelenerek optimum ısıtım şartlarının belirlenmesi hedeflenmiştir. Geleneksel kum kalıba döküm yöntemi ile üretimi gerçekleştirilen 60x60x150mm boyutlarındaki numunelere 900°C'de 3 saat östenizasyon ısıtım işlemi uygulandıktan sonra numuneler döner tabla üzerinde havada soğumaya bırakılmış ve akabinde 3 farklı sıcaklıkta (450°C, 550°C ve 650°C) 6 saat boyunca temperleme ısıtım işlemi uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar neticesinde, artan temperleme sıcaklığı ile numunelerin akma mukavemeti, çekme mukavemeti ve sertlik değerleri azalırken, uzama ve darbe değerleri artış göstermiştir. Böylece tasarım mühendislerine astar plakalarının boyut, şekil ve üzerilerine uygulanan darbe şiddetine bağlı olarak uygun ısıtım şartlarının seçilebilmesi için nümerik bilgiler sağlanmıştır.

ABSTRACT

Determination of the heat treatment parameters of liners used mills has an important role in increasing the lifetime of liners and decreasing the maintenance costs. Wrong heat treatment applications causes early breakage and fast wear problems. And this causes increase in operational costs and revenue losses. The aim of this study is determination of optimum heat treatment parameters by examining the effects of different tempering temperatures of 2,25Cr-0,35Mo steel to microstructure and mechanical properties. The austenization heat treatment process at 900°C/3 hours and after cooling in air on the rotary table performed to 60x60x150mm samples which were casted by sand casting method and then tempering performed at 3 different temperatures at 6 hours (450, 550 and 650°C). According to the obtained results; yield strength, tensile strength, hardness values decreased and elongation and impact values increased. By this way, numerical information provided to design engineers for the selection of heat treatment parameters according to dimensions, shape and impact severity.

Keywords: Cr-Mo Steels, Tempering, Mechanical Properties, Microstructure

1. GİRİŞ

Değirmen ocaklarının yan duvarlarında kullanılan astar plakalarında birinci öncelik olarak yüksek sertlik ve aşınma direnci özellikleri beklenirken, alt tabanda bulunan astar plakalarında ise yeterli darbe direnci göstermeleri birinci önceliklidir. Bu nedenle, erken aşınma ve kırılma problemlerinin önüne geçebilmek için alt tabanda kullanılan astar plakalarında optimum sertlik ve tokluk ilişkisi beklenir. Çünkü, kendinden beklenen süreden daha kısa zamanda aşınan ve ya kırılan astarların yenileriyle değişimi uzun zaman alan bir faaliyet olduğundan ve bu süre boyunca öğütme aletleri devre dışı kaldığından, bu durum madencilik endüstrileri için oldukça ağır ekonomik kayıplara neden olmaktadır [1,2,3].

Tablo 1 Aşınma plakalarının üretiminde kullanılan mevcut demir alaşımları kimyasal bileşimleri (%) [3].

	C	Mn	Si	Cr	Mo	Ni	Cu	Sertlik (HB)
Martenzitik Cr-Mo İçerikli Beyaz Dökme Demir	2,4-3,2	0,5-1,0	0,5-1,0	14-23	1,0-3,0	Mak. 1,5	Mak. 1,2	620-740
Martenzitik Yüksek Karbon Cr-Mo Çeliği	0,7-1,2	0,3-1,0	0,4-0,9	1,3-7,0	0,4-1,2	Mak. 1,5	-	500-630
Martenzitik Yüksek Kromlu Beyaz Dökme Demir	2,3-2,8	0,5-1,5	0,8-1,2	23-28	Mak. 0,6	Mak. 1,2	-	550-650
Martenzitik Ni-Cr İçerikli Beyaz Dökme Demir	2,5-3,6	0,3-0,8	0,3-0,8	1,4-2,5	Mak. 1,0	3,0-5,0	-	520-650
Martenzitik Orta Karbonlu Cr-Mo Çeliği	0,4-0,7	0,6-1,5	0,6-1,5	0,9-2,5	0,2-0,7	Mak. 1,5	-	500-620
Östenitik 6Mn-1Mo Çeliği	1,1-1,3	5,5-6,7	0,4-0,7	Mak. 0,5	0,9-1,1	-	-	190-230
Perlitik Yüksek Karbonlu Cr-Mo Çeliği	0,5-1,0	0,6-0,9	0,3-0,8	1,5-2,5	0,3-0,5	Mak. 1,0	-	250-420
Östenitik 12Mn Çeliği	1,1-1,4	11-14	0,4-1,0	Mak. 2,0	Mak. 1,0	-	-	180-220
Perlitik Yüksek Karbon Çeliği	0,6-1,0	0,3-1,0	0,2-0,4	-	-	-	-	240-300
Perlitik Beyaz Dökme Demir	2,8-3,5	0,3-1,0	0,3-0,8	Mak. 3,0	-	-	-	370-530

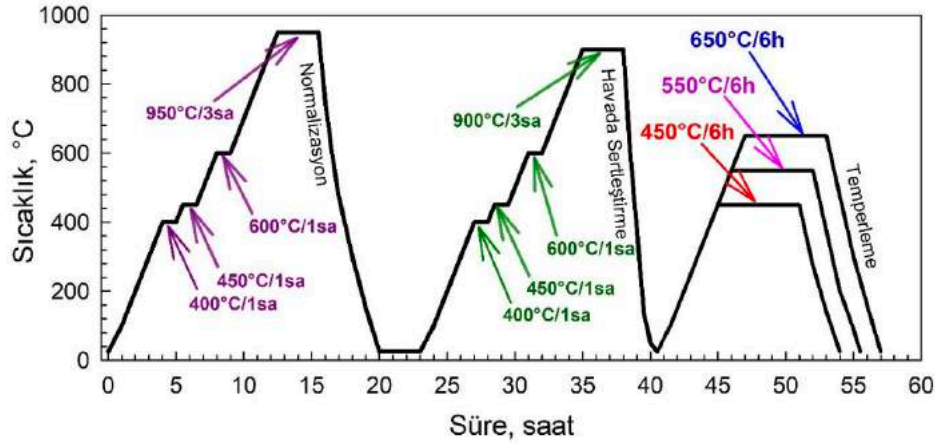
Endüstriyel uygulamalarda kullanım yeri ve amaçlarına bağlı olarak astar plakaların üretiminde genel olarak Tablo 1’de kimyasal bileşimleri ve sertlik aralıkları verilen östenitik manganlı çelikler, yüksek kromlu çelikler, dökme demirler ve Cr-Mo çelikleri kullanılmaktadır. Fakat, başta demir cevheri değirmenleri olmak üzere, yüksek darbe tokluğu gerektiren taban astarlarında hem yüksek aşınma direnci göstermeleri hem de düşük üretim maliyetleri nedeniyle en yaygın olarak orta karbonlu martenzitik Cr-Mo çelikleri kullanılmaktadır [3]. Bu çeliklerde en iyi aşınma direnci ve darbe tokluğu kombinasyonu düşük beynit ve yüksek oranda temperlenmiş martenzit yapısı ile mümkün olmaktadır [4,5]. Bunun için de parça kalınlığına bağlı olarak östenizasyon işleminden sonra basınçlı ve ya sakın hava ile soğutulur ve hemen ardından temperleme işlemine tabi tutulurlar. Soğutma ortamı olarak su ve yağ kullanımı kesinlikle tavsiye edilmez. Çünkü, Cr-Mo çelikleri, yüksek karbon içerikleri, zayıf ısı iletkenlikleri ve yüksek sıcaklık plastisiteleri nedeniyle zayıf şok direnci göstermektedir. Bu da aşırı hızlı soğutma ortamlarında (su ve yağ) sertleştirilmeleri durumunda döküm parçaların çatlamasına sebebiyet vermektedir [6]. Bu çalışmada, 2,25Cr-0,35Mo çeliklerinin temperleme sıcaklığına bağlı olarak mikro yapı ve mekanik özelliklerinin incelenmesi ve bu sayede astar plakalarının kullanım alanlarına uygun özellikte ısıl işlem şartlarının belirlenebilmesi için tasarım mühendislerine nümerik verilerin sağlanması hedeflenmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneysel çalışmalarda kullanılan 60X60X150mm boyutlarındaki döküm numuneleri düşük fosfor ve kükürt ihtiva eden çelik hurdalarıyla beraber standart silis, mangan, krom ve molibden ferro-alyajları kullanılarak atmosfere açık 3500 kg kapasiteli endüstriyel ölçekli indüksiyon ocaklarında üretilmiştir. Numunelere ait kimyasal bileşim Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2 Deneysel çalışmalarda kullanılan orta karbonlu martenzitik 2,25Cr-0,35Mo çeliğinin kimyasal bileşimi (%)

	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	P	S %	Al
Alt Limit	0,4	0,6	0,6	0,9	-	0,2	-	-	-
Üst Limit	0,7	1,5	1,5	2,5	1,5	0,7	0,020	0,020	0,05
Sonuç	0,43	0,89	0,94	2,36	1,03	0,36	0,015	0,013	0,039



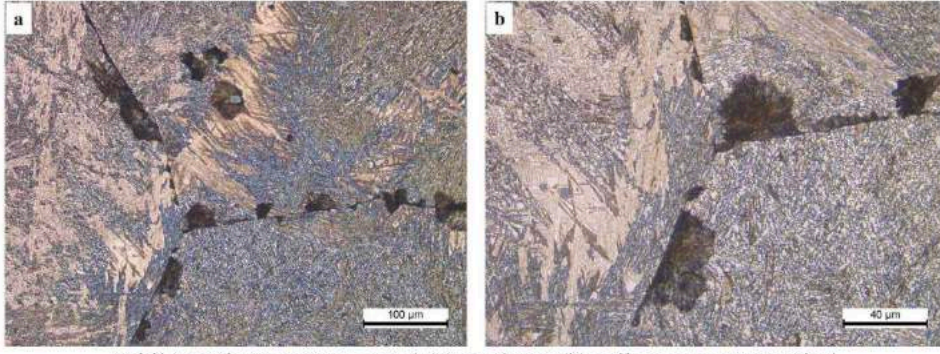
Şekil 1 Numunelere uygulanan ısıtma prosedürü

Döküm sonrası numuneler 250-350 °C sıcaklık aralığında kalıptan çıkartılarak besleyici ve yoluk kesim prosesine tabi tutulmuştur. Sonrasında ise tüm numunelere 950 °C'de normalizasyon ısıtma işlemi uygulanmıştır. Daha sonra 900 °C'de 3 saat östenizasyon ısıtma işlemine tabi tutulan numuneler hızlı bir şekilde fırından çıkartılarak döner sehpa üzerinde havada soğumaya (HS) bırakılmıştır. Havada sertleştirme ısıtma işlemine hemen akabinde ise oda sıcaklığına kadar soğuyan numunelere Ac1 sıcaklığının altında ayrı ayrı üç farklı sıcaklıkta (450 °C, 550 °C ve 650 °C) 6 saat temperleme ısıtma işlemi uygulanmıştır. Tüm ısıtma süreçlerinde döküm numuneleri ısıtılırken çekirdek ve yüzey arasında sıcaklık farkları ve dolayısı ile ekstra gerilim oluşmaması için ısıtma rampası olarak saatte 100 °C sıcaklık artışı seçilmiştir. Uygulanan ısıtma işlemleri Şekil 1'de gösterilmiştir.

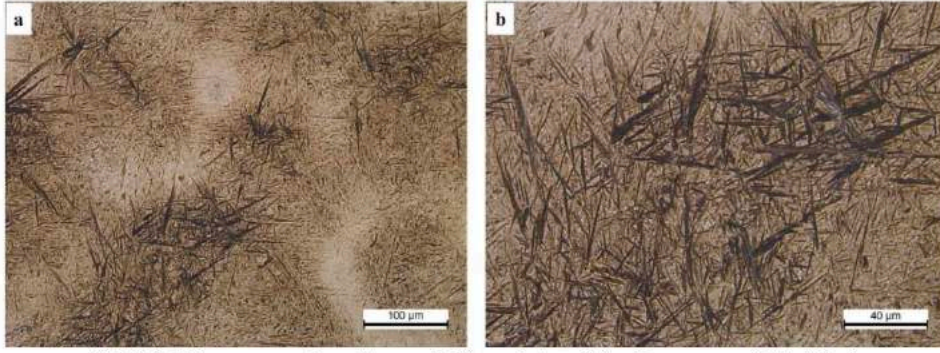
Deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen numunelerin ısıtma işlem öncesi ve sonrası iç yapılarını tespit etmek amacıyla Leica DMI8 marka model optik mikroskop ile ASTM E3-11 (Metalografik Numune Hazırlama) ve ASTM E407-07 (metal mikro dağlama) standartlarına göre mikro yapı incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Yine aynı numunelere mekanik özelliklerinin tayini için ısıtma işlem öncesi ve sonrası DIN 50125 standardına göre 3'er adet çekme testi, ISO 148-1 standardına göre 3'er adet darbe çentik testi ve ASTM E18 standardına göre sertlik testi uygulanmıştır. Sertlik testleri için on farklı noktadan ölçüm yapılmış olup, bunların ortalaması baz alınmıştır.

3. BULGULAR

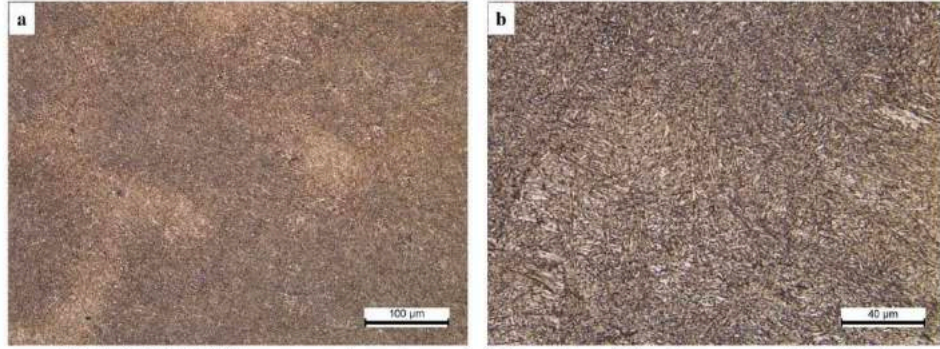
Şekil 2'de döküm sonrası ısıtma işlemi yapılmamış numunelerin mikro yapı görüntüleri gösterilmektedir. Genel mikro yapının homojen olmayan tipik bir beyaz ve martenzitik döküm yapısından oluştuğu düşünülmektedir. İlaveten tane sınırları boyunca çökelmiş perlit görünümlü karbür ağlarının varlığı görülmektedir.



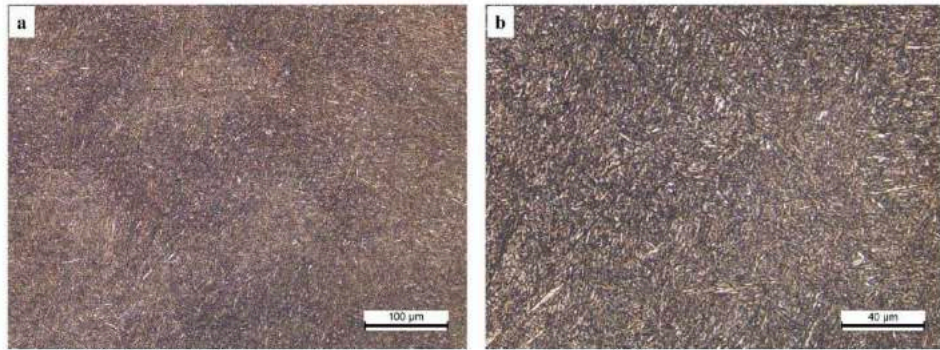
Şekil 2 Döküm sonrası genel (a) ve detay (b) mikro yapı görüntüleri



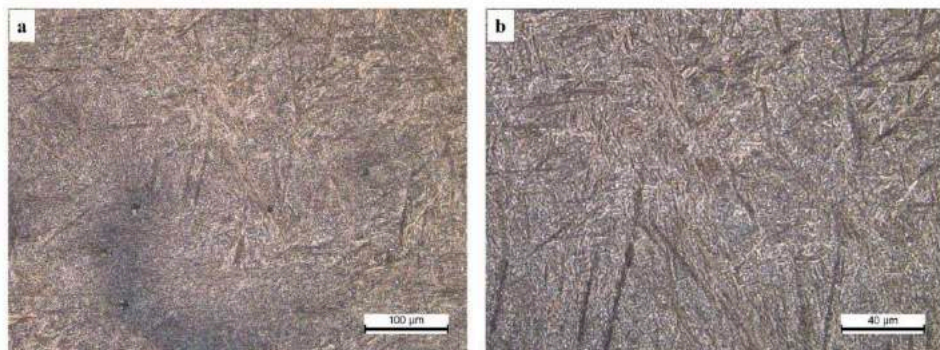
Şekil 3 HS numunesine ait genel (a) ve detay (b) mikro yapı görüntüleri



Şekil 4 HS+450T numunesine ait genel (a) ve detay (b) mikro yapı görüntüleri



Şekil 5 HS+550T numunesine ait genel (a) ve detay (b) mikro yapı görüntüleri



Şekil 6 HS+650T numunesine ait genel (a) ve detay (b) mikro yapı görüntüleri

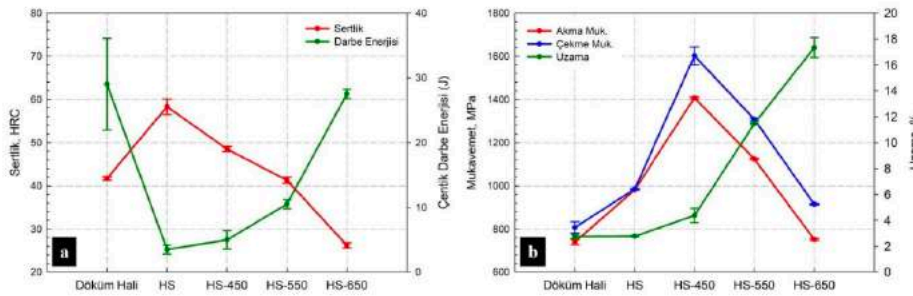
Şekil 3’de 910°C’de 3 saat östenizasyon işleminden sonra döner tabla üzerinde havada soğumaya bırakılmış numuneye ait mikro yapı görüntüleri verilmiştir. Yapı henüz dönüşümü tamamlanmamış kalıntı östenitlerle beraber martenzit fazından oluşmaktadır. Resimlerde koyu renkte görülen yapılar plaka martenziti, beyaz renkte olan kısımlar ise optik mikroskopta görüntülenmesi zor, kalıntı östenit fazını göstermektedir.

Şekil 4, 5 ve 6’ da sertleştirme ısıl işleminden sonra sırasıyla 450°C, 550°C ve 650°C’de gerçekleştirilen temperleme işlemi sonrası elde edilen mikro yapı görüntüleri verilmiştir. Bu aşamada birincil martenzitlerle kalıntı östenitler arasında gerçekleşen karbon difüzyonu nedeniyle birincil martenzitlerin karbon kaybetmesi ile her üç sıcaklıkta da temperlenmiş martenzit yapısının oluştuğu görülmektedir [7,8].

Tablo 3 Isıl işlem şartlarına bağlı olarak numuneleri mekanik özellikleri

	Akma Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Uzama (%)	Sertlik (HRC)	Darbe Enerjisi Çentikli (J)
Döküm Hali	740,3 ± 12	807,6 ± 26	2,76 ± 0,2	41,7 ± 0,4	29,0 ± 7,1
HS	982,1 ± 1	986,0 ± 2	2,78 ± 0,1	58,3 ± 1,8	3,5 ± 0,7
HS+450T	1407,3 ± 5	1601,9 ± 42	4,38 ± 0,6	48,5 ± 0,6	5,0 ± 1,4
HS+550T	1124,6 ± 4	1308,0 ± 6	11,47 ± 0,1	41,3 ± 0,7	10,5 ± 0,7
HS+650T	752,1 ± 5	915,1 ± 3	17,33 ± 0,8	26,2 ± 0,6	27,5 ± 0,7

Tablo 3’de ısıl işlem şartlarına bağlı olarak deneysel numunelerden elde edilen mekanik test sonuçları verilmiştir.



Şekil 7 Isıl işlem şartlarına bağlı olarak mekanik özelliklerin karşılaştırılması

Şekil 7a’da numunelerin temperleme sıcaklığına bağlı olarak sertlik ve tokluk değerlerindeki değişim gösterilmektedir. Şekil incelendiğinde, en yüksek sertliğe ve en düşük tokluğa havada sertleştirilmiş HS numunesinin sahip olduğu görülmektedir. Öte yandan, 450 °C sıcaklıktan 650°C’ye kadar artan temperleme sıcaklığıyla birlikte numunelerin sertlik değerleri büyük oranda düşerken, tokluk değerleri ve uzama yüzdeleri aynı oranda artmaktadır. 450°C’de elde edilen %4,38’lik uzama değeri, 650°C temperleme sonrası %17,33’e yükselmiştir. Havada sertleştirilmiş numune 58,3 HRC sertliğe sahip iken, aynı çelik 450°C sıcaklıkta temperlendiğinde sertliği %16,8 azalarak 48,5 HRC’ye, 550 °C sıcaklıkta temperlendiğinde %29,2 azalarak 41,3 HRC’ye, 650 °C sıcaklıkta temperlendiğinde ise %55 azalarak 26,2 HRC’ye düşmüştür. Buna bağlı olarak da havada sertleştirilmiş numunenin tokluğu 3,5 J iken, temperleme sıcaklığının 650 °C’ye çıkartılması ile %685 oranında artarak en yüksek değeri olan 27,5 J’e ulaşmıştır.

Şekil 7b’de çekme deneyine tabi tutulan numunelerin farklı temperleme sıcaklığına bağlı olarak çekme dayanımı, akma dayanımı ve yüzde uzaması değişimleri gösterilmektedir. Havada sertleştirme ısıl işleminden sonra 450 °C’de temperleme işlemi ile numunelerin akma ve çekme

dayanımı değerlerinde sırasıyla %43 ve % 62 oranında artış meydana gelmiştir. Fakat, temperleme sıcaklığının 550 ve 650 °C'ye artırılmasıyla çekme dayanımı değerlerinde %18 ve %43 oranlarda düşüş gözlenmiştir. Aynı şekilde; 450°C'de temperleme işleminin sonunda 1407,3 MPa olan akma dayanımı değeri, temperleme sıcaklığının 550°C ve 650°C'ye artırılmasıyla, sırasıyla %20 ve %46,5 oranında düşüş göstermiştir. Bu nedenle en yüksek çekme dayanımı değeri 1601,9 MPa olarak en düşük temperleme sıcaklığı olan 450 °C'de elde edilmiştir.

SONUÇ

Bu çalışmada, değirmen ocaklarındaki astar plakalarının üretiminde kullanılan 2,25Cr- 0,35Mo çeliğinin havada sertleştirme işleminden sonra, 450, 550 ve 650 °C olmak üzere üç farklı sıcaklıkta temperleme işlemi uygulanmış ve numunelerin mekanik özelliklerindeki değişim incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar neticesinde, artan temperleme sıcaklığı ile birlikte numunelerin mikro yapısında meydana gelen faz dönüşümlerine bağlı olarak sertlik, çekme ve akma dayanımı değerlerinde düşüş olurken, kopma uzaması ve tokluk değerlerinde artış meydana geldiği görülmüştür. Buna bağlı olarak da 650 °C'de yapılan temperleme işleminde elde edilen tokluk değerinin tokluğun birinci ön planda olduğu astar plakalarının üretiminde daha işlevsel olduğu görülmüştür.

Ayrıca uygulanan üç temperleme işlemi de, tasarım mühendisleri için farklı koşul ve ortamlarda çalışacak astar plakaları açısından bir referans göstermektedir. Bu durumda farklı temperleme sıcaklıkları ile elde edilen farklı tokluk değerleri, astar plakalarının maruz kaldığı maden tipi, darbe şekli ve makine içindeki konumlanış biçimi / montaj şekli açılarından tercihte önem arz edebilmektedir.

ÖNERİLER

Optimum sertlik ve tokluk ilişkisinin 550 ve 650 °C aralığındaki bir temperleme sıcaklığında elde edileceği düşünülmektedir. Bu nedenle bir sonraki çalışmalarda 600 °C'de gerçekleştirilen temperleme işleminin mikro yapı ve mekanik özelliklere etkisi incelenecektir.

KAYNAKÇA

- [1] P. W. Cleary, "Recent Advances in DEM Modelling of Tumbling Mills", Miner Eng., Vol 14 (10), 2001, P.1295-1319.
- [2] S. Banisi, M. Hadizadeh, "3-D Liner Wear Profile Measurement and Analysis in Industrial SAG Mills, Miner Eng., Vol 20 (2), 2007, P.132-139.
- [3] M. S. Powell, P. W. Cleary, P. Radziszewski, "Selection and Design of Mill Liners", Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Colorado, USA, 2006, P. 331-376.
- [4] ASM Metal Handbook, Heat Treatment, Vol. 4, New York: American Society for Metals; 1191, P.367-413.
- [5] R. W. Hertzberg, "Deformation and Fracture Mechanics of Engineering Materials", John Wiley & Sons Inc.; 1996.
- [6] M. H. Shaeri, H. Saghafian, S. G. Shabestari, " Effect of Heat Treatment on Microstructure and Mechanical Properties of Cr-Mo Steels (FMU-226) used in Mill Liner", Materials and Design, Vol 34, 2012, P.192-200.
- [7] C.Y. Wang, Y. Chang, W. Q. Cao, H. Dong, "Work Hardening Behavior and Stability of Retained Austenite for Quenched and Partitioned Steels", Journal of Iron and Steel Research International, Vol. 23(2), P.130-137
- [8] M. Ş. İşyarlar, "Çelik Malzemelere Uygulanan Q-P Isıl İşleminin Aşınma Özelliklerine Etkisi", Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Eylül 2019.

METAL DÖKÜM SEKTÖRÜNDE OTOMOTİV ÜRETİM SİSTEMLERİNİN VE YALIN ÜRETİM TEKNİKLERİNİN UYGULANMASIYLA ELDE EDİLEN PERFORMANS ARTIŞIYLA REKABETÇİLİĞİN VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞİN ARTTIRILMASI

Ümmet AYYILDIZ

Prometal Hafif Metaller Döküm San. Ve Tic. LTD. ŞTİ., Bursa, Türkiye

ÖZET

Döküm sektörünün temel 3 yapı taşlarından olan enjeksiyon makineleri, makinelerde sıvı metali şekillendirmek üzere kullanılan metal kalıplar ve ürünü elde etmek için kullanılan hammadde özellikleri üzerine sıklıkla araştırma, denemeler ve geliştirmeler yapılmaktadır. Bu alanlarda ayrı ayrı makale ve bilimsel çalışmalara kolaylıkla erişilebilirken sektörün bir sistem dahilinde, sıfır hata politikasıyla, değişkenliği çok fazla olan insan faktörüyle sektöre uygun tüm süreçlerin birbiriyle uyumunu gözeten sektörel üretim sistemi kurulumunda Toyota üretim sistemi, Renault-Nissan üretim sisteminden faydalanarak yalın üretim tekniklerinin kullanılmasına başlanmıştır. Yalın dönüşüm ve çıktıları sayesinde azalan stok maliyeti, azalan kalitesizlik maliyetleri, iyileştirilen özel sevkiyat maliyetleri, insan hayatına etki eden ürün kalitesi için sıfır hata çalışmaları ve sonuçları ve tüm bunlarla artan müşteri memnuniyetiyle döküm sektöründe performans artırma yöntemleri devreye alınarak karlılık arttırılmıştır.

ABSTRACT

Frequently researches, trials and developments are carried out on injection machines, which are among the three basic building blocks of the casting industry, metal molds used to shape liquid metal in machines, and the raw material properties used to obtain the product. While individual articles and scientific studies in these areas are easily accessible, the industry is within a system, with a zero defect policy, with a lot of human factors, in the sectoral production system that observes the harmony of all processes suitable for the sector, Toyota production system, Renault-Nissan Production System to use lean production techniques has been started. Thanks to the lean productivity and outputs, decreasing inventory costs, decreasing poor quality costs, improved shipping costs, zero error studies and results for product quality affecting human life, and with all these, performance improvement methods in the casting sector have been put into use and profitability has been increased.

Keywords: lean productivity, visual management, quality systems, standardization management

1. DÖKÜM SEKTÖRÜNDE YALIN ÜRETİM SİSTEMLERİ

Üretim sektörü fark etmeksizin tüm işletmeler tedarik zincirinin süreçlerinde çeşitli kayıplar yaşamaktadırlar. Bu kayıplar ise bazen maliyet kaybı, bazen ise motivasyon kaynaklı yetkinliklerin yitilmesi olabilmektedir. Kayıp ne olursa olsun ortaya çıkan en büyük risk ise müşteri kaybı olmaktadır. Tedarik zincirinin süreçlerinde ortaya çıkan kayıpların sonucu olarak karşımıza çıkan müşteri memnuniyetsizliği bazen mevcut anlaşmaların devamlılığını riske atmakta bazen ise yeni ürün devreye alma süreçlerinde rekabetçi olunamamak kaynaklı ortaya çıkabilmektedir. İşletmelerin ortaya koydukları vizyonları gerçekleştirebilmeleri, buldukları sektörlerde lider olabilmeleri, çok hızlı ve değişken olan rekabetçi ortamda kendilerine pay elde edebilmeleri için her türlü kayıptan kaçınmaları, önlem almaları ve aldıkları bu önlemleri sürdürülebilir hale getirmeleri esastır. Bu kapsamda en disiplinli çalışmaları otomotiv sektörünün lider firmalarında görmekteyiz. Özellikle Ford ile başlayan üretim teknikleri Toyota Üretim Sistemi kurulumuyla tüm firmalara yalın üretim sistemi olarak yaygınlaştırılmaktadır [1]. Bu yaygınlaştırılan faaliyetlerin tek amacı ise kayıpların yok edilmesinden ziyade müşteri memnuniyeti olmasıdır. TPS sisteminin temel amacı ise sistemlerin mudaların ve sonuç olarak verimliliğin artırılması anlamına gelmektedir. Buradaki temel hedef kaynaklarının tümünün üretim hattına yönlendirilmesi ile yüksek kaliteli ürünlerin müşteriye ulaşmasıdır, yani müşteri memnuniyetidir [1]. Pek çok işletme ise müşteri memnuniyetini farklı algılayıp sürdürülebilirlik hususunda hatalar yapmaktadır. Bu hataların bedeli bazen karlılık kaybı olurken bazen ise doğrudan müşteri ve kelebek etkisiyle müşteri kayıpları olarak karşımıza çıkmaktadır.

Böyle bir gerçeklik ortadayken otomobil firmaları üretim sistemleri kurarak gerekli olan disiplinleri kurmuşlar ve yürütmektedirler [1]. Bu faaliyetleri yapmazlarsa rekabette yara alacaklarını, geri çağırma maliyetleri ve marka imajlarında ciddi kayıplar yaşayacaklarını bilmekte oldukları gibi tüm stratejilerini bu yönde hazırlamaktalar. İşte bu, otomotiv firmalarının kurdukları bu üretim sistemleriyle ilk seferde dakikada 1 aracı yüksek kalitede yaptıkları ortadayken bu iyi örneği kopya etmemek olmaz. Bu benchmark aktivitesi zaten pek çok firma tarafından yalın üretim teknikleri olarak dikkate alınmakta ve kendi tedarik zincirlerinde pek çok uygulamaya yer vererek kayıpların elimine edilmesiyle kazanç sağlamaya çalışmaktadır [2]. Benchmark işletmenin rekabet gücünü arttırmak, başarılı performansla sahip başka işletmelerin iş yapma tekniklerini incelemesi, kendi teknikleri ile karşılaştırması bu karşılaştırma ile elde ettiği bilgileri kendi işletme içerisinde uygulaması anlamına gelmektedir. Böylece iş dünyasında rekabet elde edilmiş olur. Bu rekabetliğin sağlanması adına yalın teknikler de bir parçadır. Peki ama bu yalın teknikler döküm sektöründe ne kadar dikkate alınıyor? Bu sorunun cevabını merak etmiyoruz aslında! Çünkü, döküm sektöründe rekabetçiliğe katkı sağlayan ve bu sistemi kuranlar her yönden kazanç sağlamakta, birkaç adım daha avantajlı olarak sektörlerinde ilerlemektedirler. Döküm sektöründe genel olarak pek çok araştırma ve geliştirme faaliyeti ürün kalitesine yönelik olmaktadır. Hafif metaller başta olmak üzere ortaya koyulan uygulamanın sıvı metal kalitesi, kalıp teknolojisi ve enjeksiyon makinesi üzerinde olduğu görülmektedir. Tüm bu araştırma konuları genel olarak para ile satın alma neticesinde süreçlerin optimize edilen noktalardır. Bu optimizasyon çeşitli kök nedenlere inerek gerçekleştirilebilir. Bu tekniklerden biri 4M(Makine-Malzeme-İnsan-Metot) yöntemidir. Bu tekniğin ana amacı kök neden analizi öncesi problem niteliği taşıyan olayın muhtemel nedenlerini bu dört ana madde başlıkları altında incelemektir. Ancak 4M (makine – malzeme – insan – metot) olarak ele aldığımızda yatırım ile iyileştirme yapılan konulardan ziyade metot ve insan faktörü büyük bir bilinmezliğin ve risklerin yaşandığı hususlardır [3]. Ancak bu hususlar için çalışma yapılmaz ve/veya risk yönetimi gerçekleştirilmezse sürdürülebilirlikte ciddi problemler yaşanacaktır. Bu kapsamda döküm sektöründe yalın üretim sistemi uygulamaları, öncesi yaşanan sorunlar ve bu sorunlara otomotiv sektörünün üretim disiplini uygulamalarıyla nasıl çözümler üretildiğini açıklayalım.

1.1 Yalın Üretimsiz Döküm Faaliyetleri ve Yaşanan/Yaşanabilecek Sorunlar: Döküm sektöründe

yaşanabilecek sorunlar ortaya koyulan çıktıya göre değişmektedir. Burada paylaşacağımız hususlar ise emniyet kemeri parçaların dökülmesine yönelik olacaktır. Konu otomotiv parçasının en önemli parçalarından olunca yani insan hayatı söz konusu olunca dökümü sıradan teknikler ve organizasyonlarla yapamazsınız! Yapmanız durumunda çok ciddi tedarik zinciri sorunlarıyla karşılaşsınız.

Öncelikli olarak hafif metaller sektöründe başarılı olabilmenin, sürdürülebilirliğin ve rekabetçiliğin şartı pek çok sektör ve üründe olduğu gibi müşteri isteklerine uygun ve istenen zamanda parça sevkini sağlayabilmektir. Biz de döküm sektöründe yaşadığımız sorunları bir dönüşüm projesi olarak ele alarak, süreçlerimizi gözden geçirdik ve geçirmeye devam edilmektedir [4]. Bunu zaten siz de yapıyorsunuzdur. Ancak ortada çok ciddi bir soru vardı. Nasıl olacak bu dönüşüm? İlk olarak en temel sorunları ortaya koyarak başlayalım.

İskarta oranlarımız çok yüksek olduğunda;

- Extra hammadde tüketimi
- Gereksiz enerji tüketimi
- Sürekli kalıp değişimi
- Ekstra proses ve kaynak kullanımları
- Müşteri gecikmeleri
- Özel sevkiyat maliyetleri
- Bakiye problemlerine bağlı hat duruş ceza maliyetleri
- Fazla mesai maliyetleri
- Çalışanların zihinsel ve fiziksel yorgunluğa maruz kalması

Kalitesizlik oranı yüksek olduğunda;

- Müşteri hata bildirimleri
- Ayıklama maliyetleri
- Geri çağırma maliyetleri
- CSL 1-2 kontrol maliyetleri
- Proje durdurma ve blokaja alınma
- Marke ve güven kaybı
- Motivasyon
- Ekstra lojistik maliyetleri
- Tekrarlı analiz maliyetleri

Sürekli ortaya çıkan arızalar olduğunda;

- Zamanında yapılmayan bakım aktiviteleri
- Yetersiz bakım birimi
- Gerçekleşemeyen TPM yaklaşımına bağlı kapasite kayıpları
- Arıza süre ve tekrarların sıklığına bağlı üretim planı aksamaları
- Tekrarlı arıza kaynaklarıyla katma değersiz enerji kaybı

Çalışanlarda motivasyon kaybı olduğunda;

- Aşırı iş yüküne bağlı aidiyet duygusunun yitilmesi
- Zihinsel yorgunluğun tükenmişlik duygusuna neden olması
- Ortaya çıkan sorunların sürekliliği, tekrarı ile motivasyon kaybı
- Sorunlardan dolayı öğrenme mekanizmasının durması
- Yetkinliklerin gelişiminin durması
- Yüksek çalışan sirkülasyonu
- Çalışan değişimine bağlı kurumun paydaşlarıyla olan iletişimin bozulması
- Yüksek eğitim maliyetleri
- Çalışan değişim sürecinde öğrenme sürecine bağlı kalitesizliklerin çıkması
- Ortaya koyulmayan kök nedenlerin yetersizliğine bağlı gereksiz danışmanlık maliyetleri

Bu ve bunun gibi pek çok problemi arttırmak mümkündür. Bu süreçlerde yaşanan her türlü problemin nihai sonucu müşteriye yansımakta ve firmalar için rekabetçilikte orta ve uzun vadede önemli bir olumsuzluk yaşatmaktadır. Peki bu sorunlar için nereden başlamalı? Otomotiv

sektörü bu sorunları nasıl çözdü gelin onları inceleyelim.

Döküm Sektöründe Yalın Ev İnşası: Kayıpların yok edilmesi için ortaya pek çok strateji koyulmaktadır. Her işletmenin ise tespitleri ve yol haritası kendisine özgü değişiklik göstermektedir. Ancak artan rekabetçi ortam, kayıpların fazlalığı ve sürdürülebilirlik üzerindeki problemler bizleri farklı çözümlere itmektedir. Bu çözümler arasında bazen danışmanlık aktiviteleri olmakta bazen kendi iç organizasyon çözümleriyle olmaktadır. Hangisi tercih edilirse edilsin şirketin en önemli aktivitelerinden biri olan kayıpların azaltılması stratejisi tecrübesiz kişi, kurum ve/veya organizasyonlara bırakılamaz. Bunun en temel nedeni ise mevcut sistemde bozulmasına, göstergelerin geriye gitmesinin hızlanmasına neden olacaktır. Dolayısıyla uzun vade stratejileri oluşturulması esas olmalıdır. Bu amaçla işletme kendi demografik yapısına uygun olarak üretim sistemi disiplini kurmalıdır. Aksi halde dışarıdan alınan her anlık çözümün süreklilik arz etmeyeceği bir durum ortaya çıkacağı gibi ciddi ilave mali yüklerle yani kayıplara neden olacaktır. Dolayısıyla özellikle döküm firmaları uzun vade stratejilerine Yalın Üretim Sistemi kurulumunu eklemelidirler.

Uzun vade strateji olarak belirtilmesinin temel gerekçesi ise bu alanda otomotiv sektörü aynı sistemleri yüksek bütçe ve imkanlarla en 10 yıllık süreçte tamamladıkları ve halen üzerinde çalıştıkları görülmektedir. Ancak bu çalışma sayesinde her vardiyada aynı standardı yakalayıp süreçlerin yönetimini optimize etmişlerdir. Bu gerçeklik ve benchmark imkanıyla yola çıkarak döküm sektöründe kendi üretim sistemimizi devreye almaya başladık. Adına da Prometal Üretim Sistemi dedik. Pek çok döküm firmasına bilgi verecek ve ilham kaynağı olacak ve süreçleri için katma değer yaratacak olan bu dönüşüm adımlarını en temel boyutları paylaşalım.

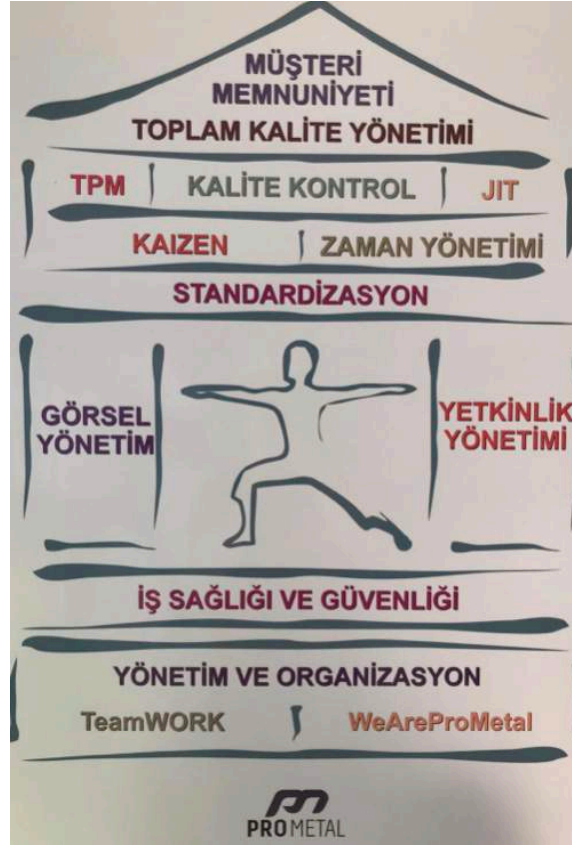
1.2.1 İlk olarak Yönetim ve Organizasyon: Pek çok işletme bu adımı atlayarak doğrudan 5S veya Kaizen ile yalın aktivitelere başlamaktadır. Sonrasında ise sürdürülemez bir durumla karşılaşır. Hatta sürekli olarak her türlü aktiviteyi yapmamıza rağmen bir türlü 5S'i koruyamadık, sürdürmedik diye şikayetler duyacaksınız. Bunların temel nedeni yalın tekniklerin birbiriyle olan bağlantılarının kopukluğudur. Bu kopukluğu gideren ise sistematik yaklaşımdır. Bu sistematik yaklaşımın temelini ise yönetim ve organizasyon adımı oluşturur. Peki bu adımdan beklenen nedir ve nelere dikkat edilmelidir? Bu adımı öncelikle iki kategoride oluşturuyoruz.

- Takım Çalışması (Teamwork)
- W'are PM _ Biz Prometal'iz

Özellikle teamwork adımı şirketimizin süreç yönetimini, müşteri isteklerini ve mevcut imkanlarımızı dikkate alarak hat yönetimi ilkelerini bu aşamada belirliyoruz. Hatlar nasıl yönetilecek? hatların performansı nasıl incelenecek? Hatlardaki çalışan profili nasıl olmalı? yetkinlik yönetimi nasıl olmalı? Polivalanslık nasıl olmalı ve devamsızlık durumunda nasıl bir performans yönetimi yapılmalı? Takım çalışması ve liderlik nasıl olmalı? Tüm çalışanlarımızın anlık ve adil olarak performans yönetimi nasıl yapılacak? Toplantılar nasıl gerçekleştirilecek? 4857 iş kanunu gereklilikleri ve 6331 iş güvenliği gereklilikleri nasıl yönetilecek? Çalışanlarımızla nasıl bir görüşme gerçekleştirilecek ve bu görüşlerin çıktıları nasıl ele alınacak? gibi hususların yönetimi sağlanarak tedarik zinciri üzerindeki insan kaynağının etkilerinin maksimum performans çıktısına hizmet etmesi beklenmektedir.

Diğer bir başlığımız olan W'are PM adımı ise şirketimizin kurumsal değerlerinin tüm organizasyona yaygınlaştırılması, vizyon ve misyonun tüm organizasyona en etkin şekilde yaygınlaştırılması, ölçülmesi ve sürdürülmesi faaliyetleri irdelenmektedir. Şirketimizin en kıymetli değer yönetimi olan müşteri memnuniyet yönetimi ve üretim sistemimizin politikaları, kalite taahhütleri ve belgelendirme faaliyetleri sistematik olarak bu adımda ele alınmaktadır.

1.2.2 İkinci Adım Olarak İş Sağlığı ve Güvenliği: Tüm süreçlerde çalışanlarımızın tedarik zinciri



Şekil 1 : Prometal Üretim Sistemi

içerisinde yüksek performans sağlayabilmeleri için zihinsel ve fiziksel zorluklardan arındırılmaları esastır. Bu kapsamda her yeni devreye alınan postalar ve mevcut çalışma postaları için iş güvenliği risk analizleri yapılmakta ve bu çalışmalar düzenli olarak ele alınmakta şirketin yıllık ve 3 yıllık stratejik hedef yönetimine veri olmaktadır. Burada özellikle iş güvenliği faaliyetlerinin anlık ve sürekli yapılması esastır. Bu kapsamda hat lideri arkadaşlarımız risk analizleri yönüyle eğitilmekte ve sürecin yönetilmesi sağlanmaktadır. Özellikle operatörlerimizin sistemde tespit ettikleri uygunsuzlukları bildirebilmeleri amacıyla anormallik bildirim etiketleri kullanılmaktadır. Bu sayede sözlü iletişim aynı zamanda yazılı olarak izlenmektedir. Bu adım sayesinde hangi çalışmamızın sisteme ne kadar katkısı var ölçülebilmekte, hangi proste anormallikler yoğunlaşıyor, hangi birimlerin ne kadar re aktivitesi var izlenebilmektedir.

1.2.3 Üçüncü Adım Olarak Görsel Yönetim: Hatların performansı için yönetilebilir postalara ihti-

ANORMALLİK BİLDİRİM ETİKETİ							
Bölge/Makine							
ISG		Maliyet		Risk		İK	
Kalite		Süre		Enerji		Diğer	
Anormalliği Bildiren				Anormalliği Giderecek			
Bildirim Tarihi :				Teslim Tarihi :			
Anormallik Açıklaması							
ANORMALLİK GIDERİLDİ							
OKUT-ÖĞREN				Gideren			
				Birim			
				Tarih			

Şekil 2 : Anormallik Belirleme Etiketi

BÖLGE :				İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ HEPİMİZ İÇİNDİR.					
RISK ANALİZİ				Analiz No:					
				Sayfa No:					
Posta / Bölge / Makine / Yapılan İş:				Bölüm / Fabrika:					
Çalışanlara Uyarı: Bu değerlendirilmede herhangi bir güncellemeye sebep olacak değişiklikleri ilgililere bildirmek zorundadır.									
RESİM		KİMLER ZARAR GÖREBİLİR?		KOŞULLAR		ANALİZİN YAPILMA SEBEBİ			
		Operatör <input type="checkbox"/> Teğeron <input type="checkbox"/> Engelli <input type="checkbox"/> Genç/Deneyimsiz <input type="checkbox"/> Diğer personel <input type="checkbox"/> Toplum <input type="checkbox"/> Ziyaretçi <input type="checkbox"/> Bir ekipte yaklaşıklık etkileyecek kişi sayısı <input type="checkbox"/>		Normal / Rutin <input type="checkbox"/> Rutin olmayan <input type="checkbox"/> Bakım <input type="checkbox"/> Arıza <input type="checkbox"/> Duruş <input type="checkbox"/> Proje <input type="checkbox"/> Acil durum <input type="checkbox"/> Diğer <input type="checkbox"/>		İlk Analiz <input type="checkbox"/> Yenileme <input type="checkbox"/> Prosedür Değişiklik <input type="checkbox"/> Kazaya Sonrası <input type="checkbox"/> Olay Sonrası <input type="checkbox"/> Ramak Kaza Sonrası <input type="checkbox"/>			
Analiz Tarihi:		Sonraki Analiz Tarihi:		Açıklama:					
Tehlikelerin Tanımlanması									
(Ciddi yaralanmalara sebep olacak tehlikeler dikkate alınmalı)									
Tehlike Kaynağı	Tehlikeli mi?	Risk Değeri	Sonuç	Aksiyon Sonrası	Tehlike Kaynağı	Tehlikeli mi?	Risk Değeri	Sonuç	Aksiyon Sonrası
Takılma, Düşme, Kayma	<input type="checkbox"/>	O x S	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Yüklenmesi ve Boşaltılması	<input type="checkbox"/>	O x S	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Cisim Düşmesi	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Araç Hareketi	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Elle Çalışma	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Gerileri Araç Hareketi	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mekanik Kesilme / Asistans	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Keskin Üzay / Alet	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Stoklama, İstifleme	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ultra Viole Işık (Isı Dışında)	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Tehlikeli Geçiş	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Dönen Makine Hareketi	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Stres	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Hareketli Makine Parçaları	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Gilt Tahrişi	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Dar Alan / Kapalı Alan	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Göz Yaralanması - Lazer	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Yüksek veya Düşük Sıcaklık	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Göz Yaralanması - Toz / Çapak	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Sıcak Cisim	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Gürültü	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Elektrikli Alet	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Titreşim	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Elektrik Tesisatı	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Duman, Buhar, Toz	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Basınçlı Hava	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Lazer Radyasyonu	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Basınçlı Kaplar	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Tehlikeli Madde / Malzeme	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Yetersiz Aydınlatma	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Patlama/Yanıcı Gaz	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Yüksekten Düşme	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Yanıcı Malzeme	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ergonomi	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Depolanmış Enerji	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Diğer	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Elektrik	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Elektrik olmayan Hidrolik / Pnömatik	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
NOT : Risk Değeri, O x S = Olasılık x Şiddet									
Olasılık	Muhtemel	1	Mümkün	2	Olası	3	Yüksek Olasılık	4	Kesin
Değeri	Çok Az		Düşük		Orta		Yüksek		Çok Yüksek
Şiddet	Yok	1	Az	2	Orta	3	Yüksek	4	Ağır
Değeri	Çok Hafif		Düşük		Orta		Yüksek		Çok Yüksek

Şekil 3 : Risk Analizinden Kesit

yaç bulunmaktadır. Bunun için tertip düzen yeterli değildir. Tüm alanlarınız elinizdeki imkanlarla çok temiz ve düzenli olabilir ancak üretim performansı için yeterli bir seviye değildir. Elbette pek çok okuyucu şu an biz ona da razıyız diyor. Ancak biz 5S çalışmalarını tertip düzenin ötesinde performans olarak ele alınmasının doğru olacağına inanmaktayız. Bu yönde de görsel yönetimi olmamış bir 5S in yeterli olmayacağını savunuyoruz. Bu maksatla çalışma postalarının yapılarının kolay öğrenilebilir, kolay gözlemlenebilir, kolay iyileştirilebilir olması amacıyla 5S görsel yönetimi gerçekleştirmekteyiz. Bu sayede özellikle vardiyalı çalışma düzeninde çalışanların insiyatifine veya alışkanlıklarına göre değil, performans kriterlerine göre yerleşim yapmaya özen gösteriyoruz. Bu kapsamda özellikle sahada gerçekleştirilen 3S (Ayıklama, Düzenleme , Temizlik) faaliyetlerini ofis çalışmalarıyla 2S (Standardizasyon , Yaygınlaştırma-Disiplin) adımlarıyla sürdürüyoruz. Bu adımların gerçekleştirilebilmesi içinde standardizasyon adımı çok önemlidir. Standardizasyon adımı detaylarını paylaşacağız.

Şekil 4'de yer alan çalışma postası klasik manada tertipli ve düzenli bir posta olarak değer-



Şekil 4 : Çalışma Postası

lendirilmekteydi. Ancak bu 5S görsel yönetim yönüyle değerlendirildiğinde tedarik zincirinde müşteri isteklerini karşılayacak şekilde çalışana destek olan , yönlendiren ve zihinsel zorluğu ortadan kaldıran şekilde olmadığı görülmektedir. Bu ve benzer çalışma postaları sistematik olarak görsel yönetim metotlarıyla ele alınarak çalışma postası iyileştirildi. Şekil 5'de örneğini görülmektedir.

1.2.4 Dördüncü Adım Olarak Yetkinlik Yönetimi: Yetkinlik yönetimi için harekete geçmemizi te-



Şekil 5 : Görsel Yönetimi (5S) Yapılmış Posta Örneği

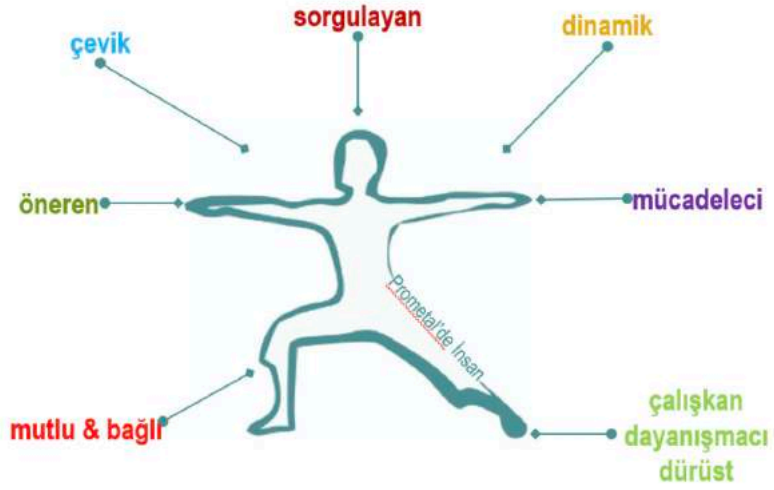
tikleyen en önemli unsur sadece beceri değil atik, sorgulayıcı ve otonom personel gerekliliği olmuştur. Bu kapsamda ilk olarak şirketimizde çalışanların profili nasıl olmalı, diyerek kendimizi tanımladık. Bunun için mevcut durumda %58 oranında olan ilk okul mezunu seviyesini hızla arttırmanın yoluna baktık. Burada iş çıkışı yerine mümkün olduğunca gönüllülük esası dikkate alınarak operasyonel önem seviyesine göre posta görevlendirilmesi gerçekleştirildi. Mevcut durumda operatörlerimizin yaptıkları işlerin hızlı bir şekilde standardizasyonu gerçekleştirildi ve bu standartlar hakkında kendilerine eğitim verildi. Ancak burada çok önemli iki problemle karşılaştık.

- Eğitimler nasıl yönetilecekti?
- Eğitim vermenin standardı nasıl sağlanacaktı?

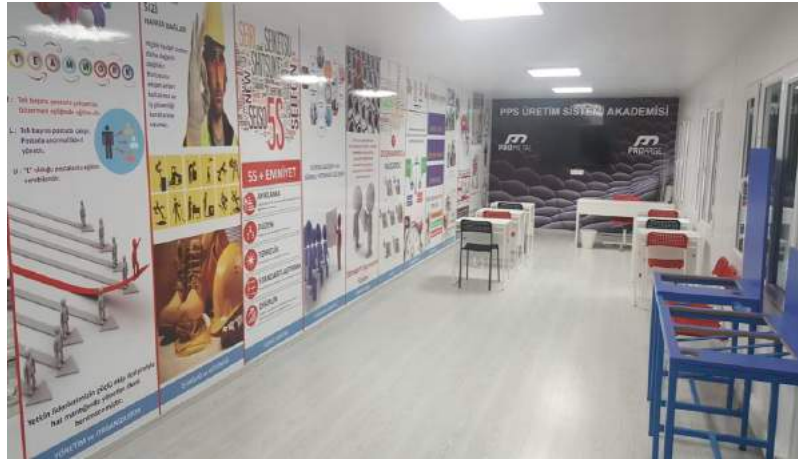
Buradaki zayıf noktalar için şirketimize Akademi kurulumunu gerçekleştirdik. Bu akademinin etkinliği için 4 ana unsur belirledik.

- İş başı öncesi eleme postaları sayesinde hedeflere uygun personel seçimi
- Mevcut çalışanlarımızın gelişimleri için eğitimlerin verilmesi
- Her türlü yetkinlik kaybında eğitimlerin tekrarlanması
- Kalite problemleri
- Denetim sonuçları
- Müşteri hata bildirimleri
- Takım lideri posta gözlem sonuçları
- İş kazası sonrası
- Uzun süreli devamsızlık
- Kalite kontrol faaliyetlerinde DOJO ve MSA çalışmaları için eğitiminin verilmesi

Tüm bu amaçlara ilave olarak eğitim verecek liderlerinde belli yetkinliklerde olması gerekme-



Şekil 6 : Prometal çalışan profili



Şekil 7 : Prometal akademisi

kteydi. Çünkü biliyorduk ki her eğitmen farklı eğitim yöntemleri kullanarak sistemin standardizasyonu bozacaklar veya risk oluşmasına neden olacaktı. Bu riski elimine etmek ortadan kaldırmak amacıyla liderlerimizi nasıl eğitim vermeleri konusunda eğittik. Buradan hareketle eğitim vermenin standardını oluşturmuş olduk. Bu sayede her lider hangi konuda olursa olsun her operatöre aynı yöntemle eğitim vermeye başladı.

Sırada hangi süreç için hangi eğitimlerin ne zaman verilmesi gerektiği ve takibi kalmıştı. Bunun



Şekil 8 : 3 aşamada öğrenim metodu

için yıllık eğitim planımızı oluşturduk. Bu plan aynı zamanda bizlere eğitim kataloğu oluşturma fırsatı sunmuştu.

Yetkinlik yönetiminde özellikle üretimin devamsızlık durumunda müşteriye olan etkilerinin sıfır-

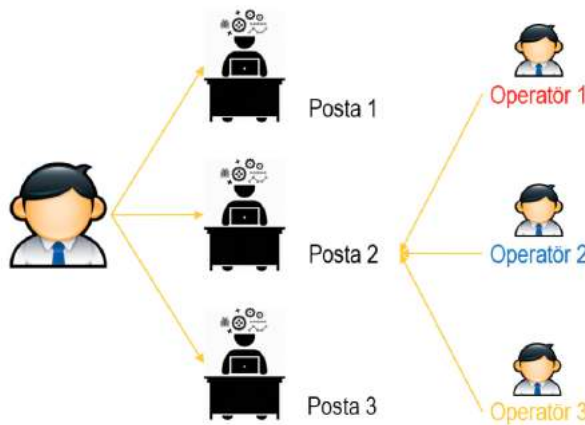
İÇERİK		EĞİTİM ADI										EĞİTİM ZAMANI	Frekans	EĞİTİM KODU	DURUM	HİZMET TÜRÜ	EĞİTİM SİRE	
İnsan Kaynakları	Etkili İletişim												Planlama Dahilinde	1 yıl	PM18001	Pasif	Kurum İçi	8 Saat
İnsan Kaynakları	Şirket Politikaları ve Disiplin Yönetimi												1g Başg / + 3 Ay	1g başg	PM18002	Aktif	Kurum İçi	4 Saat
İnsan Kaynakları	Şirket içi Mail Yönetimi												1g Başg / + 3 Ay	1g başg	PM18003	Aktif	Kurum İçi	2 Saat
İnsan Kaynakları	Beyaz Yakamın Zaman Yönetimi												Planlama Dahilinde	1 yıl	PM18004	Pasif	Kurum İçi	8 Saat
İnsan Kaynakları	Etkili İnsanların 7 Davranışı												Planlama Dahilinde	2 yıl	PM18005	Pasif	Kurum İçi	8 Saat
İnsan Kaynakları	Temel Excel ve Ofis Uygulamaları												Planlama Dahilinde	1 yıl	PM18006	Aktif	Kurum İçi	8 Saat
İnsan Kaynakları	İleri Excel ve Ofis Uygulamaları												Planlama Dahilinde	1 yıl	PM18007	Aktif	Diğ Hizmet	8 Saat
İnsan Kaynakları	Yönetimin Sorumluluğu												Planlama Dahilinde	6 ay	PM18008	Aktif	Diğ Hizmet	8 Saat
İnsan Kaynakları	Kurumda İş Güvenliği Kültürü												1g Başg / + 3 Ay	3 ay	PM18009	Aktif	Kurum İçi	8 Saat
Kalite	ISO 9001 Bilgilendirme												1g Başg / + 3 Ay	1 yıl	PM18010	Aktif	Kurum İçi	8 Saat

Şekil 9 : Yıllık eğitim planından kesit

lanması hedeflendi. Bu yönde özellikle sürekli aynı postalarda çalışan operatörlerin herhangi bir sebeple devamsızlıkları durumunda yerine geçen personelin aynı yetkinlikte, bilgi düzeyinde operasyonları yapabilmesi gerekmektedir. Ancak mevcut durumda bunu gerçekleştirmek mümkün değildi ve bu eksikliğe bağlı olarak operatör değiştiğinde ve/veya yetkinlik bakım-maksızın yapılan görevlendirmeler sonrasında ürün güvenilirliğinde sorunlar yaşanmaktaydı. Bu sorunların bedeli müşteri şikâyeti ve maliyet kayıpları olarak ödenmekteydi.

Bu problemi aşmak için postalarda polivalanslık yetkinliği devreye alındı. Bu bizim için bir hedef haline dönüşüyordu ve gereği olarak her çalışılan posta minimum 3 kişi tarafından bilinmesi, her operatöründe en az 3 farklı postada çalışması hedeflendi.

1.2.5 Beşinci Adım Olarak Standardizasyon Yönetimi: Şirketin sadece bir hedefi vardı aslında!



Şekil 10 : Polivalanslık Stratejisi

Sıfır hata ve sıfır kaza. Bu hedefi gerçekleştirmek için ilk yapılması gereken standardizasyon kurulumu olduğu bilinmektedir. Standardizasyon bir şirketin sürdürülebilirliğinin sağlanması için en önemli parametrelerdendir. Standardizasyonu gerçekleştiremeyen veya sürdürmeyen şirketlerin ayakta kalması çok zordur[5]. Pek çok işletme operasyonlarını kalite talimatları üzerinden sürdürmektedir. Şirketimizde de durum aynıydı. Ancak ortada çok ciddi bir problem

vardı. Kalite detayda gizliydi ve talimatlar sadece makro bilgilendirme yapmaktaydı. Dolayısıyla üretimin kalitesizliklerin kök nedenlerinde, işletmenin pek çok kaybında standardizasyon yetersizliği yatmaktaydı. Peki ortaya nasıl bir standardizasyon koyulmalıydı? Bu konuda temel hususları belirledik.

- 6331 Kanununun gerekliliklerine hizmet edecek
- 4857 Kanununun gerekliliklerine hizmet edecek
- ISO 9001 gerekliliklerini sağlayacak
- IATF 16949 gerekliliklerine cevap verecek
- Müşteri isteklerine cevap verecek

oKalitesizliği önleyecek

oÖğrenmeyi kolaylaştıracak

oİhtiyaç halinde kullanıcısına bilgi verecek

- Birimlerin entegrasyonu sağlayacak şekilde

Bu temel amaçları belirledikten sonra birimlerin entegrasyonu esas alınarak standardizasyon araçları devreye alınmaya başladı. Bu standardizasyon araçlarını kısaca tanıyalım;

- Proses Operasyon Föyü (POF)

oProje & Metod biriminin yeni ürün devreye alma sürecinde tüm operasyonlardaki tanımlamalarını sağlıyor.

- İşlem Gereklilikleri Tablosu

oPostada çalışanın manuel ve makine ile yapmış olduğu işlerin neler olduğu tanımlanmakta.

oPOF lardan gelen operasyon emirlerinin neler olduğu tanımlanır

oLiderin akış dışı yapılan işlerin neler olduğu tanımlanır. (temizlik, kalite kontrol , ambalajlama , taşıma , boşaltma vs ...)

oOperasyonlar sırasında müşteri isteklerinin neler olduğu belirtiliyor

oOperasyonların gerçekleştirebilmesi için girdilerin , çıktılarının ve ortamın nasıl olması gerektiği tanımlanmakta.

oOperasyonları yaparken postada dikkate alınması gereken uyarılar .

oOperasyonu gerçekleştirecek personelin asgari sahip olması gereken yetkinlikler tanımlanmaktadır.

- Standart Operasyon Föyü (SOF)

oYapılacak işin tanımı

oİşin gerçekleşmesi için gereken iş güvenlik ekipmanları

oİşin gerçekleşmesi için kullanılacak malzemeler

oOperasyonun aşamaları

oOperasyon aşamalarında dikkat edilmesi gereken müşteri istekleri

oOperasyon aşamalarının süreleri

oOperasyonların görsel anlatımları

oOperasyonları gerçekleştirirken yaşanabilecek anormallikler ve bu durumlarda neler yapılacağı En temel standardizasyon araçlarımızdır. Bu araçları devreye alınarak postada yönetimleri sağlandı.

1.2.6 Altıncı Adım Olarak Kaizen Yönetimi: Süreçlerin standardizasyonu sağlandıktan sonra artık



Şekil 11 : Posta Doküman Panosu

iyileştirme adımlarının devreye alınması gerekiyordu. Kaizen bu yöntemlerden biridir. Kaizen belirli bir zaman dilimine müşteri memnuniyetinin artırılması ve rekabet güçlerinin etkilenmesi amacıyla süreçlere yönelik çalışan, süreç, zaman ve teknolojiye iyileştirmelerin gerçekleştirilmesidir. Bu kapsamda kaizen olarak adlandırılan küçük adımlarla sürekli iyileştirme stratejisiyle prosesdeki operasyonlar süreçler iyileştirilmeye başlanmaktadır [6]. Bu amaçla çalışanlarımız eğitildi ve sahada iyileştirme yapmaları için teşvik edildi. Yılda 350'nin üzerinde iyileştirmeler gerçekleştirilerek proseslerin iyileştirilmesi sağlandı. Bu iyileştirmelerin sonucunda kalite ve maliyetlerinde ciddi kazanımlar elde edildi. Bu çalışmalarını workshop adı altında sistematik olarak takip ederek kazançların kayıt altına alınması ve ekip çalışması olarak yapılması sağlandı. Bu iyileştirmelerin aynı zamanda iyi bir sermayeleştirme ve yaygınlaştırma faaliyetiyle

İyileştirme Adı	Adımların Tanımı	Başlangıç Tarihi	Bitiş Tarihi	İyileştirme Türü	Yıl Sonu Durumu					
Makine - ekipman - malzeme - metod kalıp yönetimiyle standart bir çalışma yapma/yapma. İşletim için kalıpların kalibrasyonu ve kontrolü sağlanarak ve standartlaştırmaya çalışılması.		27-Ağu-2018	2-Nov-2018	Yatay	Devret AYIYEDD					
Yeni Ürün ve Servislerin Standartlaştırılması										
TÜM KPI'lar - Müşteri memnuniyeti için geliştirilmesi.	1) 05 Ocak'ta Posta-05.08.18 kaatir çalışmaları 2) 14 Ocak'ta 05.08.18 kaatir çalışmaları 3) 20 Ocak'ta 05.08.18 kaatir çalışmaları 4) 27 Ocak'ta 05.08.18 kaatir çalışmaları 5) 03 Şubat'ta 05.08.18 kaatir çalışmaları 6) 10 Şubat'ta 05.08.18 kaatir çalışmaları 7) 17 Şubat'ta 05.08.18 kaatir çalışmaları 8) 24 Şubat'ta 05.08.18 kaatir çalışmaları 9) 03 Mart'ta 05.08.18 kaatir çalışmaları 10) 10 Mart'ta 05.08.18 kaatir çalışmaları 11) 17 Mart'ta 05.08.18 kaatir çalışmaları 12) 24 Mart'ta 05.08.18 kaatir çalışmaları 13) 31 Mart'ta 05.08.18 kaatir çalışmaları 14) 07 Nisan'ta 05.08.18 kaatir çalışmaları 15) 14 Nisan'ta 05.08.18 kaatir çalışmaları 16) 21 Nisan'ta 05.08.18 kaatir çalışmaları 17) 28 Nisan'ta 05.08.18 kaatir çalışmaları 18) 05 Mayıs'ta 05.08.18 kaatir çalışmaları 19) 12 Mayıs'ta 05.08.18 kaatir çalışmaları 20) 19 Mayıs'ta 05.08.18 kaatir çalışmaları 21) 26 Mayıs'ta 05.08.18 kaatir çalışmaları 22) 02 Haziran'ta 05.08.18 kaatir çalışmaları 23) 09 Haziran'ta 05.08.18 kaatir çalışmaları 24) 16 Haziran'ta 05.08.18 kaatir çalışmaları 25) 23 Haziran'ta 05.08.18 kaatir çalışmaları 26) 30 Haziran'ta 05.08.18 kaatir çalışmaları 27) 07 Temmuz'ta 05.08.18 kaatir çalışmaları 28) 14 Temmuz'ta 05.08.18 kaatir çalışmaları 29) 21 Temmuz'ta 05.08.18 kaatir çalışmaları 30) 28 Temmuz'ta 05.08.18 kaatir çalışmaları 31) 04 Ağustos'ta 05.08.18 kaatir çalışmaları 32) 11 Ağustos'ta 05.08.18 kaatir çalışmaları 33) 18 Ağustos'ta 05.08.18 kaatir çalışmaları 34) 25 Ağustos'ta 05.08.18 kaatir çalışmaları 35) 01 Eylül'de 05.08.18 kaatir çalışmaları 36) 08 Eylül'de 05.08.18 kaatir çalışmaları 37) 15 Eylül'de 05.08.18 kaatir çalışmaları 38) 22 Eylül'de 05.08.18 kaatir çalışmaları 39) 29 Eylül'de 05.08.18 kaatir çalışmaları 40) 06 Ekim'de 05.08.18 kaatir çalışmaları 41) 13 Ekim'de 05.08.18 kaatir çalışmaları 42) 20 Ekim'de 05.08.18 kaatir çalışmaları 43) 27 Ekim'de 05.08.18 kaatir çalışmaları 44) 03 Kasım'da 05.08.18 kaatir çalışmaları 45) 10 Kasım'da 05.08.18 kaatir çalışmaları 46) 17 Kasım'da 05.08.18 kaatir çalışmaları 47) 24 Kasım'da 05.08.18 kaatir çalışmaları 48) 31 Kasım'da 05.08.18 kaatir çalışmaları	37%	100%	3389	3389	100%				
						22%	100%	9	9	100%
						25%	100%	9	9	100%
						8%	9%	9	9	100%
						9%	9%	9	9	100%
						87%	100%			

Şekil 12 : İyileştirmeler için Workshop standardı

gerçekleştirilmesi katma değer için oldukça önemlidir. Bu yaygınlaştırmayı yani yapılan bir iyileştirmenin farklı proses ve süreçlerde de kullanabilirliği izlenmeli ve yönetilmelidir. Bu maksatla Yokoten matrisi olarak adlandırılan takip yönetimi devreye alınmıştır. Bu yöntemle yapılan bir iyileştirmenin yaygınlaştırılması, durumu kolayca gözlemlenebilmektedir.

1.2.7 Yedinci Adım Olarak Zaman Yönetimi: Pek çok prosesin iş yükünü, temposunu ve perfor-

Prometal Yokoten Takip Tablosu

Şekil 13 : Yokoten Matrisi

mansını çalışanların kendi inisiyatifi belirler. Makine ile döküm yapanlar nispeten daha şanslı gibi gözükse de eğer çevrim süresi yönetimi yoksa her baskıda ciddi kayıplar yaşanır. Bu bazı yalın üretim teknikleri ile incelenebilmektedir. Bu teknik genel ekipman yetkinliği (OEE) olarak adlandırılır. Bir üretim işleminin, çalışmasının planlandığı dönemlerde tam potansiyeline kıyasla ne kadar iyi kullanıldığının bir ölçüsüdür. Yani gerçekten verimlilik yüzdesi tespit edilebilmektedir. Bunu örnekleyelim (OEE %100) ; [7]

İdeal durum örneklemede parça sayısı / 24 saniye – baskı :

- Makinenin vardiyalık çalışma süresi : 8 saat x 60 dk x 60 sn = 28 800 saniye
- o Günlük Çalışma Süresi : 28 800 x 3 vardiya = 86 400 saniye
- 1 baskı döküm süresi : 24 saniye
- Baskı göz sayısı (baskıdaki parça sayısı) : 8
- Üretim adeti

oVardiyalık : (28 800 / 24) * 8 = 9600 adet parça

oGünlük : 9600 x 3 = 28 800 adet parça

oHaftalık (6 gün) : 172 800 adet

oAylık (24 gün) : 691 200 adet

Kayıplı durum örneklemede parça sayısı / 25 saniye - baskı :

- Makinenin vardiyalık çalışma süresi : 8 saat x 60 dk x 60 sn = 28 800 saniye
- oGünlük Çalışma Süresi : 28 800 x 3 vardiya = 86 400 saniye
- 1 Baskı döküm süresi : 25 saniye
- Baskı göz sayısı (baskıdaki parça sayısı) : 8
- Üretim adeti

oVardiyalık : (28 800 / 25) * 8 = 9216 adet parça

oGünlük : 9216 x 3 = 27 648 adet parça

oHaftalık (6 gün) : 165 888 adet

oAylık (24 gün) : 663 552 adet

Çevrim süresindeki 1 saniyelik sapmanın ortaya koyduğu kayıplar;

- Günlük : 28800-27648 = 1152 adet parça
- Haftalık : 6912 adet parça
- Aylık : 27 648 adet parça

Her ay sadece 1 saniyeden ortaya çıkan kayıp süresi 2,88 vardiyalık kayıptır. Eğer 10 makinede üretim yapıлып kayıp incelenirse 28 vardiyalık toplam kayıp yaşanacaktır. Bu kayıpların yönetimi makineler üzerinden kontrol edilebilir özellikteyse yönetim nispeten teknoloji yardımıyla

daha kolay yönetilebiliyor. Peki bu manuel insan operasyonlarında nasıl yönetilecek? Bu kaybın büyüklüğü ise çok ciddi manada işletmelere yük olmakta ve dolayısıyla rekabetçilikte ciddi bir olumsuzluk yaşatmaktadır. Bu olumsuz etkilerden korunmak amacıyla her postanın çevrim süreleri video üzerinden kayıt ve analiz ile belirlenerek tüm üretim adetleri çevrim sürelerine göre belirlendi. Makineler içinse Doruk otomasyon Promanage yazılımıyla izlenebilir ve yönetilebilir hale getirildi. Böylece döküm işleminin çıktısı olan ürünün tedarik zincirindeki müşteri performansındaki zaman faktörü yönetilebilir hale getirildi.

1.2.8 Sekizinci adım olarak TPM yönetimi: Özellikle otomotiv sektöründe 1 dakikanın altında 1



Tüm operasyonlar videoya alındı.



Zaman analizleri yapıldı.

Zaman analizleri tek bir tabloda toplanarak tüm kullanıcılarla paylaşıldı.

Şekil 14 : Zaman yönetim akışı

aracın üretildiği sistemlerin en güçlü yanlarından biri TPM'dir [8]. Peki ama bu kadar güçlü olduğunu düşündüğümüz TPM (total productive maintenance) yani toplam verimli bakım, döküm sektöründe ne kadar önemli olabilir?

Tedarik zincirinde yüksek stok maliyetlerinin kök nedeni, müşteri gecikmelerinin ve özel seviyatların temel kök nedeni bu aracın yani bakım aktivitelerinin verimsiz olmasıdır. Döküm sektöründe ciddi bir öneme sahip olduğu için pek çok firma bakım ekiplerinin kurulması ve yetkinliklerini arttırma ve koruma faaliyetlerini ortaya koymaktalar. Özellikle yüksek basınç altında, yüksek sıcaklıklarda sıvı metalin şekillendirilmesi bakım faaliyetlerinin titizlikle yürütülmesini zorunlu kılmakta. Aksi halde maliyeti yüksek kayıplar yaşanmaktadır. Bu kapsamda temel olarak devreye alınması gereken faaliyetleri özetlersek;

- Günlük
- Haftalık
- Aylık
- Frekansiyel bakım faaliyetleri devreye alınmalı.

Burada farklı olarak vardiyalık ve haftalık olmak üzere duruşların analizleri ve bu analizlerden hareket aksiyon planlarının oluşturulması önemlidir.

1.2.9 Dokuzuncu adım olarak kalite yönetimi: Döküm sektöründe özellikle emniyet kemeri üreten, insan hayatına dokunan ve bir hatanın bile bir hayat karşılığı olduğu için döküm faaliyetlerinde kalite yönetiminin önemi bir hayli artmaktadır. Ancak burada sizlere pek çok uygulama yerine özellikle devreye alınan yerinde kalite uygulamasını paylaşacağız.

Organizasyonlar günlük olarak üretimi gerçekleştirmekte ancak günlük problemlerini sadece sözel olarak yönetmektedirler. Tabii hal böyle olunca ortaya analiz edilmeyen, kök nedenlere inilmeyen tabiri uygun olursa günlük çözümlerle ilerlemekteler. Bu durumda kök nedenlere inilmediği için tekrarlı problemler işletmeye fazla kayıp yaşatmaktadır. Otomotiv sektörünün QRQC / Face to Face / Yerinde Kalite olarak adlandırılan problem çözme metodolojisi devreye alındı. Bu metod sayesinde günlük top 3 problem tüm katılımcılarının iş birliği ile ele alınmaktadır. Bu sayede ekibin analiz yöntemi geliştirilmiş ve her geçen gün problem çözme yeteneğindeki gelişme ile problemlerin tekrarı engellenmiş olmaktadır.

UYGUNSUZLUK VAR !!!			NO	2018-	
Problemin Tanımı SINIK		Problemin Ne Zaman Yağandı		Problemin Tarihi	
Reklam / İzlenebilirlik Bilgisi		NOK Parça Sayısı / Kayıp		LOT No / Makine - Posta No	
Problemin Ne Tür Kayıplara Neden Olduğu		Sonuçlu Kiji		Diğer Bilgiler	
Teker Edilen					
İki Kez Çaktı					
X					
Diğer Bilgiler					
Problem Tespitine Alınan Geçmiş Önemli Müşteri Kurumları (Müşteri Korunma)					
Deneyim Alınan Müşteri Kurumları / Açıklama - Kontrol		Sonuçlu		Tarih	
Müşteri Kurumları / Açıklama - Kontrol		Müşteri Kurumları için Yapılan Açıklama		Müşteri Kurumları / Açıklama - Kontrol	
Nerede Açıklandı		Bilgi Tarihi		Sonuçlu	
UYGUNSUZLUK ÖZELLİKLERİ/Parçaları Neye Kadar Neye Yağandı					
Kayıtları?		Nerede Nasıl Tespit Edildi?		Müşteri Kurumları için Yapılan Açıklama	
Nerede Açıklandı		Bilgi Tarihi		Sonuçlu	
ELE ALINAN PROBLEME İLİŞKİN FOTOĞRAFLAR					
PROBLEM VE AHS TAAPR SÖZMÜLÜK		BİR ÖZEL AMERİKAYI		AÇIK TOZUN	
KAYIP / TAMİR		KAYIP / TAMİR		KAYIP / TAMİR	
NEVİLLİ DÜŞÜNÜLEN ÇÖZÜMLER NEREDE					
UYGUNSUZLUK YAĞIŞI NEREDE YAĞIŞI			ÇÖZÜM ÖNERİSİ ALINAN ÖZEL AMERİKAYI		
PROSES GÖZLEM FÖYÜ / BALK KİÇİĞİ / BWHY ve GO & SEE BAKIŞI ALINMA GÖRETESİPT EDİLEN UYGUNSUZLUK					
Posta No / Mak.		Bakışın / Gözetim / Kij		Bakışın / Gözetim / Kij Neden	
ANA KÖK NEDEN >>>					
UYGUNSUZLUĞUN TEKRAR ETMEMESİ İÇİN YAPILACAK AKSİYONLAR					
Kısa Aksiyon		Tarih		Sonuç	
UYGUNSUZLUĞUN YANINDA ÖZEL AMERİKAYI YAPILACAK AKSİYONLAR					
Kısa Aksiyon		Tarih		Sonuç	
MÜŞTERİNİN GARANTİ ALINMASI İÇİN YAPILACAK AKSİYONLAR					
Kısa Aksiyon		Tarih		Sonuç	

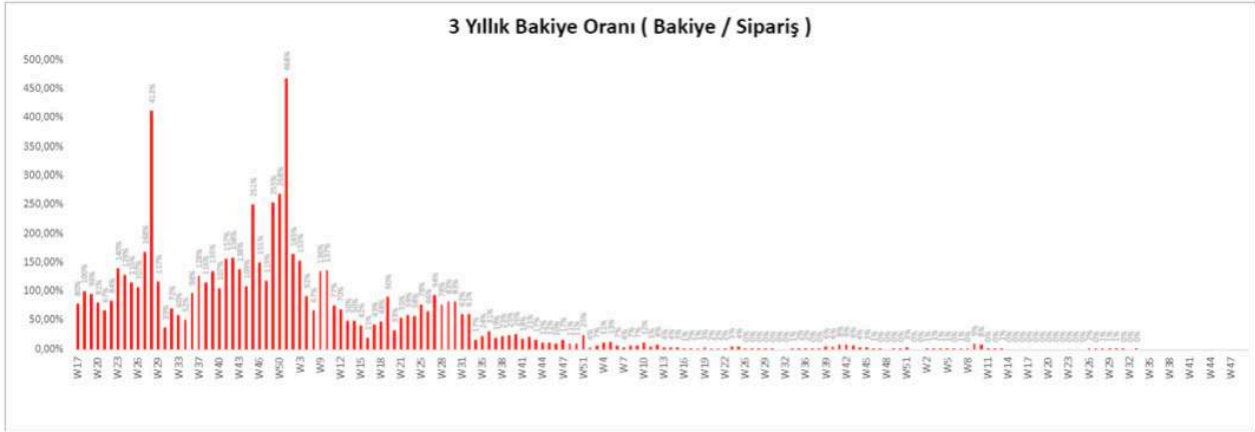
Şekil 15 : Yerinde kalite dökümanları

Tabii bu problem çözme yöntemi olarak reaktiviteye odaklanmakta yani problem oluştuğundan sonra hareket tarzını ve eylemlerini dikkate almaktadır. Hâlbuki, özellikle sıfır hata politikası için proaktif yaklaşım sergilenmeli ve bunun tüm organizasyona yayılması esas alınmalıdır. Bu kapsamda;

- Hatalı kabul etme
- Hatalı üretme
- Hatalı gönderme

İlkeleri ortaya koyulmuş olup tüm üretim sisteminin araçları bu ilkeler çevresinde şekillendirilmiş olup bağlantıları kurulmuştur. Bu sayede süreçlerin birbirine olan tedarikçi-müşteri ilişkisi kurularak her birimin kendi başına bir işletme mantığında olması sağlanmıştır.

1.2.10 Onuncu Adım Olarak Tam Zamanında Üretim: Tedarik zincirinin en önemli unsurlarından biri müşterilere istenen zamanında istenen kalitede ürünleri teslim edebilmektir. Biz üretim sistemimizde bunu bir çıktı olarak değerlendirmekteyiz. Dolayısıyla üretim sisteminin doğru yapılandırılması ve yönetilmesinin sonucu özel sevkiyatları yok edeceği gibi müşterilerde gecikmelere bağlı bakiyelerin yok edilmesini sağlayacaktır. Grafikte göreceğiniz üzere %400 seviyelerine ulaşmış bir bakiye problemi işletmenin ciddi bir problemini oluşturmaktayken alınan önlemlerle %0,0039 oranına düşüldü. Bu muazzam iyileştirmenin her yönüyle olumlu dönüşleri oldu. İşte bunu sağlamak için öncelikle doğru bir çizelgeleme gerçekleştirildi. Hangi gün, hangi vardiyada, hangi makinede, hangi iş ne kadar sürede ve ne kadar üretilecek ortaya koyulmalıydı.



Şekil 16 : 3 yıllık bakiye oranı

Biz bu çizelgeleme için pek çok planlamacıdan farklı olarak teorik kabul edilmiş OEE değeri yerine mevcut değeri dikkate aldık ve özellikle OEE skorunu arttırmaya çalışarak planlamayı güçlendirdik. Gerçek OEE ile yapılan doğru planlama için yarı mamül ve mamül yönetiminde bulut teknolojilerinden faydalanarak çok kısa sürelerde üretim ve malzeme ihtiyaç planlamasını yapar hale geldik.

Şekil 17 : Üretim planlama destek tablo

1.2.11 On Birinci Adım Olarak Toplam Kalite Yönetimi: Birçok işletmede hedeflerle yönetim genelde ISO 9001 üzerinden yönetimin gözden geçirme faaliyeti ile yılda bir olarak yapılmaktadır. Ancak süreçlerimiz yılda bir gözden geçirilecek kadar basit ve sağlam bir yapıda değildir. Dolayısıyla okyanusta dümeni ve rotası belli olmayan bir gemi gibi yol almak yerine hedefi olan bir gemi olmayı tercih etmeliydik. Bu bağlamda şirketin vizyon ve misyonunu dikkate alarak, bir önceki yılın sonuçlarını değerlendirerek, orta ve uzun vadede olmak istediğimizi yeri belirleyerek, swot analizimizi ortaya koyarak, demografik yapı, politik ve sosyal riskleri dikkate alarak yıllık 3 yıllık hedeflerimizi ve bu hedeflerimizi nasıl ele alacağımızı ortaya koyduk. Buna da TQM yani total quality management/ toplam kalite yönetimi olarak adlandırdık. Bu hedeflerle yönetim modelimizin temelini tüm süreç yöneticisi ve katılımcılarının katılımıyla gerçekleştirerek her ay düzenli olarak stratejilerimizi birlikte değerlendirerek döküm sektöründe rekabetçiliğimizi ve en önemlisi esnekliğimizi arttırdık.

GENEL MÜDÜRLÜK 2018 YILLIK HEDEF PLANI											
Proje No	Proje Adı	Proje Açıklaması	Proje Sorumlusu	Yıllık Hedefler					Proje Durumu	Yeni Durum	
				2017	2018	2019	2020	2021			
1	2017	2018	2019	2020	2021	...	...
			
			
			
2	2017	2018	2019	2020	2021	...	...
			
			
			
3	2017	2018	2019	2020	2021	...	...
			
			
			
4	2017	2018	2019	2020	2021	...	...
			
			
			
5	2017	2018	2019	2020	2021	...	...
			
			
			

Şekil 18 : Toplam kalite yönetiminden kesit

Sonuç olarak üretim sistemi kurulmadan yapılan üretim faaliyetleri sistemsizlikten gelen kayıpları arttırmakta, sürdürülebilirliğe çok ciddi zarar vermektedir. Bu olumsuz sonuçlar ise müşteri kayıplarına ve yüksek karlılık düşüşlerine neden olmaktadır.

Rekabetçilik ve sürdürülebilirlik için özellikle sermaye gücümüzle dökümcülüğü daha kolay geliştirebilmekteyken insan ve sistem boyutunun sağlanması yüksek bir kararlılık ve disiplin gerektirmektedir.

Kongremizde pek çok katılımcı sıvı metal kalitesi, döküm metotları ve ekipmanları üzerinde gelişmeleri, çalışmalarını aktaracaktır. Ticari faaliyetleri arttırmak, verimliliği optimize etmek ve sürdürülebilirliğe katkı sağlamak amacıyla gerçekleştirilen bu çalışmalara sistematik yaklaşımın dahil edilmesi bir fırsat olarak değerlendirilmeli ve bu yönde faaliyetlerin paylaşımı artırılmalıdır.

2. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Bir işletmede kayıpların yok edilmesi hatta kayıpların oluşmadan önce önlenmesinin sağlanması her işletmenin verimlilik, rekabetçilik ve sürdürülebilirlik çalışmalarının ana hedefini oluşturmaktadır. Görüldüğü üzere bu hedeflerin tutturulması için tüm tedarik zincirinin bir sistem disiplini altında ele alınması şarttır.

Kurulacak olan sistemin disiplinli bir şekilde ele alınması, sürdürülmesi her işletme için yeni bir kültür anlamına gelmektedir. Bu başarıyı elde etmek için kültür değişimi büyük bir sabır ile ele alınmalı, yönetimler ve yöneticiler tarafından desteklenmelidir.

Bu yalın üretim tekniklerinin sadece biri veya birkaçının devreye alınması, uygulanması sistemin çalışmasına engeldir. Üretim sistemi bir saatin dişli çarkları gibidir. Bu çarkların büyüklüğü, küçüklüğü önemsiz olarak her bir çarkın görevi olduğu ve zamanında işlemesinin saati çalışır ve kullanılabilir hale getirildiği benzetilmelidir.

Üretim sistemlerinin kurulması ve dönüşümün hedeflenmesinde sıklıkla tekil araçların devreye alınması ve bu çalışmaların daha çok danışmanlık faaliyetleriyle sürdürülmesi bir kültür değişiminin önündeki en büyük engeldir. Bu yapılan hata nedeniyle pek çok işletme yalın faaliyetlere başlayarak sürdürememektedir. Bu başarısızlık aynı zamanda motivasyon kaybına neden olarak büyük gelişimleri engellemektedir.

İşletmelerin açıkladığımız üretim sistemi adımlarını bir disiplin ve bütün olarak ele alması verimlilik, rekabetçilik ve sürdürülebilirlik için yüksek önem taşımaktadır.

3. KAYNAKLAR

- [1] T. Ohno, (1988). Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production, Productivity Press, ISBN 0-915299-14-3.
- [2] Åhlström, P. (1998). Sequences in the implementation of lean production. European Management Journal, 16(3), 327-334
- [3] Riasat, Q. (2020). World Class Manufacturing and Its applications (Lean Manufacturing) (Doctoral dissertation, Politecnico di Torino).
- [4] Baysan, S., & Durmuşoğlu, M. B. (2013). ÜRÜN GELİŞTİRMEDE YALIN SÜREÇLERE DÖNÜŞÜM.
- [5] Altuna, O. K. (2007). ULUSLARARASI MARKA STRATEJİ FORMÜLASYONU: STANDARTİZASYON VE UYARLAMA YAKLAŞIMLARI. İstanbul Üniversitesi Siyasal Bilgiler Fakültesi Dergisi, (37), 159-171.
- [6] Manos, A. (2007). The benefits of Kaizen and Kaizen events. Quality Progress, 40(2), 47.

- [7] Dal, B., Tugwell, P., & Greatbanks, R. (2000). Overall equipment effectiveness as a measure of operational improvement—a practical analysis. *International Journal of Operations & Production Management*.
- [8] Chan, F. T. S., Lau, H. C. W., Ip, R. W. L., Chan, H. K., & Kong, S. (2005). Implementation of total productive maintenance: A case study. *International journal of production economics*, 95(1), 71-94.

KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRLER İÇİN ENDÜSTRİYEL ÖLÇEKTE ÖSTEMPERLEME PROSESİNİN GELİŞTİRİLMESİ VE KRANK MİLLERİNE UYGULANMASI

Şerife HELVACIOĞLU*, Gökhan SAĞLAM*, Ümmihan T. YILMAZ**,
Ayşe ERKAN*

**Döksan Isıl İşlem Ar-Ge Merkezi A.Ş., 06930, Ankara, Türkiye

***Kırıkkale Üniversitesi, F.E.F., Kimya Bölümü, 71450, Kırıkkale, Türkiye

ÖZET

Bu çalışmada, farklı östemperleme, östenitleme sıcaklıkları ve zamanının GGG 60 (EN-GJS-600-3) malzemeli krank milinin özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. İlk aşamada, Y blok çubuklarına 2 farklı östenitleme, 3 farklı östemperleme sıcaklıkları parametre olarak, süreleri 90 dk sabit tutularak uygulanmıştır. Östemperlenmiş sünek dökme demirlerin (ÖKGDD) mekanik ve mikroyapısal özellikleri değerlendirilmiştir. Buna göre ikinci aşamada endüstriyel ölçekte krank millerine 2 farklı östenitleme sıcaklığı ve 2 farklı östemperleme sıcaklığının kombinasyonları uygulanmıştır. Ek olarak östemperleme süreleri 60, 90, 120 dk olarak uygulanmıştır. Östemperlenmiş numunelerin mikroyapısal araştırma ve mekanik test sonuçları incelenmiştir. Krank mili numunelerinin mikroyapısal karakterizasyonunda Taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılırken, mekanik karakterizasyonunda sertlik, dayanım ve darbe testleri uygulanmıştır.

Anahtar kelimeler: Östemperlenmiş küresel grafitli dökme demir (ÖKGDD), aşınma direnci, akma mukavemeti, çekme mukavemeti, dayanım, uzama

ABSTRACT

In this study, the effects of different austempering, austenitizing temperatures and time on the properties of crankshaft with GGG 60 (EN-GJS-600-3) material were investigated. In the first stage, 2 different austenitization and 3 different austempering temperatures were applied to the Y block bars as parameters, keeping the times constant for 90 minutes. Mechanical and microstructural properties of Austempered Ductile Iron (ADI) were evaluated. Accordingly, in the second stage, combinations of two different austenitization temperatures and two different austempering were applied to the crankshafts on an industrial scale. In addition, austempering times were applied as 60, 90, 120 minutes. The microstructural investigation and mechanical testing results of the austempered samples are presented. Microstructural characterization of samples was carried out by Scanning Electron Microscope (SEM) and whereas mechanical characterization was done by performing hardness, strength and impact testing.

Keywords: Austempered ductile iron (ADI), wear resistance, yield strength, tensile strength, toughness, elongation

1. GİRİŞ

Değişen dünya ile birlikte mühendislik malzemelerinde de bu değişikliğe paralel olarak genelde daha mukavemetli, daha hafif ve ucuz malzemeler bulunarak geliştirilmeye çalışılmıştır. Bu malzeme gruplarından biri de Küresel Grafitli Dökme Demir (KGDD) / Sfero Dökme Demir malzemeleridir. Bu malzemeler uygun ısıl işlemler ile ortalama %10-40 daha ucuz olmasından ayrıca daha kolay üretilebilir olmasından dolayı bazı uygulamalarda çeliğin yerini almaya başlamıştır [1].

Yeni bir mühendislik malzemesi olan KGDD, çeliğin sahip olduğu dayanımı, sünekliği, yüksek kırılma tokluğunu ve aşınma dayanımını, KGDD'in sahip olduğu dökülebilirlik ve düşük üretim maliyeti ile birleştiren ÖKGDD, tasarımcılara düşük maliyetle üstün makine parçaları üretebilme fırsatını sağlamıştır. Tanınan mekanik özelliklerinin yanı sıra ÖKGDD, çeliklerde uzun yıllardır bilinmekte olan faz dönüşümü mekanizması sayesinde kendisine yeni avantajları olan kullanım alanları bulmuştur[2].

Son yıllarda otomotiv ve iş makineleri sektöründeki firmalar bazı çelik ve KGDD malzeme-den üretilmekte olan parçalarını avantajlı özelliklerinden dolayı ÖKGDD malzemedен üretilen parçalarla değiştirmeye başlamıştır. Literatürde ÖKGDD üzerine hem akademik hem de endüstriyel çalışmalar yapıldığı görülmektedir.

Östemperleme ısıl işlemi, uygun kimyasal kompozisyona sahip KGDD'in mukavemetini sünekliğinden pek feragat etmeden çok ciddi oranda yükseltebilmektedir. Ayrıca kırılma tokluğu da artmaktadır. Böylece iyi mekanik özelliklere sahip ve üretim kolaylığı, hafiflik, daha iyi sönümlenme kabiliyeti gibi yönlerden çeliklerden daha avantajlı olan yeni bir mühendislik malzemesi geliştirilmiş olmaktadır. İşte bu yüzden ÖKGDD'ler her geçen gün endüstriyel uygulamalarda daha çok yer bulmakta olup hem Avrupa hem de Amerikan standartlarıyla regüle edilmiştir [3,4].

Çelik dövme krank millerine göre ADI krank millerinin bir diğer avantajı titreşim sönümleme kapasitesinin yüksek olmasıdır. Bu da motor gürültüsünde azalma sağlamaktadır. İşleme maliyeti de daha düşüktür. İndüksiyonla sertleştirmeye göre daha ucuzdur[5].

Konca ve arkadaşları çalışmalarında; alaşım elementleri (Mo, Ni ve Cu) eklenmiş EN- GJS-600-3 malzemede östemperlemeyle ulaşılabilen değerleri incelediğinde, geleneksel EN-GJS-600-3 malzemede östemperleme ısıl işlemiyle tüm numuneler mukavemetinde önemli artışlar göstermiştir. Mo-Ni-Cu alaşımlı sfero, Ni-Cu alaşımlı sfero ile karşılaştırıldığında daha yüksek sertlik, verim ve çekme dayanımına sahip olduğu tespit edilmiştir [6].

Kılıçlı ve arkadaşları arakritik östenitleme sıcaklıklarında östemperlenmiş alaşımsız KGDD'in mikroyapı ve mekanik özellikleri araştırmak amacı ile numuneleri arakritik sıcaklık aralıklarında kısmi östenitlenmiş ve tuz banyosunda östemperlemiştir. Deneysel bulgular, alaşımsız KGDD'lerde arakritik östenitleme sıcaklıklarından östenitleme + östemperleme ısıl işlemi ile ferrit + ösferritten oluşan çift matrisli yapıların üretilebileceğini göstermiştir. Arakritik östenitleme sıcaklığı arttıkça ösferrit hacim oranı artmaktadır. Artan ösferrit hacim oranı ile akma ve çekme dayanımı artarken, süneklik azalmaktadır. Sonuç olarak alaşımsız KGDD'de, ösferrit hacim oranı kontrol edilerek mekanik özelliklerde istenen dayanım-süneklik kombinasyonları elde edilebildiği anlaşılmıştır [7].

Savicevic ve arkadaşları ADI numunelerinin çekme gerilimi üzerine östemperleme sıcaklığının etkisi incelemiş ve ısıl işlem görmüş tüm numunelerde çekme dayanımının arttığını, artan östemperleme sıcaklığı ile çekme dayanımının azaldığını tespit etmişlerdir [8].

Diğer tür dökme demirlerden ve çeliklerden üretilmiş parçalara da izotermal ısıl işlem uygulanabileceğinden, yaygın etki potansiyeli yüksek olan bu işlemin, yeni nesil dökme demirlerden olan katı çözelti sertleştirmeli ferritik dökme demirlere (SSSF-DI) endüstriyel ölçekte başarıyla

uygulanması durumunda hem mukavemeti hem de % uzaması ciddi oranda yükseltilmiş katı çözelti sertleştirmeli östemperlenmiş dökme demirler (SSS-ADI) geliştirilebilecektir [9].

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

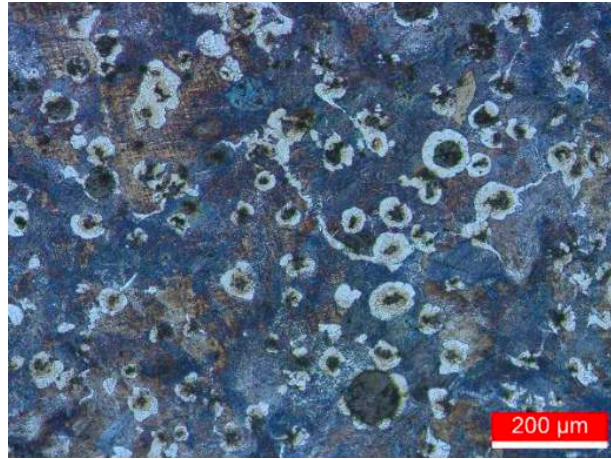
2.1. Malzemenin mekanik ve metalografik özellikleri:

Endüstriyel ölçekte yapılan östemperleme denemelerinde MOTUS (Konya) firmasından temin edilen EN-GJS-600-3 malzeme sınıfı 4 silindirik motorlar için üretilen krank milleri kullanılmıştır. Krank millerinin kimyasal kompozisyonu Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.1'de verilmiştir.

Çizelge 1 : Denemelerde kullanılan krank millerinin kimyasal kompozisyonu (% ağı.)

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cu	Mo	Mg	Cr	Ti	V	Fe
3,44	2,30	0,073	0,031	0,012	<0,001	0,835	<0,001	0,041	0,025	0,009	0,008	bal.

Krank millerinin döküldükleri (ham) haliyle bir miktar dana gözü yapısı içeren perlit matrisli tipik küresel grafitli dökme demir içyapısına sahip oldukları görülmüştür (Şekil 1). Östemperleme denemeleri öncesi ham malzemenin Çizelge 2'de verilen mekanik ve içyapı özellikleri EN-GJS-600-3 sınıfını karşıladığını göstermektedir.



Şekil 1 : Krank millerinin östemperleme öncesi optik içyapı görüntüsü (100x)

Özellik	Değer
Akma Mukavemeti (MPa)	471,9
Çekme Mukavemeti (MPa)	718,8
Uzama (%)	6,2
Matriste Perlit (%)	82,9
Matriste Ferrit (%)	17,1
Nodül Sayısı (mm ⁻²)	134,4

Şekil 2 : Krank millerinin östemperleme öncesi (döküldüğü haliyle) mekanik test ve metalografik inceleme sonuçları

2.2. Östempereleme Denemeleri:

2.2.1. Y Blok Numunelere Uygulanan Östempereleme Denemeleri:

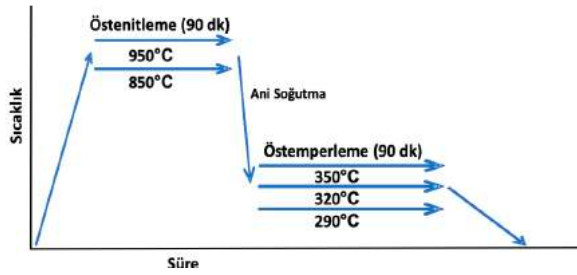
Y blok numunelerin östempereleme denemeleri öncesine ait görüntülerinden (döküldüğü hal-
iyle) ham numunelerin dana gözü (bull's eye) olarak adlandırılan ferrit sarılı grafit nodüllerine
sahip perlit matrisli içyapıda oldukları görülmektedir. Ham numunenin yüzey sertliği 235 Brinell
olarak ölçülmüş, çekme testleri sonucunda akma dayancı 424 MPa, çekme dayancı 709 MPa ve
uzaması % 7.3 olarak belirlenmiştir.

Y blok numunelere 2 farklı östenitleme sıcaklığı ve 3 farklı östempereleme sıcaklığının kombi-
nasyonları olarak 6 ayrı ısıl işlem koşulu denenmiştir (Çizelge 3). Tüm koşullar için östenitleme
ve östempereleme süreleri 90'ar dakika olmuştur. Uygulanan ısıl işlem koşulları Şekil 2.'de şema-
tik olarak gösterilmiştir.

Östenitleme Sıcaklığı (°C)	Östempereleme Sıcaklığı (°C)		
	350	320	290
850	850-350	850-320	850-290
950	950-350	950-320	950-290

Tüm numuneler için östenitleme ve östempereleme süreleri 90'ar dakikadır.

Şekil 3 : Uygulanan ısıl işlem koşulları.



Şekil 2 : Uygulanan ısıl işlem koşullarının şematik gösterimi

Yapılan çalışmalar, östempereleme işlemiyle hem istenen hedefi hem de EN 1564 standardında
farklı ADI sınıfları için istenen mukavemet değerlerinin sağlanmasında risk olmadığı ve üzerinde
yoğunlaşılması gereken esas noktanın mukavemeti koruyarak % uzamayı artıracak koşullar old-
uğu anlaşılmıştır.

350°C'nin altındaki sıcaklıklarda yapılan östemperelemelerde % uzamaların çok düştüğü
görüldüğünden tam boy krank milleri kullanılarak yapılan östempereleme denemelerinde östem-
pereleme sıcaklığı olarak 350°C ve üstü sıcaklıklar uygulanmıştır.

Östenitleme sıcaklığı olarak 850°C'de östenitlemenin hem östenitin karbon içeriğinin düşük
kalmasına sebep olması hem de homojen yapı için yeterli olmadığı düşünüldüğünden çalışma-
larda östenitleme 950°C'ye yakın sıcaklıklarda (920°C ve üstü) yapılmıştır.

Östenitleme süresinin yine 90 dakika olması bunun yanında östempereleme süresi olarak labo-
ratuvar deneylerinde kullanılan 90 dakikaya ilaveten, ısıl işlem penceresini belirlemek amacıyla,
60 ve 120 dakikalara da denenmiştir. Yapılan bu değerlendirmeler ışığında krank milleri östem-
pereleme denemelerinde Çizelge 4'te verilen koşullar uygulanmıştır.

Çizelge 4 : Krank milleri için önerilen deneme östemperleme koşulları

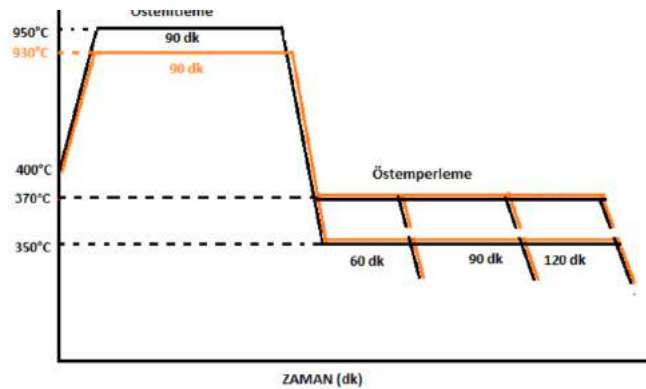
Östenitleme Sıcaklığı (°C)	Östenitleme Süresi (dk)	Östemperleme sıcaklığı (°C)	Östemperleme Süresi (dk)
920-950	90	350-380	60-90-120

2.2.2. Krank Mili Numunelerine Uygulanan Östemperleme Denemeleri:

Krank millerine uygulanan östemperleme koşulları Çizelge 5'te verilmektedir. Buna göre 1, 2 ve 3 no'lu krank millerine 930°C'de 90 dk östenitlemeyi takiben 350°C'de sırasıyla 60-90-120 dk süreli östemperleme işlemleri uygulanmıştır. 4, 5 ve 6 no'lu krank millerine 930°C'de 90 dk östenitlemeyi takiben 370°C'de sırasıyla 60-90-120 dk süreli östemperleme işlemleri uygulanmıştır. 7, 8 ve 9 no'lu krank millerine 950°C'de 90 dk östenitlemeyi takiben 350°C'de sırasıyla 60-90-120 dk süreli östemperleme işlemleri uygulanmıştır. 10, 11 ve 12 no'lu krank millerine ise 950°C'de 90 dk östenitlemeyi takiben 370°C'de sırasıyla 60-90-120 dk süreli östemperleme işlemleri uygulanmıştır. Östemperleme uygulanmamış ham numune ise no 13 olarak kodlanmıştır.

Çizelge 5 : Krank millerine uygulanan östemperleme koşulları

Numune No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Östenitleme Sıcaklığı (°C)	930	930	930	930	930	930	950	950	950	950	950	950	-
Östenitleme Süresi (dk)	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	-
Östemperleme Sıcaklığı (°C)	350	350	350	370	370	370	350	350	350	370	370	370	-
Östemperleme Süresi (dk)	60	90	120	60	90	120	60	90	120	60	90	120	-
13- Östemperleme uygulanmamış (ham) numune													



Şekil 3 : Östemperleme ısıl işlem parametreleri

Krank millerinin östemperleme denemelerinde parçalara uygun imal edilen aparat kullanılmıştır (Şekil 4).



Şekil 4 : Östemperleme Denemelerinde Parçalara Uygun İmal Edilen Aparat ve Parça Yerleşimi

Bu aparata yüklenen krank milleri AICHELIN marka atmosfer kontrollü fırında östenitlemeyi takiben 40 ton Petrofer AS 135 ısıtma tuzu içeren endüstriyel ölçekli tuz banyosunda östemperlenmiştir.

2.3. Mekanik Testler:

2.3.1. Sertlik Ölçümleri:

Sertlik ölçümleri BMS (Bulut Makina Sanayi) marka Brinell Sertlik ölçme cihazı ile ölçülmüştür. Ölçümler 3.000 kgf yükte 10 mm çaplı bilya ile HB 10 metoduna göre EN-ISO 6506 standardına uygun yapılmıştır. Döküm parçalar sertlik ölçümü için alt ve üst yüzeylerden 180 gritlik zımpara ile zımparalanmıştır. Aynı numune için 3 farklı noktadan alınan sertlik ölçümlerinin ortalama değeri alınmıştır.

2.3.2. Çekme Testleri:

Her bir krank mili numunesinden 3'er adet 7 mm çapında çekme çubuğu, krank milinin yanak kısmından kesilerek ISO 17804 standardına göre hazırlanmıştır. Çekme testleri ISO 6892 standardına uygun, Instron 3369 marka cihazda 50 kN'luk kuvvet uygulanarak 10 mm/sn hızla çekilerek yapılmıştır.

2.3.3. Darbe Testleri:

Krank millerinin boyun kısmında her bir kranktan 4'er adet 10x10x55 mm olacak şekilde çentiksiz darbe numuneleri hazırlanmıştır. Darbe testleri Instron Wolpert PW30 darbe cihazı ile yapılmıştır. Cihaz max. 300 J'lük enerji uygulamaktadır. ASTM A 897* uyarınca her bir numune için yapılan 4 darbe testinden en iyi sonuç veren 3 tanesinin ortalaması alınmıştır.

2.3.4. İyapı İncelemeleri (Optik ve SEM):

Numuneler, iyapı incelemeleri için önce farklı boyutlarda (320-1200 µm) SiC zımpara kağıtları ile temizlenmiş, 1 µm monokristalin elmas süspansiyon ile parlatılmıştır.

Sonra %3 nital çözelti ile dağlanarak hazırlanmıştır. Optik iyapı incelemeleri için Leica marka DM 2700 model optik mikroskop kullanılmıştır.

1x1x2,5 cm boyutlarında hazırlanan numunelerin Elektron mikroskobu incelemeleri için JEOL JSM-6060LV marka Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) kullanılmıştır.

2.3.5. X Işınları Kırınımı (XRD) ile Kalan Östenit Miktarını Belirleme Çalışmaları:

XRD yöntemi ile kalıntı östenit miktarını belirlemek için ASTM E975 standardında açıklanan yöntem takip edilmiştir. Hesaplamalarda Cu x-ışını tüpü takılı

2.3.6. Aşınma Testleri:

Aşınma testleri için 8 mm çap ve 16 mm yüksekliğinde silindirik numuneler hazırlanmıştır. Karşı malzeme (aşındırıcı) olarak 77 mm çapında ve 8 mm yüksekliğinde ince taşlanmış Hardox 500 malzemesi kullanılmıştır. Aşınma testleri UTS TRIBOMETER T10/20 marka cihazda 170 rpm dönme hızında, 20 N yük altında ve 60 dk süre (10200 tur) ile yapılmıştır. Aşınma izi çapı 56 mm olacak şekilde yapılan kuru kayma aşınma testlerinde lineer kayma hızı 0.5 m/s ve toplam kayma mesafesi ise 1800 m olmuştur.

2.3.7. Boyutsal Kontrol:

Krank millerinin boyutsal kontrollerini yapmak için Brown & Sharpe, Dea Mistral marka Koordinat Ölçme Makinesi (CMM) ile ölçüm yapılmıştır.

3. BULGULAR

3.1. Sertlik Ölçümleri, Çekme ve Darbe Testlerinin Sonuçları:

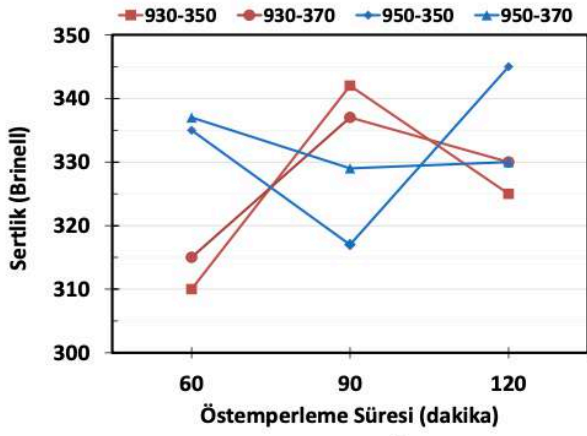
Çizelge 5'te verilen 12 ayrı koşullarda östemperleme uygulanan krank millerinden çıkarılan numunelerin sertlik, çekme ve darbe test sonuçları toplu olarak Çizelge 6'da verilmiştir. Östemperlemenin etkisi hakkında genel bir fikir edinmek amacıyla östemperlenmiş numunelerin ortalama değerleri hesaplanarak ham numuneye ait değerlerle karşılaştırılmıştır. Buna göre, östemperleme işlemiyle sertlikte % 83, akma dayanımında % 89,9 ve çekme dayanımında % 46,3 oranında artışların sağlandığı görülmektedir. Numunelerin darbe enerjilerinde de bir miktar artış (% 7,3) olmuştur. Öte yandan % uzama yaklaşık % 47 oranında azalmıştır.

Numune No	Sertlik (HB)	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	% Uzama	Darbe Enerjisi (J)
Ham	180	423,8	695,7	6,2	31,7
1	310	727,7	959,9	5,1	39,3
2	342	765,2	959,8	3,7	42,3
3	325	764,2	985,0	4,0	34,0
4	315	810,0	1013,5	2,7	36,0
5	337	836,8	1012,7	2,3	35,3
6	330	817,6	1103,0	3,8	34,0
7	335	846,8	1068,2	3,0	30,3
8	317	840,7	1083,7	2,6	28,7
9	345	887,4	1128,9	3,5	31,7
10	337	698,3	917,7	4,6	33,7
11	329	791,5	962,3	2,3	27,0
12	330	871,6	1020,1	1,9	35,3
Ortalama	329,3	804,8	1017,9	3,3	34,0
% değişim*	+83,0	+89,9	+46,3	-46,9	+7,3

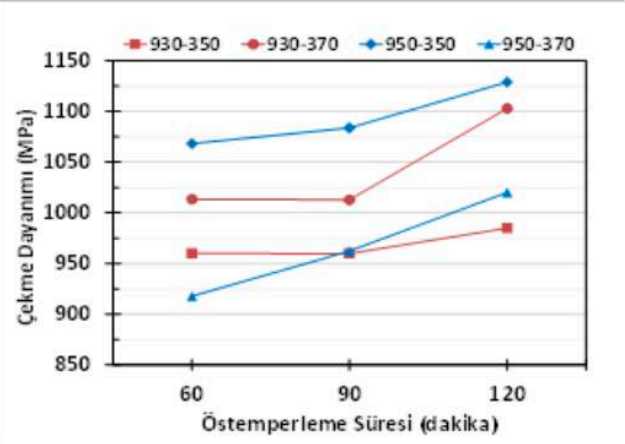
*Östemperlenmiş numunelerin ortalamaları alınıp ham numuneye göre % değişimleri hesaplanmıştır.

Çizelge 6 : Östemperlenmiş krank millerinden çıkarılan numunelerin sertlik, çekme ve darbe test sonuçları

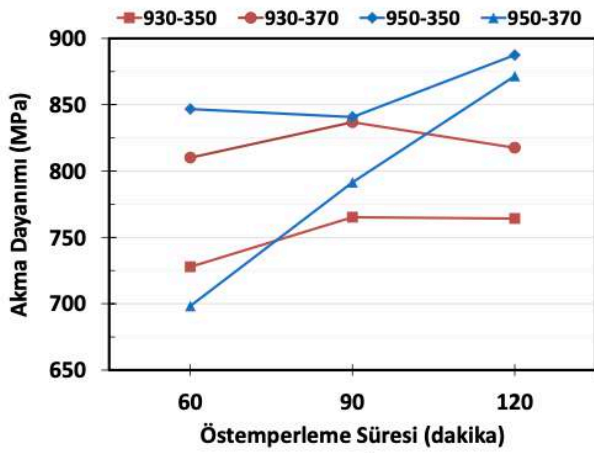
Sonuçlara numune bazında bakıldığında başarı ölçütü olarak belirlediğimiz en az 950 MPa çekme dayanımı ve en az % 3 uzama değerlerinin 1, 2, 3, 6, 7 ve 9 nolu numuneler tarafından sağlandığı görülmektedir (Çizelge 6'da kalın gösterilen değerler). Östempereleme süresine bağlı olarak numunelerin sertlik, çekme dayanımı, akma dayanımı, % uzama ve darbe enerjilerinin nasıl değiştiği sırasıyla Şekil 5'te gösterilmiştir



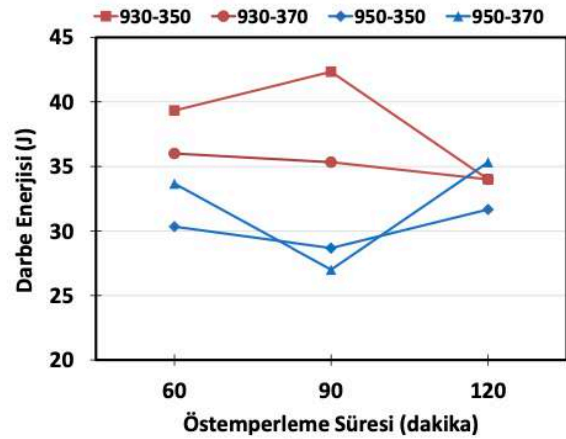
a)



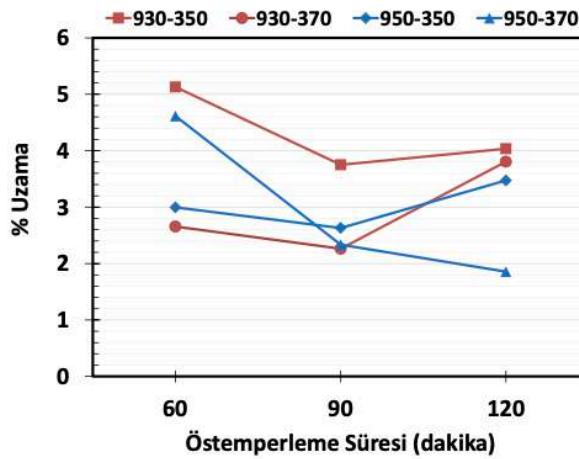
b)



c)



ç)

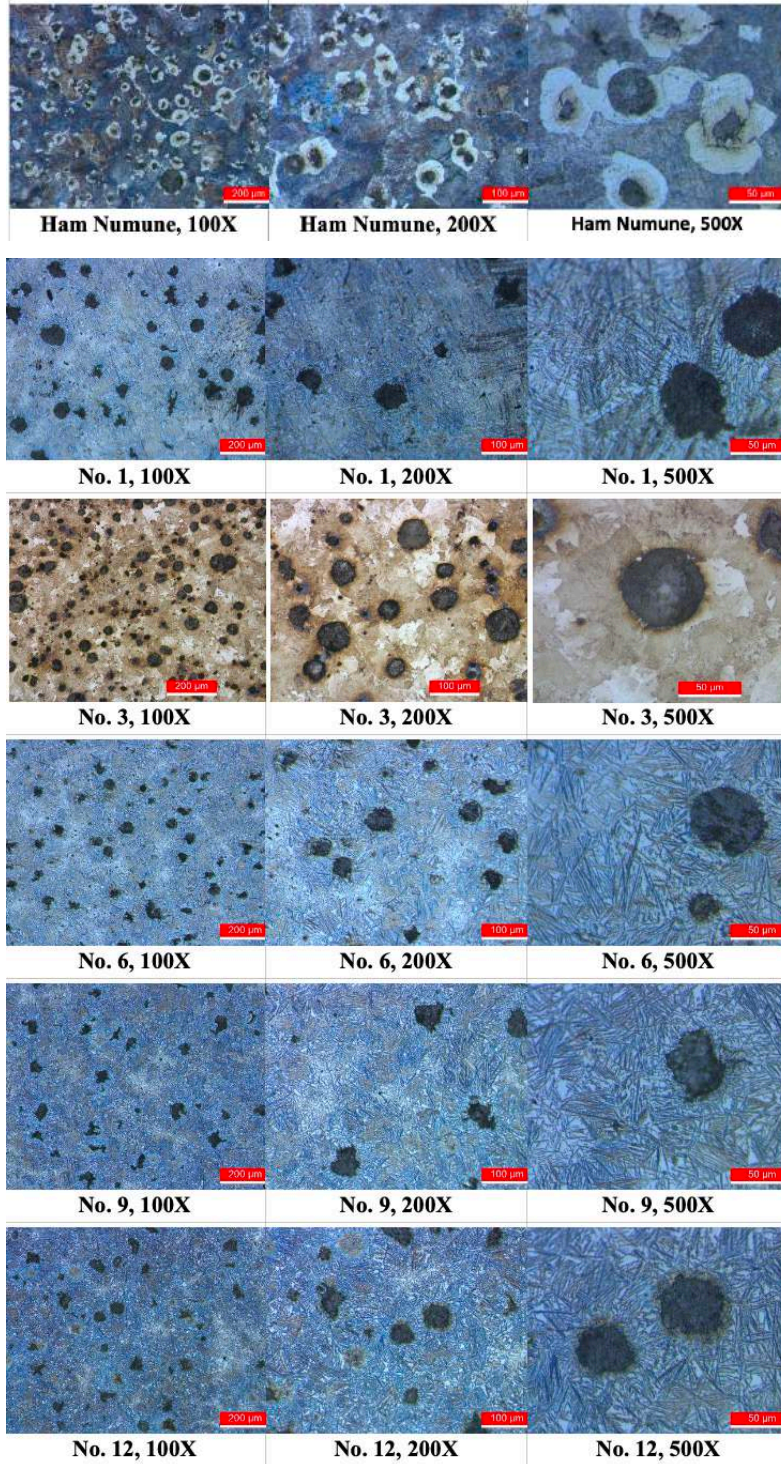


d)

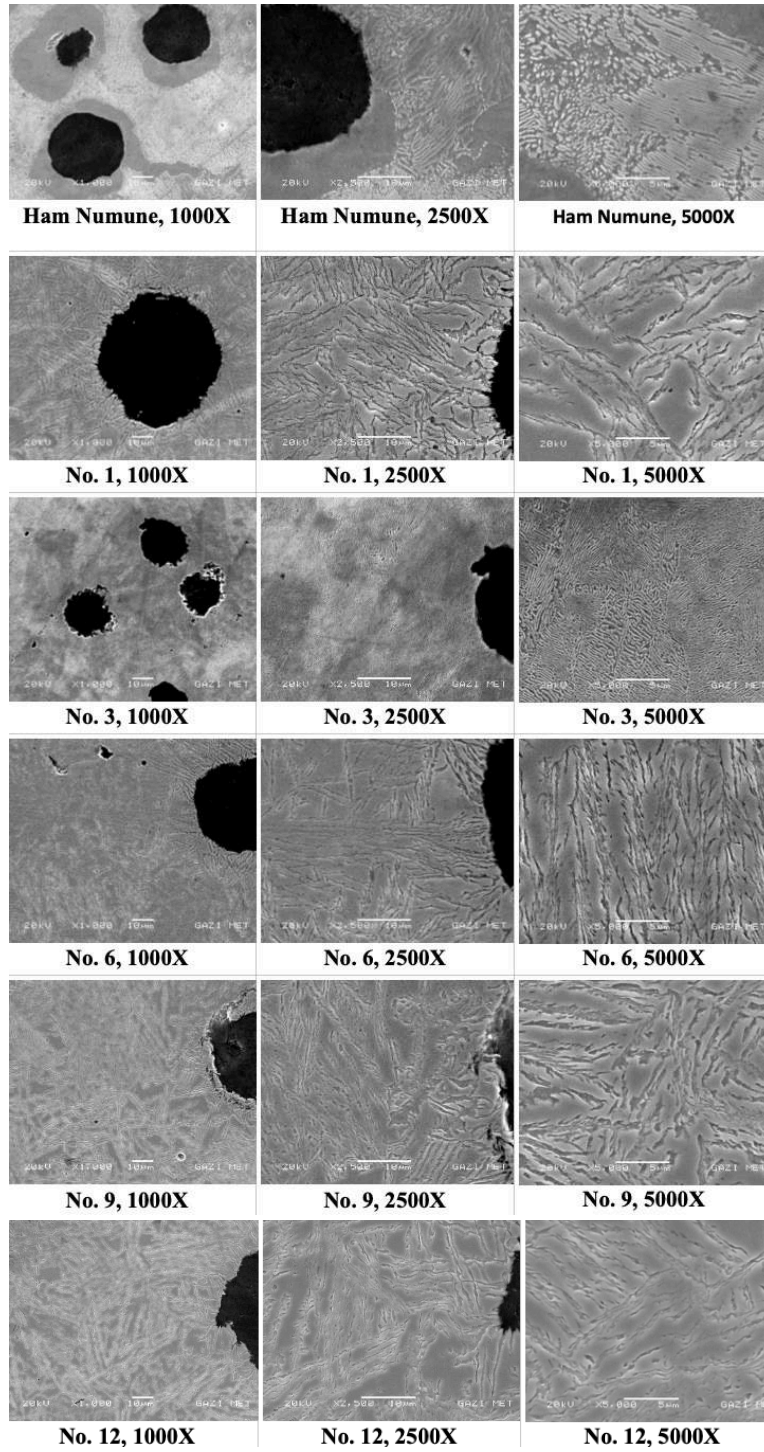
Şekil 5 : Östempereleme süresine bağlı olarak numunelerin a) sertlik, b) çekme dayanımı, c) akma dayanımı, ç) darbe enerjisi ve d) % uzama değerlerinin değişimi.

3.2. İçyapı İncelemeleri (Optik ve SEM):

Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.6'te verildiği üzere her bir numunenin 100x, 200x ve 500x büyütmede optik içyapı görüntüleri alınmıştır. Özellikle 6, 9 ve 12 numaralı numunelerin hedeflendiği gibi ösferritik içyapıda oldukları tespit edilmiştir. 3 numaralı numunenin ise esas olarak ince dizili (sıkı) perlit içyapısında olduğu görülmüştür. Elektron mikroskobu kullanılarak daha yüksek büyütmelerde (1000x, 2500x ve 5000x) yapılan incelemelerle de sonuçlar teyit edilmiştir (Şekil 7).



Şekil 6 : Numunelerin optik içyapı görüntüleri



Şekil 7 : Numunelerin SEM içyapı görüntüleri

3.3. XRD ile Kalan Östenit Miktarını Belirleme Çalışmaları:

Numunelerin Cu K α ışınması kullanılarak elde edilen x-ışını kırınım desenleri üzerinden hesaplanan kalan östenit oranları Çizelge 7’de verilmiştir. Bu sonuçlarla Çizelge 4’te verilen numunelerin sertlik, çekme ve darbe test sonuçları arasında herhangi bir korelasyon kurulamamıştır. Östemperlemeye girmemiş ham numune için hesaplanan %8,16’lık kalan östenit oranı ve ince perlit yapısına sahip olan 3 numaralı numune için hesaplanan %12,18’lik kalan östenit oranları hesaplamaların doğruluğu açısından kaygı uyandırmaktadır. ASTM E 975* standardı Cr veya Mo ışınlarının kullanımını öngörürken mevcut çalışmada mücbir sebeplerle Cu ışınması kullanımının da sağlıklı sonuçlar alınmasını engellemiş olabileceği değerlendirilmiştir.

Numune	Kalan Östenit (% hacim)
Ham	8,16
1	12,51
2	16,87
3	12,18
4	17,92
5	10,56
6	10,28
7	12,55
8	12,14
9	11,02
10	14,02
11	19,67
12	13,36

Çizelge 7 : Hesaplanan kalan östenit oranları

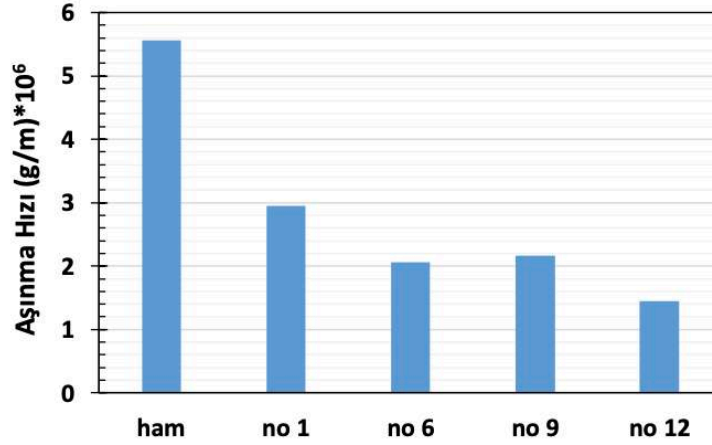
***ASTM E 975 Standard Practice for X-Ray Determination of Retained Austenite in Steel with Near Random Crystallographic Orientation**

3.4. Aşınma Testlerinin Sonuçları:

Aşınma testi mikroyapı incelemelerinde en iyi ösferrit dönüşümün gözlemlendiği 1, 6, 9, 12 ve 13 (ham) numaraları numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Aşınma testlerinin sonuçları Çizelge 8'de özetlenmiş ve aşınma hızları Şekil 8'de grafiksel olarak karşılaştırılmıştır. Ham numuneye göre östemperlenmiş numunelerin çok daha düşük hızlarda aşındıkları belirlenmiştir. Ham numunenin aşınma hızı $5,56 \times 10^{-6}$ g/m olurken 1, 6 ve 9 numaralı numunelerin aşınma hızları sırasıyla $2,94 \times 10^{-6}$ g/m, $2,06 \times 10^{-6}$ g/m ve $2,17 \times 10^{-6}$ g/m olmuş, 12 numaralı numune ise test edilen numuneler arasında $1,44 \times 10^{-6}$ g/m ile en düşük hızda aşınmıştır.

Numune	Östemperleme Koşulları	Test Öncesi Ağırlık (g)	Test Sonrası Ağırlık (g)	Aşınma Kaybı (g)	Aşınma Hızı (g/m)* 10^6	Ham numuneye göre % değişim	Ortalama Sürtünme Katsayısı
Ham	-	5,5648	5,5548	0,01	5,56	0,0	0,76
No 1	930-350-60	5,6171	5,6118	0,0053	2,94	-47,0	0,68
No 6	930-370-120	5,5234	5,5197	0,0037	2,06	-63,0	0,77
No 9	950-350-120	5,6258	5,6219	0,0039	2,17	-61,0	0,80
No 12	950-370-120	5,6288	5,6262	0,0026	1,44	-74,0	0,78

Çizelge 8 : Aşınma testlerinin sonuçları



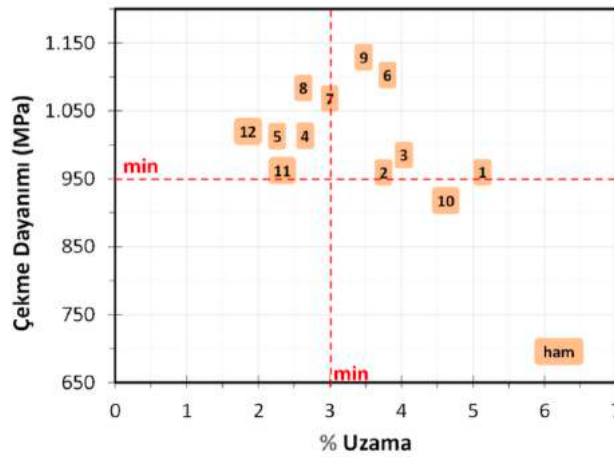
Şekil 8 : Numunelerin aşınma hızları

3.5. Boyutsal Kontrol:

Krank mili numunesinin ısıtma işlem öncesi ve ısıtma işlem sonrası CMM ile ölçümleri alınmıştır. Koordinat ölçüm sonuçlarına göre iki ölçüm de karşılaştırılarak parçada eksenel sapma olup olmadığı incelenmiştir. Ölçüm sonuçları doğrultusunda eş merkezlilik farkı 0,4 mm'dir. Bu sonuç krank mili parçası için tolere edilebilir bir değerdir. Yani parçada çarpılma olduğu söylenemez.

4. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

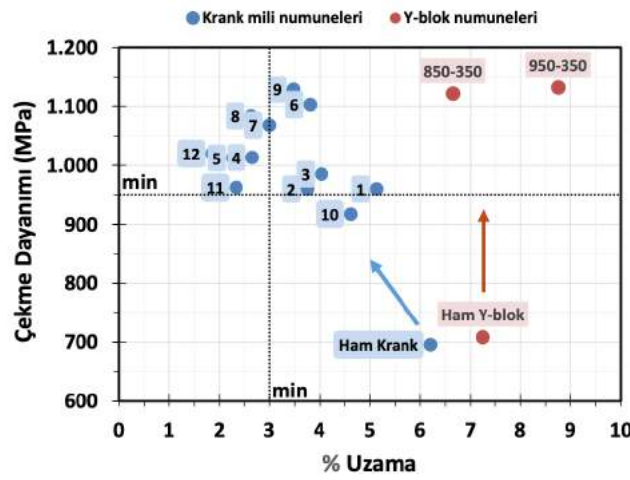
Daha önce Çizelge 3'te listelenen farklı koşullarda östemperleme uygulanmış 4 silindirik motor krank millerinden çıkarılan numunelerin çekme dayanımı ve % uzama değerleri Şekil 9'da gösterilmiştir. Aynı şekil üzerinde başarı ölçütümüz olan en az 950 MPa çekme dayanımı ve en az % 3 uzama değerleri de belirtilmiştir. Buna göre 1, 2, 3, 6, 7 ve 9 nolu numuneler her iki başarı ölçütünü de sağlamıştır. Geriye kalan 6 numunenin 5 tanesi (4, 5, 8, 11 ve 12) ise en az 950 MPa olan çekme dayanımı ölçütünü sağlarken uzama olarak % 3'ün altında kalmıştır.



Şekil 9 : Krank mili numunelerinin çekme dayanımı ve % uzama değerleri.

Y-blok numunelerle yapılan çalışmalar sonucunda östemperleme işlemiyle hedef olarak belirlenen mukavemet değerlerinin sağlanmasında pek risk olmadığı ve üzerinde yoğunlaşılması gereken esas noktanın mukavemeti koruyarak % uzamayı artırmak olduğu belirtilmişti. Bu nedenle krank milleri ile yapılan çalışmalarda Y-blok numunelerde en yüksek uzamayı veren, östentleme 930-950°C arası ve östemperleme 350-370°C arası olarak uygulanmıştır.

Y-blok numunelerle 350°C'de yapılan östemperleme denemelerinin sonuçları ile krank millerine yapılan denemelerin sonuçları Şekil 10'da bir arada verilmiştir. 350°C'de östemperlenen Y-blok numunelerde mukavemet değerlerindeki çok ciddi artışların % uzama değerlerinden feragat edilmeden sağlanabildiği ancak benzer koşullarda östemperlenen krank millerinde ise durumun böyle olmadığı ve % uzama değerlerinin ham numuneye göre belirgin şekilde azaldığı görülmektedir.



Şekil 10 : Y-blok numunelerde ve krank millerinde elde edilen çekme dayanımı ve % uzama değerleri

Numunelerin östemperleme davranışlarındaki farklılığı iki küresel grafitli dökme demir malzemenin kimyasal kompozisyon ve katılaşmayla oluşan içyapı farklılıkları ile ilişkilendirmek mümkündür. Zira östemperleme işleminden istenilen sonuçları elde etmek östemperleme koşullarına bağlı olduğu kadar östemperlemeye girecek başlangıç malzemesine de bağlıdır.

Y-blok ile krank mili malzemeleri arasındaki farklılıklar Çizelge 9'da verilmiştir. Buna göre krank milleri daha düşük karbon içeriğine (% 3,64'e karşı % 3,44), daha düşük karbon eşdeğerine (% 4,37'ye karşı % 4,22) ve daha düşük grafit nodülü yoğunluğuna (255/mm²'ye karşı 134/mm²) sahiptir. Ayrıca krank milleri çok daha az Mn içerirken (% 0,297'ye karşı % 0,073) Cu içeriği bakımından ise durum tam tersidir (% 0,51'e karşı % 0,835).

	C (%)	Mn (%)	Ni (%)	Cu (%)	Cr (%)	Karbon Eşdeğer, CE	Nodül sayısı (mm ⁻²)
Y bloklar	3.64	0.297	0.014	0.51	0.056	4,37	255
Krank milleri	3,44	0,073	<0,001	0,835	0,025	4,22	134

Çizelge 9 : Y-blok numunelerin ve krank millerinin karşılaştırılması

Krank millerinin kimyasal kompozisyonunda bulunan % 0,073 Mn içeriği Amerikan östemperlenmiş dökme demir standardı olan ASTM A 897'de tavsiye edilen değerin (% 0,35) çok altında iken % 0,835'lik Cu yüzdesi ise aynı standartta en fazla olarak belirlenen değeri (% 0,80) aşma durumundadır. Krank mili malzemesinin % 4.22 olan karbon eşdeğeri (CE) de tavsiye edilen aralığın (CE = 4.3-4.6) dışında kalmaktadır.

Krank mili malzemesi için belirlenen 134/mm²'lik grafit nodül sayısı, her ne kadar minimum değeri (100) sağlasa da, düşük kalmaktadır. Bu durum krank millerinden östemperleme sonucunda daha iyi değerlerin elde edilmesini engellediği değerlendirilmektedir. Zira kimyasal kompozisyonu ve nodül sayısı östemperlemeye elverişlilik açısından krank malzemesine göre daha optimal seviyelerde olan Y-blok numunelerinden benzer östemperleme koşullarında çok daha iyi sonuçlar alınabilmektedir.

Krank milleri, malzemesi küresel grafitli dökme demir standardı olan EN 1563'ü sağlayacak şekilde, MOTUS firmasının rutin üretimidir. Bu miller östemperleme işlemine girmeleri ve östemperlenmiş sünek dökme demir standartları olan ASTM A 897 veya EN 1564'ü sağlamaları amacıyla üretilmemiştir. Dolayısıyla kimyasal kompozisyon ve içyapı olarak östemperlemeye kısmen elverişli olan, östemperleme için optimize edilmemiş malzeme ile çalışılmak durumunda kalmıştır.

Bazı numunelerde (no 2 ve no 3) ösferrit içyapısı yerine perlit içyapısı elde edilmesinde de östemperleme için optimize edilmemiş kimyasal kompozisyon ve yapının rolü vardır. Bilindiği üzere östemperleme ısı işlemi esas olarak üç aşamada gerçekleştirilmektedir; i) numunenin östenitlenmesi, ii) östenitlenen numunenin perlit oluşumuna fırsat vermeyecek hızda östemperleme sıcaklığına indirilmesi ve iii) numunenin sabit ve homojen olarak östemperleme sıcaklığında tutulması.

3 numaralı numunenin ince perlit içyapısında olması bu numunenin ait olduğu krank milinin östenitleme fırınından 930°C'de çıkartılıp 350°C olan östemperleme sıcaklığına soğutulmasına kadar geçen sürenin östenitin perlitte dönüşmesine yetecek kadar uzun olduğunu göstermektedir. Aynı sıcaklıklarda işlem gören diğer iki numuneden (no 1 ve no 2) 2 numaralı numunenin de yine perlitik içyapıda olduğu tespit edilmiştir. 1 numaralı numune ise ösferritik içyapıdadır. Dolayısıyla bu üç numunenin östenitleme sıcaklığından östemperleme sıcaklığına soğuma hızları perlit oluşumundan kaçınmak için gereken minimum soğuma hızı civarlarında olmuştur. Perlit oluşumu problemini i) numuneleri östenitleme fırınından tuz banyosuna daha kısa sürede taşıyarak (operasyonel iyileştirme), ii) daha yüksek sıcaklıklarda östenitleme yaparak veya iii) uygun alaşımlamayla aşmak mümkündür. Nitekim 950°C'de östenitlenen krank millerinden çıkarılan numunelerde perlit oluşumu tespit edilmemiştir.

Sonuç olarak küresel grafitli dökme demir içyapısına sahip krank milleri için imal edilen aparat kullanılarak endüstriyel ölçekte deneme östemperleme işlemleri uygulanmıştır. Bu denemelerden çıkarılan numuneler üzerinde gerçekleştirilen test, analiz ve incelemeler sonucunda:

1. Hedeflenen ösferrit içyapısı başarıyla elde edilmiş ve bu içyapıyı üreten östemperleme koşulları belirlenmiştir.
2. Östemperlenecek parçaların östenitleme fırınından östemperleme banyosuna girene kadar geçirdikleri sürenin çok kritik olduğu tespit edilmiştir.
3. Dökme demir parçaların östemperleme öncesi kimyasal kompozisyon ve içyapılarının östemperlemeyle elde edilecek mekanik özellikler üzerinde belirleyici etkisi olduğu anlaşılmıştır. Dolayısıyla küresel grafitli döküm parçalarda östemperleme koşullarını işlem göreceği parçanın kimyasal kompozisyon ve içyapısını dikkate alarak belirlemek gerektiği ortaya çıkmıştır.

4. Firmamız krank milleri başta olmak üzere motorlu taşıt sektörünün östemperlenmiş sünek dökme demir parça ihtiyacının karşılanmasında ısıl işlem yerli tedarikçisi olarak hizmete hazır hale gelmiştir.

Semboller

BMS: Bulut Makine Sanayi

CMM: Koordinat Ölçme Makinesi

KGDD: Küresel Grafitli Dökme Demir

ÖKGDD: Östemperlenmiş Küresel Grafitli dökme Demir

SEM: Taramalı Elektron Mikroskobu

SSSF-DI: Katı çözelti sertleştirmeli ferritik dökme demirler SSS-ADI: Katı çözelti sertleştirmeli östemperlenmiş dökme demirler

Teşekkür

Bu çalışma 7190042 no'lu TÜBİTAK/TEYDEB Kobi Ar-Ge Başlangıç Destek Programı kapsamında gerçekleştirilmiş olup katkılarından dolayı TÜBİTAK'a ve test çalışmalarımıza katkılarından dolayı Gazi Üniversitesine ve Atılım Üniversitesine teşekkür ederiz.

5. KAYNAKÇA

- 1) A. O. Devecili, G. Uymaz, "Östemperleme Isıl İşlem Sıcaklığının EN GJS 600-3 Sfero Döküm Malzemede Mekanik Özelliklere Etkisi ve Hidrolik Direksiyon Kutusuna Uygulanması", Makina Tasarım ve İmalat Dergisi Cilt 14, Kasım 2016, Sayı 2.
- 2) C. Akça, "Östemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirde Alaşım Elementlerinin Östenit-Martenzit Dönüşümüne Etkisi", Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul 2005.
- 3) EN 1564:2011 Founding—Ausferritic Spheroidal Graphite Cast Irons
- 4) ASTM A897/A897M—16 Standard Specification for Austempered Ductile Iron Castings
- 5) M. Lahres et al., "Strategies for processing new engineering materials for automotive power-train components", <http://www.indtech.eu/pdf/26861da7-58ca4ba5-b73c-1718dad67e67.pdf>.
- 6) E. Konca, K. Tur, E. Koç, "Effects of Alloying Elements (Mo, Ni and Cu) on the Austemperability of GGG-60 Ductile cast Iron", Metals, 7, 2017, 320.
- 7) V. Kılıçlı, M. Erdoğan, "Arakritik Östenitleme Sıcaklıklarından Östemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirin Mikroyapı ve Mekanik...", 14th International Materials Symposium (IMSP'2012), Pamukkale University-Denizli-Turkey, 10-12 October 2012, 184-191.
- 8) S. Savicevic, H. Avdusivonic, A. Gigovic-Gekic, Z. Jurkovic, M. Vukcevic, M. Janjic, "Influence of the Austempering Temperature on the Tensile Strenght of the Austempered Ductile Iron (ADI) Samples", Metalurgija 56 1-2, 2017, 149-152.
- 9) K. Soivio,, "Austempering Experiments of Production Grade Silicon Solution Strengthened Ductile Iron", Materials Science Forum, vol. 925, 2018, pp 239-245.

A356 VE A380 ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINDA FARKLI KATILAŞMA HİZALARINDA SIVI METAL KALİTESİ TAYİNİ

Sena ERDOĞAN*, Rabia Şevval AKAN*, Çağlar YÜKSEL**,
Muhammet ULUDAĞ*

*Bursa Teknik Üniversitesi, Bursa/Türkiye

**Atatürk Üniversitesi, Erzurum/Türkiye

ÖZET

Bu çalışmada, A380 ve A356 alüminyum alaşımları kullanılarak alaşıma ve farklı kalıp kullanımına bağlı olarak malzemelerin sıvı metal kalitesi incelenmiştir. Sonrasında bu parametreler ile malzemelerin mekanik özellikleri arasındaki ilişki tayin edilmiştir. Ergitme işleminden sonra sıvı metal kum ve kokil kalıplara dökülmüştür, sonrasında vakum altında katılaştırma testi (RPT) ile dökümlerin bifilm indeks değeri hesaplanmıştır. Deneyde kullanılan parametreler ile malzemelerin mekanik özellikleri arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla sertlik ölçme testleri tüm döküm numunelerine uygulanmıştır. Yapılan çalışmalar doğrultusunda, A380 alüminyum alaşımının bifilm indeks değerlerinin A356 alaşımına göre daha iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Buna ek olarak artan soğuma hızıyla birlikte elde edilen bifilm indeks değerlerinde de azalma gözlemlenmiştir. Artan sıvı metal kalitesi ile malzemelerin mekanik özellikleri arasında da doğrusal bir ilişki tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Al alaşımları, Sıvı metal kalitesi, Sertlik, Bifilm indeks, Soğuma hızı

ABSTRACT

In this study, A380 and A356 aluminum alloys are used to investigate the liquid metal quality of materials depending on alloy and different mold usage. Then, the relationship between these parameters and the mechanical properties of the materials was determined. After melting, the liquid metal was poured into sand and gravity molds, then the bifilm index value of the castings was calculated by solidification test under vacuum (RPT). In order to determine the relationship between the parameters used in the experiment and the mechanical properties of the materials, hardness tests were applied to all casting samples. According to the studies, bifilm index values of A380 aluminum alloy give better results than A356 alloy. In addition, a decrease was observed in the index values obtained with increasing cooling rate. A linear relationship was found between increasing liquid metal quality and mechanical properties of materials.

Keywords: Al alloys, Liquid metal quality, hardness, Bifilm index, cooling rate

GİRİŞ

Günümüz endüstrisinde demir esaslı mühendislik malzemelerinden sonra en fazla alüminyum metali kullanılmaktadır. Yoğunluğunun düşük olması, dökümü ve şekillendirilmesinin kolay olması, ısı ve elektrik iletkenliğinin iyi olması ve geri dönüştürülebilir olması gibi özellikleri sayesinde alüminyum, sektörde en çok tercih edilen mühendislik malzemelerinden birisidir [1-3]. Özelliklerini iyileştirmek ve kullanım alanlarını genişletmek amacıyla alüminyum, çeşitli alaşım elementleri kullanılarak alaşımlandırılmaktadır. Endüstride kullanılan alüminyum alaşımlarının büyük bir bölümü döküm yöntemi ile üretilmekte ve şekillendirilmektedir [4]. Alüminyum döküm alaşımları sahip olduğu alaşım elementine göre gruplandırılmakta ve 1xx.x- 9xx.x arası seriler şeklinde sıralanmaktadır [5]. Alüminyuma alaşım elementi olarak silisyum, bakır ve magnezyum en fazla ilave edilen elementlerin başında gelmektedir [6]. A380, A360, A356 alüminyum alaşımları 3xx.x serisine ait alaşımlardan en çok kullanılan ve bilinen alaşımlar olmakla birlikte ana alaşım elementi olarak silisyum, diğer alaşım elementleri olarak magnezyum ve bakır içermektedirler[7, 8]. Sadece silisyum içeren ve kullanımı en yaygın olan alüminyum alaşımlarına da A413 alaşımı örnek verilebilir. Bu bahsedilen alaşım gruplarındaki alüminyum alaşımları, otomotiv, makine, savunma sanayisi, inşaat sektörü ve havacılık gibi birçok mühendislik uygulaması gerektiren alanlarda kullanılmaktadır [9, 10].

Döküm yöntemi ile üretilen ve çok geniş bir kullanım alanına sahip olan alüminyum alaşımlarının üretimi esnasında görülen soğuk birleşme, sıcak yırtılma ve porozite gibi döküm hataları kullanım alanlarını sınırlandırmaktadır [11-13]. En çok rastlanan döküm hatalarının başında porozite oluşumu gelmektedir. Porozite oluşumu ile ilgili gaz ve çekme porozitesi olmak üzere iki mekanizma ortaya atılmıştır [14]. 2000'li yıllarda Campbell ve Dışpınar tarafından bu iki kabul görmüş mekanizmaya yeni bir yaklaşım getirilerek porozite oluşumunda gaz ve çekme etkisinin tetikleyici faktör olduğu ana fatörün ise bifilmli yani oksit yapılar olduğu ileri sürülmüştür [15-19].

Döküm prosesinde ergitme işlemi sırasında metal ve alaşımların yüzeyinde oksit tabakaları oluşmaktadır, yüzeyde var olan bu oksit tabakaları döküm esnasında farklı evrelerde kırılıp birbiri üzerine katlanarak sıvı metal içerisine dâhil olmaktadır [20]. İngottan gelen oksit yapılarının yapı içerisine yerleşmesiyle old bifilmli oluşurken yüzeyde var olan oksit yapılarının yapı içerisine katılmalarıyla young bifilmli oluşmaktadır [21]. Katlanmış olan bu amorf alüminyum oksit tabakaları yapı içinde yer alarak çatlak gibi görev görmektedir ve nihai ürünün mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkilemektedir [22, 23].

Alaşımların ergitme safhasında sıvı çelik içerisinde hasıl olan veya döküm prosesi esnasında oluşan bifilmli nihai ürün içerisinde bulunarak parçanın mekanik özelliklerini azaltmaktadır, bundan dolayı da ergiyik kalitesinin denetimi ürün kalitesinin tayini için yapılması gereken bir zorunluluk olmaktadır. Bir ergiyiğin bifilm indeks değerinin bilinmesi ile sıvı metal tayini yapılmaktadır, Campbell ve Dışpınar bifilmli kontrolünü sağlamak, sayılarını ve büyüklüğünü belirlemek üzerine çalışmış, sonuç olarak bifilm indeks yöntemini geliştirmiştir [24, 25]. Vakum altında katılaştırma testi (RPT) kullanılarak aşağıdaki formülasyon [18] ile saptanan bifilm indeks değeri dağılım aralıklarına [21] göre sıvı metal kalitesi tayini sayısal olarak tespit edilip malzemenin mekanik özellikleri arasında ilişki kurulmaktadır.

$$BI = \sum (\text{por uzunluğu}) \quad [25]$$

Bifilm indeks dağılım aralıklarına göre sıvı metal kalitesi tayin edilmektedir [21].

- $0 \leq BI \leq 10$ mm: yüksek kaliteli ergiyik
- $10 \leq BI \leq 25$ mm: iyi kaliteli ergiyik
- $25 \leq BI \leq 50$ mm: orta kaliteli ergiyik
- $50 \leq BI \leq 100$ mm: kabul edilemez ergiyik
- $BI \geq 100$ mm: kötü kaliteli ergiyik

Yüksel ve arkadaşları [26] çalışmalarında bifilm indeks değerleriyle malzemenin mekanik özellikleri ile olan ilişkisini teyit etmek için bifilm indeks ile çekme mukavemeti arasındaki ilişkiyi inceleyerek aralarında ters orantının olduğunu göstermişlerdir.

Her durumda ve her şartta aynı bifilm oluşumu gözlemlenmemektedir, bununla birlikte her bifilm indeks değerinde de aynı mekanik özellik elde edilmemektedir, çünkü bifilmli oluşumu ve alaşım kalitesi üzerindeki etkisi farklı mekanizmalara bağlı olarak değişmektedir. Bifilm oluşumu üzerindeki etkili önemli parametreler ise kalıp tasarımı, döküm sıcaklığı, kalıp sıcaklığı, besleme ve alaşım elementi ilavesi şeklinde sıralanmaktadır [27].

Bifilm oluşumunda etkili olan parametreler dışında, bifilm oluşumunda azalmaya sebebiyet veren işlemlerden bir tanesinin gaz giderme işlemi olduğu bilinmektedir [8, 28, 29]. Literatürdeki bifilm yöntemi ile ilgili çalışmalara bakıldığında deneysel çalışmaların gaz gidermeli ve gaz gidermesiz olmak üzere iki koşul altında gerçekleştirildiği tayin edilmektedir. Uludağ ve arkadaşlarının [21, 27] çalışmasındaki deneysel parametrelerin birisi de gaz giderme işlemidir ve çalışmada gaz giderme işleminin bifilmliğin azalması üzerindeki rolü teyit edilmiştir.

Bu çalışmada, A356 ve A380 alüminyum alaşımlarının kum ve kokil kalıplara dökümlerinden elde edilen numunelere RPT testinin uygulanması ile alaşımların bifilm indeks değerleri elde edilmiştir. Elde edilen bifilm değerleri ile sıvı metallerin kalitesi sayısal olarak saptanmıştır. Böylece sıvı metal kalitesinin alaşıma ve kalıba bağlı olarak nasıl değişkenlik gösterdiği ve bu deney parametrelerinin aralarında nasıl bir ilişkinin olduğu tayin edilmiştir.

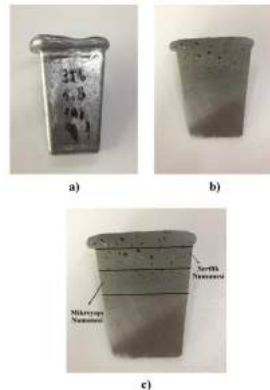
2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Çizelge 1'de çalışmada kullanılan A356 ve A380 alüminyum alaşımlarının kimyasal bileşim aralıkları görülmektedir.

A356	A380	
Si	6,60- 7,40	7,5- 9,00
Cu	0,02	3,0- 4,0
Mg	0,30- 0,45	0,30
Fe	0,20	1,00
Zn	0,04	1,0
Ti	0,80- 0,14	0,25
Mn	0,03	0,50
Al	Kalan	Kalan

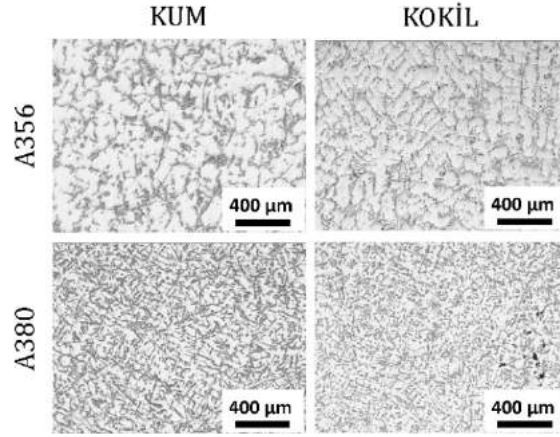
Çizelge 1 : A356 ve A380 alaşımlarının kimyasal kompozisyonu

Ergitme ocağında sırasıyla, A356 ve A380 alüminyum alaşımları ergitme işlemine tabi tutulmuştur. Ergitilen her alaşım yaklaşık olarak 750° C sıcaklığında peşi sıra, RPT testi cihazına ait olan kokil kalıba ve özel olarak tasarlanan kum kalıba dökülmüştür. Katılma sonrası elde edilen dökümler ilk olarak yoğunluk indeks hesaplamasına tabi tutulmuştur, sonrasında ise dökümlerin bifilm indeks hesaplaması gerçekleştirilmiştir. Şekil 1'de görüldüğü gibi döküm parçalarına kesim işlemi uygulanıp mikroyapı ve sertlik numuneleri elde edilmiştir. Sonrasında, elde edilen bu numuneler bakalit alma işlemine tabi tutulmuştur. Bakalit işlemi bitiminden sonra 320, 600, 800, 1200, 2500 grid zımparaların kullanılmasıyla zımparalama işlemi gerçekleştirilmiştir. Zımparalama işlemi gerçekleştirildikten sonra mikroyapı numunelerine, 1 mikron ve 6 mikron elmas solüsyonu ile birlikte etil alkolün kullanılmasıyla parlatma işlemi uygulanmıştır. Bu işlem sonrasında, Nikon marka mikroskop cihazı kullanılarak etil alkol ve saf su ile temizlenen numunelerinin mikro yapı tayini gerçekleştirilmiştir. Sertlik numuneleri ise ilk olarak Bulut marka sertlik cihazı ile Brinell sertlik ölçümüne tabi tutulmuştur, sonra bu numunelere Mikro Vickers sertlik ölçme işlemi uygulanmıştır.



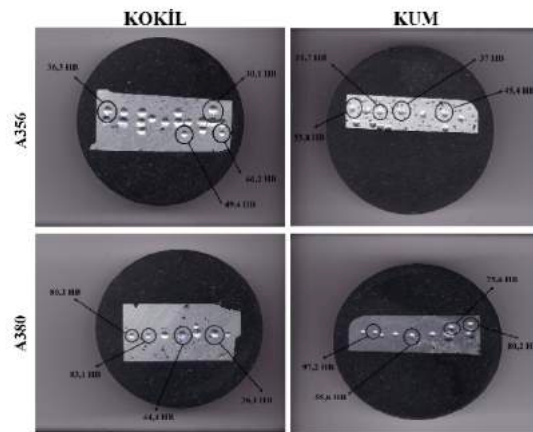
Şekil 1 : a) RPT numunesi(kum kalıp), b) RPT numunesinin kesiti, c) RPT dökümünden alınan sertlik ve mikroyapı numuneleri

3. BULGULAR



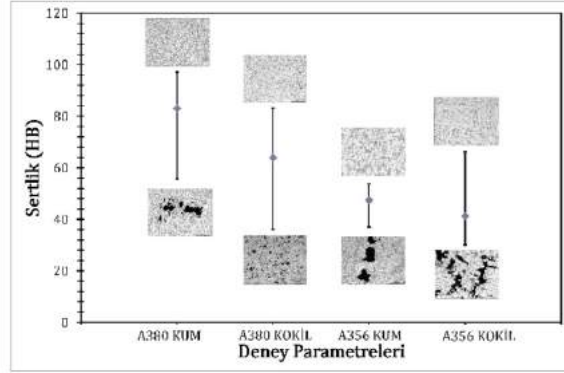
Şekil 2 : A356 ve A380 alaşımlarının kum ve kokil kalıba dökümünden elde edilen numunelerin mikroyapı görüntüleri

A356 ve A380 alüminyum alaşımlarının kum ve kokil kalıplara dökümünden elde edilen numunelerinin mikroyapı görüntüleri Şekil 2'de görülmektedir. Mikroyapı görüntüleri kum ve kokil kalıp olarak incelendiğinde, kokil kalıptan elde edilen numune örneklerinde daha ince silis yapılarından bahsedilirken kum kalıpta ise tam tersi bir durumun varlığından söz etmek mümkündür. Buradaki farkın en temel sebebi, soğuma hızından dolayı kaynaklanmaktadır. Bilindiği gibi, kokil kalıbın ısı iletim katsayısı kum kalıbın ısı iletim katsayısından daha fazladır [30]. Bu doğrultuda, kokil kalıpta daha çabuk katılaşma gerçekleşir, hızlı katılaşmadan dolayı yapı içerisindeki taneler büyümeye fırsat bulamaz ve daha ince bir yapıyı bizlere sunar. Mikroyapı görüntüleri alaşıma göre incelendiğinde, kum veya kokil kalıp fark etmeksizin A380 alaşımından elde edilen mikro yapı görüntülerinde ince silislerin varlığı göze çarpmaktadır. A356 alaşımından elde edilen mikro yapı görüntülerinde ise A380 alaşımına nazaran daha kaba olan silislerin varlığı rahatlıkla tayin edilmektedir. Bu farklılığın sebebi ise, alaşımlar arasındaki silis oranlarının farklılığından kaynaklanmaktadır. A380 alaşımında daha fazla var olan silis oranından dolayı, ince taneli bir yapı elde edilir. Bu sebeple A380 alaşımı, A356 alaşımına göre daha iyi mekanik özellikleri bizlere sunar. Buna ek olarak, kum kalıp ve kokil kalıp arasında mekanik özellikler açısından bir kıyaslamaya gidildiğinde, yukarıda bahsedilen hızlı soğumadan dolayı hâsıl olan ince yapı sayesinde kokil kalıpların daha iyi mekanik özelliklere sebebiyet verdiği yorumu rahatlıkla yapılmaktadır.



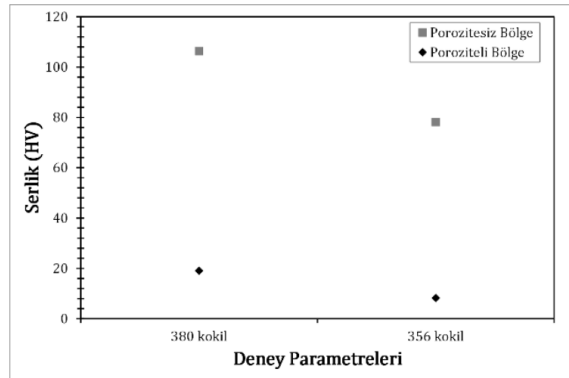
Şekil 3 : Sertlik numunelerinin ölçüm sonrası görüntüleri

Şekil 3'te bakalite alınan farklı parametrelerdeki sertlik numunelerinin Brinell testi ölçüm sonrasındaki ölçümleri ve görüntüleri verilmiştir. Görüntüler analiz edildiğinde, alaşım ve kalıp fark etmeksizin, en düşük sertlik değerinin ölçüldüğü noktalarda porozite yoğunluğunun fazla olduğu görülmektedir. Porozite yoğunluğunun az olduğu bölgelerde ise yüksek sertlik değerleri elde edilmektedir.



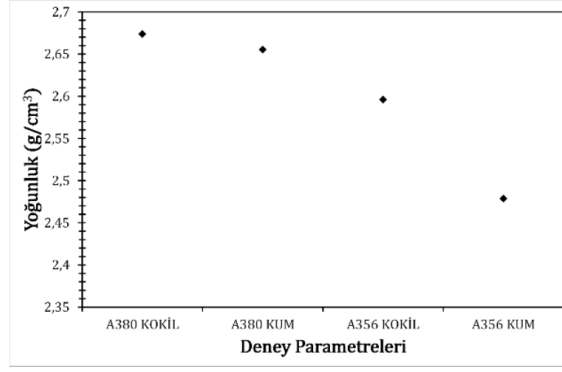
Şekil 4 : Farklı deney parametreleri koşullarında elde edilen sertlik değerleri ve mikroyapı görüntüleri

Şekil 4'te A356 ve A380 alaşımlarının farklı deney parametrelerine ait sertlik değerleri ve bu sertlik değerlerindeki mikroyapıları verilmiştir. Şekil incelendiğinde, en yüksek sertlik değerinin kum kalıba dökümü gerçekleştirilen A380 alaşımına ait olduğu görülmüştür. En düşük sertlik değerinin ise kokil kalıba dökümü gerçekleştirilen A356 alaşımına ait olduğu ortaya konulmuştur. Şekildeki mikroyapılar incelendiğinde, alaşımların sertlik değerlerinin düşük olduğu yerlerde porozite sayısının fazla olduğu, sertlik değerlerinin en yüksek olduğu noktalarda ise porozitenin yok denecek kadar az olduğu fark edilmiştir. Kum kalıba dökümü gerçekleştirilen alaşımların sertlik değerlerinin kokil kalıba dökümü gerçekleştirilen alaşımların sertlik değerlerine göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Buna ek olarak, A380 alaşımında kum kalıba dökümü gerçekleştirilen numunedeki porozitelerin daha büyük, kokil kalıba dökümü yapılan numunenin porozitelerinin ise daha küçük ve küresel olduğu ve daha homojen yayıldığı görülmüştür. A356 alaşımında ise bu durumun tam tersi söz konusudur. Kokil kalıpta ortaya çıkan poroziteler kum kalıptakilere kıyasla daha büyük ve şekilsizdir.



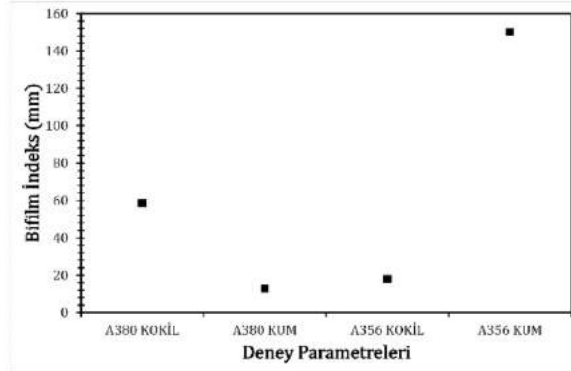
Şekil 5 : Farklı deney parametreleri koşullarında elde edilen sertlik değerleri

A380 ve A356 alüminyum alaşımlarının kokil kalıba dökümlerinden elde edilen numunelerin microvickers sertlik değerleri şekil 5'te görülmektedir. Şekil incelendiğinde, poroziteli bölgelerden alınan sertlik değerlerinin porozitesiz bölgelerden alınan sertlik değerlerinden daha düşük çıktığını söylemek mümkündür.



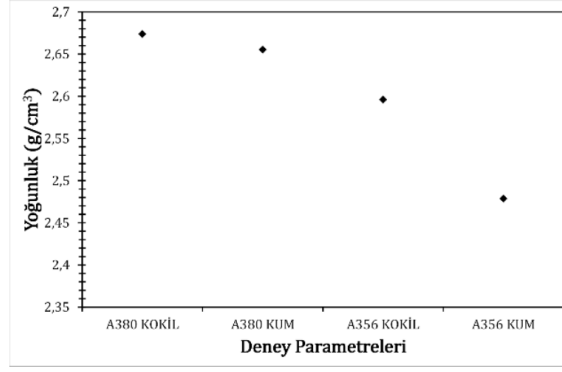
Şekil 6 : Farklı deney parametrelerindeki A356 ve A380 alaşımlarının yoğunluk değerleri

Farklı deney parametreleri koşullarında elde edilen numunelerin yoğunluk değerleri Şekil 6'da görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi, her iki alaşımın kokil kalıplara dökümünden elde edilen yoğunluk değerleri, kum kalıplara dökümünden elde edilen değerlerden daha fazla çıkmıştır. Bu sonucun elde edilmesindeki sebep ise soğuma hızıdır. Kokil kalıpta daha hızlı soğuma meydana geleceği için yapı içinde var olan poroziteler büyüyemez, bu sebeple yoğunluk olarak bir artışa sebebiyet verir. Buna ek olarak, kum kalıpta soğuma yavaş gerçekleşeceği için yapı içerisinde hâsıl olan poroziteler büyümeye fırsat bulur, bu durum ise yoğunluk değerinde azalmaya sebebiyet verir.



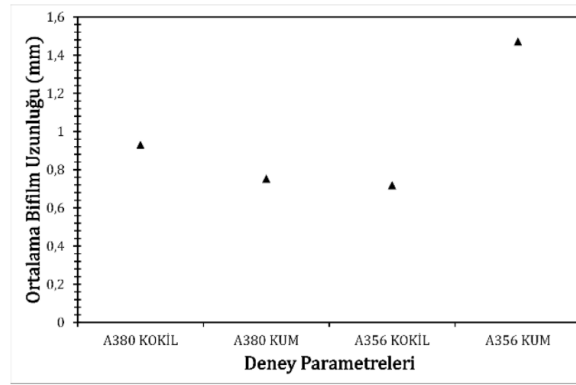
Şekil 7 : Deney parametreleri doğrultusunda elde edilen bifilm indeks değerleri

Şekil 7'de farklı deney parametrelerinden elde edilen numunelerin bifilm indeks değerleri verilmiştir. Dökümü kokil kalıba gerçekleştirilen A380 alaşımının değerine bakıldığında kum kalıba dökümü gerçekleştirilen numunenin değerinden daha fazla olduğu görülmektedir. Böyle bir sonucun elde edilme sebebinin isedöküm şartlarına bağlı olduğu düşünülmektedir. A356 alaşımını incelenecek olursa, kum kalıba dökümü gerçekleştirilen numunenin bifilm indeks değerinin, kokil kalıba dökümü gerçekleştirilen numuneninkinden daha fazla olduğu kolaylıkla fark edilmektedir. Sonuçlar alaşıma bağlı olarak kıyaslandığında, A380 alaşımının kokil kalıba dökümü sonucunda elde edilen değer, A356'nın kokil kalıba dökümünden elde edilen değerden daha az çıkması beklenirken daha fazla çıktığını söylemek mümkündür. Buna ek olarak, kum kalıpta elde edilen değerler beklenildiği gibidir.



Şekil 8 : A356 ve A380 alaşımlarının bifilm küresellik değerleri

Şekil 8’de farklı deney parametreleri doğrultusunda elde edilen bifilm küreselliği değerleri görülmektedir. A380 ve A360 alaşımlarının kum kalıba dökümünden elde edilen değerler, bu alaşımların kokil kalıba dökümündeki değerlerden daha fazla çıkmıştır. Bu tespit edilen durum ise, kum kalıpta soğuma hızının daha yavaş olmasından kaynaklanmaktadır. Buna ek olarak, soğuma hızı fazla olduğu zaman yapıda var olan poroziteler daha düzensiz bir şekilde büyüyerek yapı olarak küreselliğe yakın olmayan bir morfolojiyi bizlere sunar.



Şekil 9 : Farklı parametrelerde A356 ve A380 alaşımlarının ortalama bifilm uzunluk değerleri

Şekil 9’da farklı deney parametrelerine ait numunelerin ortalama bifilm uzunluk değerleri verilmiştir. A380 alaşımının kum ve kokil kalıba dökümü gerçekleştirilen numunelerin ortalama bifilm uzunluğu karşılaştırıldığında, kokil kalıptan elde edilen numune değerlerinin kum kalıptan elde edilenlerden daha yüksek değerlere sahip olduğu görülmektedir. A356 alaşımında ise kum kalıpta dökümü gerçekleştirilen numunenin ortalama bifilm uzunluğu kokil kalıba dökümü gerçekleştirilen numuneye göre çok daha fazladır.

1. SONUÇ

Bu çalışmada A 356 ve A380 alaşımlarının kum ve kokil kalıba dökümlerinden elde edilen numunelerin mikro yapı görüntüleri analiz edildiğinde soğuma hızına bağlı olarak kokil kalıpta daha ince silis yapıları gözlenirken kum kalıpta kaba silis yapıları karşımıza çıkmaktadır.

Numunelerin sertlik sonuçları incelendiğinde, kum kalıba dökümü gerçekleştirilen A380 alaşımında en yüksek sertlik değerinin kaydedildiği, en düşük sertlik değerinin A356 alaşımının kokil kalıptaki dökümünde elde edildiği sonucuna varılmaktadır. Buna ek olarak, sertlik değerinin yüksek olduğu bölgelerde porozite miktarının az, düşük olduğu bölgelerde ise porozite miktarının fazla olduğu görülmektedir.

Numunelerin yoğunluk değerleri incelemeye tabi tutulduğunda, kokil kalıplara dökümü gerçek-

leştirilen alaşımların yoğunluk değerlerinin kum kalıba dökümü gerçekleştirilen numunelerden daha fazla olduğu sonucuna varılmaktadır.

A380 alaşımının kokil kalıpta elde edilen numunesinin bifilm indeks değeri kum kalıpta elde edilenden daha fazla olduğu ortaya koyulmuştur.

A380 ve A360 alaşımlarının kokil kalıba dökümünden elde edilen numunelerin bifilm küresellik değerleri kokil kalıba dökümü gerçekleştirilen numunelerden daha az çıkmıştır.

A356 alaşımının kum kalıptan elde edilen numunesinin ortalama bifilm uzunluğu kokil kalıptan elde edilen numunesinden daha fazladır.

2. KAYNAKÇA

1. Das, S., D. Mondal, S. Sawla, and N. Ramakrishnan, Synergic effect of reinforcement and heat treatment on the two body abrasive wear of an Al-Si alloy under varying loads and abrasive sizes, 264 (1-2): p. 47-59, (2008).
2. MATSUDA, K., Y. UETANI, T. SATO, A. KAMIO, and S. IKENO. in Aluminum Alloys: Their Physical and Mechanical Properties: Proceedings of the 6th International Conference on Aluminum Alloys, ICAA-6: Toyohashi, Japan, July 5-10, 1998. Japan Institute of Light Metals, (1998).
3. Schultz, R. and W. Haupricht, Trends in aluminum use for passenger cars and light trucks in North America, 57 (1-2)(1999).
4. Campbell, J., Castings. Elsevier, (2003).
5. Mondolfo, L.F., Aluminum alloys: structure and properties. Elsevier, (2013).
6. Davis, J.R., Corrosion of aluminum and aluminum alloys. Asm International, (1999).
7. Brodova, I.G.e., P.S. Popel, and G.I. Eskin, Liquid metal processing: Applications to aluminium alloy production. CRC Press, (2014).
8. Dispınar, D., S. Akhtar, A. Nordmark, M. Di Sabatino, and L. Arnberg, Degassing, hydrogen and porosity phenomena in A356, 527 (16-17): p. 3719-3725, (2010).
9. Edwards, K., Strategic substitution of new materials for old: Applications in automotive product development, 25 (6): p. 529-533, (2004).
10. Kaufman, J.G. and E.L. Rooy, Aluminum alloy castings: properties, processes, and applications. Asm International, (2004).
11. Ammar, H., A. Samuel, and F. Samuel, Effect of casting imperfections on the fatigue life of 319-F and A356-T6 Al-Si casting alloys, 473 (1-2): p. 65-75, (2008).
12. El-Sayed, M., H. Hassanin, and K. Essa, Bifilm defects and porosity in Al cast alloys, 86 (5-8): p. 1173-1179, (2016).
13. Wang, Q., D. Apelian, and D. Lados, Fatigue behavior of A356-T6 aluminum cast alloys. Part I. Effect of casting defects, 1 (1): p. 73-84, (2001).
14. Kubo, K. and R.D. Pehlke, Mathematical modeling of porosity formation in solidification, 16 (2): p. 359-366, (1985).
15. Akhtar, S., D. Dispınar, L. Arnberg, and M. Di Sabatino, Effect of hydrogen content, melt cleanliness and solidification conditions on tensile properties of A356 alloy, 22 (1-4): p. 22-25, (2009).
16. Dispınar, D. and J. Campbell, Effect of casting conditions on aluminium metal quality, 182 (1-3): p. 405-410, (2007).
17. Dispınar, D. and J. Campbell, Porosity, hydrogen and bifilm content in Al alloy castings, 528 (10-11): p. 3860-3865, (2011).
18. Dişpınar, D. and J. Campbell. in Metallurgical and Materials Congress. (2004).
19. Farhoodi, B., R. Raiszadeh, and M.-H. Ghanaatian, Role of double oxide film defects in the formation of gas porosity in commercial purity and Sr-containing Al alloys, 30 (2): p. 154-162, (2014).
20. Dispınar, D. and J. Campbell, Critical assessment of reduced pressure test. Part 1: Porosity phenomena, 17 (5): p. 280-286, (2004).
21. Uludağ, M., R. Çetin, D. Dişpınar, and M. Tiryakioğlu, On the interpretation of melt quality

- assessment of A356 Aluminum alloy by the reduced pressure test: the Bifilm index and its physical meaning, 12 (4): p. 853-860, (2018).
22. Bozchaloei, G.E., N. Varahram, P. Davami, and S.K. Kim, Effect of oxide bifilms on the mechanical properties of cast Al-7Si-0.3 Mg alloy and the roll of runner height after filter on their formation, 548: p. 99-105, (2012).
23. Tiryakioğlu, M., J. Campbell, and N.D. Alexopoulos, Quality indices for aluminum alloy castings: A critical review, 40 (6): p. 802, (2009).
24. Couper, M., A. Neeson, and J. Griffiths, Casting defects and the fatigue behaviour of an aluminium casting alloy, 13 (3): p. 213-227, (1990).
25. Dispınar, D., A. Nordmark, J. Voje, and L. Arnberg. in 138th TMS Annual Meeting, Shape Casting: 3rd International Symposium, San Francisco, California, USA,(February 2009). (2009).
26. Yüksel, Ç., E. Erzi, Ö. Tamer, D. Dışpınar, and M. Çiğdem¹, Yeniden Ergitilmiş A356 Alüminyum Alaşımı Hurdasının Çekme Dayancı Üzerine Olan Etkileri, 7: p. 359-364, (2015).
27. Uludağ, M., R. Çetin, and D. Dispınar, Freezing range, melt quality, and hot tearing in Al-Si alloys, 49 (5): p. 1948-1961, (2018).
28. Uludağ, M., R. Çetin, D. Dispınar, and M. Tiryakioğlu, Characterization of the effect of melt treatments on melt quality in Al-7wt% Si-Mg alloys, 7 (5): p. 157, (2017).
29. Yorulmaz, A., Ç. Yüksel, E. Erzi, and D. Dispınar. in Shape Casting: 6th International Symposium. Springer, (2016).
30. Shabestari, S. and H. Moemeni, Effect of copper and solidification conditions on the microstructure and mechanical properties of Al-Si-Mg alloys, 153: p. 193-198, (2004).

SIVI METAL KALİTESİ İÇİN KULLANILAN BİFİLM İNDEKS YÖNTEMİNİN FİZİKSEL ANALİZİ

Sena ERDOĞAN*, Rabia Şevval AKAN*, Recep Öz**,
Muhammet ULUDAĞ*

* Bursa Teknik Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Bursa, Türkiye

** Alcast Metal Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi, Kalite Kontrol Birimi, Bursa, Türkiye

ÖZET

Alüminyum ve alüminyum alaşımları birçok üstün özelliklerinden dolayı endüstride çokça tercih edilen mühendislik malzemelerindendir, fakat üretim hatalarının başında gelen porozite oluşumunun ana sebebi olan oksit yapılar (bifilm) malzemelerin mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkileyerek alüminyum alaşımlarının kullanım alanlarını sınırlamaktadır. Geliştirilen bifilm indeks yöntemi ile bifilm sayıları ve büyüklükleri tayin edilerek sıvı metalin kalitesi sayısallaştırılmaktadır. Bu çalışmada, A380 alaşımının vakum altında katılaşma (RPT) yöntemiyle kokil kalıplara dökümü gerçekleştirilmiştir. Dökümlerden elde edilen RPT numuneleri CT scan cihazı ile tomografik incelemeye tabi tutularak farklı kesitlerdeki porozite oluşum özellikleri incelenerek bifilm indeks değerleri tayin edilip sıvı metal kalitesi sayısal olarak analiz edilmiştir. Elde edilen porozitelerin sayısı, uzunluğu ve alanları istatistiksel olarak incelenmiştir. Çalışmada alansal porozite ölçümü için RPT numuneleri frezeleme işlemine tabi tutulmuştur. Şu ana kadar kullanılan bifilm indeks değerlerinin döküm parçasının tamamını ne derece temsil ettiği araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar yoğunluk indeksi hesaplaması ile de karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bifilm indeks, Alüminyum alaşımı, Gaz giderme, Yoğunluk

ABSTRACT

Aluminum and aluminum alloys are among the most preferred engineering materials in the industry due to their many superior properties. However, oxide structures (bifilms), which are the main reason for porosity formation, which is one of the leading production errors, affect the mechanical properties of the materials negatively and limit the usage areas of aluminum alloys. With the developed bifilm index method, the number and size of bifilms are determined and the quality of the liquid metal is quantified. In this study, A380 alloy was poured into permanent molds by reduced pressure test (RPT). RPT samples obtained from castings were subjected to tomographic examination with CT scan device. Thus, by examining the porosity formation properties in different sections, bifilm index values were determined and the liquid metal quality was analyzed numerically. The number, length and areas of porosities obtained were statistically analyzed. In the study, RPT samples were subjected to milling process for the measurement of areal porosity. It has been investigated to what extent the bifilm index values used so far represent the whole casting piece. The results obtained were compared with the calculation of density index.

Keywords: Bifilm index, Aluminum alloy, Degassing, Density,

1. GİRİŞ

Alüminyum ve alaşımları, ağırlıkça hafif olmaları, iyi ısı ve elektrik iletkenliklerine sahip olmaları, korozyon dirençlerinin iyi olması, döküm ve şekillendirilmesinin kolay olması, defalarca kullanılabilirliği gibi üstün özellikleri sayesinde birçok alanda tercih edilmektedirler [1-4]. Alüminyum bu özellikleri tek başına gösterememektedir. Bu sebeple başka metaller ile bir araya gelerek alaşımları ihtiyaca göre oluşturmaktadır. Alaşım elementlerine ve mikro yapıya bağlı olarak alüminyum alaşımlarının mekanik, kimyasal ve fiziksel özellikleri değişiklik göstermektedir [5]. Kullanılan alaşım elementine göre malzemenin kullanım alanları farklılaşmaktadır, fakat alüminyum alaşımlarının kritik noktalarda uygulamaları üretim hatalarından dolayı sınırlanmaktadır [6-8].

Alüminyum döküm alaşımlarında kullanım alanını kısıtlayan üretim hatalarının başında oksit filmlerin neden olduğu porlar gelmektedir. Alüminyum eriyik ve çevresi arasında önemli iki etkileşim meydana gelmektedir. Bu etkileşimler hidrojenin çözünürlüğü ve oksit filmlerinin oluşması olarak bilinmektedir. Alüminyum alaşımlarında porozite oluşumuna sıklıkla rastlanmaktadır ve bu durum malzemenin mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkilemektedir. Porozite oluşumunda oksit yapıların(bifilm) ana etken, hidrojen içeriğinin yardımcı etken olduğu kabul edilmektedir [9,10].

Dispinar ve Campbell yaptıkları bir çalışmada, bifilm ve hidrojen içeriği parametrelerini tartışmaktadır. Katılaşma esnasında katı/sıvı çekmesinin, bifilmin açılmasına ve poroziteyi oluşturmak için çözülmesine yardımcı olan negatif basınca neden olduğunu ortaya koyulmuştur. Bifilmler açıldıktan sonra mekanik özellikler üzerindeki etkilerini arttırmaktadır. Dispinar bu olayı kokil döküm ve düşük basınçlı kalıp dökümünde porozite oluşumunu kıyaslayarak ortaya koymaktadır. Diğer parametre olan hidrojen içeriği, sıvı alüminyumda yüksek ise hidrojen çift oksit filmlerinin yüzeyleri arasında birikmektedir. Bu nedenle, yüksek hidrojen içeriği, bifilmelerin açılmasına (çözülmesine) ve daha büyük gözenekler oluşturmaya neden olmaktadır. Hidrojen, yalnızca gözenek oluşumuna katkıda bulunmaktadır, ancak ana kaynak olarak kabul edilmemektedir [11-14].

Porozite oluşumunda ana etken olan bifilm, yüzeyde oluşan oksitlerin türbülans hareketleriyle kırılıp, birbiri üzerinde katlanıp yapı içerisine dahil olmaları ile oluşmaktadır. İndirgenmiş basınç altında katlanmış oksit tabakaları arasındaki hava genişleyip bifilmelerin açılmasını sağlamaktadır [15]. Oluşan bu yapılar bir çatlak gibi görev görerek malzemenin mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkilemektedirler. Metalde bifilmelerin varlığı, sünekliliği ve yorulmayı büyük ölçüde azaltmaya çalışmak gibi sonuçlara sahip olabilmektedir [16,17]. Bifilmelerin oluşumu ve alaşım kalitesi üzerindeki etkisi kalıp sıcaklığı, döküm sıcaklığı, soğuma hızları, tane boyutu, kalıp tasarımı, besleme ve yolluk sistemlerinin uygunluğu ve alaşım elementi ilavesi gibi farklı parametrelere bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bifilmelerin kontrolünü sağlamak, sayılarını ve büyüklüğünü tayin etmek amacıyla Campbell ve Dispinar tarafından geliştirilen Bifilm İndeks yöntemi kullanılmaktadır [18-20]. Bu yöntemde Bifilm İndeks değerleriyle sıvı metalin kalitesini sayısal olarak belirleyebilmek amacı ile vakum altında katılaştırma testi (RPT) kullanılmaktadır [21]. Fakat elde edilen değer ile döküm kalitesi arasında her zaman ilişki kurulamamaktadır. Bu durum her alaşımın farklı katılaşma karakteristiğine sahip olmasından dolayı farklı por morfolojisine sahip olmasından kaynaklanmaktadır [22].

Alaşıma göre farklılık gösteren bifilm indeks değerleri üzerinde kullanılan kalıbında etkisi büyüktür. Kokil kalıba dökümü gerçekleştirilen alaşımların bifilm değerlerinin kum kalıba dökümü gerçekleştirilen alaşımların bifilm değerlerinden daha az olması beklenmektedir. Bifilm indeks değerini etkileyen bir diğer önemli parametre soğuma hızı olarak bilinmektedir. Uludağ ve Gemi [23] yaptıkları çalışmada, farklı soğuma hızlarında poroziteleri inceleyip, soğuma hızı arttıkça ortalama porozite çapının tutma süresine bağlı olarak azaldığını göstermektedirler. Tane boyutunu, ikinci dendrit kolları arası mesafeyi, porozite miktarı ve dağılımını, artan soğuma hızı ciddi bir şekilde etkilemektedir.

Porozite miktarını önemli derecede etkileyen çözünmüş hidrojen içeriği ergimiş alaşımda olabildiğince düşük tutulmalıdır. Bu amaçla, gaz giderme işlemi en etkili yöntem olarak bilinmektedir. Gaz giderme işlemi uygulanan ve uygulanmayan numuneler karşılaştırıldığı zaman gaz giderme işlemi uygulanan numunede bifilm oluşumunda azalma görülmektedir [24,25].

Bu çalışmada, A380 alüminyum alaşımının dökümünden elde edilen numunelere yoğunluk ve bifilm indeks ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Farklı kesitlerden elde edilen görüntüler ile numunede dıştan içe doğru bifilm değişimi incelenmiştir. Böylece bifilm indeks değerlerinin döküm parçasının tamamını ne derece temsil ettiği araştırılıp yoğunluk indeks değerleri ile karşılaştırılması da yapılmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Çizelge 1'de çalışmada kullanılan A380 alüminyum alaşımının kimyasal bileşim aralıkları görülmektedir.

A380	
Si	7,5- 9,00
Cu	3,0- 4,0
Mg	0,30
Fe	1,00
Zn	1,0
Ti	0,25
Mn	0,50
Al	Kalan

Çizelge 1: A380 alaşımının kimyasal kompozisyonu

Ergitme işlemine tabi tutulan A380 alüminyum alaşımının RPT test cihazına ait kokil kalıba dökümü gerçekleştirilmiştir. Alaşımdan gaz giderme öncesi ve sonrası olmak üzere 4 defa döküm numunesi alınmıştır. Gaz giderme işlemi argon gazı ile 7 ve 10 dakika olmak üzere farklı sürelerde ve 170 devir/dakika, 0,25 bar basınç şartları altında gerçekleştirilmiştir. Katılaşma sonrasında elde edilen numuneler öncelikle yoğunluk indeks hesaplamasına tabi tutulmuştur. Daha sonra dökümlerin bifilm indeks hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Yoğunluk indeksi hesaplaması sonrasında numuneler tomografi yöntemi ile incelenmiştir. Numuneler üzerinde freze cihazı ile 0,5 mm aralıklarla talaş kaldırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Böylece numunelerin % 50'sinde talaş kaldırma işlemi yapılmıştır. Her 0,5 mm aralıkta numunenin kesit görüntüsü alınarak bilgisayar ortamına aktarılmıştır. İlk talaş kaldırma işlemi yüzey temizliği olarak kabul göreceğinden toplamda 9 farklı kesit görüntüsü elde edilmiştir. 9. kesit görüntüsü numunenin tam ortasına denk gelmektedir, şu ana kadar kullanılan bifilm indeks hesaplamalarında kullanılan kesit olduğu anlaşılmaktadır. Elde edilen tüm bu yüzeylerde ayrı ayrı bifilm indeks hesaplaması yapılarak numune üzerinde dıştan içeri doğru bifilm indeks değerlerinin nasıl değiştiği araştırılmıştır. RPT kalıbından alınan numunelerin enine kesitlerinden elde edilen görüntüler görüntü analiz programı kullanılarak incelenmiştir. Programdan elde edilecek veriler yardımıyla bifilm indeks değerleri hesaplanmıştır. Son olarak Minitab istatistiksel analiz programı kullanılarak veriler istatistiksel olarak incelenmiştir.

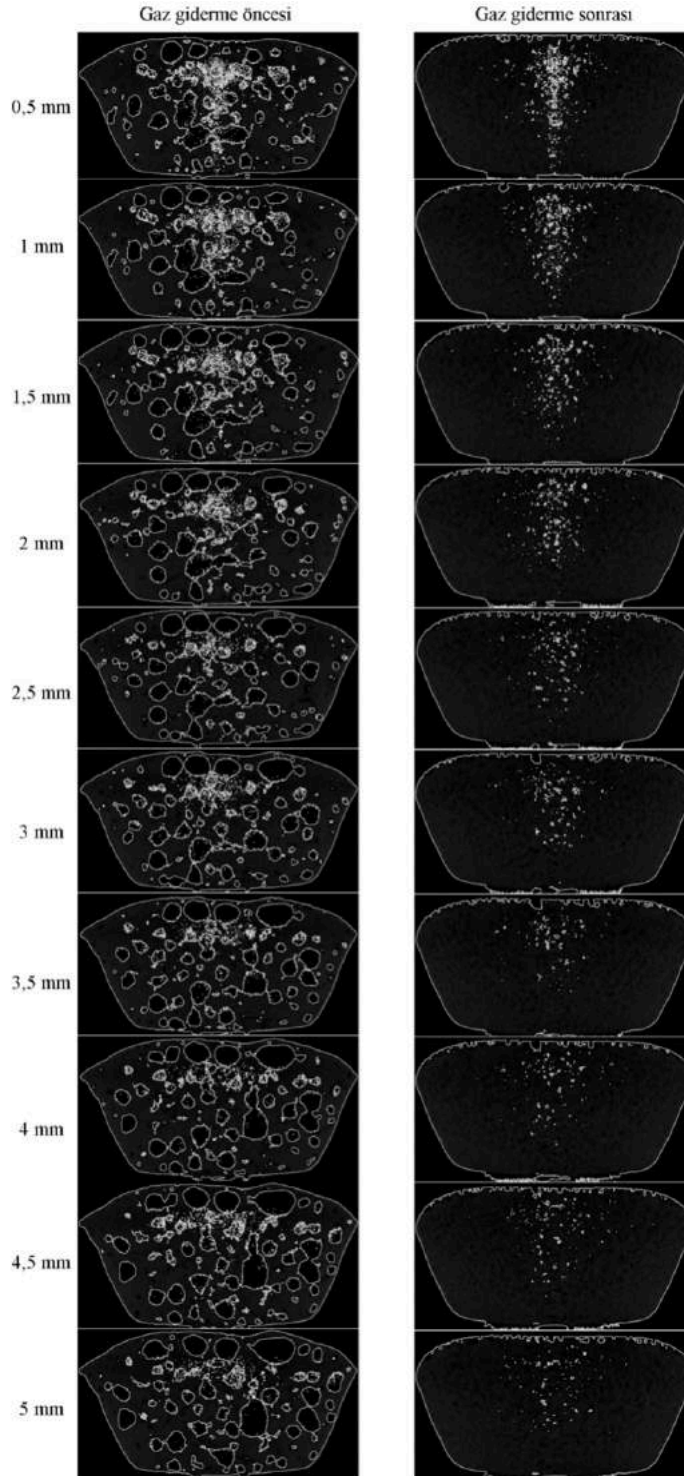
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Numune	Süre (dk)	Gaz Giderme Öncesi Yoğunluk (g/cm ³)	Gaz Giderme Sonrası Yoğunluk (g/cm ³)	Gaz Giderme Öncesi Alaşımın İçerdiği % Porozite	Gaz Giderme Sonrası Alaşımın İçerdiği % Porozite
1. Döküm	10	1,975	2,42	28,18	12
2. Döküm	7	1,77	2,32	35,64	15,64
3. Döküm	10	2,02	2,52	26,55	8,36
4. Döküm	10	1,96	2,5	28,73	9,09

Çizelge 2: Farklı döküm parametrelerinde gaz giderme işlemi öncesi ve sonrası elde edilen yoğunluk değerleri

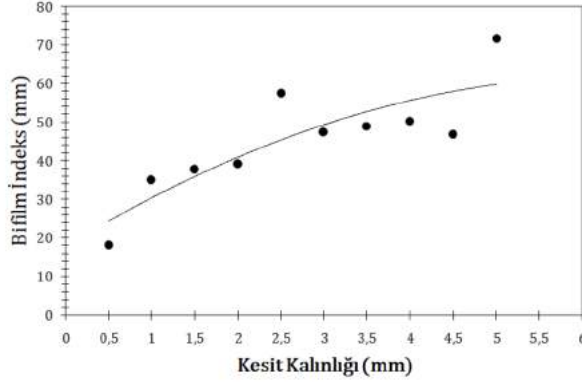
Çizelge 2’de Arşimet hesabına göre elde edilen porozite ölçüm sonuçları verilmektedir. Sonuçlara bakıldığında gaz giderme işlemi yapılan dökümlerin porozite oranların çok daha düşük olduğu görülmüştür.

Gerçekleştirilen 4 döküm sonucunda elde edilen yoğunluk değerleri tabloda verilmektedir. Tablodaki değerler incelendiğinde gaz giderme işleminin yoğunluk değerlerinin yükselmesinde büyük rol oynadığı görülmektedir. Gaz giderme süresinin 10 dk olmasının daha iyi sonuçlar elde etmeye fayda sağlayacağını söylemek mümkündür. Gaz giderme sonrası en yüksek yoğunluk değeri 3. Dökümde elde edilmiştir. Dökümlere uygulanan gaz giderme işleminin dökümde var olan porozite miktarında büyük ölçüde düşüşe neden olduğu söylenebilmektedir. Bu durumun dökümün güvenilirliğini arttırdığını söylemek mümkündür.



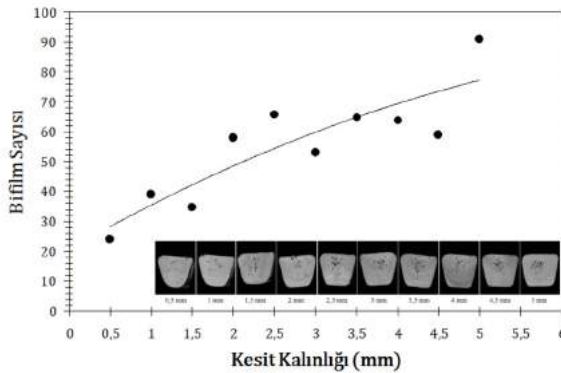
Şekil 1: Tomografi cihazı ile elde edilen farklı kesitlerden elde edilen gaz giderme öncesi ve sonrası numune görüntüleri

Tomografi incelemesi sonucunda elde edilen görüntüler Şekil 1'de verilmiştir. Gaz giderme öncesi ve sonrası görüntüler incelendiğinde gaz giderme işleminin numunede mevcut olan porozite miktarında ciddi bir düşüş sağladığını söylemek mümkündür. Ayrıca gaz giderme öncesinde numunede porozitelerin her yerde olduğunu söyleyebiliriz, ancak gaz giderme işlemi sonrasında poroziteler numunenin orta kısmında ve daha küçüktür. Gaz giderme öncesi için kesit kalınlığının artması ile birlikte yani numunenin ortasına ilerledikçe porozitelerin büyüdüğü görülmektedir ve küresellik artmaktadır. Buna ek olarak porozite sayısı artış göstermektedir. Gaz giderme sonrası için inceleme yapıldığında, hava kabarcıklarının oluştuğu söylenebilmektedir. Poroziteler yukarı doğru çıkarak numune yüzeyine ulaşmaktadır. Porozite yoğunluğunun numunenin orta noktasına doğru gidildikçe azaldığı görülmektedir. Buna ek olarak porozite boyutlarının küçüldüğü de söylenebilmektedir.



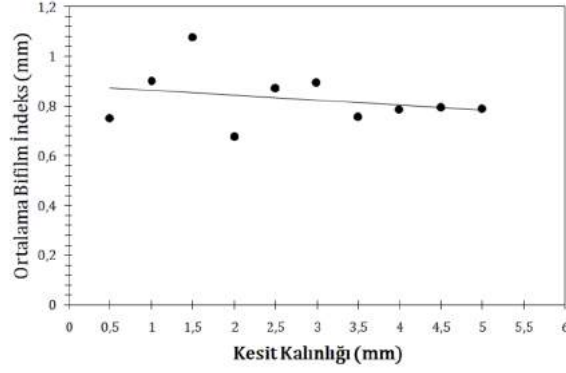
Şekil 2 : Kesit kalınlığı ile bifilm indeks değerleri arasındaki ilişki

Bifilm indeksi numune kesitlerinde gözlemlenen porozitelerin uzunluk toplamalarının hesaplanması ile elde edilen değere verilen isimdir. Birimi milimetre cinsinden olan bu kalite indeksi ile toplam oksit uzunluğu elde edilmektedir. Bu sayede sıvı metal kalitesi hakkında bilgi edinilebilmektedir [26]. Şekil 2'de bifilm indeks uzunluğunun kesit kalınlığına göre değişimi verilmiştir. Numunenin orta kısmına ilerledikçe yani kesit kalınlığı arttıkça bifilm indeks uzunluk değerlerinde dalgalanma söz konusudur. 2,5 kesit kalınlığına kadar bir artış gözlenmektedir. Ancak 3 mm kesit kalınlığında ani bir düşüş kaydedilmiştir. Değerlerde azalma 4,5 mm kesit kalınlığına kadar devam etmiştir. 5 mm kesit kalınlığında yani numunenin orta kısmında en yüksek değer elde edilmiştir. En yüksek bifilm indeks değeri 71,651 mm ve en düşük bifilm indeks değeri 17,995 mm olarak kaydedilmiştir. En düşük uzunluk 0,5 mm kesitte en büyük uzunluk ise 5 mm kesit kalınlığında elde edilmiştir. Bu durum numunenin içine doğru gidildikçe yani orta noktaya ilerledikçe bifilm uzunluklarının arttığını göstermektedir.



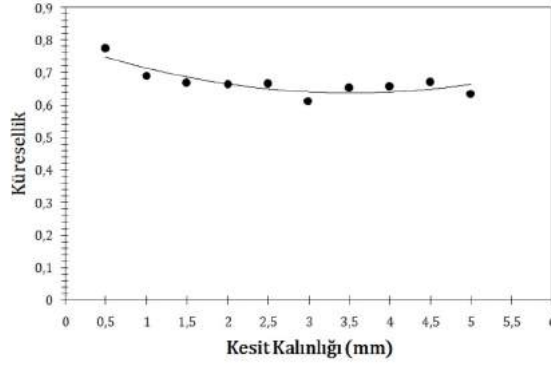
Şekil 3 : Kesit kalınlığı ile bifilm sayısı arasındaki ilişki

Şekil 3'te bifilm sayısının artan kesit kalınlığına göre değişimi verilmiştir. Grafik incelendiğinde, eğilim çizgisine bakarak kesit kalınlığının artması ile birlikte bifilm sayısında da artış olduğu söylenebilmektedir. En düşük bifilm sayısı 0,5 mm kesit kalınlığında kaydedilmişken, en yüksek bifilm sayısı değeri ise 5 mm kesit kalınlığında elde edilmiştir. Bifilm sayısının numunenin orta kısmında daha fazla olduğu görülmektedir. Numunenin dış kısmından iç kısmına doğru ilerledikçe değerlerde dalgalanmalar söz konusu olsa da genel olarak bifilm sayısının artış gösterdiğini söylemek mümkündür. Bu durum grafiğin sağ alt kısmında bulunan görsellerden de tayin edilebilmektedir.



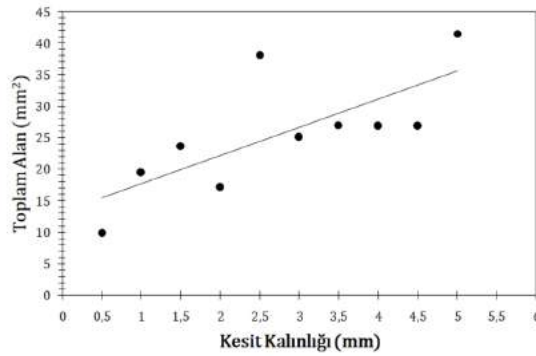
Şekil 4 : Kesit kalınlığı ile ortalama bifilm indeks değerleri arasındaki ilişki

Şekil 4'te ortalama bifilm indeks değerlerinin artan kesit kalınlığı ile birlikte değişimi verilmektedir. Grafik incelendiğinde ortalama bifilm indeks değerlerinin kesit kalınlığının artması ile birlikte azalış gösterdiği söylenebilmektedir. En yüksek değer 1,5 mm kesit kalınlığında, en düşük değer ise 2 mm kesit kalınlığında kaydedilmiştir.



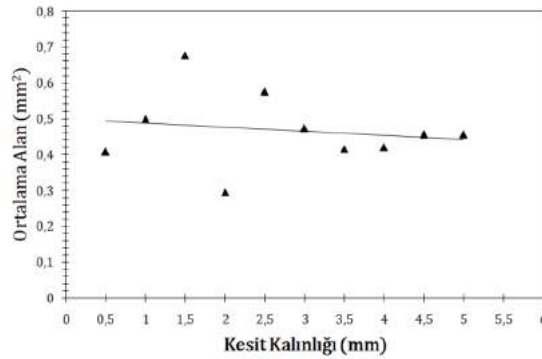
Şekil 5 : Kesit kalınlığı ve küresellik arasındaki ilişki

Şekil 5'te artan küresellik değerlerinin artan kesit kalınlığı ile birlikte değişimi verilmektedir. Küreselliğin 3 mm kesit kalınlığına kadar azalış gösterdiği, 3 mm kesit kalınlığından sonra artışa geçtiğini söylemek mümkündür. En yüksek küresellik değeri 0,5 mm kesit kalınlığında, en düşük küresellik değeri ise 3 mm kesit kalınlığında kaydedilmiştir.



Şekil 6 : Kesit kalınlığı ve toplam alan arasındaki ilişki

Şekil 6'da artan kesit kalınlığı ile birlikte toplam alan değerlerinin değişimi verilmektedir. Eğilim çizgisi incelendiğinde artan kesit kalınlığı ile birlikte toplam alan değerlerinde lineer bir artış olduğu görülmektedir. En düşük değer 0,5 mm kesit kalınlığında 9,811 mm² olarak, en yüksek değer ise 5 mm kesit kalınlığında 41,541 mm² olarak kaydedilmiştir.



Şekil 7 : Kesit kalınlığı ve ortalama alan arasındaki ilişki

Şekil 7'de artan kesit kalınlığı ile birlikte ortalama alan değerlerinin değişimi verilmiştir. Eğilim çizgisi dikkate alındığında, artan kesit kalınlığı ile birlikte ortalama alan değerlerinde düşüş meydana geldiğini söylemek mümkündür. En düşük ortalama alan değeri 2 mm kesit kalınlığında 0,296 mm² olarak belirlenmiştir. En büyük ortalama alan değeri ise 1,5 mm kesit kalınlığında 0,678 mm² olarak kaydedilmiştir.

4. SONUÇLAR

Gaz giderme işleminin gerçekleştirilen analizler sonucunda döküm yoğunluğunu artırıcı yönde etkisinin olduğu belirlenmiştir.

Gaz giderme işlemi sıvı metal kalitesini yükseltici yönde rol oynamaktadır.

Numunenin dıştan içe doğru olan kesitleri incelendiğinde değerlerde genellikle artış meydana geldiği söylenebilmektedir. Numunenin orta kısmında bifilm indeks uzunluğu ve bifilm sayısı en yüksek değerleri almıştır.

Gerçekleştirilen çalışmada farklı kesitlerde farklı bifilm indeks değerleri elde edilmiştir.

5. KAYNAKÇA

- [1] MILLER, W. S., et al. Recent development in aluminium alloys for the automotive industry. Materials Science and Engineering: A, 2000, 280.1: 37-49.
- [2] MATSUDA, Kenji, et al. Aluminum Alloys, Vol 2 627 STRUCTURE OF GP ZONE IN Al-Mg₂Si ALLOYS. In: Aluminum Alloys: Their Physical and Mechanical Properties: Proceedings of the 6th International Conference on Aluminum Alloys, ICAA-6: Toyohashi, Japan, July 5-10, 1998. Japan Institute of Light Metals, 1998. p. 627.
- [3]SCHULTZ, R. A.; HAUPRICHT, W. J. Trends in aluminum use for passenger cars and light trucks in North America. Light metal age, 1999, 57.1-2.
- [4] DAS, S., et al. Synergic effect of reinforcement and heat treatment on the two body abrasive wear of an Al-Si alloy under varying loads and abrasive sizes. Wear, 2008, 264.1-2: 47-59.
- [5] DAVIS, Joseph R., et al. Aluminum and aluminum alloys. ASM international, 1993.
- [6] WANG, Q. G.; APELIAN, D.; LADOS, D. A. Fatigue behavior of A356-T6 aluminum cast alloys. Part I. Effect of casting defects. Journal of light metals, 2001, 1.1: 73-84.
- [7] AMMAR, H. R.; SAMUEL, A. M.; SAMUEL, F. H. Effect of casting imperfections on the fatigue life of 319-F and A356-T6 Al-Si casting alloys. Materials Science and Engineering: A, 2008,

473.1-2: 65-75.

- [8] EL-SAYED, M. A.; HASSANIN, Hany; ESSA, Khamis. Bifilm defects and porosity in Al cast alloys. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2016, 86.5-8: 1173-1179.
- [9] KUBO, Kimio; PEHLKE, Robert D. Mathematical modeling of porosity formation in solidification. *Metallurgical Transactions B*, 1985, 16.2: 359-366.
- [10] AKHTAR, S., et al. Effect of hydrogen content, melt cleanliness and solidification conditions on tensile properties of A356 alloy. *International Journal of Cast Metals Research*, 2009, 22.1-4: 22-25.
- [11] DISPINAR, D.; CAMPBELL, J. Porosity, hydrogen and bifilm content in Al alloy castings. *Materials Science and Engineering: A*, 2011, 528.10-11: 3860-3865.
- [12] DISPINAR, Derya; CAMPBELL, John. Effect of casting conditions on aluminium metal quality. *Journal of materials processing technology*, 2007, 182.1-3: 405-410.
- [13] FARHOODI, Batool; RAISZADEH, Ramin; GHANAATIAN, Mohammad-Hasan. Role of double oxide film defects in the formation of gas porosity in commercial purity and Sr-containing Al alloys. *Journal of Materials Science & Technology*, 2014, 30.2: 154-162.
- [14] DISPINAR, D.; CAMPBELL, J. Critical assessment of reduced pressure test. Part 2: Quantification. *International Journal of Cast Metals Research*, 2004, 17.5: 287-294.
- [15] DISPINAR, D.; CAMPBELL, J. Critical assessment of reduced pressure test. Part 1: Porosity phenomena. *International Journal of Cast Metals Research*, 2004, 17.5: 280-286.
- [16] BOZCHALOEI, Ghasem Eisaabadi, et al. Effect of oxide bifilms on the mechanical properties of cast Al-7Si-0.3 Mg alloy and the roll of runner height after filter on their formation. *Materials Science and Engineering: A*, 2012, 548: 99-105.
- [17] TIRYAKIOĞLU, Murat; CAMPBELL, John; ALEXOPOULOS, Nikolaos D. Quality indices for aluminum alloy castings: A critical review. *Metallurgical and Materials Transactions B*, 2009, 40.6: 802.
- [18] DISPINAR, Derya, et al. Influence of hydrogen content and bi-film index on feeding behaviour of Al-7Si. In: 138th TMS Annual Meeting, Shape Casting: 3rd International Symposium, San Francisco, California, USA, (February 2009). 2009. p. 63-70.
- [19] CAMPBELL, J. Entrainment defects. *Materials science and technology*, 2006, 22.2: 127-145.
- [20] COUPER, M. J.; NEESON, A. E.; GRIFFITHS, J. R. Casting defects and the fatigue behaviour of an aluminium casting alloy. *Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures*, 1990, 13.3: 213-227.
- [21] DISPINAR, D.; CAMPBELL, J. Determination Of Aluminium Casting Quality Using Bifilm Index. In: *Metallurgical and Materials Congress*. 2004.
- [22] ULUDAĞ, Muhammet; ÇETIN, Remzi; DISPINAR, Derya. Freezing Range, Melt Quality, and Hot Tearing in Al-Si Alloys. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 2018, 49.5: 1948- 1961.
- [23] ULUDAĞ, Muhammet; GEMI, Lokman. A356 Alaşımında Sıvı Bekletme Zamanının Porozite Oluşumu Üzerine Etkisi. In: 4th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science (ISITES2016) 3-5 Nov 2016 Alanya/Antalya-Turkey. 2016.
- [24] ULUDAĞ, Muhammet, et al. Characterization of the effect of melt treatments on melt quality in Al-7wt% Si-Mg alloys. *Metals*, 2017, 7.5: 157.
- [25] YORULMAZ, Arda, et al. Effects of Casting Conditions on End Product Defects in Direct Chill Casted Hot Rolling Ingots. In: *Shape Casting: 6th International Symposium*. Springer, Cham, 2016. p. 185-193.
- [26] DISPINAR, D., and CAMPBELL, J., 2009, Alüminyum ve alaşımlarının döküm kalitesinin belirlenmesi, Alüminyum sempozyumu, İstanbul, 394 - 404.

YÜKSEK BASINÇLI DÖKÜMDE DÖKÜM KALİTESİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ İÇİN OPTİMUM DÖKÜM SICAKLIĞININ TESPİT EDİLMESİ

Elif UMay^{1,2}, Zübeyde AdAy², Ümmet AYYILDIZ², Muhammet ULUDAĞ¹

¹ Bursa Technical University, Metallurgical and Materials Engineering, Bursa, Turkey;

² Prometal Hafif Metaller Döküm San., R&D Center, Bursa, Turkey;

ÖZET

Bu çalışmada, AlSi9Cu3 alüminyum alaşımı kullanılarak kokil kalıba farklı döküm sıcaklıklarında dökümler gerçekleştirilmiştir. 618-619-623-634-638-643-650° C'lerinde sıvı metalden RPT numuneleri alınmıştır. Alınan numuneler vakumlu ortamda katılaştırılmıştır. Sonrasında elde edilen numunelere X-Ray cihazı kullanılarak analiz gerçekleştirilmiştir. Bu analizle RPT numunelerindeki boşluklar daha detaylı bir şekilde incelenmiştir. RPT numunelerine uygulanan bir diğer işlem ise bifilm indeksi, bifilm sayısı, toplam bifilm alanı, ortalama bifilm uzunluğu, ortalama bifilm alanı hesaplaması yapılmıştır. Bu hesaplama sayesinde numunelerimizde bulunan döküm boşlukları tayini ve sıvı metal kalitesi tayini gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalar doğrultusunda, Prometal şirketinde kullanılan sıvı metalin kalitesinin hangi sıcaklık değerlerinde optimum olduğu ve gaz giderme prosesinin etkisi ele alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Döküm sıcaklığı, sıvı metal kalitesi, X-Ray, bifilm,

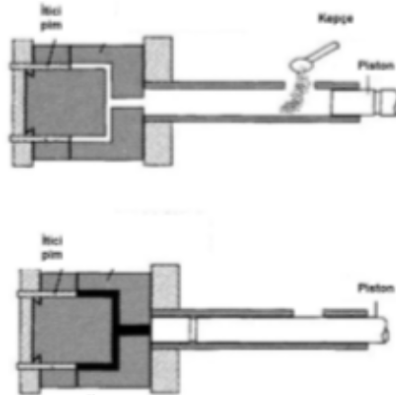
ABSTRACT

In this study, castings were performed in the permanent mold at different casting temperatures using AlSi-9Cu3 aluminum alloy. RPT samples were taken from liquid metal at 618-619-623-634-638-643-650 ° C. The samples taken were solidified under vacuum. Subsequently, the samples obtained were analyzed using an X-Ray device. With this analysis, the holes in the RPT samples were examined in more detail. Another procedure applied to RPT samples was the calculation of bifilm index, number of bifilms, total bifilm area, average bifilm length, and average bifilm area. Thanks to this calculation, the determination of casting voids in our samples and determination of liquid metal quality were carried out. In line with the studies carried out, the temperature values at which the quality of the liquid metal used in the Prometal company is optimum and the effect of the degassing process were discussed.

Keywords: Temperature, liquid metal quality, X-Ray, bifilm,

1. GİRİŞ

Son zamanlarda metal sektöründe demir esaslı malzemelerden sonra en fazla alüminyum metali tercih edilmekte ve kullanılmaktadır. Son dönemlerde gözde malzeme haline gelen alüminyum sahip olduğu düşük yoğunluk, yüksek arttırılabilir mukavemet özelliği, ısı ve elektrik iletkenliklerinin iyi olması, döküm kabiliyetinin yüksek olması ve kolay işlenebilir gibi özellikler alüminyumunu ön plana çıkarmaktadır [1,2]. Bu özellikleri sayesinde alüminyum ve alaşımları otomotiv, savunma sanayisi, havacılık ve inşaat sektöründe sıklıkla yer edinmiştir [3,4]. Sıvı durumda olan alüminyum malzemeler alaşımlandırma işlemine tabii tutularak arzu edilen birçok özellik kazandırılabilir. Özelliklerini iyileştirmek ve daha fazla sektöre hizmet sunabilmek amacıyla çeşitli ilaveler gerçekleştirilmektedir. Bu alaşım elementi takviyelerinin başında silisyum, magnezyum ve bakır gelmektedir [5]. Endüstride kullanılan alüminyum alaşımlarının büyük bir bölümü döküm yöntemi ile üretilmekte iken, yüksek basınçlı döküm yöntemi alüminyum üretiminde kullanılan ve tercih edilen bir diğer üretim yöntemidir. Yüksek basınçlı döküm yöntemi ile üretilen parçaların yüzey kalitesinin iyi olması, karmaşık geometriye sahip olan parçaların kolaylıkla üretilmesi ve seri üretime uygun olması alüminyum alaşımlarının yüksek basınç ile dökülmesinde büyük avantaj yaratmaktadır [6].



Şekil 1: Yüksek basınçlı döküm makinesinin şematik görünümü [7]

Döküm sektöründe kullanılan çoğu metalde olduğu gibi alüminyum alaşımlarında da döküm hataları sıklıkla karşılaşılmaktadır. Çok geniş bir kullanım alanına sahip olan alüminyum sektöründe döküm ile üretim esnasında sıklıkla karşılaşılan hatalar sıcak yırtılma, soğuk birleşme ve yürüme, porozite, döküm boşluklarıdır [8,9]. Bu hatalar kullanım alanını sınırlandırıcı özellikler olarak düşünülmektedir. Alüminyum ve alaşımlarında sıklıkla rastladığımız hata porozite hatalarıdır. Yüksek basınçlı dökümde kullanılan kalıbın hızlı doldurulması ve ergiyik metalin kalıba dolduktan sonra katılaşmasının hızlı olması gibi sebeplerden dolayı parçalarda döküm kusuru olan porozite oluşumu söz konusudur [10]. Yüksek basınçlı dökümde porozite oluşumunun bir diğer önemli sebebi ise ergiyik metalin potaya türbülans oluşturacak şekilde doldurulmasıdır. Yapılan çeşitli işlemlerle birlikte sıvı metal kalitesi arttırılmaya sağlansa da porozite oluşumu kaçınılmaz bir hata olarak nitelendirilebilir. Poroziteler dökümde hiç istenmeyen, döküm kalitesini ve verimliliğini düşüren hata olarak ön plana çıkmaktadır. Poroziteleri tetikleyen unsur olarak 2000'li yıllarda Campbell ve Dışpınar tarafından yeni bir yaklaşım getirilerek porozite oluşumunda ana faktörün bifilm olduğu ileri sürülmüştür [11].

Alüminyum oksijene afinitesi yüksek olduğundan, döküm prosesinde ergitme işlemi sırasında metal ve alaşımların yüzeyinde oksit tabakaları oluşmaktadır. İlk olarak yüzeyde var olan bu oksit tabakaları kırılıp birbiri üzerinde katlanarak sıvı metal içerisine dahil olmaktadır [12]. Bu iki çeşitte sınıflandırılabilir. İngottan gelen oksit yapılarının yapı içerisine yerleşmesiyle

old bifilm oluşurken yzeyde var olan oksit yapılarının yapı içerisine katılmalarıyla young bifilm oluşmaktadır. Bu yapılar oksit tabakaları halinde sıvı metalin içinde yer edinmektedir. Katlanarak bzyymeye devam eden bu amorf almyinum oksit tabakaları yapı içerisine yerleşerek iğnensi bir formda yer edinmektedir. Bu durum ryrnyn mekanik ozelliklerini olumsuz ynde etkilemektedir [13]. Fakat, her durumda ve her şartta aynı bifilm mekanizması oluşumu gzyzlenmemektir. Bununla birlikte her bifilm indeks değerinde de aynı mekanik ozellik elde edilmemektedir. nkyn bifilm oluşumu ve alaşım rzerindeki kalitesi farklı parametrelere bağlı olarak çeşitlilik gzyztermektedir. Bu çeşitlilikteki en onemli etkenler ise, kalıp tasarımı, dkyum sıcaklyęı, kalıp sıcaklyęı, alaşım elementi ilaveleri ve ilave miktarlarıdır [14].

Alaşımın ergitme işlemi esnasında sıvı metalin içerisinde kendine yer edinmeye başlayan bifilm sıvı alaşımın içerisinde mekanik ozellikler olumsuz ynde tetikleyen etkiler yaratmaktadır. Bundan dolayı bu durumu kontrol altına almak ve sıvı metalin kalitesini tayin etmek kaçınılmaz bir son haline gelmektedir. Bunun için hali hazırda vakum altında katılaştırma (RPT) testi kullanılmaktadır. RPT testi sayesinde sıvı metal içerisinde bulunan ve gzyzlenemeyen oksit yapıları vakum altında katılaştırılarak gzyzle gzyzlebilir hale getirilmektedir. Bu uygulamadan yararlanarak, sıvı ergiyiğin bifilm indeks değeri hesaplamasına gidilerek sıvı metal kalitesi tayin edilebilmektedir. Campbell ve Dışpınar gerçekleştirmiş olduğu çalışmalar neticesinde bifilm sayılarını ve bzyykluğyn adına bifilm indeks yntemini geliştirmişlerdir [15]. Vakum altında katılaştırma (RPT) testinden yararlanarak bifilm indeks değeri hesaplamalarına gidilmiştir. Elde edilen formrlzyzyona bağlı olarak saptanan bifilm indeks dağılım aralıklarına gzyre sıvı metal kalitesi tayini sayısal olarak belirlenmekte ve malzemenin mekanik ozellikleri arasında ilişki kurulmaktadır.

$$BI = \sum (\text{por uzunluğu}) \quad [15]$$

Bifilm indeks dağılım aralıklarına gzyre sıvı metal kalitesi tayin edilmektedir [16].

- $0 \leq BI \leq 10$ mm: ykysek kaliteli ergiyik
- $10 \leq BI \leq 25$ mm: iyi kaliteli ergiyik
- $25 \leq BI \leq 50$ mm: orta kaliteli ergiyik
- $50 \leq BI \leq 100$ mm: kabul edilemez ergiyik
- $BI \geq 100$ mm: ktyt kaliteli ergiyik

Dkyum sektzyrnde oksit yapıların oluşumu, bifilm yapısının katlanıp sıvı metal içerisine dahil olması neredeyse kaçınılmazdır. Bundan dolayı, bu yapıları yok etmeye ve sıvı metal içerisindeki oranını azaltmaya ynyelik işlemler gerçekleştirilmektedir. Bu işlemlerden bir tanesi gaz giderme işlemdir. Gerçekleştirilen birçok literatyr çalışmasında gaz giderme ynteminin bifilm rzerindeki etkisine dikkat çekilmiştir.

Bu alışmada, AlSi9Cu3 almyinum alaşımının 3 dakika gaz giderme yapıldıktan sonra 619-650° C sıcaklık aralığında RPT numuneleri elde edilmiştir. Elde edilen RPT numuneleri oncelikli olarak X-Ray testine tabii tutulmuştur. X-Ray analizinden sonra numunelere bifilm indeks değerlerini tespit etmek amacı ile çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bifilm değerleri ile sıvı metallerin kalitesi sayısal olarak saptanmıştır. Bzylece sıvı metal kalitesinin alaşıma ve sıcaklyęa bağlı olarak nasıl değişkenlik gzyzterdiği ve bu deney parametrelerinin aralarında nasıl bir ilişkinin olduğu tayin edilmiştir,

2. DENEYSEL ALIşMALAR

Çizelge 1'de çalışmada kullanılan AlSi9Cu3 alaşımının kimyasal bileşim aralıkları verilmiştir.

AlSi9Cu3	
Al	79.5-89.9
Cu	2-4
Mg	0.05-0.55
Fe(max)	1.3
Pb(max)	0.35
Sn(max)	0.15
Ni(max)	0.55
Zn	1.2
Mn	0.55
Si	8-11
Cr	0.15
Ti	0.25

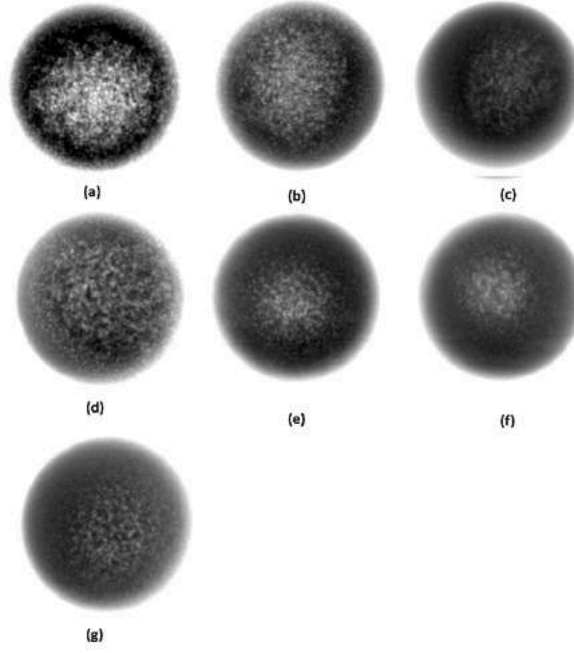
Çizelge 1: AlSi9Cu3 alaşımının kimyasal bileşimi

AlSi9Cu3 alaşımlı döküm numuneleri soğuk kamaralı 400 ton tonajlı enjeksiyon makinesi ile üretilmiştir. Ergiyik metal tutma potasına getirilmeden 3 dakika azot gazı atmosferinde gaz giderme işlemine tabii tutulmuştur. Metal kalitesinin göstergesi olan bifilm indeks hesaplaması için azaltılmış basınç testi (RPT) testi gerçekleştirilmiştir. RPT testinden elde edilen numunelerin elde edildiği döküm sıcaklığı, kodlamaları ve gaz gidermeden geçen süre bilgileri çizelge 2 'de verilmiştir. Hem tutma potasındaki ergiyik metalin hem de o ergiyikten elde edilen döküm parçasının kalitesini belirleyebilmek için yapılan testte ergiyik numuneler 80 mbar vakum altında katılaştırılmıştır. Sıvı metal sıcaklığı 650° C'den başlamak üzere RPT numuneleri elde edilmiştir. Sıcaklık düşüğüyle birlikte RPT numuneleri alınmaya devam edilmiş ve farklı sıcaklıklara sahip RPT numuneleri elde edilmiştir. 615° C'ye kadar RPT numuneleri alınmaya devam edilmiştir. Vakum altında katılaştırılan RPT numuneleri öncelikle X-Ray yöntemi ile incelenmiştir. Tomografide vakum altında katılaştırılan parçaların analizi gerçekleştirilmiştir. Tomografiden gelen parçaların bifilm indeks hesaplaması gerçekleştirilmiştir. Elde edilen tüm numunelerde ayrı ayrı bifilm indeks hesaplaması yapılarak numune üzerinde dıştan içeri doğru bifilm indeks değerlerinin nasıl değiştiği gözlemlenmiştir. RPT numunelerinin yüzeyleri zımparalandıktan sonra enine kesitlerinden elde edilen görüntüler görüntü analiz programı kullanılarak incelenmiştir. Programdan elde edilen veriler neticesinde, bifilm indeks değerleri hesaplanmıştır.

RPT Numunesi Sıcaklığı	Numune Kodu	Gaz Giderme İşleminden Sonra Geçen Süre
650 ° C	1	10 dakika
643 ° C	3	30 dakika
638 ° C	5	40 dakika
634 ° C	8	50 dakika
618 ° C	10	130 dakika
623 ° C	12	260 dakika
619 ° C	15	290 dakika

Çizelge 2: RPT Numunelerinin Sıcaklıkları, Kodlamaları ve Gaz Giderme İşlemi Üzerinden Geçen Süre

3. BULGULAR



Şekil 2 : Farklı sıcaklıktaki RPT numunelerinin X-Ray görüntüleri

Şekil 2'de, RPT cihazına ait kokil kalıba döküm ile katılan numunelerin X-Ray görüntüleri görülmektedir. Şekil 2-a' da görülen numunenin döküm sıcaklığı 650° C dir, belirtilen X-RAY görüntüsü incelendiğinde, porozitelerin (gri olarak görülen yerler) genel olarak parçanın ortasında toplandığı görülmektedir. Buna ek olarak, döküm boşluklarının morfolojilerinin büyüklüğü göze çarpmaktadır. Aynı zamanda, döküm boşluklarının sayısının fazlalığı dikkat çekmektedir. Gaz giderme işleminden 10 dakika sonra alınan numunede gaz giderme olumlu anlamda etki edememiş ve porozitelerin oluşumunu engelleyememiştir.

Şekil 2-b'deki görüntünün döküm sıcaklığı 643°C'dir. Görüntü incelendiğinde, poroziteleri temsil eden gri kürelerin daha çok parçanın ortasında toplandığı, ilk görüntüye nazaran porozitelerin sayılarının azaldığı ve morfolojilerinin küçüldüğü kolaylıkla fark edilmektedir. Bu durum az da olsa bifilm sayılarında ve indekslerinde düşüşe yol açmıştır.

Şekil 2-c'de yer alan numunenin döküm sıcaklığı 638°C'dir. Görüntü analize tabi tutulduğunda, porozitelerin çoğunlukla parçanın orta noktasında kümelenildiği, belirli bir noktada çoğaldığı fark edilmektedir. Şekil 2-b ye nazaran, döküm boşluklarının sayısının azaldığı ve morfolojilerinin küçüldüğü yorumu kolaylıkla görselden yapılmaktadır. Bu görselden yararlanarak sıcaklık azaldıkça sıvı metal kalitesinde artış elde ettiğimizi ifade edebilmekteyiz.

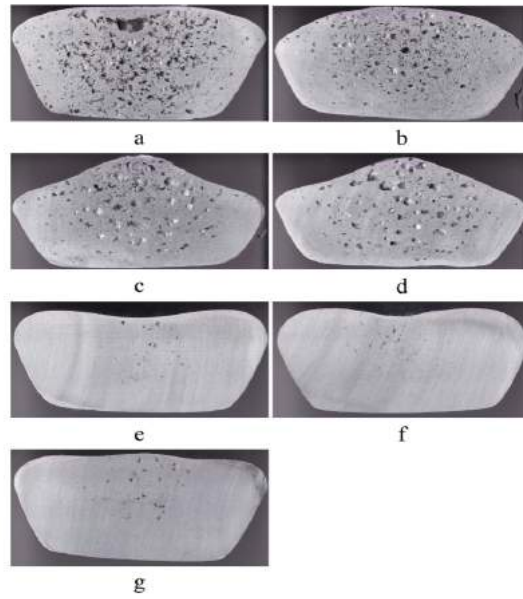
Şekil 2-d'de yer alan numunenin döküm sıcaklığı 634°C'dir. Görüntü analizi gerçekleştirildiğinde, önceden belirli bir noktada kümelenen poroziteler dağılarak homojen dağılım göstermiştir. Bu durum lokal olarak belirli bir noktada toplanmaktansa, porozitelerin homojen dağılması parçada sıvı metal kalitesine olumlu etki yaratacak niteliktedir.

Şekil 2-e'de belirtilen numunenin sıcaklığı 618 °C'dir. Görüntü ele alındığında, diğer görüntülere nazaran poroziteler çok çok küçülmüş ve sadece parçanın orta bölgesinde yer edinmiştir. Bu noktada parçadaki porozitelerin çok çok azaldığı ve gaz gidermenin üstünden zaman ne kadar çok geçerse o kadar efektif sıvı metal elde edileceği ifade edilebilir.

Şekil 2-f'de belirtilen numunenin sıcaklığı 623°C'dir. Görüntü incelendiğinde porozitelerin büyüklüklerinde, miktarlarında ve dağılımında oldukça iyileşme gözlemlenmiştir. Porozitelerin morfolojisi oldukça küçülmüş ve sıvı metal kalitesinin iyileştirildiğine dair kanıtlar nitelikte olmuştur.

Şekil 2-g'de belirtilen numunenin sıcaklığı 619°C'dir. Görüntü incelendiğinde, 623°C sıcaklıkta elde edilen X-Ray görüntüsüne porozitelerin büyüklüklerinde artış gözlemlenmiştir. Porozitelerin dağılımında çok büyük farklılık gözlemlenmez iken sayılarındaki ve büyüklüklerindeki artış göze batmaktadır.

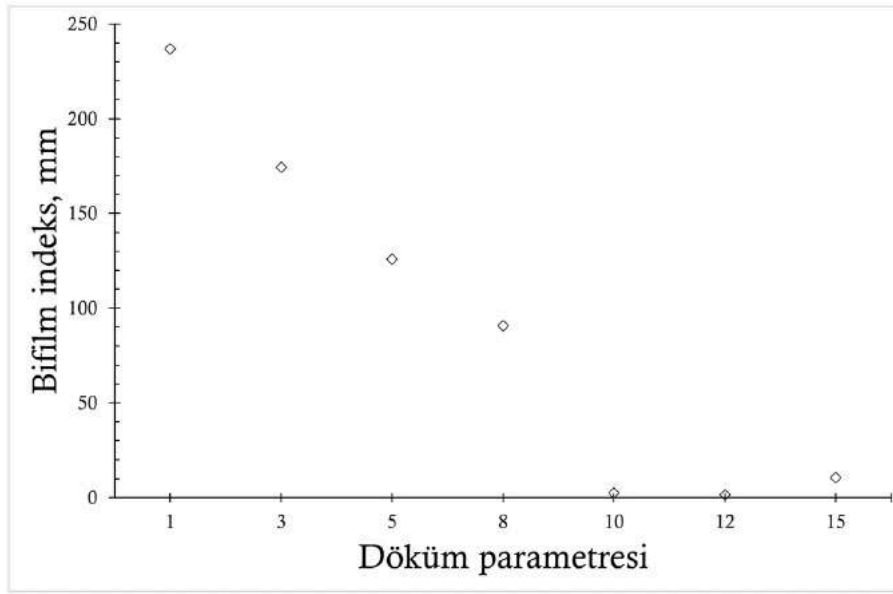
Şekil 2 ile Şekil 3 ilişkilendirildiğinde ise X-Ray ve taranan RPT numunelerindeki birbirine uyum gözler önüne serilmektedir. X-Ray'de gözlemlenen porozitelerin dağılımı, büyüklüğü ve morfolojisi tarama görüntüleriyle eşleşmekte ve yapılan çalışmalar birbirini desteklemektedir.



Şekil 3 : Farklı döküm sıcaklıklarından elde edilen numunelerin RPT görüntüleri

Şekil 3'de farklı döküm sıcaklıklarına sahip yedi numunenin RPT görüntüleri görülmektedir. Şekil 3-a' da görülen görüntüdeki numunenin döküm sıcaklığı 650° C' dir. Şekil incelendiğinde, döküm boşluklarının sayısının fazlalığı dikkat çekmektedir. Buna ek olarak, döküm boşluklarının morfolojisinin büyüklüğü kolaylıkla fark edilmektedir. Şekil 3-b' de yer alan numunenin döküm sıcaklığı 643° C dir. Şekil analize tabi tutulduğunda, döküm boşluklarının sayısının çokluğu dikkat çekmektedir. Buna karşın Şekil 3-a ile bir kıyaslamaya tabi tutulduğunda, döküm boşluklarının sayısının azlığı ve döküm boşluğu morfolojilerinin küçüklüğü kolaylıkla fark edilmektedir. Şekil 3-c görselindeki numunenin döküm sıcaklığı 638 ° C dir. Görsel, Şekil 3-a ve Şekil 3-b ile kıyaslandığında; döküm boşluklarının sayısının azaldığı ve morfolojilerinin daha da büyüdüğü kolaylıkla fark edilmektedir. Şekil 3-d de görülen numunenin döküm sıcaklığı 634° C dir. Bu görsel için bir yorumlama yapmak gerekirse; Şekil 3-c için yapılan yorumun aynısı yapılabilir. Fakat aralarındaki fark şudur; Şekil 3-d deki döküm boşluklarının sayısı, Şekil 3-c ye nazaran daha azdır. Buna istinaden, döküm boşluklarının morfolojilerinde büyümenin olduğu görselden rahatlıkla tayin edilmektedir. Şekil 3-e nin döküm sıcaklığı 618° C dir. Bu şekildeki döküm boşlukları incelendiğinde; porozitelerin morfolojilerinin daha da küçüldüğü ve sayıların daha da azaldığı yorumu

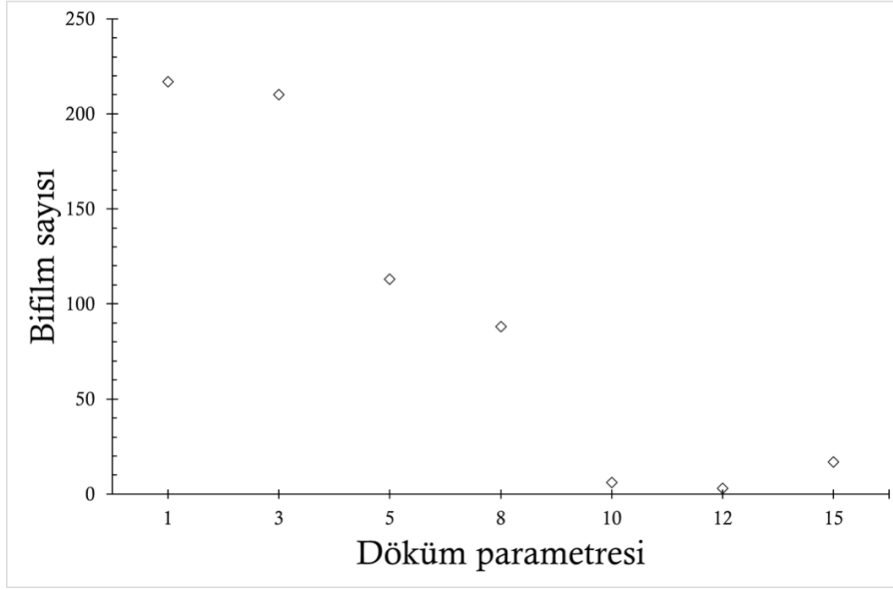
kolaylıkla yapılmaktadır. Şekil 3-f döküm sıcaklığı 623° C dir. Bu şekildeki döküm boşlukları incelendiğinde, sayılarının azlığı ve morfolojilerinin küçüklüğü göze çarpmaktadır. Son şekil incelemeye tabi tutulduğunda, bu şekil içerisindeki porozitelerin sayısının ve porozitelerin alanının Şekil 3-e ve Şekil 3-f ye göre daha da arttığı rahatlıkla fark edilmektedir (numunenin döküm sıcaklığı, 619 C dir). Tüm incelemeler bir arada değerlendirildiğinde genel olarak; döküm sıcaklığında meydana gelen azalma ile nihai ürün içerisinde yer alan döküm boşluklarının sayısında azalmanın meydana geldiği yorumu yapılmaktadır. Buna karşın, en düşük döküm sıcaklığındaki bifilm sayısının, en düşük değeri sergilememesi durumu fark edilmektedir. En düşük bifilm sayısının, 623° C elde edildiği görsellerden fark edilmektedir. Buradan en genel yargı olarak; maksimum sıvı metal kalitesi elde etmek için AlSi9Cu3 alüminyum alaşımının optimum döküm sıcaklığı 623° C olmasının gerekli olduğu yorumu yapılmaktadır.



Şekil 4 : Döküm sıcaklığı ve gaz giderme süresi ile bifilm indeks(mm) arasındaki ilişki

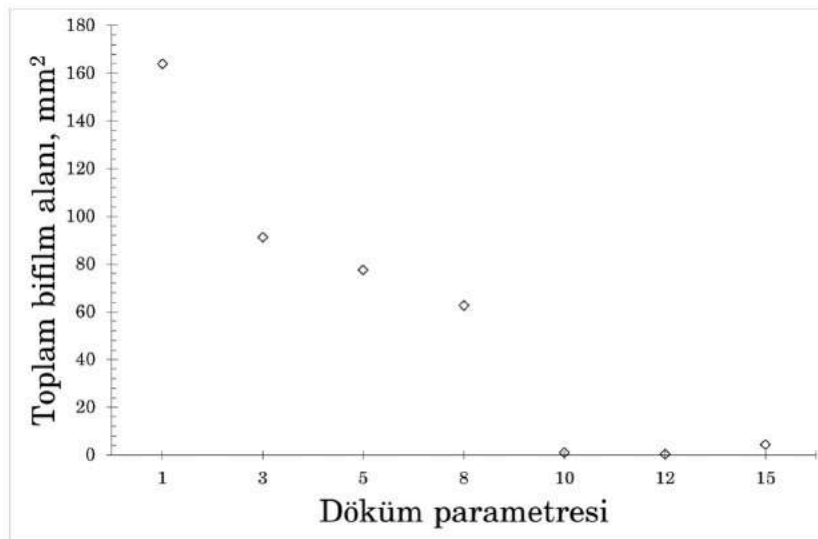
Bifilm indeksi numune kesitlerinde gözlemlenen porozitelerin uzunluk değerlerinin toplamalarının hesaplanması ile elde edilen değerlerdir. Bu indeks ile toplam oksit uzunluğu milimetre cinsinden elde edilmektedir. Şekil 4'de bifilm indeks uzunluğunun döküm sıcaklığına göre değişimi temsil edilmektedir. Şekil 4 incelendiğinde, sıcaklık azalışıyla birlikte bifilm indeks değerlerinde de azalma gerçekleşmiştir. 650 ° C'de bifilm indeksinde maksimum değer elde edilmiştir. Bifilm indeks değerine baktığımızda 650 ° C'de 240 mm değerinde bifilm indeks değeri elde edilmiştir. Bifilm indeks değeri aralığına göre kötü kaliteli ergiyik sınıfına girilmektedir. Azalan sıcaklık ile birlikte bifilm indeks değerleri düşmekte ve kaliteli sıvı metal eldesi artmaktadır. Sıcaklık 643° C'ye düştüğünde bifilm indeks değerinde düşüş gözlemlenmekte ve elde edilen sıvı metal kalitesinde artış sağlanmaktadır. 10 ve 12 numaralı kodlu dökümlerde ise elde edilen bifilm indeks değerleri neredeyse aynı olup 10 numaralı kodlu parçada 6 iken 12 numaralı kodlu parçada 3 değerindedir. Sıvı metal sıcaklığı 619° C'ye düştüğünde ise bifilm indeks değeri tekrardan artış göstermiştir. İndeks aralığı değerine göre elde ettiğimiz bifilm indekslerini değerlendirecek olursak en kaliteli sıvı ergiyik 623° C'de elde edilmiştir. Gaz giderme süresi ile ilişkilendirdiğimizde ise, gaz giderme süresinden 10 dakika sonra elde edilen RPT numunesinden elde edilen bifilm indeksi çok yüksektir. Gaz giderme işleminin bifilm üzerinde pozitif etki etmediği söylenebilmektedir. Buna neden olarak, gaz giderme işlemi, ergiyik metal tutma potasına getirilmeden önce gerçekleştiği için metalin enjeksiyonu sırasında gaz giderme işlemi bifilm hatalarının giderilmesinde efektiflik gösteremeyebilir. Bunun haricinde, gaz giderme

işleminde sonra tutma potasına alınan ergiyik metal, dökümün türbülanslı olmasından kaynaklı olarak metalde bifilm kusuru oluşma ihtimali oldukça artmaktadır. Türbülanslı dökümden kaynaklanan hatalar, yüksek basınçlı dökümde yaygın olarak görülmekte ve bifilm kusurlarına sebebiyet vermektedir.



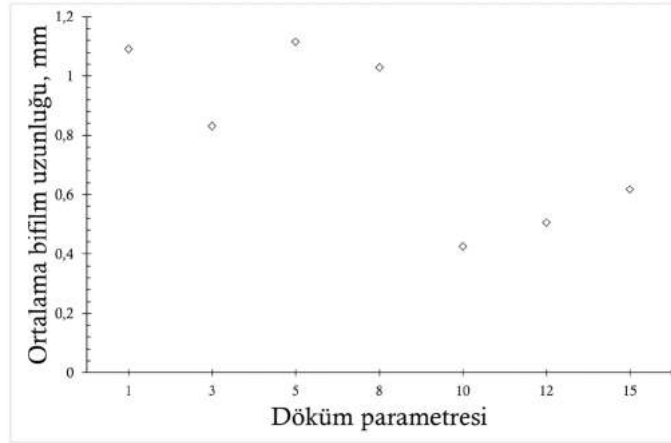
Şekil 5 : Döküm sıcaklığı ile bifilm sayısı arasındaki ilişki

Şekil 5'te bifilm sayısının farklı parametrelerdeki döküm sıcaklığı ile ilişkisi verilmektedir. Şekil detaylı olarak incelendiğinde azalan sıcaklık ile birlikte bifilm sayılarında düşüş gözlemlenmiştir. En yüksek bifilm sayısı 217 bifilm ile 1 numaralı kodlu 650° C sıcaklığa sahip olan numunede elde edilmiştir. Bundan dolayı sıvı metal kalitesinin en düşük olduğu döküm parçasının bu parça olduğu rahatlıkla söylenebilmektedir. Azalan sıcaklık ile birlikte bifilm indeksinde olduğu gibi bifilm sayılarında da azalış görülmektedir. 650° C'den 643° C'ye sıcaklık düştüğünde elde edilen bifilm sayısındaki değişiklik yok denilecek kadar azdır. Azalan sıcaklık değerleriyle birlikte bifilm sayılarındaki azalış göze çarpmaktadır. En düşük bifilm sayısı 3 bifilm içeriğine sahip olan 12 numaralı kodlu 623 ° C olan RPT döküm numunesidir. Elde edilen değerler bifilm indeksinde elde edilen değerlere oldukça yakın olup benzer sonuçlar elde edilmiştir.



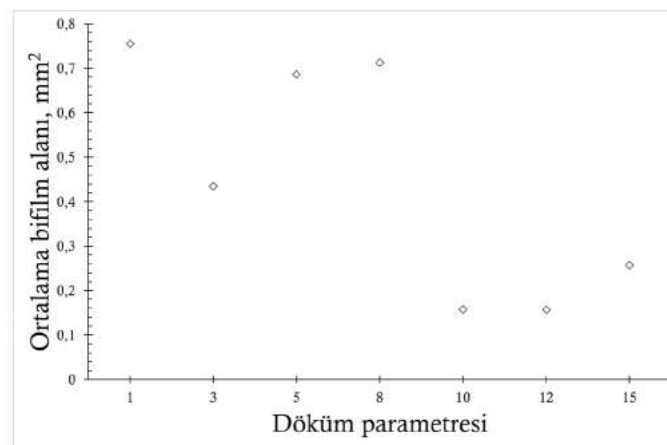
Şekil 6 : Farklı döküm sıcaklıklarına sahip olan numunelerin, toplam bifilm alanı (mm²) arasındaki ilişki

Şekil 6'da numunelerin, toplam bifilm alanı (mm²) ve döküm parametresi arasındaki ilişkinin grafiğini veren grafik görülmektedir. Grafik incelemeye tabi tutulduğunda, 1 olarak (650°C) kodlanan parametrede en yüksek toplam bifilm alanı değeri elde edilmiştir, elde edilen değer yaklaşık olarak, 164 mm² dir. En düşük toplam bifilm alanı değeri ise, 12 olarak (619°C) kodlanan parametrede elde edilmiştir. Grafik için genel bir yorum yapıldığında; döküm sıcaklığındaki azalma meydana geldiğinde toplam bifilm alanı değerlerinde de azalmanın meydana geldiği rahatlıkla grafikten tayin edilmektedir. Buna karşın 12 (623 °C) ve 15 (619 °C) olarak kodlanan parametrelerdeki değerler incelendiğinde, 12 kodlu parametredeki toplam bifilm alanı değeri, 15 olarak kodlanan parametreninkinden daha düşüktür. Grafik ile ilgili özetle şu söylenebilir; maksimum kalite ürün elde etmek için, ASi9Cu3 malzemesi için en uygun döküm sıcaklığı 623 °C'dir.



Şekil 7 : Döküm sıcaklığı ile ortalama bifilm uzunluğu arasındaki ilişki

Şekil 7'de ortalama bifilm indeks değerlerinin değişen sıcaklık parametrelerine göre değişimi verilmektedir. Şekil 7 incelendiğinde, ortalama bifilm uzunluklarının sıcaklığa göre artış ve azalış gösterdiği görülmektedir. Sıcaklık 650° C'den 643° C'ye düştüğünde ortalama bifilm uzunluğu 1.08mm iken 0,84mm'ye düşmüştür. Azalan sıcaklık ile birlikte değerlerde dalgalanmalar gözlemlenmektedir. En yüksek ortalama bifilm uzunluğu 5 numaralı kodlu 638° C olan RPT numune parçasında gözlemlenmiştir. 618° C'den sonra elde edilen RPT numunelerinin ortalama bifilm uzunluklarında artış olmuştur.



Şekil 8 : Döküm sıcaklığı ile ortalama bifilm alanı arasındaki ilişki

Şekil 8'de ortalama bifilm alanı değerlerinin değişen sıcaklık parametrelerine göre değişimi verilmektedir. En yüksek ortalama bifilm alanı 1 numaralı kodlu 650° C RPT numunesinde 0,755101117 mm² değerinde elde edilmiştir. Sıcaklık 643° C'ye düştüğünde ortalama bifilm alanında hızlıca bir düşüş gözlemlenmiştir. Sıcaklık azalmaya devam ettikçe 5 ve 8 numaralı kodlu RPT numunelerinin ortalama bifilm alanı tekrardan yükselişe geçmiştir. En düşük ortalama bifilm alanı 0,156915924 mm² değeri ile 12 numara kodlu 623° C olan numunede elde edilmiştir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada AlSi9Cu3 alaşımının farklı döküm sıcaklıklarındaki sıvı metal kalitesi tayini tespit edilmiştir. 650° C'de sıvı metal kalitesi değerleri çok kötü iken azalan sıcaklıklar ile birlikte sıvı metal kalitesinde artışlar meydana gelmiştir.

Gaz giderme işleminin efektifliği bifilm üzerinde kısa sürede etkili olamamaktadır. Fakat gaz giderme işlemi üzerinden zaman geçtikten sonra ve sıcaklık azalışıyla birlikte bifilm değerlerinde iyileşme gözlemlenmiştir.

Optimum döküm sıcaklığı, elde edilen bifilm indeksi, bifilm sayısı, ortalama bifilm uzunluğu, ortalama bifilm alanı, toplam bifilm alanı ele alındığında; Prometal şirketimizde AlSi9Cu3 alaşımı için optimum döküm sıcaklığı 620-630 ° C aralığında olduğu tespit edilmiştir.

Gaz giderme işlemi yüksek basınçlı dökümde türbülansa sebebiyet verdiği için gaz giderme sonrası az zaman geçen RPT numunelerinde kötü sonuçlar elde edilmiştir.

X-Ray görüntüleri ile tarama görüntülerinin birbirine olan uyumu elde edilen görüntüler ile verilmiştir. 623° C sıcaklık görüntüsünde elde edilen porozitelerin büyüklüğü ve dağılımı en iyi sıcaklığın 623° C olduğunu kanıtlar nitelikte olmuştur.

5. KAYNAKÇA

- [1] U. Demircan, B. Derin ve O. Yücel, *Materials Research Bulletin*, 42 (2007) 312-318.
- [2] A. Turan, F. C. Sahin, G. Goller ve O. Yucel, *Spark Plasma Sintering of TiB₂ Ceramics*, 13th Conference of the European Ceramic Society (ECerS XIII), 23-27 Haziran
- [3] Edwards, K., *Strategic substitution of new materials for old: Applications in automotive product development*, 25 (6): p. 529-533, (2004).
- [4] Kaufman, J.G. and E.L. Rooy, *Aluminum alloy castings: properties, processes, and applications*. ASM International, (2004).
- [5] Brodova, I.G.e., P.S. Popel, and G.I. Eskin, *Liquid metal processing: Applications to aluminum alloy production*. CRC Press, (2014).
- [6] J. Mutwil, *An establish attempt of reasons of machining splinter formation in AC44200 alloy high pressure die castings*, 8 (2008) 159-166.
- [7] C. Poli, *Metal Casting Processes*, in: *Des. Manuf.*, 2001: pp. 115-126.
- [8] Ammar, H., A. Samuel, and F. Samuel, *Effect of casting imperfections on the fatigue life of 319-F and A356-T6 Al-Si casting alloys*, 473 (1-2): p. 65-75, (2008).
- [9] Wang, Q., D. Apelian, and D. Lados, *Fatigue behavior of A356-T6 aluminum cast alloys. Part I. Effect of casting defects*, 1 (1): p. 73-84, (2001).
- [10] G. Timelli, A. Fabrizi, *The Effects of Microstructure Heterogeneities and Casting Defects on the Mechanical Properties of High-Pressure Die-Cast AlSi9Cu3(Fe) Alloys*, *Metall. Mater. Trans. A Phys. Metall. Mater. Sci.* 45 (2014) 5486-5498. doi:10.1007/s11661-014-2515-7.
- [11] Akhtar, S., D. Dispinar, L. Arnberg, and M. Di Sabatino, *Effect of hydrogen content, melt cleanliness and solidification conditions on tensile properties of A356 alloy*, 22 (1-4): p. 22-25, (2009).

- [12] Dispınar, D. and J. Campbell, Critical assessment of reduced pressure test. Part 1: Porosity phenomena, 17 (5): p. 280-286, (2004).
- [13] Tiryakioğlu, M., J. Campbell, and N.D. Alexopoulos, Quality indices for aluminum alloy castings: A critical review, 40 (6): p. 802, (2009).
- [14] Uludağ, M., R. Çetin, and D. Dispınar, Freezing range, melt quality, and hot tearing in Al-Si alloys, 49 (5): p. 1948-1961, (2018).
- [15] Dispınar, D., A. Nordmark, J. Voje, and L. Arnberg. in 138th TMS Annual Meeting, Shape Casting: 3rd International Symposium, San Francisco, California, USA,(February 2009). (2009).
- [16] Uludağ, M., R. Çetin, D. Dispınar, and M. Tiryakioğlu, On the interpretation of melt quality assessment of A356 Aluminum alloy by the reduced pressure test: the Bifilm index and its physical meaning, 12 (4): p. 853-860, (2018).

YÜKSEK BASINÇLI DÖKÜM YÖNTEMİ İLE ELDE EDİLEN EN AC 46000 ALAŞIMININ AŞINMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Gözde ZORMAN*, Sena ERDOĞAN*, Yunus DEMİR**,
Ümmet AYYILDIZ**, Muhammet ULUDAĞ*

**Bursa Technical University, Faculty of Engineering and Natural Science, Metallurgy and Material Engineering 16000, Bursa/Turkey*

ÖZET

Isıl işlem uygulaması ile alüminyum-silisyum alaşımlarının mekanik özelliklerine, istenilen özellikler kazandırılmaktadır. Gerçekleştirilen çalışmada, yüksek basınçlı döküm yöntemi (HPDC) ile elde edilen EN AC 46000 alaşımında T5 ısıl işleminin aşınma davranışı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Optimum ısıl işlem parametresi döküm numunelerinin yarısına uygulanmıştır. Isıl işlem uygulanmayan ve ısıl işleme tabi tutulan numuneler, mekanik özelliğinin tayini amacıyla Brinell sertlik testi gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın son aşamasında, elde edilen tüm numuneler aşınma testine tabi tutulmuştur. Sonuç olarak uygulanan T5 ısıl işlem uygulaması ile malzemenin sertlik, aşınma davranışı ve yüzey pürüzlülük değerlerinde iyileştirmeler sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: EN AC 46000, T5 Isıl İşlemi, Sertlik, Mikroyapı, Aşınma davranışı

ABSTRACT

With the application of heat treatment, the mechanical properties of aluminum-silicon alloys are given the desired properties. In the study, the effect of T5 heat treatment on the wear behavior of EN AC 44000 alloy obtained by high pressure casting method (HPDC) was investigated. The optimum heat treatment parameter was applied to half of the cast samples. Brinell hardness test was carried out in order to determine the mechanical properties of non-heat treated and heat treated samples. At the last stage of the study all samples obtained were subjected to wear test. As a result, the hardness, wear behaviour and surface roughness values of the material were improved with the T5 heat treatment application.

Keywords: EN AC 46000, T5 Heat Treatment, Hardness, Microstructure, Wear Behaviour

1. GİRİŞ

Alüminyum doğada bileşikler halinde bulunan ve yer kabuğunda %8 bulunma yüzdesine sahip hafif metaller arasında yer almaktadır [1]. Alüminyum magnezyum elementinden sonra sahip olduğu düşük yoğunluk ile 2. sırada yer almaktadır. Yüksek elektrik ve ısı iletkenliği, hafiflik, korozyona dayanıklılık, işlenebilirlik ve üretim kolaylığı ile endüstri ve sanayide alüminyum sıklıkla tercih edilmektedir [2]. Alüminyum demir elementine kıyasla üç kat daha hafif olmasına karşın uygun alaşımlandırmalar ile demire yakın mukavemette bir malzemeye dönüşmektedir [3]. Alüminyumun sahip olduğu alaşımlandırılabilirlik özelliği ile alüminyum alaşımları çok yönlü, ekonomik ve ilgi çekici metaller grubuna girmektedir. Alüminyumun alaşımlandırılmasında yüksek mekanik özellikler sağlayan silisyum elementi yaygın olarak kullanılmaktadır. Silisyum(-Si) ilavesi ile alaşıma akıcılık ve kaynak yapılabilirlik gibi özellikler kazandırmaktadır. Alüminyum-silisyum alaşımları ötektik altı, ötektik ve ötektik üstü alaşımlar olmak üzere 3 grupta sınıflandırılmaktadır. Ötektik altı alaşımlar %5-10 arasında silisyum içerirler. Yüksek dayanım ve süneklik gerektiren uygulamalarda tercih edilmektedir. Ötektik alüminyum-silisyum alaşımları %10-13 arasında silisyum içeriğine sahiptir ve yapının geniş bölümü Al-Si ötektik fazından oluşur. Ötektik alüminyum-silisyum alaşımlarının başlıca özellikleri dar katılaşma aralığı, iyi düzeyde akıcılık ve yüksek döküm kabiliyeti ve iyi aşınma dayanımı dayanımına sahip olmasıdır. %15-20 oranında silisyum içeren ötektik üstü alaşımlar yapılarında Al-Si ötektik fazı içerisine gömülü şekilde birincil silisyum fazı bulundurmaktadırlar. Bu alaşımlar üstün aşınma dayanımı özelliği sergilemekle birlikte motor pistonları gibi aşınmaya karşı yüksek direnç gerektiren uygulamalarda tercih edilmektedir [4]. Alüminyum-silisyum (Al-Si) alaşımlarının genel kullanımda yaygın olarak elektrik motor gövde imalatı, motor pistonları ve deniz takımları imalatı gibi birçok alanda kullanılmaktadır [5]. Alüminyum alaşımlarını sınıflandırmada iki ana sınıf bulunmaktadır. Bunlar dövme ve döküm yöntemi ile elde edilen alüminyum alaşımlarıdır. Dökümda alaşımlar kum döküm, basınçlı döküm ve sabit kalıp döküm yöntemleri gibi yöntemler tercih edilerek üretilmektedir [6]. Döküm alaşımları ileri fiziksel özelliklere sahiptir ve işlenebilirlik kabiliyetleri yüksek alaşımlardır. Bunun yanı sıra mukavemet ve korozyon direnci özellikleri de iyidir [7]. Otomotiv sektöründe döküm yöntemi ile elde edilen alüminyum alaşımları geniş kullanıma sahiptir. Bazı otomotiv parçalarında alüminyum, aynı kalınlıkta çeliğin yerini alabilmektedir. Bu sayede ağırlıktan %65 oranında bir kazanç sağlanmaktadır [8]. Döküm alüminyum alaşım miktarı tüm kullanılan alüminyum miktarının %80 gibi geniş bir kısmını kapsamaktadır. En gözde alaşımlar A380,A319,A350 alaşımlarıdır [3].

Metal grubu malzemelerde istenilen mikroyapı ve mekanik özelliklerin elde edilmesi uygulanan ısı işlemler ile sağlanabilmektedir [8]. Isıl işlem metallerin ve alaşımların mekanik özelliklerini geliştirmek amacıyla uygulanan ısıtma-soğutma işlemleridir. [9]. Mekanik işlemler ve ısı işlemlerin alüminyum alaşımlarına şekil vermek amacıyla birlikte uygulanabilmektedir. Bu durum alaşımın temper durumunu belirlemektedir. Alüminyum alaşımlarında F,W, O, T ve H olmak üzere beş temel temper grubu bulunmaktadır. Temper grubunda "T" ısı işlem yapılabilen alüminyum alaşımlarına uygulanan yaşlandırma ısı işlemi tanımlanmaktadır. T harfinden sonra temper çeşidini gösteren rakamlar gelerek adlandırılmaktadır. [10-11]. "T5" yüksek sıcaklıktaki şekillendirme işleminden sonra soğutma ve yapay yaşlandırma işlemlerine tabi tutulduğu anlamına gelmektedir. T5 ısı işlemi ile birlikte küresel Si tane yapısı oluşmaktadır. Bu durum mekanik özellikleri iyileştirmektedir [12]. Ekstrüzyon veya döküm gibi yüksek sıcaklıkta şekillendirme işlemi sonrasında soğuk işlem uygulanmaz. Boyutsal kararlılık ve mekanik özellikler çökeltme ısı işlemi ile iyileştirilmektedir [13].

Malzemenin önemli mekanik özelliklerinden biri aşınma davranışıdır. Aşınma, makine elemanlarının birlikte çalışma sonucu meydana getirdiği bir yüzey hatasıdır. Farklı endüstriyel sektörlerde karşılaşılan önemli sorunlar içerisinde yer almaktadır [14]. Endüstriyel amaçlı çeşitli uygulama alanlarında alüminyum alaşımlarından üretilen parçalar, farklı yükler altında ve sıcaklıklarda

önemli ölçüde aşınma şartlarında görev yapmaktadır. Oluşturulan sistemlerin verimliliklerinin azalmasına sebebiyet vermektedir. Bundan dolayı aşınma direnci alüminyum alaşımlarında istenilen bir özelliktir ve bu alaşımlardan üretilen parçaların servis ömrünü artırmak için gereklidir. Alüminyum alaşımlarının mekanik özelliklerini ve aşınma direncini etkileyen en önemli parametreler ise tane boyutu ve yapısı, inklüzyonlar, çökelti, intermetalik fazlar ve yapıda oluşan boşluk miktarıdır [15-16]. Meydana gelen bu parametreler aşınma sırasında uygulanan yük, hız ve çevre şartlarının etkisi ile ilişkilidir [16].

Malzemenin mekanik özellikleri, tane boyutu ve şekli, intermetalik fazların oluşumu ve oluşan fazların boyut ve dağılımları gibi meydana gelen etkenler mikro yapısal faktörler ile iyileştirilmektedir. Alüminyum alaşımlarına bakır, silisyum ve magnezyum gibi farklı alaşım elementleri ilavesi ve uygun parametrelerde ısıtma işlemi ile dayanımları arttırılabilmektedir [17-18]. Al-Si ötektik alaşımlarına ilave edilen Cu ve Fe elementlerinin ilave miktarları ile ilişkili olarak katılma ve ısıtma işlemi ile Cu ve Fe elementi miktarınca zengin fazlar meydana getirmektedir. Katılma sırasında oluşan demir içerikli intermetalikler plaka yapısına benzer şekillere sahiptir. Bakır içerikli çökelti ise - alüminyum dendritleri tane sınırlarında küresel formlarda meydana gelmektedir. Alaşımın yapısında değişen morfolojilerde oluşan bu fazlar, maksimum çekme mukavemeti ve yüzde uzama değerlerinde iyileşme meydana getirmektedir [17-19].

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

Çizelge 1’de deneysel çalışmada kullanılan EN AC 46000 alüminyum alaşımının kimyasal bileşimi verilmektedir.

Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Pb	Sn	Ti
2.0-4.0	0.55	0.15-0.5 5	0.15	0.55	1.20	0.35	0.15	0.2

Çizelge 1: EN AC 46000 alüminyum alaşımının kimyasal kompozisyonu

PROMETAL firmasında bulunan potalar içerisinde belirtilen alüminyum alaşımı ergitme işlemine tabi tutulmuştur. Ergitme işlemi tamamlandıktan sonra Ar gazının kullanılmasıyla sıvı ergitme gaz giderme işlemi, 20 dakika boyunca uygulanmıştır. Bu işlem tamamlandıktan sonra firma içerisinde yer alan sıcak kamaralı 300 ton hacme sahip döküm cihazının kullanılmasıyla (HPDC yöntemiyle) döküm işlemi gerçekleştirilmiştir. Dökümler, ikincil operasyonlara (Sırasıyla; Yolluk Kırma, Zımparalama, Çapak Alma ve Kumlama) tabi tutulmuştur. Ardından döküm parçalarından birine, 180°C’ye getirilmiş fırında 4.5 Saat T5 ısıtma işlemi uygulanmıştır. Isıtma işlemi uygulandıktan sonra, ısıtma işlemi uygulanmış ve ısıtma işlemi uygulanmamış dökümler kesim işlemine tabi tutulmuştur. Kesim işlemiyle her iki döküm ürününden; bir tane mikroyapı analizi-sertlik testi için numune ve bir tane de aşınma- yüzey pürüzlülük testi için numune alınmaları gerçekleştirilmiştir. Aşınma testi ve yüzey pürüzlülük ölçümü için alınan iki numunenin aşınma öncesi yüzey pürüzlülük ölçümleri firmamız içerisinde yapılmıştır. Toplam dört numunenin; mikroyapı analizi, sertlik ve aşınma testleri BTÜ’nde (Bursa Teknik Üniversitesi) gerçekleştirilmiştir. Mikroyapı analizleri gerçekleştirilmeden önce, her iki numunede metallografik işlemlere tabi tutulmuştur. Sırasıyla gerçekleştirilen metallografik işlemler şu şekildedir: İlk olarak; 500, 800, 1200 ve 2400 grid zımparaların kullanılmasıyla zımparalama işlemi gerçekleştirilmiştir. Sonrasında 1 mikron ve 6 mikron elmas solüsyonu ile birlikte etil alkolün kullanılmasıyla parlatma işlemi yapılmıştır. Ardından numuneler, saf su ve alkol ile temizlenmiştir. Temizleme işlemi sonrasında, NİKON marka mikroskopun kullanılmasıyla numunelerin farklı büyütme ölçeklerindeki görüntüleri tayin edilmiştir. Görüntü analizi sonrasında aynı numunelerin sertlik değerleri, Brinell sertlik testinin uygulan-

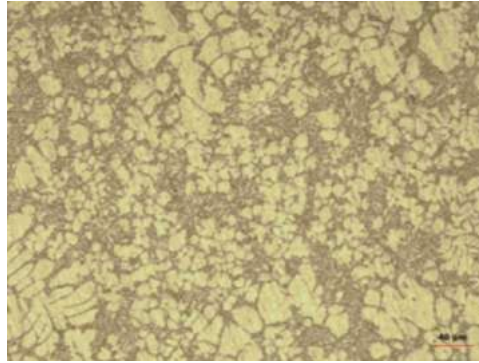
masıyla ölçülmüştür. Sonrasında aşınma testi için alınan numuneler, Bruker marka aşınma testi cihazının kullanılmasıyla 3N yük ve 20 m alınan yol parametreleri altında kuru ortam içerisinde aşınma testine tabi tutulmuştur. Aşınma testinin tamamlanması sonrasında, iki aşınma testi numunesinin; kütle kaybı, aşınma oranı ve hacim kaybı değerleri matematiksel formülizasyonların kullanılmasıyla tayin edilmiştir.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

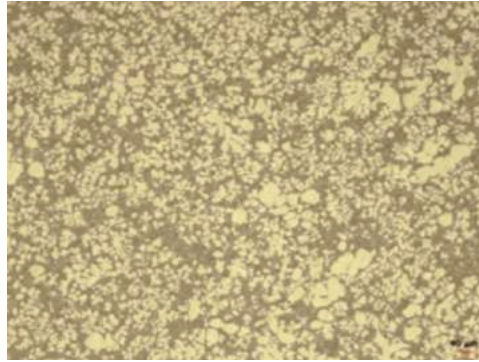
Çalışmada EN AC 46000 alaşımına gerçekleştirilen deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçlar sırasıyla mikroyapı sonuçları, sertlik sonuçları, aşınma sonuçları ve yüzey pürüzlülük test sonuçları şeklinde paylaşılmıştır.

3.1. Mikroyapı Sonuçları

Çalışmada elde edilen ısıtılma işlem uygulanmamış ve T5 ısıtılma işlem uygulanan numunelerin mikroyapı görüntüleri sırasıyla Şekil 1 ve Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 1 : Isıtılma işlem uygulanmamış numunenin mikroyapı görüntüsü



Şekil 2 : T5 ısıtılma işlemi uygulanmış numunenin mikroyapı görüntüsü

Şekil 1 incelendiğinde, Silisyumun (Si) yapı içerisinde iğnemsisi ve kaba bir morfolojide olduğu kolaylıkla görselden tayin edilmektedir. Silisyum yapı içerisinde iğnemsisi bir morfolojide katılaştığı vakit, malzemenin mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkilemektedir.

Şekil 2 analize tabi tutulduğunda, ısıtılma işlem öncesi iğnemsisi yapıda olan silis tanelerinin, ısıtılma işlem sonrasında küresel bir görünüme kavuştuğu rahatlıkla fark edilmektedir. Aynı zamanda, uygulanan ısıtılma işlem sayesinde, Si partiküllerinin modifiye edilerek iğnemsisi yapılarının küçük partiküller şeklinde parçalandığı tayin edilmektedir.

Sonuç olarak, kaba olan Si yapılarında, küçülmenin ve daha önceden de belirtildiği gibi küreselleşmenin meydana geldiği rahatlıkla ifade edilmektedir.

Bilinmektedir, uygulanan ısıtılma işlem sayesinde mikroyapı da meydana gelen değişiklikler nihai

ürünün mekanik özelliklerini etkilemektedir. T5 ısıt işlemleri ile sağlanan küresel Si yapısı, malzemenin mekanik özelliklerinin iyileşmesini sağlamaktadır [1].

3.2. Sertlik Test Sonuçları

Çizelge 2’de T5 ısıt işlemleri uygulanmış ve uygulanmamış numunelere gerçekleştirilen birden fazla Brinell sertlik test ölçüm değerleri görülmektedir. Deneysel çalışmalar sonucu gerçekleştirilen ölçümlerin ortalaması ve standart sapmaları da paylaşılmıştır.

Sertlik Ölçümleri (HB)	T5 Isıl İşlemleri	Isıl İşlemsiz
1.Ölçüm	73	59.4
2.Ölçüm	67	62
3.Ölçüm	66	63
4.Ölçüm	75.6	57
5.Ölçüm	77	66
Ölçümlerin Ortalaması	70.75	62
Ölçülerin Standart Sapması	5.188	3.742

Çizelge 2 : T5 ısıt işlemleri uygulanmış ve uygulanmamış numunelerin sertlik değerleri

Çizelgeden de anlaşılacağı gibi, her iki numuneden de yedişer ölçüm alınmıştır. Ölçümler analize tabi tutulduğunda, genellikle T5 ısıt işlemleri numunelerden elde edilen ölçümler, ısıt işlemsiz numunelerden elde edilen değerlerden daha yüksek çıkmaktadır. Buna ek olarak, ölçümlerin ortalama değerleri incelendiğinde, T5 ısıt işlemleri numunenin sertlik değeri:70.75 HB olarak hesaplanırken; ısıt işlemsiz numunenin ortalama sertlik değeri:62 HB olarak hesaplanmıştır. Standart sapma değerleri incelendiğinde; ısıt işlemleri numuneye ait değer 5.188 olarak hesaplanırken, ısıt işlemsiz numuneye ait değer 3.742 olarak hesaplanmaktadır. ısıt işlemleri numuneye ait en yüksek brinell sertlik değeri 77 HB iken, ısıt işlemsiz numuneye ait en yüksek sertlik değeri 66 HB dir. En düşük sertlik değerleri incelendiğinde, ısıt işlemleri numuneye ait değer 66 HB dir, ısıt işlemsiz numuneye ait değer ise 57 HB dir. Genel olarak ısıt işlemleri ve ısıt işlemsiz numunelerin sertlik değerleri incelendiğinde, değerlerde dalgalanmalar mevcuttur. Bunun yorumu ise şu şekilde yapılabilir; yapı içerisinde yer alan silislerin homojensizliği nedeniyle yapının farklı bölgelerinde elde edilen mekanik özelliklerin farklılaşması. Sonuç olarak, ısıt işlemleri numunenin sertlik değerlerinin yüksek olmasının kaynağı; ısıt işlemleri ile modifiye olan Si yapısıdır. İğnemsiz yapıdan küresel yapıya dönüşen Si partikülleri nihai ürünün mekanik özelliklerini arttırmaktadır.

3.3. Yüzey Pürüzlülük Test Sonuçları

Yüzey pürüzlülük testi sonucunda EN AC 44000 döküm numunesinin Ra,Rz ve Rmax parametrelerinde iki farklı parametrede elde edilen sonuçları Çizelge 3’de paylaşılmıştır.

Parametreler	Isıl İşlemsiz	Isıl İşlemlili
Ra	0.822 μm	0.727 μm
Rz	3.960 μm	3.710 μm
Rmax	4.734 μm	5.742 μm

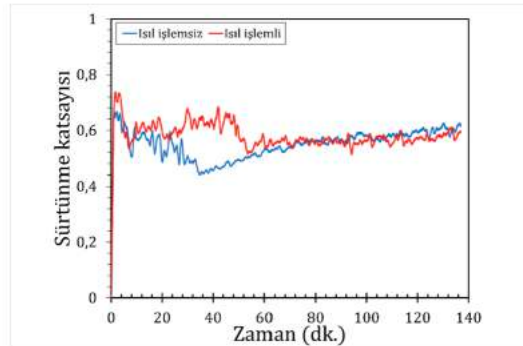
Çizelge 3 : Isıl işlemsiz ve ısıl işlemlili numunelerin Ra,Rz ve Rmax değerleri

Yüzey pürüzlülük parametrelerinden Ra ifadesi yüzey pürüzlülük ölçümlerinde aritmetik ortalama sapması değerini temsil etmektedir. Isıl işlem uygulanmayan döküm numunelerinde 0.822 μm değeri hesaplanırken aritmetik ortalama değeri ısıl işlem uygulanan döküm numunelerinde ise 0.727 μm değerine düştüğü gözlemlenmektedir. Uygulanan ısıl işlem ile yüzey pürüzlülüğünde azalma meydana gelmiştir. Bir diğer yüzey pürüzlülük parametresi olan Rz ise 5 tane en yüksek 5 tane en alçak noktanın ortalamasını ifade etmektedir. Çizelge 3’de yer alan değerlerde ısıl işlem uygulanmayan döküm numunelerinde gerçekleştirilen test sonucunda 3.960 μm değeri elde edilmiştir. Isıl işlem uygulanan numunelerde ise bu değer 3.710 μm değerine gerilemiştir. Her iki parametre arasında 0.25 μm ‘lik bir fark hesaplanmıştır. Son parametremiz olan Rmax değeri ise yüzey pürüzlülüğünün en yüksek olduğu ölçüm değeridir. Test sonucunda elde edilen değerlerde ısıl işlem uygulanan döküm numunelerinin Rmax değerinin ısıl işlem uygulanmayan numuneye kıyasla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Isıl işlemsiz numunelerin Rmax değeri 4.734 μm iken ısıl işlem numunesinde bu değer 1.008 μm artış göstererek 5.742 μm değerine ulaşmıştır.

3.4. Aşınma Testi Sonuçları

Şekil 3’de ısıl işlemsiz ve ısıl işlemlili döküm numunelerinin sürtünme katsayısı-zaman grafiği paylaşılmıştır. Sürtünme katsayısı – zaman grafiği incelendiğinde ısıl işlemsiz ve ısıl işlemlili tüm döküm testlerinin toplam 140 dakika sürdüğü görülmektedir. Isıl işlemsiz ve ısıl işlemlili numunelerin zamana bağlı olarak sürtünme katsayı değerlerinde dalgalanmalar bulunmaktadır.

Isıl işlem uygulanmayan aşınma numunelerinin sürtünme katsayı değerleri detaylı olarak incelendiğinde ısıl işlem uygulanan numunelere kıyasla 0-80 dakika arasında daha düşük değerlere sahip olduğu tespit edilmiştir. Isıl işlemsiz numunelerin test süresinin 42.dakikasında en düşük sürtünme katsayısı değerini göstermektedir.



Şekil 3 : Isıl işlemsiz ve ısıl işlemlili döküm numunelerinin sürtünme katsayısı-zaman grafiği

Testin 120.dakikasından sonra ise en yüksek değerine ulaşmıştır. Isıl işlem uygulanan aşınma numuneleri grafikte detaylı olarak incelendiğinde dalgalanmaların fazla olduğu göze çarpmaktadır. Test süresi boyunca en yüksek değere testin ilk dakikalarında ulaşıldığı ardından 10. ve 30.dakikalarda düşüşe geçtiği gözlemlenmektedir. Testin 30. ve 50. dakikalarında aşınma numunelerinin sürtünme katsayı değerlerinin arttığı 50.dakikadan sonra ise yaklaşık 0.5 sürtünme katsayısı değerinde olduğu gözlemlenmiştir.

Çizelge 4' de ısıl işlemsiz ve ısıl işlem parametreleri altında numunelerin batma derinliği (mm) değerleri paylaşılmıştır.

Parametre	Isıl İşlemsiz	Isıl İşlemlili
Batma Derinliği (mm)	0.0968	0.1497

Çizelge 4 : EN AC 46000 alaşımının ısıl işlemsiz ve ısıl işlemlili batma derinliği (mm) sonuçları

Çizelge 4 detaylı olarak incelendiğinde elde edilen sonuçlarda ısıl işlem uygulanmayan numunelerin 0.0968 mm batma derinliğine sahip olduğu ısıl işlemlili numunelerin ise 0.1497 mm değerinde olduğu görülmektedir. Elde edilen verilere göre ısıl işlem ile birlikte batma derinliğinin arttığı görülmektedir. Bunun bir sonucu olarak ısıl işlem uygulaması ile aşınma davranışı üzerinde olumlu bir etki göstermediği yorumu yapılabilmektedir.

Çizelge 5'de ısıl işlemsiz ve ısıl işlemlili döküm numunelerinin aşınma testi sonrası elde edilen sağırılık kaybı(g), hacim kaybı(mm³) ve aşınma oranları (mm³/N) sonuçları verilmiştir. Detaylı olarak incelendiğinde ısıl işlem uygulanmayan döküm numunelerinin sağırılık kaybı 1.067 g olarak hesaplanırken ısıl işlemlili numunelerde bu değer 2.041 g değerine artış göstermektedir.

Parametre	Isıl İşlemsiz	Isıl İşlemlili
Ağırılık Kaybı (g)	1.067	2.041
Hacim Kaybı (mm³)	0.395	0.756
Aşınma Oranı(mm³/Nm)	0.00658	0.0126

Çizelge 5 : Isıl işlemsiz ve ısıl işlemlili numunelerin sağırılık kaybı, hacim kaybı ve aşınma oranı değerleri

Isıl işlem uygulaması ile numunelerde meydana gelen sağırılık kaybı 0.974 g kadar ısıl işlemsiz numunelere kıyasla daha fazladır. Aşınma testi sonucu hesaplanan hacim kayıplarında ise benzer bir durum görülmektedir. Isıl işlemsiz döküm numunelerinde hacim kaybı değeri 0.395 mm³ hesaplanırken ısıl işlemlili döküm numunelerinde meydana gelen hacim kaybı 0.756 mm³ olarak hesaplanmıştır. Her iki parametre arasındaki hacim kaybı farkı 0.361 mm³ olarak kaydedilmiştir. Çizelge 5'de aşınma oranları detaylandırıldığında ise aralarındaki aşınma oranı farkının çok düşük miktarda olduğu göze çarpmaktadır. Isıl işlemsiz numunelerin aşınma oranı 0.00658 mm³/Nm olarak hesaplanırken ısıl işlemlili numunelerde bu değer 0.0126 mm³/Nm olarak hesaplanmıştır.

4. SONUÇLAR

- Mikroyapı görüntülerinden elde edilen sonuçlarda EN AC 44000 alaşımına ısıl işlem öncesi silisyum tanelerinin iğnemsî yapıda olduğu ısıl işlemle birlikte tane yapılarının küresel forma dönüştüğü sonucu elde edilmiştir.
- Döküm numunelerinde T5 ısıl işlemi uygulanması Brinell sertlik değerleri ısıl işlem uygulanmayan numunelere kıyasla daha yüksek değerlerde elde edilmiştir. Bu durum ısıl işlem işlem ile modifiye edilen Si tane yapısından kaynaklanmaktadır. Isıl işlem öncesi iğnemsî yapıda olan Si yaneleri küresel yapıya dönüşerek mekanik özelliklerini arttırmaktadır.
- EN AC 44000 alaşımının yüzey pürüzlülük parametrelerinde ısıl işlem uygulaması ile Ra ve Rz değerlerinde azalmalar meydana gelmiştir. Uygulanan T5 ısıl işlemi ile numune yüzeyinde meydana gelen pürüzlülük değerleri azalmıştır yorumu yapılmaktadır.
- T5 ısıl işleminin aşınma davranışı incelendiğinde malzemelerde aşınma testi sonucu ısıl işlem uygulaması ile batma derinliklerinin artış meydana getirdiği sonucuna ulaşılmıştır.

KAYNAKLAR

- 1) Ataman, Tacettin. Alüminyum Ve Türkiye’de Bu Sanayinin Kurulması. Bilimsel Madencilik Dergisi, 1.3: 181-188.
- 2) Ediz, Çağla. Alüminyumun geri dönüşüm süreci ve süreçte kullanılan malzemelerin alüminyum bileşenlerine etkileri. 2011. Master’s Thesis. Bilecik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- 3) Başer, T. A. Alüminyum alaşımları ve otomotiv endüstrisinde kullanımı. Mühendis ve Makina, 2013, 53.635: 51-58.
- 4) Sigworth, Geoffrey K. Fundamentals of solidification in aluminum castings. International Journal of Metalcasting, 2014, 8.1: 7-20.
- 5) Taylor, J. A. Metal-related castability effects in aluminium foundry alloys. Cast Metals, 1996, 8.4: 225-252.
- 6) Öksüz, Cemal. Yüksek Mukavemetli (2024, 6061, 7075) Alüminyum Alaşımlarının Jominy Yöntemi ile Suverme Duyarlılığı. 1996. PhD Thesis. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- 7) Uludağ, Muhammet. Farklı şartlarda dökülmüş modifiyeli Al-12Si alaşımlarında yapı ve özellikler. 2011. PhD Thesis. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- 8) Özcömert, M. E. R. T. Otomotiv endüstrisinde alüminyum. İstanbul Ticaret Odası, 2006, 3-7
- 9) Kaçar, H., Atik, E. ve Meriç, C., “Theeffect of precipitation-hardeningconditions on wearbehaviours at 2024 aluminiumwroughtalloy”, Wear, 236: 144-152(2003).
- 10) Gavgali M, Totik Y, Sadeler R. “TheEffect of ArtificialAging on WearProperties of AA 6063 Alloy”. MaterialsLetters, 57(24-25), 3713-3721, 2003.
- 11) Sjölander, E. and S. Seifeddine, Theheattreatment of Al-Si-Cu-Mg castingalloys. Journal of MaterialsProcessingTechnology, 2010. 210(10): p. 1249-1259.
- 12) THOMPSON, David S. Metallurgical factors affecting high strength aluminum alloy production. Metallurgical Transactions A, 1975, 6.4: 671-683.
- 13) Pio, L., DieCast A356 AluminiumAlloy. Journal of AppliedSciences, 2011. 11(11): p. 2048-2052.
- 14) Lumbey, Roger (ed.). Fundamentals of aluminium metallurgy: production, processing and applications. Elsevier, 2010.
- 15) Mindivan, Harun; Kayalı, E. Sabri; Cimenoglu, Hüseyin. Tribological behavior of squeeze cast aluminum matrix composites. Wear, 2008, 265.5-6: 645-654.
- 16) How, H. C.; Baker, T. N. Dry sliding wear behaviour of Saffil-reinforced AA6061 composites. Wear, 1997, 210.1-2: 263-272.
- 17) Tunçay, Tansel. A356 Alaşımında Cu Miktarının Mikroyapı ve Aşınma Davranışı Üzerine Etkisi. Politeknik Dergisi, 2016, 19.4: 585-592.
- 18) Reif, W., et al. Effect of ageing on the evolution of precipitates in AlSiCuMg alloys. Materials Science and Engineering: A, 1997, 234: 165-168.
- 19) Wang, E. R., et al. Improved mechanical properties in cast Al-Si alloys by combined alloying of Fe and Cu. Materials Science and Engineering: A, 2010, 527.29-30: 7878-7884.

SANAYİ DEVRİMLERİNİN ARKA PLANI VE DÖRDÜNCÜ SANAYİ DEVRİMİNİN METAL SEKTÖRÜNE ETKİSİ

Mustafa Özgül ABAY

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

ÖZET

Bu çalışmada, gelişmelere çerçeve olan sanayi devrimleri, teknoloji ve bilim ilişkisi, ar-ge ve inovasyon tanımlamaları yapılmış, dördüncü sanayi devriminin metal döküm sektörüne kazandıracakları belirtilmiştir.

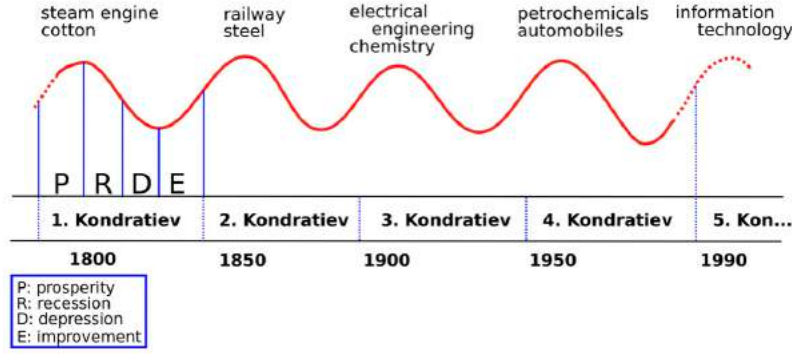
ABSTRACT

In this study, industrial revolutions, which are the framework for the developments, the relationship between technology and science, R&D and innovation defined and it is stated that the fourth industrial revolution will bring to the metal casting sector.

Keywords; Fourt industrial revolution, R&D, innovation, industrial revolutions, technology

1. SANAYİ DEVRİMLERİ

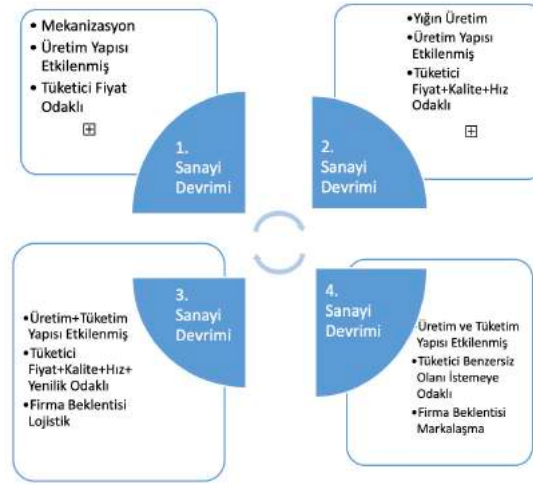
James Watt'ın 1. Sanayi devrimini başlatan buhar makinesi icadı, o zamana kadar paralel seyreden tüm finans ve üretim değerlerini pik noktasına ulaştırmıştır. Yurt içi ve yurt dışı hasıla oranlarında ciddi artışlar görülmüş ve diğer sanayi devrimlerinin seyrini yorumlamamızı sağlayan kondratiev dalgalarını ortaya çıkarmıştır. Bu dalgalar, bu zamana kadar gerçekleşen devrimlerin çıktığı andan bu yana değişen gelişmeleri, resesyonyonları, daralmaları takip eden eğrilerdir.



Şekil 1: Sanayi Devrimlerini Anlatır Kondratiev Dalgaları[10]

O zamana kadar paralel seyreden gelişmeler, buhar makinesinin icadı ile pik noktasına ulaşmıştır. Bu değerleri takip eden yurtiçi ve yurt dışı hasıla değerlerinde de ciddi bir artış görülmektedir. Birinci sanayi devrimine kadar kullanılan aletlerin yerini devindirici güç olarak buharın kullanılması ile makineler almıştır. Bu gelişmeler insanın kas gücünü yani meta olarak kullandığı emeğini, kısmen sahadan uzaklaştırmaya yaramıştır. Kuşkusuz James Watt'ın bu icadı, daha sonraki inovatif çalışmalarla şekillenecek diğer sanayi devrimlerini tetiklemiştir. Birinci sanayi devriminin gelişimi ile birlikte ekonomi ve sosyokültürel bağlamda değişen çehreler, teknolojik devrimlerin oluşumu için yetmemiştir. Zira birbirini takip eden inovatif gelişmelerin habercisi, birinci sanayi devriminin daralma dönemine girmesiyle anlaşılabilir. Çünkü birinci sanayi devriminin geliştirdikleri sayesinde ülkede bir refah olmuş, tüketicilerin algılarında ciddi bir değişim meydana gelmiş ama sonuç olarak üretilenlerin hazmedilmesi ve yenilik ihtiyacından dolayı artan trend, düşme eğilimine girmiştir. Her yeni devrim, kendini takip eden devrim boyunca artan inovatif çalışma ihtiyacından ileri gelir. Bu eğilimleri takip eden ve inovatif gelişme ihtiyaçlarını karşılayan ülkeler ise kendilerini dirliğe ulaştıracak devrimleri ararlar.

İkinci sanayi devrimi, birinci sanayi devriminin getirdiği teknolojik inovasyonun sonucudur. Bu devrimi; elektrik, içten yanmalı motor, evlere kirli ve temiz su tesisatlarının döşenmesi gibi önemli gelişmeler takip etmiştir.[5] Bu gelişme ile birinci sanayi devriminden farklı olarak işleyen mekanizmaların mekaniğinde değişimler olmuş buna ilave olarak tüketici beklentileri de farklılaşmaya başlamıştır. Tüm bu yenilikler sayesinde sermaye ile bilim bir arada yürümeye başlamış ve insan emeği ile karşılanacak zorluklar, yavaş yavaş sahadan uzaklaştırılmaya başlanmıştır. Birinci sanayi devrimi ile eksik kalanlar; hız, elektrik ve çeşitli motorların mekanizasyona dahil edilmesi ile sağlanmıştır ama artan kalite ve yenilik ihtiyacı, 2. Sanayi devriminin düşüş trendine girmesini sağlamıştır. 2. sanayi devrimi, üretimde yığın kültürüne gitmiştir. Tüketicilerin önüne istemedikleri kadar malzeme gelmiş ama alıcılar artık artan sayıya değil, ürünlerdeki kalitelere göre seçicilik algılarını değiştirmeye başlamışlardır. Bu sanayi devrimini ise otomasyonlu sistemler ve kalite yönetimlerinde yapılan değişiklikler ile sürecin izlenebilirliğini sağlayan 3. Sanayi devrimi almıştır. 3. sanayi devrimi ile insan rolü biraz daha sahadan alınarak, hatalar azaltılmaya başlatılmıştır. Başlatılan bu devrimi, yeri geldiğinde insandan makineye ya da makineden insana ya da kısmen de olsa makineden makineye iletişimi mümkün kılmıştır. İnsan ise süreci sadece izlemiş ve olası hataların istatistiklerini değerlendirip, karar verici pozisyonunu korumuştur. Bu devrim ile birlikte birçok yenilik gerçekleşmiş, tüketicilerin fiyat odaklı tavırları artık kalite hız ve yenilik olarak değişmiştir.



Şekil 2 : Sanayi Devrimleri ile Değişen Üretici ve Tüketici Davranışları

3. Sanayi devrimi ile birlikte, üretimde ciddi bir kalite artışı yakalanmış ama tam otomasyonlu sistemlere duyulan ihtiyaç karar verici ve hata düzeltme görevini sürdüren insandan dolayı sistemi mükemmelleştirememiştir. 3. Sanayi devrimi ile birlikte makineler kendilerine verilen reçetelere göre en iyisini ortaya koymaya çalışmaktalar ama tüketicinin yaratıcı fikirleri ile karşı karşıya kaldıklarında sekteye uğramaktadırlar. Çünkü bu kendilerine verilen reçetenin dışına çıktıklarının bir göstergesidir. Ayrıca bu reçeteyi makinelere veren insandır ve bir insanın hatalar ve parametreler arasında kurmuş olduğu korelasyonlar tecrübesiyle sabittir. Parametrelerde yaşanan ufak değişimler ile üretimde durmalar olmakta ya da tüketicinin standartlara bağlı olmayan ihtiyaçlarının tekrar tüketiciye sunulması uzun zaman almaktadır. Üretimde yaşanan fireler, bilinenlerden ise sınıflandırabilmekte ama bu süre üretimde ciddi duraksamalar oluşturmaktadır.

Teknik ve Organizasyonel Yenilikler Takımıydı	Kariyer Branş ve Ekonominin Diğer Öncü Branşları	Anahtar Girdi ve Diğer Anahtar Girdiler	Taşımacılık ve İletişim Altyapısı	Yönetimsel ve Organizasyonel Değişimler	Yaklaşık Yükselme Gerileme Dönemi
Taşımacılık, Sivil Ekonomi ve Savaşın Motorizasyonu	Otomobiller Kamyonlar Traktörler Tanklar Dizel Motorlar Uçak ve Rafineriler Dayanıklı Tüketim Malları	Petrol Gaz Sentetik Materyaller	Radyo Otoyollar Hava Limanları Hava Yolları	Yoğun Üretim ve Tüketim "Fordizm" Hiyerarşiler	1941-1973 3 1973 -
Tüm Ekonominin Bilgisayarlı Hale Gelmesi	Bilgisayarlar Yazılım (Software) Telekomünikasyon Ekipmanı Biyoteknoloji	"Chip" ler (Entegre Devreler)	"Enformasyon Yolları" (Information Highways Internet)	Net-work' ler; İçsel, Lokal ve Global	??

Tablo 1 : Kondratiev Dalgaları (1941 -) 3. Sanayi Devriminin Yükselme ve Gerileme Dönemi[1]

Üretimdeki tüm parametreleri gerçek zamanlı takip edilmeye olan gereksinim ve insan beyninin anormali tespitinde yaşadığı bu eksikliklere olan ihtiyaç, bir başka kondratiev dalgası ihtiyacını çıkarmıştır ama bu devrime olan ihtiyacı, diğer devrimlerin arkasında yatan felsefeyi iyi kavrayanlar ortaya koymuştur. Şüphesiz ki dünya devi sayılan ABD ve Çin arasında yaşanan ticari savaşlar bu devrimin oluşumu için itici güç olmuştur ama bu iki devletin büyük olması, sanayileşmenin kendi çıkarlarının ötesinde ülke çıkarları için çok önemli olduğunu bilmelerinden ileri gelmektedir. Sanayileşmek ülkelerin sorumluluğu altındadır bilinci ile hareket edip, 4. Sanayi devrimini ortaya koymuşlardır. 1. sanayi devriminin 4. sanayi devrimine olan ihtiyacını karşılayan gelişmelere çerçeve olanlar ise teknoloji ve bilim ilişkisini doğru bir şekilde tespit edip, inovasyon ve ar-ge faaliyetlerine önem vermekten geçmektedir.

2. TEKNOLOJİ - BİLİM İLİŞKİSİ

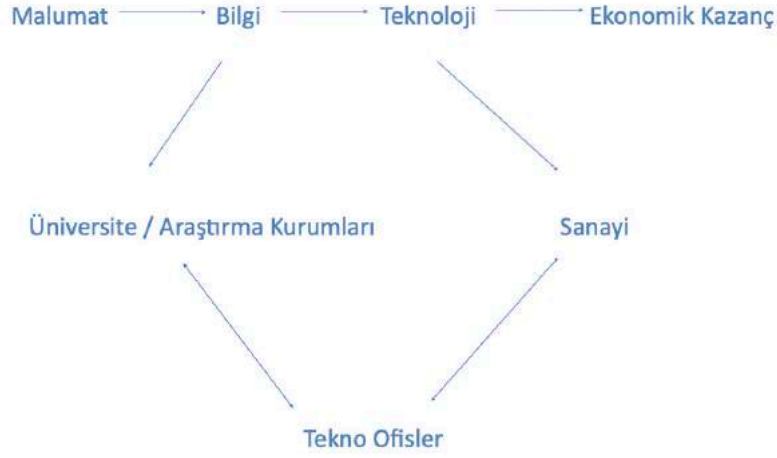
Bir ülkenin sanayileşmesi üretim araçları bakımından zenginleşmesi ile artmaktadır.[3] Üretim araçlarının artması, daha çok teknoloji kullanımını sağlayacak ve teknoloji kullanımı bir süreden sonra yetersiz duruma getirecektir. O zaman ise yeni inovatif gelişmelerin önü açılacak ve bu döngü ülkeleri kalkınmaya götürecektir. Tabii ki bu kalkınma sadece ülke içerisinde tüketim mallarının katma değere verdiği getiri ile artmamaktadır, önemli olan yatırım mallarının katma değere verdiği getiriyi artırarak oranı belirlemektir. Bu oran gelişmiş ülkelerde "0" a yakın değerlerde görülmektedir. Basit şekilde formüle edilmiş bu denklem, ülkenin kalkınma açısından konumunu belirler. Bu formülde istenen değerlere ulaşmanın en iyi yolu ise bilimsel çalışmalara gereken önemi veren politikalar yapmaktır. Çünkü günümüzde bilim ve teknoloji arasındaki sınırlar kalkmış, daha çok birbirini tamamlayan iki



Şekil 3 : Üreticinin Kalkınma Politikalarının Arkasındaki Unsurlar

unsur haline getirilmiştir. Bilimsel çalışmaların getirdiği yenilikler Aristo bilimini kenara itmiş, yeni çağ bilimini ön plana koymuştur. Tabii Aristocu bilimdeki nedensellik sorgulanmış ama pratiğe yönelik yapılan bilimsel çalışmalar bir çok teknolojinin gelişmesine sebep olmuş ve gelişen teknolojik gelişmeler birçok bilimsel çalışmanın rahatlıkla görülmesini sağlamıştır.

Bilimin oluşturdukları sayesinde teknoloji oluşmakta, var olan teknolojik gelişmeler sayesinde bilimin sınırları genişlemekte, genişleyen bilim ise daha çok teknolojinin doğumuna sebep olmaktadır. Bilim ve teknolojinin arasındaki bu bağlam, yeni gelişmeler sayesinde çok daha kolay bir şekilde yapılmaktadır. Dijital teknolojilerinin gelişmiş olması bilgiye ulaşma anlamında sorun yaşamadığımız şu dönemlerde, gerekli çalışmaları yapmamızda önemli bir rol oynamaktadır. Zira fiyat ve maliyet oranlarının doğru orantılardan çıkması ve büyük hacimli şirketlere tehdit olabilecek küçük "startup" varlığı bunun en büyük göstergelerindedir. 19. yy öncesi dönemlerde, kişisel icat yapanların çağının gerektirdiği temel bilgilerle belirli sonuçlara vardığını görebiliriz ancak 2. sanayi devriminden sonra bilimsel altyapı olmadan, bir çalışma yürütebilmek zorlaşmıştır. Günümüzdeki yeniliklere destek olmak ya da yorumlamak için bilimsel gelişmeleri anlamak ve temel bilimlere gereken önemi vermek gerekmektedir. Aksi halde modern teknolojinin oluşum safhalarını anlamak daha zor bir hale gelebilir. Teknolojinin oluşumu malumatın, bilgiye dönüşme süreci ile başlamaktadır. Bu safhada gözlemle-



Şekil 4 : Malumatın Ekonomik Kazanca Giden Yolculuğu [3]

nebilir tüm olgular ve ön veriler toplanmış, gerekli tecrübe ve çalışmalarla ortaya bir bilgi çıkmıştır. Bu süre zarfında ortada küresel zincirin kullanacağı ekonomik bir değer ortaya çıkmadığı için tüketildikçe değer kaybeden bir durum ortaya çıkmayacaktır. Aksine tüketildikçe değer kazanan bir bilgi ortaya çıkmıştır. Bundan sonraki süreç ise ortaya çıkan bu bilginin ekonomik bir kazanca götürülme sürecidir. Buluştan inovatif faaliyetlere giden süreç türlü risklerle doludur. Bazı çalışmalar bu teorik çalışmaların gerek barındırdığı riskler, gerek akademik dünya ile sanayi arasındaki bağlantısızlıklar gerekse yeterli desteği bulamadığından sekteye uğramaktadır. Bu tarz çalışmaların önlerindeki en büyük engeller;

- Deneme ürünlerinin ortaya çıkmasında yardımcı olacak tesis bulunamayışı
- Deneme ürününe yapılacak onay testlerinin standartlarca belirlenmiş testlerden geçemeyişi
- Yeterli pazar araştırmalarının yapılamayışı
- Deneme ürünü için yeterli maddi kaynağın bulunamayışı

Bilgi gibi maddi olmayan bir değer, ekonomik bir unsura dönüşmesinin sağlanması için, sürecin titizlikle yönetilmesi gerekmektedir. Devlet; üniversite veya araştırma kurumlarının elde ettiği bilgilerin sanayilerde karşılık bulması için gerekli teşvik, destek ve denetleme faaliyetlerini gerçekleştirmesi gerekmektedir. Türkiye gibi gelişmekte olan ve özel sektör destek mekanizmalarının tam anlamıyla oturmadığı bir ülkede, akıllı devlet sistemi içerisinde hem serbest piyasa ekonomisinin getirdiği serbestliği sağlayıp hem de kalkınmacı devlet politikası içerisinde gerekli teşvik ve kontrol mekanizmalarıyla ekosistem içerisinde yer almalıdır.[9] Hatta yeni gelişecek ve ülke konjonktürüne uygun teknolojilerin karşılık bulması için çalışmalar yapılmalıdır.

Ülkemizdeki en büyük problemlerden biri bu süreç içerisinde üniversite ve sanayinin kopuk ilişkidir. Bilginin kaynak yeri olan üniversitelerin, uygulamalı bilime olan ihtiyaçları karşılamadığını savunanlar, akademik dünyanın sadece akademik sorunlara çözüm getirdiğini söylemektedir. Akademik dünyanın lineer bir süreç içerisinde belirli sorunları tespit edip, sanayinin temel sorunlarına katkıda bulunmadıkları ve günlük hayattan kopuk oldukları savunulmaktadır. Ancak akademik dünyadaki buluşların ya da sorunların ele alınış biçimleri, sahadaki sorunlardan çok farklı olmaktadır. İki kutup arasında birleştirici vazifesi görebilecek olan kurumlar ise tekno ofisler olmaktadır. Pratikte yaşanan sorunlara ya da yapılacak kolaylıklara getirilecek doğru teorik tespitlerin birleştiği kurumlar olan tekno ofisler inovatif gelişmelere gebe kurumlar olarak bulunmaktadır.

3. AR-GE VE İNOVASYON

3.1 AR-GE

Frascati klavuzunda ar-ge için; "insan, kültür ve toplumun bilgisinden oluşan bilgi dağarcığının artırılması ve bu dağarcığın yeni uygulamalar tasarlamak üzere kullanılması için sistematik bir temelde yürütülen çalışmalardır" demektedir.[18] Bundan dolayı gerekli gözlemlerin teorik bilgiler altında ta-

sarlanmış olması ve uygulamaya konmasını kapsayan bir mekanizma ortaya çıkmaktadır. Bu mekanizma; Temel araştırma (gözlemlenebilir durumlardan alınan veriler) + Uygulamalı araştırma (yeni bilgiler için yapılan somut çalışmalar) şeklinde açıklanabilir.

Bu mekanizmanın işleyişi 4. sanayi devriminin hasıl olduğu yerde hiç bitmeyen bir süreci ortaya çıkarmaktadır. Lineer bir doğrultuda gitmeyen sistem, her daim yenileşmeyi mümkün kılmaktadır. Müşteri beklentileri ve ürünlerden alınan veriler doğrultusunda hizmette veya üretim sürecinde bir takım değişiklikler yapılmalıdır. Sadece müşteri beklentileri için de değil, üretim koşullarının verimini arttırmak içinde Ar-Ge faaliyetlerine önem verilmektedir. Ekonomistlerin ortak fikir birliğine vardığı sınırlı sayıdaki konulardan biri ekonomik büyümenin temel kaynağının verimlilik artışı olduğudur. Verimlilik hem gelişmekte olan ülkeler için hem de gelişmiş ülkelerin durağan konumdan kendilerini alıkoymaları için daimi güncel tutmaları gereken bir konudur. Firmaların artan maliyetler ve kalite hedeflerinin yüksek oluşundan ötürü rekabetçi ortamda ayakta kalabilmeleri böylesine Ar-Ge faaliyetlerini yapmalarından geçmektedir.

Üreticilerin Ar-Ge faaliyetlerini yürütürken en çok yanılgıya düştükleri durumlardan biri de Ür-Ge faaliyetlerini de bu kapsam içerisine almalarıdır. Şüphesiz firma içinde yapılan ürün geliştirme faaliyetleri mevcut problemleri çözmek adına bir cevap olabilir ama yenilikçi bir faaliyet için yeterli olmayacaktır. Ür-Ge faaliyetlerinden elde edilecek veriler Ar-Ge ve sonunda yenilikçiliğe götürecektir bir faaliyet doğurabilir. Firmaları Ar-Ge sürecine götüren güdü kardır. Bu süreç içerisinde elde edilen verilerin üretim sürecinde ve sonrasında getireceği faydalar ile ticari bir başarı sağlanması amaçlanır ancak Ar-Ge süreci belirsizlikler ile doludur. Bu riskler;

- Ürünün ticari başarı getirmesinin zaman alışı
- Ticari getirinin ne kadar olacağını tahmin etmenin zor olması
- Ar-Ge de çalışan ekibin stabil olamayışı
- Teorik çalışmaların teknolojik uygulamalara dönüştürülmesi esnasında altyapı hizmetlerinin belirsizliği
- Yeterli maddi kaynaklara erişmede zorluklar olarak belirlenmektedir.

3.2 İnovasyon

Alışılmışın dışında düşünmek, yaratıcılık gibi anahtarların karşılığı, inovasyon olarak değerlendirilir. Bilim adamları ya da mühendisler sezgilerinin el verdiği müddetçe yeni bir inovasyonun kapısını arayabilir.[3] Bu sezgiler ise kendinden öncekilerin bilgi birikimlerinin özümsemesi ile mümkün olur. Salt sezgisel yaklaşımlarla romantik bir inovasyondan bahsedilemez. Çünkü inovasyon sonucunda ortaya çıkan teknolojiler genel maksatlı teknolojilerdir.[5] Böylece üretildiği yer ile bağlantılı olabilecek bir çok sektöre hız ve istihdam kazandıracak yeni bir teknolojinin oluşması sağlanmış olur.

Genel itibarıyla karıştırılan ise AR- GE ile inovasyondur. Bugün işletmelerde yer alan bu birimlerden genel kapsayıcı teknolojilerin çıkmasını beklemek uzun zaman alabilir. Zira AR-GE faaliyetleri, konsept olarak başlayan daha sonra tasarım aşamasıyla devam edilen sonuç olarak da pilot bir tesiste denenilen tüm faaliyetlerdir. İnovasyonun elverdiği teknoloji ile kendisine çizilen çerçeve içinde gerek üretime gerekte psikolojik olarak fayda sağlayacak işlemlerin bütünüdür. AR-GE faaliyetleri sonucunda inovasyona doğru bir geçiş sağlanabilir ya da hiçbir şekilde öyle bir amaç da olmayabilir. Bu AR-GE nin tanımına ters düşecek bir durum olmamaktadır. Çünkü AR-GE faaliyetlerinin genel maksatlı teknoloji üretmek ya da şirketlerin veya ülkelerin gelir tablolarına yeni bir sütun ekleyecek bir adımları olmamaktadır. İnovatif gelişmelerle üretilen teknolojiler ise kitlelere hitap eden teknolojilerdir. Örnek olarak internetin keşfi, tüm üretim, tüketim ve sosyal durumumuzu etkileyen bir teknolojidir. Genel kapsayıcı teknolojiler üstel bir şekilde büyüyen dijitalleşme, 4. sanayi devrimi ile ortak bir ağ ile birbirine bağlanmaktadır. Bu teknolojilerin büyüklüğü, yıkıcılığında da aynı derecededir. Yeni geliştirilen bu teknolojileri, bizim gibi gelişmekte olan ülkelerin takip edememesi sonucunda "yaratıcı yıkım" oluşturabilir.[8] Böylesine bir olumsuzlukla karşılaşmaması adına inovatif adımlarda atacağımız adımlar;[6]

- Sabır: Genel maksatlı çıkan teknolojilerin tamamlayıcısı olarak düşündüğümüz inovatif çalışmaların

sonucu hemen alınamayabilir. Belirli bir olgunluk seviyesine ulaşmasını beklemek ve motivasyon kaybetmemek yapılacak en doğru davranıştır. Nitekim bugün vazgeçilmez olarak kullandığımız birçok teknolojik gereç, böylesine uzun süren bir dönemden geçerek hayatımıza girmiştir.

- Anti-disipliner Yaklaşım: Bugün fazlasıyla karmaşık olarak gördüğümüz tüm sorunları belirli bir çerçevede düşünmek yaratıcılığa ters düşmektedir. Karmaşık sorunların çözümü sadece belirli mühendislik departmanların güdümüne sokmak yerine, omni disiplini tercih edilmelidir.
- İtaatsizlik: Bugün dahi diye adlandırdığımız ve çağ açıcı yeni fikirler sunan insanların kendilerine dayatılanlara itaat etmedikleri için başarılı olduklarını biliyoruz. Size sunulan çerçevelere bağlı olmak, onun dışındakileri görmenizi engelleyebilir.
- Şirket için bürokrasi: Üretimin en alt kademelerinde bulunan bir çalışanın kendi inovatif çalışmalarını kabul ettirmesi için aşması gereken uzun bir yol vardır.
- Devlet Müdahalesi: Devletin rolü belirlenen özel ve toplumsal yetkilerin üzerinde olmalıdır. Aksi



Şekil 4 : Şirket İçi Bürokrasinin Adımları

durumlarda ise yasa koyucuların ellerindeki gücü kaybetmek istememeleri ya da bu yasalarla kendini koruma altına alan şirketlerin bu haklarından mahrum kalmak istememeleri nedeniyle inovatif çalışmalar zora girebilir. Yapılması gereken türlü bürokratik engellerle gelişim hızının önüne geçmemek olmalıdır. Neoklasikçilerin bırakınız icat etsinler kadar serbest bir ekonomi gibi olmasa da, inovasyona yönelik çalışmaların sonucundaki teknolojiyi nötrlemesi üzerine yasalar düzenlenebilir.

4. TEKNOLOJİ YAYILMASI VE ÖZÜMSENMESİ

Teknoloji; girdilerin çıktılara dönüştüğü toplumsal bir süreç olarak tanımlanır. Dolayısıyla girdilerin tüm özellikleri çıktılardaki kaliteyi değiştirecektir. Gelişmiş ülkelerde teknolojik gelişmelerin tanımının kurulu olduğu bu sistem, girdilerin özelliklerini arttırmak adına teknolojinin saklı olduğu örtük bilgiyi genişletmektedir. Her ne kadar günümüz koşulları bilgi çağı olarak atfedilip, bilgiye ulaşmadaki kolaylıklardan bahsedilse de erişime açık olan taraf formel bilgi olarak kalmaktadır. Teknolojilerin saklı olduğu örtük bilgiler şüphesiz ilk başta formel bilgiler ile başlayacaktır ancak, ticari başarı getiren taraf üstü kapalı olmaktadır.

Ortaya çıkan teknolojinin kullanıcı tarafının amacı yayılıma açık ama örtük bilginin derinliklerine inmek, özümsemek ve eksikliklerini gidermeye yönelik olmalıdır. Nitekim klasik yaklaşıma göre buluşun; yenilik ve yayılma süreçlerine gidişi lineer bir yaklaşımda olmamaktadır. Yayılma süreci aynı zamanda yenilik kısmını devam ettirmektedir. Eğer çıkan ürün yayılım esnasında yeniliğe uğramıyorsa kısa zaman diliminde geçerli olan bir teknoloji haline dönecektir. Teknolojinin yayılımı için içsel ve dışsal olmak üzere 2 çeşit yayılma türü mevcuttur. İçsel teoride teknoloji kullananlar ile kullanması muh-

temel kullanıcılar arasındaki ilişkiden bahsedilir. Dışsal teoride ise kitle iletişim araçları teknolojinin yayılımından bahsedilmektedir. Günümüz koşullarında bilgi işlem teknolojik araçlarının yaygınlaşması ve bilgiye ulaşmadaki kolaylık, belirli teknolojilerin yayılımını kolaylaştırmaktadır. Şüphesiz coğrafi yakınlıklar bu konuda yardımcı olmaktadır ancak doğru veri analizine giderek, asimetrik verileri doğru kullanan ülkeler ve firmalar teknolojilerin yayılımını kolaylaştıracaklardır.

KOBİ lere göre daha avantajlı olan büyük firmalar, bünyelerinde yeni teknolojileri daha kolay bir şekilde kabullenip kullanmaktadırlar. Sermaye açısından problemi olmayan bu şirketlerin kısa zamanda yapacağı bu adaptasyonlar, sonraları bu teknolojileri kabul edenlere göre daha da avantajlı bir konuma sokacaktır. Ayrıca üretimdeki güçleri sayesinde yeni teknolojinin sonucunu görmek daha kolay olacaktır. Bu şirketlerin tek handikabı ise yönetimden kaynaklanan bürokratik yavaşlıktır. Karar verici mekanizmalarında yaşanan bu problemler büyük firmaların ellerindeki avantajı göremeyişine neden olabilmektedir. Gelişmekte olan ülkelerde ise ithalatın ihracata göre fazlalığı teknoloji transferlerini kolaylaştırıcı bir faktör olarak görülmektedir. Böylesine bir yayılım beraberinde bazı riskleri de barındırır. Bu yayılımdan pozitif bir dışsallık sağlamak teknoloji öğrenme yoluna gidilmesiyle mümkün olur. Aksi halde tersinir bir reaksiyon durumunda yapılan teknolojik yatırımlar yerli üretim becerilerinin düşmesine neden olacak ve uzun vadede teknoloji bağımlısı ama teknoloji yoksulu bir ülke haline dönüşecektir. Günümüz küresel dünyada devletin kalkınmacı konumundan çıkmış olması, insana yapılan yatırımların ikinci plana doğru kaymasını sağlamaktadır. İnsanların eğitim ve sağlık harcamalarından öte ülkeler küresel meta zincirinde konumlarını sağlamlaştırmak adına faaliyetlerde bulunmak istemektedirler. Ülkeler ellerinde bulunan beşeri sermaye gücüne gerekli yatırımları yapmadıkları sürece, teknolojinin formel kısmından öteye gidilemeyecektir. Nitekim bu beşeri sermayeye gerekli yatırımları yapan ülkeler, uyguladıkları doğru politikalar sayesinde "bağımlılık okulu" kavramını değiştirmişlerdir. Bu kavrama göre kapitalist ülkelerin varlığı ve onların uygulamış oldukları üretim sistemleri devam ettiği sürece az gelişmiş ülkelerin, gelişmiş ülkelerin uydusu olmaktan kurtulamayacağı söylenmiştir ancak bu tanım Çin örneği ile bozulmuştur denilebilir. Türkiye'nin kişi başına düşen milli geliri 1923 de Çin'in yaklaşık 2 katı, 1950 de dört katıydı. 1960 yılında ise 5,7 katı olarak bulunmaktaydı. 2016 yılında dünya bankası verilerine göre Çin'in kişi başına düşen milli gelirin oranı Türkiye'ninkine oranı %74 olarak görülmektedir.[14] Şüphesiz Çin'in komünist rejim çerçevesinde başlattığı komünlerin içe kapanık siyaseti ilk döneminde avantaj ve dezavantajlar ortaya koymuştur ancak özellikle tarımsal vergilendirme ve emek seferberliği sayesinde sonrasında gelenlerin hükümetlere dış kaynaklara bağımlılığı olmayan bir miras bırakılmasına sebep olmuştur. Sonraki dönemlerde yatırım yapan ülkelere tanıdığı imtiyazlar sayesinde teknolojilerin ülkeye taşınması sağlanmış ancak sonrasında yatırım yapmak isteyen yabancı şirketlerin Ar-Ge faaliyetlerinin Çin'e taşınmaya zorlanması ve kendi içerisinde özellikle robot üreticilerine tanıdığı sübvansiyonlar ile yerli üretim hedefini gerçekleştirerek girdi maliyetlerini aza indirmektedir.

5. SANAYİ DEVRİMLERİNİN METAL SEKTÖRÜNE OLAN ETKİLERİ

3 önemli buluş olan kok kullanımı, demir tavlama-haddeleme keşfi ve yüksek fırın kullanımı metal sektöründeki en önemli gelişmelerdendir.[2] Bu gelişmelerden sonra sanayi yatırımları daha çok kömür madenlerinin olduğu bölgelere doğru kaymıştır. Tüm bu gelişmeler sadece demir çelik piyasasını canlandırmakla kalmamış, kömür ve buhar sanayisinin gelişimine de katkıda bulunmuştur.[2] Demir ve çelik sanayinin gelişimi diğer gelişimlere göre daha yavaş bir seyirde gerçekleşmesinin nedeni ise tüketim malları oranı artışının, demir sanayi yatırım malları oranındaki artışı yakalayamamasıdır. Bu sektörlerdeki yatırım maliyetlerinin görece yüksek olmasından ötürü, yatırımlar belli ülkelerin güdümünde kalmıştır ama üretimdeki asıl değişim çeliğin keşfiyle olmuştur. Kömür ve demir üretimini 3 katına çıkaran çelik sanayi kısa zamanda geliştirilen yeni teknolojilerle daha verimli ve kaliteli ürünlerin çıkmasını sağlamıştır.

Tüm bu teknolojik değişimler ve elde edilen sonuçlar, dökümcülük piyasasındaki yatırım oranlarının



Şekil 6 : Metal Sanayinin Gelişimindeki Önemli Parametreler

artmasına neden olmuştur. Direkt olarak emeğe dayalı prosesleri gerçekleştirmediğinden dolayı istihdam da belli oranlarda artışlar yakalansa da, bu teknolojilerin bağlı olduğu taşımacılık sektöründe yapmış olduğu devrimler sayesinde ciddi bir istihdam artışı sağlamıştır. Ayrıca tarımdan gelen nüfus fazlalığının da istihdama kazandırılmasını sağlamıştır. 3. sanayi devrimi ile beraber makineleşmeyi hızlandıran döküm piyasasının küresel manadaki gücü, artan nüfusun ihtiyaçları doğrultusunda kaliteli ve hızlı ürünlerin ulaşması babında artmaya devam etmiştir. Pandemi ve küresel tedarik zincirinde yaşanan aksaklıklara rağmen Türkiye de 2 milyon tonu geçen üretimi ile bu alanda önemli bir konumda yer almaktadır. Bu konumun gelişiminin sağlanması mevcut üretim pratiklerinin endüstri 4.0 teknolojilerine olan adaptasyonu ile gerçekleşecektir. Metal döküm gibi standartlara bağlı olmayan proseslerin üretim parametreleri arasında kuracağı korelasyonların yapay zeka teknolojileri ile tanınmasını sağlamak, verimliliği arttırmaya başlayacaktır.

Manuel sistem üretim proseslerinin hakim olduğu dökümhanelerin yaratacağı handikapların



Şekil 7 : Endüstri 4.0'ın Üretimde Kazandıracakları

maliyetleri, sistemi kurmak adına kurulacak maliyetlerden gün geçtikçe daha da artmaktadır. Çünkü müşterilerin ürünlerden beklediği farklılıklar ve dar toleranslar içerisinde belirlenen kalite anlayışı mevcut sistemin dezavantajlarını ortaya çıkarmaktadır. Bunlardan bazıları; Manuel Proses Yoğunluğu: Üretim faaliyetlerinin yürütülmesi için kalifiye işçiye ihtiyaç vardır. Manuel olarak yapılan işler zaman almakta ve belirli sınırlamalara tabi olmaktadır. Özellikle kalıplama ve döküm işlemlerinin manuel olarak gerçekleştirmek verimliliği etkileyen ve ciddi zaman alan bir adımdır.

Ergonomik Problemler: Ergimiş metalin dökümü ile beraber artan sıcaklık, gürültü ve havaya karışmış parçacıklar, çalışanın verimliliğini azaltacaktır.

Tesis Yerleşiminin Düzensizliği: Tesis alanının düzensiz yerleşimi üretim akışında verimsizlik yaratan kademelerin oluşmasına neden olmaktadır. Özellikle bu aşama yatırımların ilk aşamasında doğru karar alabilmek için verilmesi gereken önemli bir adımdır. Bu adımların gerçekleştirilebilirliğini sorgulayan durum üretilecek ürün ve fabrikanın bulunduğu iklimik koşullar, hammadde akışının sağlanacağı yerler ve proses esnasında ürün akışının sağlandığı sanal ortamlarda oluşturulan "ikiz fabrikalar" ile sağlanabilmektedir.

Uluslararası otomasyon topluluğu olan ISA'nın verdiği rapora göre mevcut bir işletmenin tüm operasyonlarında optimum koşulları sağlayabilmesi için belirli koşulları sağlaması gerekmektedir. Bunlar;

- Üretim operasyonları dahilinde ürün tanımlamaları yapılmalıdır.
- Ürünü üretmek için hangi kaynaklarla üretiminin yapılacağı planlamalıdır.
- Üretim için verilen talimatların fabrikanın tüm birimlerinde dökümsüz şekilde aynı anda dağıtılması sağlanmalıdır.
- Verilen tüm talimatların uygulanabilirliği anlık olarak kontrol edilmelidir.
- Tüm veriler için hem geçmiş hem de anlık olarak kayıtlar oluşturulmalıdır.
- Alınan veriler operasyon yönetimi dahilinde değerlendirilmeli ve verimsiz ya da yavaş olan bölümler tespit edilmeli, uyarılar neticesinde önlemler alınmalıdır.

Tüm bu koşullar bakım, kalite ve stok kontrolleri için de geçerli olduğunu düşündüğümüzde; bu unsurların sağlanabilmesi adına yapılacak tek şey fabrikanın dijital dönüşüme adapte olmasıdır. Oluşturulacak yapay zeka algoritmaları döküm kalitesini etkin bir şekilde kontrol imkanı sunabilecek proses parametrelerinin belirlenmesi ile mümkün olmaktadır. Parçanın mekanik özelliklerini proses parametreleri ile ilişkilendiren veri güdümlü modeller oluşturulmakta ve optimum proses parametreleri, makinelerde oluşabilecek arıza tespitleri ile sağlanmaktadır. Bu korelasyonlar fiziksel olarak bilinen tek bir değişkenle kolayca değiştirilebilen adımlarda olabilir ya da operatör veya mühendis eylemleri ile yapılan kasıtlı korelasyonlarda olabilir. Tüm bu adımlar titizlikle sisteme dahil edilmektedir. Fabrikalarda bu gereksinim için analizlerin doğru şekilde yapılması için dijital dönüşüm ekiplerinin kurulması gerekmektedir. Bu ekip, fabrikanın üretim akışında problem olan kısımları tespit edip, üretimin her aşamasından veri alınabilir hale gelmesini engelleyecektir kaldı ki bu dönüşümün maliyetini arttıracaktır. Doğru olan bu ekibin fabrikanın darboğaz kısımlarını tespit etmesi ve mevcut sistem olan reaktiflikten proaktifliğe ve sonraki aşamada ise tahmin edilebilirliğe giden dijital dönüşüm yolculuğunu başlatabilsin. Bu ekibin alacağı kararlarda işletmenin mevcut üretim kapasitesi dahilinde ürünlerde yapılabilecek değişiklikleri, dünyada metal sektöründen beklentileri, mevcut finansal durumun geleceğe yönelik stratejilerini yapabilecek konumda olması beklenmektedir. Böylece dökümhanelere özel OEE verisini düşüren etmenler belirlenecek ve bu veriler ışığında dijitalleşme yolculuğunda adım atılması gereken öncelikli yerler belirlenecektir. Bu öncelikli yerlerden alınan veriler ile suursuzca üretim kademelerinin her bir bölümü veri yığını haline gelmekten de kurtulacaktır. 2019 yılında Avrupa'da bulunan demir-çelik üreticileri üzerinde yapılan bir araştırmaya göre; Avrupa demir çelik endüstrisinin önemli aktörlerinin dijitalleşme ile meşgul oldukları görülmektedir.

Yapılan araştırmada bu kapsamda 145 AR-GE projesinin 1,7 milyon avro bütçeye sahip olduğu



Şekil 9 : Dökümhanede OEE Düşürebilecek Etmenler[17]

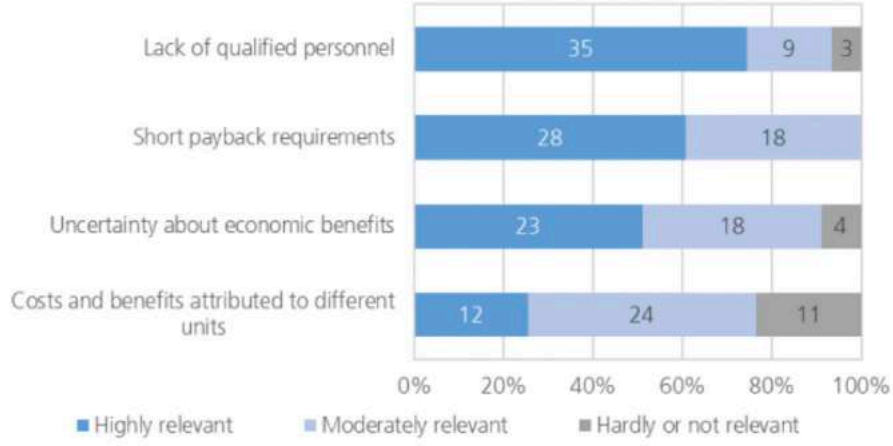
görülmektedir. Bu projelere çerçeve olan konular; IOT, siber güvenlik sistemleri, otomasyonlaşma ve bulut yazılımı teknolojileridir. Tüm bu çalışmalar sonucunda dökümhanelerin beklentisi;[17]

- Üretim maliyetlerinin düşmesi
- İş yeri güvenliğinin artırılması
- Ürün kalitesinin iyileştirilmesi
- Sürdürülebilirliğin artırılması
- Lojistik hizmetinin iyileştirilmesi
- Emisyonların azaltılması
- Atık ürünlerin azaltılmasıdır.

Tüm bu getirilerinin yanında yapıcı iradenin sağlanamamasındaki en önemli sebeplerden biri beşeri sermayenin terk edilip yerine teknolojinin sadece takip edilmesidir. Ayrıca yöneticilerin üretim sistemlerindeki muhafazakar tutumu bu devrimi yakalamada güçlük oluşturabilir. Spesifik anlamda dökümcüler üzerinde yapılan bir ankette bu devrimin gerçekleşmesine bariyer oluşturabilecek sebepler;

- Yapılan Ar-Ge projelerinin pratik deneyimlerinin sınırlı olması
- Var olan ekipmanların eski olmasının getirdiği güncellenme maliyetleri
- Makinelerden alınacak verilerden nasıl yararlanacağını bilinememesi
- Dijitalize olma hedefi ile çıkmış bir dökümhanenin önceliğini nereye vereceğini bilememesi
- Dijitalize edilecek ekipmanlarda çalışabilecek nitelikli personel bulunamayaş
- Tüm proje maliyetlerinin kısa ödeme planları çerçevesinde firmayı zora sokmasıdır.

Tüm bu teknolojilerin metal üretim sektöründe devamlılığını sağlayıcı başka önemli bir faktör



Şekil 8 : Endüstri 4.0'ın Dökümhanelere Entegrasyonu Esnasında Oluşacak Organizasyonel Engelleri İle İlgili Yapılmış Anket Sonuçları [16]

ise robotların üretim tesislerindeki sayısının artmasıyla mümkündür. Dünyadaki tüm endüstrilerin üretim süreçlerindeki robotların uygulama eğilimi yıllık bazda artan bir trende sahiptir. 2011 yılında 123.750 robot ünitesi sadece 8 yıl içinde yaklaşık %170'lik bir artış ile yaklaşık 332.200 robot ünitesine ulaşmıştır, metal endüstrisi ise 2011-2019 döneminde üretim süreçlerinde endüstriyel robotların kullanımını dünyada % 114'e taşıdığını bildirmektedir[11]. Bu robotların kullanıldığı yerler; malzeme taşımacılığı, yarı mamul ürünlerin makineden makineye taşınması, bitmiş ürünlerin nakliyesi için kullanılan lojistik hizmetleridir.



Şekil 9 : Endüstri 4.0'ın Dökümhaneler Kazandıracakları

6. SONUÇ

Küreselleşmenin meta zinciri, büyük şirketlerden sipariş almaya çalışan ülkeleri oluşturmuştur. Ulus ötesi şirketler bu yatırımları ile buldukları ülkeleri kalkındırmak adına değil, ucuz iş gücünü kullanmak adına yapmıştır ama kaçırılan nokta ülkedeki emeği sömüren bu yatırımların nasıl lehe çevrilmesidir. Çin, Hong-Kong ve Güney Kore gibi ülkeler ülkelerinde yapılan bilgi işlem teknoloji yatırımlarını temel bilimler ve ar-ge'ye verdikleri önem ile karşılamışlardır. Küreselleşmenin getirdiği emek zincirinin büyümesine kapılan özel sektöre bağlı yatırımlar, kısa vadede kar getiren kazançlar olarak geri dönecektir. Yapılması gereken teknoloji trendlerini yerinde takip edip uzun vadeli planlar yapmak ve bu sorumluluğun herkes tarafından alınması-

dır. Ülkemizdeki dökümhanelerin çoğu üretim hatlarındaki teknolojilerinin lisansını satın alarak üretim yapmaktadır. Böylece bu konulara yeteri kadar Ar-Ge harcayan dökümhanelerin sayısı çok az kalmaktadır.

Bugünlerde sıkça duyduğumuz yeni inovatif mevsimin baş aktörü olan endüstri 4.0 'ın metal döküm sektörüne entegrasyonunu yapabilmek adına atılacak adımların dökümhanelere kazandıracaklarının bilinmesi ve farkındalığın oluşması hem bu alanda atılacak adımları güçlendirecek hem de bu yolda atılacak ar-ge ve inovatif çalışmalarının önünü açacaktır.

Kaynakça

1. İ.S. Akçokmak, E. Erdil, M.T. Pamukçu, M. Tiryakioğlu (Ed), "Bilim, Teknoloji ve Yenilik", İstanbul Bilgi Üniversitesi, İstanbul, 2016, pp 20-693
2. E. Hobsbawm, "Sanayi ve İmparatorluk", Dost, Ankara, 2018, pp 100-175
3. H.A. Göker, "Bilim Teknoloji Sanayi Üçlemesi", Sarmal, İstanbul, 1995, pp 9-124
4. P. Frase, "Dört Gelecek", Koç Üniversitesi, İstanbul, 2018, pp 7-99
5. E. Brynjolfsson, A. McAfee, " The Second Machine Age", Türk Hava Yolları, İstanbul, 2018, pp 12-269
6. J. Ho, J. Howe, "Whiplash", Optimist, İstanbul, 2017, pp 26-207
7. K. Marx, "Kapital (1. Cilt)", Sol, İstanbul, 1978, pp 385-496
8. B. Türkcan, U. Akseki, "Endüstri 4.0 ve Türkiye Ekonomisi", Orion, Ankara, 2019, pp 26-290
9. B.A. Eşiyok, "Türkiye Sanayi 4.0' E Hazır Mı ?", HBT, İstanbul, 2019, pp 23-218
10. Wikipedia,2020,Kondratiev Wave, http://en.wikipedia.org/wiki/kondratiev_wave, Erişim Tarihi: 04.02.2020
11. Karabegovic E. (2020), Implementation of Industry 4.0 and Robots in Production Process of the Metal Industry, International Journal of the Advanced Engineering Research and Science, 7, 2349-6495, <https://dx.doi.org/10.221.61/ijaers.712.26>
12. Perzyk M, Dybowski B, Kozłowski İ (2019), Introducing Advanced Data Analytics in Perspective of Industry 4.0 in a Die Casting Foundry, Polish Academy of Sciences, 19, 229-2944, doi:10.24425/afe.2018/125191
13. Joshi A, Jugulkar L (2014), Productivity Improvement of Metal Casting Industry International Journal of Analytical, 3, Vol1, 04 Haziran 2022 tarihinde <https://www.rame.org> adresinden erişildi.
14. Yağcı M, Bakır C, "Çin Bilmecesi", Koç Üniversitesi Yayınları, İstanbul, 2019, pp 65-150
15. Statista, " Volume of global casting production from 2018 to 2020 by country, Erişim: 4 Haziran 2022, <https://www.statista.com>
16. Neef C, Hirzel S, Arens M, (2018), Industry 4.0 in the European Iron and Steel Industry: Towards an Overview of Implementations and Perspectives, 07 Haziran 2022 tarihinde <https://www.isi.fraunhofer.de> sitesinden erişildi.
17. Tuğlu M, Endüstri 4.0'ın Alüminyum Döküm Fabrikasında Uygulanması. Yüksek Lisans Tezi, Maltepe Üniversitesi, 2017
18. Anlağan Ö, (2011), Temel Ar-Ge ve Yenilik Kavramları, 08 Haziran 2022 tarihinde https://www.emo.org.tr/ekler/16f6ef816065168_ek.pdf sitesinden erişildi.

GREEN SAND SYSTEM GLOBAL BEST PRACTICES: “Sand-SOFT” FOR PROACTIVE GREEN SAND ADDITIONS: A TOOL TOWARD FOUNDRY 4.0

Patrick VERDOT
MTI-Amcol minerals Europe – Paris

ABSTRACT

With a new global approach for optimising green sand process efficiency, a new area that can be of help is: Using calculation software that anticipates the additives quantities needed, based upon the production parameters.

Using calculation software that anticipates the type and volume of additives needed to maintain balance in a green sand system includes a description of “tailor made” excel tools for each interested foundry. Brief case studies showing various and specific additive additions methods, such as daily additions or pattern-based additions are provided.

It is one of the steps to tend for a foundry 4.0: Modern High-Pressure moulding equipment used in today’s foundries has seen the need for increased focus on the quality and control of the green sand system.

Key words

Foundry 4.0, green sand performance, additives addition anticipation, consumables (bentonite, natural bentonite, sodium, calcium, coal dust, carbonaceous additive, water, new sand, core) proactive regeneration, optimisation of sand balance, sand control, changeover calculation, compensation, casting defect reduction, casting quality, cost effectiveness.

1. INTRODUCTION

Although, it is a capital decision to select the right products to obtain an optimal green sand, it is also important to consider making adaptations to the addition of consumables based upon the production parameters. At the same time, dedicated training for the best possible technical expertise is needed for foundrymen to optimise green sand parameters and, consequently, casting quality.

Modern High-Pressure moulding equipment used in today's foundries has seen the need for increased focus on the quality and control of the green sand system. The sand system needs to satisfy the demands of the moulding machine type, as well as the properties to produce high quality castings. The sand properties need to be closely controlled and consistent to achieve this outcome.

This part will explore the methods and tools that can be used to become more proactive and to better monitor the green sand system to achieve optimum casting quality and cost effectiveness.

Review of the best practices to monitor green sand: parameters classifying, return sand quality, sand regeneration rules, new sand preparation, stability of the sand quality, and anticipation to maintain balance. Most of the time, green sand is not really controlled, and the final quality of green sand is more the consequence of the sand dilution cycle after cycle. Reconsider your own parameters and the best products to better control your sand plant and your casting quality:

To maintain the balance of green sand: Green sand will be consistently modified during the cycles of preparation, usage and new preparation. However, the main objective of the foundryman will be to maintain the best sand consistency.

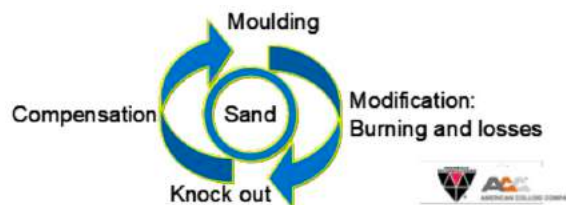


Figure 2 : Maintain the sand balance

2. PROGRAM AND CONDITIONS:

2.1. Choosing the most adequate products:

Concerning the best choice of green sand additives, it is important to repeat that each sand plant is unique, and that the ideal solution is often one that is tailor made for a defined sand plant.

The selection of the right bentonites blends and the right carbonaceous products is a fundamental to creating the best initial conditions for good castings quality.

First, a reminder concerning the main roles of bentonite and carbonaceous additives will help the global understanding:

The role and function of bentonite

Bentonite has the unique capability of expanding in the presence of water and contracting in the absence of the same. This is due to the structure of the clay which consists of tactoids of 20-80 individual platelets

Bentonite performs several significant roles in a foundry application:

- When hydrated with water it forms a plastic slurry which, when coated around sand grains, acts as a binder.
- It forms a clay envelope around sand grains which acts as a cushion to absorb the expansion of silica sand.

- It is resistant to the forces created during metal pouring
- After metal pouring, it forms an additional binder, thanks a sintering property. This will provide some ceramic strength. Finally, oolitic layers form around each of the bonded silica grains. Typically, two types of bentonite are used in foundry applications these being:
 - Sodium Bentonite
 - Activated Calcium Bentonite

Calcium bentonite is activated with a soluble sodium salt (sodium carbonate) at approx. 35% moisture in order to exchange calcium ions for sodium ions.

This allows the calcium bentonite to inherit some of the useful characteristics of sodium bentonite namely higher free swell and increased green compression and wet tensile strengths. The role and function of the Carbonaceous additive in green sand and the reasons for their usage are as follows

- To reduce metal penetration and sand erosion
- To absorb excess moisture in sand
- To control moisture loss in sand both before and after mould production
- To allow more flexible sand by obtaining better and more stable strength characteristics
- To compensate for the thermal expansion of sand grains
- And to help mould shakeout by obtaining better separation at the mould/metal interface

While there are many ways to classify carbon additives, one way is to classify them by function. As such, there are four primary functions of carbon additives:

- First, there are carbons used to prevent metal penetration defects
- Second, there are carbons used to control both moisture loss in sand prior to moulding and moisture migration in moulds during and after pouring.
- Third, there are carbons used to augment the mould bonding characteristics of bentonite
- And fourth, there are carbons used to promote mould stability, reduce the impact of mould dilation and sand grain expansion.

Many of the additives that are applied to green sand production can service more than just one of these roles.

The traditionally accepted roles of coal dust in green sand are the following:

- During metal pouring, coal dust ignites or burns, producing volatile gasses at the mould/metal interface. These gasses generate a reducing atmosphere, thereby preventing the oxidation of liquid metal.

- Gas pressure from burning coal creates a pressure balance within the mould by countering the pressures created by the filling of the mould with liquid metal. This reduces the likelihood of metal penetrating into the wall of sand.

During the initial heating of the mould, coal dust softens, compensating for sand grain expansion which occurs above 550 degrees Celsius.

Volatile gasses that are generated during coal burning condense and deposit a film of lustrous carbon on the sand surface. This lustrous carbon prevents the wetting of a sand grain by liquid metal and helps to prevent penetration of metal between grains of sand in the mould wall.

2.2. Consistent program and conditions:

For one single cycle and for defined and known sand, it seems to be easy: - To estimate and measure modifications during each cycle

- To calculate the compensation to be done to maintain the sand quality.

If the casting program is stable and presents similar castings, or if the castings have similar weights, thicknesses and core input, then it is relatively easy to calculate the right addition of each raw material to maintain the sand quality.

However even with such a program, where compensations seem easy, we may see slow varia-

tion of the sand due to the repetition of the cycles and due to minor parameter variations, such as the variation of time between the pouring and knock out stages.

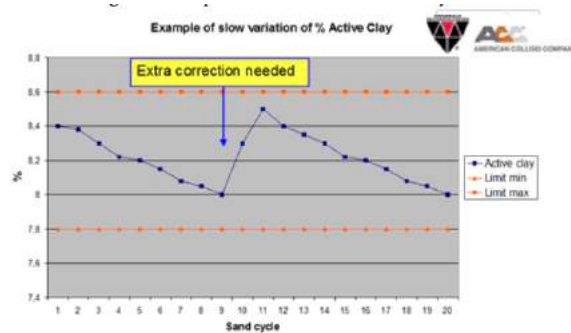


Figure 3 : Example of slow variation of active clay

Then, the solution is to make an additional correction when needed. In this case, we can consider that we control the green sand as long as our sand stays within agreed acceptable tolerances.

2.3. Inconsistent program and conditions

In fact, a moulding program is rarely very stable; it is common to have variations, such as: - 0 % to 10 % of cores (calculated on sand prepared)

- “Sand/ metal” ratio multiplied by 5 or divided by 5 between 2 production series.

These differences are now difficult to control and to compensate: -Burning ratio of clay and sea coal are different

-Grain distribution of cores may vary with the process and may be different than those from green sand.

-Sand temperature may not be driven (or controlled), especially if the sand plant does not include any efficient sand cooling unit.

Other parameters can influence these differences:

For example:

-Inconsistent return sand because the first sand IN may not be the first sand OUT.

-A large core may remain completely in the green sand system or, to the contrary, it may remain with the casting until shot blasting.

-It is also possible that the casting retains too much green sand, creating excessive sand losses and an additional need of regeneration.

In reality, if we look at existing foundries and we control the green sand used, most of them can maintain, more or less, an acceptable green sand quality.

We should understand that this is possible because green sand is very tolerant, allowing quite a wide range of values.

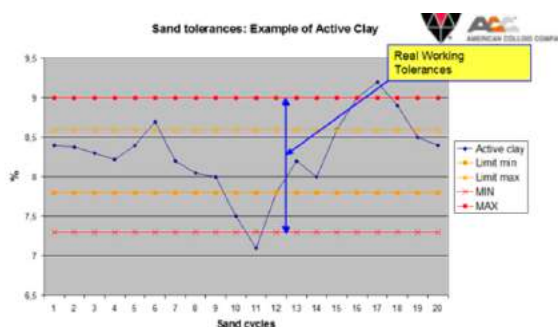


Figure 4 : Example of slow variation of active clay

It would be unusual for green sand to rapidly deteriorate to the point where it is no longer possible to regenerate it. This is especially true when even a minimum amount of control is employed. Here important questions for foundrymen are:

- Is the situation good enough?
- Do we really control (and monitor) our green sand?
- Is our green sand optimised?

2.4. Each sand plant corresponds to one sand:

A lot of fixed parameters will drive each sand to a unique and defined composition after dilution.

The consequence is that each sand is specific at the end and none of them is really the same as another (even for 2 sand plants in the same foundry and producing the same type of castings). Example: to illustrate this comment, this next graph shows typical differences concerning active clay and depending on sand plant and foundry type.

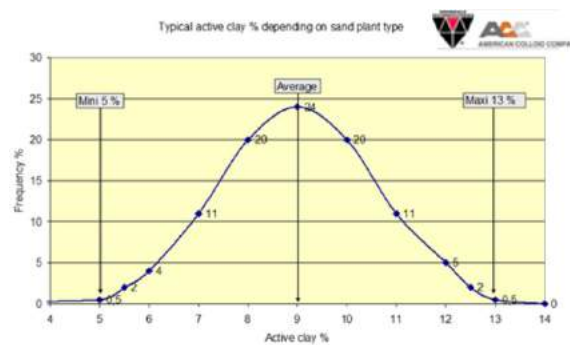


Figure 5 : Typical active clay depending on sand plant type

Then the question for a foundrymen is not to know if his laboratories values (LOI, VCM, active clay, total clay, green compression, etc.) are acceptable compared to another foundry, but to know if they are optimised for his own sand plant.

2.5. To monitor sand means to maintain balance of the green sand

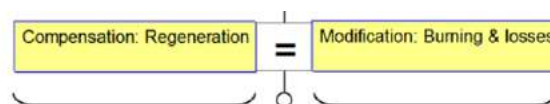


Figure 6 : Maintain balance of the green sand:

A survey should include the determination of the system changeover speed; this specific analysis is needed to allow the best possible forecast of each modification, trial, or adjustment in the sand system.

Each sand plant will follow different changeover speeds corresponding to Sand, coal dust and clay.

We need to find the best solution to compensate variations in the sand and this means that we should take into account following factors:

- I) Materials burnt out from molten metal
- II) Sand input and dilution from cores and other external additions
- III) Losses (sand, clay, coal, dust...) at different stages of the system.

2.6. Regeneration calculation for green sand

References data:

MCa = Metal cast

NeS = New Sand introduced (excepted cores) CoS = Core sand (entering in the green sand)

NST = New Sand Total (NeS + CoS)

Clay = clay introduced

Additive = Carbonaceous Product introduced

Coefficient to be calculated or deducted for each sand plant:

C1 = Percentage of "New Sand Total" against "Metal Cast". Typically, 8 to 25 % depending on sand plant

C2 = Percentage of "Clay" against "Metal Cast"

Corresponds to burning ratio of the clay and needs to be deducted

C3 = Percentage of "Clay" against "New Sand Total Typically 6 to 10 % depending on sand plant and active clay

C4 = Percentage of "Additive" against "Metal Cast"

Corresponds to burning ratio of the additive and needs to be deducted

C5 = Percentage of "Additive" against "New Sand Total" Typically 3 to 7 % depending on sand plant.

The 3 basic calculations are:

$TNS = (MCa \times C1)$

$Clay = (MCa \times C2) + (NST \times C3)$ $Additive = (MCa \times C4) + (NST \times C5)$

Concerning C2 and C4, they represent "BURNING ratio" of clay and of carbonaceous additive. The calculation can be deducted according to real consumption of the plant.

Coal dust utilisation balance					
Coal dust addition		Total	Lost in sand reject	Lost in fines reject	burned in mould
Coal addition / metal poured	Kg/ Tcast	19.0	6.3	4.8	8.0
Bentonite utilisation balance					
Bentonite addition		Total	Lost in sand reject	Lost in fines reject	burned in mould
Clay addition / metal poured	Kg/ Tcast	59.0	14.0	10.1	34.9
		INPUT	OUTPUT		
		ADDITION	WASTE		BURNING

Figure 7 : example of utilisation balance of clay and coal

3. ANTICIPATION TO MAINTAIN BALANCE OF GREEN SAND

Method to better anticipate new products additions in green sand. The SandSOFT method includes following steps:

3.1. Initial study:

- Calculation of regeneration rules of the plant. Mass balance of products IN and OUT
- Survey to identify specific aspects of the sand plant involved
- Define Changeover speeds of sand, clay and coal of the system
- Check and calculate other addition in the sand (cores, feeders, etc.)
- Identify addition rules according to casting types, new sand and cores entering in sand and quantity of metal cast.

3.2. Rules to anticipate the additions of consumables:

- Apply addition rules according to casting program or to pattern and adapt (up or down) during a learning phase
- Control return green sand variation between cycles
- Apply additional correction if necessary.

3.3. Expected consequences and benefits:

The only remaining parameters to be controlled for each mixer are moisture level and compactability. These can be done with an automatic Roto-Control (RTC).

- Return sand will be more stable

- Less variation of Active Clay, VCM and LOI and therefore less consumption
- Example concerning Active clay: see below

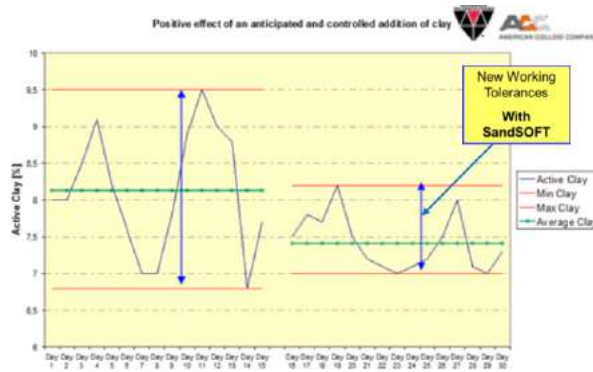


Figure 8 : positive effect of anticipated addition of clay

4. ADDITIVES ANTICIPATION TOOLS: Examples of SandSOFT versions

Better control and anticipation of sand quality leads logically to an improved CASTING Quality. As the condition and control of a greensand system impacts on the quality of castings being produced, it is of vital importance that the foundry has an intimate understanding of its system and endeavours to control all of these aspects. This will ensure that consistent predictable results are always maintained. Many foundries that have adopted this approach to controlling their sand systems, enjoy the benefits of a consistent, predictable sand system, such as improved quality, reduced consumption of raw materials, and an overall improved understanding of the equipment and maintenance required.

As the sand system is an ever-changing entity within the foundry, its study, measurement and control must be constant and ongoing activities, if continuous improvement is to be ensured.

4.1. Example1

Example 1 showing a specific calculation table allowing to anticipate the necessary additions of additives for each daily production program.

Figure 9: Regeneration calculation for green sand: daily addition (input page)

data for daily INPUT		INPUT	INPUT	
Date: 18/08/2020 - 3 shifts A/B/C	unit	data	data2	Remarks
PRODUCTION DATA for next day				
Regeneration "TNS"	kg/ T LM	127		Target 125 to 135?
Regeneration "TNS"	%/ Sand	1.34%		Target 1.2 to 1.5 ?
Liquid Metal (LM)	kg	233229		realistic planing for the day
quantity of return sand per mixer	kg		5000	set at sand plant
nb of moulds produced	(nb)	2463		realistic planing for the day
cores introduced in moulds	kg	9135		realistic planing for the day
cores entering in green sand			70%	according to stat "DEC 2018"
New Sand addition per Mixer	kg	52.0		To be decided according to TNS regeneration target
extracted dust per day	kg		9600	according to stat "DEC 2018"
extracted dust reintroduced	kg/ day	7500		only if dust from extraction units are reintroduced
typical LOI in in extracted dust	% target		19.2	according to stat "DEC 2018"
typical Active Clay in extracted dust	% target		21.0	according to stat "DEC 2018"
LABORATORY Target and real				
Target LOI	%	6.0		target
Real measurement of LOI	%	5.8		real lab control
Target Active Clay	%	9.0		target
Real measurement of Active Clay	%	9.2		real lab control

Figure 10: Regeneration calculation for green sand: daily addition (print page)

Client WWW MTI-Arnco		Regeneration program anticipation		Date: 18/08/2020 - Shifts A/B/C																
		Page for daily PDF print																		
Addition Coal part		Addition BENTO																		
according LOI in green sand and daily production program		according Active Clay in green sand and daily production program																		
<table border="1"> <tr><td>Target LOI</td></tr> <tr><td>6.0 %</td></tr> <tr><td>real mesurment LOI</td></tr> <tr><td>5.8 %</td></tr> <tr><td>Calculated addition according pouring program</td></tr> <tr><td>12.7 kg / mixer</td></tr> <tr><td>corrected addition</td></tr> <tr><td>13.4 kg / mixer</td></tr> </table>		Target LOI	6.0 %	real mesurment LOI	5.8 %	Calculated addition according pouring program	12.7 kg / mixer	corrected addition	13.4 kg / mixer	<table border="1"> <tr><td>Target Active Clay</td></tr> <tr><td>9.0 %</td></tr> <tr><td>real mesurment Active Clay</td></tr> <tr><td>9.2 %</td></tr> <tr><td>Calculated addition according pouring program</td></tr> <tr><td>24.4 kg / mixer</td></tr> <tr><td>corrected addition</td></tr> <tr><td>23.6 kg / mixer</td></tr> </table>			Target Active Clay	9.0 %	real mesurment Active Clay	9.2 %	Calculated addition according pouring program	24.4 kg / mixer	corrected addition	23.6 kg / mixer
Target LOI																				
6.0 %																				
real mesurment LOI																				
5.8 %																				
Calculated addition according pouring program																				
12.7 kg / mixer																				
corrected addition																				
13.4 kg / mixer																				
Target Active Clay																				
9.0 %																				
real mesurment Active Clay																				
9.2 %																				
Calculated addition according pouring program																				
24.4 kg / mixer																				
corrected addition																				
23.6 kg / mixer																				
DUST addition		New Sand addition																		
according targets and daily production program		according targets and daily production program																		
<table border="1"> <tr><td>Introduction</td></tr> <tr><td>17.8 kg / mixer</td></tr> </table>		Introduction	17.8 kg / mixer	<table border="1"> <tr><td>Introduction</td></tr> <tr><td>52.0 kg/box</td></tr> </table>			Introduction	52.0 kg/box												
Introduction																				
17.8 kg / mixer																				
Introduction																				
52.0 kg/box																				

4.2. Example 2

Example 2 showing a specific calculation table allowing to anticipate the necessary additions of additives per type of moulds:

Figure 11: Regeneration calculation for green sand – pattern groups wise

XXX LINE MOULDING SAND CONTROL DATA								Metalcasting	
Product Mix Details - Moulds Poured	Average Pouring weight / box	Average core weight / box	Avg. S:M Ratio	Maxi-carb	Coal Dust	Bento	Dust		
				kg/ mix	kg/ mix	kg/ mix	kg/ mix		
Moulds group 1	242	180	7	17	8	15	11		
Moulds group 2	203	92	8	13	6	11	9		
Moulds group 3	303	204	6	18	9	16	13		
Moulds group 4	201	137	8	15	7	13	10		
Average Target			6,8	16,00	7,00	14,00	10,00		
Active clay in system sand (%)	Target	3,5	Real lab	9,2					
LOI in system sand (%)	Target	5,6	Real lab	6,3					

4.3. Example 3

Example 3 showing a specific calculation table allowing to anticipate the necessary additions of additives according to each pattern:

Figure 12: Regeneration calculation for green sand - pattern wise

ZZZ LINE MOULDING SAND CONTROL DATA													Metalcasting SandSOFT	
Print Date: 18/09/2020	Product Mix Details - Moulds Poured - (Version XX - 17/06/2019)	Pouring weight / box	Core weight / box	Avg. S:M Ratio	New Sand / Box	New Sand/ Mixer	Maxi carb	Indian Coal Dust	Indian Bento	Dust NA	total Bento	total Coal	TOTAL	
Group		kg/ box	kg/ box		kg/ box	kg/ mix	kg/ mix	kg/ mix	kg/ mix	kg/ mix	kg/ mix	kg/ mix	kg/ mix	
Pattern 1	CI	80.00	40.00	7.4	3.2	13	23	6.1	8	6.0	19.3	17.6	36.9	
Pattern 2	CI	74.30	20.13	7.4	3.0	12	18	4.8	6	6.0	15.3	13.9	29.2	
Pattern 3	CI	102.00	76.50	4.6	4.1	17	33	8.7	11	6.0	27.8	25.4	53.3	
Pattern 4	CI	98.00	0.00	6.3	3.9	16	17	4.4	6	6.0	14.0	12.8	26.8	
Pattern 5	CI	91.76	60.00	5.8	3.7	15	29	7.5	10	6.0	23.9	21.9	45.8	
Pattern 6	CI	105.00	65.10	5.0	4.2	17	31	8.2	10	6.0	26.1	23.9	50.0	
Pattern 7	SG	102.57	1.50	6.0	4.1	17	18	4.6	6	6.0	14.7	13.4	28.1	
Pattern 8	SG	150.00	15.00	4.1	6.0	24	26	6.8	9	6.0	21.6	19.7	41.3	
Pattern 9	SG	118.00	0.00	5.0	4.7	19	19	5.0	6	6.0	15.9	14.5	30.4	
Pattern 10	SG	120.00	1.00	5.0	4.8	19	20	5.1	7	6.0	16.3	14.9	31.1	
Pattern 11	SG	110.00	2.50	5.4	4.4	18	19	4.9	6	6.0	15.6	14.2	29.8	
Pattern 12	CI	100.00	2.50	5.4	4.0	16	18	4.6	6	6.0	14.6	13.4	28.0	
Average all patterns					4	17	22	6	7	6.0				
average (meth)		104.3	23.7		4.2						18.7	17.1		
JAN-MAR 2019-Reference & real TARGETS		91.2	24.5	8.5	3.1	12.5	21.0	5.5	7.0	6.0	17.5	16.0		
Corrected addition vs Lab cont						12.5	21.0	5.5	7.0	6.0	17.5	16.0	33.5	
								Bento%	50%					
Active clay in system sand (%)	Target	3,5	Real lab	9,2										
LOI in system sand (%)	Target	5,6	Real lab	6,0										

5. CONCLUSION:

As a first rule, the right selection of additives, depending upon each foundry's characteristics, is essential to achieving optimal sand quality for the production of green sand castings. The experience shows that an addition of the right proportion of sodium bentonite and activated calcium bentonite associated with the usage of the right selected coals is extremely beneficial for most of the casting production parameters.

As shown previously, it can be interesting to optimize the process by anticipating the potential quality deviation of the green sand. This generally includes the development of modern rules that can anticipate the additions of consumables either by a daily casting program or by accounting for each pattern in production. These methods will insure the stability and the reproducibility of green sand parameters. It will be one of the steps to tend for a foundry 4.0. In summary, implementing this program of anticipated material additions to achieve and maintain sand system balance will lead to a more consistent, predicable sand system. Improved casting quality

Improved efficiency of raw materials

An overall improved understanding of the sand system equipment and its required proactive maintenance.

REFERENCES

1. Dr F.Hofmann – Le circuit de sable de moulage en fonderie et son influence sur les composants du sable - Hommes et Fonderie N°53 Mars 1975.
2. G.A. Smiernow, E.L. Doheny, J.G. Kay ; Bonding Mechanisms in Sand Aggregates, AFS Transactions 80-91
3. C. A. Sanders and R. L. Doelman Clay technology parts 1-3 afs transaction 1967
4. ASTM testing publications ASTM E1131, ISO 11358
5. D.Hentz, E. Olson. Synergistic reactions of various clay types and their foundry molding sand performance in the presence of a flowability enhancer. AFS transactions 98 (1990) 71-83
6. D. Chowdhary. Greensand management- role and application of carbonaceous additives and total carbon in a green sand system. 68th WFC (2008) pp127-132
7. G. Thiel, S. R. Giese, V. Lasacco, J. Darlington, M. Van Leirsburg, Effects of Causticized Lignite (Flo-Carb®) on Mold Gas Emissions in Green Sand Systems AFS 2004
8. D Hentz, E. Olson. Synergistic reactions of various clay types and their foundry molding sand performance in the presence of a flowability enhancer. AFS transactions 98 (1990) 71-83
9. D Boenisch, Casting surfaces improved by water desalination, Giesserei vol66 1979
10. F Hofmann Property changes and conditioning of repeatedly circulating foundry sand systems AFS transactions 1993
11. J. Thiel, M.Ziegler, P. Dziekonski, S. Joyce, Investigation into the technical limitations of silica sand expansion. AFS transactions paper 07 2007
12. J Roberts, J Howden, Intercast and Forge-Greensand casting quality improvement from theory to practice AFI Expo 2009
13. P Verdot, M Van Leirsburg, Advanced E-learning Training technologies for green sand practice and control. WFO 2014

CNC ÜRETİM, TAKİP VE VERİMLİLİK YAZILIMI KAPASİTEMATİK' IN İŞLETMELERE SAĞLAYACAĞI FAYDALAR

Yalçın PASLI, Özer Cem KELAHHMET, Muhammet BOZKIR

Tezmaksan Makina Sanayi ve Ticaret A.Ş., Bayrampaşa, İstanbul, Türkiye

ÖZET

Endüstri 4.0, modüler yapıllı akıllı fabrikalarda, fiziksel işlemleri siber-fiziksel sistemler ile izleyerek, nesnelerin birbirleriyle ve insanlarla iletişime geçmesini ve bu sayede de merkezi olmayan kararların verilmesini hedeflemektedir. Endüstri 4.0'ın amacı insandan arındırılmış bir fabrika değil, daha çok bilgi teknolojileri kabiliyetlerinin kullanımıyla insan odaklı, bütün paydaşlara katma değeri yüksek organizasyonu oluşturmaktır. Teknoloji kabiliyetleri ile ilgili olarak makinelerden veri alınması önemli bir husus olup, 2010 yılından itibaren imalatı yapılan tezgâhlarda bu husus göz önünde bulundurulmakla birlikte, mevcut tezgâhlarda veriye yönelik herhangi bir alt yapı olmaması ve tezgâh parkurunun kısa sürede yenilenememesi bir sorun teşkil etmektedir.

Tamamen Tezmaksan mühendisleri tarafından geliştirilen Kapasitematik yazılımı, tezgâhın yaşından bağımsız herhangi bir insan faktörü olmadan tezgâha ait çalışma verilerini alıp, işletmenin ihtiyacına yönelik raporları anlık olarak üretmekte, kapasite, verimlilik, operatör performansı, duruş sürelerinin kısaltılması veya sebeplerinin araştırılarak giderilmesi konusunda işletmelere faydalar sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler; CNC Verimlilik, Üretim Takip, Veri Analizi, OEE Analizi, Endüstri 4.0

1. GİRİŞ

CNC Üretim, Takip ve Verimlilik Yazılımı olan Kapasitematik, makina verimliliğini analiz eden, hata ve problemleri anlık geri bildirim yaparak kullanıcıya raporlayan ve hatasız üretim çözümleri sunan bir sistemdir.

Makinelerin günlük çalışma sürelerinin yanı sıra özellikle duruş sürelerinin; arıza, hazırlık, yükleme/boşaltma, mola vb. alt kategorilerde raporlanması ise bu analizin daha hedefe yönelik veriler sunmasını mümkün kılar.

İşletme yönetimi açısından veri kavramı şu şekilde tanımlanmaktadır. İşletme yönetiminde veriler fiziksel ve parasal hareketlerin kaydedilmesi, izlenmesi ve yönetim kararlarının verilmesi için kullanılmaktadır. Denetim ve karar verme süreçlerinin etkinliği bakımından, işletmecilikte veri kalitesi önemli bir yer tutmaktadır. Veri kalitesi, en genel anlamda, kaydedilen verilerin güvenilir ve kullanılabilir olması demektir. Kaliteli veriler ait oldukları kişi, nesne ve olguları geçerli bir biçimde betimlemektedir. Bu bakımdan veri kalitesi, verilerin temel oluşturduğu kararlarla ve karar vericilerle ilişkili bulunmaktadır.

Verilerin geçerlilik derecesi bir ölçüde kullanım amacına bağlı olduğundan, veri kalitesi değerlendirmeleri için kullanılan ölçütler nesnel olabildiği gibi öznel de olabilmektedir.[5] Yüksek veri kalitesi, başta kurumsal zeka uygulamaları olmak üzere, kurumsal kaynak planlaması, müşteri ilişkileri yönetimi, performans yönetimi, tedarik zinciri yönetimi ve elektronik ticaret çözümlerinin de başarısına olumlu katkıda bulunmaktadır. Buna karşın, özellikle satış, lojistik ve muhasebe operasyonlarında düşük veri kalitesinin yol açtığı aksaklıklar tepe yönetimlerinin dikkatinden kaçtığına ise, işletmeler açısından ciddi para ve itibar kayıpları söz konusu olabilmektedir. (Wikipedia)

Makineler, bilgi ve teknolojinin somutlaşmış şeklidir. Takım Tezgâhları; otomotiv, savunma, havacılık, medikal gibi kritik sektörler başta olmak üzere sanayi ürünleri ve imalat sanayinin tüm sektörlerinde katma değeri yüksek teknolojiler üretmek için kullanılan “Temel Yatırım ve Üretim” makineleridir. Takım Tezgâhları sektörü, ülkelerin gelişme sürecinde stratejik öneme sahip olan ve temel üretim makinesi olması ile girdi sağladığı sektörlerin üretim becerilerini belirleyerek ekonomik gelişmede çarpan etkisi yaratan bir sektör niteliğindedir.

Prof.Dr. Murat Yülek tarafından yazılmış olan “Ulusların Yükselişi “ kitabında, sanayinin 2. Evresi tanımında ithal edilen makine parkurunun tamir edilip çalıştırılmasının yanı sıra makine parkının verimli kullanılabilmesinin de gerekliliği belirtilmiştir.

Türkiye, ithalat ile birinci evreyi tamamlamakla birlikte, ikinci evrede tamir ve satış sonrası hizmetlerde belli bir yetkinliğe ulaşmasına rağmen verimlilik konusunda yeterince yol alamamıştır. Gelişmiş ülkelerde olduğu gibi Türkiye’de İmalat sanayi firmalarının % 95’i KOBİ’lerden oluşmaktadır. İmalat sanayindeki lokomotif süreçlerden birisi olan talaşlı imalatla ilgili olarak, firmaların büyük bir kısmı bir talaşlı imalatla ilgili herhangi bir veri oluşturmadığı gibi, mevcut kapasitelerini öngörememekte, herhangi bir planlama yapılmadığı için yatırım kararları anlık ihtiyaçlara paralel gerçekleşmektedir.

Yatırım maliyetlerinin rekabet edilen ülkelere göre yüksek olması sebebi ile sahip olunan tezgâhlar uzun süre işletmelerin elinde bulunmakta, ayrıca işletmelere sağlanan ayrıcalıklarla yurt dışından kullanılmış tezgâhların getirilmesinin yolunun da açılması sureti ile makine parkurunun yaş ortalaması büyümektedir. Avrupa’da 8-10 yıl olduğu düşünülen takım tezgahları yaş ortalamasının Türkiye’de 18-20 aralığında olduğu tahmin edilmektedir. Kısa sürede yaş orta-

lamasının düşülmesinin beklenmediği bir ortamda, günümüzün en önemli kaynaklarından birisi olan verinin mevcut tezgâhlardan alınabilmesi bir sorun teşkil etmektedir.

2. VERİ ALMA PROGRAMI, KAPASİTEMATİK

Tezmaksan Makina AR-GE ekibinin geliştirdiği yazılım programı Kapasitematik ile işletme sahipleri internet olan her ortamdan takım tezgahlarından alınan verileri, anlamlı bir hale getirerek işletme sahiplerine, yöneticilerine rapor sunduğu gibi anlık olarak da çalışma verilerinin izlenebildiği bir yazılım programıdır. Tezgahın yaşına bağlı olmadan, kontrol sistemi üzerinden ,operatörden bağımsız uzaktan erişim yapılarak anahtar öneme sahip tezgah verileri bir merkezde toplanarak anlamlı raporlara dönüştürülmektedir. Yazılımın sahip olduğu yeteneklerle CNC Takım tezgahı kullanıcıları ve işletmeleri, mevcut makinalarını ölçerek tarihsel trend analizlerini görebilmekte ve buna göre iyileştirilmesi gereken çalışmalar verilere bağlı olarak yapılabilir.

2.1 KAPASİTEMATİK İLE ALINABİLEN VERİLER PLANLI&PLANSIZ DURUŞ TAKİPLERİ:

İşletmelerin için en kritik sorunlardan birisi tezgahlarda yaşanan plansız duruşlar olup, yapılan çalışmalarda plansız duruşların üretimde % 25-35 aralığında kayıplara neden olduğu öngörülmektedir. İşletmelerdeki verilerin yetersiz olması, duruşlarla ilgili nedenlerin araştırılması ve buna göre çözüme ulaştırılması konusunda yetersiz kalmaktadır. Kapasitematik ile tezgahın ne zaman durduğunu, ilgili duruşun planlı veya plansız duruş olduğunu raporlayarak işletmeler duruş sebeplerini ortadan kaldırmak veya azaltmak amacı ile detaylı veriler sağlanmaktadır.

ÜRETİM VERİLERİ:

İşletmelere özel geliştirilen raporlamalar ile günlük OEE analizi hazırlanabilir, ilgili raporlar haftalık ve aylık raporlara da oluşturabilir.

Raporlama Analizi özelliği ile seçilen tarih aralıklarında geriye dönük makina performansını inceleyebileceğiniz gibi, mobil uygulama ekranı ile anlık olarak da ilgili çalışmayı yapabilirsiniz.

OPERATÖR ANALİZİ :

Operatör Kullanıcı Analizi` grafiğinde, operatörlerin verimlilik yüzdeleri gösterilmektedir. Tanımlanan operatör bazında yüzdelik dilimin hangi operatöre ait olduğunu, operatörün resmi, tarihi ve verimlilik yüzdesi gösterilmekte olup, alınan veriler dahilinde operatörlerin eğitim eksiklikleri giderebildiği gibi, ücret ayarlamalarında işletme sahipleri için objektif verilerin bulunması kolaylık sağlamaktadır.

OPERASYON HACMİ:

Tezgâhların toplamda işlediği parça sayıları verilmekte olup, görsel olarak da parça üretim adetleri ekranda görülebilir. İlgili raporun detayında tezgâh markası, parça sayısı, program numarası, program detay, takım numarası, operatör ismi ve operatör resmi gibi veriler gösterilebilmektedir.

2.2 DİĞER BAŞLIKLAR

ŞİRKET PROFİLİ OLUŞTURMA:

Şirket profili sayfasında işletme ile ilgili bilgiler görüntüleyebilir, ayrıca makine sayısı, operatör sayısı, OEE değerleri görüntüleyebilmektedir.

OPERATÖR TANIMLAMA:

Operatör tanımlama sayfasında formda bulunan bilgileri doldurarak operatör tanımlaması yapabilmekte, mevcut operatörlerin listesi görüntülenmektedir.

OPERATÖR ATAMA :

İlgili ekranda operatörleri makineye atama ve düzenleme işlemleri yapılır. Atanan operatör ve makinelerin listesi de bulunmaktadır. Liste üzerinden silme ve düzenleme işlemleri de yapılabilmektedir.

QR İLE OPERATÖR ATAMA:

Oluşturulan operatör QR kartları ile operatör atama işlemi kolaylıkla yapılabilmektedir. DURUŞ

TİPİ TANIMLAMA:

Planlı ve plansız duruşlar tanımlanabilir; duruş saatlerini girip değişiklik yapılabilir. Operatöre göre makinelerde meydana gelen duruşlar görülebilir, duruşun tipini belirlenebilir ve vakit aralığı kontrol edilebilir.

AYAR GİRİŞLERİ:

Operatöre göre duruş süresi, ayar süresi, ayarlar listesi ve açıklamalar kontrol edilebilir.

HURDA PARÇA GİRİŞLERİ:

Tezgâh üretiminden hurdaya çıkan parçanın; makine ismi, parça sayısı, vardiya ve zamanı kontrol edilebilir.

DURUŞ TANIMLAMA:

Şirketin öğlen yemeği, molalar gibi planlı duruşları, makine arıza, elektrik kesintisi gibi plansız duruşlar tanımlanır.

TEZGÂH LİSTESİ:

İşletmedeki tezgâhlar tanımlanabilir; ona ait cihaz no, ip numarası, makine ismi, markası gibi bilgiler girilebilir.

MAZERET KAYIT TANIMLAMA:

Oluşan plansız duruşların sebepleri mazeret kayıt tanımlama ile belirtilebilir.

SÖKME TAKMA SÜRESİ:

Makinelerdeki sökme takma süreleri sn cinsinden tanımlanabilir.

PROGRAM TANIMLAMA:

Tezgâhtaki programları tanımlayabilir, program numarasına izin verebilir ve değişiklik yapılabilir. Projenin hedeflenen ölçülebilir çıktıları aşağıdaki gibidir. (kapasite, fiziksel boyut, çalışma koşulları, hız, çeşitli performans değerleri)

- Operatör makineyi doğru kullanıyor mu? Makineyi zorluyor mu?
 - Mola saatlerini aşılıyor mu?
 - Hangi programı seçmiş?
 - Kaç adet üretim yaptı?
 - Kaç adet duruş yaptı?
 - İşlenen Parça Sayısı Nedir
- Özetle Kapasitematik sayesinde;
- Makine Bazlı verimlilik analiz raporu,
 - Genel fabrika analiz raporu,
 - Operatör Bazlı Analiz Raporu,

- Üretim Analiz Raporu,
- Operasyon Süresi Analiz Raporu, Sökme takma süresi Analiz Raporu,
- Verimlilik Analiz Raporu,
- Program Süresi Analiz Raporu gibi raporlara sistem üzerinden 7/24 erişebilme imkanı sağlanmaktadır.

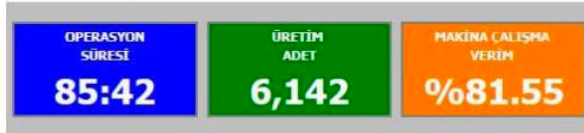
3. UYGULAMALARDAN ÖRNEKLER

Alüminyum Sektöründeki Müşterimiz için Kapasitematik öncesi ve sonrası veriler aşağıdaki gibidir.

09/06/2020 tarihli Kapasitematik öncesi “Operasyon Süresi, Üretim Adedi ve Makine Çalışma Verimi”



09/07/2020 Kapasitematik raporu sonrası “Operasyon Süresi, Üretim Adedi ve Makine Çalışma Verimi”



09/06/2020 tarihli Kapasitematik öncesi Makine verimliliği %70 seviyesinden



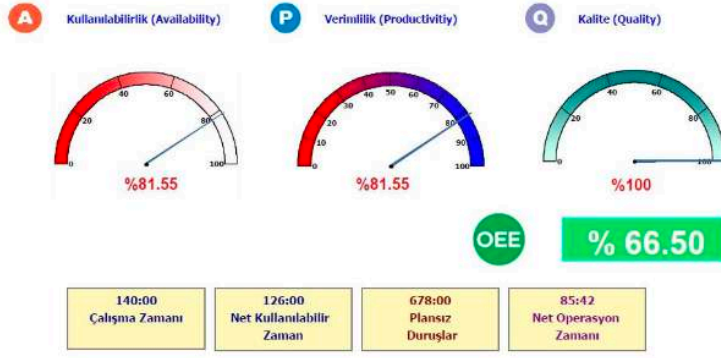
09/07/2020 tarihli Kapasitematik raporu sonrası %80-85 seviyelerine çıktı



09/06/2020 tarihli Kapasitematik öncesi OEE ortalaması %50-%55 iken



09/07/2020 tarihli Kapasitematik raporu sonrası %65-70 seviyesine çıktı.



09/06/2020 tarihli Kapasitematik öncesi 38 duruş adeti var iken

	OPERASYON SÜRESİ	ÜRETİLEN ADET	DURUŞ ADET	DURUŞ SÜRE
MAKİNA/OPERATÖR	55:28	3,015	38	356:00

09/07/2020 tarihli Kapasitematik raporu sonrası duruş adetlerde %50 ye yakın düşüş gözlemlendi

	OPERASYON SÜRESİ	ÜRETİLEN ADET	DURUŞ ADET	DURUŞ SÜRE
MAKİNA/OPERATÖR	85:42	6,142	17	678:00

İş Makinaları Üreten Müşterimiz için Kapasitematik öncesi ve sonrası veriler aşağıdaki gibidir.

18/07/2020 tarihli Kapasitematik öncesi Makine verimliliği %52 seviyesinden

OPERASYON SÜRESİ 42:58	ÜRETİM ADET 916	MAKİNA ÇALIŞMA VERİMİ %52.00
----------------------------------	---------------------------	--

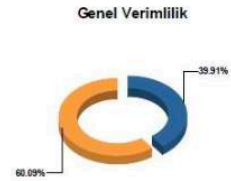
28/07/2020 tarihli Kapasitematik raporu sonrası %65-70 seviyelerine çıkarak %15-20 artış olmuştur.



18/07/2020 tarihli Kapasitematik öncesi genel verimlilik %41 iken,



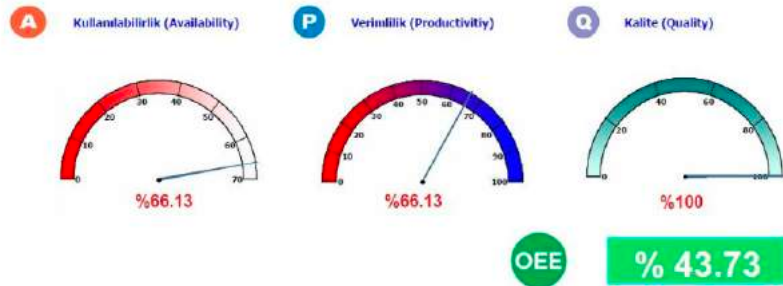
28/07/2020 tarihli Kapasitematik raporu sonrası %60 a çıkarak %20 seviyesine ulaştı.



18/07/2020 tarihli Kapasitematik öncesi OEE ortalaması %25-%35 iken.



28/07/2020 tarihli Kapasitematik raporu ile birlikte %40-45 seviyesine çıktı



SONUÇ :

Yukarıda grafiklerle anlatılan Alüminyum sektöründeki ve İş Makinaları Üreten müşterilerimizin Kapasitematik sonrası sağlamış olduğu faydalar özetle aşağıdaki gibidir.

Alüminyum sektöründeki müşterimiz için;

Arıza duruşları sık olan makinelerin ise bakımların düzenli yapmaları yaptıktan sonra da arıza duruşlarında beklemeler azaldığını gördük. Bu süreçte kayıp edilen duruşların raporlanması sonrasında nerelerde iyileştirmeler yapılması gerektiği konusunda çözümler bulunarak üretime kayıp zamanlar ilave edildi. En çok iyileştirme yapılan kısım ise malzeme beklemeayar değişikliği gibi konular olduğu gözlemlendi.

İş Makineleri üreten müşterimiz için ise;

Müşteri butik üretim yaptığından Kapasite dağıtımında hangi makinelerin boş kaldığını müşteri gözlemleyerek doluluk oranlarını en iyi şekilde yönlendirme sağladı ve %20 verim artışı kaydetti.

Endüstri 4.0'ın önemli başlıklarından birisi olan “veri” yaşına bağlı olmaksızın Kapasitematik yazılımı ile tezgâhlardan alınarak işletme yöneticilerine anlamlı raporlar sağlanabilmekte, bu sayede tezgah verimliliği ile ilgili çalışmalara yardım edebileceği gibi, işletmelerin kapasitelerini de belirleyerek yatırımlar konusunda daha sağlıklı karar alınmasını desteklemektedir. İlgili program işletmeler tarafında satın alınabileceği gibi aylık bedel karşılığında kiralanabilmektedir.

KAYNAKLAR :

Ulusların Yükselişi (Murat Yülek , Kronik Kitap 2019)

<https://tr.wikipedia.org/wiki/Veri> https://www.tiad.org/assets/admin/js/plugins/kcfinder/upload/files/TIAD_2014_SektorRaporu_TR.pdf

<http://akademi.tudoksad.org.tr/congress/view?id=2>

ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ BASINÇLI DÖKÜMÜNDE TRİM KALIPLARI VE TASARIM KRİTERLERİ

Erhan TÜRKMEN^a, Aslan ÇELİK^a, Ali Serdar VANLI^{b,c}

^a *Torun Basınçlı Döküm A.Ş., Tuzla, İstanbul, Türkiye.*

^b *Yıldız Teknik Üniversitesi, Beşiktaş, İstanbul, Türkiye.*

^c *Ascast Müh. San. Tic. Ltd. Şti., Esenler, İstanbul, Türkiye*

ÖZET

Alüminyum alaşımlarından, basınçlı döküm yöntemiyle imal edilen parçalar, salkım adını verdiğimiz yolluk sistemi ile birlikte kalıptan çıkmaktadır. Döküm sonrasında, yolluk sistemi ile parçaların birbirinden uygun bir yöntemle ayrılması gerekmektedir. Bu ayırma prosesine trimleme veya budama adı verilir ve bu işlem trim kalıpları ile gerçekleştirilir. Trim kalıpları, döküm sonrasında parçanın üzerinde bulunan yolluk sistemi, taşma cepleri, hava tahliye kanalları, varsa chillvent ve vakum bağlantı noktaları ile kalıp ayırım hattında oluşabilecek çapakların temizlenmesinde kullanılmaktadır. Döküm sonrası ortaya çıkan salkımdan parçaları hasarsız şekilde ayırmak ve parça üzerinde taşma cebi, yolluk veya çapağın kalmasını önlemek için; trim kalıplarının uygun tasarım kriterleri dikkate alınarak imal edilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, kalıp tasarım kriterleri literatürden edinilen bilgiler ve mevcut tecrübeler ışığında irdelenmiştir. Ayrıca, kalıp tasarım kriterleri ile seçilen trim presin özellikleri, kalıp ile presin uyumlu şekilde çalışması açısından birlikte değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Trimleme Yöntemi, Trim Presleri, Trim Kalıpları, Tasarım Kriterleri

ABSTRACT

Aluminum alloys parts produced by high pressure die casting method eject from the mold with the gating system we call it as cluster also. After casting, the gating system and the parts must be separated from each other by a suitable method. This separation process is called trimming or cutting, and this process is performed with trim molds. Trim molds are used to remove burrs that may occur in the mold separation line, the runner system, overflows, evacuation channels, chillvent and vacuum connection points on the part after casting. In order to separate the parts from the gating system after casting without any damage and to prevent overflows, runner or burr remaining on the part; trim molds should be manufactured by considering appropriate design criteria. In this study, mold design criteria are examined in the light of the information obtained from the literature and current experiences. In addition, the features of the trim press selected with the mold design criteria were evaluated together in terms of the compatible operation of the mold and press.

Keywords: Trimming Method, Trim Presses, Trim Tools, Design Criteria

1. TRİM KALIPLARI ve TASARIM KRİTERLERİ

Alüminyum alaşımlarından, basınçlı döküm yöntemiyle imal edilen parçalar, salkım adını verdiğimiz yolluk sistemi ile birlikte kalıptan çıkmaktadır. Döküm sonrasında, yolluk sistemi ile parçaların birbirinden uygun bir yöntemle ayrılması gerekmektedir. Bu ayırma prosesine trimleme veya budama adı verilir ve bu işlem trim kalıpları ile gerçekleştirilir.

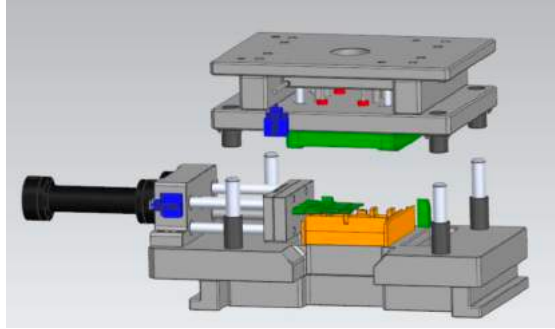
Trim kalıpları, döküm sonrasında parçanın üzerinde bulunan yolluk sistemi, hava tahliye kanalları, varsa chillvent ve vakum bağlantı çıkışları, taşma cepleri, alıştırma yüzeyleri ve kalıp ayırım hattında oluşabilecek çapakların temizlenmesinde kullanılmaktadır.

Trim kalıplarının tasarımı yapılırken, kesme işleminde kullanılacak trim presinin özellikleri de göz önüne alınmalıdır. Dikkat edilmesi gereken önemli unsurlar; presin kesme kuvveti, kolonlar arası mesafe, plaka boyutları, plakalar arası boşluk ve presin strok değerleridir.

Döküm sonrası ortaya çıkan salkımdan parçaları hasarsız şekilde ayırmak ve parça üzerinde taşma cebi, yolluk veya çapağın kalmasını önlemek için; trim kalıplarının uygun tasarım kriterleri dikkate alınarak imal edilmesi gerekmektedir.

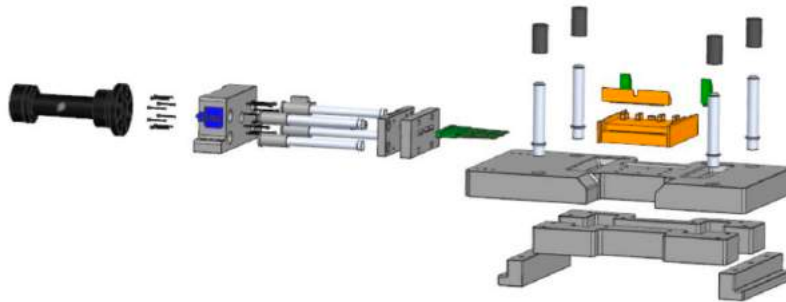
1.1 Trim Kalıbı Bileşenleri

Trim kalıpları metal enjeksiyon kalıplarında olduğu gibi iki ana guruptan oluşmaktadır. Bunları alt grup (yataklama) ve üst grup (kesme) olarak ayırabiliriz (Şekil 1). Alt grup genel olarak yataklama görevini üstlenmektedir. Üst grup ise kesme ve kalıptan çıkarma görevlerini yerine getirmektedir.



Şekil 1 : Trim kalıplarının alt ve üst montaj grubu

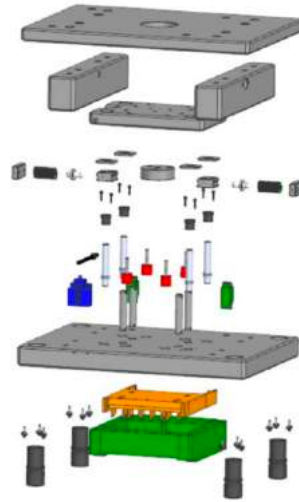
Alt grup adını verdiğimiz kısımda; döküm parçasının oturduğu alt yataklama blokları, alt plaka, yükseltme ve destek takozları, merkezleme kolonları ve stoper dayamaları yer almaktadır. Alt grupta ayrıca hidrolik maçalı kesme veya testere ünitesi yer alabilir (Şekil 2).



Şekil 2 : Trim kalıbına ait alt grup görseli

Döküm hücresinde robot otomasyon sisteminden faydalanıyorsa, trimleme sonrası döküm parçaların üst grupta kalması gerekmektedir. Ancak, döküm hücresinde, robot otomasyon yerine operatör ile trim kalıbına yükleme ve boşaltma yapılıyorsa, bu durumda döküm parçaların trimleme sonrasında alt yataklarda kalması gerekmektedir. Şekil 2’de görseli verilen alt grup için, yükleme ve boşaltma robotik otomasyon ile gerçekleştirilmekte olup, bu sebeple döküm parçalar trim sonrası üst grupta kalmaktadır.

Üst grup adını verdiğimiz kısımda; döküm salkımından parçaları ayıran çevre kesme plakası, zımba grubu, üst yataklama, kesici ve üst bağlama plakası, itici ve sıyırıcı grubu, destek takozları, merkezleme burçları ve stoper dayamaları yer almaktadır (Şekil 3). Üst grupta da yine hidrolik maçalı kesme ünitesi ve elektrikli testere yer alabilir. Ancak Şekil 3’te görseli verilen trim kalıbında sadece hidrolik maçalı kesme ünitesi kullanılmış olup alt grup üzerinde yer almaktadır.



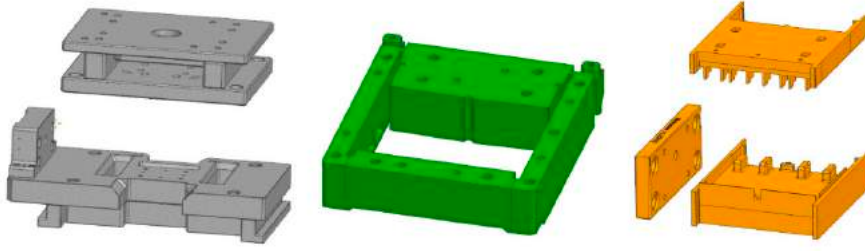
Şekil 3 : Trim kalıbına ait üst grup görseli

1.2 Trim Kalıplarında Kullanılan Malzemeler

Alt ve üst yatak malzemesi olarak genellikle 1.2311 ve 1.2312 takım çelikleri sergiledikleri yüksek tokluk karakteristiği sebebiyle tercih edilmektedir. Bu malzeme 28-32 HRC değerleri arasında ön sertleştirilmiş şekilde temin edilebilmektedir. Bu sebeple, kullanımı durumunda ekstra bir ısıl işlem ihtiyacı ortadan kalmaktadır. Ancak ihtiyaç halinde 46-48 HRC sertlik değerlerine kadar çıkarılabilmektedir [1].

Trim kalıplarının yataklama ve kesme grubu dışında kalan kalıp setinde genellikle 1.1730 soğuk iş takım çeliği malzemesi kullanılmaktadır. Söz konusu malzeme, oldukça tok ve yüksek sertlik değerlerine çıkarılabilen bir çeliktir. Bu malzemeden yapılan bileşenler, kalıbın çerçevesini oluşturmakta ve diğer kalıp bileşenlerinin taşıyıcılığını üstlenmektedir [1].

Kesme ve zımbalama için tasarlanan kalıp bileşenlerinde 1.2379 veya 1.2380 soğuk iş takım çelikleri tercih edilmektedir. Bu malzemenin, sorunsuz bir şekilde çalışabilmesi için 56-60 HRC sertlik değeri ile kullanılması önerilmektedir. Şekil 4’te trim kalıplarında farklı takım çeliklerinin kullanım yerleri şematik olarak gösterilmektedir [1].



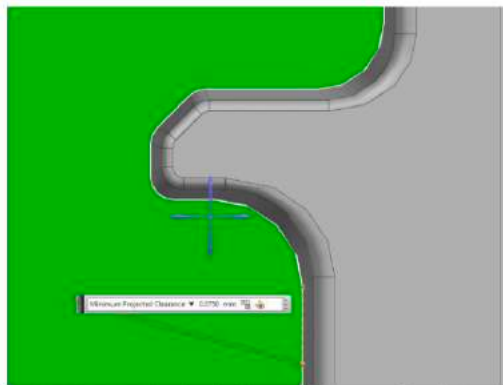
Şekil 4 : Trim kalıplarında farklı takım çeliklerinin kullanım yerleri

1.3 Trim Kalıplarında Tasarım Kriterleri

Trim kalıpları tasarlanırken, öncelikli olarak, kalıbın bağlanacağı presin genel özellikleri göz önüne alınmalıdır. Presin kolonlar arası mesafesi ve tabla boyutları, çalışma stroku, bağlanabilecek maksimum ve minimum kalıp yükseklikleri ile kesme tonajı bilgisi tasarım aşamasında önemli rol oynamaktadır.

Trim presinin, kalıbın boyutlarına ve döküm salkımının rahatlıkla manuel veya otomasyona uygun şekilde yerleştirilebileceği kadar geniş bir kolonlar arası mesafeye sahip olması gerekmektedir. Bununla beraber, dar ve uzun kalıplar, iki kolon arasından geçirilerek presin tablasına yerleştirilse bile, kalıbın uzun kısmı, pres tablasının dışına doğru taşma yapabilir. Bu sebeple, presin alt ve üst tablalarının, kalıbın tüm ölçülerini karşılayacak boyutta olması istenir. Temel özelliklerden bir diğeri de presin strok değeridir. Bu değer, alt ve üst kalıp grubunun birbirinden uzaklaşabileceği maksimum mesafeyi belirtmektedir. Bu mesafenin, dökümden gelen salkımın, alt ve üst gruplar arasına yerleştirilmesine imkan verecek kadar geniş olması gerekmektedir. Son temel özelliğimiz ise presin kesme tonajıdır. Söz konusu kesme tonajı, parçayla salkımı birbirinden ayırabilecek kesme kuvvetinden daha büyük bir değerde olmalıdır.

Çevresel kesme plakası ile parça arasındaki kesme boşluğu oldukça önemli bir tasarım kriteridir. Kesme boşluğu hesaplanan değerden düşük olduğunda negatif koparma yani parçadan eksiltme, yüksek olduğunda ise pozitif koparma yani parçada artma meydana gelmektedir. Kesme boşluğu değeri, kesilecek et kalınlığının ortalama %2 ile 3'ü kadar alınabilir. Örneğin, yolluk girişindeki et kalınlığı 2,5 mm ise kesme boşluğu $2,5 \times 0,03 = 0,075$ mm olmalıdır (Şekil 5). Zımba grubu için boşluk değeri ise teknik resimdeki tolerans miktarı dikkate alınarak verilmelidir. Eğer özel bir tolerans değeri verilmez ise çevre kesici için hesaplanan boşluk değeri kullanılabilir [2].



Şekil 5 : Trim kalıplarında kesme boşluğu

Diğer bir tasarım kriterimiz, ihtiyaç duyulan kesme kuvveti ve buna bağlı olarak belirlenen trim presin kesme tonajıdır. Kesme kuvveti hesaplanırken, kesilecek malzemenin akma dayanımı ve kesilecek bölgenin yüzey alanı dikkate alınmalıdır. Aşağıdaki örnek hesaplamada ihtiyaç duyulan kesme kuvveti yaklaşık 23 ton olarak hesaplanmıştır. Pres tonajı belirlenirken, kesme kuvveti değerinin %25'i kadar güvenlik faktörü eklenmelidir. Bu durumda trim pres için yaklaşık 30 tonluk bir kapasite yeterli olacaktır [2].

T = Trim Kuvveti F = Kesme Kuvveti σ_{AK} = Akma Sınırı A = Kesilecek Alan

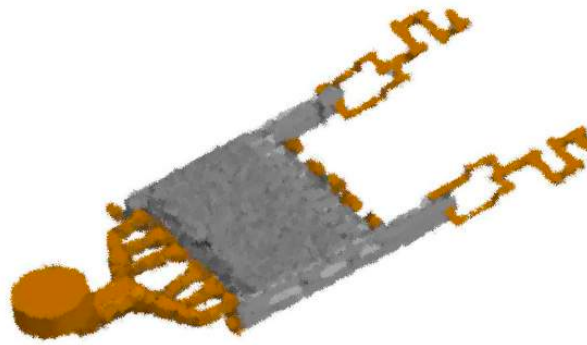
$$F = \sigma_{AK} \times A \text{ [N]} \quad (1)$$

$$T = F \times 1,25 \text{ [N]} \quad (2)$$

$$F = 150 \text{ N/mm}^2 \times 1500 \text{ mm}^2 = 225.000 \text{ N} = 225 \text{ kN}$$

$$T = 225 \times 1.25 = 281.250 \text{ N} = 281,25 \text{ kN} (\sim 30 \text{ ton})$$

Şekil 6'da gösterilen yaklaşık 400x700 mm boyutlarındaki döküm salkımın budanması için trim kalıbının matematiksel ve geometrik hesaplamaları, yukarıda belirtildiği şekilde gerçekleştirilmiştir. Tek gözlü bir döküm kalıbından çıkan parçanın hem çevresel kesimi hem de içsel kısımların temizlenmesi, aynı kalıpta sıralı bir şekilde gerçekleştirilmektedir. Bu kalıp robotik otomasyon sistemine bağlı şekilde çalışmakta olup, budanan parçalar üst kalıp grubunda kalmakta ve trimleme sonrası grubun altına yanaşan tepsiye aktarılarak transfer edilmektedir. Trimleme prosesi esnasında özellikle maçalı kalıplarda, belirli noktalara yerleştirilen sensörler ile parçanın doğru konum ve pozisyonda olduğunun kontrol edilmesi gerekmektedir. Ayrıca üst grubun, alt gruba ilk aşamada hızlı şekilde yaklaşması ve kesimden hemen önce güvenli bir mesafede yavaşlatılarak trimleme işlemini nispeten düşük hızlarda gerçekleştirmesi oldukça önemlidir.



Şekil 6 : Trim kalıbında budanacak tek gözlü döküm salkımı

Trim kalıplarının devreye alınması sırasında, hem sensörlerin doğru şekilde kullanılması hem de parametrelerin optimum değerlerde ayarlanması, kalifiye personel ve tecrübe gerektirmektedir. Eğer sensörler düzgün şekilde kullanılmaz ve parametreler doğru seçilmez ise istenilen kalitede budama işlemi gerçekleşmeyecek ve hatta kalıbımız zarar görebilecektir.

2. TRİM PRESLERİ ve GENEL ÖZELLİKLERİ

Trim kalıplarının tasarımı yapılırken, kesme işleminde kullanılacak presin özellikleri de göz önüne

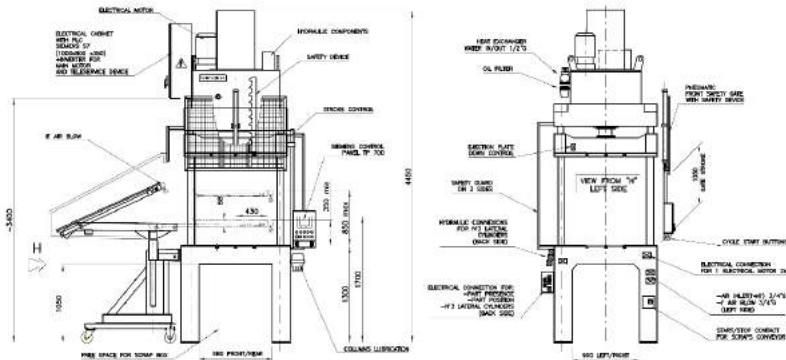
alınmalıdır. Trim preslerinin standart ve opsiyonel olarak belirlenmiş birçok özelliği mevcuttur. Tasarladığımız kalıbın, trim prese ait standart ve opsiyonel tüm özellikler ile uyumlu olması gerekmektedir. Dikkat edilmesi gereken en önemli unsurlar; presin kesme kuvveti, kolonlar arası mesafe, plaka boyutları, plakalar arası boşluk ile presin kesme ve itici strok değerleridir.

Döküm sonrasında, yolluk sistemi ile parçaların birbirinden uygun bir yöntemle ayrılması gerekmektedir. Bu ayırma prosesine trimleme veya budama adı verilir ve bu işlem trim presleri ile gerçekleştirilir. 80'li yıllara kadar trimleme prosesi, döküm sahasından ayrı, farklı bir alanda ve manuel olarak gerçekleştirilmekteydi. 80'li yıllardan itibaren, robot otomasyon sistemlerinin öncüsü olan manipülatör adını verdiğimiz parça tutucuların döküm hücrelerine adapte edilmesi ile trim presleri de döküm makinelerine yakın bir şekilde konumlandırılmaya başlandı. 90'lı yıllarda robot otomasyona geçiş süreci ile birlikte tam otomatik hücre adını verdiğimiz basınçlı döküm hatlarının önemli bir parçasını da trim presleri oluşturmaya başladı.

Günümüzde, tam otomatik döküm hücrelerinde kullanılan trim preslerin standart ve opsiyonel olarak belirlenmiş birçok özelliği mevcuttur. Tasarladığımız kalıbın, trim prese ait standart ve opsiyonel tüm özellikler ile uyumlu şekilde çalışması büyük önem taşımaktadır. Çizelge 1'de, günümüz trim preslerinin standart özellikleri tablo halinde verilmiştir. Trim presler minimum 5 ton ile maksimum 200 ton arasında kesme kuvvetine sahip olan, ortalama 500x500 mm ile 2500x2500 mm kolonlar arası mesafesi bulunan, dikey ekseninde budama yapan ve hidrolik tahrik mekanizması ile çalışan makinelerdir. 3 kolonlu veya 4 kolonlu olmak üzere temelde ikiye ayrılırlar. Elektrikli tahrik sistemine sahip modelleri geliştirilmesine karşın, günümüzde hidrolik tahrikli presler daha çok tercih edilmektedir. Günümüz trimleme teknolojisi ile özellikle alüminyum, magnezyum, zamak ve hafif alaşımlardan imal edilmiş döküm parçaların yolluk sistemlerini kesmek ve budamak mümkün olmaktadır. Şekil 7'de standart bir 4 kolonlu trim presin şematik çizimi görülmektedir.

TEKNİK ÖZELLİKLER TECHNICAL SPECIFICATIONS		KZP 15/20/25	KZP 30/40	KZP 50/60	KZP 70/80	KZP 100/120	KZP 150/160
Pres kuvveti / Pressing force	ton	15 / 20 / 25	30 / 40	50 / 60	70 / 80	100 / 120	150 / 160
Kolonlar arası mesafe Distance between columns	mm	620 x 620 ↓ 950 x 950	950 x 950 ↓ 1250 x 1250	1000 x 1000 ↓ 1500 x 1500	1200 x 1200 ↓ 1600 x 1600	1400 x 1400 ↓ 2200 x 1300	1500 x 1500 ↓ 2450 x 1500
Plakalar arası mesafe Dist. between plates	mm	900 → 1500	1100 → 1800	1200 → 2000	1400 → 2500	1400 → 2500	1400 → 2500
Strok / Stroke	mm	500 → 1200	700 → 1500	800 → 1500	1000 → 2000	1000 → 2000	1000 → 2000

Çizelge 2 : Günümüz trim preslerinin genel teknik özellikleri [3]



Şekil 7 : Standart bir trim presin şematik çizimi [4]

Günümüz modern imalat sürecinde, trim presleri ve kalıpları, hassas bir budama ve ön işleme döngüsüne hazır olmalı, maçalar için hidrolik kontrollerin yanı sıra frezeleme, delme veya kılavuz çekme için gerekli elektrikli motor kontrolleriyle donatılmış olmalıdır. Ve bu özelliklerin yanı sıra doğru ve kararlı bir proses kontrolü için mutlaka sensörler kullanılarak süreç sürekli şekilde izlenebilmelidir. Trim preslerin standart özelliklerinin yanı sıra, günümüz gelişen teknolojiyle birlikte opsiyonel olarak sunulan özelliklerinden bazıları ise şu şekildedir.

- Kesme kuvvetinin hassas şekilde ayarlanması,
- İticiyi, parça tutucu olarak da kullanılabilme özelliği,
- Manuel veya otomatik olarak çıkarılabilen kolon mekanizması,
- Parça boşaltma tepsi ve konveyör bağlantısı,
- Hava üfleme ve kalıp yağlama kontrolü,
- Robot ara yüzü ve bağlantılı diğer cihazlar,
- Hızlı kalıp değiştirme aparatları,
- Kalıp içinde parça var-yok sensörleri ve konumsal kontrolörler,
- Bakım-onarım için özel çalışma platformu.

3. SONUÇ

Trim kalıpları, döküm sonrasında parçanın üzerinde bulunan yolluk sistemi, taşma cepleri, hava tahliye kanalları, varsa chillvent ve vakum bağlantı noktaları ile kalıp ayırım hattında oluşabilecek çapakların temizlenmesinde kullanılmaktadır. Döküm sonrası ortaya çıkan salkımdan parçaları hasarsız şekilde ayırmak ve parça üzerinde taşma cebi, yolluk veya çapağın kalmasını önlemek için; trim kalıplarının uygun tasarım kriterleri dikkate alınarak imal edilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, kalıp tasarım kriterleri literatürden edinilen bilgiler ve mevcut tecrübeler ışığında irdelenmiştir. Ayrıca, kalıp tasarım kriterleri ile birlikte, seçilen trim presinin özellikleri, trim kalıbı ile uyumlu şekilde çalışması açısından en önemli kriterlerin başından gelmektedir.

KAYNAKÇA

[1] EN ISO 4957: 2018 Tool Steels Standard

[2] Basınçlı Dökümde Kalıp ve Proses Dizaynı, Tüdöksad Akademi, Kocaeli, 7-8 Eylül 2018

[3] Alüminyum Alaşımlarının Basınçlı Dökümü, Tüdöksad Akademi, İstanbul, 1-2 Kasım 2019

[4] Tecnopres SRL, Trimming Presses Catalogue, Italy, 2020

PLASTİK SEKTÖRÜNDE BASKI VE LAMİNASYON İŞLEMLERİ İÇİN SICAKLIK KONTROLÜ SAĞLAYAN MERDANE GELİŞTİRİLMESİ

Emre BAYRAM

Entil Endüstri Yatırımları ve Tic. A.Ş., Eskişehir, Türkiye

ÖZET

Bu bildiriye Entil Endüstri Yatırımları ve Tic. A.Ş bünyesinde PVC, PE, ABS gibi polimerlerin en etkili işleme proseslerinden olan baskı ve laminasyon işlemleri için kullanılmakta olan merdanelerin döküm yöntemlerinden üretim metotlarına ve ayrıca problemlerinden bahsedilmiştir. Bir sistem olarak kabul edilen merdanelere ait ihtiyaçlar belirlenerek teknik değerlendirmesi ile birlikte tasarıma nasıl yön verileceğine yönelik bilgiler aktarıldı. Polimerlerin baskı ve kalandarleme prosesleri için kullanılan merdanelerin nihai üründeki kalitesizliklere sebep olan hatalar örnekler ile sunuldu. Bu problemlerin çözümüne yönelik mevcut kullanılan silindirlere nasıl ısı transfer özelliği kazandırılacağı ayrıca deneysel olarak düşey santrifüj dökümü gerçekleştirilen perlitik sfero merdanenin mikro yapısı incelenmiştir. Daha ekonomik, daha uzun ömürlü, korozyona dayanıklı, daha az ısısal sapmaya sahip, yüksek sıcaklıklarda ve basınçlarda çalışabilen bir merdane üretilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Santrifüj döküm, Isı transfer, Laminasyon, Çift akış merdaneleri, Baskı silindirleri

GİRİŞ

Metalurjik merdaneler plastik sektöründe kullanılmakta olan ispat edilmiş gerekli kriterleri sağlayan en pahalı bileşenlerden biridir. Bu merdaner çalışma şartlarında en iyi performansı gösteren dökme demirden üretilmektedir. Dökme demir merdaneler, yüksek kırılma tokluğu ve tribolojik özellikleri nedeniyle genellikle dinamik yüklerin en küçük olduğu ve bu takımların yüzey kalitesinin ürünün yüzey kalitesi için belirleyici bir faktör olduğu haddeleme ve laminasyon tezgahlarında kullanılmaktadır. Merdaneler için kullanılan dökme demirlerin mikroyapısında en önemli rol karbürler tarafından oynanır. En sık görülen mikroyapı ledebüritik sementittir. Ledebüritik sementitin uygun olmayan morfolojisi, merdanelerin aşınmasına neden olabilir [1-4].

Beyaz dökme demir ise özellikle aşınmaya karşı direnç için üretilen en eski dökme demir türüdür. Yüzyıllardır üretimde kullanılmaktadır. Bu dökme demir ailesinin pek çok adı vardır ve dökümcüler bu dökme demirlere perlitik, belirsiz çil dökme demir, benekli dökme demir, çil dökme demir veya sadece beyaz dökme demir olarak atıfta bulunur. Her durumda, demiri soğuk iletken bir yüzeye ve / veya malzemeye karşı soğutmak, aşınmaya dirençli karbür ağı oluşturur. Karbonun bir kısmı grafit, bir kısmı da karbür formundadır. Özellikle kuru sürtünme koşullarında çalışan aşınmaya dayanıklı merdanelerin üretimine kullanılır [5].

Dökme demirden imal edilen parçalarının üretiminde karşılaşılan en büyük zorluk, metalin sıvı durumdan katı duruma geçerken büzülmesinden meydana gelen boşluklardır; bunları gidermek için basınç kullanma düşüncesi bir anlamda savurma döküm yönteminin keşfine yol açmıştır. Merdane yüzeyi ile aksenal kısımları veya muylu kısımlarında arzu edilen özelliklerin farklı olması nedeniyle değişik malzemelerin kullanılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır ve bu farklı malzemeler bi-metal santrifüj döküm yöntemleri ile bir araya getirilmektedirler [6]. Merdane üretiminde kullanılan savurma döküm yönteminde, ergimiş sıvı metal bir eksen etrafında dönen kalıba dökülerek gerçekleştirilir. Bu yöntemde eriyik, merkezkaç kuvvetinin etkisiyle kalıbın şeklini alarak katılaştırmanın sağlandığı bir döküm şekli olarak açıklanabilir. Sıvı metalin yüksek hızla fırlatılması sebebiyle imal edilen parçalarda gaz boşluğu bulunmamaktadır [7].

Merdanenin çalışma yüzeyini oluşturacak olan kabuk bölgesinin sert bir yapıda, iç kısımları ve muyluları oluşturacak göbek kısmının tok bir yapıda olması çift döküm yöntemiyle farklı metaller kullanarak sağlanır [8].

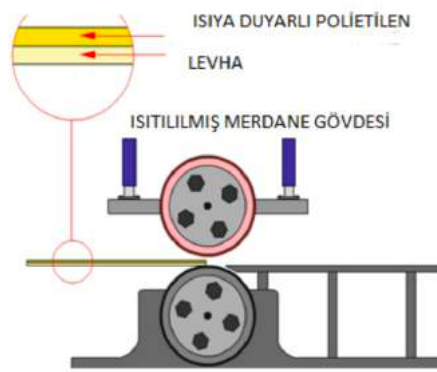
Plastik sektöründe kullanılan merdaner iki ya da daha fazla zıt yönde dönen silindirlerden oluşan ve PVC, PE gibi polimer yığını bu silindirler arasında sıkıştırarak levha, film yapan bir sistemin ana bileşenleridir. Silindirler sistemi homojen olarak besler ve eriyiği yönlendirir. Polimer malzeme silindirler arasından geçerek istenilen şekilde levha, yaprak film gibi ürünleri istenilen kalınlıkta elde edebilir [9]. Isı transfer silindirleri, hareketli ağı malzemesinin ısıtılmasını / soğutulmasını gerektiren baskı, kaplama, laminasyon vb. İşlemleri içeren rulodan ruloya sistemlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ağı, hareketli ağın dönen ısı transfer silindirinin etrafına sarılmasıyla soğutulur veya ısıtılır. Bu tür rulodan ruloya işlemlerinde amaç, ağı ısıtma / soğutma silindirleri üzerinden belirli bir ağı gerilimi ve taşıma hızında taşımaktır ve malzemedeki ağı gerilimi, ağıdaki mekanik gerilme ve termal gerilmeden etkilenir [10].

Temel olarak ürün silindirik merdanelere temas edilerek üretilir. Merdaneler sıcak yada soğuk haddeleme [11,12,13] esnasında baskın olan ısı iletme [14-18] göre sürtünme yolu ile ürünle temas sırasında ısınır. Isı transferinin belirli sınırları aşmaması merdane profilinin termal genleşmeye [19,20] ya da aşınmaya [21,22] maruz bırakılmaktadır. Ürün üzerinde kırışıklık oluşumları, çizgi ve ısı izleri, yüzeyde kalınlık farklılıkları, püsluluk, renk değişimleri gibi problemlerin sebepleri proste kullanılan silindir sıcaklığının kontrol edilememesinden kaynaklanmaktadır.

Isıtma ve soğutma merdanelerinde homojen ısı transferi sağlandığında tüm problemlerin önüne geçilmektedir [23].

Haddeleme sırasında çalışma rulolarının soğutulması, prosesin kalitesini güçlü bir şekilde etkileyebilecek önemli bir faktördür. Doğru tasarlanmış soğutma sistemi, silindirlerin optimum çalışma koşullarını garanti etmelidir. Isı, üründen rulolara döner aralıkta aktarılır. Merdanelerin sıcaklığı makul bir seviyede tutulmalıdır, Termal yük ve çalışma sıcaklığı merdane canlılığı ile orantılıdır [24,25].

Bu çalışmada mühendislik çalışmalarımız ile plastik sektörüne uygun laminasyon ve baskı üretim teknolojilerinin artan talepleri doğrultusunda daha hızlı ve daha az ısısal sapmaya sahip, korozyona dayanıklı, yüksek sıcaklıklarda ve basınçlarda çalışabilen bir merdane üretimi yapmaktır.



Şekil 1: Laminasyon ve baskı makinesi tasarımı [27]

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

Merdaneler ortalama 60-80 kg / cm² sıkıştırma basıncında ve 180-200°C sıcaklığında çalıştığından aşınma direnci, yüksek mukavemet, kırılma tokluğu ve termal yorulma gibi mekanik özelliklere ihtiyaç duyulmaktadır. Çünkü haddelenmiş şeritlerin daha küçük kalınlıkta, daha pürüzsüz yüzeyde ve daha yüksek mukavemette olması gerektiği durumlarda haddeleme koşulları zorlayıcı bir konuma gelmektedir [26]. Bu çalışmada düşey santrifüj döküm tekniği kullanılmıştır. Merdane dış gövdesi 450-500 brinell yüzey sertliğine ulaşan GJS-HV300(SiNiCr2-3) ile tanımlanan düşük alaşımlı krom-nikel benekli sfero dökme demirden imal edilmiştir. Kimyasal analiz Tablo 1'de sunulmuştur.

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo
3.2	0.52	2.24	0.07	0.012	0.53	3.49	0.56
Mg	Cu	Al	Ti	V	As	Nb	Fe
0.047	0.20	0.008	0.014	0.020	0.002	0.024	Rest

Tablo 1: Laminasyon ve baskı makinesi tasarımı [27]

Numuneler metalografik olarak hazırlanarak parlatılmış ve dağlanmıştır. (%3 lük nital) Olympus GX41-1 tipi ışık mikroskobu ile mikroyapı incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Sertlik ölçümleri Reichert (BL3) sertlik ölçüm cihazı ile 3 sertlik izi ortalaması alınarak gerçekleştirilmiştir.

Çift cidarlı, duo akış sistemli merdane solidWorks kullanılarak tasarlanmıştır. Montaj sonrası yüksek sıcaklıklarda çalışma esnasında korozyonu en aza indirmek için silindir yüzeyine krom kaplama yapılmıştır.



Şekil 2 : Çift cidarlı, duo akış sistemli merdane tasarımı [27]

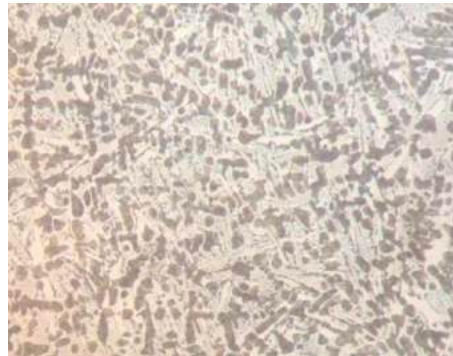
Soğutma ve ısıtma kanalları ısı transfer silindirleri üzerine ansys ile yapılan referans termal analizler incelenerek silindir üzerindeki kanal sayısı kesit kalınlıkları belirlenmiştir [27]. Silindir alnında ki kanal sayısı ilk tasarım sonrası 4 adet gövde üzerindeki yağ kanal sayısı 16 adet olarak talaşlı imalat sürecine geçilmiştir. Merdane gövdesinin iç ve dış çap tornalama operasyonları ardından Waldrich multitech 2500HC yatay işleme merkezinde yağ kanalları işlenmiştir. Tasarıma uygun delik delme ve derin delme operasyonları ile talaşlı imalat süreci tamamlanmıştır. Merdane gövdesi şekil 3’ de gösterilmektedir.



Şekil 3 : Çift cidarlı, duo akış sistemli merdane imalat fotoğrafı

3. DEĞERLENDİRME

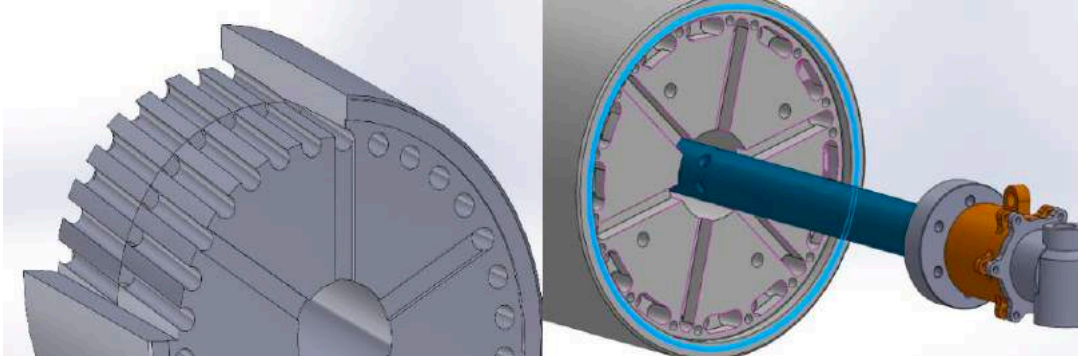
Şekil 2’de dağlanmış konumda merdane silindir gövdesine ait mikroyapı görüntüsü verilmiştir. Mikroyapıda Perlit- beynit matrisli benekli dökme demir olduğu görülebilir. Sürekli bir ağ oluşturan yüksek miktarda ledeburitik sementit ile hiperötektoid sementit bitişik bir biçimdedir. Test numunesinde yaklaşık %45-50 perlit, %35-40 ledeburitik sementit gözlenmiştir. Silindir kabuk sertlik sonuçları ise ortalama 477 brinell olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4 : %3’lük nital ile dağlanmış numunelere ait mikroyapı görüntüsü 100x

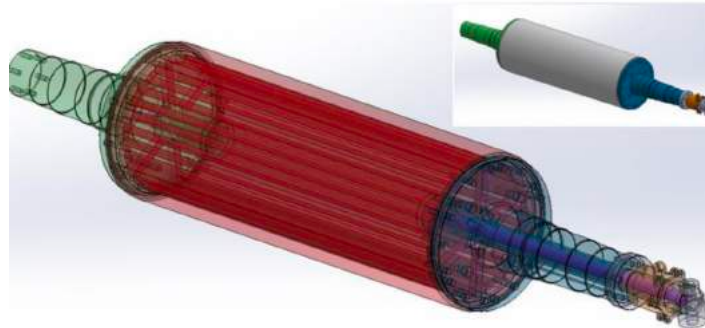
Çalışmada kullanılan dökme demir bileşimi perlitik sfero merdane grubuna girmektedir. Perlitik sfero merdaneler esasta belirsiz sert katılmış (belirsiz çil döküm) merdanelere benzemektedir ancak bir tür alaşımlı dökme demir olan bu malzemede dökümden evvel ıslahı ve aşılması neticesinde grafitin bütün bünyede yaprakçık şeklinden küresel şekle dönüşmesi sağlanmaktadır. Küresel grafitin iç çentik dayanımının yaprakçık grafitte kıyasla çok üstün olması nedeniyle perlitik sfero merdaneler son derece yüksek mekanik ve burulma mukavemetleriyle silindirin kırılması olayını asgariye indirmiştir [27].

Talaşlı imalat sonrası gövde üzerindeki yağ kanalların merkezlenmemesi sorunu ile karşılaşmıştır. Homojen sertliği yakalamak için tavlama yapılmış ardından takımlardaki takımlarda ki salgıyı azaltmak için Ø30,000 X 1020 karburlü derin delme matkabı kullanılmıştır. Test esnasında yardımcı pompa ile silindirin içerisine yağ verilmiştir. Merdane alın yüzeyinden yağ kaçaqları tespit edilmiştir. Sızdırmazlık sağlaması için tasarıma o-ring ilave edilmiş ve problem bertaraf edilmiştir. Şekil 5'te belirtilen 3D çizimlerde kanalların işleme sonrası eş merkezlenmediğini ve sızdırmazlığı sağlamak için mavi ile o-ring kullanımı gösterilmektedir.



Şekil 5 : Çift cidarlı, duo akış sistemli merdane ısı transfer kanalları

Yapılan ilk testlerde merdane gövdesi üzerinde ısı akışının yetersiz kaldığı görülmüştür. Isı transferini artırmak için silindir alınındaki kanal sayısı ilk tasarım sonrası 6 adet, gövde üzerindeki yağ kanal sayısı 24 adet olacak şekilde tasarım revize edilmiştir ve istenilen homojen ısı akışı kanallardaki yağ sıcaklığının tambura transferi ile sağlanmıştır. Silindirlerde balans sorunları gözlenebileceğinden montaj öncesi balans kontrolü standart prosedür haline getirilerek ihtiyaç halinde taşlama yapılması gerektiği öngörülmüştür. Yapılan tasarım ve imalat iyileştirme çalışmaları neticesinde nihai çift akış sistemli merdane sistemi çizimi şekil 6'da gösterilmektedir.



Şekil 6 : Çift cidarlı, duo akış sistemli merdanenin montaj öncesi nihai 3D çizimi

4. SONUÇ

Laminasyon ve baskı teknolojisi şu anda plastik sektöründe en önemli teknolojilerinden biridir. Silindir gövdesinde homojen ısı gradyanı olmadan en iyi ürün kalitesini elde etmek imkansızdır. Buna bağlı olarak, optimize edilmemiş sistemler israfa neden olmaktadır fakat en iyi sonuçlar optimize edilmiş merdane rulolarının homojen ısı akışı ve ısıtma süresinin kombinasyonu ile elde edilebildiği görülmüştür. Entil Endüstri Yatırımları ve Tic. A.Ş tarafından tasarım ve üretimi yapılan merdane ruloların uzun yıllardır plastik sektöründe faaliyet gösteren bir firmada sistem içerisinde 5 ay boyunca test edilmiştir. Isı akışının entegrasyonuna dayalı olarak üretilen merdane silindiri tüm gereksinimleri karşılayacak şekilde kararlı bir şekilde yuvarlanma döngüsüne devam etmektedir. Plastik sektöründe uzun yıllar kullanılacak ekonomik, korozyona dayanıklı, daha az ısıl sapmaya sahip, yüksek sıcaklıklarda ve basınçlarda çalışabilen bir merdane üretilmiştir.

REFERANSLAR

- J. Krawczyk, Structural causes of defects in a cast iron mill roll, Archives of Foundry Engineering, vol. 8, No. 2 (2008)93-98.
- J. Krawczyk, Effect of the microstructure on tribological phenomena occurring on the surface of a mill roll made of SA5T cast iron (GJSL-HV600 – GJSL-330NiMoCr12-8 3), Archives of Foundry Engineering, vol. 8, No. 2 (2008) 170-174.
- J. Krawczyk, J. Pacyna, A. Kokosza, Fracture toughness of cast materials for mill rolls, Proceedings of the 6th International Conference for Mesomechanics Multiscaling in Applied Science and Emerging Technology, Fundamentals Applications in Mesomechanics, 31 May- 4 June, 2004, Patras, Greece, s. 203-207.
- J. Krawczyk, J. Pacyna, The influence of microstructure of mottled cast iron for mill rolls on its properties, Metal 2009 – 18th International Conference on Metallurgy and Materials, May 19th-21st, 2009, Hradec nad Moravicy, Czech Republic, 266-272.
- G. R. a. R. K. Laird George, Abrasion-Resistant Cast Iron Handbook, Des Plaines: American foundry Society, ISBN 0-87433-224-9., 2000.
- Martini, F. 1999. “Main Manufacturing and Service Requirements for the Backup Rolls and Work Rolls of Modern Hot-Strip Mills”, Kluwer Academic. p. 365-370; Martini, A. 1999. “Cast Two-Layer Backup Rolls With a Working Layer of Steel AST70X”, Kluwer Academic, pp. 411-413. Ersümer, A. (1986). Demir Dökümü. İstanbul: Coşkun Ofset S 1-60.
8. Özdoğan, N., “Modern Merdane Döküm Yöntemleri”, Tübitak Marmara Bilimsel ve Endüstriyel Arastırma Enstitüsü Malzeme Bölümü, Gebze, s.960-970, 1987.
10. Youwei Lu , Prabhakar R.Pagilla (2014) Modeling of temperature distribution in Moving webs in Roll-to-Roll manufacturing , Journal of Thermal Scince and Engineering Applications Oklahoma State University
11. W.L. Roberts, Cold Rolling of Steel, M. Dekker Inc, New York, 1978.
12. W.D. Yuen, J. Heat Transf. 107 (1985) 541.
13. W.D. Yuen, 4th Int. Steel Rolling Conference on Science and Technology of Flat Rolling, IR-SID, E 23.1, 1987.
14. P. Harper, Iron Steel Eng. 65 (10) (1988) 34.
15. D.M. Parke, J.L. Baker, Iron Steel Eng., 49 (12) (1972) 27.
16. A.Pe´rez,R.Cola´s,R.Fuentes,34thMech.WorkingSteelProcess. Conf, ISS-AIME, Warrendale, 1993, p. 191.
17. A.A. Tseng, F.H. Lin, A.S. Gunderia, D.S. Ni, Metall. Trans. A 20A (1989) 2305.
18. A.A. Tseng, A.S. Gunderia, P.F. Sun, in: S. Yue (Ed.), Math. Model. Hot Rolling Steel, CIM, Montre´al, 1990, p. 177.
19. D.J. Fapiano, Iron Steel Eng. 59 (10) (1982) 29.
20. H.W. O’Connor, A.S. Weinstein, J. Eng. Ind. 94 (1972) 1113.

21. T. Sheppard, J.M. Roberts, Int. Metall. Rev. 18 (1973) 1.
22. E.A. Garber, A.A. Goncharkii, A.A. Okunev, Steel USSR 16 (1986) 332. [15] P.G. Stevens, K.P. Ivens, P. Harper, J. Iron Steel Inst. 209 (1971)
9. Erkan İndibay, (2012) Pvc kalender film ve levha uygulamaları. Pagev plastik dergisi zirve polimer.92-104; Advances in Polymer Processing (pp.312-351) Chapter: Calendering of Polymers Publisher: Woodhead Publishing, Cambridge, UK Editors: S. Thomas, Y. Weimin
23. Advances in Polymer Processing (pp.312-351) Chapter: Calendering of Polymers Publisher: Woodhead Publishing, Cambridge, UK Editors: S. Thomas, Y. Weimin (pp346-347)
24. Horsky, J., Raudensky, M., Zela, L,: Experimental study of Heat Transfer Wth Reieieence to Numeifical smulations in Hot Rolling The 7|r International conference on steel Rolling, Makuhari, chiba, Japan, proc, published by The Iron and steel Institute of Japa",pp,216-220.
25. Horsky, J., Raudensky, \4,, Tseng, A, A,: Intensificátion of Roll cooling Using a Two- |evel Pressure system, AlsTech 2004, Iron and steel conference and Exposition, septembér 15117, 2004, Nashville, UsA, IsBN 1-886362-76-9, IssN 155í_699
26. Özdogan, N., "Modern Merdane Döküm Yöntemleri", Tübitak Marmara Bilimsel ve Endüstriyel Arastırma Enstitüsü Malzeme Bölümü, Gebze, s.960-970, 1987.
27. Ming-Chu Hsieh and Jung-Sen Lin Study on design of temperature - dependence of sublimation transfer roller, MATEC Web of Conferences 185, 00036 (2018)

USING ORBITAL SHAKING AS GRAIN REFINEMENT TECHNIQUE FOR LOST FOAM CASTED A356 ALUMINIUM ALLOY

Öznur KILIÇ*, **, Serhat ACAR*, Kerem Altuğ GÜLER*

**Yildiz Technical University, Department of Metallurgical and Materials Engineering, Davutpasa
Campus, Istanbul, Turkey*

*** Akmetal Metallurgical Industries Corp. Istanbul, Turkey*

ABSTRACT

Controlling the microstructure obtained as a result of the casting process in the foundry industry is one of the main challenges encountered today. Grain size is known as one of the most basic microstructural factors in determining the properties of alloys. Non-dendritic microstructure can be obtained if the grain is refined in hypo-eutectic Al-Si alloys. The methods to be applied for grain refining can be applied before or after solidification. The methods can be classified as grain refining additions, rapid solidification, vibration and mixing during solidification and severe plastic deformation, respectively. In this study, A356 aluminium alloy has been poured with lost foam casting (LFC) method. Orbital shaking process was applied during casting and solidification with the orbital shaker device produced with the support of Yildiz Technical University Scientific Research Projects Coordinator (Project Number: FYL-2017-3242). In this work, the effect of shaking and shaking rate on the microstructure was investigated. Expandable polystyrene (EPS, 10 kg/m³), which is a thermal insulation material, was used as a pattern material. Rectangular prism shaped patterns were prepared in dimensions of 170x50x40mm. The castings were performed at 780 °C for 50, 100, 150, 200 rpm of orbital shaking rate. In order to be a reference sample, static casting was carried out at the same temperature. Microstructure samples were taken from the castings for microstructure investigations. Center and edge regions of these samples were examined. At low and medium shaking speeds, it was observed that the secondary dendrite arm spacing (SDAS) decreased, the grain size decreased, the length/width ratios of eutectic silicones decreased, the density increased and the hardness increased.

Keywords: Lost foam casting, A356 alloy, orbital shaking, grain refining

Introduction

Aluminium and its alloys have properties that make them important such as lightness, high strength and corrosion resistance. Thanks to these features, the use of aluminium and its alloys has become attractive especially in traditional and new technology applications in recent years. In addition to design and industrial applications, aluminium and its alloys are used in aviation, automotive, marine, architectural, packaging, mechanical industry, and energy distribution applications [1], [2]. Various casting methods are used in the production of delicate components using aluminium alloys. It is possible to list these casting methods as pressure casting, permanent mould casting, sand mould casting, and lost foam casting method (LFC). These casting methods have different features compared to each other. For example; die casting has a high manufacturability rate. However, casting performed at high speed causes gas porosity. In the sand mould casting method, the desired surface roughness and precision cannot be achieved. However, with the lost casting method, it is possible to obtain a casting piece with a near net shape [3]. The modern lost foam casting method was first designed by Smith in 1964 to include the use of an expendable pattern made from moulded polymer foam. In this method, expandable polystyrene (EPS) is generally used as the pattern material. In the production of complex parts, patterns are made by gluing two or more pattern together. After the patterns are assembled, they are dipped into a water-based and refractory slurry. The patterns are then dried. Finally, it is moulded in flasks with dry and loose sand. During the moulding process, vibration is applied to compress the sand. Liquid melt is poured directly into the pattern. In other words, the pattern is not removed from the mould before casting. The pattern dissociates and gas and liquid products remain. These products are spread out from the refractory coating to the sand and thrown out [4], [5]. The fine grain size provides reduced tendency to hot tearing, finer and more dispersed pores, and improved directional feeding. It also improves the mechanical properties with the Hall-Petch relationship [6]. The size, shape, distribution of silicon particles, size, shape and dendrite parameters of primary aluminium grain affect the mechanical properties of aluminium alloys [7]. Many different methods are used to refine the microstructure in metals. The applied methods can be done during or after the solidification process. First group of grain refining by vibration and mixing during solidification; fast solidification is second group; refining with the help of grain refining agents is the third group and finally severe deformation is the fourth group [2]. The first group is in a sense dynamic grain refinement. Various methods have been developed to allow the growing dendrites to break down dynamically and thus encourage coaxial growth. All of these methods involve physical degradation, the only difference being that the production method of this degradation is different. These methods are mechanical mixing, magnetic and electromagnetic mixing, ultrasonic mixing, and agitation with gas balloons [8]. Kisasoz et al.[9] applied shaking during casting in the production of A380 aluminium alloy using the lost foam casting method. They observed that the distance between the dendrites decreased and the density and hardness increased with the shaking. In this study, in the production of A356 alloy samples by the lost foam casting method, shaking was applied from the casting until the liquid melt solidified and the effect of the shaking rate on the microstructure properties was investigated.

Experimental Studies

In this experimental study, polystyrene (EPS) plates used in thermal insulation applications were used as pattern material. The density of the polystyrene (EPS) plates used is 10 kg/m³. Refractory paint coating was applied to the patterns prepared in the desired dimensions (170x50x40 mm). After coating, the patterns were led to dry for 24 hours at room temperature. It is placed in a metal flask for the moulding process. Sand was filled around the pattern under vibration and the moulding process was completed. The orbital shaker device was specially built for this study. The shaking speed was adjusted by placing the prepared mould on the orbital shaker device. The visuals of the pattern moulding and orbital shaking device are shown in Figure 1.



Figure 1: Vibration device used during moulding (left). Orbital shaking device used in the casting process of prepared moulds (right).

A356 (Al-Si-Mg) alloy chemical composition as given in Table 1 was melted in clay/graphite crucible by using electrical resistance furnace. Melt was poured at 780 °C. No modification or grain refinement was applied during casting.

Al	Si	Mg	Fe	Ti	Cu	Mn	Zn	Cr
Bal.	7.29	0.350	0.144	0.123	0.011	0.03	0.008	0.003

Table 1: Chemical composition of A356 alloy (mass fraction %)

A high casting temperature was preferred in order to prolong the solidification time of the melt and to provide the time required to break the dendrites formed by orbital shaking and to fill the mould well. The casting process was carried out both with and without shaking (static). The orbital shaker speeds were set to be 50, 100, 150 and 200 rpm. For metallographic processes from the first solidified area of the cast parts, the samples were cut using a diamond disc with the help of a cutting device. Samples were taken from these regions in order to see if there was a difference especially between the center and edge regions. The samples prepared by performing sample preparation processes were subjected to microstructure examination with the help of an optical microscope. In addition to microstructure analysis, the distance between the secondary dendrite spaces of the samples, the length/width ratio of the eutectic silicon and the particle size were measured, and the shape factor was calculated accordingly. Samples produced at specified parameters were subjected to Brinell hardness test in order to examine the effect of parameter change on material hardness. In the test, a steel ball with a diameter of 2.5 mm was used as the puncture tip and the applied test load was 62.5 kg. The densities of the cast samples were calculated by applying Archimedes test. The densities values of the samples were determined by weighing the weights in the air and water environment. The density measurement kit of Precisa 205 A SCS precision scale is used.

Results

Sample production has been successful in all castings. The specimen positions taken for examination from cast samples are shown in the diagram in figure 2.

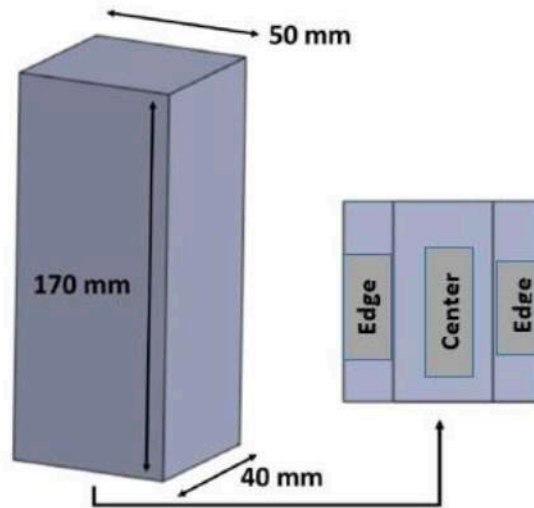


Figure 2: Positions of samples extracted from produced parts

Microstructure images of all casting samples are shown in figure 3. When all samples poured at 780 ° C were examined, typical microstructures of hypoeutectic Al-Si alloys were observed. Light grey areas denote the primary aluminium phase (α -Al), dark grey and acicular shapes denote eutectic silicon. Dynamic grain refinement breaks the growing dendrites during solidification. Centrifugal force occurs by orbital shaking. This centrifugal force shows a shear force on the microstructure during solidification. This shear force particularly affects primary aluminium (α -Al).

When the microstructures taken from the edge and center regions at varying shaking rate were examined, it was determined that there was no significant difference. When the region is kept constant (edge or center) and the analysis is made due to the increase in the shaking rate, a homogeneous distribution of the eutectic silicon with increasing rate and as a result, some grain shrinkage is observed. In addition, the morphology of the samples produced with the orbital increasing shaking rate was observed as fine dendrites and rosettes.

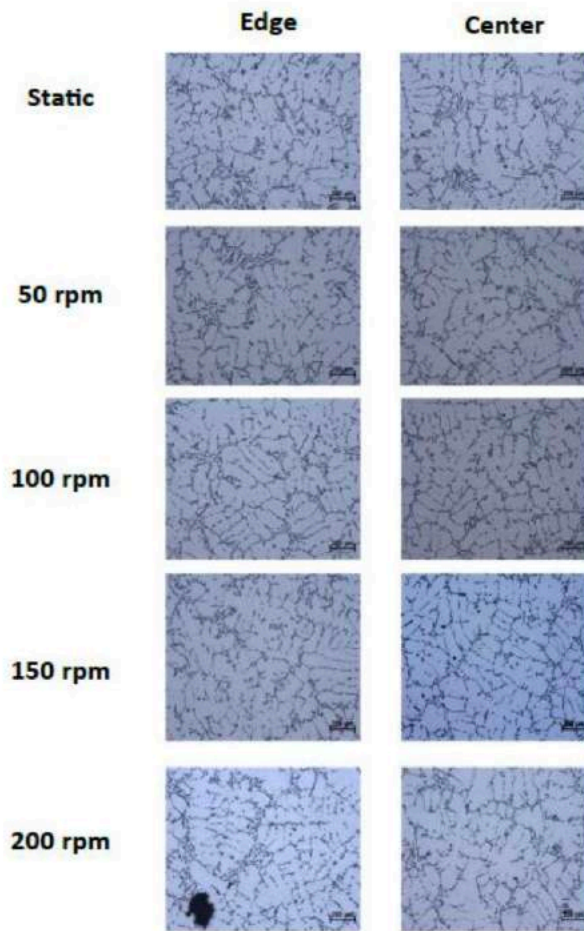


Figure 3: Microstructure of specimens by taken optical microscope, 50x

In the initially statically poured sample, it was observed that the SDAS values measured from the edge and center regions were approximately 100 μm . SDAS values were observed to decrease with shaking. The decrease in the SDAS value is gradual. With the increase in shaking rate there were no major changes in SDAS values and average values were obtained. However, it was observed that the lowest SDAS value at 780 $^{\circ}\text{C}$ was obtained in the sample poured with 150 rpm shaking rate. In addition, when the shaking rate reaches 200 rpm, the structure becomes slightly coarse instead of getting thinner. The SDAS values of the samples poured at 780 $^{\circ}\text{C}$ are shown in Figure 4.

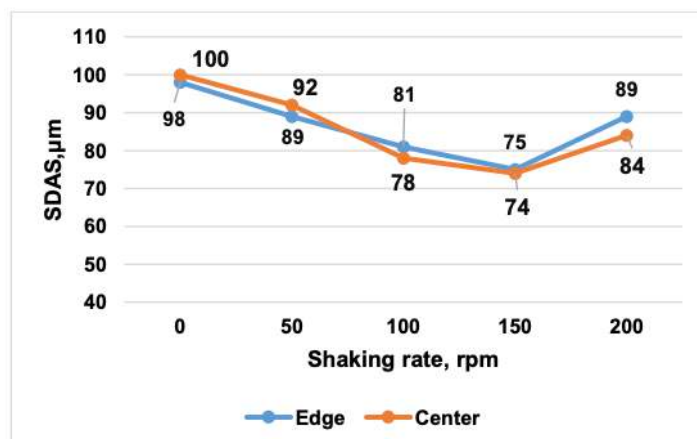


Figure 4: Effect of shaking rate on SDAS

Figure 5 shows the effect of samples poured at 780 ° C on sphericity. Sphericity values increase with the effect of shaking. Sphericity or shape factor (SF) is calculated through the following equation.

$$SF = (4\pi A\alpha/P\alpha^2)$$

$A\alpha$ is the area of primary aluminium and $P\alpha$ is the circumference of primary aluminium. The value found is between 0-1. Sphericity increases as the value approaches 1. It is thought that this increases the sphericity value of the dendrites due to the prolongation of the solidification time in the sample poured at 780 ° C and the effect of the shaking of more grains.

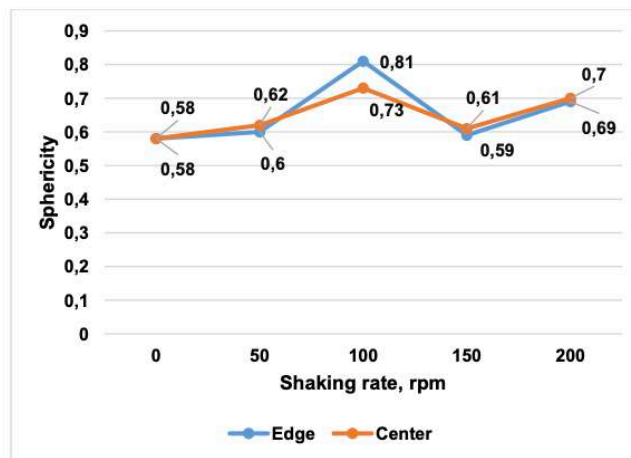


Figure 5: Effect of shaking rate on sphericity

The aspect ratio (length/width) results of the eutectic silicon of the samples poured at 780 ° C are summarized in Figure 6. The aspect ratio decreased to about four with the effect of the shaking of about ten. But with the high shaking rate it reached ten values again. In other words, however low shaking rate positively affects the spheroidization of eutectic silicon, medium and high shaking rate negatively affected the sphericity of eutectic silicon.

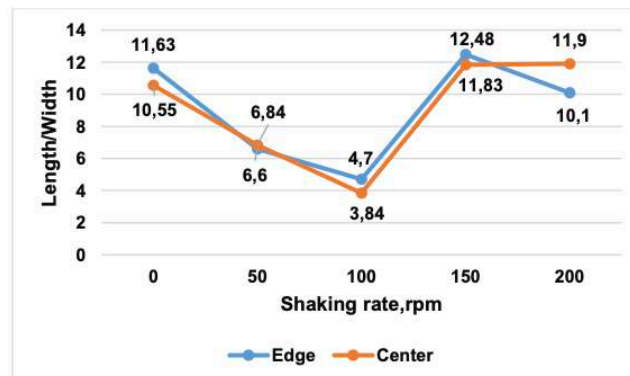


Figure 6: Effect of shaking rate on length/width of eutectic silicon.

The change of the measured grain diameters with the shaking rate is shown in Figure 7. Particle diameters in static casting were measured as 160 μm in the edge area and 180 μm in the center region. With shaking, there was a decrease in grain size compared to static casting. It was seen that the images taken from both the edge and center regions were not different. It can be said that structural homogeneity is preserved in a 50x40 mm section for the castings performed at 780 ° C and that shaking does not create a gradient in the microstructure.

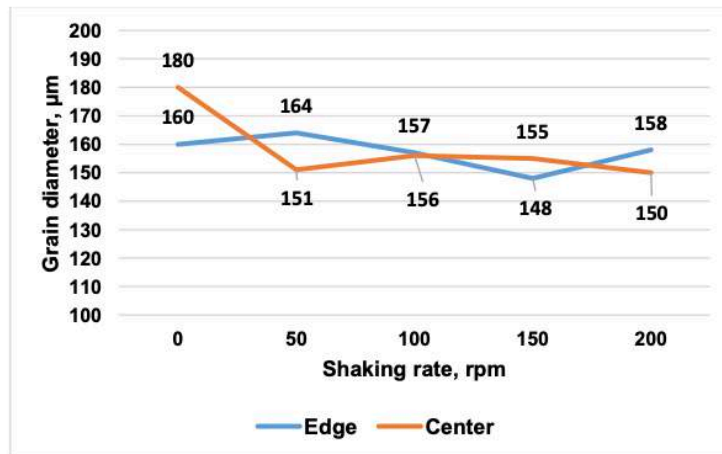


Figure 7: Effect of shaking rate on grain diameters

Densities for the samples poured at 780 ° C were calculated by Archimedes principle. The theoretical density of the A356 alloy is 2.67 g/cm³. The densities of all samples are given in Table 2.

Sample	Density (g/cm ³)
Static	2.58
50 rpm	2.61
100 rpm	2.64
150 rpm	2.65
200 rpm	2.59

Table 2: Densities of samples poured at 780 ° C

In Table 2, it is seen that the lowest density value belongs to the statically produced sample with 2.58 g / cm³. The density value increased slightly with the increase in shaking rate. However, the density value of the sample poured at 200 rpm is close to the density value of the sample poured with static casting. It can be said that low and medium shaking rate is beneficial for feeding the casting part during solidification and that the micro porosity between the dendrite arms feeds appropriately. The 200 rpm shaking rate causes deterioration in the solidification step. The pores seen in the microstructures support this situation.

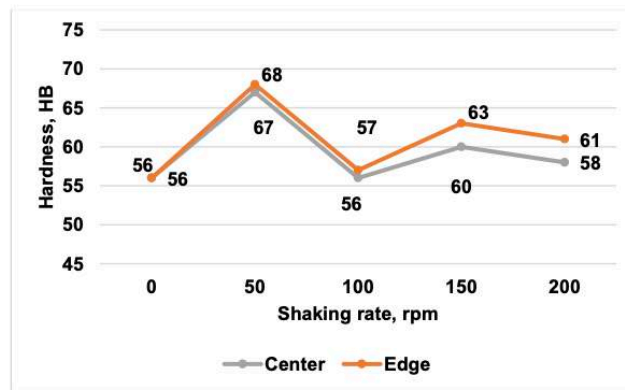


Figure 8: Effect of shaking rate on hardness

The hardness values of the samples are shown in Figure 8. Low and medium shaking rates increase liquid feeding and reduces the micro porosity between dendrites. This situation increases the hardness. At 50 rpm shaking speed, decrease in eutectic silicone aspect ratio also has positive effect on hardness however this effect is not seen at 100 rpm. Furthermore the increase in the SDAS value and the decrease in the density at high shaking rate like 200 rpm increase the micro porosity and adversely affect the hardness.

Conclusion

- Orbital shaking is a type of mechanical vibration and was used in this study as an alternative to conventional mechanical vibration.
- When we compare static casting and shaking casting, it is observed that SDAS values decrease. However, SDAS values increased when the shaking rate reached 200 rpm. It led to the idea that this situation may be the result of the drifting combination of solidified primary aluminium (α -Al) grains. The structure tends to get coarser at 200 rpm.
- Particle sizes decreased as a result of shaking compared to static casting. When the density values are examined, the low and medium shaking rate helped feed the casting process and contributed to the feeding of the micro porosity between the dendrite arms. However, the high shaking rate caused metal splashes in the mould mouth (pouring basin), causing insufficient feeding and pores.
- At low and medium shaking rate; It is observed that the decrease in the SDAS, the decrease in the length/width ratio of eutectic silicone, the increase in the density values have a positive effect on the hardness values.

Acknowledgment

This study was supported with the project numbered FYL-2017-3242 of Yildiz Technical University Scientific Research Project Coordinator.

References

- [1] C. Daniele, "The Grain Refinement and the Ni / V Contamination in the A356 Aluminium Casting Alloy : an Experimental Study on Impact and the grain refinement and the Ni / V," Università degli Studi di Ferrara, 2014.
- [2] R. G. Guan and D. Tie, "A review on grain refinement of aluminum alloys: Progresses, challenges and prospects," *Acta Metall. Sin. (English Lett., vol. 30, no. 5, pp. 409-432, 2017.*
- [3] W. Jiang, Z. Fan, X. Chen, B. Wang, and H. Wu, "Combined effects of mechanical vibration and wall thickness on microstructure and mechanical properties of A356 aluminum alloy produced by expendable pattern shell casting," *Mater. Sci. Eng. A, vol. 619, pp. 228-237, 2014.*
- [4] S. M. H. Mirbagheri, "Materials & Design Modelling of foam degradation in lost foam casting process," vol. 27, pp. 115-124, 2006.

- [5] M. R. Barone and D. A. Caulk, "A foam ablation model for lost foam casting of aluminum," *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 48, no. 19–20, pp. 4132–4149, 2005.
- [6] M. A. Easton, M. Qian, A. Prasad, and D. H. StJohn, "Recent advances in grain refinement of light metals and alloys," *Curr. Opin. Solid State Mater. Sci.*, vol. 20, no. 1, pp. 13–24, 2016.
- [7] S. G. Shabestari and F. Shahri, "Influence of modification, solidification conditions and heat treatment on the microstructure and mechanical properties of A356 aluminum alloy," *J. Mater. Sci.*, vol. 39, no. 6, pp. 2023–2032, 2004.
- [8] B. Cantor and K. O'reilly, *Solidification and casting*, Applied Science Publisher Ltd, London, vol. 53. 1989.
- [9] A. Kisasoz, K. A. Guler, and A. Karaaslan, "Influence of orbital shaking on microstructure and mechanical properties of A380 aluminium alloy produced by lost foam casting," *Russ. J. Non-Ferrous Met.*, vol. 58, no. 3, pp. 238–243, 2017.

KURUMSAL SPONSORLAR CORPORATE SPONSORS



KONGRE SPONSORLARI CONGRESS SPONSORS

