



Tüdöksad Akademi 2. Ulusal Döküm Kongresi / 2nd National Foundry Congress by Tudoksad Academy

2. ULUSAL DÖKÜM KONGRESİ

30 Kasım - 1 Aralık 2019
İZMİR



Döküm Sektöründe Sürdürülebilir Yenilikçilik



tüdöksad
akademi

**Bildiriler
Kitabı**



Tüdöksad Akademi 2. Ulusal Döküm Kongresi / 2nd National Foundry Congress by Tudoksad Academy

2. ULUSAL DÖKÜM KONGRESİ

30 Kasım - 1 Aralık 2019
İZMİR



tüdöksad
akademi

Bildiriler
Kitabı

2. Ulusal 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: 978-605-62246-5-2

* Bu kitap Türkiye Döküm Sanayicileri Derneği tarafından 2. Ulusal Döküm Kongresi'ne kabul edilen bildirilerden derlenmiştir. www.tudoksad.org.tr ve akademi.tudoksad.org.tr web sitelerinde ücretsiz yayınlanacaktır.

TÜDÖKSAD © 2019

TÜRKİYE DÖKÜM SANAYİCİLERİ DERNEĞİ YÖNETİM KURULU

Başkan: Umur DENİZCİ (Denizciler Dökümcülük)

Başkan Yardımcısı: Kadir EFE (Ferro Döküm), Mehmet ATİK (Atik Metal)

Muhasip Üye: Mehmet Ali ACAR (Ardemir Döküm)

Üyeler: Adnan AYTEKİN (Tosçelik Granül), E. Uğur YAVUZ (Ay Döküm), Mehmet ÖZALP (Silvan Sanayi), Oğuzhan DENİZ (Çelikel Alüminyum Döküm), Emre GİRAY (Demisaş Döküm)

2. ULUSAL DÖKÜM KONGRESİ DANIŞMA KURULU

Akademik

Prof. Dr. Ali KALKANLI (Orta Doğu Teknik Üniversitesi)

Prof. Dr. Ali Arslan KAYA (Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi)

Prof. Dr. Altan TÜRKELİ (Marmara Üniversitesi)

Prof. Dr. Cahit ENSARİ (Yalova Üniversitesi)

Prof. Dr. Özgül KELEŞ (İstanbul Teknik Üniversitesi)

Doç. Dr. Derya DIŞPINAR (İstanbul Teknik Üniversitesi)

Dr. Öğr. Üye. Ali Serdar VANLI (Yıldız Teknik Üniversitesi)

Dr. Öğr. Üye. Kazım TUR (Orta Doğu Teknik Üniversitesi)

Dr. Öğr. Üye. Murat ALKAN (Dokuz Eylül Üniversitesi)

Sanayi

Arda ÇETİN (Genel Müdür Yardımcısı – Ekstra Metal)

Bülent ŞİRİN (NPI Mühendislik ve Ar-Ge Müdürü – Döktaş Dökümcülük)

Erkin KOÇ (Kalite Kontrol ve Proses Sorumlusu - Ay Döküm)

Mehmet ATASEVEN (Etüd Büro Müdürü - Körfez Döküm)

Veysel DURAK (Yalın Ofis ve Kalite Sistemleri Müdürü – Erkunt Sanayi)

SUNUŞ

Türkiye Döküm Sanayicileri Derneği - TÜDÖKSAD tarafından düzenlenen 2. Ulusal Döküm Kongresi ölkemizin bu alanda organize edilen en kapsamlı etkinliği olarak öne çıkmaktadır. Bu yıl teması "Türk Döküm Sektöründe Sürdürülebilir Yenilikçilik" olarak belirlenen etkinlikte, döküm sektörü ile ilgili akademik, teknolojik, ekonomik, ticari ve pratik çalışmalara ilişkin bilgi ve deneyimlerin katılımcılara aktarılması ve ortak konuların karşılıklı olarak paylaşılması amaçlanmaktadır.

Kongre Bildirileri kitapçığında değerli Danışma Kurulu üyeleri tarafından değerlendirilen ve 30 Kasım - 1 Aralık 2019 tarihleri arasında İzmir'de düzenlenen 2. Ulusal Döküm Kongremizde sunulmasına karar verilen makaleler yer almaktadır.

2. Ulusal Döküm Kongremizde; davetli konuşmacımız Sayın Yaylalı Günay'ın (Günay Danışmanlık & Döktaş Dökümcölük) tebliği ile birlikte toplam 6 oturumda 34 sözlü sunum ve 15 poster sunumu yer almaktadır. Ayrıca, bu yıl organizasyonumuzda ilk defa panel oturumları bulunmaktadır. "Gençlik" ve "Eklemeli İmalat" temalı iki panelimizde katılımcılarımız ve sektörümüzün değerli temsilcileri ile birlikte interaktif biçimde paylaşımlar yapılması hedeflenmiştir.

Tüm sunumların tam metinleri E-Kitap olarak hazırlanan ve TÜDÖKSAD Akademi web sayfasında (akademi.tudoksad.org.tr) yayınlanmış olan Kongre Bildirileri Kitabında yer almakta olup; Kongre Danışma Kurulu Üyeleri'ne bu önemli organizasyonu mümkün kılmalarından dolayı içten teşekkürlerimizi ve şükranlarımızı sunarız.

Ayrıca, değerli desteklerini esirgemeyen Hannover-Messe Ankiros Fuarçılık A.ř.'ye ve Sn. İbrahim Anıl ve ekibine minnettar olduğumuzu belirtmek isteriz.

Türkiye Döküm Sanayicileri Derneği olarak, tüm meslektaşlarımızı önümüzdeki yıl 12 - 14 Kasım 2020 tarihlerinde Ankiros / Annofer / Turkcast fuarları ile eş zamanlı düzenleyeceğimiz 11. Uluslararası Döküm Kongremize bekliyoruz.

Kasım 2019

Türkiye Döküm Sanayicileri Derneği

Bildiri başlıklarına tıklayarak tam metinlerine ulaşabilirsiniz!

BİLDİRİLER

| | |
|---|-----|
| Açılış Konuşması / Araçlarda Hafifleme ve Döküm Sektörü Yaylalı Günay | 1 |
| Eklemeli İmalat Paneli / Powder And Application Standardization On Additive Manufacturing (AM) Ekrem Altuncu | 27 |
| 1.Oturum | |
| Hafif Alaşımlar, Dökme Demirler ve Yeni Üretim Süreçlerinin Rekabeti: Malzeme Verimliliği ve Sürdürülebilirlik Perspektifinden Bir Değerlendirme Arda Çetin | 37 |
| İzole Metal Akışıyla Çelik Dökümlerinin Dökülmesindeki Gelişmeler David Hrabina, Petr Filip | 49 |
| Bakım 4.0 Birgül Küreğibüyük, Veysel Durak | 61 |
| Bor İlavesinin Lamel Grafitli Dökme Demire Etkileri Demet Demir, Gürcan Günel, Oğuzhan Atlıhan, A. Arslan Kaya | 73 |
| Döküm Sektöründe AOD Konvertörünün Kullanımının İncelenmesi F. Can Akbaşoğlu, Öznur Kılıç, Eylem Subaşı, Serhat Adışen | 81 |
| Azot Elementinin Gri ve Sfero Dökme Demirlerin Mekanik Özellikleri Üzerine Etkilerinin İncelenmesi Bülent ŞİRİN, Erkan Bulut, Onuralp Yücel | 91 |
| Döküm Sanayisinde Maça ve Kalıp Üretiminde Kullanılan Özel Kumlar Martin Dahlmann, Halil Gönenbaba | 101 |
| 2 . Oturum | |
| Yaş Kalıplama Kumu Testleri ve Dökümdeki Etkilerinin İrdelenmesi Cihan Aktolga | 111 |
| Global Dünyada Yarının Dökümhaneleri Haydar Alpaslan Muhul | 117 |
| Erken Ekipman Yönetimi Hande Birengel, Veysel Durak | 123 |
| Farklı Tip Sıcak Kutu Maça Reçinelerinin Döküme Olan Etkisinin Belirlenmesi Alper Emre Güvendik, İrem Şevval Gündüz, Beyza Kobak, Melike Açık, Özge Aksın Artok, Ümit Cöcen | 133 |
| Otomatik Kalıplama Hatlarında Kullanılan Mini Besleyici Sistemlerindeki Gelişmeler Haydar Kahraman, İbrahim Hayri Keser, Özge Aksın, Artok, Ümit Cöcen | 143 |
| 3 . Oturum | |
| Dijitalleşme ve Endüstri 4.0 Çağında Maça Üretimi Alexander MEISTER | 149 |
| Demir Dökümhaneleri İçin Ar&Ge Merkezinin Önemi, Kurulumu İçin Gerekenler, Kurulum Süreci, Ar&Ge Proje Felsefesi Zafer Ay, Yaşar Uğur Akı, Gökhan Ece | 157 |

| | |
|--|-----|
| Dökme Demirden İmal Edilmiş Ağır Hizmet Dizel Motor Bloğunda Yapılan Hafifletme Çalışması, Yolluk Tasarımı Ve Döküm Simülasyonu Ümit Kirenci, Enishan Özcan, Alen Murat Kuyumcu, Ali Serdar Vanlı, Anıl Akdoğan | 167 |
| MO İlavesinin Ve Proses Parametrelerinin Östemperlenmiş Sünek Dökme Demirlerin Mekanik Özelliklerine Etkisi Ali Keleş, Rabia Cengiz, Mehmet Yıldırım | 177 |
| Zırhlı Personel Taşıyıcılarda Kullanılan Süspansiyon Kolunun Östemperleme Prosesi İle Kullanım Sürelerinin Uzatılması Şerife Helvacıoğlu, Gökhan Sağlam, Ayşe Erkan, Ümmihan Yılmaz, Gökhan Yiğit | 185 |
| 4. Oturum | |
| Tehlike Tahmini Uygulamaları Berivan Boduroğlu | 193 |
| Flaklarda Çevresel İyileştirmeler ve Uygulama Metodundaki Gelişmeler Alan Burrows, Halil Gönenbaba, Sercan Akın | 203 |
| 5. Oturum | |
| Birincil Ve İkincil A356 Alaşımının Sıvı Metal Kalitesine Tane İnceltici İlavesinin Etkisi Özen Gürsoy, Eray Erzi, Derya Dışpınar | 207 |
| Farklı Döküm Aşamalarındaki Sıvı Metal Akışkanlığının İncelenmesi A. Yiğit Kaya, Onur Özaydın, Esra Dokumacı, Elvan Armakan | 215 |
| ALSI10MG Alaşımın Döküm Parçalar İçin Isıl İşlem Prosesinde Optimizasyon Çalışmaları Elvan Bilge Menteşe, Ferhat Aydoğan, Nurşen Saklakoğlu | 223 |
| Kum Erozyonu Tekniği İle Döküm ve Isıl İşlemi Ege Demirtaş, Elif Aktan, Murat H. Luş, Altan Türkeli | 233 |
| 6. Oturum | |
| A356 Alaşımında Vanadyum ve Bor İlavesinin Mekanik Özelliklere Etkisi Özkan Kesen, Selim Temel, Ahmet Can Filiz, Özen Gürsoy, Eray Erzi, Derya Dışpınar | 239 |
| 7075 Alüminyum Alaşımının Yarı Katı Eritme Yöntemiyle Basınçlı Dökümü ve Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi Cemre Metin Poyraz, Ali Kalkanlı | 247 |
| Yüksek Basınçlı Alüminyum Döküm İle Üretilen Ürün Kalitesine ALTI5B1 Ve ALB3 Ön Alaşımının Etkisi Yekta Berk Süslü, Mehmet Sıraç Acar, Onur Özcan, Muammer Mutlu, Özgül Keleş Kılınc | 261 |
| Yüksek Basınçlı Döküm Projelerinin Değerlendirme Sürecinde Risk ve Maliyet Analizi Tufan Özay, Burak Aksoylu, Ali Serdar Vanlı | 271 |
| Dökme Demir Talaşı Takviyeli Alüminyum Matrisli Kompozit Malzemenin Üretim Araştırılması Açelya Sandıkoğlu, Uğur Aybars Eser, M. Ragıp Muhaffel, Ahmet Kabil, Çağlar Yüksel | 279 |
| Alüminyum Alaşımının Yüksek Basınçlı Döküm Yönteminde Hava Tahliye Sistemleri Aslan Çelik, Erhan Türkmen, Ali Serdar Vanlı | 285 |

Poster Oturumu

| | |
|--|-----|
| Sr Modifikasyonu ve T6 Isıl İşleminin A380 Alaşımında Aşınma Davranışı Üzerindeki Mikdat Gurtaran, Muhammet Uludağ | 293 |
| Zamak Alaşımının Sıcak Kamaralı Basınçlı Döküm Yönteminde Proses Optimizasyonu Ve Alaşım Modifikasyonu Cem Karakaya, Uğur Büyük, Tezer Karayol, Ali Serdar Vanlı, Anıl Akdoğan | 301 |
| Derin Dağlama Yöntemiyle Bifilmelerin Açığa Çıkarılması Furkan Tezer, Özen Gürsoy, Mert Zorağa, Eray Erzi, Derya Dışpınar | 311 |
| Döküm Yöntemiyle Boşluk Yapıcılar Kullanılarak A356 Köpük Üretimi Hayati Şahin, Özen Gürsoy, Serkan Emik, Derya Dışpınar | 319 |
| A356 Alaşımında Bor İle Tane İnceltme Uğur A. Eser, Özen Gürsoy, Eray Erzi, Derya Dışpınar, Mustafa Çiğdem | 325 |
| Döküm Çalışmalarında Kırıcı Maça Uygulamaları İbrahim Hayri Keser, Haydar Kahraman, Özge Aksın Artok, Ümit Cöcen | 331 |
| Dolukalıp (Fullmould) Döküm Yöntemi ve Kullanılan Refrakter Kaplamalar Eymen Akşener, Özge Aksın Artok | 343 |
| %8 Kromlu Soğuk İş Takım Çeliğinin Katılma Hızının Birincil Karbür Yapısına Etkisi İsmail Seçkin Çardaklı, Ali Kalkanlı | 349 |
| Yeni Nesil İleri Yüksek Mukavemetli Çeliklerde Bor İlavesi Ve Etkisi Sevcan Arslan, Talha Çakmak, Dilek Demir, Çetin Bağlan, Ali Arslan Kaya | 355 |
| Yapay Yaşlandırma Şartlarının Jantin Darbe Özelliklerine Etkisi Onur Özaydın, Elvan Armakan, A. Yiğit Kaya, Aytaç Gören | 371 |
| Döküm Öncesi ve Sonrası Yöntemlerle Döküm Parçası Barkodlama ve Takibi Tekin Uyan, Kalle Jalava, Juhani Orkas, Kevin Otto | 379 |
| Farklı Tane Küçültücü Elementlerin Alüminyum Bronzları Üzerindeki Etkisi Aleattin Kulaklı, Tuba Özeren, Talip Çitrak, Fikri Erdem Şeşen | 385 |
| Otomotiv Yalın Üretim Uygulamalarının Döküm Sektörü Üzerinde Uygulamaları Ümmet Ayyıldız | 393 |
| Grafen Takviyesinin A356 Alaşımının Mekanik Özelliklerine Etkisi Uğur A. Eser, M. Ragıp Okan Aydın, Aziz Kocaveli, Özen Gürsoy, Eray Erzi, Derya Dışpınar | 403 |
| Alüminyum-Silisyum Alaşımında Fe-İntermetaliklerinin Bifilmelere Etkisi Ertan Muşdal, Özen Gürsoy, Eray Erzi, Derya Dışpınar | 409 |

ARAÇLARDA HAFİFLEME ve DÖKÜM SANAYİ (LIGHTENING OF VEHICLES AND THE FOUNDRY INDUSTRY)

Yaylalı GÜNAY (1,2)
Döktaş AŞ (1), Günay Danışmanlık(2)

ÖZET:

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

Metal sektörünün ana pazarlarından biri olan taşıt sanayinde hafifleyen, elektrifikasyon ve benzeri yöntemlerle tahrik yapısı farklılaşan ve bunun yanında otonomlaşan araçların dünyasına, bu araçlarda kullanılan malzemelerin metalurjisi ve insanların araç sahibi olma hevesindeki değişim ayrı bir faktör olarak devreye girmektedir.

Otomotiv ürünleri için AB'de başlayan, ABD ve Çin'de kısa sürede çeşitli seviyelerde uygulamaya giren, 2020 ve 2025'de gittikçe daraltılan eksoz emisyon değerlerinin üst limitlerinin tutturulmasında araç ağırlıkları, limit aşılması halinde önemli miktardaki ceza ödenmesi yanında, tüketici nezdindeki 'çevreyi kirletiyor' imajı oluşmaması için önem kazanmaktadır. Tedbir olarak, araç üreticileri hem araçlarını hafifletmekte, hem de yakıt verimliliklerini arttırmaktadırlar.

En azından benzinli motor olarak, bir süre daha ortalıkta kalacak olan içten yanmalı motorların verimliliğinin artırılması yanında, tahrik sistemi için tam elektrikli veya küçük içten yanmalı motor + elektrikli güç sistemlerine doğru hızlı bir dönüşüm yaşanılmaktadır.

Araç hafifletilmesi için güç sistemlerindeki değişimin ötesinde, karasöri ve platformlarda da, alışılmış çelik karkas ve sac levha yerine, alüminyum levha, ekstruzyon ve alüminyum döküm kullanımı önemini arttırmaktadır. Bu dönüşümün ötesinde karbon fiber, takviyeli plastikler, nano partikül takviyeli çelik malzemeler yarışta olduklarını atılımları ile göstermektedirler.

Döküm sektörünün ana pazarı olan otomobil, kamyon, otobüs, tren, deniz araçları ve uçak sanayinin emisyon azaltma yönünde kullanmayı tercih ettiği malzemelere uygun yapısal değişikliklere gitmesi gerekmektedir. Tebliğde, dünya otomotiv sanayindeki değişimler, içten yanmalı ve elektrikli araçlar arasındaki gelecek yılların perspektifi, araç yapısında hafif ve alternatif malzemelerin artan oranları ve nerelerde kullanıldığı, diğer malzemelerle rekabet konuları ve döküm sanayi için bu değişime uyum önerileri incelenmektedir.

Anahtar sözcükler: Otomotiv, alüminyum döküm, eksoz emisyonu, elektrikli araçlar, döküm sanayinin yeni geleceği

ABSTRACT

Rapid transformation in the vehicles market will in the future 10 years and beyond be subject to major changes in the global vehicle industry and way of usage of vehicles.

Overall lightening, modification of the traction units with electrification in automotive industry, autonomous cars, metallurgy of materials used in automotive products and the change in the desire to buy new cars are all individual factors in the trends of the main markets of the foundry industry.

The upper limits of exhaust emission regulations for automotive vehicles that have first been initiated in EU

in 2010, and soon adopted in USA and China, have been decreased in 2020 and will further be reduced in 2025. In order to cope with these regulations and not to be financially penalized, as well as not to face the image of "environment polluter" in the public, weight of cars and fuel efficiency are of utmost importance for the vehicle manufacturers.

Internal combustion engines will stay in usage as gasoline engines with modified and increased efficiencies, while there will be a fast transformation into electrical and hybrid electrical power trains.

Reduction of the weight of vehicles is not pertinent only to the type of power train systems, but changes in the platform and chasis as replacement of all steel structures with aluminum plate, extrusions and aluminum castings are on the rise. Other than this change, carbon fiber, reinforced plastics, nano-particle reinforced steel plates are still on the race.

Foundry industry has to proceed with structural changes to adopt to the new materials that their main customers of car, truck, bus, train, sea and air vehicles have switched to in order to comply with the ever tightening exhaust emission regulations.

Paper studies, changes in the world of vehicle industries, future perspectives for the electrical vs ICE power trains, increased usage of aluminum, competition with other alternative materials and proposals on how the foundry world can adopt to these changes.

Key Words: Auto Industry, aluminum casting, exhaust emissions, electrical vehicles, future of the foundry industry

I) GİRİŞ:

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, rekabetciliğin yeni evrelerindeki değişim tüm sektörleri etkilemektedir.

Metal sektörü, değişim yaşayan tüm sektörlerle hizmet verdiği için bu yeni yapılanmadan etkilenmemesi beklenilmemelidir.

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 PAZARLARININ DEĞİŞİMİ

-Tüm dünyada, her türlü üründe daha ucuz, daha dayanıklı, daha hafif, daha az enerji kullanan ve daha yeşil ürünlere ve üretim süreçlerine geçmek için büyük bir heves, akım, ve gittikçe artan toplumsal baskı vardır.

-Tüm ürünler, bu baskılara bağlı olarak, dizaynlarını değiştirmekte, yeni fikirlerle yeni ürünler pazara girmektedir.

-Döküm sektörünün de bu akımlardan uzak kalması veya göz ardı etmesi söz konusu olamamaktadır.

-Gerek daha hafif metalik malzemeler, gerekse hafif metalik olmayan malzemeler, yeni biyonik simülasyonlu dizaynlar, mevcut rahat iş yapma kolaylığını dökümcünün elinden almaktadır. Tüm dünyada, demir ve demirdışı döküm sektörünün ana müşterisi, taşıt araçları sektörü olup, bu sektör takriben 100 milyon tonluk dünya üretiminin % 60'ını oluşturmaktadır.

-Bu sektörde, ilk yıllarından beri standart tahrik grubu olarak kullanılan içten yanmalı motorların atmosfere izin verilenden fazla CO² salması nedeni ile, belirli bir program dahilinde, elektrik ile hareket eden ve araçtan sıfır CO² emisyonu salan elektrikli araçlara geçiş yapılmaktadır.

-Geçişin 2020-2040 yılları arasında artan oranlarda olacağı hesaplanmakta, geçiş devletler tarafından elektrikli araçların alımına parasal destek verilmesi ile desteklenmekte, bazı ülkeler bu üretimde liderliğe soyunmakta, bazıları ise arkadan gelmektedir.

-Geçiş ilk önce hibrit araçlarla (hem içten yanmalı, hem elektrikli, PHEV, HEV) başlayıp, şarj istasyonu sayısı artması, şarj süresinin kısalması ve dolu akü ile katedilen mesafenin yükselmesi ile sadece elektrikli araçlara dönüşecektir. Bazı ticari araçlar ve şehir otobüslerinin bu akımı izleyecekleri görülmektedir.

-Bu geçiş, araçların tahrik gruplarında kullanılan döküm miktarını, PHEV, HEV tipi araçta hem içten yanmalı, hem elektrik gücü grubu bulunmasından dolayı, ilk başta hem arttıracak, daha sonra sadece elektrikli güç ünitesine dönülünce düşürecektir.

-Güç gruplarında azalan döküm miktarının bir miktarı, platform ve karesorilerde kullanılmaya başlanılan döküm parçalar ile geri kazanılacaktır.

ÜRÜNLER, MALZEME VE ÜRETİM SÜREÇLERİ ÜRÜN ÖMRÜ BOYUNCA AYNI KALMAMAKTADIR:

-Herhangi bir mekanik ürünün üretim süreci ve malzemesi, ülke, güncel malzeme fiyatları, temin edilme zorlukları, enerji, kullanım şartlarının değişimi gibi birçok nedenlerle değişebilmektedir.

-Aynı kullanım yerinde olsa bile, bazı ürünler, maliyet ve teminindeki zorluklar nedenleri ile çeşitli ülkelerde başka bir malzeme ve başka bir süreç ile üretilebilmektedir (Şekil 1). Önemli olan, bu değişimi önceden hissedip, pazarlama, üretim ve insan kaynaklarındaki dönüşümü vaktinde "ve rakiplerden önce yapabilmektedir."

| DÖNÜŞÜMLERİN EĞİMLERİ | |
|-------------------------------|----------------------------|
| MEVCUT | YENİ EĞİLİM |
| Saç şekillendirme | Döküm |
| Dövme | Döküm |
| Dolu malzemedan işleme | Döküm, dövme |
| Plastikler | Döküm |
| Çok parçalı döküm | Yekpare döküm |
| Mevcut döküm alışımı | Başka döküm alışımı |
| Mevcut döküm süreci | Başka döküm süreci |

Şekil 1) Üretim metodu ve malzeme tipinin değişimi

ABD'de metale şekil verme işlemlerinde en fazla gelişen sektör döküm sektörü. Dövme talebi gerilemektedir. (2017). Döküm sektörü bu eğilim ve gelişmeden yararlanarak, pazarda yerini sağlamlaştırmalıdır.

Dünya milli gelirin %5'ini (4 trilyon \$) ve dünya döküm talebinin %60'ını oluşturan otomotiv sanayinde hızla önemli gelişmeler yaşanılmaktadır. Tüm bu değişim, ana pazarı otomotiv olan dö-

küm sektörünü etkilemektedir. (Şekil 2)

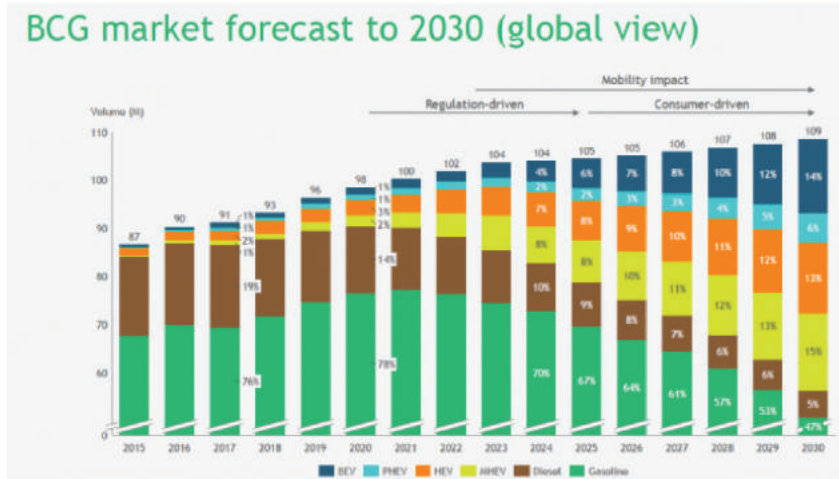
Dünya hafif araç (otomobil + hafif ticari araç) üretiminin en az 5 yıl boyunca tüm bölgelerde sınırlı sayılarda artması tahmin edilmektedir. Bu tahminlerin, elektrikli araçlara dönüşüm, dizel boykotu, şehirleşme, yaşlı nüfusun artışı, gençlerde araba sevdasının oluşmaması gibi faktörlerle, yeni araş-

| Mega Trendler | Beklentiler | Etki & Sonuçlar |
|--|---|---|
| <ul style="list-style-type: none">Demografi DeğişimiArtan ŞehirleşmeTeknolojik Atılımİklim Değişikliği ve Kısıtlı KaynaklarKüresel Ekonomide Değişen Güç Dengesi | <ul style="list-style-type: none">Daha Fazla Konfor ve FonksiyonSık ve Hızlı UlaşımYeni Müşteri ve İş Yapma ModelleriAlternatif YakıtAlternatif Hareket SistemleriAlternatif Malzeme | <ul style="list-style-type: none">Otonom SürüşAkıllı (Smart) Alt ParçalarDeğişen Araç Boyut (Tek/Çift Kişi) ve TasarımıPazardaki Yeni Oyuncular (Apple, Google, Tesla, Uber)Araç Paylaşımı (Mobilite Satınalma)Elektrikli & Hibrit AraçlarManyetik Sistemler (Hyper Loop, Maglev) |

Şekil 2) Dünya araç sanayindeki eğilimler ve metalik şekil verme teknolojilerine olası etkileri

tırmalarda azalma yönünde değişmesi beklenilmelidir. (Şekil 3)

Tüm dünyada otomotiv sanayii, bugüne kadar yaşamadığı değişim ve baskı altında bulunmaktadır. Tüm bu değişim, metal üretim tesisleri dahil tüm oto yan sanayinde yapısal farklılıklara neden olacaktır. Elektrikli araçlarda ise, önümüzdeki 10 yıl içinde pazarı hibrit ve tam elektrikli araçlar domine edecektir. 2025'e kadar pazar gelişimi emisyon kanunları tarafından, 2025 sonrası ise, alıcılar tarafından yönlendirilecektir.



Şekil 3: 2030 kadar dünya araç üretimi ve güç grupları dağılımı

Ağır ve hafif kamyon üretimi ise, AB'de artmasına rağmen, Çin'de azalmaktadır. Bu genelde, AB'de üretilen yüksek teknolojili yeni tip kamyonların Afrika, G.Amerika ve Orta Doğu'ya ihracatından ileri gelmektedir. Genelde tüm dünyada, nakil araçları, hafriyat ve maden makinaları üretim ve talebinde artış planlanmaktadır.

III) TÜM NAKİL ARAÇLARINDA HAFİFLEME VE YAPISAL DEĞİŞİM

Günümüzde araçların yapısal değişimi, "Atlı Araçtan Otomobile Geçiş"e benzer yapıdadır.

-Tüm dünya otomotiv parça üreticilerinde sıfır emisyon, sıfır kaza, sıfır ses ve sıfır hata anlayışı

ve hedefi ile araç yapısı, malzemeleri ve kullanım şeklinde yapılan değişiklikler, sektörü ve bu sektöre fikir, ürün ve malzeme verenleri önemli şekilde etkilemektedir.

-Araçlar emisyon, güvenlik, kullanım kolaylığı nedenleri ile malzeme yönünden yapı değiştirmenin ötesinde, artık akıllı bir teknolojik ürün haline dönmektedirler.

Araçların güç sistemlerindeki değişim mecburiyeti

-Kara, deniz, hava taşıt araçlarında tahrik mekanizması olarak kullanılan içten yanmalı dizel, benzin ve LNG motorları, yanma gazı atığı olarak eksozlarından atmosfere CO², NO_x ve yanmamış karbon partikülleri atmaktadırlar.

-Atmosferde biriken bu atıklar, havanın ısınmasına, kirlenmesine, meteorolojik değişimlere, buzların eriyerek deniz suyu seviyesinin yükselmesine, yağmur rejiminin değişimi sonucu tarımın yapısal değişimine neden olmaktadır.

-Atmosfer dengelerinin, yakıtların yanması ile değişimi önlenmemesi ve kontrol altına alınmaması, yaşamı tehlikeye sokacağından, ülkeler, petrol bazlı yakıtların kullanımına sınırlar getirmek zorunda kalmışlardır.

-Tüm nakil araçlarında, atık gazların belirlenen tarihlerde, kararlaştırılan düşürülmüş emisyon miktarlarına uymaları istenmiş ve uyulmaması halinde önemli miktarda parasal cezalar verilmesi ortaklaşa kararlaştırılmıştır.

-Araç üreticileri, ağırlık azaltma, içten yanmalı motorların verimini artırılması, araçların hava ve sürtünme dirençlerinin azaltılması yönünde adımlar atmışlardır. Elektrikli araçlar, bu hamlelerin bir sonucudur.

-Yakıt ve emisyon azaltılmasının, bir başka hamlesi de, aracın klasik çelik ve demir olan ağır yapısının, daha hafif olan alüminyum, kompozitler ve karbon fiber malzemelere dönüştürülmesidir.

-Otomotiv ürünleri, deniz ulaşım araçları ve havacılıkta, hafifleme bilim ve akademi dünyasının önemli çalışma alanlarından biri durumunda olup, her yıl yayınlanan tebliğ ve alınan patentler sürekli artmaktadır. Konu ile ilgili yayın sayısında; EU'da emisyon limitlerine uymama nedeni ile firmalar her yıl emisyon aşma bedeli olarak 1 ile 5 milyar € ceza ödemektedirler. Rekor VW'de olup, firmalar, ceza vermemek için, araç portföy ve yıllık üretim adetlerini sıfır emisyonlu elektrikli araç ve içten yanmalı araç dengesi kurarak ayarlamaktadırlar. Almanya, ABD, ve Çin, patent sayısında ise; Almanya, ABD ve Japonya önde gelmektedir.

-Dünya atmosferindeki karbondioksit miktarı, dünyadaki emisyonlar nedeni ile tehlikeli limitlere ulaşmaktadır. Artan CO² emisyonu, yaşam konforunu birçok yönden etkileyen atmosferin aşırı ısınmasına neden olmaktadır.

-Atmosferdeki CO² miktarının artması, dünya sıcaklıklarını arttırmaktadır. Isınan hava ile tarım zorlaşmakta, ürün tipleri değişmektedir.

-Atmosferin ısınması, buzların erimesine ve deniz suyu seviyesinin, her yıl 3 mm yükselmesine neden olmaktadır.

-AB'de araçların atmosfere saldıgı CO² emisyonu, toplam emisyonun % 27'sini oluşturmaktadır.

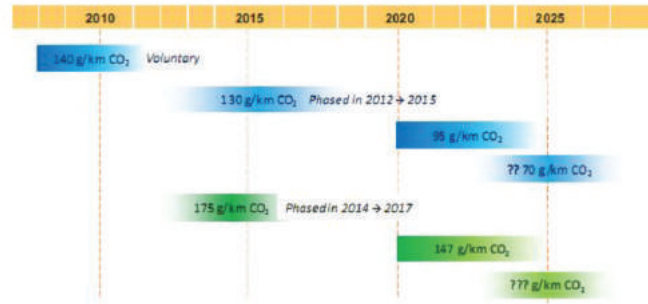
Eksoz emisyon değerlerinin 95 gr/km CO² değerinin altına düşürülmesi halinde, araçların küçültülüp, hafifletilmesi veya tahrik sisteminin elektrikli tipe dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu limitlere ulaşabilmek için araçların hafiflemesi ve petrol yakıtlarının kullanılmaması gerekiyor.

Eksoz gazı emisyonları sadece CO² miktarı ile sınırlı olmayıp, CO, NO_x ve partikül emisyonlarını da kapsamaktadır (Şekil 4).

Yıllık emisyon azaltma gereksinimi: %4 /yıl

2019'a kadar laboratuvar ortamında yapılan emisyon testleri, bu yıldan sonra RDE Euro 6-temp (Real Driving Emission) ile yolda sürüş yapılırken ölçüleceğinden, araç verim ve hafifletilmesi daha da önem kazanacaktır.

Araç hafiflemesi ile beraber araç dış geometrisinde yapılan iyileştirmeler, güç gruplarında artırılan verimlilik, sürtünme direncinin azaltılması gibi birçok iyileştirme eksoz emisyonlarını azaltmaktadır. (Şekil 5)



Şekil 4: Araç emisyon değerlerinin yıllara göre değişimi

Araç hafiflemesinin faydaları...



| | | | |
|--|---------------------|---|----------------------------|
| Weight | -100 kg | ▶ | -8.5 g CO ₂ /km |
| Drag area (C _d · A) | -0.1 m ² | ▶ | -3.5 g CO ₂ /km |
| Mechanical power requirement (friction etc.) | -1 kW | ▶ | -16 g CO ₂ /km |
| Rolling resistance | -1 % | ▶ | -2 g CO ₂ /km |
| Energy consumption | -1 A | ▶ | -0.3 g CO ₂ /km |

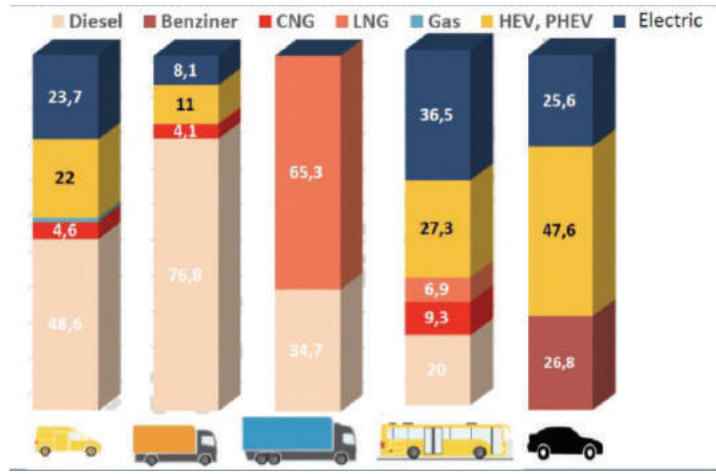
Şekil 5: Araç hafiflemesinin faydaları ve araçlarda hafiflemenin ve verimlilik artırılmasının CO² salınımlarına etkisi

EU'da emisyon limitlerine uymama nedeni ile firmalar her yıl emisyon aşma bedeli olarak 1 ile 5 milyar € ceza ödemektedirler. Rekor VW'de olup, firmalar, ceza vermemek için, araç portföy ve yıllık üretim adetlerini sıfır emisyonlu elektrikli araç ve içten yanmalı araç dengesi kurarak ayarlamaktadırlar.

Araç üreticileri, emisyon limitlerini aşarak yüksek cezalar ödememek için dengeli bir şekilde hibrit ve elektrikli araç üretimini artırmaktadırlar.

2040 yılı itibari ile öngörülen araç üretim beklentileri: Otomobilde %75 elektrik veya hibrit, otobüste %60 elektrik, kamyonette (3.5-12 t) %20 elektrik, küçük ticari araçlarda (<3.5 t) %45 elektrik. 12 t üstü kamyonlarda dizel ve gazlı içten yanmalı motorlar (Şekil 6).

Otomobil gerek kullanım miktarı, gerekse yakıt verliliği açısından mekanik araçların en verimsizidir. Özel araçlar, ömürlerinin ancak %5'inde kullanılmakta, geri kalan zamanlarda, kapı önünde, garajda veya trafikte beklemektedirler. Yakıt verimliliği açısından da %11-12 gibi düşük verim alınabilmektedir. Ana kayıp motor kayıpları (%62), motorun rölantide çalışması (%17), transmisyon sitemi (%5.5) ve fren kayıplarıdır (%5.5)



Şekil 6: 2040 yılında üretilecek araç tipleri öngörüsü

ANA TEMA:

Daha hafif, daha küçük, daha ekolojik ürün

-Bu hafifleme dönüşümde, bu malzemelerin a) bulunabilirlikleri b) şekillendirilebilmeleri c) dayanımları d) fiyatlarına bağlıdır.

-Mg'un kg fiyatı 2.4 \$, Al'un 1.80 \$, çelik veya dökme demir 0.75-1.20\$ civarındadır. Mg, alüminyumdan %33, demir bazlı malzemelerden % 75 daha hafiftir. Aynı durumda, karbon fiber malzeme ise, Al'dan %40 daha hafif olmasına rağmen fiyatı 10-14 \$/kg'dır.

-Kompozit ve özellikle karbon fiber yapılar hafiflik açısından %60'a varan tasarruf sağlamasına rağmen, bugünkü takr. 10 misli yüksek maliyetleri, (Bugün için 14-15 €/kg olan karbon fiber fiyatının üretim süreçlerinde iyileştirmelerle 2020'de 7-8 €/kg'a indirilmesi hedeflenmektedir), dünyada sayılı üretici olması nedeni ile kullanım alanının hızla artmasını önlemektedir.. Maliyet faktörünün yanında, diğer tüm metalik malzemeler (çelik, pik, Al,Mg) geri kazanılabilmelerine rağmen, karbon fiberin geri kazanımında ilerleme kaydedilmemiştir.

IV) ARAÇLARIN HAFİFLETİLME ÇALIŞMALARINDA GÖZ ÖNÜNE ALINANLAR

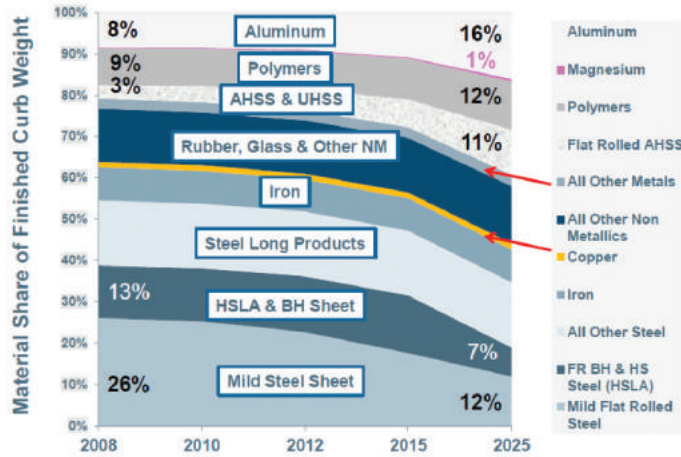
- Alternatif malzemelerin fiziksel, mekanik ve ortamdaki özellikleri,
- Temin edilebilme kolaylığı ve sürekliliği,
- Kullanıldığı nihai üründe maliyeti
- Bazı özel şartlarda, ürünün ham halden nihai kullanım şekline dönüşmesindeki toplam maliyet,
- Prototip, test, validasyon, onay ve seri üretime geçiş süresi
- Atık maliyeti
- Üretimi ve kullanımındaki güvenlik
- Müşteri gözünde avantaj yaratabilme,

Ulaşım araçlarının hafifletilmesi için kullanılan alternatif malzemeler

- 1) Alüminyum (döküm, levha, ekstruzyon, dövme)
- 2) Alaşım ve özel ısıl işlemlenmiş çelikler (AHSS, DP-Dual phase steel, mikro alaşım çelikler)
- 3) Magnezyum
- 4) Karbon fiber (CFRP)
- 5) Hafif polyester (CLC-Cellular light weight polyster)
- 6) SMC (Sheet molding composite)
- 7) ADI (Ostempelenmiş dökme demir)

Malzemeler arasında, hafiflik, maliyet, üretim ve temin edilme kolaylığı, çevreye verdikleri zarar, araç üreticilerinin ödeyeceği cezalar ve bunun pazarda yaratacağı imaj kaybı gibi bir çok faktör malzeme tipinin seçimini etkilemektedir.

2025'de araç ağırlık dağılımı bugüne göre değişmektedir.. Kaybın demir bazlı metallerde olduğu ve bunların yerinin alüminyum, kompozitler ve yüksek dayanımlı çeliklerin aldığı görülmektedir (Şekil 7).



Şekil 7: Araçlarda yıllara göre malzeme dağılımı

Ana malzeme olarak, Al, Mg ve kompozitlere yönelinmekte, çelik sektörü yüksek dayanımlı mikro alaşım çeliklerle pazardaki yerini korumaya çalışmaktadır (Şekil 8, 9).

| Yeni malzeme | Yerini aldığı malzeme | Ağırlık tasarrufu |
|-----------------------------|-----------------------|-------------------|
| Magnezyum | Çelik, dökme demir | %60-75 |
| Karbon fiber kompozit | Çelik | %50-60 |
| Aluminyum matrisli kompozit | Çelik, dökme demir | %40-60 |
| Aluminyum | Çelik, dökme demir | %40-60 |
| Titanyum | Alaşımli çelik | %40-55 |
| Cam fiber kompozit | Çelik | %25-35 |
| AHSS Çelikler | Karbon çelikleri | %15-25 |
| Yüksek dayanımlı çelikler | Yumuşak çelikler | %10-15 |

Şekil 8: Hafifletme işlemlerinde değişen malzemelerin etkileri

| Araç tipi | Tahrik grubu | Şanzıman grubu | Dolu depo/Akü metal kısmı | Fren/teker/suspansiyon | Karesöri/iç hacim | Platform | Akslar/Direksiyon |
|----------------------------|-------------------|----------------|---------------------------|------------------------|-------------------|----------|-------------------|
| İçten yanmalı motorlu araç | 300 | 150 | 70 | 160 | 200 | 250 | 150 |
| Hibrit araç | 150 | 100 | 50 + 100 | 120 | 200 | 175 | 120 |
| Elektrikli araç | Ön:90 Arka: 50 | 40 | 200 | 100 | 175 | 150 | 90 |

Şekil 9:Çeşitli sistemlere göre üretilen ortalama araçlardaki ekipmanların metalik malzeme ağırlıkları (kg) (%50 döküm + %50 hadde/dövme)

Elektrikli araçların çok hızlı olarak pazar paylarının artmamasının ana nedenleri: a) Yeterli araç ve batarya üretim kapasitesinin olmaması b) Yeterli servis hizmeti verilememesi c) Yeterli teknolojik mükemmeliyete ulaşılamamış olması d) yeterli sayıda şarj istasyonu ve şarj hızı sağlanılmamış olması. Elektrikli araçlar halen, içten yanmalı araçlara göre 12.000 \$ daha pahalıdır. 2025'e kadar maliyet kalemlerinde yapılacak iyileştirmelerle, her iki tip aracın da aynı fiyat seviyesine geleceği planlanmaktadır.

Tüm dünya araç üreticilerinde, aracı hafifletme ana tema olmuştur. ABD, bu konuda önde gitmekte ve halen araç başı 200 kg olan alüminyum kullanımını, 260 kg'a çıkartmayı hedeflemektedir (Şekil 10).

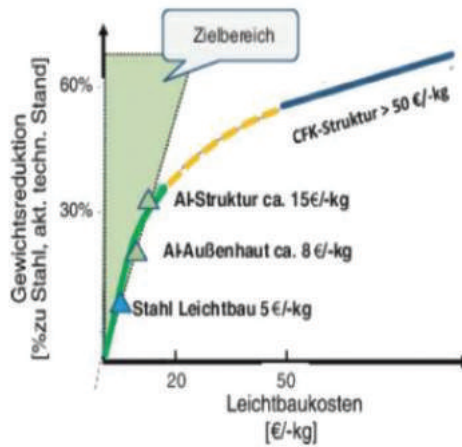


Şekil 10: Otomobillerde artan alüminyum kullanımı (ABD)

Tüm dünyada, araçlardaki hafiflemeye paralel olarak alüminyum döküm talebi artacaktır. Aynı şekilde, alüminyum levha ve ekstrüzyon ürünlerine de talep artacağı için, dünya alüminyum ham madde talebinde sıkıntılar öngörülmektedir. Dökümün kullanıldığı her üründe, hafifleme zorunluluğu, simulasyonla gereksiz dizayn ağırlıklarından kurtulma, alaşımlandırma, ısıl işlem ve döküm tekniklerindeki ilerleme etkisi ile alüminyum döküm üretiminin tüm dünyada artması beklenilmektedir.

1 Kg hafifletme için kabul edilebilecek bedel, araç tipine ve kullanım yerine göre değişmektedir. Uzay araçlarında 5.000€/kg, uçaklarda 500€/kg, otomobillerde 2-10€/kg, kamyon ve trenlerde ise 1-3€/kg bugünkü (2017) kabul sınırlarıdır.

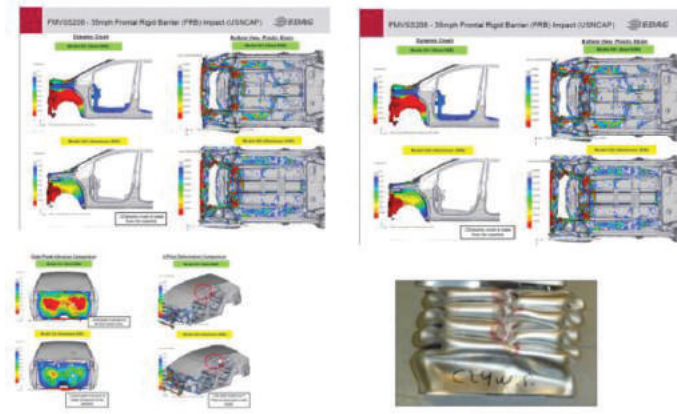
Bugünkü teknoloji seviyesine göre, çelik malzemeye göre, alaşımlı çelik, alüminyum ve karbon fiber malzemelere göre ağırlık azaltma miktarına bağlı olarak, araç başına, aracı 1 kg hafifletme maliyetinde alüminyum en ekonomik malzeme özelliğini korumaktadır (Şekil 11).



Şekil 11: Malzemelere göre hafifletme maliyeti

Alüminyumun çelik malzemeye göre bazı teknolojik avantajları:

- Çelik malzemeye göre daha hafif
- Hafifleyen aracın daha kısa fren mesafesi olması
- Paslanmaya karşı daha iyi direnç (Çelik malzemedeki, karasöri çelik malzemesinin çift taraflı galvaniz kaplama zorunluluğu olmaması)
- Kolay şekil verilmesi nedeni ile, daha büyük yekpare parça yapılabilmesi ve daha az birleşim noktası gerektirmesi,
- Alüminyum levhaların yapıştırma veya perçin ile daha kolay ve ucuz bağlanabilmesi,
- Çelik malzemenin (AHSS), 1000 N/mm² üzerinde uzama ve esnekliğinin düşük olması,
- AHSS çeliklerinde düşük yüzey düzgünlüğünün boya kalitesini etkilemesi,
- Çeliklerde dayanımın 1000 N/mm²'nin üstüne çıkınca, şekil vermede geri esneme problemi yaşanılması.
- İşleme yüklerinde pik ve çeliğe göre %50 tasarruf (daha hızlı ve daha az enerji ile işleyebilme)
- Ort. 1.5 mm işleme payı ile 3 mm olan dökme demire göre talaş ve işleme tasarrufu
- Çarpışmada, çelik malzemeye eşdeğer sonuç vermesi (Şekil 12).



Şekil 12: Araç çarpışmasında alüminyum şasi, çelik şasiye göre eşdeğer veya daha iyi.

Otomobiller dışında kara nakil araçlarında hafifleme:

Otomobil dışındaki kamyon, otobüs ve kamyonetlerde de, hem CO2 emisyonu limitlerini aşmamak, hem taşınabilecek yük miktarını arttırmak, hem de toplam maliyeti azaltmak için özel alaşımlı çelik, alüminyum dövme, alüminyum döküm kullanımı ile özellikle şehir içi otobüslerle başlamak üzere elektrifikasyon ve kamyonlarda fuel-cell kullanımı kademeli olarak artmaktadır. Platformlarda özel alaşımlı çelikler, karasörde kompozit malzemeler, jantlarda dövme alüminyum kullanımı hızla artmakta ve endüstri standardı haline gelmektedir.

V) HAFİFLEME İÇİN OTOMOTİV SANAYİNDE KULLANILAN MALZEMELER:

A) ALÜMİNYUMUN KULLANIMI

1)Yüksek basınç metodu ile alüminyum döküm:

- Motor blokları (Yeni üretilen araçların ABD'de %85'i, AB'de %55'i, Çin'de %60'i, Brezilya'da %45'i alüminyum döküm blokları. 2020'de bu rakamın ABD'de %89, AB'de %60, Çin'de %66, Brezilya'da %64'e ulaşması planlanıyor.
- Transmisyon ve dişli kutuları (Yeni üretilen araçlarda ABD ve AB'de %90'ı alüminyum döküm)
- Karter (%90 Alüminyum döküm)
- Taşıyıcı köşe ve kuleler (AB'de %60, ABD'de %30 vakumlu alüminyum döküm)
- Ön ve arka aks taşıyıcılar (AB'de %50, ABD'de %20 vakumlu alüminyum döküm)
- Kapı ve karasöri parçaları (AB'de %30, ABD'de %10 vakumlu alüminyum döküm)

2) Alçak basınç metodu ile alüminyum döküm:

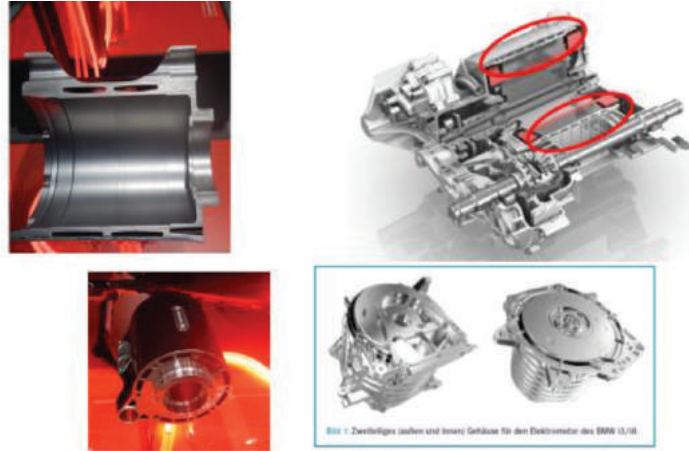
- Silindir kafaları (Yeni üretilen araçlarda AB'de %90, ABD'de %80)
- Volan muhafaza, zaman dişli kapakları (AB ve ABD'de %90)
- Aksonlar (ABD'de %40, AB'de %20, Çin'de %45. Çelik dövme olarak başlayıp, sonra sfero döküme dönüşen aksonların %50'si, 2021'den sonra piyasaya çıkacak araçlarda alüminyum alçak basınç olarak dizayn edilmektedir.)
- Ön ve arka braket kolları (AB'de %50, ABD'de %30)
- Alüminyum jantlar (ABD'de %70, AB'de % 75. Çin ve Hindistan'da alüminyum jant penetrasyonu düşük seviyededir. Oranların, 2020'lerden sonra, dünya çapında %90'lara ulaşması beklenilmektedir. Dövme jantların kullanımları spor arabalarla, Mg jantlar yarış arabaları ve Porsche gibi lüks sınıf araçlarda sınırlı kalacaktır. Kamyon ve treylerlerde dövme jant, çelik jantın yerini tamamen alacaktır.) Bu parçalarda genelde primer alüminyum kullanılmakta olup, T6 ısıl işlem ile özellikler istenilen seviyelere getirilmektedir. Bu grupta, en önemli parçalar silindir gövdesi ve silindir kapağı olup, bu parçaların üretiminde, çeşitli varyasyonları ile kokil döküm ve alçak basınç döküm kullanılmaktadır. Sfero döküm araç aksonları, alçak basınç alüminyum döküm olarak dökülerek, aynı mekanik ve dinamik özelliklerle %50 hafifletilmektedir. (Şekil 13)



Şekil 13: Araçlarda alçak basınç ve kokil döküm metodu ile üretilen parçalar

Araçlarda kullanılan elektrik motorları motorun ısınması nedeni ile grift su soğutma kanalıdır. Yüksek basınç alüminyum veya alçak basınç alüminyum olarak dökülen motorlar için patentli değişik metodolojiler kullanılmaktadır. (Şekil 14)

Ağır vasıtalarda çelik jant yerine Alüminyum dövme jant kullanımı, sağladığı ağırlık tasarrufu nedeni ile süratle artmaktadır. Her tekerde (22.5 inc jant) takr. 16 kg tasarruf ile bir TIR'da 140 kg'a varan ağırlık tasarrufu sağlanabilmektedir. Dövme Al jant fiyatının, çelik janta göre 4-5 defa daha pahalı olmasına rağmen, uzun vadede taşınan yük ve emisyon limitlerinin tutturulması açısından tercih edilmektedir.

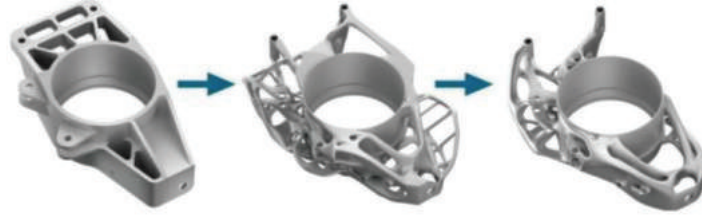


Şekil 14: Elektrikli araçlarda kullanılan değişik tip elektrik motorları

Dışı alüminyum, fren yüzeyi dökme demir olan kampanaların bir ilerki etabı olarak, komple kampana alüminyum-kompozit malzemeden yapılmaktadır. Sıvı alüminyum içine emdirilmiş karbon veya grafit malzeme ile elde edilen kompozit sıvı ile kampana dökümü yapılmaktadır. Bu yolla, kampana normal döküm kampanaya göre %45 hafifleyerek 28 kg'a düşmektedir. 3 akslı bir kamyon veya otobüste ağırlık tasarrufu 175 kg'a ulaşmaktadır. Bunun yanında, fren yüzeyinde kılcal çatlaklar, balanssızlık, atıklık yaşanmamakta, daha kısa fren mesafesi ve balata ömrü elde edilmektedir.

HER GRAMIN ÖNEMİ VAR...

Hafifleme için sadece malzeme tipi değiştirme değil, mevcut dizaynların fazlalık ve gereksiz olan yerlerinin kademe kademe kaldırılması ve aynı malzeme ile olsa bile üretim metodunu değiştirmekte kullanılmaktadır (Şekil 15).



Şekil 15: Simülasyon ve döküm metodunun değişimi ile hafifletme

B) ÇELİK MALZEMENİN KULLANIMI

- Pazarda yıllardır süren hakimiyet, saça şekil verme tesislerinin ve tecrübenin olması, araç dizayn edenlerin çelik malzeme bilgisinin ve alışkanlığının bulunması,
- Al ve Mg'a göre daha düşük ve fazla oynamayan fiyat,
- Darbe dayanımı ve çarpma güvenliği gerektiren yerlerde vazgeçilmez malzeme olması
- AHSS, UHSS çeliklerinin yüksek dayanım değerleri nedeni ile daha ince ve hafif komponentler yapılabilmesi,
- Sıvı çelik üretiminde, enkluzyonları temizleyecek vakumlu üretim teknikleri ile sağlanan derin şekil verme özelliği,

C) MAGNEZYUMUN KULLANIMI

- Yoğunluk bakımından, Al'a göre %35, çelik ve dökme demire göre %75 daha hafif olan Mg, araçların bazı alanlarında sınırlı miktarda ve proje bazında kullanılmaktadır
- Yüksek ısılara dayanamaması, fiyat/getiri oranının yüksek olması, Mg component üreten yan sanayicilerin sınırlı sayıda olması, mekanik dayanım/ağırlık avantajı oranının sınırlandırıcılığı gibi birçok neden ile olması gereken kullanım miktarlarına ulaşamamıştır. Halen dünya Mg üretimi 230 bin ton civarında olup, bunun ancak 30-40 bin tonu araç sanayinde döküm olarak kullanılmaktadır.
- Malzemenin tanınmaya başlanması, fiyatının dengeye oturması ile kullanımı bir miktar daha artacaktır.

D) DÖKME DEMİRİN KULLANIMI

- Yoğunluk/mechanik özellikler nedeni ile otomotiv dizaynlarında tercih sırasını kaybeden dökme demir;
- a) Alaşım malzemeler
- b) Yüksek silisli ve dayanımlı malzemeler
- c) Ostemperlenmiş dökme demir
- d) Vermiküler grafitli dökme demir
- e) Biyonik dizayn
- f) İnce cidarlı döküm

gibi tekniklerle yerini korumaya çalışmaktadır. Elektrikli araçlara geçiş ile birlikte, otomobillerde içten yanmalı motorların kademeli olarak devreden çıkması, kamyon, tarım ve hafriyat makinelerinde daha verimli ve daha az emisyon üreten formları ile devam etmesi öngörülmektedir.

E) KOMPOZİTLER, PLASTİKLER VE KARBON FİBER KULLANIMI

- Alüminyum (2.7 gr/cm^3) olsa bile, araçların yük binmeyen, darbelere maruz kalmayan, genelde iç hacimler veya kaplama alanlarında metalik olmayan karbon fiber, takviyeli plastikler ve kompozitler, toplam araç ağırlığını azaltmak için gittikçe artan oranlarda kullanılmaktadır.
- Bu oranın, otonom araçların veya kaza yapmayan araç sistemi devreye girdiğinde, aracın diğer dış alanlarına da yayılacağı beklenilmelidir.
- Üretim ve kullanılmaları özel bilgi ve beceri gerektiren bu malzemeler, genelde ana üretici veya ana yan sanayiler tarafından kullanılmaktadır.

-En önemli sakıncaları a) fiyat b) geri dönüşümlerindeki tekrar kullanabilme zorluklarıdır.
-Genelde dökme demir malzemeden üretilen fren disklerinde, artan araç ağırlığı, kısalan fren mesafeleri nedeni ile 400 C'dan daha yüksek sıcaklıklara dayanmayan dökme demir yerine C/C-SiC diskler bırakılmaktadır. (Ağırlık azalması 5 kg, ömür 300.000 km). SiC Seramik fiber malzeme kullanılan, duruş mesafesini %30 kısaltan ve metalik malzemelere göre daha hafif (Porsche) SiC fren diskleri dökme demire göre %70 daha hafif, ömürleri 5 defa daha uzun, sürtünme katsayısı %20 yüksek, ısı iletimi ise 4 defa daha yüksektir.

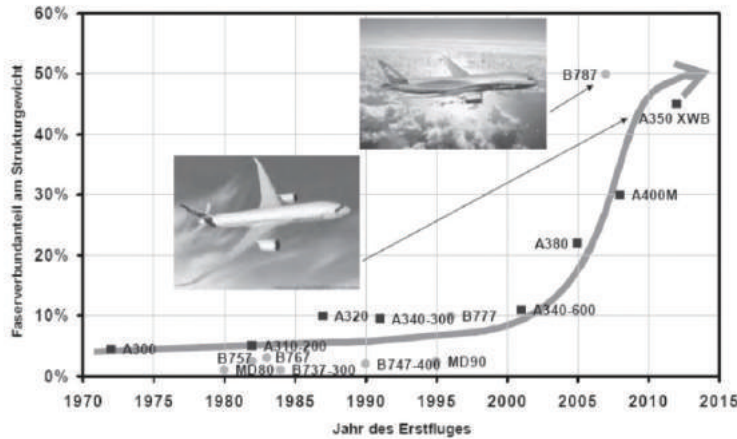
F) ÇOK MALZEMELİ ARAÇLAR (MMD-MULTİ MATERIAL DESIGN)

-Teknolojinin gelişmesi, birim maliyetlerin kabul edilebilecek seviyelere getirilmesi ve teminlerinin kolaylaşması ile, araçların hafifletilmesi ve yeni araç kullanım lükslüğü, konforu, araç hızları, ivmesi, güvenliği gibi birçok girdi göz önüne alınarak, aracın yapısında çeşitli malzemeler ortak olarak kullanılmaya başlanılmıştır. Araç dizaynında alüminyum, yüksek dayanımlı çelik, magnezyum, plastik ve kompozitlerin beraberce kullanılması genel sektör uygulaması haline gelmektedir.

-Birbirlerinin alternatifi olarak kullanılacak malzemeler rakip olduklarından, fiyatları kontrol altında tutulabilmektedir. Değişik malzemelerin kullanılması, bunların birbirlerine bağlanması (kaynak, yapıştırma, perçin) tekniklerini de geliştirmektedir.

VI) KARA NAKİL ARAÇLARI DIŞINDA HAFİFLEME:

Uçak sanayinde metalik malzemeler yerlerini süratle kompozit ve fiber malzemelere bırakmaktadır. Kullanılan metalik malzeme olarak Al-Li (8090) alaşımı ön plana çıkmaktadır. Airbus A350'de 1000 civarında parça klasik döküm veya şekillendirme yerine 3D Baskı ile yapılmaktadır. Koltuksuz Boeing 787 Dream Liner'da metalik hiç bir malzeme kullanılmamakta, görülmekte, iç, dış gövde ve kanatlar kompozit malzemeden yapılmıştır.(Şekil 16)



Şekil 16: Uçaklarda kompozit malzeme kullanımının artması

Tren ve metro vagonlarının iç ve dış mekanlarında, levha ve 25 m yekpare profil AISI 6000-7000 alüminyum alaşımlarının kullanımı standard hale gelmiş durumdadır. (Şekil 17)



Şekil 17: Yeni hızlı tren ve metro vagonlarında alüminyum ve kompozitler kullanılmaktadır.

Yat ve motorbotlarda ana gövdenin alüminyumdan yapılmasının avantajları: (Şekil 18)

- 1) Boyasız kullanabilme ve tasarruf olanağı,
- 2) Çelik yapıya göre %60 hafiflik
- 3) Kullanımda yakıt tasarrufu



Şekil 18: Alüminyum gövdeli tekne

Askeri ekipmanların bazı alanlarında alüminyum malzemeler uzun ömür, yüksek dayanım/ağırlık oranları nedenleri ile kullanılmaktadır. (Şekil 19)



Şekil 19: Alüminyumun askeri araçlarda kullanımı

VII) HAFİFLEME AKIMINDA YENİ BİR ARAÇ: 3D EKLEMELİ ÜRETİM

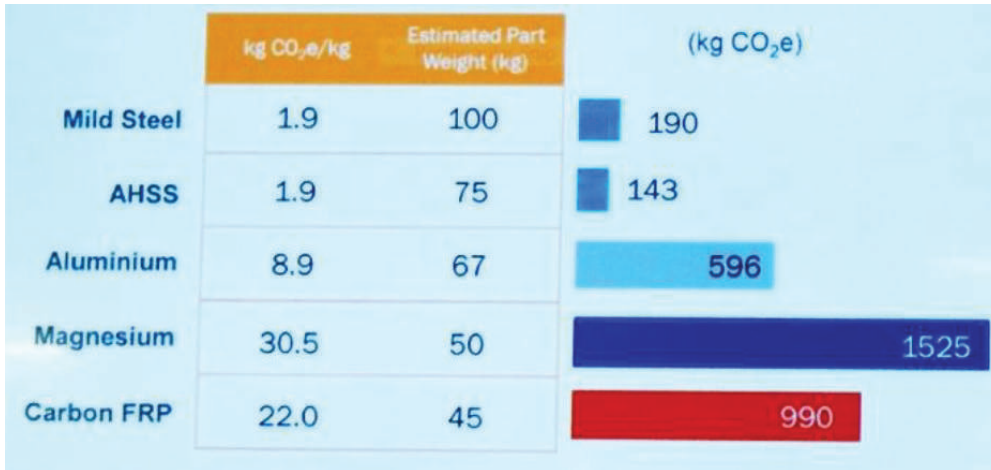
Laser yolu ile eklemeli üretim + 3D Kum Kalıp/Maça Yapımı (Laser additive manufacturing + 3D Sand Printing)) prototip ve kısa serili üretim olarak öne geçmektedir.

-Bu sektörde trend artık, plastik parçaların 3D baskı yolu ile üretilmesi veya kum maçalar/kalıplar yapıp döküm yapılmasının ötesinde, metalik parçaların digital baskı ile üretilmesi yönüne kaymakta. 40 x 40 x 25 cm'ye kadar ebadtaki metalik parçalar, 20-25 değişik analizde malzemeden lazer sinterleme yolu ile üretilip, prototip veya kısa serili işlerde kullanılmakta. Kullanılan metalik toz fiyatları ise 400 €/kg'dan, 100 €/kg'ın altına inmiş, toz imal eden firmaların artması ile rakamın 20-25 €/kg'a ineceği beklenilmekte. Parça sayıları ise 1000'li rakamlara yaklaşmakta.

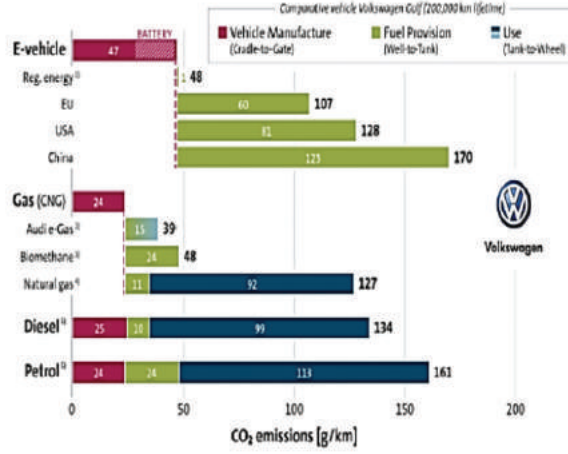
-3D Kum maça/kalıp yapımının kısa sürede prototip, kısa serili üretimlerde fiyat, süre avantajı, ölçüsel hassasiyet, klasik kalıplama ile oluşturulamayacak şekillerin dökülebilmesi, imkansız yerlere besleyici konulabilmesi vs gibi birçok avantajının yanında, gözden kaçan en önemli yararı, ürünün özelliklerine pek de katkı vermeyen, fakat ağırlık ve maliyetini arttıran kalıp/maça sıyırma açılarının iptali ile kazanılan %10 civarındaki hafifleme avantajıdır. Bu özelliğe ek olarak negative sıyırma açıları da kullanılabilir. 3D kum kalıp/maçanın 1 litresinin herşey dahil maliyeti 7 € olup, model yapımı fiyatından çok daha avantajlıdır.

VIII) ULAŞIM ARAÇLARINDA HAFİFLEME VE ELEKTRİFİKASYON AKIMINA KARŞI ARGÜMANLAR

Elektrikli araçların kullandığı elektriğin çevre ve atmosferi kirleten kömür ile üretilmesi halinde, araç tahrik sisteminin değişimi ile hedeflenen CO² emisyon hedefinin tutturulamayacağı bir karşı görüş olarak ileri sürülmektedir. Bu görüşe karşı, Çin hariç, tüm dünyada atmosferi ve tabiatı kirletmeyecek yeşil kaynaklarla üretilen elektrik enerjisi oranının, araçlardaki dönüşüme paralel olarak artmakta olduğu ve tüm hükümetlerin enerjide yeşilleşme için hem kendi politikaları, hem de seçmenlerin baskısı ile bu değişime destek verdikleri görülmektedir. (Şekil 20,21)

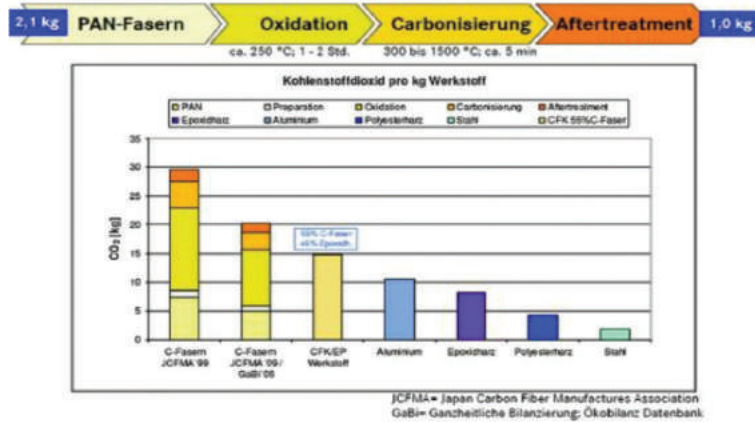


Şekil 20: Hammade üretiminden, kullanım ömrü sonuna kadar malzemelere göre CO2 emisyonları



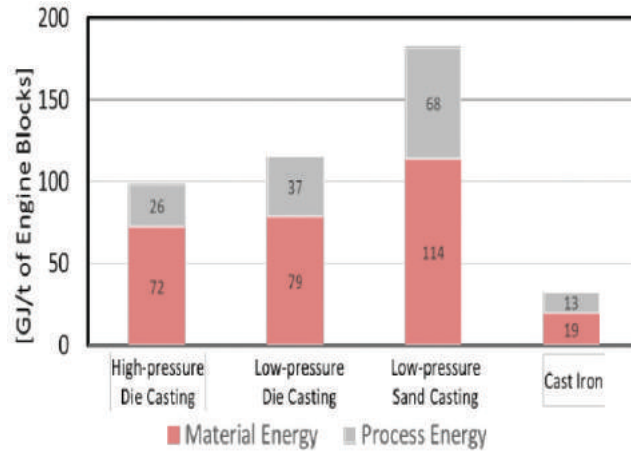
Şekil 21: Elektrikli, doğal gazlı ve dizel/benzinli araçlarda yakıtın üretimi, kullanım noktasına taşınması ve 200.000 km kullanımı süresince atmosfere salınan CO² miktarı. AB’de toplam salınım 107 gr/km, benzinde bu değer 161 gr/km olmakta.

Hafifletmenin önemli itici güçlerinden biri araç hareketinde atmosfere atılan CO² miktarıdır. Büyük resmin incelenmesinde, kullanılan ham maddelerin üretimi için harcanan toplam enerji ve salınan CO² göz önüne alınmalıdır. Çelik malzeme en düşük toplam CO² salınımına, karbon fiber ise en yüksek CO² salınımına neden olmaktadır. (Şekil 22) Alüminyum ve çeliğin geri dönüşüm miktarlarının %90’larda, karbon fiber için bu değerlerin sıfıra yakın olması, metalik malzemelerin avantajını arttırmaktadır.



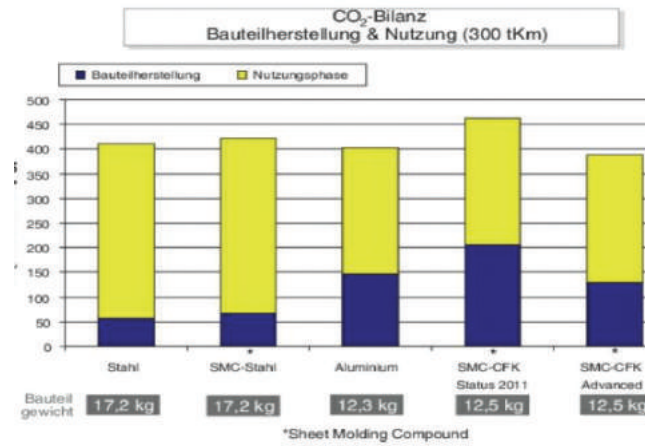
Şekil 22: Hafifletme akımında araçlarda kullanılan malzemelerin üretimlerindeki CO2 salınımları

Dökme demir ürünlerde hafifletme akımına karşı, hammaddeden itibaren kullanılan enerjide demir malzemenin daha avantajlı olduğu kozunu ileri sürmektedir. Bu konuda, dizel motorların vermiküler grafitli dökme demirden üretilmesi, bio-dizayn ile akson ve ön/arka taşıyıcıların yüksek silisli sfero dökümden üretilmesi ve parça et paylarının 2.5 mm’lere kadar indirilmesi gibi birçok iyileştirmeleri pazara sunmaktadırlar. (Şekil 23)



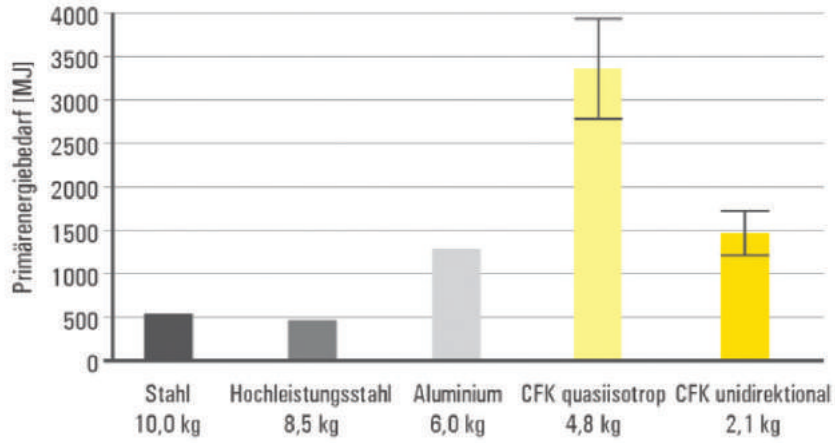
Şekil 23: Çeşitli malzemeler ve süreçlerle üretilmiş 1 ton içten yanmalı motor malzeme + süreç için harcanan toplam enerji

Hammaddenin üretimi esnasında salınan CO²'ya aracın 300 bin km kullanımı esnasında salınan CO² eklendiğinde, alüminyum malzemenin çevreyi en az kirleten malzeme olduğu gözlenilmektedir. (Şekil 24)



Şekil 24: Üretim+ 300.000 km kullanım ile toplam CO² salınımı

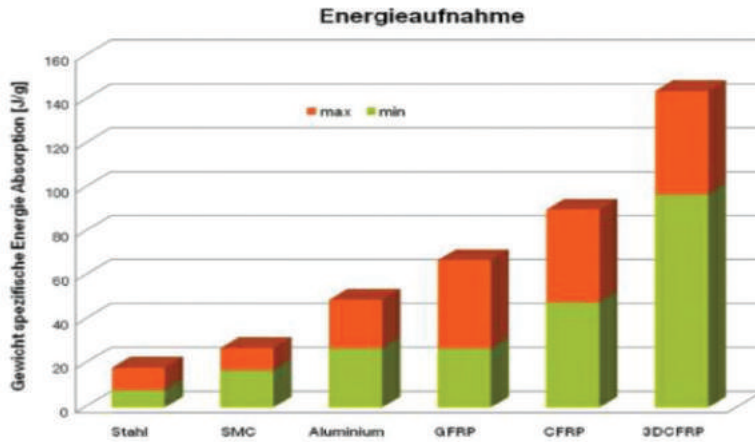
Araç dizaynında aracı hafifletme amacıyla kullanılan eşdeğer ağırlık ve fonksiyona göre malzemelerin üretimi için gerekli olan primer enerji değerleri. Karbon fiber en yüksek, AHSS çelik en düşük primer enerji kullanımı gerektirmektedir. Araç kullanım ömrü boyunca harcanan enerji ve emisyon ile geri dönüşüm özellikleri göz önüne alınınca, bu sıralama değişmektedir. (Şekil 25)



Şekil 25: Hafifletme sürecinde kullanılan malzemelerin primer enerji kullanımları

Araç dizaynında aracı hafifletme amacıyla kullanılan eşdeğer ağırlık ve fonksiyona göre malzemelerin, aracın 150.000 km kullanımı durumunda atmosfere saldırdığı CO² miktarı (kg) açısından karşılaştırması halinde, karbon fiber malzeme en elverişli malzeme olmasına rağmen, geri dönüşüm ve birim fiyat nedeni ile en elverişli malzeme olamamaktadır. Alüminyum, fiyat ve %90 geri dönüşüm özelliği nedeni ile, birçok araçta, levha, ekstruzyon, döküm ve dövme olarak kullanılmaktadır.

Malzemelerin yoğunluklarına bağlı olarak tüm üretim sürecinde kullanılan enerji bazında sıralama. FRP malzemeler en yüksek enerjiyi, çelik en düşük enerjiyi gerektiriyor. (Şekil 26)



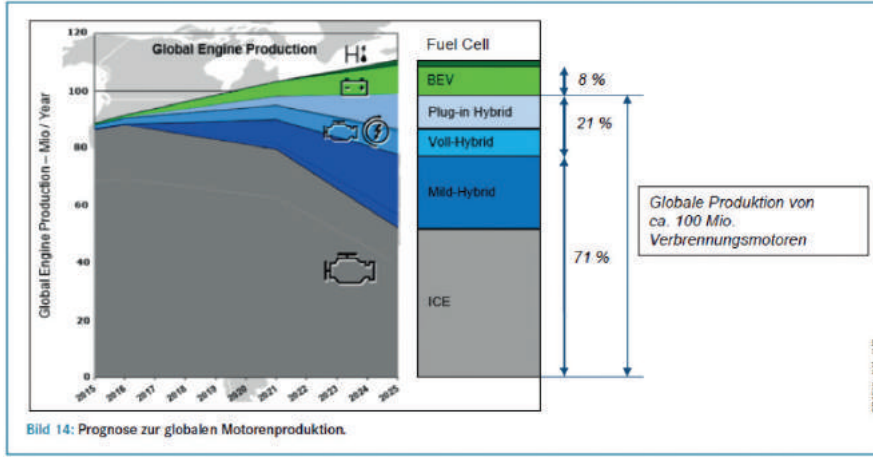
Şekil 26: Malzeme yoğunluğuna bağlı enerji kullanımı

IX) ARAÇLARDA ELEKTRİFİKASYON ve DÖKÜM SANAYİNE OLASI ETKİLERİ

-Dünya ekolojik sisteminin gerek petrol bazlı yakıtların araçlarda yakılması, gerekse kömür bazlı enerji üretimi, ısınma için karbon bazlı yakıtlar kullanılması ile enerji verimliliği çok düşük süreçler kullanılması sonucu bozulduğu, biriken CO² miktarının meteorolojik anormallikler, deniz seviyesinin yükselmesi, atmosfer sıcaklıklarının artması vb., gibi birçok problemin insan yaşamını etkilediği endişe ile izlenilmektedir.

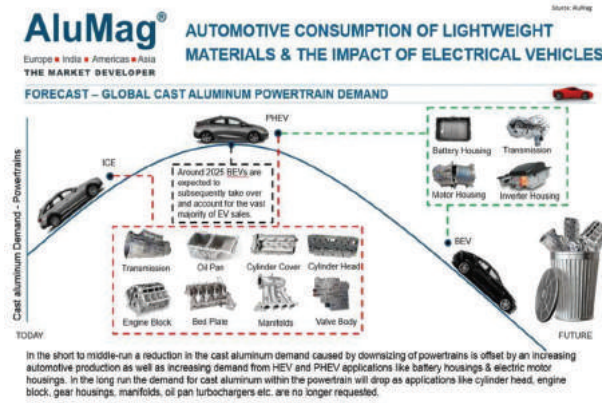
-Motorlu araçların, temelde petrol yakıtları kullanarak eksoz emisyonları ile CO², NO_x, ve partikülleri atmosfere attıkları gerekçesi ile, güç sistemleri her yıl artan oranlarda son kullanımda sıfır emisyonlu elektrikli araçlara dönüştürülmektedir.

Elektrikli (BEV) ve hibrit (PHEV, HEV) araç üretimi her yıl kademeli olarak artmaktadır. (Şekil 27)



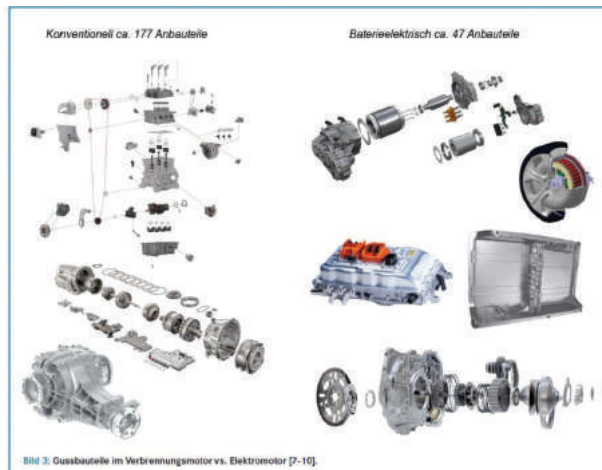
Şekil 27: Araçların güç gruplarının değişimi

Araç üretiminde kullanılan alüminyum döküm parçaların miktarı, elektrikli araçların devreye girip, içten yanmalı motor ve sanzımanların devreden çıkması ile 2025 yılında tepe yapıp, peyderpey azalacaktır. (Şekil 28) Tahrik gruplarında kullanılan alüminyum döküm parçaların azalmasına rağmen, araçların şasi ve platformlarında kullanılan ince cidarlı alüminyum döküm parça miktarı artacaktır.



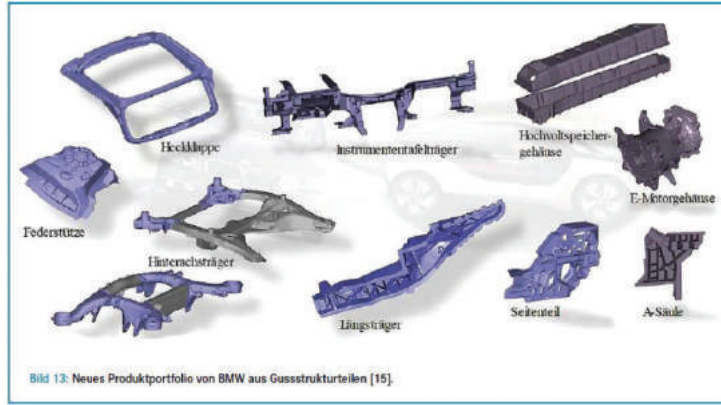
Şekil 28: Araçlarda alüminyum kullanımının yıllara göre değişimi

Elektrikli araçların (BEV) tahrik gruplarında daha az parça kullanılmaktadır. (47 ayrı parça). İçten yanmalı motorlu araçlarda ise tahrik grubu 177 ayrı parçadan oluşmaktadır. (Şekil 29)



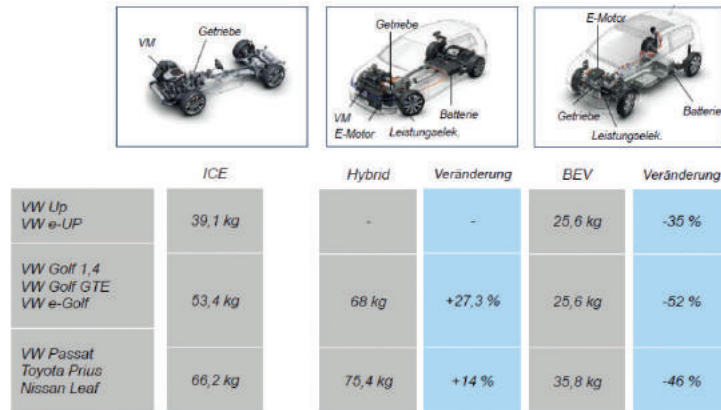
Şekil 29: Dizel ve elektrikli araçların güç gruplarındaki parça sayısı

Elektrikli veya hibrit araçlara geçişle, tahrik gruplarındaki döküm miktarının azalmasına rağmen, araçların hafifletilme zorunluluğu nedeni ile, daha önce çelik saçtan yapılan birçok karoseri ve platform parçaları, alüminyum döküm olarak üretilmeye başlanılmıştır (Şekil 30). Alüminyum döküm teknolojinin son 25 yılda ulaştığı yüksek basınç, vakum ile döküm, alçak basınç, karşı basınçlı alçak basınç (CPC) teknolojileri ile alışıldakları, ısıtma işlemdeki ve sıvı metalin kontrolündeki önemli gelişmeler bu dönüşümü hızlandırmıştır. Bu gelişmelere destek için yapılan dünya çapındaki alüminyum döküm tesisi yatırımları ve makina üreticilerinin katkıları da göz ardı edilmemelidir.



Şekil 30: Güç grubu harici karoseri - platformlarda kullanılan alüminyum yapısal parçalar.

Hibrit sistemde hem içten yanmalı motor, hem de elektrikli motor olması, döküm parça ağırlığını % 14-27.3 (ort. % + 20.7) arttırmakta iken, sadece elektrik tahrikli araçlarda, döküm parça ağırlığı %35-52 (ort. % - 44.3) arasında azalmaktadır. (Şekil 31) Bu değerlenmeye göre, 2030-35 yıllarına kadar, içten yanmalı ve hibrit araçlar çoğunlukla üretileceği için, toplam döküm talebi artacak, bu yıllardan sonra salt elektrik ile çalışan (BEV) araçların üretimi artacağından, bu sektörde döküm talebi azalacaktır.



Şekil 31: Küçük, kompakt ve orta sınıf otomobillerde, içten yanmalı motor, hibrit sistem ve elektrikli tahrik sistemi arasındaki döküm parça ağırlık farkları.

-Elektrikli araçlara geçişte azalan döküm parça sayısı ve ağırlığının yanında malzeme cinslerinde de değişim yaşanmaktadır

-Silindir kafası: 1970'lerde dökme demirden üretilen kafalar, bugün ve yakın gelecekte kokil, alçak basınç veya maça paketi içine alüminyum dökülerek üretilmektedir.

-Motor Blok: 1970'lerde dökme demirden üretilen silindir blokları, önce alüminyum, alüminyum iç gövde, Mg dış gövde olarak üretilmiş, dökme

Hibrit sistemde hem içten yanmalı motor, hem de elektrikli motor olması, döküm parça ağırlığını %

X) DÖKÜMÜN ÖNE ÇIKARILMASI İÇİN ARGÜMANLAR

A) Sac, dövme ve kaynak üretim şekliinden, döküm metoduna dönüştürme için temel prensipler:

- Basit şekillerin döküm metoduna dönüştürülmesi avantaj yaratmayabilir.
- Parça şekli zorlaştıkça ve ürün nihai kullanım şekline yaklaştıkça, dökümün cazibesi artmaktadır.
- Dökümün dizayn esnekliği en büyük avantajıdır.
- 3D kum kalıp/maça teknolojisi ile zor ve hatta “imkansız” döküm parçalar üretilebilir.
- Döküm metodu analiz, ısıl işlem, şekillendirme ile sonsuz olanaklar sunmaktadır.
- Bir kaç gramdan, tonlara, mm’den metrelere kadar geniş alanda ürün yaratılabilir.
- Bir adetten, milyon adetlere kadar üretim yapılabilir.
- Lazer metal baskı sistemleri ile tek tek ürün üretilebilir.
- Kesitten keside geçişte istenilen radyus, kalınlık sağlanabilir.
- Kullanıcıya, kullanıma hazır, bitmiş katma değeri yüksek ürün sunulabilmektedir.

Döküm ile parça üretim sistemi alternatif üretim metodları ile karşılaştırıldığında, döküm metodunun gerek teknolojik, gerekse maliyet yönünden avantajlı olduğu görülmektedir. (Şekil 35)

DÖKÜMÜN RAKİPLERİ İLE KARŞILAŞTIRMASI, 1

M= Mükemmel, Çİ = Çok İyi, İ = İyi, Z= Zayıf, Y= Yok, S= Sınırlı, E= Ekonomik, Yü= Yüksek, ÇY= Çok yüksek, O= Orta, K= Kısa U= Uzun ÇU= Çok uzun

| Karşılaştırma Kriterleri | Döküm | Şaşırtıcı şekil verme | Dövme | Metal baskı | İşlem |
|---|-------|-----------------------|-------|-------------|-------|
| Karmaşık şekillerde ürünler | M | Çİ | İ | İ | Z |
| Ebad ve ağırlık sınırları | Y | Y | S | S | S |
| Orta ve kısa seriler için birim maliyet | E | Y | ÇY | ÇY | Y |
| Uzun seriler için birim maliyet | E | ÇY | E | E | Y |
| Mekanik özellikler için uygun malzeme | M | S | S | S | İ |
| Üretim sonrası işlemlere uygunluk | M | Çİ | İ | Çİ | M |
| Yüksek ısılara dayanım | M | Çİ | Çİ | Çİ | Çİ |
| Yorgunluk dayanımı | M | Çİ | M | M | M |
| Tamir kolaylığı | M | M | İ | S | İ |
| Dış görünüş albenisi | M | İ | Z | Z | Çİ |
| Darbe dayanımı | M | Çİ | Çİ | Çİ | Çİ |
| Numune ve seri üretim teslim tarihi | O | K | U | U | ÇU |

DÖKÜMÜN RAKİPLERİ İLE KARŞILAŞTIRMASI, 2

M= Mükemmel, Çİ = Çok İyi, İ = İyi, Z= Zayıf, Y= Yok, S= Sınırlı, E= Ekonomik, Yü= Yüksek, ÇY= Çok yüksek, O= Orta, K= Kısa U= Uzun ÇU= Çok uzun

| Karşılaştırma Kriterleri | Döküm | Plastik enjeksiyon | Termal şekillendirme | Polimer kompozitler |
|---|-------|--------------------|----------------------|---------------------|
| Karmaşık şekillerde ürünler | M | Çİ | İ | İ |
| Ebad ve ağırlık sınırları | Y | S | S | S |
| Orta ve kısa seriler için birim maliyet | E | Y | E | Y |
| Uzun seriler için birim maliyet | E | E | Y | ÇY |
| Mekanik özellikler için uygun malzeme | M | S | S | S |
| Üretim sonrası işlemlere uygunluk | M | Z | Z | İ |
| Yüksek ısılara dayanım | M | Z | Z | Z |
| Yorgunluk dayanımı | M | İ | Z | İ |
| Tamir kolaylığı | M | S | S | İ |
| Dış görünüş albenisi | M | M | İ | M |
| Darbe dayanımı | M | Z | Z | Z |
| Numune ve seri üretim teslim tarihi | O | U | O | ÇU |

Şekil 35: Dökümün rakipleri ile karşılaştırılması

B) DÖKÜMÜN ALTERNATİF SÜREÇLERE PAZAR KAYBETMEMESİ VEYA ONLARDAN PAZAR KAPABİLMESİ İÇİN YAPILABİLECEK BİRÇOK EYLEMDEN BAZILARI:

- Döküm parçalarda çekinti boşluğu sendromunun etkin simulasyon ve doğru metal/kalıp ile sıfırlanması,
- Döküm parçaların mekanik özelliklerinin gerek metal kontrolü, gerekse soğutma ve ısıl işlem şartlarını tam olarak kontrol ederek, spesifikasyonların üst limitlerine uygun hale getirilmesi,
- Döküm sürecinin fiyatını gereksiz derecede arttıran ve müşterinin ödemeyeceği birçok verimsizlikten biri olan sakat/fire yüzdenizin sıfırlanması,
- Döküm parçadaki gereksiz ağırlıklar, fazla işleme payları, sıyırma açıları, çapaklar, hava firar şişleri, toleransların üst limitlerinin kullanılması, vs gibi süreç kontrolündeki değişkenlikler sonucu oluşan ve hem rakiplere, hem de alternatif malzeme/üretim metodlarına göre rekabet gücünüzü azaltan verimsizliklerin önlenilmesi,
- Döküm parçaların, ürün sahibi ile ortak çalışarak, gerek malzeme, gerek üretim teknolojisi, gerekse dizayn optimizasyonları ile hafifletme çalışmasının yapılması,
- Döküm parçalarının gerek özellikler, gerekse ölçüsel tekrarlanabilirlik katsayılarının yükseltilmesi.

C) DÖKÜM MÜŞTERİSİ VE BİZ DÖKÜMCÜLER ASLINDA NELER İSTİYORUZ?

- Süreçlerden ve ürünlerden en yüksek verim,
- Güvenilir ve etkin süreçler,
- Sıfır fire/sakat,
- Ürüne katma değer katmayan tüm işlemlerden kurtulma,
- Daha az stres,
- Sistemi daha geliştirecek zaman,
- En düşük harcama ve çaba ile yürüyen süreçlerde iyileştirme olmağı,
- Ve tabii ki: En yüksek kar ve kısa sürede “zengin” olmak...
- Bunun içinde, döküm sektörü ve bu alanda çalışanlar olarak yapabileceğimiz çok görevlerimiz bulunmaktadır.

XI) SONUÇLAR ve DÖKÜMÜN YENİ GELECEĞİ:

- 1) Çelik ve dökme demir pazarlarının önemli bir kısmını alüminyum döküm ve hadde ürünlerine bırakacaktır
- 2) Elektrikli ve hibrit araçlara geçiş malzemelerin değişimi için önemli bir gerekçe ve uygulama alanı yaratmaktadır. Yeni dizayn edilen karasöri, platform ve tahrik gruplarında Al ve fiber malzemeler ana kullanım malzemeleri olmaktadır
- 3) Aracın ilk dizaynında kullanılan malzemelerin, araçların ara makyajlanması sırasında bile, maliyet, daha fazla hafiflik, teminindeki zorluk gibi nedenlerle değiştirilmeleri söz konusudur.
- 4) Dökümün ana pazarlarından olan araç ekonomisinde, araçı “teker üzerinde hareket eden bilgiyara dönüştürecek” tüm bu değişim, klasik araç yapısında önemli yer tutan gri, küresel grafitli dökme demir ve klasik çelik sac malzemelerin azalarak yerlerini, Al, Mg döküm, hadde Al, yüksek dayanımlı çelik saclar, plastik, kompozit ve karbon fiber malzemelerin olduğu Çok Malzemeli Dizayn’na (Multi Material Design, MMD) bırakmaktadır.
- 5) Hafifletme ekonomisi, hafifletme stratejilerine, prensiplerine ve metodolojisine bağlıdır. Cezalar, pazar imajı, alıcı kitle beklentileri de göz önüne alınarak, bedeli eksponansiyel artan hafifletmenin toplam maliyeti hesaplanmalıdır.
- 6) Elektrikli araçlar, sıfır eksoz emisyonu ve ceza ödememek için, araç sanayinde en optimum çözüm olarak görülmektedir. Elektrikli araçlara (BEV) geçiş ile araçlarda kullanılan döküm miktarı, araç başına 40-80 kg arasında azalmaktadır. Bunun da tüm dünyada döküme talebi 4-5 milyon ton azaltacağı hesaplanıyor.
- 7) Metalurji ve malzeme mühendisliğinin araç malzemeleri ve batarya teknolojisi alanı için bu değişimde önemli görevi ve ufku bulunmaktadır.

- 8) Tüm sistemlerde olduğu gibi, döküm sektörünün geleceğinde de sayısallaşma, sanal gerçeklik, Endüstri 4.0 önemli bir yer tutacak, uygulamada geri kalanlar, pazar payı kaybedeceklerdir.. Sektöre girmek istemeyen yeni nesil çalışanlar için, otomasyon çare olacaktır.
- 9) Tüm süreçlerde ekoloji ana tema olacaktır. Yolluk verimi, enerji kullanımı, fireler, yanma kayıpları vb., ana hedefler olacaktır.
- 10) 3D kum kalıp/maça yapımı ve 3D metal baskı sistemlerinin fiyatları düşüp, uygulama alanı artacaktır.

XII) FAYDALANILAN KAYNAKLAR:

- 1) Initiative Leichtbau, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Aralık 2017, www.bmwi.de
- 2) J.Seit, Development of Electric Mobility Until 2030, Mayıs 2018, IndustrieVerband Giesserei-Chemie
- 3) M.Kapur, et al., Non Ferrous Metals Industry, Building the Future, Eylül 2017, KPMG Report
- 4) R.Kurek, et al., Leichtbau als Innovationsstreiber, Haziran 2017, Automotive Mgt Consulting GmbH,
- 5) J.Seit, Future Developments of Light Weight Metals, Mart 2018, SpotLight Metal
- 6) Aluminum Generates Lowest Total Carbon Footprint, Aralık 2018, Drive Aluminum
- 7) Aluminum in Cars, 2017, European Aluminum Association
- 8) Y.Günay, Araçlarda Hafifleme, Mayıs 2014, Figes Otomotiv Konferansı
- 9) Aluminum Content in North American Light Vehicles, 2016 to 2028, Temmuz 2017, Ducker Worldwide
- 10) J.W.P.Filho, Opportunities for Aluminum Components in Automotive Applications, Haziran 2016, C.Hatchett Seminar 2016
- 11) M.Verbrugge, et al., Challenges and Opportunities Relative to Increased Usage of Aluminum within the Automotive Industry, TMD 2010 Annual Meeting
- 12) Aluminum Use in the Auto Industry, Kasım 2016, Arconic
- 13) Dr.E.Mayr, Aluminum's Revolution in the Automotive Industry, May 2015, Metal Bulletin Conference
- 14) F.Bonollo, et al., Life Cycle Assessment in the Automotive Industry: Comparison Between Aluminum and Cast Iron Cylinder Blocks, 2006, Metallurgical Science and Technology
- 15) G.Thaden, et al., Automotive Metal Components for Car Bodies and Chassis, Şubat 2017, Roland Berger
- 16) Y.Günay, Alüminyum Döküm Parça Sektörü ve Kaynak Savurganlığı, Ekim 2015, Alus 07.
- 17) P.Plain, Steel Perspectives for the Automotive Industry, Mayıs 2012, OICA
- 18) Aluminum in Nutzfahrzeugbau, Mayıs 2011, European Aluminum Association
- 19) 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
- 20) Leichtbau in Mobilität und Fertigung, 2012, Fraunhofer, e-mobil bw.
- 21) P.Wagner, Automotive; An Exiting Outlook, 2017, Hydro
- 22) X.Mosquet, et al., The Electric Car Tipping Point, Ocak 2018, The Boston Consulting Company
- 23) G.Djukanovic, Aluminum Alloys in the Automotive Industry, Şubat 2019, Aluminum Insider
- 24) G.Djukanovic, Steel vs Aluminum; Who's Winning the Light Weight Battle in Cars, Haziran 2017, Aluminum Insider
- 25) Aluminum Content in Cars, Haziran 2017, Ducker Worldwide
- 26) K.Seidel, Leichtbau-Sitzstruktur auf Basis Thermoplastischer FVK, Şubat 2019, FKA, www.fka.de
- 27) Prof. D. Stefanescu, The Meritric Ascendance of Cast Iron: From Magic to Virtual Cast Iron, AFS Congress, April 2019
- 28) J.Hitch, Plastic's Growing Role in Electric Vehicle Expansion and Reversing Climate Change, Aralık 2018, Industry Week
- 29) Prof.M.R.Molly, et al.,Cast Iron or Aluminum; Which Cylinder Block Material is Best for the Envi-

ronment, Mart 2017, Cranfield University, UK

30) D.Rittmeyer, Experiences in 3D Sand Printing, AFS Congress, April 2019

31) Dr. G.Manogharan, Rethinking Casting Design Rules via 3D Sand Printing, AFS Congress, April 2019

32) Y.Günay, Döküm Sanayinin Yeni Teknolojiler ve Değişen Pazar Yapısı ile İmtahanı, Eylül 2016, Tüdöksad Kongre

33) G.Giardino, Developments of Aluminum for the Automotive Industry, Şubat 2018, A + L

34) A. Pomari, Light Aluminum Manufacturing for High Speed Trains, Şubat 2018, A + L

35) D. Bendzinski, High Volume Aluminum Solutions for Light Weighting, Ağustos 2015, Novelis Aluminum

36) Prof.S.Bratzel, et al., Marktentwicklung von Elektrofahrzeugen für das Jahr 2030, Aralık 2017, Center for Automotive Management

37) J.Wenson, Industry 4.0, Understanding the Why, Afs Congress, April 2019

38) R.Getter, Magnesium in Die Casting, Nisan 2019, SpotlightMetal

39) C.Wilhelm, Einfluss der Elektromobilität auf die Giesserei Industrie und Ihre Produkte, Nisan 2018, Grosse Giessereitechnische Tagung 2018

40) Dr.H.Büchner, Forecast 2025 for the Global Foundry Industry,, IKB Deutsche Industrie Bank, June 2019

POWDER AND APPLICATION STANDARDIZATION ON ADDITIVE MANUFACTURING (AM)

Dr. Ekrem ALTUNCU

*Sakarya Applied Science University, Dept.
Metallurgy and Materials Eng. Dept.*

Özet

3 boyutlu printer teknolojisi veya katmanlı imalat teknolojisi son yıllarda hızla yaygınlaşmakta olup metalik esaslı tozlardan metalik malzemelerin 3 boyutlu modellerinin üretimi konusuna metal imalat ve döküm endüstrinin yoğun bir ilgisi söz konusudur. Geleneksel döküm, dövme ve talaşlı işleme teknolojilerine kıyasla, bu yöntemler birçok açıdan avantaj sunmaktadır. Bunlardan en önemlisi, geleneksel tekniklerle ulaşılabilecek olmayan çok karmaşık şekil ve tasarımların elde edilmesine olanak sağlamaktadır. Bunun yanısıra kullanılan tozların geri kazanımı ve yeniden kullanımı sözkonusu olup bu durumun malzeme kayıp oranını da önemli oranda azaltacağı öngörülmektedir. Bu faydalar üretimde önemli bir maliyet azaltıcı olarak görülmektedir. Bunun ötesinde metal 3 boyutlu yazıcılar seri imalat ve çok hacimli işlerde rekabetçi olmakta zorlanmaktadır. Parça sayısı ve geometrisine bağlı olarak belirli alaşımların dökümüne alternatif olarak birçok ayrıcalıklı üretim avantajı sunulmaktadır. Öyleyse, gelecekte döküm teknolojisinin katmanlı imalat teknolojisi ile yer değiştirmesi düşünülebilir mi? Bu çalışma bu sorudan yola çıkılarak cevap aramaktadır. Bu çalışma kapsamında katmanlı üretim teknolojisi ile geleneksel teknolojileri çok yönlü bir şekilde karşılaştırılmakta, toz metalurjik açıdan metalik malzemelerin özellikleri, katmanlı imalat yöntemleri için standardizasyonu üzerinde yapılan incelemeler sunulmaktadır. Şu bir gerçektir ki; katmanlı imalat yöntemlerinin gelecekte önemli bir alternatif olacağı kaçınılmazdır.

Anahtar kelimeler: Katmanlı imalat, metal tozlar, toz morfolojisi

Abstract

3D printing technology has recently extended to metallic materials and allows now to produce 3D models directly from metallic powders. Compared to conventional technologies of casting, forging and machining, these methods offer many advantages. The most important is shape variety allowing preparation of very complicated shapes and designs, which would be impossible to reach by classical techniques. Moreover, there is practically no material loss, since the remaining powder can be recycled and reused in other manufacturing processes. That is one of important cost savings. However, for now, the metal 3D printing is unable to compete the price of large-lot production. There are obvious benefits to castings including the relatively low price, the number of available materials, the physical size capability, and the maturity of the process. So, is it conceivable that castings could be replaced by metal AM in the future? In present paper, it is demonstrated that by the additive manufacturing technology it is possible to achieve comparable material properties as by conventional technologies and therefore, this method offers a suitable alternative.

Keywords : Additive manufacturing, metal powders, powder morphology

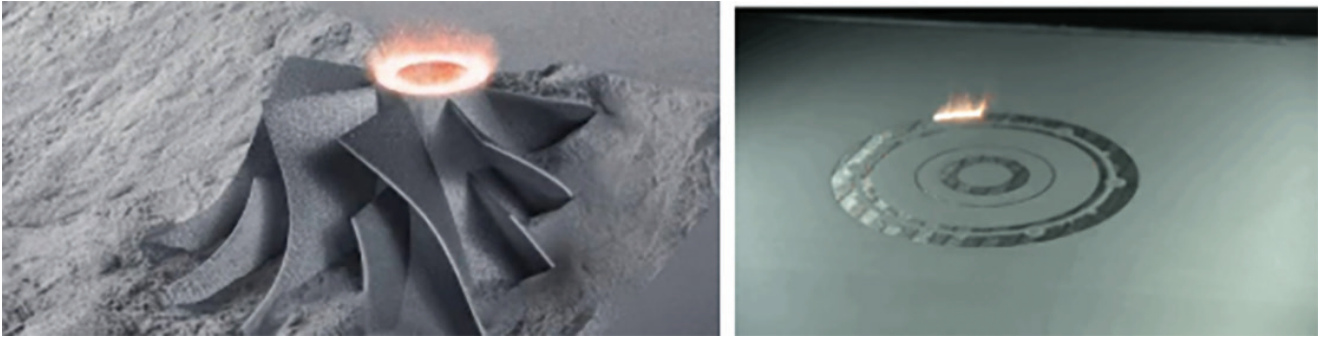
1. Katmanlı İmalata Giriş

Katmanlı imalat teknolojisinin en iyi tanımı; 3 boyutlu tasarımı oluşturulan karmaşık geometriye sahip nesnelerin katmanlar halinde birbiri üzerine eklenmesi ile oluşturulmasıdır. Bu nedenle eklemeli imalat, 3Boyutlu imalat veya hızlı prototip gibi isimler ile de anılmaktadır. Bu yöntem geleneksel talaşlı imalat yöntemlerinin aksine malzeme eksiltmek yerine katman katman oluşturulan tabakalar ile malzemenin üretimine imkan vermektedir. Bunun yanında geleneksel döküm yöntemleri ile elde edilmesi zor kesit ve geometriler için hızlı ve pratik bir üretim kolaylığı sağlamaktadır. Model ve kalıp üretiminde, prototip parça üretiminde sayısız tasarım avantajına sahiptir. Belirli morfolojik özelliklere ve kimyasal kompozisyona sahip şu an için sınırlı sayıda toz/tel metal malzeme grubu ile katmanlı imalat gerçekleştirilebilmektedir. Genel olarak ergitme, sinterleme ve katman katman biriktirme işlemlerinde yüksek enerjili bir ısı girdisi için çoğunlukla lazer veya elektron

ışını kullanılmaktadır. Genel olarak tercih edilen ve yaygın kullanılan lazer ışını ile toz malzemenin etkileşimi tozların birbirine bağ oluşturmaya ve tabakalar halinde tasarımın ortaya çıkmasına imkan vermektedir. Bu kapsamda hem 3 boyutlu yazıcılarda (nozül, besleme sistemi, tarama hızı, toz yatağı vb.) önemli gelişmeler hemde paralelinde toz malzeme üretimine, standardizasyonuna yönelik çalışmalar görülmektedir. Katmanlı imalat yöntemlerinin en sıklıkla kullanıldığı alanlar başta uzay ve havacılık olmak üzere, medikal, dental ve otomotiv sektörünün yoğun ilgisini çekmektedir. Döküm sektöründe de artan rekabet karşısında tasarım esnekliği ve prototip parça üretimi açısından kum döküm, hassas döküm ve basınçlı döküm sektöründe katmanlı imalat yöntemleri üzerinde çalışmalar devam etmektedir. Gerek sarf toz maliyetleri gerek tezgah yatırım maliyetleri karşısında işletme ve kontrol maliyetlerinin kapsamlı bir şekilde irdelenmesi, fizibilite çalışmalarının sağlıklı bir şekilde yürütülmesi gerekmektedir. Metalin ergitilerek bir kalıp içerisinde hızla katılaşması gibi yüksek sıcaklıklarda kontrol zorlukları içeren döküm yöntemlerine göre katmanlı imalat yöntemleri ile yapısal ve geometrik kontrol daha kolay ve hızlı bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir [1-21].

Metal yazıcılar iki ana üretim mekanizması içermektedir [2]

- Toz yatağı teknolojisi : Selective Laser Melting (SLM), Electron Beam Melting (EBM) adı ile tanımlanan yöntemlerde toz yatağına serilen tozlar lazer veya elektron ışını ile kısmen ergitilmekte/ sinterlenmekte, sonrasında sıyrıcının hareketi ile düzeltilen yatak hızlı bir şekilde katmanlar halinde üretilmektedir. Bu yöntemde ilave bir diğer yöntem ise inkjet printing adı ile anılmaktadır. Bu yöntemde ise metal tozlar bir bağlayıcı ile karıştırılmaktadır. Yazıcı işlemi esnasında parça yoğunlaşmakta ve tozlar arasında bir bağ oluşmaktadır.
- Toz metal püskürtme teknolojisi: Laser Metal Deposition or Laser cladding; lazer nozülünden tozların akışkan bir gaz aracılığıyla püskürtülmesi esnasında ergitilerek katman katman yüzeyde biriktirilmesi esasına dayanmaktadır. Metalurjik bir bağ oluşmakta ve hızla katılaşmaktadır.



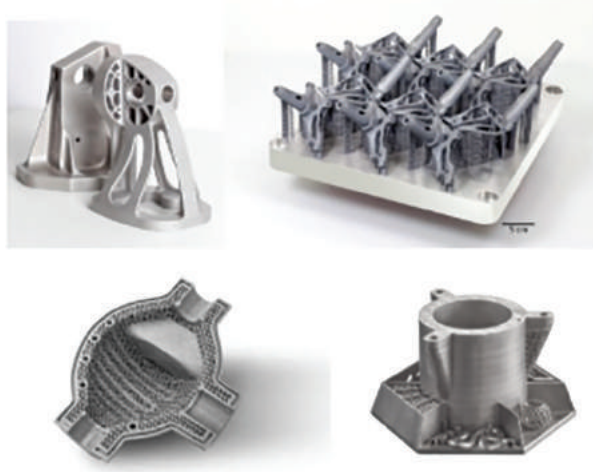
Şekil 1. Lazer metal ergitme/ sinterleme ile katmanlı imalat örnekler

Metal yazıcı sistemleri arasında en sık kullanılan yöntemler: selective laser melting (SLM) and direct metal laser sintering (DMLS) dir. Bu yöntemlerin kullanıldığı yazıcıların maliyetleri 400.000 \$'dan başlamakta 1.000.000\$'ın üzerine çıkabilmektedir. Yatağın boyutu, hacmi, tarama hızı, ve opsiyonel özellikleri ile sürekli bir gelişim halinde olan bir teknolojik yatırımdır. Tasarım, imalat bilgisinin yanında, ara yüzey programlarına ve iyi eğitilmiş operatöre gereksinim duyulmaktadır.

Katmanlı İmalatın Faydaları [2]:

- Hızlı prototipleme ve optimizasyon yapma imkanı sağlar.
- Analiz yapma, tasarım döngüsünü belirleme ve karmaşık parçaları üretme süreçlerini hızlandırır.
- Tasarım esnekliği, özgürlüğü
- Karmaşık şekil, içi boşluklu parça ince et kalınlıkları, hassas detaylar, köpük üretimi (talaşlı işlem ve döküm ile üretimi mümkün olmayan parçalar için)
- Çok ince et kalınlığına sahip parçalar için (döküm ile mümkün olmayan)
- Parça hafifletmek için,
- Tasarımı daha fonksiyonel hale getirmek için
- Müşteri taleplerine ve özel tasarımlara elverişlilik
- Çok bileşenli parçalarda ayrı bir kalıp ve model oluşturma gereksinim olmaksızın üretim
- Ekstra işlem gereksinimi geleneksel yöntemlere göre daha az ve üretim hızlı
- Üretim verimliliği ve hızı açısından uygulama avantajları

- Katmanlı üretim teknolojisi ile tasarlanan parçaların hızlı prototipleme ile oluşturulmasından dolayı üründe revizyon yapmak için harcanan zaman ve maliyet azalmaktadır.
- Yüksek oranda enerji tasarrufu sağlanır.
- İmalat makinelerinin sayısının ve imalat sürecindeki proseslerin azalmasına yardımcı olur.
- Daha yaratıcı çalışmalar yapmaya imkan verir (Şekil 2).
- Katmanlı imalat ile üretim maliyetleri ve giderler azalırken ürünlerdeki fire sayısı da düşer.



Şekil 2. Katmanlı imalat ile üretilmiş bir parça örnekleri

2. Katmanlı İmalat Yöntemlerinde Kullanılan Metalik Tozlar [2]

Aşağıda katmanlı imalat yöntemlerinde kullanılan tozlar belirtilmektedir. Şekil 3 de ise bu tozlar ile üretilen parçaların kompozisyonları sunulmaktadır.

| | | |
|---------------|-------------|------|
| AlSi10Mg | AISI420 | 304 |
| AlSi7Mg | Marage 300 | 316 |
| AlSi12 | H13 | 410 |
| Ti Grade 2 | D2, A2, S7 | 440 |
| Ti6Al4V (ELI) | Inconel 718 | 15-5 |
| Ti6AlNb7 | Inconel 625 | 17-5 |
| ASTM F75 | Inconel 738 | Au |
| CoCrWC | HasetlloyX | Ag |

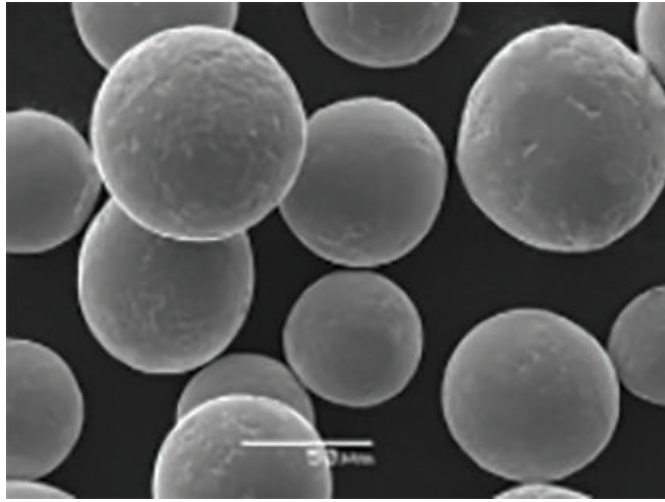
Şekil 3. Metalik tozlar (katmanlı imalat sektöründe kullanılan)

- Alüminyum alaşımları
- Titanyum alaşımları
- Nikel esaslı alaşımlar
- Kobalt esaslı alaşımlar
- Paslanmaz çelikler
- Takım çelikleri
- Demir esaslı alaşımlar
- Bakır esaslı alaşımlar

Katmanlı imalat teknolojisi maliyetlerin ikinci planda kaldığı uzay ve havacılık uygulamalarında özellikle titanyum ve nikel esaslı alaşımların yaygın olarak kullanımına imkan vermektedir. Diğer endüstriyel alaşımlar takım çelikleri, kalıp çelikleri ve alüminyum alaşımları ise gittikçe popülaritesini artırmaktadır. Toz maliyetleri tozun üretim yöntemi, toz boyutu, tozun akışkanlık özellikleri, tozun kimyasal kompozisyonuna bağlı olarak değişmektedir. Bu durum hem proses kalitesini hemde üretim maliyetlerini doğrudan etkilemektedir. Bugün ortalama toz maliyetleri AlSi10Mg ve paslanmaz çelik alaşımı 316L için yaklaşık sırasıyla 80-120\$/kg arasında değişmektedir, Ti-6Al-4V ve Inconel 718 alaşımı için ise sırasıyla 300-600\$/kg arasındadır. Metal toz maliyetleri bu kapsam düşündürücü ve üzerinde durulması gereken en önemli konular arasındadır. Toz üreticisinin sınırlı olduğu ülkemizde ithal yollar ile temin edilen tozlar belirli özellikleri taşıması gerekmektedir (Şekil 3).

1. Metal tozlarda bulunması gereken özellikler [2]:

- Atomizasyon yöntemi ile üretilmiş (gaz atomizasyonu), Küresel form, iyi bir akış özelliği için (reolojik özellikler)
- Uygun toz boyutu 50- 150 µm arasında tezgahın özelliklerine, arzulanan yüzey kalitesine bağlı olarak değişmektedir.
- Uygun toz parçacık boyut dağılımı iyi bir paketlenme ve konsolidasyon özelliği için
- Toz morfolojisi ve porozite oranı (mekanik özellikler için)
- Kontrollü bir kimyasal kompozisyon (özellikle O, N,C oranları) arzulanan mekanik özellikler için



Şekil 4. Katmanlı imalat için kullanılan bir toz örneği (Hoganaes Corporation)

3. Katmanlı İmalat Yönteminde Maliyetler

Bu konuya ilgi duyan herkes için en fazla sorulan sorular arasında katmanlı imalat yönteminin maliyetleri nedir, nasıl hesaplanır, nasıl karar verileceği sorusudur . Bu kapsamda 3 ana maliyet unsuru göze çarpmaktadır. 1. Ekipman yatırım maliyeti: yaklaşık 0.4-1M\$'a varan sistemler (farklı model ve boyutlarda) mevcut olup, proses toplam maliyetinin %60'nı oluşturmaktadır. Katmanlı imalat uygulamaları için üreteceğiniz parçanıza veya projenize uygun bir yöntem seçimi ve sonrasında ekipman, sistem ve altyapı oluşturulması oldukça önemlidir. 2. İşçilik: Zira yeni sistemler oldukça pratik bir ara yüze ve uygulama potansiyeline sahip olmasına karşın toplam maliyetin %20'sini işçilik oluşturmaktadır. 3. Sarf malzeme: Tozun türü, üretim yöntemi, boyutu gibi bir çok teknik konuya istinaden uygulamada ne kadar toz sarfedileceği ve enerji harcanacağı bir diğer önemli konudur. Bu da %20'lik son kısmı oluşturmaktadır. Toz üreticileri daha fazla ve verimli toz üretimi konusunda yoğun rekabet içerisinde olup sektörün en önemli ivmesini sarf maliyetlerinin oluşturması beklenmektedir. Üretim kapasitesi arttıkça ve kullanıcı sayısı artmasıyla birlikte seri imalata yönelik toz maliyetlerinin gelecekte düşmesi beklenmektedir. Zira katmanlı imalat sektörü toz metalurjisine doğrudan bağımlı bir imalat teknolojidir. Küresel pazarda katmanlı imalat için toz üretim pazarı %22.4 yıllık büyüme hızına sahiptir. 2025 yılında pazarın 1.783 Milyar US\$' a ulaşması (2016 yılı değeri 316 Milyon US\$) beklenmektedir. Katmanlı imalat sektörünün geleceği açısından bakıldığında; 2017 yılında değeri 6 milyar \$ olup, yıllık büyüme hızı %30.2 olup 2022 yılında bu değeri 22 Milyar \$'a ulaşması beklenmektedir [3]. Şu anda sektörel gelişim seri imalata ve uygulamalara giriş aşamasındadır.

4. Katmanlı İmalat ile Üretilen Parçaların Mekanik Özellikleri [4, 5, 6, 14]

Katmanlı imalat uygulamalarında bir diğer önemli husus ise üretilen parçanın dövme ve döküm parça mekanik özellikleri ile karşılaştırılmasıdır. 316 L parça üzerinde bir örnek uygulamada elde edilen verilere göz atacak olursak metal yazıcıdan çıkan parça ile döküm parçanın mekanik özelliklerinin oldukça yakın olduğu görülebilmektedir.

| Özellik | 3D (316L) | Dövme(316L) |
|----------------|-----------|-------------|
| Akma muk. MPa | 567 | 622 |
| Çekme muk. MPa | 635 | 717 |
| %A | 43 | 54 |
| HV1 | 207 | 205 |

Tablo 1. Metal yazıcı ile dövme prosesinden çıkan aynı alaşım parçanın mekanik özellikleri [4]

Döküm ve dövme parçalarda mekanik özellikleri etkileyen üretim hataları, iç yapı hataları katmanlı imalat sürecinde önemli ölçüde kontrollü bir şekilde azaltılabilmektedir. Bu durum mekanik özellikleri iyileştirmede etkilidir. Parçanın mekanik özellikleri proses-yapı-özellik ilişkileri ile optimize edilebilme hata oranları indirgenebilmektedir. Bu bağlamda katmanlı üretimin parçadan beklenen mekanik özellikleri sağlama açısından da yeterli olduğu gözlenmektedir. Gerekli duyulması halinde parçaya ısıl işlem yapılarak gaz boşluklarının azaltılması sonucunda yapısal dayanım artırılabilir.

Basıncı döküm alüminyum alaşımı (AlSi12) bir parça ile 3d yazıcıdan çıkan parçanın mekanik özellikleri karşılaştırıldığında katmanlı imalat ile üretilen parçada belirgin bir mekanik özelliklerde dayanım üstünlüğü görülmektedir.

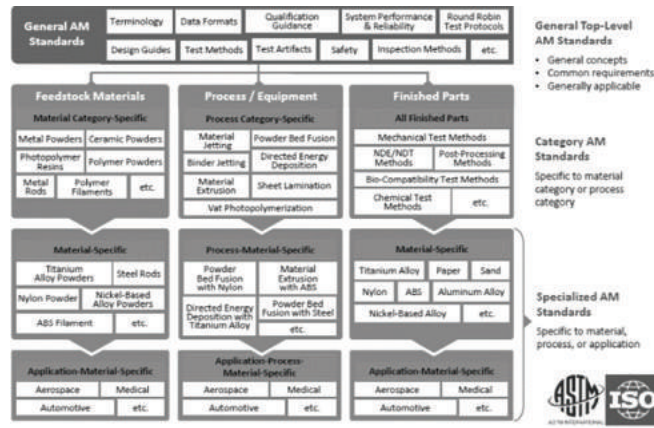
| Özellik | 3D (AlSi12) | Basıncı Döküm(AlSi12) |
|----------------|-------------|-----------------------|
| Akma muk. MPa | 327 | 150 |
| Çekme muk. MPa | 473 | 310 |
| %A | 7 | 3,5 |

Tablo 2. Alüminyum alaşımı parçaların mekanik özellikleri (SOLIZE Products Corporation)

5. Katmanlı İmalat Sürecinde Standardizasyon

Temmuz 2016 yılında ASTM F42 ve ISO/TC261 komiteleri üzerinde çalıştıkları katmanlı imalata yönelik standardizasyon kapsamında teknik standartların oluşturulması ve temel gereksinimler üzerinde yoğun çalışmalar sürdürmüşlerdir. Endüstriyel standartların 3 farklı seviyede sınıflandırılmıştır. Genel tanım ve kapsam, temel gereksinimler, uygulanabilirlik, ikinci seviyede ise spesifik malzeme gruplarına ve proseslere yönelik standartlar, üçüncü seviyede ise spesifik malzemelere, alaşımlara ve proseslere dair standardlaşma çalışmalarıdır. Özetle:

- Genel standartlar: (genel tanımlar, gereksinimler, çevre ve insan sağlığı şartnameleri vb.)
- Malzeme grubu ve genel proses standartları (metal tozlar, toz yatak sistemi)
- Özelleştirilmiş malzemelere standartlar (alüminyum alaşımlarına veya ABS malzemeye yönelik gibi), uygulamalara standartlar (havacılık, medical ve otomotiv için)



Şekil 5. Katmanlı imalata yönelik standardizasyon faaliyetleri

Katmanlı imalat sürecinde özellikle başta uzay ve havacılık sonrasında ise medical sektörü standardizasyon çalışmalarına öncülük etmektedir. Bu proseslerde yaygınlaşmasının ana nedeni oldukça hassas uygulamalar olması ve yüksek güvenilirlik beklentisinin olmasıdır. Proses verimliliğinden, karmaşıklığına ve maliyetlerine kadar bir çok teknik unsur göz önünde tutulmaktadır.

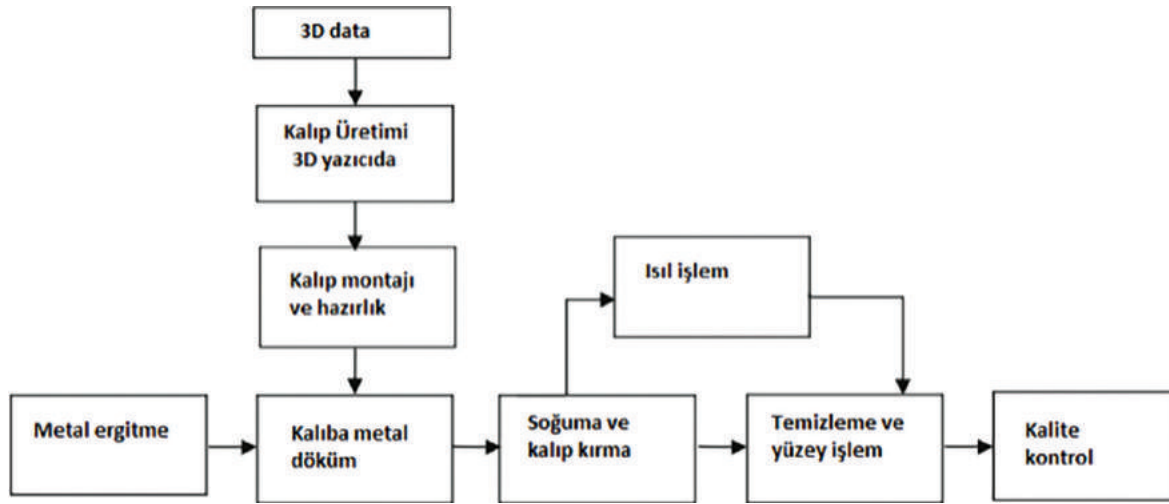
| Test Methods for Additive Manufacturing (AM) | |
|---|---|
| Designation | Title |
| ASTM F2971:13 | Standard Practice for Reporting Data for Test Specimens Prepared by Additive Manufacturing |
| ASTM F3122:14 | Standard Guide for Evaluating Mechanical Properties of Metal Materials Made via Additive Manufacturing Processes |
| A S T M I S O / ASTM52921:2013 | Standard Terminology for Additive Manufacturing-Coordinate Systems and Test Methodologies |
| Design Standards for Additive Manufacturing (AM) | |
| Designation | Title |
| ISO / ASTM 52910 18 | Additive manufacturing — Design — Requirements, guidelines and recommendations |
| Materials and Processes for Additive Manufacturing (AM) | |
| ASTM F3049:2014 | Standard Guide for Characterizing Properties of Metal Powders Used for Additive Manufacturing Processes |
| ASTM F3301:2018a | Standard for Additive Manufacturing – Post Processing Methods – Standard Specification for Thermal Post-Processing Metal Parts Made Via Powder Bed Fusion |
| ASTM F3302:2018 | Standard for Additive Manufacturing – Finished Part Properties – Standard Specification for Titanium Alloys via Powder Bed Fusion |
| ASTM F2924-14: | Standard Specification for Additive Manufacturing Titanium-6 Aluminum-4 Vanadium with Powder Bed Fusion |
| ASTM F3001- | Standard Specification for Additive Manufacturing Titanium-6 Aluminum-4 Vanadium ELI (Extra Low Interstitial) with Powder Bed Fusion |
| F3302-18: | Standard for Additive Manufacturing – Finished Part Properties- Standard Specification for Titanium Alloys via Powder Bed Fusion |
| ASTM F3184-16: | Standard Specification for Additive Manufacturing Stainless Steel Alloy (UNS S31603) with Powder Bed Fusion |
| ASTM F3213 – 17 | Standard for Additive Manufacturing – Finished Part Properties – Standard Specification for Cobalt28 Chromium-6 Molybdenum via Powder Bed Fusion |
| ASTM F3318-18 | Standard for Additive Manufacturing – Finished Part Properties – Specification for AISI10Mg with Powder Bed Fusion – Laser Beam |
| ASTM F3055-14a: | Standard Specification for Additive Manufacturing Nickel Alloy (UNS N07718) with Powder Bed Fusion |
| ASTM F3056-14e1 | Standard for Additive Manufacturing Nickel Alloy (UNS N06625) with Powder Bed Fusion |
| ASTM F3303: 18 | Standard for Additive Manufacturing – Process Characteristics and Performance: Practice for Metal Powder Bed Fusion Process to Meet Critical Applications |
| ISO / ASTM 52901:2017 | Standard Guide for Additive Manufacturing – General Principles – Requirements for Purchased AM Parts |
| Terminology for Additive Manufacturing (AM) | |
| Designation | Title |
| ISO / ASTM 52900:20 15 | Standard Terminology for Additive Manufacturing – General Principles – Terminology |
| ISO/ASTM 52910-2017: | Standard Guidelines for Design for Additive Manufacturing |
| Application for Additive Manufacturing (AM) | |
| MSFC-STD-3716 | Standard for Additively manufactured spaceflight hardware by powder bed fusion <ul style="list-style-type: none"> Aerospace: <ul style="list-style-type: none"> a)AMS7000: Laser Powder Bed Fusion (L-PBF) Produced Parts, Nickel Alloy, Corrosion and Heat-Resistant, 62Ni - 21.5Cr - 9.0Mo - 3.65Nb Stress Relieved, Hot Isostatic Pressed and Solution Annealed b)AMS7001: Nickel Alloy, Corrosion and Heat-Resistant, Powder for Additive Manufacturing, 62Ni - 21.5Cr - 9.0Mo - 3.65Nb c)AMS7002: Process Requirements for Production of Metal Powder Feedstock for Use in Additive Manufacturing of Aerospace Parts d)AMS7003: Laser Powder Bed Fusion Process |

6. Genel Karşılaştırma Ve Değerlendirme

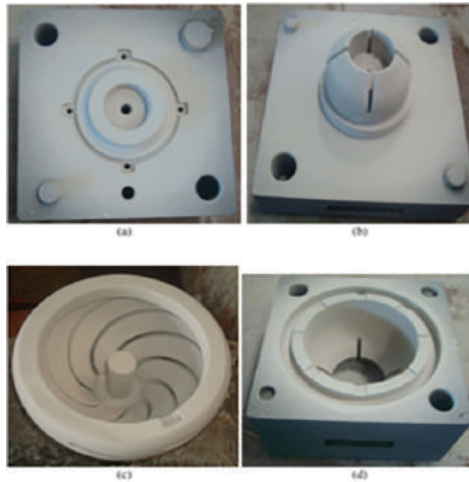
Katmanlı imalat sektörü hızla gelişen ve yaygınlaşan ileri teknoloji bir imalat sürecidir. Küresel pazarda ortalama büyüme hızı %14.4 olup 23.33 Milyar\$'a (2026) ulaşacağı öngörülmektedir. Pazarın 2018 yılı değeri 7.97 Milyar \$'dır. Artan kullanıcı sayısı ve talep karşısında malzeme çeşitliliği ve uygulamalarda çeşitlilik endüstriyel açıdan bir çok fırsatı barındırmaktadır. Bu doğrultuda birçok endüstriyel kurum, üniversiteler, araştırma merkezleri ve sistem üreticiler ile malzeme üreticiler işbirliği halinde kapsamlı çalışmalar yürütmektedirler. Bu çalışmalar sonucunda önemli avantajlar ve faydalar elde edildiği gözlenmektedir.

Teknolojik iyileşmeler birçok uygulama açısından gelecekte sektörde firmaların seri imalata yönelik yatırım planları içerisinde almasına (geleneksel yöntemlere alternatif olarak) neden olmaktadır. Günümüzde rekabetçi olmamasına karşın sistem yatırım maliyetlerinin ve sarf maliyetlerinin yüksek olması karşısında gelecekte birçok sektörde kullanım oranının artacağı beklenmektedir. Döküm sektörü açısından bakıldığında ise geleneksel döküm yöntemlerine kıyasla yüksek ilk yatırım ve işletme maliyetleri oluşturmaya karşın hızlı model/kalıplama süreçlerinde kazandırdığı avantajlar ile üretim ve tasarım hızına katkısı gözardı edilmemelidir. Katmanlı imalat çok karmaşık geometrilere izin vermesi ve hızlı prototip kabiliyeti ile döküm uygulamalarında çok önemli fonksiyonel kazanımlar sağlamaktadır.

Şekil 6 da tipik bir döküm proses akışında katmanlı imalat kalıp üretim süreci tanımlanmaktadır. Parçanın modeli, prototip üretim için 2-4 haftalara kadar uzayan süreçler 1-3 güne kısaltılabilmektedir. Metal alaşımların kum dökümünde katmanlı imalat yöntemleri ile kum kalıp ve model üretimine imkan sağlanmaktadır. Şekil 7' de katmanlı imalat ile üretilen döküm kum kalıp parçalarına örnekler gösterilmektedir [20].

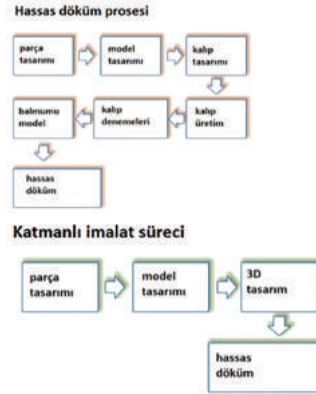


Şekil 6. Katmanlı imalat ile kalıp üretimi ve döküm proses akışı [20]



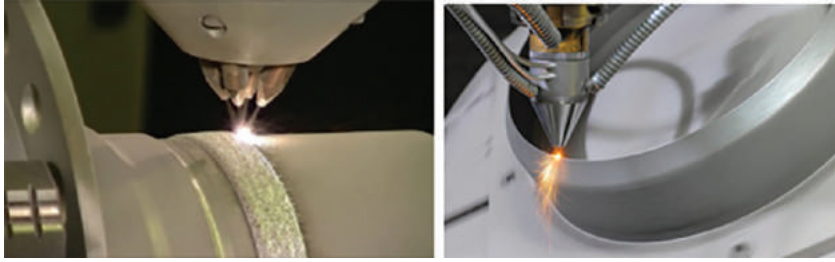
Şekil 7. Katmanlı imalat ile üretilen kum kalıp bileşenleri [20]

Şekil 8'de hassas döküm prosesinde katmanlı imalat yöntemlerinin kullanımı ile proses aşamaları önemli ölçüde azaltılabilmektedir. Bu sayede proses verimliliği önemli ölçüde artırılabilir. Üretim hızı artışı sağlanabilmektedir. Daha karmaşık geometri ve ince kesitli parçaların üretimi mümkün olmaktadır. Kalıp maliyetleri azaltılabilmektedir.



Şekil 8. Hassas dökümde katmanlı imalat kullanımı (Stratnel)

Lazer ile ergitme veya sinterleme işlemleri (SLM, DMLS) ile döküm parçaların toleransa getirilmesi, yüksek aşınma dayanımına sahip katmanlar oluşturularak yüzey direnci ve sertliği artırılabilir (Şekil 9). Parçanın bu sayede kullanım ömrü ve performansı iyileştirilebilir [11].



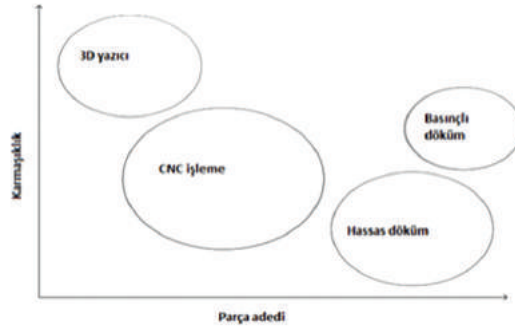
Şekil 9. Katmanlı imalat lazer ile yüzeyde katman biriktirme

| Faktör | Geleneksel kum döküm | Katmanlı üretim |
|-----------------------------|----------------------|-----------------|
| 3D data | Yok | Var |
| Model | Var | Yok |
| Yolluk data | Yok | Var |
| Kalıp ve maça yapımı | El işi | Otomasyon |
| Maça ve kalıp kum malzemesi | Pişirilmemiş | Furan reçine |
| Tekrarlanabilirlik | Modele bağlı | Herzaman |
| Maça üretim süresi dak. | 120 | Gerek yok |
| Kalıp üretim süresi dak. | 120 | 30 |
| Spesifik kalıp kutusu | Var | Yok |
| Yüzey kalitesi | Kaba | İnce |
| İnsa gücü gereksinimi | Var | Yok |
| Model üretimi (ay) | 3 | Gerekli değil |
| Ekipman maliyet | Az | Yüksek |
| Maça ağırlığı kg | 7.7 | 3.3 |
| Kalıp ağırlığı kg | 300 | 100 |
| Döküm ağırlığı (22.5 kg) | 34 kg | 23 |

Tablo 4. Geleneksel döküm ile katmanlı imalat karşılaştırma

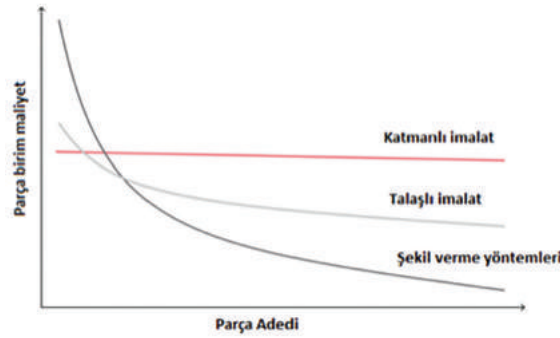
5.1. Üretim Prosesleri ile Karşılaştırma

Şekil 10'da farklı üretim prosesleri model karmaşıklığına ve parça adedine bağlı olarak karşılaştırılmaktadır. 3D yazıcılar en karmaşık geometriler ve az adedli uygulamalar için avantaj sağlamaktadır. Parça adedi ve karmaşıklığı açısından basınçlı döküm ve hassas döküm prosesleri elverişlidir.



Şekil 10. Model karmaşıklığına ve parça adedine bağlı olarak proses karşılaştırması

Şekil 11'de parça adedine bağlı olarak parça birim üretim maliyetinde değişimler karşılaştırılmaktadır. Görüleceği üzere katmanlı imalat sürecinde parça birim maliyeti stabilken, diğer üretim yöntemlerinde parça adedi arttıkça parça birim maliyeti düşürülmektedir.



Şekil 11. Parça maliyetine ve adedine bağlı proses karşılaştırması

Gelişen teknoloji ve artan rekabet karşısında her geçen gün katmanlı imalat uygulamalarının yaygınlaşacağı, yeni toz malzemelerin üretimi ile seri imalata yönelik uygulamaların artacağı öngörülmektedir. Bu yatırım süreci proses fizibilitesi kapsamında detaylı bir şekilde değerlendirilmelidir. Mevcut durumda yüksek ekipman ve toz maliyetlerine karşın yakın gelecekte artan kullanıcı sayısı ile ülkemizde de başta havacılık ve medikal olmak üzere ardından otomotiv ve döküm sektörlerinde önemli uygulama potansiyelinin artması beklenmektedir. Katmanlı imalat yöntemleriyle ilgili gelişmelerin takibi, sektörün bu konuda bilgi ve tecrübesinin artırılması ve uygulama standartlarının takip edilmesi ve toz üretimi konusunda ülkemizin gerekli yatırımlara öncelik vermesi önerilmektedir. Bu durum gerek döküm sektörünün gerekse endüstriyel uygulamaların gelişimi açısından önem arz etmektedir.

Referanslar

[1] <https://additivemanufacturing.com/basics/>

[2] <https://www.epma.com/additive-manufacturing>

[3] Kannan T.R. ALARV, Recent Additive Manufacturing Trends, Technical Report 2014.

[4] Michaela Fousová, D. Vojtech, Jiří Kubásek, D. Dvorský, Markéta Machová, 3D printing as an alternative to casting, forging and machining technologies? Report · November 2015

[5] <https://formlabs.com/blog/additive-manufacturing/>

[6] <https://ewi.org/can-metal-additive-manufacturing-compete-with-casting/>

[7] <https://www.sculpteo.com/blog/2018/08/14/the-battle-of-innovation-and-tradition-metal-cas->

ting-vs-metal-3d-printing/

[8] A Strategic Approach To Increasing Europe's Value Proposition For Additive Manufacturing Technologies And Capabilities, AM Motion; Ref. Ares(2018)670256 - 05/02/2018

[9] America Makes & ANSI Additive Manufacturing Standardization Collaborative (AMSC) Standardization Roadmap for Additive Manufacturing September 11, 2018, American National Standards Institute

[10] <https://www.reportsanddata.com/report-detail/additive-manufacturing-market>

[11] <https://www.sculpteo.com/blog/2018/08/14/the-battle-of-innovation-and-tradition-metal-casting-vs-metal-3d-printing/>

[12] <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/3d-printing-vs-cnc-machining/>

[13] A. Vevers, A. Kromanis, E. Gerins, J. Ozolins; Additive Manufacturing And Casting Technology Comparison: Mechanical Properties, Productivity And Cost Benchmark, Latvian Journal Of Physics And Technical Sciences, 2018, N 2.

[14] Michaela Fousová, Dalibor Vojtěch, Jiří Kubásek, Drahomír Dvorský, Markéta Machová, 3D printing as an alternative to casting, forging and machining technologies? 2015.

[15] <https://insights.globalspec.com/article/7458/how-strong-are-3d-printed-metal-parts-metallurgical-integrity-in-metal-additive-manufacturing>

[16] <https://www.diecastingdesign.org/3d-printed-metals>

[17] Tallman, C., Schaffarzyk, R., Brandt, M. & Alam, N., "Thermally Assisted Machining of Titanium", International Titanium Association 2012, October 2012.

[18] Barnes, J., Kingsbury, A., Bono, E., "Does Low Cost Titanium Powder Yield Low Cost Titanium Parts?", PowderMet 2016.

[19] Peter, W., Nunn, S., Tallman, C. & Gorham, R., "Forging of Powder Metallurgy Processed Ti 6Al4V", International Titanium Association 2012, October 2012.

[20] Nishant Hawaldar, Jing Zhang, A comparative study of fabrication of sand casting mold using additive manufacturing and conventional process, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology (2018) 97:1037-1045.

[21] <https://stratnel.com/applications/foundries/3D-printing-for-investment-casting>

HAFİF ALAŞIMLAR, DÖKME DEMİRLER VE YENİ ÜRETİM SÜREÇLERİNİN REKABETİ: MALZEME VERİMLİLİĞİ VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK PERSPEKTİFİNDEN BİR DEĞERLENDİRME

Arda ÇETİN

Ekstrametal, Ankara, Türkiye

ÖZET

Gerek emisyon değerleri üzerindeki kısıtlamalar, gerekse genel hafifletme eğilimleri nedeniyle son yıllarda dökme demir ve çelik alaşımlarından hafif alaşımlara yönelik bir geçiş eğiliminin sürdüğünü görüyoruz. Dökme demirler her ne kadar mevcut rakipleri karşısında en eski geçmişe sahip olsalar da, çeşitli özellikleri bir arada sergileyebilen yapıları ve geliştirilmeye çok açık olmaları sayesinde, güvenilir ve ekonomik bir alternatif olarak iddialarını sürdürüyorlar. Geleneksel demir-çelik alaşımları ve hafif alaşımlar arasındaki rekabet sürerken, bir de potaya eklemeli imalat (3D) gibi yöntemlerin dâhil olması, malzeme ve üretim süreçleri konusunda üreticilerde ve parça alıcılarında bir belirsizlik yaratıyor. Bu çalışma, ilk olarak ileri düzeyde mekanik özellikler sergileyen dökme demirlerin hafif alaşımlara kıyasla pozisyonlarını objektif bir bakış açısıyla değerlendirmeyi hedeflemektedir. İleri düzeyde özellikler sergileyen bir dökme demirin malzeme bazında nasıl tasarlanabileceği ve malzeme bazında sürdürülebilirlik kavramının önemi, bu çalışmanın genel çerçevesini oluşturmaktadır. Son olarak geleneksel üretim yöntemleri ve eklemeli imalat (3D) yöntemlerinin de bu çerçevede bir kıyaslaması sunulacaktır.

Anahtar Kelimeler: Sürdürülebilir yenilikçilik, dökme demir, eklemeli imalat.

ABSTRACT

In the last couple of years, the transition from traditional cast iron and steel alloys towards light alloys has increased its pace, as a result of the pressure on reduction of greenhouse gases. Cast irons have a long history in a number of industries and still preserve their competitive position because of their versatility and low cost. As the competition between cast irons and light alloys speeds up, a new competitor – additive manufacturing, is entering the race: Additive manufacturing is not a material, but a method to make parts; but it has a huge potential to alter the material landscape that is being used in various industries today. This work aims to shed some light on the competition between cast irons and light alloys and present ways to think about advancing the properties of cast irons to make them more competitive for the upcoming years. The article covers a design methodology to obtain advanced properties in cast irons, and presents this idea within the framework of sustainability. Finally, a comparison of the future of casting technologies with reference to the advantages of additive manufacturing is also presented.

Keywords: Sustainable innovation, cast iron, additive manufacturing.

1. DÖKME DEMİR GELİŞİMİNİN KISA TARİHİ

Sadece dökümcülük özelinde değil, genel olarak metallerin tarihçesine bakıldığında, Anadolu'nun metalik malzemelerin gelişiminde özel bir yeri olduğunu görebiliyoruz. Örneğin M.Ö. 8200 civarına tarihlenen çeşitli bakır aletlerin Güneydoğu ve Orta Anadolu bölgelerinde bulunduğunu biliyoruz [1]. Bu makalenin temel konusu olan demirin hikâyesi ise bazı kaynaklara göre M.Ö. 6000'li yıllarda Mezopotamya'da, daha sağlam bulgulara göre ise M.Ö. 3000'li yıllarda, yine Anadolu'da başlıyor [2]. Dökme demirin ortaya çıkabilmesi için, bu kuvvetli ve bir o kadar da zor eriyen metalin daha iyi anlaşılması gerekiyor. Çeşitli kaynaklarda dökme demirin yine Mezopotamya bölgesinde ortaya çıktığı ama benzer dönemlerde Antik Yunan ve Çin'de de bilindiğini görebiliyoruz [2, 3].

Her ne kadar 3000 yıla yakın bir geçmişi olan bir malzemeden bahsediyor olsak da, kayıtlara göre bugün sanayide kullandığımız şekliye dökme demirlerin ilk olarak 17. Yüzyılda Amerika Birleşik Devletleri ve Fransa'da, benzer zamanlarda ortaya çıkmış olduğunu görüyoruz [2]. 20. Yüzyıldaki gelişmeler, Dünya Savaşlarının etkileri ve küresel grafitli dökme demirin keşfiyle, dökme demir 20. Yüzyıl sanayisinde lokomotif görevi gören malzemelerden biri olarak kendisine sağlam bir yer buluyor.

Dökme demirlerin tarihi hakkında şimdilik bu kadar bilgi yeterli: Bu makale, dökme demirlerin geçmişini irdelemekten ziyade, geleceği hakkında bir değerlendirme sunmayı amaçlıyor. O nedenle konunun tarihçesini daha fazla incelemeyen, artık dökme demirlerin bugününü, sonrasında ise yarınını değerlendirmeye başlayalım.

M.Ö. üretildiğini söylediğimiz dökme demirlerle, bugün üretilen dökme demirler birbirlerine ne kadar benziyor olabilir? Örneğin Mezopotamya'da üretilen dökme demirlerin, yaklaşık %2'nin üzerinde karbon içermek dışında bugün sanayide kullandığımız dökme demirlerle uzaktan yakından bir ilgisi olmadığını söylemeye muhtemelen gerek bile yoktur. Dökme demirler keşiflerinden bu yana çok ciddi bir değişim geçirdi. Sanayide yaygın şekilde üretilen gri (lamel grafitli) ve sfero (küresel grafitli) dökme demirlere ek olarak, geçtiğimiz birkaç on yılda bu malzemenin birçok türevinin çıktığını da gördük. Solucanımsı grafit yapısı sergileyen vermiküler grafitli dökme demirler [4], çözelti sertleşmeli sfero dökme demirler (SSF) [5], SiMo alaşımlı dökme demirler [6] östemperlenmiş sfero dökme demirler (ADI) [7], ilk akla gelen birkaç örnek olarak sıralanabilir. Dökme demirlerin sınırlarını zorlamaya yönelik bu tür çalışmaların arkasındaki motivasyonun, benzer özellikler sergileyen alternatif malzemelerle rekabet edebilmek olduğunu söyleyebiliriz. Süper alaşımlar, HSLA (yüksek mukavemetli düşük alaşımlı) çelikler ve özellikle alüminyum alaşımları dökme demirlere birer alternatif olarak ortaya çıkarırken, bir de emisyon değerlerine yönelik baskılar nedeniyle çeşitli sektörlerde ağırlık azaltma çalışmaları başlayınca, dökme demirlerin oyunda kalabilmek için ister istemez kendilerini yenilemeleri gerekiyor.

2. DÖKME DEMİRLERİN HAFİF ALAŞIMLARA KIYASLA POZİSYONU

Sera gazı emisyonlarını azaltmaya yönelik baskılar neticesinde otomotiv, demiryolu ve gemi yapımı gibi, taşımacılık ve ulaşım sektörleri için imalat yapan birçok üreticinin parça hafifletme üzerine çalışmaya başladıklarını biliyoruz. Uluslararası Enerji Ajansının (IEA) yayımladığı raporlara göre, küresel ulaşım ve taşıma kaynaklı emisyonlar, sera gazı emisyonlarının yaklaşık dörtte birini oluşturuyor [8]. Yine IEA'nin yayımladığı raporlara göre, 2050 senesinde bu emisyonların %34 oranında azaltılması bekleniyor. Bu beklenti sonucunda oluşturulan politikalar ve sera gazı emisyonlarının özellikle karayolu taşımacılığında dikkat çeken bir sorun olduğu dikkate alındığında, bu hafifletme çalışmalarının neden gelip geçici bir heves olmayacağı anlaşılabilir. Konu hafifletme olduğu zaman, doğal olarak ilk akla gelen çelik ve dökme demir gibi ağır alaşımların yerine alüminyum ve magnezyum gibi hafif alaşım alternatifler geliştirmek, ya da mümkün olan yerlerde kompozit malzemeler gibi daha hafif opsiyonlara yönelmek oluyor [10]. Ancak teknik literatürü dikkatli bir şekilde incelediğimizde, aslında tek alternatifin daha hafif malzemeler olmadığını, daha güçlü malzemelerden daha az kullanarak da benzer bir hafifletme elde edilebileceğini görebiliyoruz [11-14]. Atıf yapılan bu çalışmalar, genel kavrayışa oldukça ters bir noktaya işaret ediyor: Otomotiv sektöründe kullanılan düşük karbonlu çeliklerin yerine alüminyum alaşımı ve yüksek dayanımlı çelik kullanılması arasında, CO² emisyonu açısından bir fark olmadığını, iki alaşımında benzer seviyede bir hafifletme ortaya çıkardığını görebiliyoruz. Basit bir kıyaslama yapmak adına, Tablo 1'de sunulan alaşımların özgül çekme dayanımları incelenebilir: Tabloda da görüleceği gibi östemperlenmiş sfero dökme demirlerin (ADI) özgül çekme dayanımları (dayanım/yoğunluk) çeliklere kıyasla yüksek, alüminyum alaşımlarının ulaşabildiği en üst noktayı da kapsayabilir seviyededir.

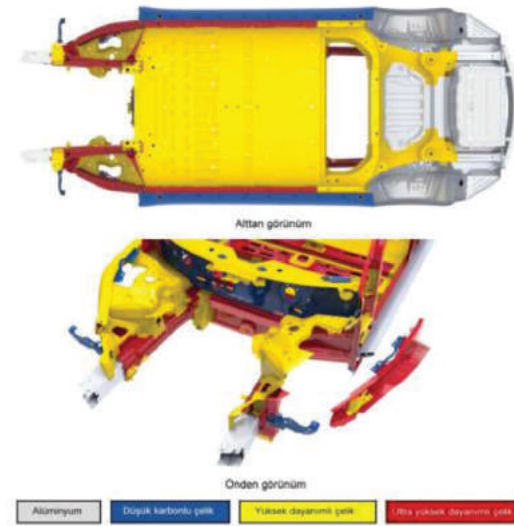
| Malzeme | Çekme Dayanımı [MPa] | Yoğunluk [gr/cm ³] | Özgül Çekme Dayanımı [kN m/kg] |
|---------------------|-------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Al-Si-Mg (6xx) | 150 – 380 [17] | 2,7 | 56 - 141 |
| Al-Zn-Mg-Cu (7xx) | 520 – 620 [17] | 2,7 | 193 – 230 |
| 420 Paslanmaz (Q+T) | 850 – 900 [18] | 7,8 | 109 - 115 |
| ADI Dökme demir | 800 – 1600 [19] | 7,0 | 114 – 230 |

Tablo 1. Çeşitli alaşımların özgül çekme dayanımları (specific strength).

Otomotiv sektörü özelinde hafifletme her ne kadar uzun süredir gündemde olan bir konu olsa da, binek araç ağırlıkları güvenlik, konfor ve performans talepleri nedeniyle sürekli bir artış gösteriyor: 1970'li yıllarda yaklaşık 750 – 1050 kg arasında değişen ortalama binek araç ağırlıkları, 2000'li yıllarda 1000 – 1550 kg aralığına ulaşmış durumda [15]. Araçların verim ve performansındaki gelişmeler bu artışa bir çözüm sunamayınca, doğal olarak daha hafif malzemelerle üretilmiş bileşenlere ve parçalara yönelik talebin artışına tanıklık ediyoruz. Hafif malzeme konusu ilk bakışta görüldüğü kadar basit bir mesele değil: Yeterli dayanım sergileyebilen hafif bir malzemenin bulunmuş olması, o malzemenin hemen kullanılabileceği anlamına gelmiyor. Çünkü dayanım ek olarak yeterli darbe tokluğu, korozyon dayanımı, boyutsal kararlılık, uygun termal genleşme davranışı gibi birçok farklı özelliğin de beklenen aralıklarda olması gerekiyor.

Gerçek potansiyeline ulaşmakta zorlanan malzemelere bir örnek olarak hafifliğiyle öne çıkan magnezyum alaşımlarını gösterebiliriz. Düşük yoğunlukları ve sergiledikleri yüksek özgül dayanım sayesinde otomotiv ve havacılık uygulamaları için uygun bir alternatif olarak öne çıkan magnezyum alaşımları, korozyona karşı zayıf bir direnç gösteriyor olmaları nedeniyle gerçek potansiyellerine ulaşmakta zorlanıyorlar. Her ne kadar PVD, azot iyon implantasyonu gibi yüzey işlemleriyle korozyon dayanımını arttırmak mümkün olsa da, bu yöntemlerin oldukça pahalı olması, ekonomik yüzey işlemlerinin ise istenen korozyon dayanımını yaratmakta yetersiz kalması, magnezyum alaşımlarının bu yarışta geride kalmasına yol açıyor [16].

Örneğin yenilikçiliğiyle öne çıkan Tesla elektrikli araçlarda ağırlıklı olarak alüminyum tercih edilirken, fiyat avantajı sunması istenen Tesla Model 3 modelinde ağırlıklı olarak yüksek dayanımlı çelik kullanılarak hafifletme yoluna gidildiğini görüyoruz (Resim 1). Yani fiyat avantajının istenildiği ve yüksek hacimde satması istenen araçlarda, yüksek dayanımlı çelikler daha ucuz bir opsiyon olarak hafif alaşımların önüne geçebiliyorlar.



Resim 1. Tesla Model 3 gövdesindeki malzeme tercihleri: Ekonomik olması istenen araç gövdesinde, ağırlıklı olarak çelik kullanılıyor.

Ekonomik ürünler istenildiğinde yeni maceralara atılmak yerine, geleneksel malzemelerin sınırlarını zorlamak daha akılcı bir seçenek olarak karşımıza çıkıyor. Çünkü magnezyum alaşımları örneğinde de görüldüğü gibi, yeni bir malzemenin hafiflik gibi bazı özellikleri öne çıkıyor olsa da, korozyon dayanımı gibi özellikleri birçok uygulamada bir seçenek olarak elenmesine neden oluyor. O nedenle birçok özelliğiyle kendini ispatlamış dökme demirleri baştan ele alıp, acaba özellikleri daha ne kadar ileri taşınabilir diye sormak, malzeme bilimi açısından da ilginç bir soru niteliği taşıyor.

3. İLERİ DÜZEYDE MEKANİK ÖZELLİKLER SERGİLEYEN BİR DÖKME DEMİR MALZEME BAZINDA NASIL TASARLANABİLİR?

Genel olarak mühendislik uygulamalarında kullanılan çeşitli malzemelerin sergiledikleri özelliklerin, bu malzemelerin mikroyapısında bulunan çeşitli faz (ferrit gibi) ya da faz karışımları (perlit gibi) tarafından belirlendiğini biliyoruz. Bu durum elbette ki dökme demirler için de geçerli: Bir dökme demirin dayanımını arttırmak istediğimizde, mutlaka yapısında dayanımı yüksek bir fazın ya da yapının bulunması gerektiğini anlıyoruz. Bir diğer örnek olarak ısı iletim kapasitesini arttırmak istediğimizde, bu beceriyi sağlayan grafitin miktarını arttırmayı ya da bu kapasiteye olumlu etki edecek şekilde grafitin morfolojisini lamelleştirmeyi hedefliyoruz. Dökme demirlerin yapısında bulunan çeşitli faz ve yapılan özellikler üzerinde yarattığı temel etkiler Tablo 2 üzerinde özetlenmiştir.

| Faz / Yapı | Açıklama | Akma Dayanımı | Çekme Dayanımı | Kopma Uzaması | Darbe Dayanımı | Isı İletim Kapasitesi |
|------------|--------------|---------------|----------------|---------------|----------------|-----------------------|
| Ferrit | Miktar ↑ | ↓ | ↓ | ↑ | ↑ | ↑ |
| Perlit | Miktar ↑ | ↑ | ↑ | ↓ | ↓ | ↓ |
| Grafit | Miktar ↑ | ↓ | ↓ | ↑ | ↓ | ↑ |
| Östenit | Küresellik ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↓ |
| | Miktar ↑ | ↓ | ↓ | ↑ | ↑ | ↑* |
| Ösferrit | Tane boyu ↑ | ↓ | ↓ | ↑ | ↑ | - |
| | Miktar ↑ | ↑ | ↑ | ↓ | ↓ | - |

* Perlite kıyasla.

Sadece özellikler üzerindeki ana etkiler belirtilmiştir. Bazı koşullar altında yukarıdaki etkiler değişiklik gösterebilir. Major bir etkisi olmayan faktörler “-“ ile gösterilmiştir.

Tablo 2. Dökme demirlerde bulunan çeşitli fazların bazı özellikler üzerindeki etkileri

Bu tablo ve açıklamaların gösterdiği resim oldukça açık: İleri düzeyde mekanik özellikler sergileyebilen bir dökme demir üretmek için, öncelikle hedeflenen “ileri düzeydeki” mekanik özelliklerin ne olduğunun açıkça tarif edilebilmiş olması gerekiyor. Ardından bu özelliklerin malzemeye kazandırılabilmesi için hangi faz veya faz karışımı yapıların malzemede bulunması gerektiğinin de tespit edilmesi gerekiyor. Son olarak, hedeflenen özelliklere ters yönde etkiler oluşturabilecek, istenmeyen faz ve yapıların oluşumunun nasıl engelleneceğinin de dikkate alınmış olması gerekiyor.

Bir örnek vermek adına, östemperlenmiş sfero dökme demirleri ele alalım (austempered ductile iron, ADI). Dökme demirlerde görmeye alıştığımız mekanik özelliklerin çok daha ilerisinde, yüksek dayanımlı çeliklerle kıyaslanabilecek düzeyde mekanik özellikler sergileyen bu dökme demir türü, sahip olduğu etkileyici özellikler sayesinde otomotiv, demiryolu, savunma ve ağır sanayi uygulamalarında tercih edilen bir malzeme haline gelmeye başladı. Östemperlenmiş sfero dökme demirlerin sergilediği bu üstün mekanik özelliklerin arkasında, ısı işlem sonucunda elde edilebilen özel bir mikroyapı yatıyor: Yüksek karbonun kararlı hale getirdiği kalıntı östenit ve ferrit karışımından oluşan bu özel yapıya, metalurji literatüründe kısaca ösferrit (ausferrite) adı veriliyor [20].

Bu fazın ortaya çıkmasını sağlayan östemperleme işleminin yapılmış olması, gerçek anlamda ileri düzeyde diyebileceğimiz mekanik özelliklerin elde edilmesi için yeterli olmuyor. Konunun ayrıntılarına girmeden önce, yukarıda tarif edilen bakış açısından yola çıkarak, ilk olarak ileri düzeyde mekanik özellik ifadesinden ne beklediğimizi tanımlayarak başlayalım. Diyelim ki EN 1564:2011 standardında tanımlanan ADI dökme demirlerin aksine yüksek dayanımla birlikte yüksek kopma uzaması da sergileyebilen bir ADI dökme demir üretmek istiyoruz. EN 1564:2011 standardı uyarınca minimum 1000 MPa çekme dayanımına sahip bir ADI dökme demirin minimum %5 kopma uzaması sergilemesi gerektiğini (EN-GJS-1000-5) biliyoruz. Çekme dayanımının 1200

MPa düzeyine arttırılması durumunda ise, yine standartlarda sunulan bilgiler çerçevesinde kopma uzaması beklentisinin minimum %2 düzeyine inmesi gerektiğini görebiliyoruz (EN-GJS-1200-2).

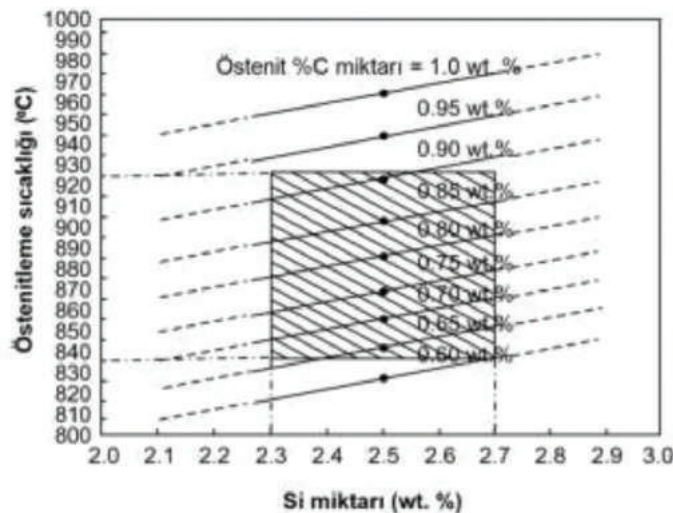
¹Perlitin bir faz değil, ferrit ve sementit fazlarından oluşan bir karışım olması nedeniyle, faz yerine yapı ifadesinin kullanılması tercih edilmiştir.

Eğer 1000 MPa çekme dayanımına sahip bir ADI dökme demiri örneğin %15 kopma uzaması sergileyecek şekilde üretebilirsek, standartlarda tanımlanan benzerlerine göre ileri düzeyde mekanik özellikler sergileyen bir dökme demir üretmiş sayılabiliriz. Hedefi bu şekilde koyduktan sonra, bu hedefe ulaşmak için nasıl bir yol izlenmesi gerektiği üzerine düşünmeye başlayabiliriz. ADI ısı işlemi sonucunda elde edilen özellikler doğal olarak ısı işlem parametrelerinden önemli ölçüde etkileniyor: Yüksek izotermal dönüşüm sıcaklıkları mukavemeti daha düşük ama sünek yapılar üretirken, düşük izotermal dönüşüm sıcaklıkları dayanımı arttırıyor, uzama değerlerini ise düşürüyor [21]. İzotermal bekleme süresinin uzatılması da dayanımı düşüren ve sünekliği arttıran bir etki ortaya çıkartıyor. İstenen dayanım değerlerini elde etmek uygulanması gereken süreç parametreleri teknik literatürde yayımlanan birçok makaleden incelenebilir [22]. Ancak bu durumda standart dışı bir özellik hedeflendiği için, bu değerleri birebir bir yayından elde etmemiz her zaman mümkün olmayacaktır.

O nedenle istenen özellikleri kapsamlı bir şekilde değerlendirip, nasıl bir içyapı elde etmemiz gerektiğini anlamamış olmamız gerekir. Aynı örnek üzerinden devam edecek olursak, 1000 MPa üzerinde bir çekme dayanımı için 330°C üzerinde bir izotermal bekleme sıcaklığı çevresinde bir çalışma planlanıp, istenen dayanım değerleri sağlanabilir. Ancak bu durumda elde edilen uzama değerlerinin standartlar uyarınca %5 - %6 mertebesinde olması beklenebilir. Uzama değerlerini daha da arttırmak için sadece malzemede olması gereken değil, olmaması gereken faz ve yapıların da değerlendirmeye alınması gerekir.

Yüksek uzama ve tokluk değerleri elde edilebilmesi için öncelikle küre sayısının mümkün olduğunca yüksek seviyede tutulması, küresellik değerinin ise %85 üzerinde olması sağlanmalıdır. Küre sayısının yüksek olması karbür oluşumuna yol açabilecek istenmeyen elementlerin belli bölgelerde birikerek zararlı fazlar oluşturmalarını engelleyeceği için, uzama değerleri üzerinde olumlu etki yaratacaktır. Buna ek olarak karbür, inklüzyon ve gözenek gibi istenmeyen hata ve yapıların oluşumu minimum düzeyde tutulmalı ve toplam hacimde %1,5 üzerine çıkmalarına müsaade etmeyecek şekilde çalışılmalıdır.

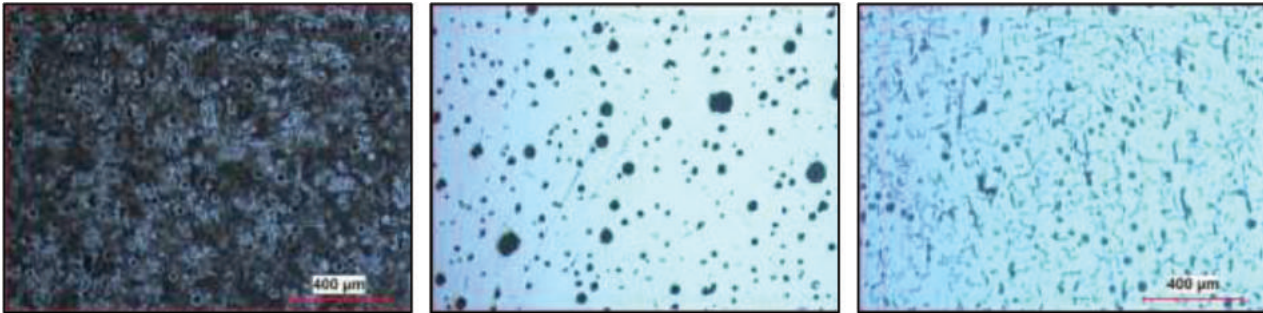
Uzama değerlerini arttırmak için sadece hatalardan arındırılmış bir parça üretmek yeterli olmayabilir. Ek olarak mikroyapıda görülen çeşitli fazların ayrıntılı optimizasyonu da gerekebilir. Örnek olarak Çizelge 1 üzerinde ADI dökme demirlerde östenitleme sıcaklığı, silisyum miktarı ve östenit fazı içindeki %C miktarı arasındaki ilişki gösteriliyor. Östenit içinde çözünen karbon miktarının artması durumunda katı çözelti sertleşmesi (solid-solution hardening) mekanizmasıyla östenitin dayanımı arttığı ve sünekliği azaldığı için, malzemenin toplam sünekliğinin de azalması beklenir. O nedenle istenen özelliklerin ileri düzeyde optimizasyonu gereken durumlarda, mikroyapıda görülen fazlara dair bu ayrıntıların dahi dikkate alınması gerekebilir.



Çizelge 1. ADI sfero dökme demirlerde östenitleme sıcaklığı, silisyum miktarı ve östenitteki %C miktarı arasındaki ilişki [23].

Son olarak oluşturduğu bileşiklerle tane sınırlarına çökeliş, uzama üzerinde olumsuz etkiler yaratabilecek Mn gibi elementlerin ve benzer etkiler yaratan fosfor ve kükürt gibi elementlerin de düşük seviyelerde tutulması neticesinde, uzama değerlerinin yüksek tutulması sağlanabilir. Bu kısıtlamalar dikkate alınarak üretilen ADI sfero dökme demirlerde uzama değerlerinin gerçekten de %15 civarına taşınabildiğine dair veriler Wenbang'ın [23] araştırmasında görülebilir.

Bu yaklaşım sadece mekanik özellikler için geçerli değil elbette: Örneğin Ekstrametal'de yürütülen ve sonuçları daha önce yayımlanan bir çalışmada [24], yüksek ısı iletkenlik elde etmek amacıyla üretilen vermiküler dökme demirlerin ısı iletim kapasitesinin nasıl daha da ileri taşıyabileceği gösterilmişti. Vermiküler grafit parçacıklarının sağladığı yüksek ısı iletkenlik becerisine ters yönde bir etki yaratan perlit fazı ortadan kaldırılıp, perlitin sağlaması beklenen mekanik dayanım katı çözelti sertleşmesiyle yaratıldığı takdirde, standart vermiküler dökme demirlere göre hem akma dayanımı, hem çekme dayanımı, hem kopma uzaması, hem de ısı iletkenliği çok daha yüksek bir yapı elde edilebiliyor (Resim 2). Bu çalışmanın ayrıntıları için [24] numaralı referans incelenebilir.



Resim 2. (a) EN-GJV-450 vermiküler grafitli dökme demir mikroyapısı, (b) EN-GJS-600-10 çözeltiyle sertleşmiş sfero dökme demir (SSF-DI) mikroyapısı, (c) SSF-CGI: çözeltiyle sertleşmiş vermiküler grafitli dökme demir mikroyapısı [24].

4. DÖKÜM SEKTÖRÜNDE İNOVASYONUN YOL HARİTASI

İnovasyon, son yılların sıcak konularından bir tanesi. Uzak Doğu'dan gelen ucuz rekabet nedeniyle birçok ürünün komoditeleşme riski taşıdığı bir dönemde, firmaların ürün, tedarik zinciri, satış kanalları, iş yönetimi ya da gelir modelleri gibi birçok farklı alanda yenilik peşinde koşmaları ve inovasyon düşüncesini gündemlerine almak istemeleri doğal karşılanabilir. Herkesin bir yenilik peşinde koşarak fark yaratmaya çalıştığı bir dönemde, inovasyon düşüncesinin döküm sektöründe de yansımaları olduğunu görmek, döküm firmalarının inovasyonla bir fark yaratma peşinde olmak istemeleri oldukça doğal bir durum. Ancak kökleri binlerce yıl önceye dayanan, yapısı ve iş yapış biçimleri gereği oldukça muhafazakâr bir yapısı olan bir sektör için değişim sürecine girmek kolay bir iş de değil.

İnovasyon, elbette ki herkes yapıyor diyerek peşine düşülecek bir şey değil: İnovasyon eğer bir yenilik aracılığıyla fark yaratma amacı taşıyorsa, yaratılan yeniliğin şirketin ticari hedefleriyle örtüşüyor olması, ya da bir şekilde ticari bir fark yaratmasına yardım ediyor olması gerekir. Ancak dökümhaneler maalesef yenilikçiliği sadece farklı bir alaşım dökmek, ya da geleneksel üretim yöntemlerinin temel mantığını muhafaza ederek, aynı yapının üzerine bir iyileştirme eklemek olarak algılayabiliyorlar: Üretim hattına robot koymak gibi.

Hâlbuki gerçek anlamda fark yaratacak bir yeniliğin, her şeyden önce müşterinin gözünde bir fark yaratıyor olması gerekir. Döküm sektörünün müşterisini kolayca ortaya koymak kolay değil: Enerji, otomotiv, havacılık, demir yolu taşımacılığı, gemi yapımı endüstrisi, inşaat ve tarım makinaları gibi daha nicelerini sayabileceğimiz onlarca endüstriye hizmet veren bir sektör için inovasyonun yol haritası, ancak bu müşterilerin gerçekleri ve kısıtlamaları göz önüne alınarak, bu müşterileri bekleyen zorluklar, değişimler ve fırsatlar değerlendirilerek çizilebilir. Çünkü müşteri gözünde değer yaratan bir inovasyonun, müşterinin zorluklarını, problemlerini ve kısıtlamalarını aşmasına yardımcı olması gerekir.

O nedenle aslında küresel değişim rüzgârlarının gösterdiği geleceği ve bu gelecekteki engel ve kısıtlamaları dikkate aldığımızda, aslında döküm alıcılarını bekleyen engel ve kısıtlamaları, dolayısıyla döküm sektörüne

yansıyacak engel ve kısıtlamaları göreceğimizi anlayabiliriz. Elbette bu çerçevede ele alabileceğimiz birçok faktör var. Ama genel bir değerlendirme için, döküm alıcılarının iş modellerini etkileyecek ana akımları şu şekilde sıralayabiliriz: İklim değişikliği, döngüsel ekonomi ve tedarik zinciri. Şimdi bu üç konu başlığı çerçevesinde küresel döküm alıcılarını, dolayısıyla da dökümhaneleri bekleyen geleceği kısaca değerlendirelim.

4.1. İklim değişikliğinin döküm sektörüne etkileri

Konuya güncel ve bugünden hissetmeye başladığımız bir etkiyle başlayalım: E-mobilite bundan on yıl önce gündemde bile olmayan bir konuyken, Tesla'nın elektrikli arabalarda elde ettiği başarı, ardından gelen dizel skandalı [25], hem Avrupa'da, hem de Uzak Doğu da elektrikli arabalara doğru yönelimin beklenenden çok daha hızlı gerçekleşmesini sağladı. Döküm sektörünün ana müşterilerinden bir tanesi olan otomotiv sektörü böylesine büyük bir kabuk değişimine girmişken, döküm sektörünün bu durumdan etkilenmemesi mümkün değil. Elektrikli arabalarda döküm parçaların kullanılmaya devam edeceği bir gerçek: Ancak kullanılacak parça portföyünün ciddi şekilde değişiyor olması, hem malzeme (dökme demirden alüminyuma geçiş), hem de üretim teknolojisi (kum kalıptan kokil döküme geçiş) anlamında önemli değişikliklere yol açıyor, açmaya da devam edecek [26].

2 İnovasyon ifadesinin Türkçe'de her ne kadar yenilikçilik gibi güzel bir karşılığı olsa da, kelimenin kavramsallaşmış bir şekilde dile yerleşmiş olması nedeniyle bu ifadenin kullanılması tercih edilmiştir.

İklim değişikliği çerçevesinde dönen tartışmalarda atmosfere salınan sera gazlarının etkisinin sıklıkla gündeme geldiğini görüyoruz. Her ne kadar sera gazlarının iklim değişikliğine etkileri konusunda çeşitli görüşler mevcut olsa da, çevre örgütleri ve hükümetlerin kumar oynamak yerine bu gazların salınımına yönelik kısıtlamalar konusunda baskıcı olacaklarını görüyoruz. Sera gazlarının birçok kaynağı var: Kömür ve doğal gaz gibi fosil yakıt kullanan enerji tesisleri, karayolu, demiryolu ve gemi taşımacılığı yanında endüstriyel biyokimyasal proseslerin de sera gazı emisyonlarına katkısı olduğunu biliyoruz. Bu gazlarla mücadele üç ekseninde sürdürülüyor:

- i. Enerji verimliliği yüksek ve fosil yakıt kullanmayan teknolojilere geçiş,
- ii. CO2 depolayabilen malzemelerle atmosferdeki atık gaz oranının azaltılması,
- iii. Atmosferdeki CO2 gazının farklı ürünlere dönüştürebilecek teknolojilerin geliştirilmesi.

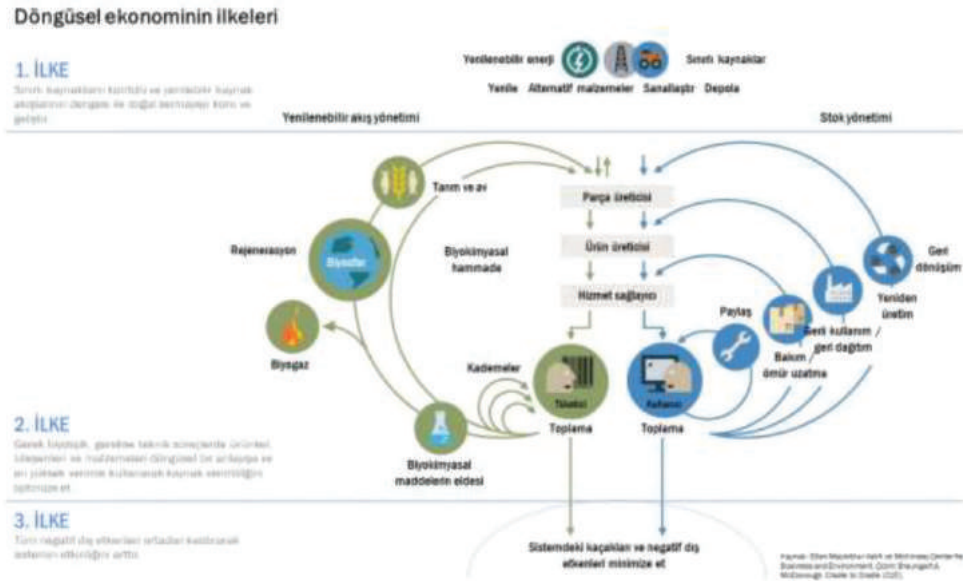
Bu stratejiler arasında özellikle birinci teknolojinin, döküm sektörü açısından yakından izlenmesi anlamlı diyebiliriz. Bu maddeye dair dikkat edilmesi gereken bir nokta var: Enerji verimliliği yüksek teknolojilere geçiş derken sadece çalışan bir ekipman ya da cihazın tükettiği enerji miktarını dikkate almak doğru olmaz. Gömülü enerji, yani o ekipmanın tüm bileşenlerinin üretimi, nakliyesi ve montajı sırasında kullanılan etkileri de dikkate almak gerekir. Döküm prosesi bu açıdan pek avantajlı bir konumda bulunmuyor: Ergitme maliyetlerinin yüksek olmasına ek olarak üretilen parçaların uzak mesafeler boyunca nakliyesinin gerekmesi, her bir parça içindeki gömülü enerji miktarını arttırıyor. Eklemeli imalat gibi, üretim maliyeti yanında tedarik zincirinde de devrimsel değişikliklere gebe bir proses kıyasla döküm prosesinin ciddi dezavantajları bulunuyor. Bu konunun ayrıntıları ilerleyen başlıklarda tekrar ele alınacaktır.

Elbette bu başlıkta üzerinde durduğumuz etkiler, sadece döküm alıcılarına dayatılan kısıtlamaların dökümhanelere ne şekilde yansıyacağı üzerinden değerlendirilemez. Döküm fabrikalarının da yaydıkları çeşitli emisyon ve atıklar sebebiyle olumsuz bir üne sahip olduklarını söylemek çok hatalı bir ifade olmaz. Örneğin dökümhanelerden alınan ölçümlere dayanan çeşitli raporlarda, dökme demir dökümhanelerinin atmosfere yaydıkları toz emisyonu değerlerinin üretilen ton başına ortalama 4,7 kg civarında olduğu, CO, SO2 ve NOx karışımından oluşan gazların ise ton başına ortalama 5,4 kg mertebesinde salındığı ifade ediliyor [27, 28]. Çevresel endişelerin gittikçe arttığı ve iklim değişikliğinin gün geçtikçe ana akım medyada daha çok gündeme geldiği bir dönemde, dökümhanelerin bu emisyon değerlerini kontrol altına almaları yönündeki baskıların artacağını beklemek gerçek dışı bir beklenti olmayacaktır.

4.2. Döngüsel ekonomi ve döküm sektörü

Döngüsel ekonomi de son yılların sıcak konularından bir diğeri: Eğer bu konuyu aşına olduğumuz geri dönüşüm süreçleri ekseninde algılamaya çalışırsak, hata yapmış oluruz. Malzeme bilimi ve mühendisliğinin potansiyeli açısından oldukça ilginç olan ve ülkemizde henüz yeterince üzerinde konuşulmayan döngüsel ekonomi düşüncesinin temeli farklı: Klasik bir geri dönüşüm döngüsü yerine, ömrü tükenen ürünlerin tamamen yenilenmesine ve yeniden yapılanmasına dayalı bir ekonomik sistem tarifinden bahsediyoruz. Klasik geri dönüşüm süreçlerinde çoğu zaman belli miktarda atık üretmek durumunda kalırken, bu anlayış sıfır atık üretecek şekilde, sistemdeki her şeyin döngüsel bir devinim içinde olması düşüncesi üzerine kurulu. Tıpkı, doğada olduğu gibi.

Döngüsel ekonomi, tanımı gereği, atık üretimini sıfıra indirmeye hedefine sahip olduğu için, sadece geleneksel geri dönüşüm süreçlerinin kullanılması yeterli olmuyor. Ekonomide yer alan tüm ürünlerin, bu ürünlerin üretiminde kullanılan tüm süreçlerin yenilenebilir enerjiye dayalı olması, toksik kimyasalların kullanımına son verilmesi ve malzeme, ürün, süreç, sistem ve iş modelleri seviyelerini kapsayan bir ekonomik anlayışın yerleşmesi gerekiyor.



Çizelge 2. Döngüsel ekonomi düşüncesinin özeti: Tamamen yenilenebilir enerji kaynakları üzerinden tasarlanmış ve üretilen tüm atıkların başka bir sektörün girdisi olduğu bir ekonomi düşüncesi [29].

Her ne kadar çok karmaşık ve değişmesi yüzyıllar alacak bir anlayıştan bahsediyormuş gibi görünsek de, aslında döngüsel ekonomi düşüncesi birkaç basit prensip çevresinde şekilleniyor: İlk olarak, bu düşüncesinin kökeninde atık kavramının sıfırlanması yattığını anlamamız gerekiyor. Döngüsel ekonomide atığın bir yeri bulunmuyor. Tüm ürünler, süreçler ve malzeme tercihleri bu düşünce çerçevesinde, ömürleri tükendiğinde tekrar ayrıştırılabilir ve kullanılabilir şekilde tasarlanıyor. Bu düşünce her ne kadar geri dönüşüm kavramını hatırlatıyor olsa da, geri dönüşüm süreçlerinde kullanılan enerjinin atık üreten süreçlerle üretiliyor olması, ya da geri dönüşüm sonrasında da belli bir miktarda atık oluşabilmesi, bu iki anlayışı birbirinden ayırıyor [30]. Türkiye’de farkındalık yaratma çalışmaları Sürdürülebilir Kalkınma Derneği bünyesinde sürdürülen döngüsel ekonomi düşüncesinin, Türkiye’deki birçok kuruluş tarafından desteklendiğini görebiliyoruz.

Döküm sektörü bu konuda henüz istenen düzeyde olmasa da, atık yönetimi konusunda aslında tecrübesi olan bir sektör diyebiliriz. Dökümhanelerin döngüsel ekonomi düşüncesine adaptasyonu için yapılan çalışmaların yavaş yavaş teknik literatürde kendilerine yer bulmaya başladıklarını görüyoruz [31, 32]. Ancak, bu bölümün girişinde de ifade edildiği gibi, gerçek anlamda bir döngüsel ekonomi kurgusu için, üretimde kullanılan tüm enerjinin yenilenebilir kaynaklardan elde ediliyor olması, buna ek olarak tüm girdilerin de döngüsel ekonomi düşüncesi çerçevesinde elde edilmiş ve atıkların da bu kurguya uygun şekilde, bir başka sektörün girdisi olmak üzere transfer edilebilir forma sokulmuş olarak atılıyor olması gerekiyor. Bu kurgunun gerekliliklerini sağlayacak yatırımların yapılması, döküm sektörünü maliyetler açısından zorlayacak etkilerin ortaya çıkmasına yol açacaktır.

4.3. Tedarik zinciri perspektifinden döküm sektörünün önündeki tehditler

Tedarik zinciri kapsamında döküm sektörünü etkileyebilecek konu başlıklarını üretim öncesi ve üretim sonrası olarak ikiye ayırabiliriz. İlk olarak üretim öncesinde, hammadde tedariki açısından kritik konularla başlayalım. Üretimde kullanılan ve AB ekonomisi açısından kritik önem taşıyan hammaddelerin tedarikine yönelik risklerin değerlendirilmesi amacıyla AB kapsamında yürütülen bir kritik hammadde çalışması bulunuyor. Bu çalışmada kullanılan metodolojiyi incelemek ve kritik hammaddelerin nasıl değerlendirdiğini merak eden okuyucular, Blengini’nin [33] çalışmasından bilgi alabilirler. Bu değerlendirmenin çerçevesini kısaca özetlemek gerekirse, bir hammaddenin kritik olup olmadığı, 3 temel etkene bakılarak tespit ediliyor:

1. Hammaddenin tedarikine yönelik bir kısıtlama riski olup olmadığı:

Hammaddenin önemi

Hammaddenin başka bir hammaddeyle yer değiştirilmeye uygunluğu

Kısıtlanma ihtimali

2. Tedarik riski

Jeolojik, teknolojik veya ekonomik nedenler

Sosyal veya mevzuat gerekçeleri

Jeopolitik nedenler

3. Çevresel etkiler

İnsan sağlığına etkileri

Ekolojik etkileri

Bu değerlendirmeler yapılırken dikkate alınan faktörlere bir örnek olması amacıyla, Tablo 3 üzerinde tungsten tedarikine yönelik ticaret bariyerleri ve ticaret anlaşmaları kapsamındaki kıyaslamaların özeti sunulmaktadır. Tablo üzerinde de görülebileceği gibi, küresel ölçekte tungsten tedarikinin %85 gibi önemli bir payı Çin'den sağlandığı için, muhtemel bir ticaret bariyeri oluşması durumunda bu elementin tedarik riski altında olduğu sonucuna varılabiliyor.

| 2014 AB Kritik Hammadde Değerlendirmesi HHI_{WGI} (ölçeklendirilmiş) = 4.5 | | | | | | | | | | |
|--|----------------|------------------------|------|-------------|-----|------------|-------|------------|-----|----------------|
| Ülke | % Kür. Tedarik | Pay x 100 ² | WGI | HHI_{WGI} | ER | Ayrıntılar | TA/EU | Ayrıntılar | t | HHI_{WGI-t} |
| Bolivya | 2 | 4.0 | 6.07 | 24.3 | - | - | - | - | 1 | 24.3 |
| Vietnam | 1 | 1.0 | 6.10 | 6.1 | 1.1 | %20 Vergi* | - | - | 1.1 | 6.7 |
| Avusturya | 1 | 1.0 | 2.03 | 2.0 | - | - | 0.8 | EU28 | 0.8 | 1.6 |
| Çin | 85 | 7225.0 | 6.18 | 44650.5 | 1.1 | %20 Vergi* | - | - | 1.1 | 49115.5 |
| Ruanda | 1 | 1.0 | 5.42 | 5.4 | - | - | - | - | 1 | 5.4 |
| Portekiz | 1 | 1.0 | 3.15 | 3.2 | - | - | 0.8 | EU28 | 0.8 | 2.5 |
| Peru | 1 | 1.0 | 5.37 | 5.4 | - | - | - | - | 1 | 5.4 |
| Tayland | 1 | 1.0 | 5.58 | 5.6 | - | - | - | - | 1 | 5.6 |
| Kanada | 1 | 1.0 | 1.76 | 1.8 | - | - | - | - | 1 | 1.8 |
| Rus Fed. | 4 | 16.0 | 6.48 | 103.7 | 1.1 | %20 Vergi* | - | - | 1.1 | 114.1 |
| Toplam | | | | | | | | | | 49282.9 |

Ticarete uyarlanmış HHI_{WGI} (ölçeklenmiş) = $HHI_{WGI-t} / 10000 = 4.9$

*2010 yılındaki vergiler dikkate alınmıştır.

WGI: World Governance Index, **HHI_{WGI} :** Herfindahl-Hirschman Endeksi (WGI ile ölçeklendirilmiş), **ER:** İhracat kısıtlamaları (*export restrictions*),

TA/EU: Ticaret anlaşması (*trade agreement*) ya da EU üyesi, **t:** Ticarete göre uyarlanmış (*trade adjustment*).

Tablo 3. Tungsten için örneklendirilmiş bir ticaret bariyerleri / ticaret anlaşmaları değerlendirilmesi (2010 senesi verileri) [33].

Sadece ana tedarikçiler çerçevesinde bir değerlendirme yapıldığında dahi, muhtemel bir ticaret krizi durumunda tedariki risk altında olabilecek elementler Tablo 4 üzerinde incelenebilir. Bu değerlendirmeler neticesinde, Avrupa Birliği'nin kritik hammadde analizinde yer alan ve döküm sektörünü etkileyebilecek elementler şu şekilde sıralanıyor [34]: Çelik döküm üzerinden değerlendirecek olursak, çelik alaşımlarında kullanılan krom, kobalt, tungsten ve niyobyum gibi elementlerin tedarikinin riskli olarak değerlendirildiğini görüyoruz. Buna ek olarak küresel magnezyum tedarikini %87 oranında Çin'den yapıyor olması, muhtemel bir ticaret bariyeri oluşması durumunda dökme demir üretiminin de risk altında olabileceğini gösteriyor (küresel grafitli (sfero) dökme demir üretiminde, küreselleştirme işlemi için magnezyum kullanılmaktadır). Magnezyuma ek olarak silisyum elementi, çeşitli alüminyum döküm alaşımlarında da (örneğin A356 ve A357 gibi) kullanılan elementler olması nedeniyle, küresel döküm sektörü açısından ciddi risk taşıyan bir element olarak değerlendirilebilir.

| Malzeme | Aşama | Ana Tedarikçi | Pay | Malzeme | Aşama | Ana Tedarikçi | Pay |
|---------------|-------|---------------|-----|-------------------|-------|---------------|-----|
| 1 Antimon | P | Çin | %87 | 23 Doğal grafit | Ç | Çin | %69 |
| 2 Barit | Ç | Çin | %44 | 24 Doğal kauçuk | Ç | Tayland | %32 |
| 3 Berilyum | Ç | ABD | %90 | 25 Neodim | Ç | Çin | %95 |
| 4 Bizmut | P | Çin | %82 | 26 Niyobyum | P | Brezilya | %90 |
| 5 Bor | Ç | Türkiye | %38 | 27 Paladyum | P | Rusya | %46 |
| 6 Seryum | Ç | Çin | %95 | 28 Fosfatlı kayaç | Ç | Çin | %44 |
| 7 Kobalt | Ç | Kongo | %64 | 29 Fosfor | P | Çin | %58 |
| 8 Disprosyum | Ç | Çin | %95 | 30 Platin | P | G. Afrika | %70 |
| 9 Erbiyum | Ç | Çin | %95 | 31 Praseodim | Ç | Çin | %95 |
| 10 Evropiyum | Ç | Çin | %95 | 32 Rodyum | P | G. Afrika | %83 |
| 11 Florspat | Ç | Çin | %64 | 33 Rutenyum | P | G. Afrika | %93 |
| 12 Gadolinium | Ç | Çin | %95 | 34 Samaryum | Ç | Çin | %95 |
| 13 Galyum | P | Çin | %73 | 35 Skandiyum | P | Çin | %66 |
| 14 Germanyum | P | Çin | %67 | 36 Silisyum | P | Çin | %61 |
| 15 Hafniyum | P | Fransa | %43 | 37 Tantal | Ç | Ruanda | %31 |
| 16 Helyum | P | ABD | %73 | 38 Terbiyum | Ç | Çin | %95 |
| 17 Holmiyum | Ç | Çin | %95 | 39 Tülyum | Ç | Çin | %95 |
| 18 İndiyum | P | Çin | %56 | 40 Tungsten | Ç | Çin | %84 |
| 19 İridyum | P | G. Afrika | %85 | 41 Vanadyum | P | Çin | %53 |
| 20 Lantan | Ç | Çin | %95 | 42 İterbiyum | Ç | Çin | %95 |
| 21 Lütesyum | Ç | Çin | %95 | 43 İtriyum | Ç | Çin | %95 |
| 22 Magnezyum | P | Çin | %87 | | | | |

Aşama: Ç: Çıkarılıyor, P: Proses ediliyor.

Tablo 4. Küresel tedarik zincirinde elementlerin durumu: Ana tedarikçiler ve küresel payları [34].

Bir de zincirin üretim sonrasındaki kısmına bakalım: Tedarik zinciri perspektifinden değerlendirildiğinde, eklemeli imalat yöntemlerinin döküm sektörünü zorlayacak bir teknoloji olacağını söyleyebiliriz. Bunun ilk nedeni, döküm alıcılarının tam zamanında teslimat (just in time delivery) konusuna yüksek hassasiyet gösteriyor olmaları. Türk döküm sektörünün başlıca müşterisi konumunda olan Avrupa sanayisi, çevresel baskılar ve fiyat rekabeti nedeniyle bu temiz ve kolay üretim yöntemini kendi bünyesine alabilir ve üretim hatlarına yakın eklemeli imalat tesisleriyle nakliye gecikmelerini ihmal edilebilir düzeylere indirebilir.

Eklemeli imalatın tedarik zinciri ve döngüsel ekonomi çerçevesinde ele alabileceğimiz bir diğer etkisi de, bu üretim yönteminin çok daha düşük bir gömülü enerjiye sahip parçalar üretilebilecek potansiyele sahip olmasıdır. Montaj tesislerinin yakınlarına inşa edilecek eklemeli imalat tesisleriyle nakliye masrafları ve nakliye sırasında harcanacak enerjinin ihmal edilebilir düzeye indirilecek olması, iklim değişikliği perspektifinden bakıldığında, eklemeli imalatın döküme kıyasla tercih edilir bir yöntem olmasını destekleyen bir etki yaratacaktır. Şu anda bile Avrupalı birçok döküm alıcısı firmanın eklemeli imalat üzerine çalışmalar yaptığı ve bu çalışmaları kendi bünyelerinde sürdürdükleri biliniyor. Teknolojik açıdan hazır olmaktan ziyade onaylı proses olmaması nedeniyle birçok endüstride kullanımı ertelenen bu teknolojinin onay süreçlerinden geçmesi, döküm sektörüne hızlı bir şekilde yansıtacak bir etki yaratacaktır.

5. SONUÇ

Bu çalışmanın gösterdiği gelecek tasviri içinde, hem bazı tehditlerin, hem de bazı fırsatların yer aldığı sonucuna varılabilir.

5.1. Tehditler

Yukarıdaki değerlendirme sonucunda dökme demir üretimine odaklanan dökümhanelerin birçok açıdan tehdit altında oldukları açıkça görülebilir. Bu çalışmada yapılan değerlendirmeler kısa vadede ziyade orta ve uzun vadeye yönelik olsa da, Tesla'nın başarısı ve ardından gelen dizel skandalı neticesinde oluşan kamuoyu nedeniyle e-mobilitenin nasıl tahmin edilenden hızlı bir şekilde kabul görmeye başladığını birlikte gördük.

Bunun sonucunda, otomotive hizmet veren dökme demir dökümhanelerinin bu değişime nasıl hazırlıksız yakalandıklarına da yine birlikte tanıklık ettik. O nedenle burada anlatılan tehditlerin bir gerçeğe dönüşmesi için uzun yıllar beklenilmesine gerek olmayacağı ve değişimlerin tahmin edilenden çok daha hızlı gerçekleşeceği sonucuna varılabilir.

Yukarıda tarif edilen inovasyon yol haritası çerçevesinde sanayinin geleceğini etkileyecek başlıca etkenler arasında yer alan iklim değişikliği konusu, enerji tüketimi ve ekolojik etkiler gibi endişeler nedeniyle döküm parça üretimini birçok açıdan zorlayacaktır. Eklemeli imalat yöntemlerinin gömülü enerji konusunda ciddi tasarruf sağlıyor olması çevre açısından öne çıkmalarına yardımcı olacak, tam zamanında teslimat açısından müşterileri cezbedecektir.

Aynı zamanda AB'nin yaptığı kritik hammadde çalışmaları çerçevesinde görülen durum, küresel dengelerin değiştiği günümüzde derinleşmesi muhtemel ticaret savaşlarının, döküm üretiminde kullanılan bazı hammaddelerin tedarikini ciddi risk altına sokabileceği görülmektedir. Eklemeli imalat yöntemlerinin sanayide kullanılan malzeme portföyünü ciddi şekilde değiştirebilecek potansiyele sahip olmaları nedeniyle, bu yöntemler bu açıdan da döküm üretimini tehdit edebilecek bir etken olarak değerlendirilebilir.

5.2. Fırsatlar

Binlerce yıllık geçmişe sahip döküm üretimini tek bir imalat yönteminin ortadan kaldıracabileceğini iddia etmek elbette ki akıl kârı olmaz: Döküm üretimi çeşitli avantajları nedeniyle daha uzun yıllar varlığını sürdürecektir. Bu dönemde dökümhanelerin odaklanması gereken nokta, mevcut avantajlarını daha da ileriye taşıyacak sistemleri kurgulamaya şimdiden başlamak olmalı. Malzeme mühendisliği bunlardan birincisi: Sadece standart alışımına bağlı bir üretim anlayışı yerine müşterilerinin tasarım sürecine baştan dâhil olmak, doğru tasarım ve malzeme önerilerini baştan yapabilir bir yapı tasarlamak, kendilerini sadece bir tedarikçi değil, bir çözüm ortağı olarak kurgulamak atılması gereken birinci adım olarak sıralanabilir.

Birçok dökümhane, ana faaliyet alanları döküm olsa da, müşterilerine farklı prosesler sunarak katma değeri yüksek parçalar üretme yoluna gidiyor: Talaşlı imalat ya da boya gibi. Eklemeli imalat yöntemini farklı bir alan gibi algılamak yerine, yani bir tehdit olarak görmeyi bırakıp fırsat olarak algılamaya başlayarak, bu yöntemin yarattığı değişim rüzgârını kendi lehlerine çevirebilirler. Tıpkı dijital fotoğraf makinelerinin yarattığı değişim rüzgârı gibi: Bu süreç yeni fotoğraf makinası üreticilerinin ortaya çıkmasına olanak sağladı. Ama filmli makine üreten imalatçılardan da bu değişime ayak uydurabilenlerin ayakta kaldığını, uyduramayanların ise yok olduklarını gördük. Şimdi bu değişim döküm sektörünün kapısını çalıyor. Bu bayrağı başka sektörlerin ele alıp ileriye taşımamasını beklemek yerine döküm firmalarının bu alana şimdiden girip çalışmaya başlaması, sektörün devamlılığı açısından akıllıca bir strateji olacaktır.

6. KAYNAKÇA

1. Ö. Bilgi (ed.), "Anadolu, Dökümün Beşiği", Döktaş A.Ş. Kültür Yayınları, 2004.
2. D.M. Stefanescu, "A History of Cast Iron", ASM Handbook, Vol. 1A: Cast Iron Science and Technology, 2017, 3-11.
3. D.B. Wagner, "The State and the Iron Industry in Han China", Copenhagen: Nordic Institute of Asian Studies Publishing, ISBN 87-87062-83-6, 2001.
4. D.M. Stefanescu, "Compacted Graphite Iron", ASM Handbook, Volume 1: Properties and Selection: Irons, Steels, and High-Performance Alloys, 1990, 56-70.
5. R. Okunnu, "High strength solution-strengthened ferritic ductile cast iron", Master's Thesis, Aalto University, 2015.
6. H. Takabayashi, S. Ueta, T. Shimizu, T. Noda, "Development of thermal fatigue resistant ferritic cast steel for turbine housing of diesel engine automobile", SAE International Journal of Materials and Manufacturing, 2, 2009, 147-154.
7. Y. Tanaka, H. Kage, "Development and Application of Austempered Spheroidal Graphite Cast Iron", Material Transactions 33, 543-557, 1992.
8. R. Quadrelli, S. Peterson, "The energy-climate challenge: Recent trends in CO2 emissions from fuel combustion", International Energy Agency (IEA), 2015.
9. J.F. Gagné, "Energy technology perspectives 2015: Mobilising Innovation to Accelerate Climate Action", Elering Smart Grid Conference, Tallinn, Finlandiya, 2015.
10. A.C. Serrenho, J.B. Norman, J.M. Allwood, "The impact of reducing car weight on global emissions: The

- future fleet in Great Britain”, *Philosophical Transactions A* 375, 1-6, 2017.
11. R. Geyer, “Parametric assessment of climate change impacts of automotive material substitution” *Environmental Science and Technology*, 42, 2008, 6973-6979.
 12. J.C. Kelly, J.L. Sullivan, A. Burnham, A. Elgowainy, “Impacts of vehicle reduction via material substitution on life-cycle greenhouse gas emissions”, *Environmental Science and Technology*, 49, 2015, 12535-12542.
 13. A.M. Lewis, J.C. Kelly, G.A. Keoleian, “Vehicle lightweighting vs. electrification: Life cycle energy and GHG emissions results for diverse powertrain vehicles”, *Applied Energy*, 126, 2014, 13-20.
 14. H.C. Kim, T.J. Wallington, “Life-cycle energy and greenhouse gas emission benefits of lightweighting in automobiles: Review and harmonization”, *Environmental Science and Technology*, 47, 2013, 6089-6097.
 15. F. Bonollo, “Advanced cast irons: A solution for lightweight and materials efficiency”, *ADI Days*, Minerbe, Italy, 2016.
 16. A.A. Luo, “Magnesium development as a lightweight material – In competition with other structural materials”, Eds: K. Solanki, D. Orlov, A. Singh, N. Neelameggham *Magnesium Technology 2017. The Minerals, Metals & Materials Series*. Springer, Cham, 2017.
 17. J.R. Davis, “Alloying: Understanding the Basics”, *ASM International*, 2001, 351-416.
 18. Birçelik internet sayfası: “420 (1.4021 - 1.4028 - 1.4034) Paslanmaz Çelik”, 16.07.2019 tarihli sayfadan alınmıştır: <https://bit.ly/2Loe1b3>.
 19. BS EN 1564:2011 Standardı: “Founding. Ausferritic spheroidal graphite cast irons”, BSI, 2011.
 20. K. Hanzlikova, S. Vechet, J. Kohout, “The optimization of the isothermal transformation dwell with emphasis on the matrix structural mixture of austempered ductile iron”, *Materials Science (Medziagotyra)* Vol. 13, No. 2, 2007, 113-116.
 21. A. Vasko, “Chosen factors influencing microstructure and mechanical properties of austempered ductile iron”, *Materials Engineering*, Vol. 16, No. 4, 2009, 11-15.
 22. J. Olawale and K. Oluwasegun, “Austempered Ductile Iron (ADI): A Review”, *Materials Performance and Characterization* 5, No. 1, 2016, 289-311.
 23. G. Wenbang, C. Guodong, L. Li, H. Jing, Z. Zhong, “Design and control of chemical compositions for high performance austempered ductile iron”, *China Foundry*, Vol. 9, No. 2, 2012, 143-147.
 24. A. Çetin, P. Çelenkoğlu, B. Tunç, A. Comart, “SSF ve CGI’in birleşimi: Çözelti sertleştirmeli ferritik vermicüler grafitli dökme demirlerin üretimi ve özellikleri”, *Tüdoksad Akademi*, 10. Uluslararası Döküm Kongresi Bildirisi, 2018.
 25. N. Mansouri, “A case study of Volkswagen unethical practice in diesel emission test”, *International Journal of Science and Engineering Applications*, Vol. 5, 2016, 211-216.
 26. M. Greco, “Casting the e-mobility revolution”, *ValueTrack*, 2018, 1-69.
 27. N. Sehic-Music, S. Goletic, D. Pihura, L. Music, K. Hasanovic, “Effects of foundry industry on the environment”, *Metalurgija*, Vol. 52, 2013, 533-536.
 28. C.T. Mgonja, “A review on hazards in foundries to workers and environment”, *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*, Vol. 4, 2017, 326-334.
 29. Ellen MacArthur Vakfı ve McKinsey Center for Business and Environment. Çizim: Braungart & McDonough: *Cradle to Cradle* (Orjinalinden Türkçeleştirilmiştir).
 30. O. Ungerman, J. Dedkova, “Model of the circular economy and its applications in business practice”, *Environment Development and Sustainability*, 2019, Çevrimiçi yayın.
 31. F. Boiocchi, “The circular foundry”, *Metalworking World Magazine*, 2018, Çevrimiçi yayın (<https://bit.ly/2Y-RsgLW>).
 32. J. Wang, A. Dong, D. Shu, B. Sun, Y. Zhou, “Foundry production and technology facing to circular economy”, *Zhuzao (Foundry)*, Vol. 54, 2005, 1169-1174.
 33. G.A. Blengini, P. Nuss, J. Dewulf, V. Nita, L.T. Peirò, B. Vidal-Legaz, C. Latunussa, L. Mancini, D. Blagoeva, D. Pennington, M. Pellegrini, A. Van Maercke, S. Solar, M. Grohol, C. Ciupagea, “EU methodology for critical raw materials assessment: Policy needs and proposed solutions for incremental improvements”, *Resources Policy*, Vol. 53, 2017, 12-19.
 34. Deloitte Sustainability, British Geological Survey, Bureau de Recherches Géologiques et Minières, “Study on the review of the list of critical raw materials: Executive summary”, *Directorate-General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs*, 2017, 1-9.
 35. C. McAlister, J. Wood, “The potential of 3D printing to reduce the environmental impacts of production” *ECEEE Industrial Summer Study Proceedings*, 2014, 213-221.

İZOLE METAL AKIŞIYLA ÇELİK DÖKÜMLERİN DÖKÜLMESİNDEKİ GELİŞMELER

David HRABINA*, Petr FILIP**
Foceco, Unex***

ÖZET

Dökümhaneler, döküm işlemi sırasında metal akışını döküm potasının tabanından döküme yeterince dikkat etmez. Oksit filmler metal akışlarının yüzeylerinde kolayca oluşur, daha sonra türbülans yoluyla bu oksit filmleri metal içine sürüklenir ve yeni oksit katmanları oluşur. Bu oksit film katmanları metal içerisinde çift oksitler (bifilm) olarak bulunur ve dökümde fiziksel özellikleri düşüren birçok kusura neden olur. Uzun yıllardan beri dökümcüler, sürekli olarak döküm sırasında metal akışlarını korumak için işlemler uygulamaktadırlar. Dökümhaneler artık bir izole metal akış konsepti kullanarak döküm kalitesini arttırabilmektedir. Bu yazıda çelik dökümhanelerinde etkili bir şekilde uygulanabilecek yeni bir işlem açıklanmaktadır. Bu, metalin nozülde, filtre bloğuna ve daha sonra yolluğa iletilmesine izin verirken havaya maruz kalmadan metalin hava emme ihtimalini ortadan kaldırır. Döküm prosesinde oksit ve bifilm oluşumunun ortadan kaldırılması sayesinde kalite ve verimlilik iyileştirmeleri sağlanmıştır. Dökümlerin yüzey kalitesinin artmasına ek olarak, çentik tokluk değerinin artmasının yanı sıra, x-ray ve ultrasonik testler ile tespit edilen kusurlarda önemli bir azalma görülür.

Anahtar Kelimeler: Havanın Emilmesi, Bifilm, Shroud, Döküm Kalitesi, Metal Akışı

ABSTRACT

Foundries pay insufficient attention to the protecting the metal stream from the bottom pour ladle during the casting process. Oxide films readily form on the surfaces of the metal streams, then through metal turbulence these films are entrained in the metal and new oxide layers form. These films often exist as bifilms and initiate many defects in the casting, degrading the physical properties. For many years continuous casters of metals have been using processes to protect the metal streams during casting, foundries are now able to enhance their casting quality using a shrouding concept. This paper describes a new process that can be effectively applied in steel foundries. This allows the metal to flow from the nozzle, into the filter block, and then to the runner whilst being protected from exposure to air and eliminating the potential for air aspiration. Dramatic quality and productivity improvements are achieved due to the elimination of oxide and bifilm formation within the casting process. In addition to improved surface quality of the castings, significant reduction of X-ray and ultrasonic detected defects are experienced as well as increased notch toughness value.

Keywords: Air Aspiration, Bifilm, Shroud, Casting Quality, Melt Flow

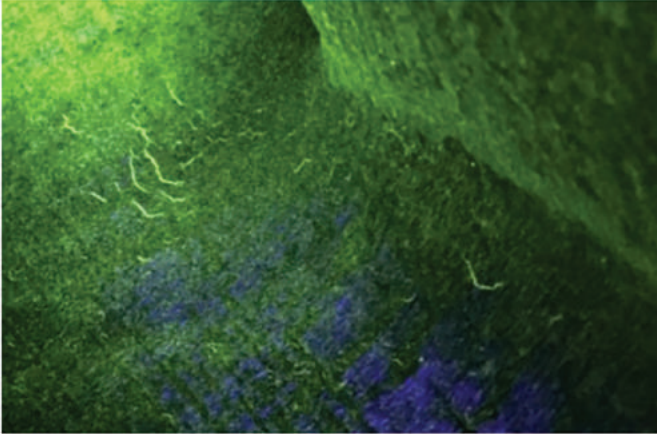
1. GİRİŞ

Sıvı metal yüzeyi atmosfere maruz kaldığında metal yüzeyinde hızlı bir şekilde ince oksit filmleri oluşur. Oluşan bu filmler, sıvı metali daha fazla oksidasyondan veya gaz zenginleştirmesinden korur. Bununla birlikte, bu oluşan yüzey filmleri kırılğan hale gelir, yırtılır ve sonra sıvı metal içerisine sürüklenir. Çoğu oksit filminin ergime sıcaklıkları sıvı metal ergime sıcaklığından çok daha yüksektir, bu yüzden oluştuktan sonra katı kalırlar. Bu filmler, sıvı metalden daha düşük bir yoğunluğa sahip oldukları için yüzdürme kuvveti ile yüzerler, ancak bu işlem küçük boyutlarından dolayı son derece yavaştır. Klasik sıvı metal döküm prosesi içinde oluşan bifilmli yüzme vakti yoktur. Döküm işlemi sırasında çözünürler ve toplanırlar. Bu bifilmli yüksek yüzey aktivitesine sahiptir ve katılma ilerledikçe daha büyük metalik olmayan kümelenmeler oluşur. Dökümhaneler, döküm sıcaklığını artırarak, gaz kabarcıklarını yükseltir ve buna bağlı safsızlıklar yüzer, ancak artan döküm sıcaklığı, döküm kalitesi ve döküm yüzey görünümü için uygun değildir.

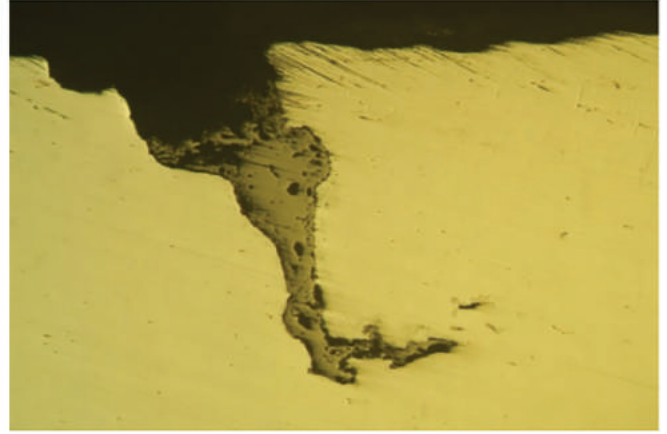
1.1. Döküm Tasarımında Yeni Trendler Optimizasyon ve Kalite Gereksinimi

Tasarımcılar, stres analizini simüle etmek ve döküm ağırlığını ve tasarımını optimize etmek için gelişmiş yazılımlar kullanırlar. Amaçları, maksimum döküm performansı elde etmek için kritik bölgelere odaklanarak özellikleri iyileştirmektir. Bu eğilim, döküm alıcılarının artan kalite talebini geleneksel teknolojik sınırları zorlayarak sürekli olarak karşılamaktadır. Çek Dökümhanesi UNEX, dünyaca ünlü madencilik ve dünya taşımacılık sektöründe liderler için "yüksek kalitede" döküm üretmektedir. Kritik döküm bölgeleri her zaman Manyetik Parçacık Muayene (MPI), x-ray ve ultrasonik yöntemlerle incelenmektedir. En son kalite gereklilikleri, karbon çeliğindeki karmaşık dökümler ve birkaç tona kadar olan yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çelikler için yeni zorluklar sağlar. MPI ile açığa çıkan "kılcal çatlaklar" (Şekil 1a ve 1b), döküm işlemlerinde ısı işlem ve menevişleme sonrası tespit edilen 2 mm uzunluğunda sınırlıdır. Bu, tüm kusurlar tamir edilinceye kadar tekrarlanan kapsamlı hata giderme ve kaynak işlemleri gibi birkaç döngü gerektirebilir; bunlar uygulandıkça diğer hatalar belirginleştirmektedir. Bu işlemler maliyeti artırır ve üretim kapasitesini önemli ölçüde azaltır. Parça üzerinde yapılan analizlerde, kapsamlı metalografik ve Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) MPI incelemesinde "kılcal çatlaklar" adı verilen doğrusal hatalar tespit edildi. Bu kusurların kökeninin bifilm ile ilgili olduğu bulundu.

Müşteriler, üretim onayını almak için iç hata onarımı yapılmadan kabul edilmek üzere üretimde birbirini takip eden 5 dökümde seviye I x-ray analizi istemektedir.



Şekil 1a: Düşük alaşımlı çelik döküm yüzeyinde kılcal çatlaklar

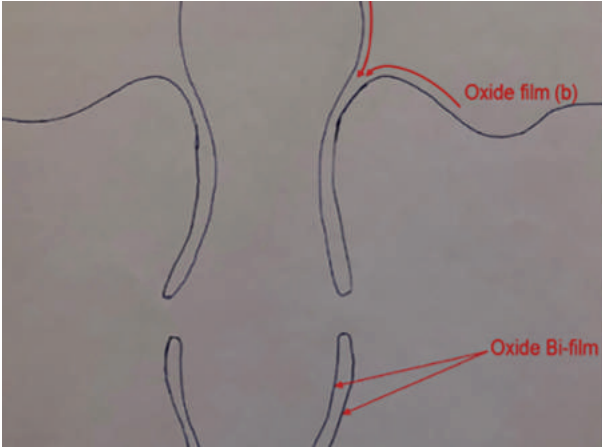


Şekil 1b: Bu kılcal çatlakın dikey kesiti Mag.100x

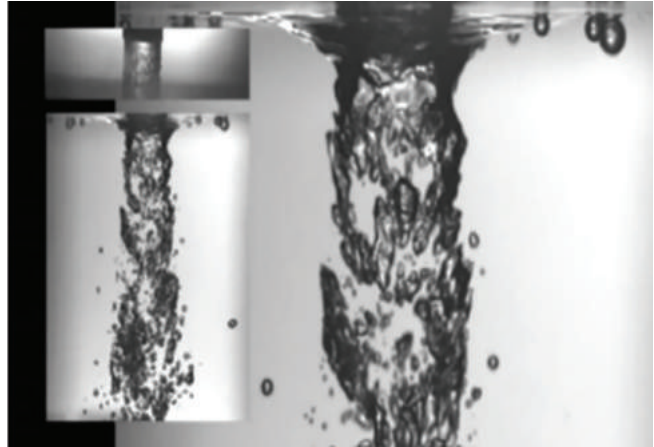
1.2. Bifilm Oluşum Prensipleri

Ergimiş düşük alaşımlı ve karbon çeliğin yüzey gerilimi, oda sıcaklığındaki suyun yüzey geriliminden yaklaşık 20-25 kat daha fazladır ve kimyasal bileşim, sıcaklık dahil olmak üzere vb. birçok parametreden etkilenir. Bununla birlikte, ergimiş düşük alaşımlı ve karbon çeliğin viskozitesi, oda sıcaklığındaki suyun viskozitesi ile neredeyse aynıdır. Bu benzerlik nedeniyle, sıvı metalin akış davranışını simüle etmek için dünya genelinde su modellenmesi kullanılmaktadır. Sıvı metal içine havanın girme prensibi ve bifilm oluşumu, sıvı metal yüzey ge-

rilimi ve akış hızından etkilenir. Sıvı metal yüzeyi, dökme kabındaki metal içeren bir oksit filmi ile kaplanır. Her iki oksit filmin menisküsünden gelen hava metale hapsolür ve Şekil 2a'da gösterildiği gibi bifilmier oluşur. Su modellemesi bu süreci detaylı olarak göstermektedir. (Şekil 2b) [1].



Şekil. 2a: Hava sürüklenmesi ve bifilm oluşum prensibi

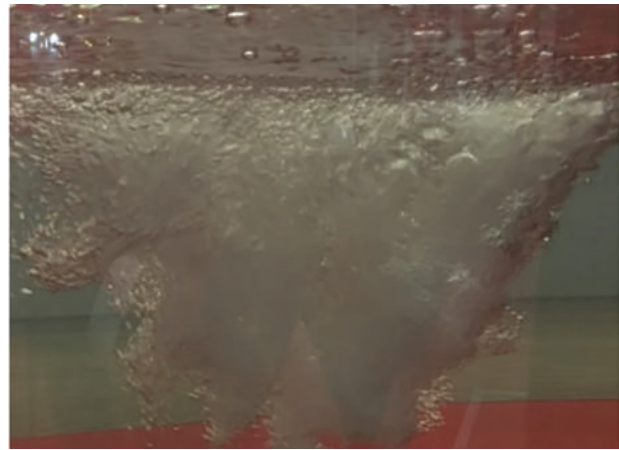


Şekil. 2b: Hava sürüklenme mekanizması [1]

Döküm prosesi içerisinde aynı şekilde hava sürüklenmesi ve bifilm oluşum prensibi ergitme ocağından potaya sıvı metalin aktarılması esnasında da geçerlidir. Şekil 2c, bir EAF'den metal alma işlemini göstermektedir ve Şekil 2d, yüksek seviyede hava sürüklenmesini gösteren su modellemesini göstermektedir. Argon gaz tapası (PP) ile temizleme işlemi, pota tabanına optimum şekilde monte edildiğinde 10 dakikadan daha uzun bir süre boyunca, inklüzyonlar ve bifilmier giderimi sağlar. Potada daha verimli metal temizleme işlemi avantajlı olacaktır, ancak bu makale sadece döküm işlemine odaklanmıştır.



Şekil. 2c: Sıvı metal aktarımı, hava sürüklenmesine ve bifilme neden olur

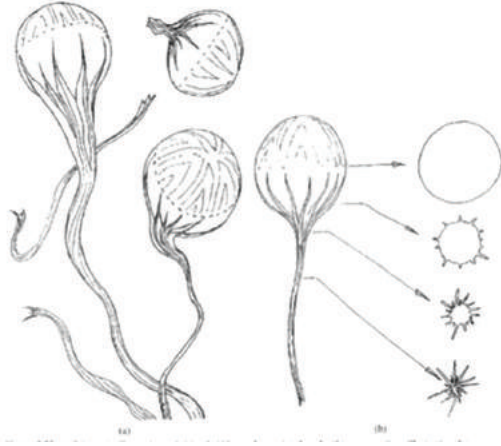


Şekil. 2d: Aktarma işleminin su modellemesi

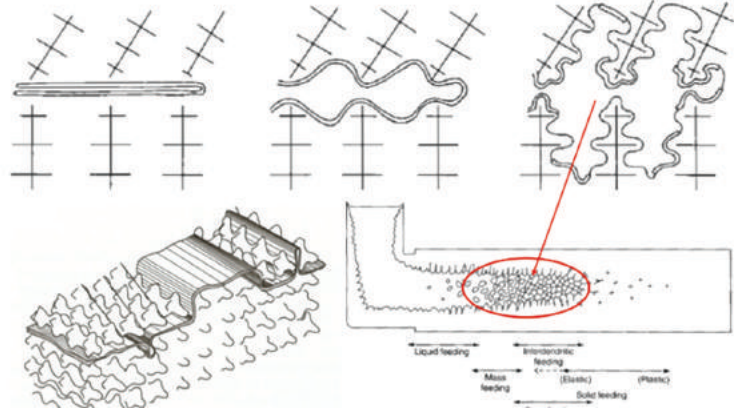
1.3. Hava Sürüklenmesinin ve Bifilm Döküm Kalitesine Etkisi

Sürüklenen hava sıkıştırılabilir ve döküm boşluğundaki sıcaklık ve basınç değişimleriyle hacmini değiştirir. Yüzen ve genişleyen hava kabarcıkları, profesör John Campbell [2] tarafından ayrıntılı olarak anlatıldığı gibi, sıvı metalin kirleten oksit bifilm izlerini arkasında bırakır (Şekil 3a). Oksit bifilm oluşumları, dendrit sınırlarında bulunur. Bunlar, mekanik özelliklerini önemli ölçüde sınırlayan birincil metalik taneciklerin dökümlerini birbirlerinden ayırırlar. Bifilmier katılma sırasında sıcak yırtılmayı başlatabilir ve metalik olmayan inklüzyonların oluşumu ve kükürt, kar-

bon ve diğerleri gibi tane sınırlarında çökelen elementlerin ayrılması için çekirdeklenme görevi görür. Metalik matris süreksizlikleri, ısıl işlem ve su verme sırasında sıcak yırtılmaya ve “kılcal çatlaklarının” oluşmasına izin verecektir. Bifilmier ayrıca, son katılma safhası sırasında şişen basınçsız artık atmosferik gazlara sahip boşluklar içerir. Katılma yaklaşan peltemsi metal, besleme mesafelerini sınırlayacağından düzgün beslenemezler (Şekil 3b). Ultrasonik dalgalar, hatalar tamir edildiğinde görsel olarak belirgin olmasada, etkilenen bölümlerden geçemez.



Şekil 3a: Hava kabarcıkları ve bifilm çizgilerin arkası



Şekil 3b: Tane sınırları ve mikro gözeneklilik oluşumu arasındaki bifilm [1]

1.4. Döküm Kalitesini Artırmak İçin İzole Metal Akışının Korunması

Döküm işlemi sırasında sıvı çeliği hava sürüklenmesinden ve bifilm oluşumundan korumak için, HOLLLOTEX Shroud (ara tüp), artan döküm kalitesi standartlarını ve daha hızlı teslimat gereksinimlerini karşılamak için geliştirilmiştir. Bu yeni proses, en son H&S standartlarını karşılayan dökümhanelerde uygulanabilir ve robot manipülatörleri kullanılarak çalıştırılan çelik tesisi uygulamalarında taşıma potası ara tüpünden farklılaşır. Dökümhaneler döküm potasından birkaç kalıp döküm kabiliyeti isterler. Aynı zamanda bir ara tüpü sistemini çalıştırmak için güvenli, hızlı ve esnek bir yol talep ederler; ara tüpünün döküm potasına sabitlenmesi, dökümhane kullanımı için güvenli ve pratik olarak kabul edilmez. HOLLLOTEX Shroud bu gereksinimleri karşılar, kalıbın içine yerleştirilir ve basit, verimli ve güvenilir bir mekanik kaldırma sistemi kullanılarak pota ağızına doğru kaldırılır.

1.5. HOLLLOTEX SHROUD Montajı ve Çalışma Prensibi

HOLLLOTEX Shroud (Şekil 4a & b), yarım küre şeklinde bir çıkışa sahip olan bir ağızlıktan, kesintisiz bir sızdırmazlık contasından, dökümün tabanındaki kalıbın içine önceden yerleştirilmiş bir filtre kutusundan ve kalıbın içine yerleştirilmiş ara tüp sisteminden oluşur. Kurulum işlemi filtre kutusuyla başlar ve çalışan sistem düzeneği alt derecede kalıplanır (Şekil 5a). Üst derece, ara tüp için bir oluk ve metalik kaldırma sistemini yerleştirmek için kalıbın tepesindeki bir oyuğu içerecek şekilde kalıplanır. Kaldırma sistemi, üst derecenin kalıplanmasına hazır olmadan hemen önce bu önceden kalıplanmış oluğa monte edilir (Şekil 5b). Üst ve alt dereceleri birbirine kenetlenir ve ara tüp kalıp boşluğundan döküm tabanındaki filtre kutusuna sokulur (Şekil 6a). Döküm potası yerleştirilmeden hemen önce yarım küre şeklindeki ara tüp girişine bir sızdırmazlık contası yerleştirilir. Kaldırma sistemi, manuel olarak nozüle doğru (kam sistemi) kaldırmak için dikey bir eksen etrafında döndüren metal kulplar tarafından çalıştırılır. Bu kaldırma sistemi kendiliğinden kilitlenir, böylece büküldükten ve mühürlendikten sonra, döküm operatörü, döküm işlemi için fiziksel olarak tutmadan döküme başlayabilir (Şekil 6b). Yarım küre ağız kendiliğinden merkezlenir, böylece pota konumu HOLLLOTEX Shroud a tam olarak hizalanmasa bile bir sızdırmazlık sağlanabilir. Döküm ara tüpü, sıvı metali hava girişi ve metal oksidasyonu

olmadan filtre kutusuna iletir (Şekil 7a). Filtre kutusu, döküm işleminin başlangıcında metal sıçramasını engellemek için tasarlanmıştır ve sıvı metali STELEX ZR ULTRA filtreleri üzerinden geçmesini sağlayacak bir sistem, seramik içi boş bir merkezde toplanmasını sağlar. (Şekil 7b). Ara tüp, metalle dolmasını ve düşey yolluk sistemini basınç altında tutmasını sağlamak için konikleştirilir. Geliştirme sırasında, HOLLLOTEX Shroud ilk önce Hollanda'da Enschede merkezli FOSECO Araştırma ve Geliştirme merkezinde, sistemin işlevselliğini kanıtlamak ve UNEX dökümhanesinde üretim denemelerine geçmeden önce ilgili tüm sağlık ve güvenlik konularının ele alınmasını sağlamak için değerlendirildi.



Şekil. 4a: HOLLLOTEX Shroud sistem düzeneği



Şekil. 4b: Kalıp monte edildiğinde HOLLLOTEX Shroud filtre kutusuna gider



Şekil. 5a: Filtre kutusu ve alt dercede çalışan sistem kurulumu



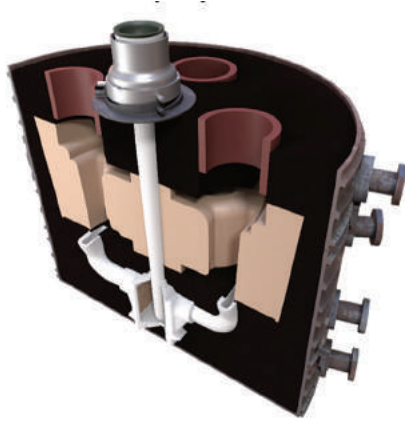
Şekil. 5b: kalıbın üstünde kaldırma sistemi



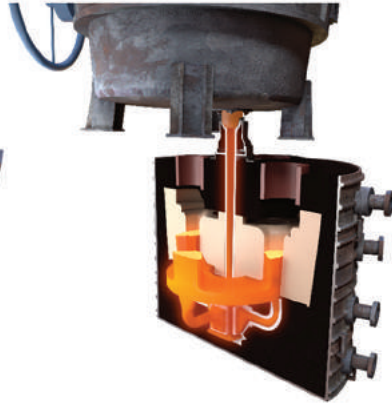
Şekil. 6a: Hazırlanmış kalıbın içerisine HOLLLOTEX Shroud yerleşimi



Şekil. 6b: HOLLLOTEX Shroud içerisinden metal dökümü

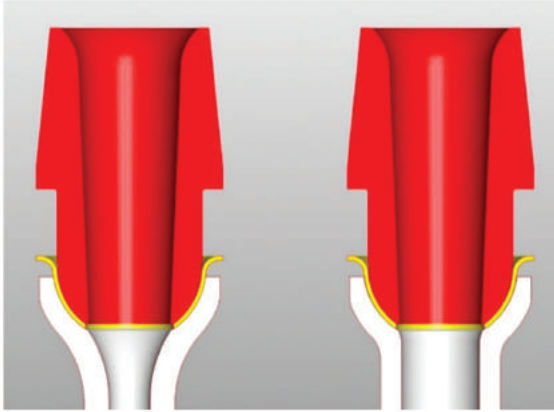


Şekil. 7a: HOLLLOTEX Shroud sisteminin kalıp içerisine uygulanması



Şekil. 7b: Döküm sırasında HOLLLOTEX Shroud sistemi

HOLLLOTEX Shroud sistemi ayrıca dökümhanelerde zor kalıplamalarda her zaman mükemmel şekilde dik takılmamasına rağmen pota nozuluna güvenli bir şekilde bağlanabilir. Ayrıca, pota ara tüpü üzerine tam olarak hizalanmamış olsa bile kullanılabilir (Şekil 8a ve b).



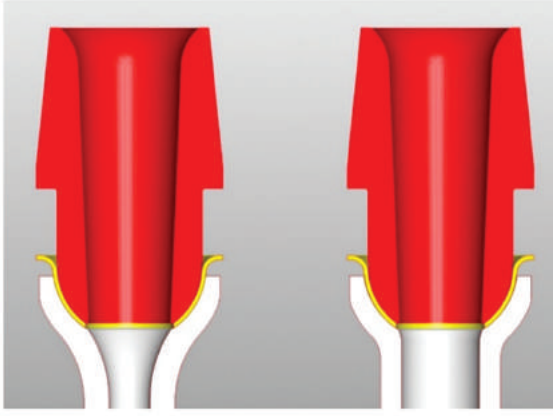
Şekil 8a: Her ara tüp boyutu için üniversal nozul



Şekil 8b: Kullanıma hazır pota üzerine monte edilmiş nozul

Ara tüple dökümü geleneksel yöntemle karşılaştırırken MPI ile bulunan hatalar neredeyse ortadan kaldırılmıştır (Şekil 10a ve 10b). Ara tüple dökümler, x-ray ve ultrasonik muayeneden başarıyla geçmiştir.

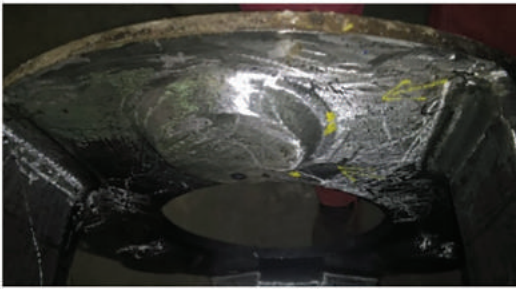
SEM araştırması için Almanya'nın Saarbrücken Üniversitesi'nde geleneksel olarak kullanılan bir taşıyıcıdan bir örnek alındı. İnce oksit filmlere sarılı ikincil cürefun kompleks oluşumları tespit edildi (Şekil 10c & d). Bazıları döküm yüzeyine tutturulmuş, ancak diğerleri DC-MPI ile yüzeyin altında birkaç milimetre gizli bulunduğu tespit edildi. Bu hatalar genellikle önceden tespit edilen hataların kaynaklanmasından sonra bulunur. Tane sınırlarının yakınındalar ancak sürüklenmiş bifilmeler yüzünden bağlantısı kesilmişler. Bu, tekrarlanan kaynak çevrimlerine ve MPI incelemesine neden olur.



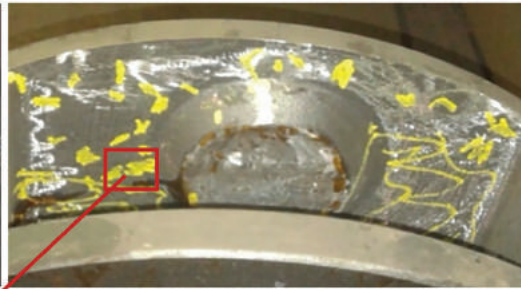
Şekil 9a: Her ara tüp boyutu için universal nozul



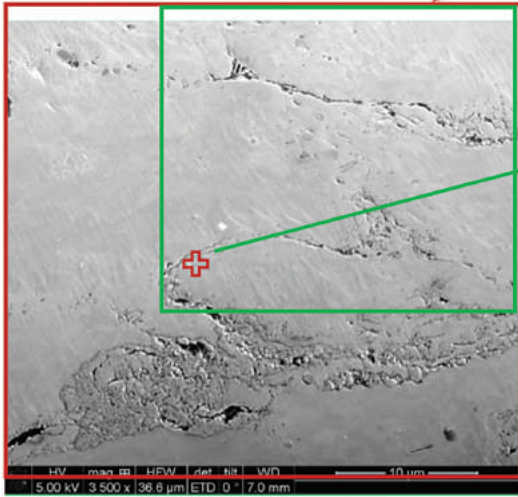
Şekil 9b: Kullanıma hazır pota üzerine monte edilmiş nozul



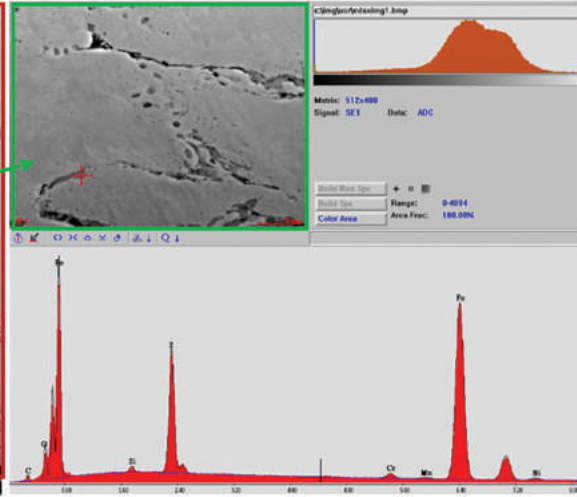
Şekil 10a: Döküm - Shroud



Şekil 10b: Geleneksel döküm



Şekil. 10c: SEM Kılcal çatlak - Saarbrücken Univ.



Şekil. 10d: EDX analizi bulunan O, Fe, Ni, Si, S, Cr, Mn gösteriyor

2.2. Ağır Planet Taşıyıcı

Bu cesaretlendirici sonuçların ardından, daha ağır denemeler için, aynı düşük alaşımlı yüksek mukavemetli çelikle üretilen 2500 kg ağırlığındaki ağır planet taşıyıcı kullanıldı. Yüzey altında bifilmelerin ve inklüzyonların, açılmasını ve yüzeyin altında (5-12 mm derinliğinde) birikmesini sağlayan daha uzun bir katılma süresine sahip olan bu dökümler çok daha et kalınlığına sahipti. Nihai ısıl işlem işlemi olarak menevişleme, stresi başlatır ve bifilm ortadan kaldırarak tane sınırlarını keser ve bunların MPI'de başarısız olmasına neden olur. Kaynak yapılan parçalar nihai mekanik özellikleri azaltmak için temperlenmelidir. Ergitme bir Elektrik Ark Ocağı'nda (EAF) yapıldı; sıvı metal 8.5 ton kapasiteli alttan döküm bir potaya aktarılmıştır.

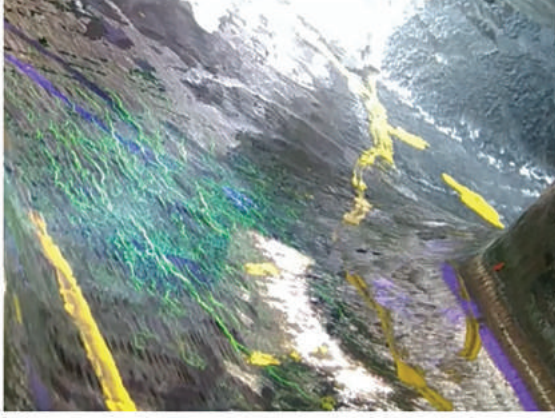
Geleneksel pratikte, potanın tabanına yerleştirilmiş bir gaz tapasından (PP) argon üfleme yapılır. Metal sıcaklığı, döküm işlemi sırasında ölçülmez, ancak argon üfleme sırasında ölçülür. Bu işlem, metal istenen sıcaklığa ulaşıncaya ve pota döküm alanına taşınıncaya kadar devam eder, kalıp döküm işlemi argon bağlantısının kesilmesinden sonra 5-6 dakika içinde başlar. Seramik köpük filtrelerden geçen planet taşıyıcılar için geleneksel döküm argon bağlantısı kesildikten sonraki sıcaklık gereksinimi 1575-1580 ° C dir.

İlk izole dökümler (70 mm çaplı ara tüp çıkışı) aynı sıcaklıkta dökülmüştür. Döküm süresi 20-24 s arasındaydı, bu, geleneksel üretimden (90 mm'lik bir memenin çapından 40-60 saniye) önemli ölçüde daha hızlıdır. Bu yavaş geleneksel işleminin en muhtemel nedeni, metal taşması ve metal sıçraması yaralanmalarını önlemek için gaz sırasında stopperi kısaltan pota operatörleridir. Daha ağır olan bu planet taşıyıcıların ilk ara tüp testi, döküm işlemi sırasında tamamen açılmasından dolayı, döküm süresinde Sağlık ve Güvenlik gelişimi ve tutarlılığı göstermiştir. Beklenmedik şekilde MPI, kılcal çatlaklarının oluşumunda önemli bir azalma göstermedi (Şekil 11a). Türbülanslı kalıp doldurmaya neden olan hızlı dökülme hızının nedeni olduğundan şüphelenildi.

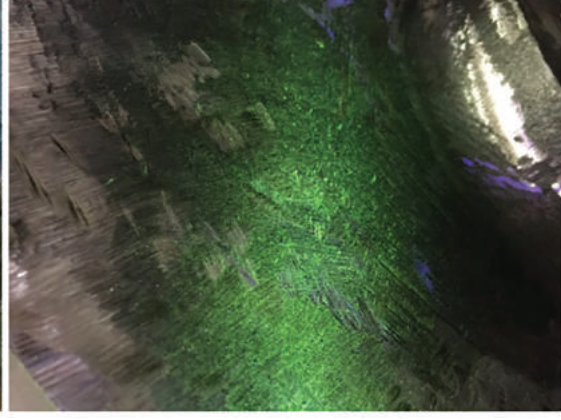
Türbülanslı döküm ile ilişkili metalin yeniden oksidasyonunu ortadan kaldırmak için, kalıp boşluğu bir sonraki ara tüp testinden hemen önce argon ile doldurulmuştur. Bununla birlikte, sonuçlar, stopperin açmasından hemen önce ölçülen Greisinger GOX 100 oksijen detektörüne göre, kalıp içindeki oksijen seviyesinin %20.9'dan %0.3'e düşürülmesine rağmen iyileşmedi. Argon döküme başlandığında kalıptan çabucak kayboldu. Detektör ilk 2 saniye içerisinde %15,8 oksijen seviyesini gösterdi. Bu test ölçülebilir MPI hatalarında azalma sağlamayan aynı sonuçlarla daha fazla kalıpta tekrarlandı.

Kalıp doldurma türbülansını ortadan kaldırmak için, ara tüpü 45 mm'lik bir çıkış çapı verecek şekilde yeniden tasarlandı. Amaç, metal akış hızını azaltmak ve tüm döküm işlemi boyunca tüm sistemi basınç altında tutmak ve özellikle kalıp doldurmanın başlangıcında laminer akış sağlamaktır. Potadaki argon üfleme işleminin sonunda metal sıcaklığı 1550 ° C'ye düşürülmüş, müteakip döküm süresi 40-45 s aralığında ölçülmüştür. Filtre kutusunda primer köpük filtreleri ile ilgili herhangi bir sorun olmamıştır ve çalkalamadan sonra dökümler, daha fazla döküm sıcaklığının azalmasının mümkün olacağına işaret eden ince metal parlamasına sahiptir. MPI kritik bölgelerde lineer hataları çoğunlukla 2 mm kabul edilen uzunluktadır (Şekil 11b) ve x-ray ve ultrasonik muayene Seviye I'e göre kabul edilebilir dökümleri bulmuştur. Ara tüp denemesi, sonuçları doğrulamak için seri üretime genişletildi, argon üfleme sonrasında metal sıcaklığı 1530 ° C'ye daha da düşürüldü. Katılma prosesinde lineer büzülmenin neden olduğu sıcak yırtılma hatalarını azaltmak için minimum bir döküm sıcaklığı hedeflenmiştir. Bu kadar düşük bir döküm sıcaklığı, soğuk sıçrama ve hatalı parçalanmış parçalar nedeniyle geleneksel bir döküm işlemine uygulanamaz, ancak HOLLLOTEX Shroud kullanarak bu mümkündür. Nozüle HOLLLOTEX Shroud bağlandığında, döküm işlemi içerisinde metal donma problemleri yoktu, ancak ayrı test bloklarının dökülmesi, meme çıkışındaki metal donma nedeniyle sorunlu oldu. Daha sonra test blokları dökümlere entegre edilmiştir, böylece dökümle aynı zamanda dökülürler.

Bu sonuçlara dayanarak, ara tüp, bu dökümlerin düzenli seri üretimine uygulandı ve 100'den fazla parça, MPI ve x-ray sonuçları açısından çok sabit bir şekilde başarı sağlandı. HOLLLOTEX Shroud, daha ağır planet taşıyıcılarının (3500 kg ağırlığında) üretiminde bile başarıyla uygulandı.



Şekil. 11a: Türbülanslı kalıp dolgununda kılcal çatlama



Şekil. 11b: Konik ara tüp ile aynı yüzey çatlama

2.3. Madencilik Kamyon Tekerlek Gövdesi

Kullanılan malzeme GS-22 NiMoCr 56 idi. Döküm ağırlığı 1200 kg. Bir EAF içinde yapılan ergitme, PP yoluyla argon üfleme potada 5-6 dakika süreyle yapıldı. 35 mm'lik bir ara tüp çıkış çapı kullanıldı. 1560-1570 ° C'lik bir döküm sıcaklığında, 35-40 sn'lik bir dökme süresi sağlandı. Bir pota ile altı döküm dökülmüştür, Ara tüp teknolojisinin bir dizi dökümde kullanılabilceğini kanıtlamıştır (Şekil 12a ve b). Dökümlerde neredeyse hiç MPI ile hata tespit edilmemiş, ultrasonik muayeneden başarıyla geçmiştir. Gecikme ve ek işçilik masrafı olmadan üretim sürecinden geçmiştir (Şekil 12c & d).



Şekil. 12a: HOLLLOTEX Shroud ile tekerlek gövdesi çatlama



Şekil. 12b: Kumlama sonrası üst derece döküm yüzeyi



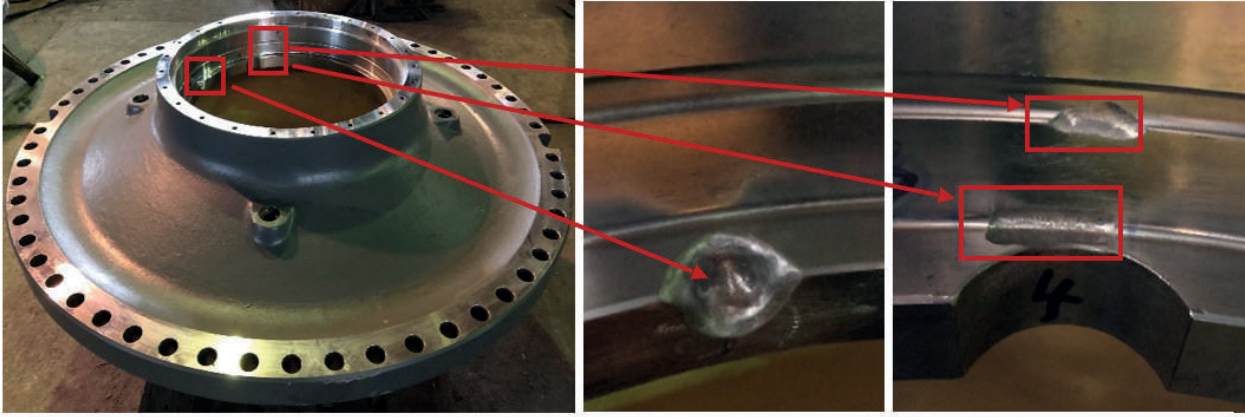
Şekil. 12c: Menevişleme sonrası MPI çatlama



Şekil. 12d: Ultrasonik ve MPI kontrolleri sonrası üst derece döküm yüzeyi

2.4. Ağır Madencilik Kamyon Tekerlek Gövdesi

Kullanılan malzeme GS-22 NiMoCr 56 idi, ağırlık 3000 kg dı. Geleneksel olarak dökülen dökümler, maça altındaki üst ve iç yüzeyde MPI tarafından ortaya çıkan büyük hatalardan muzdariptir. Bu hatalar geniş kaynak ve tekrarlanan kontrol gerektiriyordu. En kritik olan son işleme sırasında dökümlerin reddedilmesine neden olan küçük kusurlardı. (Şekil 14a & b). 5 döküm üzerine dış çapı 45 mm olan bir HOLLLOTEX Shroud uygulanmıştır. (Şekil 14c). Ergime bir EAF içinde gerçekleştirildi ve ardından PP içinde 10 dakika boyunca argon üflendi. Döküm sıcaklığı 1550-1560 ° C idi ve döküm süresi 45-50 s arasındaydı. Kum inklüzyonları, kabarcıklar ve MPI indikasyonları neredeyse ortadan kaldırılmıştır (Şekil 14d).

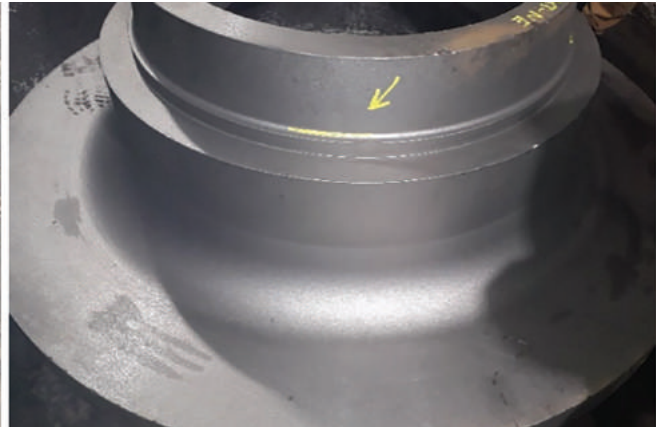


Şekil. 14a: Son işlemeden sonraki hatalar

Fig. 14b. Hata giderme ve kaynak



Şekil. 14c. HOLLLOTEX Shroud'lu döküm



Şekil.14d: Döküm sonrası MPI kontrolü

2.5. Ekskavatör Vinç kolu

Kullanılan malzeme modifiye edilmiş GS-24 Mn 6, ağırlığı 5000 kg dı. Bu karmaşık şekilli dökümler geniş bir yüzey alanına sahiptir ve ince ve kalın bölümlerin bir kombinasyonuna kum katma, cüruf varlığına ve üst kısımdaki derin gaz kabarcıklarına karşı duyarlıdır (Şekil 15a ve b). Ek işçiliği azaltmak için çeşitli metot çözümlerinde kapsamlı testler yapıldı, ancak bu dökümlerde tatmin edici bir ilerleme kaydedilmedi. Çeşitli kolların dökümünde 45 mm çıkışlı bir ara tüp uygulandı. Ergime bir EAF içinde gerçekleştirildi ve argon, potada PP içinde 5-6 dakika süreyle üflendi. Döküm sıcaklığı yaklaşık 1550 ° C ve döküm süresi 72-90 s arasındaydı. Yolluk sistemi, sıcak noktaları azaltmak için dökümün dibine ince oval meme ile bağlanmıştır (Şekil 16a ve b). Yüzeyde kum ve cüruf hataları tespit edilememiştir ve dökümlerde gaz kabarcıkları bulunmamıştır (Şekil 17a ve b). Kaynak, bu dökümlerin sevki için ana sınırlayıcı etkenlerinden biri olduğundan, üretim kapasitesinin artmasına yol açan önemli miktarda taşlamanın azalması sağlandı.



Şekil. 15a: Üst yüzeydeki tipik gaz deliği hataları



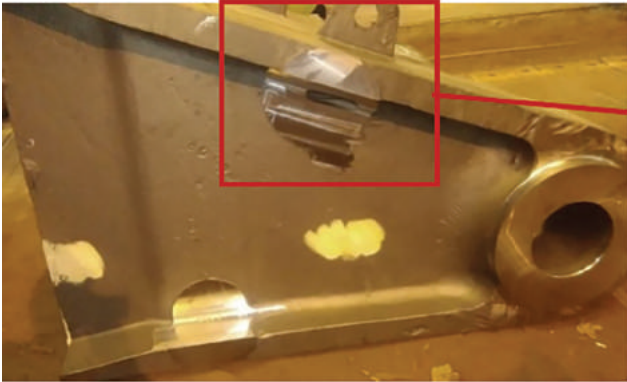
Şekil. 15b: Üst kısımdaki kum inklüzyonları



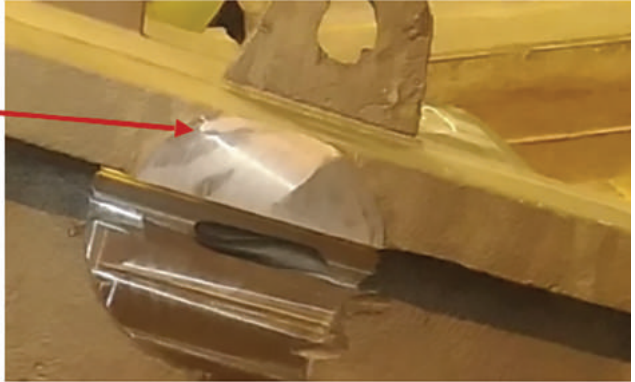
Şekil. 16a: HOLLOTEX Shroud filtre kutusu takılı yolluk sistemi



Şekil. 16b: HOLLOTEX Shroud ile döküm - kumlanmış yolluk sistemi



Şekil. 17a: HOLLOTEX Shroud üst derece döküm yüzeyi - yolluk sistemi



Şekil. 17b: Kum inklüzyonu ve gaz kabarcıkları yok

3. SONUÇ

HOLLOTEX Shroud, sıvı metal döküm koruması için dökümhanelerin döküm kalitesi beklentilerini karşılamasını ve mekanik özellikleri önemli ölçüde artırmasını sağlayan yenilikçi bir teknolojidir. Hatasız dökümler, taşlama işlemi boyunca daha hızlı hareket eder ve son teslimat tarihleri tahmin edilebilir. Bu, dökümhaneye daha fazla sözleşme yaparak güvenilir bir tedarikçi ve rekabetçi bir avantaj sağlayabilir.

HOLLOTEX Shroud başlıca avantajları şunlardır:

- Döküm işlemi sırasında sıvı metalle daha az etkileşim içinde olunması sayesinde sağlık ve güvenlik artışı
- Proses tekrarlanabilirliği (tutarlı döküm kalitesi)
- HOLLOTEX Shroud, pota memesini değil metal akışını kontrol eder
- Dökümlerin daha hızlı teslimatı
- Döküm sıcaklığı azalması
- X-ışını ve MPI ile tespit edilen kabul edilemez seviyelerdeki hatalarda azalma
- Daha az ek işçilik gereksinimi
- Mekanik özelliklerde iyileştirme
- Çevre iyileştirmeleri (düşük enerji ve kaynak çubuğu tüketimi vb.)

4. KAYNAKÇA

1) Kiger, K.T., & Duncan, J.H. (2012). Air Entrainment Mechanism in Plunging Jets and Breaking Waves. Annual Review of Fluid Mechanics, Vol. 44, pp. 563-596.

2) Campbell, J. (2015). Complete Casting Handbook: Metal Casting Processes, Metallurgy, Techniques and Design (2nd ed.). Oxford, UK: Elsevier

BAKIM 4.0

Birgöl KÜREĞİBÜYÜK* Veyssel DURAK*

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

ÖZET

Endüstriyel tesisler, müşteri taleplerine cevap verebilmek için, makine ve ekipmanlarının istenilen verim, hız ve kalitede çalışabilmesi adına bakım faaliyetlerine ihtiyaç duyarlar. Bu faaliyetler arıza bakım, otonom bakım, planlı bakım ve kestirimci bakım olarak sınıflandırılabilir. TPM yani toplam üretken bakım bilinci arttıkça, tesisler arıza bakım oranını azaltarak kestirimci, otonom ve planlı bakım çalışmalarını arttırmak isterler.

Bu faaliyetlerin yararları yadsınamaz olsa da, beraberinde büyük bir iş gücü ve evrak takibi gerektirir. Kestirimci bakım faaliyetleri, ancak yetkin bakım operatörü tarafından yapıldığında yararlı olacak metotlar bütünüdür. Ayrıca faaliyet sonrası ölçüm değerlerinin dijital ortama atılması ve yorumlanması da elzemdir.

Bu çalışmamızda, bakım faaliyetlerinin Endüstri 4.0 felsefesi ile daha hızlı daha etkin olarak dijitalleşmesi hedeflenmiştir.

Çalışmamızda makinelerimize yapacağımız faaliyetler listelenmiştir. Titreşim, yağ analizleri, yağ basınçları, sıcaklık kontrolleri, enerji analizörleri gibi makine verimliliğini etkileyecek parametreler, çeşitli sensörler ile çevrimiçi takibe alınmıştır. Yapılacak otonom ve planlı bakım faaliyetleri ise bakım operatörünün el terminaline düşmekte, faaliyetler gerçekleştiğinde ise çevrimiçi olarak erp gibi dijital ortamlara aktarılmaktadır. Bu şekilde makine bakım performansları herhangi bir anda izlenebilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Endüstri 4.0, Kestirimci Bakım, Planlı Bakım, Yalın Üretim

ABSTRACT

Industrial Plants should perform the maintenance activities in order to keep running the machinery and equipment efficiently and at the requested speed and precision level. These activities can be categorized as planned maintenance, incidental maintenance, autonomous maintenance and predictive maintenance. As the TPM (Total Production Maintenance) appreciation increases in an organization, the activities on planned maintenance, autonomous maintenance and predictive maintenance gain greater importance with less percentage of incidental maintenance.

Although the benefits of these activities can not be denied, it requires a lot of paper work and follow up. Predictive maintenance activities can only be beneficial if they are performed by the qualified personnel. It is further required that the measurement values are to be transferred to the digital platform and properly evaluated. With this study, it is aimed to digitize all the maintenance activities more efficiently and faster within the Industry 4.0 philosophy.

We have listed the activities to be performed for each machine. All the parameters affecting the machine performance such as vibration, oil characteristics, oil pressure, temperature values, energy analyzers are followed up on line by means of proper sensors. The activities related to the autonomous and planned maintenance can be seen on handy terminals of the maintenance personnel and once the activity is completed the information is automatically transferred to the digital platform like ERP. Consequently, machine maintenance performances can be followed digitally any where any time.

Keywords: Industry 4.0, planned maintenance, preventive maintenance, lean production

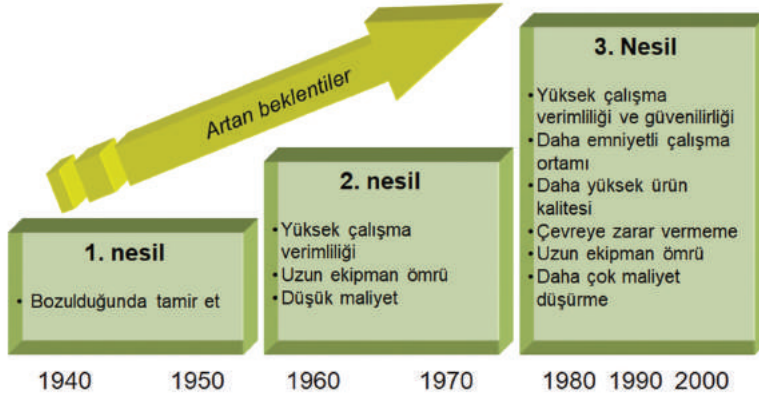
GİRİŞ

Türkiye'nin orta gelir tuzağından çıkıp küresel rekabetçiliğini artırabilmesi için Sanayi Kuruluşlarının dijital dönüşümü öncelikli hedef olarak belirlenmesi kritik önem taşımaktadır.

Artan rekabet koşulları ve gelişen teknoloji ile zaman içerisinde makinelerin karakteristik özellikleri gelişim ve değişim göstermiştir. Buna paralel olarak bakım birimlerinden beklentiler de artmaktadır. Bu beklentilerin 2000'li yıllara doğru nasıl geliştiği ve artmaya devam ettiği aşağıda gösterilmiştir:

Bakım Dünyasının Değişimi

Artan beklentiler

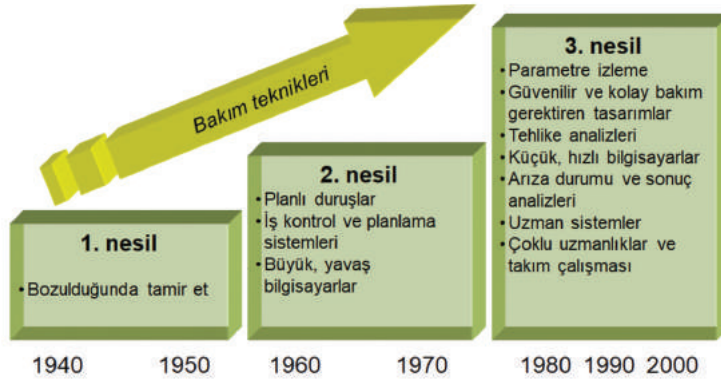


Şekil1: Bakım Dünyasında Artan Beklentiler

Bakım teknikleri, artan beklentilere cevap verecek şekilde gelişim göstermektedir.

Bakım Dünyasının Değişimi

Bakım tekniklerinin değişimi



Şekil2: Bakım Dünyasında Değişen Teknikler

Makinalara arıza durumlarında (arızı bakım) müdahale edildiği dönemlerden otonom bakım, planlı bakım ve kestirimci bakım yöntemlerinin kullanıldığı daha kapsayıcı ve etkin bakım yönetim sistem ve tekniklerine doğru bir gelişim süreci yaşanmaktadır. 1970'li yıllardan itibaren gelişen TPM yani toplam üretken bakım bilinci arttıkça, tesisler kestirimci, otonom ve planlı bakım tekniklerini kullanarak arızı bakım oranını azaltır.

Bakımda yaşanan gelişmelerle birlikte beklentiler de artmaya devam etmektedir. Endüstri 4.0 somut bir kavram ve olgu olarak sanayinin tüm alanlarında kendisini göstermekte ve köklü değişiklikler ve etkiler yaratmaktadır. Bu değişimle beraber bakım yönetim sistemleri ve teknikleri de bir değişim içerisindedir. Dördüncü evrede artık Bakım 4.0 gündeme gelmiştir. Bakım yönetim sürecinden beklentilerin karşılanabilmesi için yeni dönemde Bakım 4.0 yöntem ve yaklaşımlarının kullanılması bir gereklilik halini almıştır.

Endüstri 4.0'ın beraberinde getirdiği yaklaşımlar, teknikler ve teknolojiler bakım alanına yeni fırsatlar ve avantajları beraberinde getirmektedir. Yeni dönemle birlikte bakım sürecinde değer yaratmayan bürokratik işlemler, evrak ve dokümantasyon takip süreçleri, raporlama ve karar destek süreçlerindeki gecikmeler ve kayıplar minimize edilebilir. Makinaların sürekli izlenmesi ve anlık durum tespiti dayalı etkin bakım faaliyetleri sayesinde ekipman verimlilikleri maksimize edilebilir.

Bu çalışmada Endüstri 4.0 döneminin yeni bakım anlayışını TPM 4.0 olarak güncelleyerek bakım süreçlerinin etkinliğinin artırılması planlanmıştır. TPM 4.0 yaklaşımı ile tüm TPM süreçlerinde dijitalleşme imkanlarından yararlanılarak bakım etkinliğinin artırılması hedeflenmektedir.

Öncelikle, kestirimci bakım teknikleri kullanılarak makinaların durumları izlenecek, böylece, anlık tespitler yapılarak makinaların denetim altında tutulmaları ve arızaların erken tespiti sağlanacaktır. Titreşim, yağ analizleri, yağ basınçları, sıcaklık kontrolleri, enerji analizörleri gibi makina verimliliğini etkileyecek parametreler, çeşitli sensörler ile çevrimiçi takibe alınmıştır. Otonom ve planlı bakım faaliyetleri ise bakım operatörünün el terminaline düşen iş emri ve tur sistematiği ile takip edilmekte, faaliyetler gerçekleştiğinde ise çevrimiçi olarak ERP(kurumsal kaynak planlama) gibi dijital ortamlara aktarılmaktadır. Bu şekilde makina bakım performansları herhangi bir anda izlenebilmektedir.

Bakım yönetim süreçlerinde iş talebi ve iş emri takip sistemlerinin bilgisayar destekli bakım yönetim sistemi ile gerçekleştirilmesinin ardından ikinci aşamada, bulut tabanlı bilgisayar destekli bakım yönetim sistemi uygulamaları hayata geçirilecektir.

Bu çalışmada Erkunt Sanayi A.Ş.'nde yalın yönetime uygun Endüstri 4.0 kapsamında bakım faaliyetlerinin dijitalleştirme çalışmaları derlenmiştir.

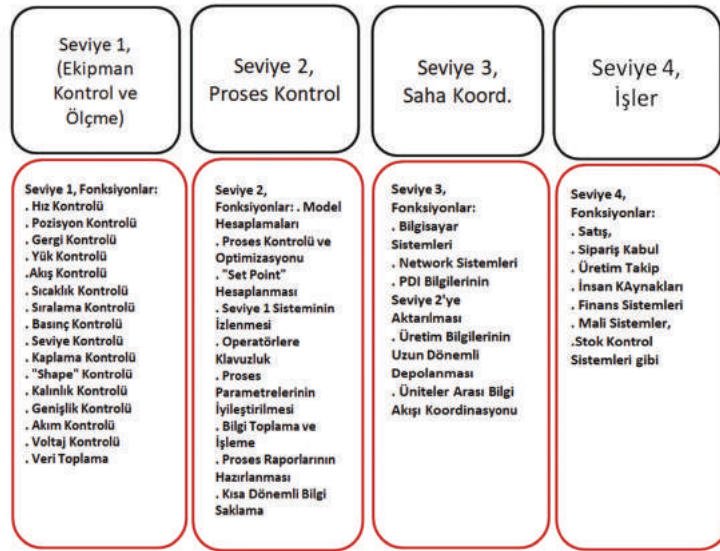
1. ENDÜSTRİ 4.0 YAKLAŞIMI

Yalın Üretim mantığı ile çalışmada uygulanan E4.0 yaklaşımının 3 temel unsuru vardır:

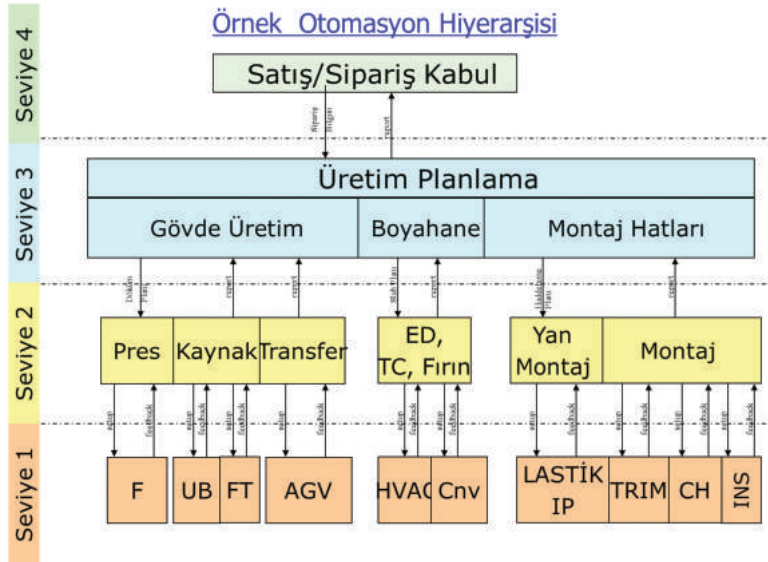
- 1.1.Dört(4) Katmanlı Bütünsel Otomasyon Hiyerarşisi
- 1.2.Dinamik Karar Destek Unsurları İle Gerçek Zamanlı Kaizen Gerçekleştirme
- 1.3.Artırılmış Gerçeklik (Augmented Reality) Uygulamaları İle Operatörlerin Yetkinliklerinin ve Etkinliğinin Artırılması

1.1.Dört (4) Katmanlı Bütünsel Otomasyon Hiyerarşisi:

Saha seviyesindeki veriler Büyük Veri (big data), yapay zeka algoritmaları kullanılarak yönetimde tam bir entegrasyon sağlanır . Bu yapı akıllı fabrika olgusunun temelini oluşturmaktadır. Değer zincirinde yer alan tüm makineler ve fabrikalar İnternet veri trafiğine entegre edilir. Makinadan makinaya (M2M) internet tabanlı iletişim sağlanır.



Şekil 3 : Dört Katmanlı Bütünsel Otomasyon Hiyerarşisi



Şekil 4 : Otomasyon Hiyerarşisi

1.2. Dinamik Karar Destek Unsurları İle Gerçek Zamanlı Kaizen Gerçekleştirme

Sahadan alınan anlık durum bilgilerinin 4 seviyeli otomasyon hiyerarşisi içerisinde ilgili katmanlarda işlenerek dinamik karar destek imkanlarından yararlanır.

Anlık durum bilgilerinin değerlendirilmesi sayesinde problemlerin gelişimi başlangıç aşamasında önlenir veya oluştuğunda kaizen (iyileştirme) gerçekleştirme imkanı olur.

Örneğin bir CNC makinasından aşağıda listelenmiş olan anlık veriler değerlendirilerek, otomasyon seviyesindeki ilgili insan ve makine unsurlarına karar destek imkanı sağlanır.

Sahadan alınan veriler bulut tabanlı teknolojiler ile işlenir, depolanır ve takip edilir.

1. Aktif olarak kesme yapıp yapmadığı bilgisi
2. Anlık kesme ilerleme hızları (Feedrate Override) set değerleri
3. Anlık spindle dönüş hızları (Spindle Override) set değerleri
4. Makine çalışma şekli (Auto, Single Block, MDI, Jog, Manual, vs.)

5. Makine anlık durumu (Aktif, Feedhold, Alarm-Arıza, Single Block Ended, vb...)
6. Makine yük durumu, takım zorlanma bilgisi
7. Makinede anlık çalışan takım bilgileri, takım numarası, takım ömrü bilgileri vb...
8. Makinede anlık çalışan program bilgisi
9. Makinede çalışan anlık program satırı
10. Duruma dayalı bakım parametreleri (vibrasyon, sıcaklık, yağ akış bilgisi vb..)
12. Makine üretkenlik verileri :

OEE : Overall Equipment Efectiveness , GEE :Genel Ekipman Etkinliği

MTBF (Mean Time Between Failure) İki arıza arası geçen ortalama süre Özgül enerji tüketimi
Vb..

1.3. Artırılmış Gerçeklik (Augmented Reality) Uygulamaları İle Operatörlerin Yetkinliklerinin ve Etkinliğinin Artırılması

Artırılmış gerçeklik uygulamaları kullanılarak, dijital ortamda verilerin ulaşılabilir olması ile bakım ve üretim operatörlerinin verimliliği artırılır.

Operatörler yetkilendirilme seviyelerine göre verilere kolayca erişebilir, verileri kullanır, veri girişi yapabilir ve yetki seviyelerine göre değişiklik yapabilirler.

Bazı veri grupları :

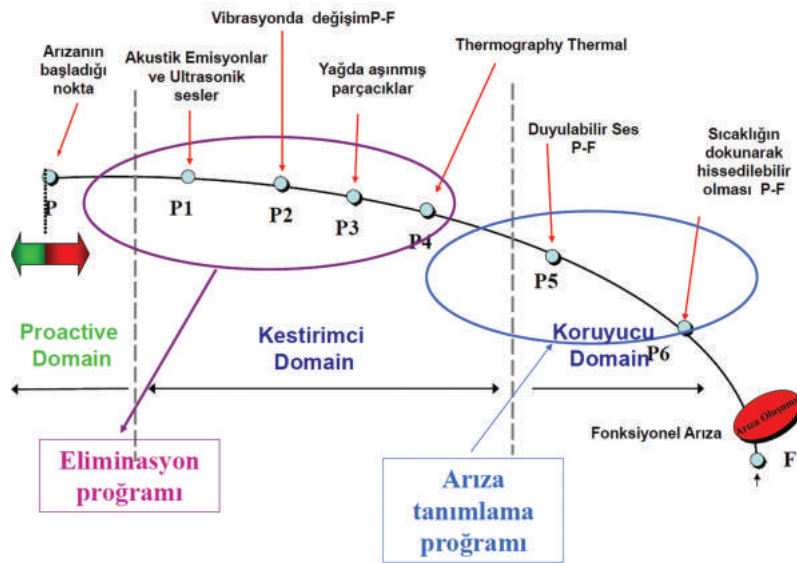
- İş talimatları
- Ürün çizimler
- Makine durum bilgisi
- Bakım bilgileri vb..

2. BAKIM 4.0 GELİŞİMİ

2.1. Bakım 4.0 – Birinci Aşama

Bakım yönetiminde esas olan, proaktif bakım yönetim felsefesinin organizasyon içerisinde sürdürülebilir şekilde uygulamaktır.

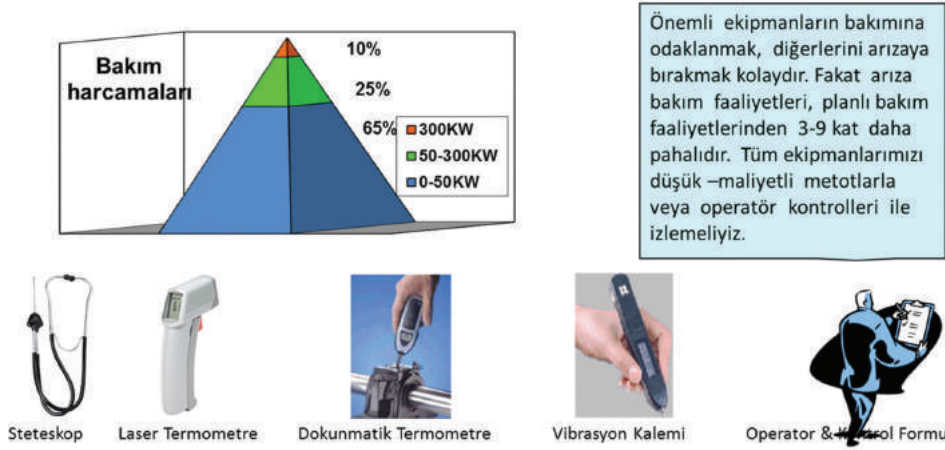
Aşağıda verilen P-F eğrisi bir arızanın gelişim evrelerini açıklamaktadır. Eğer doğru yöntemler ve teknikler uygulanır ve kullanılırsa arızalar öngörülebilir.



Şekil 5 : Bakımda Proaktif Yaklaşım

Arızaların oluşmadan anormallik evresinde tespitine yönelik faaliyetlerin yürütülmesi bakım 4.0'ın felsefesinin özüdür. Arızalar oluşmadan önce makinalarda akustik, titreşim, yağda fiziksel kimyasal değişim ve sıcaklık değişimleri meydana gelir. Bakım 4.0 faaliyetleri kapsamında birinci evrede kestirimci bakım teknolojileri ile bu değişimlerin seyri takip edilir. Standartlara göre belirlenmiş olan limit aşımalarında ise makinalara gerekli düzeltici müdahaleler yapılır. Arıza gelişimleri anormallik düzeyinde tespit edilerek arızaların önlenmesi mümkün olmaktadır.

KBB = CBM = Condition Based Maintenance = PdM = Predictive Maintenance = Kestirimci Bakım



Resim1: Kestirimci Bakım Elemanları

Erkunt A.Ş bünyesinde kullanılmakta olan kestirimci bakım yöntem ve teknolojileri :

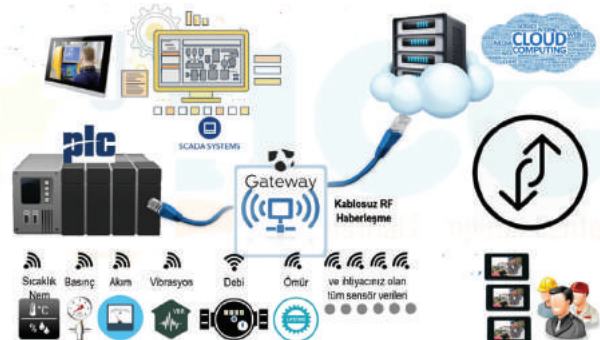
- Periyodik yağ analizi
- Periyodik titreşim ölçümleri
- Periyodik termal kamera ölçümleri
- Periyodik hava kaçak tespit ölçümleri
- Periyodik akım, gerilim ve enerji takip sistemleri
- Periyodik CNC makine durum tespit ölçümleri

Erkunt A.Ş bünyesinde yakın dönemde devreye alınacak kestirimci bakım yöntem ve teknolojileri :

- DYE penetrasyon ölçümleri
- Ultrasonik kaçak tespit ölçümleri

2.2.Bakım 4.0 – İkinci Aşama

Makinelerin durumlarının mobil cihazlarla takip edilmesi ve arızaların önceden tespit edilebilmesi önemli bir kazanım olmakla beraber, E4.0 ile birlikte özellikle kritik makinelerin sürekli izlenmesi ve durumlarında meydana gelen anormalliklerin anında alarmlarla takibe alınması çok önemli avantajlar sağlamaktadır. Bu sayede başta bakım, üretim ve enerji olmak üzere işgücü ve malzeme maliyetlerinin azaltılması mümkün olabilmektedir.

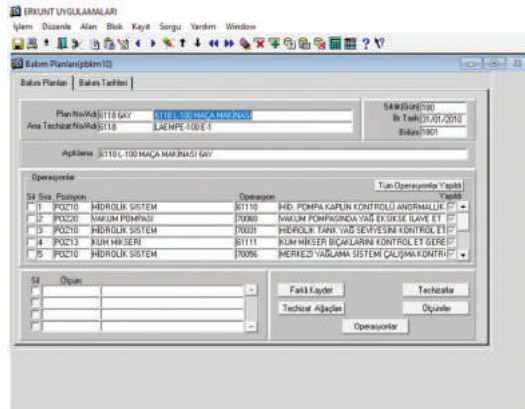


Resim2: Bakım 4.0 ile Veri Akışı ve İzleme

Makinelere ait sıcaklık, nem , akım, vibrasyon, debi, ömür vb. tüm değişkenler bulut tabanlı veri saklama yöntemiyle kayıt altına alınarak takip edilebilmektedir. Bu sayede anlık tespitler ve müdahaleler yapılabilmektedir.

2.3.Bakım 4.0 – Üçüncü Aşama

Bakım faaliyetlerinin planlanması, zamanlaması, kayıt altına alınması ve raporlanması çok önemlidir. Otomatik iş emri sistemiyle zamanlaması yapılmış iş emirleri, bilgisayar destekli bakım yönetim sistemi (BDBYS: CMMS Computurized Maintenance Manangement System) ile üretilmektedir. İş emirlerinin ekinde mutlaka iş planları yer almalı ve yapılacak bakımların işlem adımları belirtilmelidir. İş planlarında yapılacak işlem adımlarının yanı sıra kullanılacak ekipman ve alınacak iş güvenliği önlemleri gibi kritik bilgiler de yer almalıdır. Toplanan veriler bir ölçümleme ve etkin bakım yönetiminin temelini oluşturarak bakım performans kriterlerinin geliştirilmesine katkı sağlayacaktır. Ölçülmeyen hiç bir şeyin yönetilemeyeceği gerçeği bakım yönetimi için de geçerlidir. Erkunt A.Ş, bünyesinde kendi imkan ve kabiliyetleriyle bilgisayar destekli bakım yönetim sistemini geliştirilmiş olup, içeriği ve yetkinliği her yıl artırılmaktadır. 2019 yılı içerisinde bakım 4.0 projesi kapsamında dijitalleştirilmiş olan otonom bakım kontrolleri de BDBYS'ne entegre edilmiştir. Bu aşamada toplanan verilerle big data ve analitik uygulamaları ile bakım yönetim ve Kestirimci bakım alanlarında yapay zeka uygulamaları başlatılmıştır. Bakım 4.0 da nihai amacımız saha seviyesindeki tüm makine ve bakım verilerinin Big Data, yapay zeka algoritmalarıyla tam bir entegrasyonunu gerçekleştirmektir. Bu yapı, akıllı fabrika olgusunun temelini oluşturacaktır. Değer zincirinde yer alan tüm makineler ve fabrikalar Internet veri trafiğine entegre edilecektir. M2M (makeden makineye) internet tabanlı iletişim sağlanacaktır. Tüm entegrasyon Bakım Uyarı ve Kontrol Yöneticisi Yazılımı ile sağlanabilmektedir.



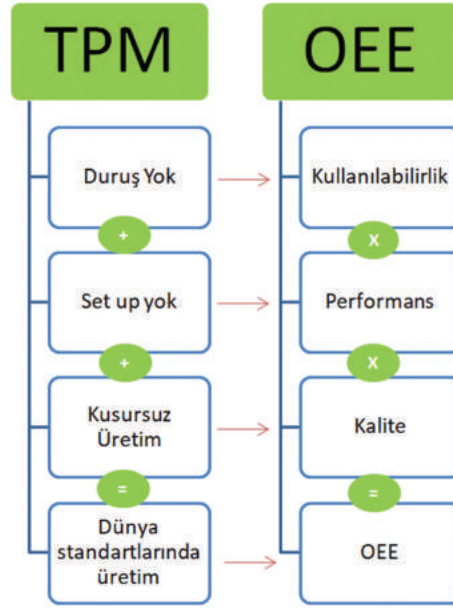
Resim:3 Planlı Bakım Otomatik İş Emri



Resim 4: Planlı Bakım Otomatik İş Emri Takip Formu

3. TPM VE ENDÜSTRİ 4.0 ÇALIŞMALARI

TPM “Toplam Üretken Bakım” demektir. Takım bazlı sistemi ifade eder, tesis ve ekipmanların güvenilirliğinin artması için önleyici tekniklerle birlikte proaktifliğe odaklanarak ekipman etkinliğinin sürekli gelişimini hedefler. TPM, makinaların tıbbi bilimi olarak da düşünülebilir. Hedef, plansız bakım ve oluşabilecek ani arızalardan makinaları korumak, arıza bakımları asgariye indirerek makinaların muhtemel arıza duruşlarının önüne geçmek sureti ile üretimi artırmaktır. TPM faaliyetlerinin nihai amacı OEE (Overall Equipment Effectiveness) değerini %85 mertebelerinin üzerine çıkarmaktır. OEE evrensel bir kıyaslama performans göstergesi olup, kullanılabilirlik, kalite ve performans metriklerinin çarpımıyla elde edilir.



Şekil 6 : TPM ve OEE İlişkisi

Endüstri 4.0 yatırımlarıyla tesis bünyesindeki üretim süreçlerinin dijitalleştiriliyor olması tek başına yeterli değildir. Büyük veri analizleri ile tesisin işleyişi, anormallikleri, kayıplar ve müşteri ihtiyaçları çok daha kapsamlı olarak anlaşılmalıdır.

TPM yönetim felsefesinde bir tesisin en optimal koşullarda ürünler üreterek üretime devam etmesi için şirket bünyesinde görevli uzmanların, ön cephe çalışanlarının çeşitli üretim süreçlerine yönelik periyodik denetim ve sorgulama yapması gerekmektedir. Sorulması gereken binlerce soru ve bu soruların cevaplarından oluşan binlerce kayıt vardır. Bu soruların doğru sorulması, doğru ve zamanında kayıt altına alınması ve optimal koşullardan sapmalar meydana geldiğinde düzeltici aksiyonlar gecikmeksizin alınması veya alarmlar üretilmesi gerekmektedir. Bu işleri klasik yöntemlerle sağlıklı bir şekilde yapmak mümkün değildir. Yeni teknolojilerin yazılım ve donanımların amaca uygun olarak şirket otomasyon ve Bilgi İşlem alt yapısına adapte edilmesi gerekliliği vardır. Bir tesisi ayakta tutan her türlü ekipmanın, detayda ne kadar zamanda arıza yaptığı ya da arıza yapmak üzere olduğunu istatistiksel olarak görmek performans hakkında bilgi sahibi olmamız için gereklidir.

Bu amaca yönelik Erkunt A.Ş bünyesinde otonom bakım süreçlerinde yürütülmekte olan kontroller başta olmak üzere kontrol formlarıyla yapılan tüm çalışmalar bulut tabanlı bakım uyarı ve kontrol yöneticisi yazılımı ile dijitalleştirilmiştir.

3.1.Bakım 4.0 Yaklaşımının Avantajları:

- Bakım ve üretim personelinin neleri ve nasıl kontrol etmesi ile ilgili eğitimler işin doğası gereği sağlanmaktadır. Ancak pek çok nedene bağlı olarak çalışanların yaptıkları işle ilgili standart iş dokümanlarına veya eğitim materyallerine erişimin kolay olması iş süreçlerinde verimlilik artışı sağlayacaktır.

Özellikle:

1. Operasyon anında çalışanların sahada aklına bir şey takılması, nasıl kontrol etmeleri konusunda şüpheye düşmeleri durumunda , 2. Arıza veya onarım anlarında ekipman ile ilgili dokümanlara, teknik çizimlere gerek duyulduğunda, 3. Standart iş yönetiminde iş adımlarını hatasız takip etmeleri gerektiğinde

- Kaynaklara dijital ortamda kolay erişim önem arz etmektedir. Bakım uyarı ve kontrol yöneticisi, yazılımı operasyon metotlarının dijital ortamda tanımlanmasını sağladığı gibi operasyonların yapılışı konusunda yazılı, fotoğraf ve videolar ile destekleyici eğitim materyallerinin de kullanımını mümkün kılmaktadır. Tüm bu materyaller her bir işletme bazında hazırlanır ve ilgili yöneticilerin kontrolündedir.

- Her bir aksaklık / anormallik durumu henüz bir arızaya sebebiyet vermemişken sahadan kayıt altına alınarak üretim müdürlerinin günlük / haftalık / aylık / yıllık gidişatı resim ve videolarla hata tespiti ve müdahale kararını hızlıca alabilmesine olanak sağlar.

4.SONUÇLAR

Sanayide dijital dönüşümün bir ön koşulu olarak yalın üretim prensiplerini uygulamak ve yüksek otomasyonlu üretim süreçlerine sahip olmak gerekmektedir. İsrarların ve kaosun yer aldığı süreçlerin dijital dönüşümünü yapmaya çalışmak beklenen faydaları vermeyecek tam tersi kaynak israfına yol açacaktır.

Yalın üretim prensiplerine sahip olan şirketler, üretim süreçlerini sürekli olarak iyileştirme anlayışına sahiptir. Prensiplerin düzenli olarak uygulanması süreçlerdeki gelişim alanlarının ve darboğazları çözebilecek olan uygulamaların net bir şekilde saptanmasına olanak sağlamaktadır. Bu sayede, üretimde mükemmellik konusunda uzmanlaşmış şirketler dijital dönüşümü kolaylıkla gerçekleştirebilmektedir.

Günümüzde kuruluşlar ekipman ve sabit kıymetlerinin performansını izlemek amacıyla sahadan yoğun veri toplamakta ve sonra verileri analiz ederek kayıplarını yok etmeye çalışmaktadır (Kaizen) . Ancak içinde bulunduğumuz dönemde önemli olan husus, kayıpların eş zamanlı olarak takip edilerek anormalliklerin arızaya, kalite problemlerine, iş kazalarına, ürün kayıplarına dönüşmeden anında tespit edilmesidir.

Bakım Uyarı ve Kontrol Yöneticisi Yazılımı ile aşağıda listelenmiş olan Yalın araçlarla entegrasyon hedeflenmektedir.

- Otonom bakım, planlı bakım, kestirimci bakım, proses içi yerinde kalite kontrolleri vb. TPM ve Yalın üretim süreçlerindeki insan kaynaklı ihmal, hata, yanlışlık ve eksikliklerin en düşük seviyede tutulması

- Değer yaratmayan veri giriş, kayıt, mükerrer işlemler, geciken analizler gibi israfların (MUDA) bertaraf edilmesi.

- Esnek olmayan, kağıt üzerinde veri kayıt ve takip gereksinimlerinin ortadan kaldırılması

- Kaizen konularının gerçek zamanlı belirlenmesi.

- Görsel yönetim metodu ile problemlerin görünür kılınması

- Çoklu yetkinlik gelişiminin temin edilmesi ve gerekli bilgiye istenilen an erişilebilmesi

- İş emri sisteminin tetiklenerek arıza, problem ve hata kök neden analiz çalışmalarının başlatılabilmesi.

- Performans ekranlarının Andon işlevselliği sağlaması
- Darboğaz ve kritik ekipman ve makinalarda online durum izleme özelliği ile OEE (overall equipment effectiveness) parametresinin geliştirilmesi.
- Birimler arası koordinasyonu ve takım çalışmasını desteklemesi.

5. KISALTMALAR

OEE: Overall Equipment Effectiveness (Genel Ekipman Verimliliği)

TPM: Toplam Üretken Bakım

Kaizen: Sürekli İyileştirme

GEE: Genel Ekipman Etkinliği

MTBF: İki Arıza Arasında Geçen Ortalama Süre

CMMS: Computurized Maintenance Manangement System

BDBYS: Bilgisayar Destekli Bakım Yönetim Sistemi

P-F Eğrisi: Arızanın Başladığı Nokta ile Oluştugu Nokta Arasındaki Zaman

6. TEŞEKKÜR

Öncelikle bilgi ve tecrübelerini hiçbir zaman esirgemeyen Genel Müdür Yardımcımız Sayın Hakan Gündüz'e ve Bakım 4.0 çalışmalarımız sırasında tüm destek ve yardımlarından dolayı Yalın Enstitü Danışmanlarımızdan Sayın Sedat Canoğlu'na sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

7.KAYNAKÇA

Yalın Enstitü, Sedat Canoğlu

TMMOB Makine Müh. Odası

Endüstri 4.0 Dönüşüm Rehberi, Hilmi Yüksel

Kanıtı Dayalı Yoğun Bakım Uygulamaları, Deutshman, Neligan

BOR İLAVESİNİN LAMEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRE ETKİLERİ

Demet DEMİR*, Gürcan GÜNAL*, Oğuzhan Atlıhan**, A. Arslan KAYA*
*Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Muğla
** Atik Metal A.Ş., Aliğa, İzmir

ÖZET

Bu projenin amacı lamel grafitli gri dökme demire bor elementinin etkilerinin incelenmesidir. Kimyasal bileşimi nominal olarak %3.16 C, %1.90 Si, %0.845 Mn, %0.087 S, %0.053 P olan referans numunenin kompozisyonunda majör bir değişim olmadan, ppm seviyelerindeki bor ilavesi ile mikroyapısal ve mekanik özelliklerdeki değişim incelenmiştir. Bor içeren ferroalaşım ergimiş sıvı metale toz halinde eklenmiş ve sıvı halde bekletme yapılarak, ferrobör ergimeksizin, çözünme yoluyla sıvı metale bor geçmesi sağlanmıştır. Bor içeren döküm numunesi ışık mikroskobu ve taramalı elektron mikroskobu (SEM), ve SEM-EDS analizleri kullanılarak incelenmiş, ve sertlik ölçümü yapılarak karakterize edilmiştir. Referans numunede perlitik dönüşüm ürünü gözlenmezken, bor ilaveli numunede hem lamel grafit miktarının azaldığı ve sertliğin %10 oranında arttığı görülmüştür. Bu çalışma diğer bir gözlemi ise hem bor içeren hem de içermeyen yapılarda az miktarda görülen perlitik nodüllerin istisnasız olarak MnS inklüzyonları üzerinde oluştuğudur.

Anahtar kelimeler: Bor etkisi, perlit, lamel grafitli dökme demir, grafit oluşumu, inklüzyonlar.

ABSTRACT

The aim of this project is to observe the effect(s) of boron element on a cast iron with flake graphite morphology. The microstructural and mechanical property changes were observed due to ppm level boron addition without creating a major change in the chemical composition of the reference cast iron having the nominal alloy content of 3.16% C, 1.90% Si, 0.84% Mn, 0.087% S, 0.053% P. Boron doping was achieved via dissolution of boron into the melt over a holding period without actually melting the boron-containing ferroalloy that was added in powder form. Boron containing as-cast sample was examined and characterized by using light and scanning electron microscopy (SEM), EDS analysis, as well as hardness measurements. The flake graphite content was observed to have been reduced and hardness increased by about 10% in the boron containing sample. The pearlitic nodules were, although in small quantities in both boron containing and reference samples, without exception, observed to have nucleated on MnS inclusions.

Key words: Effect of boron, vermicular cast iron, pearlite, graphite formation.

1. GİRİŞ

Dökme demirler, tıpkı çelikler gibi insanlığın kullandığı en eski metalik malzemelerden olmalarına karşın halen geniş çaplı araştırmalara konu olmaktadır. Dökme demirlerin belki de en büyük avantajı ekonomik olmalarıdır [1]. Günümüzde dökme demirler alaşım grubu içerisinde, birçok uygulama için mühendislik özellikleri açısından çeliklere alternatif oluşturabilecek seçenekler mevcuttur [2].

Bor elementinin belki de en önemli etkisi demir grubu alaşım sistemlerinde, sertleşme kabiliyetini (hardenability) artırması [3] ve bunu yaparken de martenzitik dönüşüm sıcaklığını karbonun aksine düşürmemesidir [4]. Bu özelliği ile bir arayer atomu olarak karbonun yerine geçebilmesi de bilinen önemli bir husustur. Bor çözünürlüğü sistemdeki diğer alaşım elementlerinin tiplerine ve miktarlarına bağlıdır [5]. Bor, demir bazlı alaşımlarda çok kuvvetli bir karbür stabilize edici element olarak davranır [6]. Alaşım sistemleri olarak gerek dökme demirler ve gerekse çelikler yıllar üzerinden evrilerek daha kompleks sistemlere dönüştükçe, bor elementinin etkisi de bu yeni sistemler açısından araştırma konusu olarak gündemde kalmıştır. Üstelik amaçlı bor ilavesinin yanı sıra, yoğun hurda kullanımları nedeniyle gerek hurdadan, ferrosilikon ilavesinden ve gerekse refrakterden ergiyik içerisine bor girişi olabilmesi ve ppm seviyelerindeki etkinliği nedeniyle esasen çelikler ve dökme demirler açısından kuvvetli farkındalık gerektiren bir elementtir [7].

Sert ve aşınma direnci yüksek olan özellikle beyaz dökme demirlerde darbeli aşınma koşullarına karşı nikel ve krom ilaveli tipler mevcut olup bunlardan krom ilaveliler karbür yapılarındaki farklılıklar nedeniyle sertlik-tokluk dengesi açısından ön plandadırlar. Esasen araştırmalardaki temel hedef tokluğun iyileştirilmesidir denilebilir. Bor ilavesi, sertleşme kabiliyetini karbona kıyasla daha fazla artıran ve karbürlere alternatif ikincil fazlar oluşturan bir katkı olarak çok eskilere dayanan önemli bir araştırma konusudur [8]. Beyaz dökme demirlerde bor ilavesi sonucu M2B veya iki metal içerikli daha kompleks (MM-B) tipi ötektik borürlerin ve M23(C,B)6 tipi boro-karbürlerin oluştuğu, sertliğin arttığı, ancak sertlik-tokluk dengesinin karbürü beyaz dökme demir yapılarına kıyasla daha iyi olduğu gözlenmiştir [9]. Bor etkisiyle özellikle kalın kesitlerde grafitik oluşumun azaldığı uzun zamandır bilinmektedir [10].

1940'ların sonlarına doğru ticarileşmiş ve artık çok yaygın bir kullanıma sahip olan küresel grafitli gri dökme demirlerde ise bor etkisi konusunda farklı ve kimi zaman çelişkili bulgular rapor edilmiştir [7]. Örneğin 10ppm'e kadar bor ilavesinin perlitli stabilize ettiğini belirten araştırmalar olduğu gibi, perlitik dökme demirlerde 10-20ppm arası bor miktarlarının perlitli baskıladığını ve sertliği düşürdüğünü belirten çalışmalar da vardır. Ancak bor etkisinin önemli olduğu tartışmasızdır. Bu nedenle, kirletici (contaminant) sayılacağı ve yaptığı etkiler nedeniyle istenilmediği durumlarda bor elementinin istemsiz olarak metale girdiği kaynakları işaret eden ve sistemden elimine ederek cürufa gitmesini amaçlayan çalışmalar mevcuttur [7][11][12][13]. Yüksek karbon seviyelerinde ise Mayton'un [14] araştırmasına göre çok düşük seviyelerdeki (max. 12ppm) bor ilavesi etkisizdir. Aynı araştırma, 12-100ppm arası bor miktarının Brinel sertliğini düşürdüğü, bu miktarın üzerinde ise etkinin tersine dönerek olumsuz sertlik artışlarının ve karbür oluşumunun gözlemlendiği de belirtilmiştir. 10ppm altındaki bor etkisi konusunda farklı sonuçlar bildiren çalışmalar da söz konusudur. Bu seviyedeki bor nedeniyle perlitin kararlı hale geldiği (stabilize olduğu), daha yüksek oranların ise çözeltiye alınamayacak karbürler oluşumuna neden olduğu ve 'chill' etkisi yaptığını belirten eski çalışmalar mevcuttur [10][15][16][17]. Ancak perlitik dökme demirlerde düşük miktarlardaki borun sertliği düşürdüğünü belirten [18] ve 5ppm'in [19] üzerindeki miktarlarda tamamen perlitik yapıyı olası kıldığını bildiren çalışmalar da vardır. Aynı çalışmalarda borun ferritik oluşumu desteklemediği de belirtilmiştir.

Küresel grafitli dökme demirde ise artan bor miktarları ile küreselliğin dejenere olduğu ve

50ppm üzerinde nihayet kaybolduğu gözlenmiştir [2]. Guerra ve arkadaşlarının çalışmasında, ostemperleme görmüş küresel grafitli dökme demirde artan bor miktarlarında karbonun çözünürlüğünün azaldığı, grafitik miktarın arttığı ancak küreselliğin bozulduğu ve buna paralel olarak karbürlerin ve ferritik mikroyapı bileşeninin arttığı söylenmiştir [20].

Perlitik dönüşüm, çelik ve dökme demirler için kapsamlı olarak araştırılmış, ostenitin difüzyonal bir dönüşüm ürünüdür. Perlitik nodüllerin büyüme hızları, alaşımda bulunan elementlerin fazlar arasındaki difüzyonal paylaşım hızına bağlı olduğu rapor edilmiştir [21]. Vanadyum içeren dökme demirde perlitik nodüllerin esasen MnS inklüzyonları üzerinde oluşan VC karbürlerini çekirdeklenme yerleri (nucleation site) olarak kullandıkları da literatürde belirtilen bilgiler arasındadır [22]. Bu çalışma çerçevesinde yapılan literatür taramasında MnS inklüzyonlarının dökme demirlerde direkt olarak bu tür bir işlevi olduğuna dair, buradaki yazarların bildiği kadarıyla, bir çalışma olmamasına karşın, çeliklerde bu inklüzyonların ve bazı karbürlerin perlitik yapı için 'nucleation site' oluşturduğu bilinmektedir [23][24]. Bu bilgilerin ışığında perlitik mikroyapısal bileşenin miktarının kontrolünde inklüzyon miktarının kontrolü ve örneğin gerektiğinde küreselleşme yaratmayacak sınırlı miktarlarda magnezyum ilavesi ile oluşturulacak desülfürizasyon yoluyla perlitik oluşumun baskılanabilmesi mümkün görünmektedir. Bu vasıta ile mekanik özelliklerde değişim de dolayısıyla mümkündür. Yöntem özellikle kalın kesitli parçalar için önemli bir manipülasyon mekanizması sağlayabilecek potansiyelde görünmektedir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bor ilavesi yapılan referans dökme demir kompozisyonu ve bor ilaveli numune bileşimi Çizelge 1'de verilmiştir. Bor miktarlarının OES (Optical Emission Spectrometer) ile kantitatif olarak güvenilir bir şekilde tayin edilebilmesi maalesef mümkün olamamıştır. Bunun nedeni üzerinde çalışılan kompozisyonlara kalibreli bir OES sistemi bulunamayışıdır. Bu nedenle kullanılan OES cihazı sonuçları bor açısından sadece kalitatif bir değer taşır ve kabaca yaklaşık değerler belirtilmiştir.

Bor ilavesi, Çizelge 1'de bileşimi verilen dökme demir argon gazı altında çelik potalarda tekrar eritilerek ve ergiyik banyoya ferrobör tozu katılarak gerçekleştirilmiştir. Ferrobörün kullanılan döküm sıcaklıklarında ergimeyeceği bilindiği için ergiyik banyo arada yavaşça karıştırılarak bor elementinin çözünerek dökme demire geçmesi sağlanmıştır. Ergimiş banyo azot gazı ile korumaya ilaveten Fe₂O₃ ve cam kırıkları ilavesi ile kısmen cürufle koruma da sağlanmıştır. Fırın kapatılarak katılaştırılan alaşım, daha sonra OES ile analize gönderilmiş (bkz. Çizelge 1) ve standart metalografik pratik kullanılarak ışık mikroskopisi ile incelenmiştir. Mikroyapısal ve kompozisyonel incelemeler SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) ile tamamlanmıştır. EDS analizlerinin her biri 20kV kullanılarak 90s süre ile yapılmıştır.

3. BULGULAR

Hazırlanan iki numunede OES ile ölçülen yaklaşık bor miktarları 300 ve 500ppm'dir. Diğer elementler açısından kimyasal bileşimler Çizelge 1'de verildiği gibidir. Belirtilen bor değerleri rakamsal olarak değil, göreceli olarak 'daha az' ve 'fazla' bor içeren numuneler olarak yorumlanmalıdır. Referans numunenin ve bor içeren numunelerin ışık mikroskobu görüntüleri Şekil 1'de verilmiştir. Referans numune standart bir lamel grafitli dökme demir yapısındadır. Bor içeren numunelerin her ikisinde de grafitik lamellerin toplam miktar olarak referans numuneye kıyasla azaldıkları görülmektedir. Ayrıca, daha fazla bor içeren numunedeki grafitik lamellerin düşük bor içerikli numuneye kıyasla daha kalın oldukları fark edilmektedir. Bor içeren her iki numunede de tane sınırlarında 'divorced eutectic' görünümü bir faz dönüşümü ürünü mevcuttur. Bu morfolojik unsur da yüksek bor içeren numunede göreceli olarak daha fazladır. Söz konusu yapının EDS ile bor analizi mümkün olmadığı için kimyasal kompozisyonu verilmemiştir. Ancak

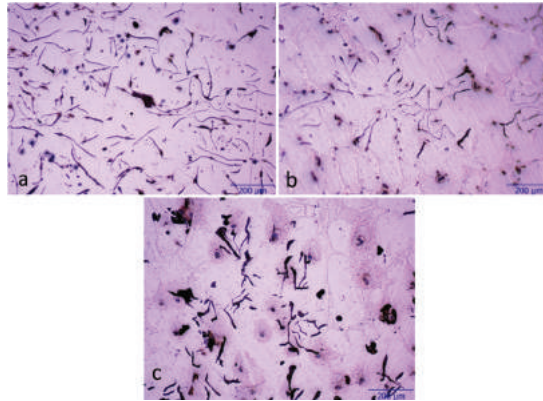
literatürde, bor içeren bir gri dökme demirdeki özdeş görünümlü yapının bor karbürler olduğu iddia edilmiştir [2]. Ne yazık ki, söz konusu o çalışmada bunun tatminkar bir ispatı yoktur. Literatürde yine bor içerikli dökme demirlerde M23(C,B)6 tipinde borokarbürlerin olduğu da rapor edilmiştir [25]. Bu ikinci iddia daha makul görünmektedir.

Gerek referans numune ve gerekse bor içeren numuneler esasen ışık mikroskobu ile seçilemeyen, çok az da olsa perlitik nodüllere sahiptir (Şekil 2). SEM ve EDS incelemeleri sonucunda bu perlitik nodüllerin, istisnasız olarak MnS inklüzyonları üzerinde oluştuğu gözlemlenmiştir. MnS inklüzyonlarından alınan tipik bir mikroanaliz sonucu Şekil 3'de sunulmuştur.

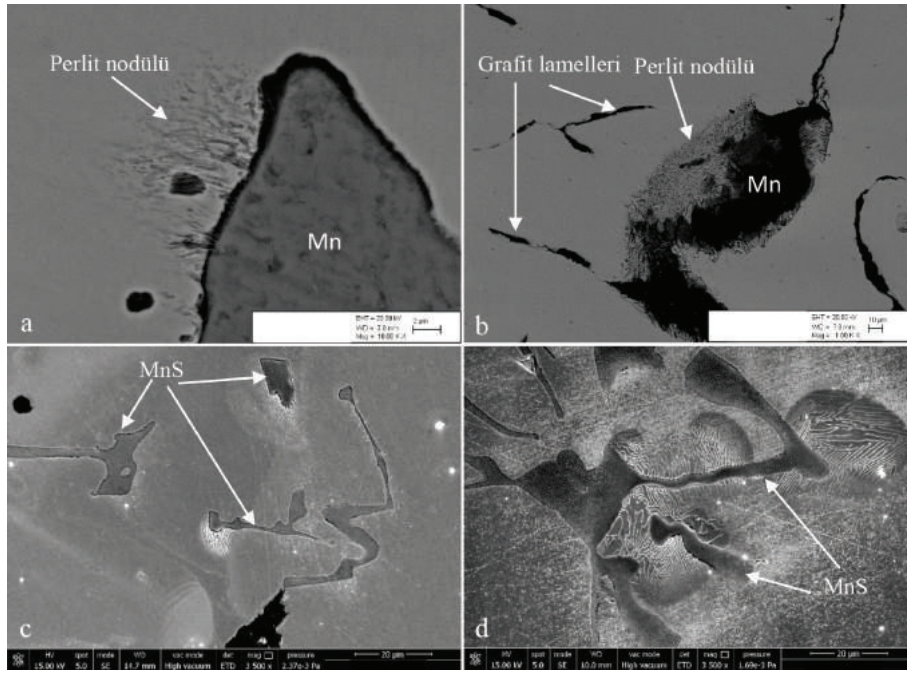
Bor ilavesi sonucunda referans numuneye kıyasla Brinell sertlik değerinde %10'luk bir artış tespit edilmiştir. Bor içeren iki numunede anlamlı bir sertlik farklılığı görülmemiştir.

| Element (%ağ.) | C | S | Mn | S | P |
|----------------------------|------|------|-------|-------|-------|
| Referans numune | 3.16 | 1.90 | 0.845 | 0.087 | 0.053 |
| Düşük bor içerikli numune | 3.13 | 1.37 | 0.753 | 0.063 | 0.042 |
| Yüksek bor içerikli numune | 3.26 | 1.31 | 0.646 | 0.061 | 0.039 |

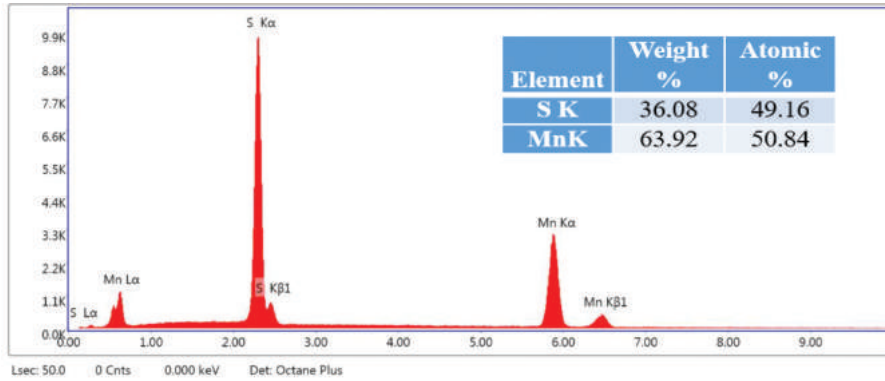
Çizelge 1. Numunelerin OES analiz sonuçları (nominal). Düşük bor içeriği yaklaşık 250ppm, yüksek bor içeriği ise yaklaşık 350ppm dir.



Şekil 1. Işık mikroskobu mikroyapı görüntüleri: (a) Referans numune; (b) düşük bor içerikli, ve (c) yüksek bor içerikli numuneler. Grafit lamellerinin miktar ve morfolojilerinin değiştiği, ve bor içeren numunelerde dendrit sınırlarında 'divorced eutectic' yapısında borokarbür oluşumları görülmektedir.



Şekil 2. SEM-BSE mikroyapı görüntüleri: (a, b) Referans numune; (c) düşük bor içerikli, ve (d) yüksek bor içerikli numuneler. Tüm MnS inklüzyonları üzerinde perlitik nodüllerin oluştuğu görülmektedir.



Şekil 3. SEM-EDS ile tespit edilen tipik bir MnS mikroanaliz sonucu.

4. SONUÇLAR

Bor ilavesi, OES analizlerindeki kalibre edilmiş cihaz eksikliği nedeniyle kantitatif olarak kontrollü yapılamamış olsa da kalitatif anlamda 100ppm'ler mertebesinde farklılık yaratılarak, bor etkisi konusunda anlamlı sonuçlar ortaya konulmuştur. Literatürde yüksek oranlarda bor ilavesinin grafit oluşumunu artırdığı [20] konusundaki iddianın tersine grafit lamellerinin belirgin bir şekilde azaldığı görülmektedir. Dolayısıyla bor elementinin bu konudaki etkisi hususunda eski literatürün [10] söylemi doğrudur.

Bor ilavesinin perlit oluşumunu desteklediği yöndeki literatürde verilen bulgular perlitik dökme demirler için geçerli olabilir. Bu açıdan buradaki çalışmada, bor elementinin perlitik oluşumu desteklediği [19] şeklindeki literatür bilgisi ile de çelişen bir durum yoktur. Ancak bu çalışmada görüldüğü kadarıyla perlitik oluşum 'nucleation-dominated' (çekirdeklenme kontrollü) dür. Perlitik nodüllerin borlu ve borsuz referans numunelerde istisnasız olarak MnS inklüzyonları üzerinde çökelmiş olduğu gözlenmiştir. Dikkati çeken bir fark ise, borlu numunelerde perlitik nodüllerin nispeten daha büyük olduğu ve aynı inklüzyon partikülü üzerinde perlitin koloniler

haline gelebildiğidir. Bor ve perlitik reaksiyon ilişkisinin kesinlik kazanabilmesi için kükürtsüz bileşimlerle çalışmak gerekmektedir. Bu çalışmanın sonuçlarına göre, perlitik dökme demirler haricinde az miktarda perlit oluşumu gösteren dökme demirlerde MnS inklüzyon miktarının desülfirizasyon yolu ile kontrol edilmesi vasıtasıyla bu açıdan mikroyapı ve mekanik özelliklerde ince ayarlama yapılabileceği de düşünülebilir.

%10 gibi ılımlı bir oranda sertlik artışı görülmesi ise bor içerikli numunelerde tane sınırlarında gözlenen ve karakterizasyonu literatüre atıfla yapılan borokarbürlerden ötürüdür denilebilir. Ancak bu fazı hiç içermeyen referans numuneye göre söz konusu sert fazın miktarı oldukça yüksektir ve buna karşılık %10'luk bir sertlik artışı göreceli olarak yetersiz kalmaktadır. Bu durumun, matrisin bor etkisi ile borokarbürlerin oluşumu nedeniyle tane küçültücü etkisi ve/veya daha fazla karbonsuzlaşması sonucu ortaya çıktığı düşünülebilir.

5. KAYNAKÇA

- [1] 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," Mater. Sci. Eng. A, vol. 315, no. 1-2, pp. 70-80, 2001.
- [2] Y. C. Peng, H. J. Jin, J. H. Liu, and G. L. Li, "Effect of boron on the microstructure and mechanical properties of carbidic austempered ductile iron," Mater. Sci. Eng. A, vol. 529, no. 1, pp. 321-325, 2011.
- [3] ASM, Properties and Selection: Irons and Steels, 9th ed. ASM Metals Handbook, 1985.
- [4] R.A. Grange and H. R. Hribal, "Hardenability Effect of Boron in Carbon Steel," 1972.
- [5] C. Guo and P.M. Kelly, "Boron solubility in Fe-Cr-B cast irons," Mater. Sci. Eng., vol. 352, pp. 40-45, 2003.
- [6] "Quality Control Manual," in Ductile Iron Society Publication, 1991.
- [7] J. F. Wallace, "Elimination and Neutralization of Boron in Ductile Irons," 2003.
- [8] W. F. Hirsch, "No Title," Met. Prog., vol. 34, pp. 230-232, 1938.
- [9] Y.X. Li, Z.L. Liu and X. Chen, "Development of boron white cast iron," Int. J. Cast Met. Res., vol. 21, no. 1-4, pp. 67-70, 2008.
- [10] E. Wyatt and K. Holmes, "A Literature Survey Of The Effects Of Certain Minor Elements On The Properties Of Nodular Iron," Watertown Arsenal, Watertown, Massachusetts, 1968.
- [11] F. Tsukihashi, "Thermodynamics of Removal of Tramp Elements from Steel Scrap," in Yaza-wa International Symposium, 2003, p. vol.1.
- [12] Report, "Elimination and Neutralization of Boron in Ductile Irons," Ductile Iron Society, Annual DIS Meeting in Hilton Head, South Carolina, 2003.
- [13] M. Gagne, "Thermodynamic Evaluation of Boron Removal from Ductile Iron Melts," in Ductile Iron News, DIS Meeting, 2003, p. No:2, vol.2.
- [14] D. A. Mayton, "Boron Related Hardness Problems," in U.S. Ductile Iron Society Meeting, 2003.
- [15] T.W. Boys and A. G. Fuller, "Chill and Mottle Formation in Cast Iron" BCIRA Journal. Res. Dev., vol. 12, p. 424, 1964.
- [16] A.J. Krynsky and H. Stem, "Effect of Boron on Structure and Some Physical Properties of Plain Cast iron" AFS Trans., vol. 57, p. 475, 1949.
- [17] M. A. Roos, "Influence of Boron and Tellurium on Cast Iron," in Lille Foundry Congress, 1963, no. BISI Translation No. 3174.
- [18] L. R. Jenkins, "The Effect of Boron in Ductile Iron," Ductile Iron News, no. 1, 2001.
- [19] R. Gundlach, "The Effect of Boron in Ductile Iron," Ductile Iron Soc., vol. Hot Topics, no. 5, 2003.
- [20] F. V. Guerra L, A. Bedolla-Jacuinde, I. Mejía, J. Zuno, and C. Maldonado, "Effects of boron addition and austempering time on microstructure, hardness and tensile properties of ductile

irons,” *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 648, pp. 193–201, 2015.

[21] J. Lacaze, “Pearlite growth in cast irons : A review of literature data,” *Int. J. Cast Met. Res.*, vol. 11, no. 5, pp. 431–436, 1999.

[22] Z. Guo, N. Kimura, S. Tagashira, T. Furuhashi, and T. Maki, “Kinetics and Crystallography of Intragranular Pearlite Transformation Nucleated at (MnS+VC) Complex Precipitates in Hypereutectoid Fe-Mn-C Alloys,” *ISIJ Int.*, vol. 42, no. 9, pp. 1033–1041, 2008.

[23] S. Kimura, T. Furuhashi, T. Maki, *CAMP-ISIJ*, vol. 8, pp. 1614–1618, 1995.

[24] F. Ishikawa, T. Takahashi, *CAMP-ISIJ*, vol. 5, pp. 1905–1910, 1992.

[25] K. Zhu, C. Oberbillig, C. Musik, D. Loison, T. Lung, *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 528, pp. 4222–4231, 2011.

DÖKÜM SEKTÖRÜNDE AOD KONVERTÖRÜNÜN KULLANIMININ İNCELENMESİ

F. Can AKBAŞOĞLU*, Öznur KILIÇ*, **, Eylem SUBAŞI*, Serhat ADIŞEN*

* Akmetal Metalurji Endüstrisi A.Ş., İstanbul, Türkiye

** Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fakültesi, İstanbul, Türkiye

ÖZET

1954 yılında Union Carbide Corporation tarafından icat edilen Argon oksijen dekarburizasyon (AOD) konvertörü dekarburizasyon, desülfürizasyon ve gaz giderme işlemleri için kullanılmaktadır. AOD konvertörü özellikle paslanmaz çelik üretiminde tercih edilmekle birlikte düşük karbonlu çelikler, takım çelikleri, nikel bazlı, kobalt bazlı alaşımların üretiminde kullanılmaktadır. Konvertörde, koruyucu olarak argon ve azot gibi inert gazlar üflenerek, oksijen ile işlem yapılarak dekarburizasyon yapılmaktadır. Proseste gerçekleşen ekzotermik reaksiyonlar ile düşük maliyetlerde kalitesi yüksek, iç yapısı temiz ve homojen ürünler üretilmektedir. Dökümhanemizde bulunan AOD konvertörü kullanılarak çok düşük oksijen, azot, hidrojen ve kükürt içerikli çelikler; düşük karbon içeriğine sahip paslanmaz ve dubleks paslanmaz çelikler üretilmektedir.

Anahtar Kelimeler: AOD (argon oksijen dekarburizasyon), paslanmaz çelik, desülfürizasyon, gaz giderme
Keywords: AOD (argon oxygen decarburization), stainless steel, desulfurization, degassing,

1.GİRİŞ

“Argon oksijen dekarburizasyon (AOD) fikrine sebep olan testler 1954’ten 1955’e Union Carbide’de yapılmıştır. 1956 yılında William A.Krivsky tarafından patent başvurusu yapılmıştır. İlk olarak; iki farklı tüyer püskürtme (enjeksiyon) dizaynı test edilmiştir. Birinci dizaynda argon ve oksijen birleştirilerek tek bir tüyerden verilirken; ikinci tasarımda argon tüyerlerden, oksijen ise üst üfleme borusundan ayrı olarak verilmektedir. Yapılan çalışmalar, gazların bir olarak tek bir tüyerden verilmesinin daha basit ve daha güvenilir olduğunu göstermiştir. 1970 yıllarında AOD süreci dünya çapında kabul edilmiştir ve 1980 yılları başlarında arındırma (rafine) için hakim bir süreç haline gelmiştir” [1].

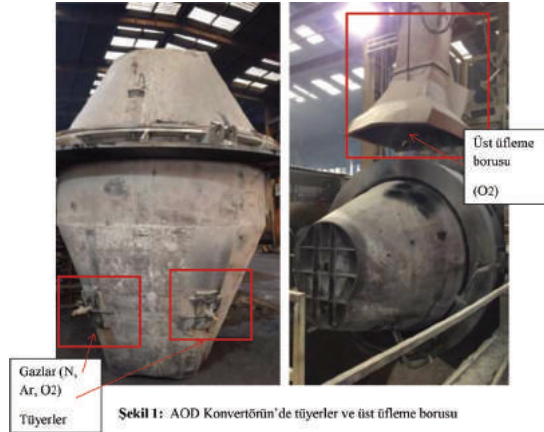
AOD ile üretilen malzemeler aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Paslanmaz çelikler,
- Yüksek sıcaklık çelikler,
- Süper alaşımlar,
- Düşük alaşımlı çelikler,
- Takım çelikleri,

“Ana prensip birkaç adet tüyer ve üst üfleme borusu yardımıyla oksijen ve inert gaz üflenmesidir. Yüksek üfleme hızları ve dekarburizasyon, AOD prosesinin özelliklerinden sayılabilir. Konvertöre enjekte edilen oksijen vasıtasıyla dekarburizasyon gerçekleşmekte ve düşük karbon içeriği elde edilmektedir. “Dekarburizasyonun yanı sıra, redükleme aşamasında dekarburizasyon sırasında cürufa geçen değerli ve gerekli elementler sıvı çeliğe geri alınmakta ve kükürt giderme gibi çeşitli reaksiyonlar gerçekleşmektedir. Alaşımlama gibi işlemler de istenen kaliteye sahip çelik eldesi için gerçekleştirilmektedir” [2].

2.ARGON OKSİJEN DEKARBURİZASYON (AOD) KONVERTÖRÜ

AOD prosesinin uygulanması için elektrik ark ocağında (EAO) veya indüksiyon ocağında (İO) ergiyik metal elde edilir ve curuf temizlenir. Konvertör yatay konumdayken ergiyik şarj edilirken, dikey konumda ise gaz üflemleri gerçekleştirilir. AOD konvertörünün şematik gösterimi Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1: AOD Konvertörünün tüyerleri ve üst üfleme borusu

“Konvertörün örümünde temel olarak iki farklı refrakter tipi kullanılmaktadır. Bunlardan biri krom-magnezit diğeri ise dolomittir. Kullanılacak refrakterin seçiminde konvertör operasyon modeli, nihai ürün spesifikasyonu ve ekonomiklik faktörleri etkilidir.”

“Krom-magnezit refrakterler yüksek aşınma direncine sahiptir. Dolomitik refrakterlerle kıyaslanacak olursa daha yüksek birim maliyete sahiptir. Tuğladan çeliğe krom aktarımı mümkündür. Krom-magnezit refrakter asidik ve bazik karakterlere sahiptir. Dolomitik refrakterler krom-mag-

nezit refrakterlere göre maliyetleri daha düşüktür. Krom artışı yaşanmamaktadır. Düşük seviyelerde kükürt istendiğinde dolomitik refrakterlerin kullanımı daha iyidir. Oluşan temel curuf tuğla üzerinde herhangi zararlı bir etki yaratmamaktadır.”

“Konvertörün tüyerler tarafındaki bölge, curuf seviyesi ve transfer potasından sıvı metal şarjı sırasındaki çarpma bölgesi yüksek aşınma alanlarıdır. Bu bölgeler diğer bölgelere göre daha kalın ve daha yüksek kalitede refrakterlere sahip olmalıdır” [3].

2.1 AOD Konvertörü İle Yapılan İşlemler: AOD konvertörü iki aşamalı bir prostestir. Birinci prosteste ilk olarak hurda ya da hammadde EAO veya İO vasıtasıyla ergitilmektedir. İkinci prostes ise sıvı metalin AOD konvertörüne şarj edilmesiyle başlamaktadır. Sıvı metal konvertörde işlem görerek saflaştırılmaktadır. “Prostesteki temel hedef, sıvı çeliği karbon (C) ve kükürt (S) bakımından yüksek oranlarda arındırmaktır. Yüksek karbon miktarı konvertörün dibinde bulunan tüyerler yardımıyla oksidasyon ile karbonmonoksit (CO) veya karbondioksit (CO₂) olarak dışarıya verilmektedir. Üflenen oksijen ile gerçekleşen dekarburizasyon sırasında krom oksidasyonu engellenemez. Bu sebeple ergime sıcaklığı yüksek olan krom oksit (Cr₂O₃), çelikteki cürufta zenginleşmektedir. Üründeki % C ve % S hedefine göre Fe-Si (Ferro-Silis) ve/veya Al (alüminyum) ile deokside edilmektedir” [4]. Düşük karbon ve düşük kükürt seviyeleri AOD konvertörü ile sağlanmaktadır. AOD konvertöründe yapılan işlemler sıralanacak olursa;

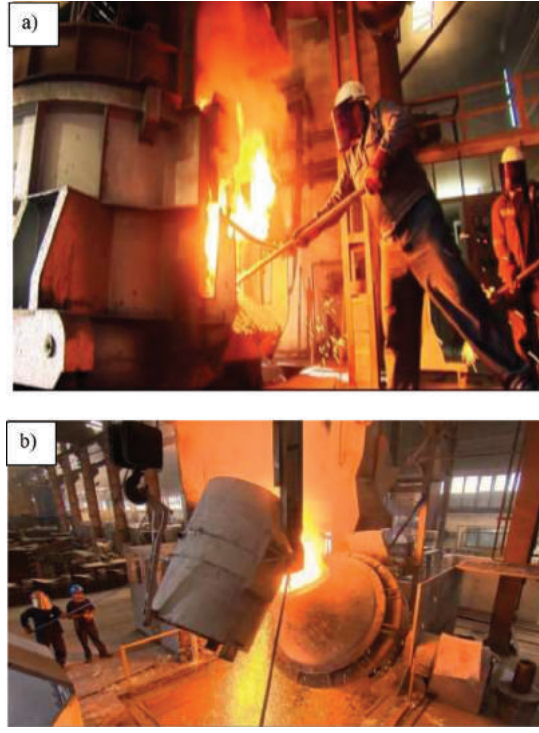
- Dekarburizasyon (oksidasyon)
- Kükürt Giderme (redüksiyon-deoksidasyon)
- Curuf çekme

3. AOD KONVERTÖRÜ İLE SAF DEMİR VE PASLANMAZ ÇELİK KÜLÇE ÜRETİMİ

Paslanmaz çelik ve saf demir külçeleri üretmek için ergitme prosesinde elektrik ark ocağı, rafınasyon prosesinde ise AOD konvertörü kullanılmaktadır. Dökümhane bünyesinde Çizelge 1’de kimyasal kompozisyonları belirtilen analizlerde külçe üretimleri yapılabilmektedir. Şekil 2’de ergitme ve rafınasyon prosesi gösterilmektedir.

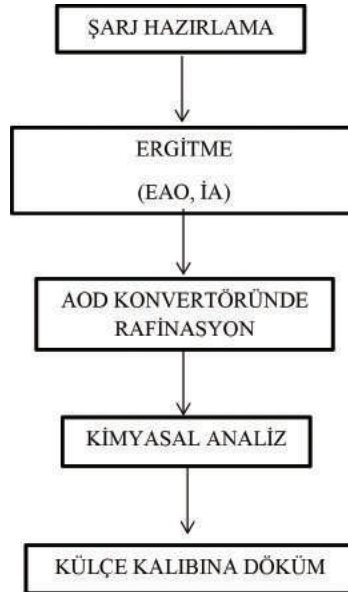
| Yüzde Ağırlık (%) | Saf Demir | 1,4469 | A351 CF8M [5] | A890 GR6A [6] |
|-------------------|-------------|-------------|---------------|---------------|
| C | max 0,02 | max 0,03 | Max 0,08 | max 0,03 |
| Si | 0,10-0,25 | Max 1,00 | Max 1,50 | max 1,00 |
| Mn | 0,10-0,20 | Max 1,00 | Max 1,50 | max 1,00 |
| P | max 0,007 | Max 0,035 | Max 0,040 | max 0,030 |
| S | max 0,003 | Max 0,025 | Max 0,040 | max 0,025 |
| Cr | | 25,00-27,00 | 18,00-21,00 | 24,00-26,00 |
| Ni | | 6,00-8,00 | 9,0-12,0 | 6,5-8,5 |
| Mo | | 3,00-5,00 | 2,0-3,0 | 3,0-4,0 |
| Cu | | max 1,30 | | 0,5-1,00 |
| Al | 0,010-0,030 | | | |
| W | | | | 0,5-1,00 |
| N | Max-50 ppm | | | 0,20-0,30 |
| H | Max- 4 ppm | | | |

Çizelge 1: Üretilen ürünler için kimyasal analizler (%)



Şekil 2: a) Akmetal Elektrik Ark Ocağı, b) Akmetal AOD Konvertörü

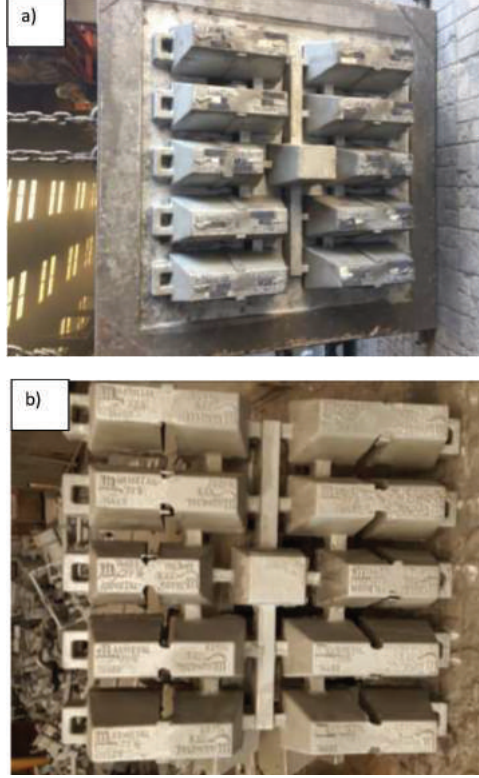
Çizelge 1’de belirtilen kimyasal bileşime sahip malzemeleri dökmek için Şekil 3’de verilen iş akışı uygulanmaktadır.



Şekil 3: Külçe üretimi için iş akış şeması

Hazırlanacak külçeler için kullanılan külçe modeli Şekil 4-a’da gösterilmektedir. Saf demir külçesi için alaşım elementi düşük hurda ve geri döndüler ocağına şarj edilir ve ergitme işlemi tamamlanır. EAO sayesinde düşük fosfor (P) değerlerine sahip sıvı çelik elde edilebilmektedir. Daha temiz ve kaliteli çelik üretimi için ergimiş çelik AOD konvertörüne aktarılmaktadır. Hedef analiz ve hedef sıcaklık değerlerine ulaşıldıktan sonra külçe kalıplarına döküm gerçekleştirilmektedir. AOD konvertöründe saf demir üretiminde iki temel basamak mevcuttur. 1. basamak, dekarburizasyon; 2. basamak ise ısıtma, redüksiyon, desülfürizasyondur.

Saf demirden farklı olarak paslanmaz çeliklerin AOD konvertöründe adımları farklılık göstermektedir. Bunun sebebi, paslanmaz çeliğin içerisinde yüksek miktarda bulunan krom (Cr) elementinin oksijen (O₂) ile reaksiyona girmesi ve karbonun yanmasını zorlaştırmasıdır. Ergitme ve AOD prosesleri boyunca ocaktan ve döküme gidecek potadan numuneler alınarak, optik emisyon spektrometresi kullanılarak kimyasal analizler yapılmaktadır. Döküm halinde külçelerin resimleri Şekil 4-b'de gösterilmektedir.



Şekil 4: a) Akmetal Külçe Modeli, b) Derece bozma sonrası külçeler

4.BULGULAR

EAO+ AOD ile üretilen ürünlerin kimyasal analiz sonuçları Şekil 5'de resmedilmiştir. Şekil 5-a'da saf demir için istenen max % S değeri 0,003'tür. Akmetal bünyesinde 32 adet saf demir külçe dökümü gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde AOD ile dökülen külçelerde 32 adet dökümde % S ortalamasının 0,0030 olduğu gözlemlenmiştir.

Şekil 5-b'de 1,4469 malzemesi için istenen max % S değerinin 0,025 olduğu görülmektedir. 15 adet dökümde % S değerinin %0,005 olduğu gözlemlenmiştir.

Şekil 5-c ve 5-d 'de ise A351 CF8M ve A890 GR-6A dökümü gerçekleştirilmiştir. A351 CF8M malzemesinde max % 0.04 S hedef değerinin çok daha aşağısında kaldığı görülmektedir. Aynı durum A890 GR-6A dökümünde de gözlemlenmiştir. max % 0,025 S hedefi %0,0029 gibi çok düşük S değerlerine ulaşılmıştır.

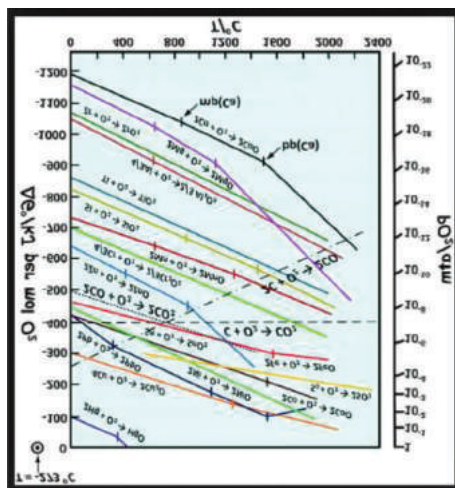
Silisyumun tamamen giderilmesinden sonra üst üfleme borusundan ve tüyerleden üflenen oksijen yardımıyla % C değeri hedef değerine düşürülmektedir. Fakat bu esnada yapıda bulunan elementlerde oksijen afinitelerine göre oksitlenerek cürufa çıkmaktadır. C elementinin yanması ile oluşan CO (karbon monoksit) ve CO₂ (karbondioksit) gazları ile hem sıcaklık artışı hem de gaz çıkışı esnasında yapıda bulunan istenmeyen inklüzyonların giderilmesi sağlanmaktadır.

“Saf demir gibi içerisinde Mn elementinin az miktarda istendiği durumlarda, S elementi demir (Fe) ile reaksiyona girmekte ve demir sülfür (FeS) bileşiğini oluşturmaktadır. Tane sınırlarında oluşan FeS kırılabilirlik yapmakta dövme ve haddeleme esnasında problem yaratmaktadır. Kükürt elementinin varlığı sünekliği ve çentik darbe dayanımını azaltmaktadır. Yorulma dayanımını düşürmektedir. Ayrıca kaynak kabiliyetini azaltmakta ve korozyon direncini düşürmektedir. Bu sebeple kükürt elementi paslanmaz çelikler içinde kritiktir” [9].

Malzemeye uygun hedef sıcaklığa gelebilmek ve arıtma esnasında cürufa çıkan elementlerin geri kazanılmasını sağlamak (redüksiyon) amacıyla konvertöre alüminyum ilavesi yapılmaktadır. Karıştırma aşamasında tüyerlerden sadece argon gazı üfleme ile karıştırma yapılmaktadır. Yapılan bu karıştırma ile soygaz olan argon (Ar) konvertörden çıkarken hidrojen (H), azot (N) ve diğer inklüzyonları toplamakta ve daha temiz çelik eldesi sağlamaktadır. Kükürt giderme işleminde gerekli şartlar sıralanacak olursa; bazik cüruf, indirgeyici cüruf ve yüksek sıcaklık şeklindedir. Kükürdün giderilmesi ve nihai kimyasal bileşimin elde edilmesi ve hedef döküm sıcaklığının ayarlanmasından sonra hazırlanan külçe kalıplarına dökülebilmektedir.

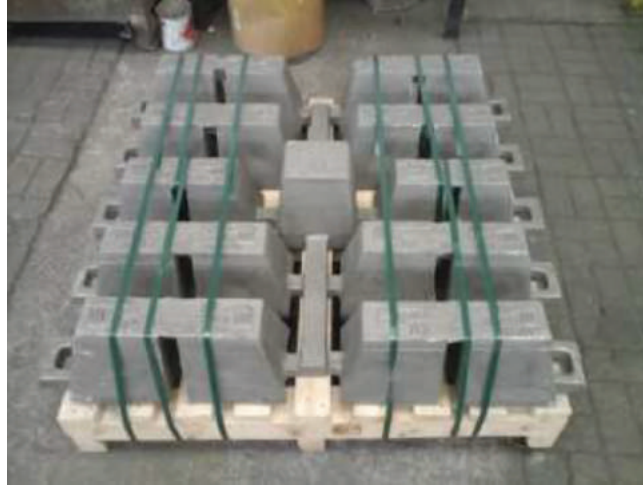
Paslanmaz çeliğin AOD prosesi ile üretimi sırasında gerçekleşen adımları kısaca açıklanacak olursa;

Saf demire benzer şekilde ilk olarak hurdaların EAO'da +IO ergitilmesi sağlanmaktadır. İstenilen analiz ergitme ocaklarında sağlandıktan ve hedef sıcaklık sıvı çelik AOD konvertörüne şarj edilmeye hazır. Fakat transfer potasındaki cüruf, potada bulunan sıvı çelik AOD'ye şarj edilmeden önce iyice giderilmelidir. Aksi takdirde dekarburizasyon verimini olumsuz etkilemektedir. Şekil 6'da Ellingham diyagramı gösterilmektedir. Dekarburizasyon işlemi sırasında oksidasyona uğrayacak elementler bu prosesi için önemlidir. Karbonun hedef değerlere düşürülebilmesi için (örneğin %0.01 C) inert gaz (tercihe bağlı olarak N, Ar) + oksijen kullanılmaktadır. Fakat % C içeriği azaldıkça dekarburizasyon verimi düşmektedir ve krom oksidasyonu gerçekleşmektedir. Fakat bu durum özellikle paslanmaz çeliklerde istenmez. Uygun inert gaz/ oksijen oranları ile dekarburizasyon verimleri kontrol altına alınarak karbon hedef değerlere birkaç adımda düşürülmektedir. Diğer adım ise redüksiyondur. Amaç cürufa geçen metal oksitlerin bünyesindeki metalin sıvı çeliğe tekrar kazandırılmasıdır. S giderme (desülfirasyon) için yukarıda belirtilen şartlarının sağlanması gerekmektedir.



Şekil 6: “Bazı oksitler için Ellingham Diyagramı ” [10]

Hedef analiz değerleri, hedef sıcaklık sağlandıktan sonra, cürufun temizlenmesi ile üretilen paslanmaz çelik döküm potasına alınarak külçe kalıbına dökülmektedir. Sevkiyata hazır haldeki külçelerin resimleri Şekil 7’de gösterilmektedir.



Şekil 7: Akmetal Külçe

AOD konvertörü kullanılarak çok yüksek kalitede çelik ve saf demir üretimi yapılabilmektedir. Konvertörün sağladığı avantajlar sıralanacak olursa;

- Hassas alaşımlama ile hedeflenen tonajda ve kimyasal analizde ürün elde edilmektedir.
- Düşük kükürt seviyeleri ($< \% 0.001$) elde edilebilir.
- Düşük karbon seviyeleri ($< \%0.01$) elde edilebilir.
- Karıştırma ile inklüzyonların ve istenmeyen gazların (H, O, N) giderilmesini sağlamaktadır.
- Homojen ve iç yapısı temiz çelik elde edilmektedir.

5.SONUÇLAR

AOD konvertörü kalite çelik üretimi için kullanılmaktadır. AOD konvertörü kullanılarak düşük S, C, H, O, N değerlerine sahip ürünler üretilebilmektedir. Akmetal Metalurji Endüstrisi A.Ş. bünyesinde 50 ve 100 kilogram (kg) ağırlığına sahip külçeler istenilen analizlerde üretilmektedir. Üretilen bu külçeler indüksiyon ocağı ile üretim yapılan çelik dökümhanelerinde istenilen kimyasal bileşimin sağlanması için hammadde olarak kullanılmaktadır. Özellikle piyasada bulunan paslanmaz çelik hurdaları karışıklık göstermekte tanımlanan kalitedeki ürün tam olarak karşılanmamaktadır. Akmetal tarafından analizi tam olarak bilinen külçeler sayesinde üretim hedef analizlerde başarılı bir şekilde gerçekleşmektedir.

6.SEMBOLLER VE KISALTMALAR

AOD: Argon Oksijen Dekarburizasyon

EAO: Elektrik Ark Ocağı

İO: İndüksiyon Ocağı

Kg: kilogram

S giderme : desülfirasyon

Al: Alüminyum

Ar: Argon

C: Karbon

CaO: Kalsiyum Oksit

CO: Karbonmonoksit

CO₂: Karbondioksit

Cr: Krom

Cr2O3: Krom-oksit
Fe: Demir
FeO: Demir-oksit
FeS: Demir sülfür
H: Hidrojen
N: Azot
O2: Oksijen
P: Fosfor
T: Sıcaklık
° C: santigrad derece
%: Yüzde

7.KAYNAKÇA

- [1] V.V. Ville, "Mathematical Modelling of Chemical Kinetics and Rate Phenomena In The AOD Process, Doktora Tezi ,Oulu Üniversitesi, Oulu, 2017, s.37
- [2]I. Erik, "A Physical Modelling Study of Calcined Mixing in an AOD Converter, Yüksek Lisans Tezi , Oulu Üniversitesi, Oulu, Mart, 2015, s.33
- [3] İnternet Sitesi;Lau Ron, What is called "Argon Oxygen Decarburization (AOD) Process" 07.06.2019
- [4]H.Siv, " Bench-scale Study of Calcined Metal Hyrdroxide Sludge as Flux in AOD Converter Process, Yüksek Lisans Tezi, Lulea Üniversitesi, İsveç,2007,s.12
- [5]ASTM Standardı, ASTM A351/A351M, "Standard Specification for Casting, Austenitic, for Pressure-Containing Parts,
- [6] ASTM Standardı, A890/A890 M, "Standard Specification for Casting, Iron-Chromium-Nickel-Molybdenum Corrosion Resistant, Duplex (Austenitic-Ferritic) for General Application
- [7] S. Basu, S. Seetharaman, A.K.Lahiri , " Thermodynamics of Phosphorus and Sulphur Removal during Basic Oxygen Steelmaking, Steel Research Int., Sayı 81,2010,p.932
- [8] Sakarya Üniversitesi, Çelik Üretim Methodları Ders Notları, 13.06.2019
- [9] İnternet Sitesi; Satyendra, "Sulphur In Steel", 17.06.2019
- [10] Shen Y., Carbothermal synthesis of metal-functionalized nanostructures for energy and environmental applications , Journal of Materials Chemistry A, Yayın 25, 2015

AZOT ELEMENTİNİN GRİ VE SFERO DÖKME DEMİRLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Bülent ŞİRİN*, Erkan BULUT*, Onuralp YÜCEL**

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

*** İ.T.Ü Kimya-Metalurji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Müh. Bölümü, Prof. Dr.*

ÖZET

Azot elementinin özellikle gri dökme demirler üzerindeki olumsuz etkileri üzerine literatürde pek çok kaynak bulmak mümkündür. Sıvı metal banyosu içerisinde belli bir değerin üzerine çıktığında, ortaya çıkan azot gazı kaynaklı yüzey ve yüzey altı azot gazı hataları dökümcülerin en çok karşılaştıkları problemlerdir. Bu nedenle dökümsektöründe mutlaka kontrol altında tutulması gereken bir elementtir. Ancak bütün bu olumsuzluklarına rağmen, azot elementi doğru oranlarda sıvı metal banyosunun içerisinde bulunduğu gri dökme demirin mukavemetini arttırmakta ve dizayn mühendislerine, daha mukavemetli makineler yapma veya et paylarını inceltme imkanı sunmaktadır.

Bu çalışmada; azot elementinin gri ve sfero dökme demirlerin mukavemet ve mikroyapıları üzerine olan etkileri, sıvı metal banyosunda çözünürlükleri, sıvı metal banyosunda diğer elementlerle olan etkileşimleri ve bunların sonuçları araştırılmış ve ortaya konmuştur. Yapılan deneylerle desteklenen bu çalışmalar sonucunda azotun sıvı metal banyosuna nasıl, hangi aşamada ve ne oranlarda ilave edileceği konuları açıklığa kavuşturulmuştur.

Anahtar kelimeler: Azot, Gri dökme demir, Küresel grafitli dökme demir, Azot gazı hataları.

SUMMARY

In the literature there are many sources regarding the negative effect of nitrogen especially on gray cast iron. In case of high nitrogen concentration in liquid metal, nitrogen gas related defects occurred on surface and in subsurface are the most common problems encountered by the foundryman. Therefore nitrogen should be kept under control in the foundry.

However despite of all negative effects of nitrogen, in case of right concentration in liquid metal, nitrogen can increase strength of the gray iron thus enables design engineers to manufacture more durable machines or decrease wall thicknesses of casting parts.

In this study; effects of nitrogen element on strength and microstructure of both gray and ductile cast iron and solubility and interactions with other elements in liquid metal bath are investigated

As a result of this study supported by the experiments, nitrogen addition practice has been clarified with responding when and how much addition to the liquid metal.

Keywords: Nitrogen, Grey iron, Ductile iron, nitrogen defects.

GİRİŞ:

Azot elementi dövülebilir dökme demirlerdeki karbürleri dengeler, beneklenme eğilimini azaltır, birincil ve ikincil fazlardaki grafit çözümlerini geciktirir. Azot seviyeleri % 0.014 'ün (140 ppm) üzerinde olduğu durumlarda seri üretimlerde büyük üretim problemlerine yol açabilir. Azot gazı gri dökme demirlerde perlit fazı dengeleyici olarak davranır ve endüstride de çok kuvvetli bir karbür dengeleyici element olarak uygulamada yerini alır. Azot gazı sıvı metal içerisinde % 0.008 'den (80 ppm) daha fazla olduğu durumlarda parçaların kalın kesitlerinde flake grafitten ziyade daha çok vermiküler grafit oluşumunu destekleyen bir elementtir. Azot elementinin bütün bu etkileşimleri gri dökme demirin kopma mukavemetini artırır. Azot elementinin sıvı metal banyosunda % 0.003'ten 0.008'e yükselmesi, gri dökme demir malzemenin kopma mukavemetinin 260 N/mm²'den 300 N/mm²'ye yükselmesi ile sonuçlanır. Azot gazı kalay ve antimon elementi ile birlikte yaş kum kalıba dökümü yapılan fren disklerinin mikroyapılarındaki ferrit miktarlarını azaltmak ve aynı zamanda da piston sekmanlarının mukavemetlerini arttırmakta kullanılan elementlerdir. Ancak sıvı metal içindeki, yaklaşık % 0.02 (200 ppm) gibi yüksek azot gazı değerleri, gaz boşluğu ve çatlak görünümü, işlenince hemen yüzey altında görünür hale gelen, döküm hataları ortaya çıkmasına neden olur. Bu bağlamda, azot elementi ile vanadyum elementi kombinasyonu, kopma mukavemetinin artışı sırasında bu hataların önüne geçebileceği gösterilmiştir. Bugüne kadar azot gazının küresel grafitli dökme demirler üzerine etkileri, Mg tretman işlemi sırasında azot gazı aşırı reaksiyon nedeniyle dışarı atıldığı için, çok fazla adette bir çalışmanın yapılmasına engel olmuştur(1)

Azot gazının küresel grafitli dökme demirler üzerinde yapılan araştırmalarına en son örnek ise literatürde E. Fras, M. Gorny ve M. Kawalec tarafından yapılan çalışmadır (2). Bu çalışma sıvı metal banyosunda 32-58 ppm zot elementi bulunduğu durumlarda yine metal banyosunda 80-120 ppm vanadyum ve 50-1600 ppm niobyum elementlerinin varlığında mikroyapı ve mekanik özelliklerdeki etkiler araştırılmıştır. EN 1563 Küresel grafitli dökme demir standardı düşünüldüğünde, bu standarttaki hiç bir dökme demir çeşidinde bu oranlarda Vanadyum (V) veya Niobyum (Ni) elementi seri üretimlerde kullanılmamaktadır. Eğer herhangi bir başka elementin alaşım elementi olarak kullanımı sözkonusu olmadan azot elementini, küresel grafitli dökme demirlerde kullanmak mümkün olabilirse, işte o zaman dökme demirlerin seri üretimlerinde, daha kararlı mekanik özellikler elde etmek mümkün olabilecektir. Bilindiği gibi kalıp bozma sürelerine bağlı olarak, sadece bu değil buna ilave olarak parça kesitlerine göre de dökme demirlerde ferrit – perlit oranları devamlı surette değişmekte ve bunun sonucu olarak da mekanik özellikler değişiklik gösterebilmektedirler. Bazen kopma mukavemetleri uygun olmasına rağmen akma mukavemetleri veya uzama değerleri, istenen müşteri speklerinin altında kalabilmektedir. Eğer müşteriler, sıvı metalden ayrı döküm veya bitişik döküm çekme çubuğuna göre raporlama istiyorlar ise böyle bir durumla karşılaşılmasına rağmen, parçadan mekanik özelliklerin raporlamasını istediklerinde speklerin karşılanamaması durumu ile çok sık karşılaşılabilir. Bunun için de azot elementinin sıvı metal banyosuna nasıl ve ne oranlarda ilave edileceği konusunda, hem gri dökme demirler için ve hem de küresel grafitli dökme demirler için önem arz etmektedir. Gri dökme demirlerde azot elementi ile ilgili pek çok çalışma olmasına rağmen, konu yeterince açık bir şekilde ifade edilmemekte, sadece oranların mekanik özelliklere etkileri ve oluşturabileceği problemler konusunda genel açıklamalar yapılmaktadır. Küresel grafitli dökme demirlerde ise konunun araştırılacak çok yönü vardır.

Sıvı Metal İçerisinde Gazların Çözünürlüğü:

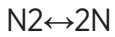
Sıvı metalin sadece kimyasal analizi dökme demirin sınıfını belirleyen bir parametre değildir. Üretilen dökme demir parçanın mikroyapısı, mekanik özellikleri ve parçanın sağlamlığı da son derece önemlidir. Sıvı metalin ergitimi sırasında kimyasal analiz öncelikle belirlenen özelliklerdendir.

Sıvı metal banyosundaki gazların dökme demirlerin mikroyapı ve diğer mekanik özellikleri üzerine olan etkileri Hughes tarafından tanımlanmıştır. Dökme demirlerin özelliklerini etkileyen en önemli 3 gaz oksijen, azot ve hidrojen gazları olarak verilmiştir. Bu gazlar için tipik sıvı metalde buluna-

bilecekleri konsantrasyon aralıkları da oksijen için % 0.005-0.01, azot için % 0.0015 ile 0.015 ve hidrojen için de % 0.00005-0.00025 olarak tanımlanmıştır. Örneğin azot elementi için konuşmak gerekirse; dökme demirin cinsine ve ergitme metoduna göre sıvı metal içerisindeki konsantrasyonu değişmektedir. Kanallı tip bir endüksiyon ocağında 75-110 ppm olan azot gazı çözünürlüğü ark ocağı kullanıldığında 130-190 ppm aralığına yükselbilmektedir. Yine % 25 çelik hurda ile çalışan bir dökümhanede 110 ppm olan azot gazı çözünürlüğü % 80 çelik hurdası ile çalışan bir dökümhanede 150 ppm'e ulaşabilmektedir. Veya tretman sonrası küresel grafitli bir dökme demirde 30-80 ppm azot çözünebilirken hemen tretman öncesinde 40-120 ppm olabilmektedir (1). Burada ergitilen çelik hurdasının da çeşidi son derece önemlidir. Eğer bir döküm fabrikası ray çeliği hurdası veya makine imalat çeliği hurdası ile çalışıyor ise, bunların içeriğinde 130 ppm'e kadar varolan azot elementi sıvı metal banyosuna geçmekte ve dökme demirin bütün özelliklerini olumlu yönde etkilemektedir. Ama eğer bir döküm fabrikası otomotiv fabrikalarından gelen çinko kaplı derin çekme saç hurdaları ile çalışıyor ise bu durumda sıvı metal banyosundaki azot elementi değeri son derece düşük olacak ve bu da ürettiği gri dökme demir ve sfero dökme demirin mikroyapı ve mekanik özelliklerini etkileyecektir. Oksijen ve azot gazları yaş kum kalıba döküm teknolojisi ile üretim yapan demir dökümhanelerinde kalıp kumu ve maçadan da parça içerisine geçmelerine rağmen ana kaynağı genel olarak aslında ergitme sırasında kullanılan şarj malzemeleridir.

Azot gazının sıvı metal banyosu içerisindeki konsantrasyonunun kontrolü, azot elementinin yararlı etkilerinden faydalanmamız ve zararlı etkilerinden de korunmamız açısından önemlidir. Sıvı metal banyosundaki azot miktarını Kjendal metodu ile ve çözünmeyen azotu da Beeghly metodu ile ölçmek mümkündür. Günümüzde ise ergitme sonrası sıvı metalden alınarak bakır kalıplarda hızlı bir şekilde katılaştırılan spektrometrik analiz numunelerinden spektrometreler aracılığı ile +/- 15 ppm hassasiyetle döküm parçadaki azot %'ini ölçmek mümkün olur hale gelmiş ve bu da seri üretimlerde her potadan azot analizini mümkün kılmıştır.

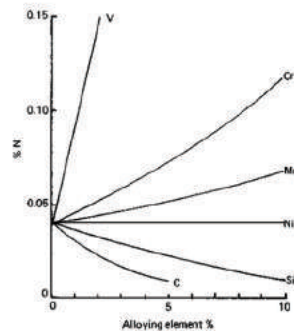
Azot elementinin demir fazı içerisindeki çözünürlüğü Sievert Kanunu ile hesaplanabilir.



N_2 burada gaz formundadır.

Fe-C-Si üçlü sisteminde azotun çözünmesi difüzyon kontrollü bir çözünme olayıdır. Fakat azot elementinin sıvı metal içerisindeki çözünürlük limiti aynı kalmasına rağmen sıvı metal banyosunda oksijen ve kükürt elementlerinin varlığında azot gazının absorpsiyonu yüzey kontrollü olarak gerçekleşir. Ergitme ortamı, şarj malzemeleri, karbon vericiler, maça ve kalıp kumu muhtemel azot kaynaklarıdır. Bir sıvı metal banyosu ergitme sırasında ne kadar çok karışıyor ise azot gazı o kadar fazla ve hızlı bir şekilde sistemden uzaklaştırılır.

Karbon ve silis elementlerinin sıvı metal banyosundaki artışlarına bağlı olarak azot çözünürlüğü düşerken, nikel elementinin artışı ile azotun banyoda çözünürlüğü değişmemekte, krom ve vanadyum elementleri arttıkça ise azotun banyodaki çözünürlüğü artmaktadır. Bunu Şekil 1'deki grafikten açıkça görmekteyiz.



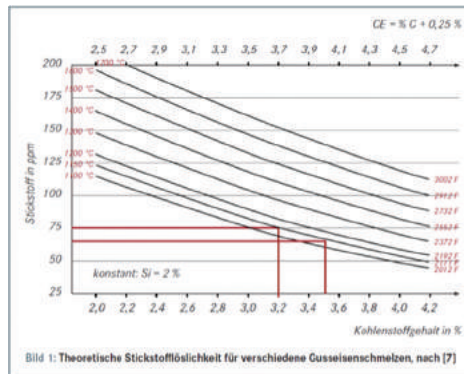
Şekil 1. 1600 C'de 1 atmosfer basınçta azot gazının çözünürlüğüne elementlerin etkileri (1).

Azotun Gri Dökme Demirlerin Mekanik Özelliklerine Etkileri:

Gri dökme demirlerin bazı sınıfları, yüksek sıcaklıklarda yorulma dayanımı gerektiren, içten yanmalı motor blokların ve silindir kafalarının üretimlerinde kullanılmaktadırlar(3). Fakat bu yüksek beklentilere cevap verebilecek gri dökme demirlerin de en az parçadan 245 N/mm² (245 MPa) kopma mukavemetine sahip malzeme grubundan olması gerekmektedir. Bu da EN 1561'de EN GJL-300 sınıfı olarak tanımlanmaktadır. Eğer kimyasal analizde sadece bakır, kalay ve Mn gibi elementler var ise ve parçaların et payları 30 mm'nin üzerinde ise, parçadan bu yüksek mukavemetlerin karşılanmasında problemler çıkabilir. Bu durumda yapılması gereken; kimyasal analize azot elementinin ilave edilmesidir.

Gri dökme demir üretiminde dökümhanelerin ergitimlerde kullandıkları şarj malzemelerinin önemi bu noktada ortaya çıkmaktadır. Eğer dökümhaneler gri dökme demir üretiminde, ray çeliği ve makine imalat çeliği hurdaları ile çalışıyorlarsa, üretmiş oldukları ürünlerin kimyasal analizlerinde azot değerleri yükselmekte ve mukavemet değerleri de buna paralel olarak yükselmektedir. Bu konuda pek çok çalışma ve patent mevcuttur. Ancak azot elementinin hangi formda ve ne zaman verileceği son derece önemli bir konudur. Bu konu literatürde ayrıntılı verilmemektedir. Parçaların sağlam olarak dökülebilmelerini etkileyen en önemli konu aslında budur. Çünkü azot gazı sıvı metal banyosunda parça kesitlerine bağlı olarak katılma sırasında başlangıçta çözündüğü oranda parça içinde sabit kalmaz. Aynı zamanda kalıp kumu ve maçalar da azot gazı kaynağıdır. Sıcaklığa bağlı olarak döküm parça içerisinde azot gazı çözünürlüğü artar. Tersini düşündüğümüzde de katılma sırasında azot gazı sıvı metalden uzaklaştırılmaya çalışılır. Şekil 2 farklı sıcaklıklarda C ve CE'e göre azot gazının sıvı metal içerisindeki çözünürlüğünü göstermektedir. Parçanın formuna bağlı olarak, kullanılan maçanın yeri ve boyasının durumuna bağlı olarak parça içerisindeki azot gazı miktarı değişir. Bu da parçanın mukavemetini direkt etkiler. Tabii burada en önemli nokta parçanın işlendikten sonra herhangi bir gaz hatası olmayacak şekilde sağlam bir döküm yüzeyine sahip olmasıdır. Azot gazından kaynaklanan yüzey altı pinhole gaz boşlukları ve fissure defect diye adlandırılan virgül şeklindeki yüzey altı gaz boşluğuna sahip bir işleme sonrası yüzey, parçanın iskarta olmasına neden olabilir.

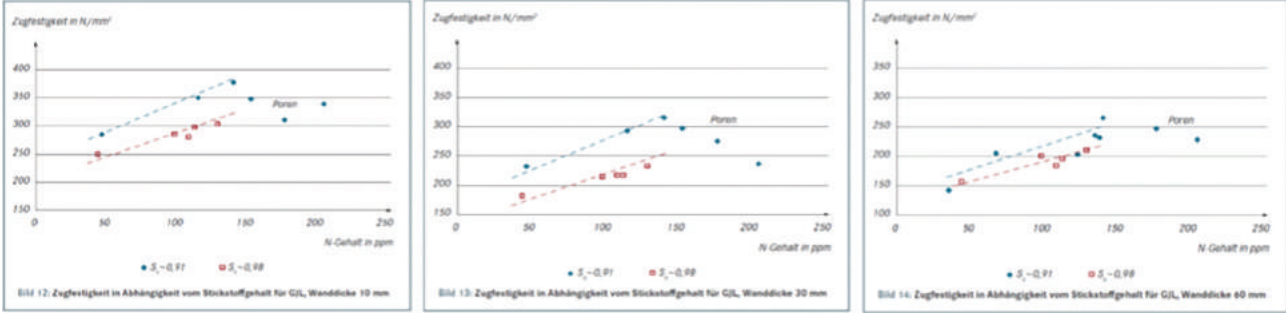
Döküm parçalarda yüzey altı gaz boşluğu oluşumu için sıvı metal banyosunda olması gereken azot gazı miktarı literatüre göre 110-150 ppm aralığındadır(3). Ancak tecrübelerimize göre; bu oran sadece sıvı metal banyosu içindir demek yanlış olur. Dökümhanede yapılan bir testte sıvı metal banyosu içerisinde 80 ppm azot gazı ölçülebilir. Ama parça döküldükten sonra hatalı bölge analiz edildiğinde 140-150 ppm azot gazı ölçülebilir. Burada maça ve kalıp kumundan gelen ve sıvı metal banyosunda çözünen azot gazının da dikkate alınması gerekir. Yaklaşık 60 mm kalınlığa sahip bir parçanın en üst yüzeyinde azot gazı boşlukları görünüyor ise buradan alınan dikine bir kesitte maça yüzeyinden kalıp yüzeyine doğru değişen azot gazı bileşimleri ile karşılaşılabılır. Özellikle montajlı ve bol maçalı döküm parçalarda maçaların gazlarını sıvı metale vermeden dışarı vermek için çok iyi bir döküm tasarımı şarttır.



Şekil 2. Azot gazının C ve CE 'e bağlı olarak farklı sıcaklıklarda sıvı metal içerisinde çözünürlüğünü gösteren diyagram.

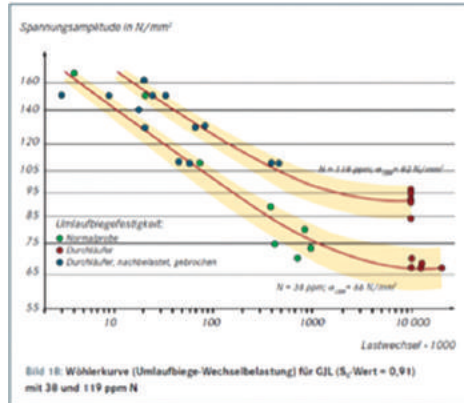
Azot gazının olumsuz etkilerinden korunmak için öncelikle çok iyi bir döküm tasarımı yapmak ve sonrasında sıvı metalin kimyasal analizini de çok iyi kontrol etmek şarttır. Eğer sıvı metal banyosunda yüksek Titanyum içeriği ile çalışıyorsanız siz istediğiniz kadar azotu yükseltin mukavemeti yükseltemezsiniz. Çünkü Ti elementi azotu Titanyum nitrür olarak bağlayacaktır. Bu nedenle sıvı metal banyosu içerisindeki Ti elementine bağlı olarak bir çalışma tablosu oluşturmanız gerekecektir. Ayrıca yine banyodaki C, Si ve Mn elementlerinin de azotaun çözünürlüğüne etkilerini inceleyen makaleler, araştırmalar mevcuttur(3).

Farklı et paylarında azot gazının mekanik özellikleri nasıl etkilediğini gösteren grafikler de Şekil 3'de verilmektedir.



Şekil 3. 10 mm, 30 mm ve 60 mm et paylarında azot gazının mekanik özelliklere etkileri.

Azot elementinin gri dökme demirlerde yorulma dayanımına etkisi de şekil 4'de verilmektedir.



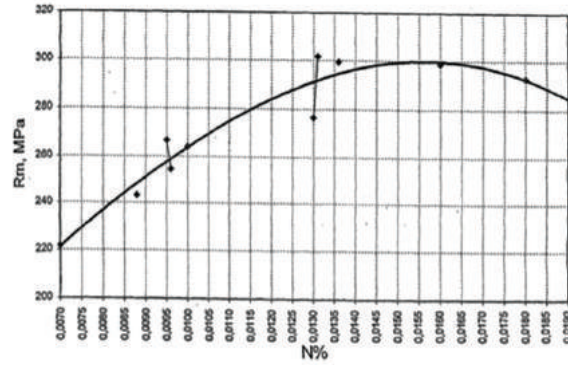
Şekil 4. Azot elementinin gri dökme demirin yorulma mukavemetine etkisi.

Yukarıda da bahsedildiği gibi azot elementinin mekanik özellikler üzerine etkileri, sıvı metal banyosu içerisindeki alüminyum, titanyum ve vanadium elementlerinin konsantrasyonları ile de bağlantılıdır. Azot elementini nötralize eden bu elementlerin banyodaki miktarlarına göre azot elementinin ilavesi arttırılmalıdır.

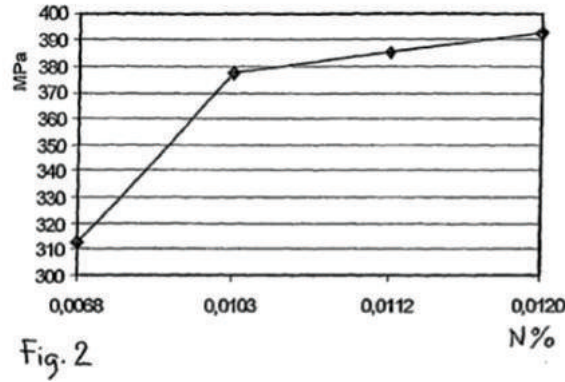
Azot ve bor elementlerinin birlikte gri dökme demirlerin mekanik özellikleri üzerine olan etkileri de araştırılmış ve rapor edilmiştir (4). Bu çalışmada sadece bu iki elementin etkisi araştırılmakla kalmamış aynı zamanda da aşılamanın mekanik özellikler üzerine etkileri de araştırılmış ve rapor edilmiştir. Aynı çalışmada kalıp bozma süreleri ve ısıl işlem şartlarının etkileri de incelenmiştir. Gri dökme demirlerin mikroyapı ve mekanik özellikleri üzerine azot elementinin ve aşılamanın etkilerinin incelendiği diğer bir çalışma da Fredrik Wilberfors ve Ingvar L. Svensson tarafından yapılan çalışmadır (5).

Uygulamadan en güzel örneği ise Kent Erikson, Tony Liu, Bernt Gyllensten ve Johan Oberg'in birlikte almış oldukları patenti verebiliriz. Volvo firmasının Skövde şehrindeki dökümhanesinde gerçekleştird-

ikileri çalışmada potada azot ihtiva eden bir ferroalaşımın sıvı metale ilavesi ile azotun sıvı metale geçişini incelemişler ve aşağıdaki 2 grafiği elde etmişlerdir. Bu çalışmada da azotun Ti ve Vanadyum ile etkileşimleri ayrıntılı olarak incelenmemiştir(6).



Şekil 5. Bir gri dökme demirde azot elementinin mukavemet ile ilişkisini gösteren diyagram (6).



Şekil 6. Bir gri dökme demir silindir kafasında azotun artışı ile parçanın mukavemetinin değişimini gösteren diyagram(6).

Azot elementinin gri dökme demirlerde sıvı metal içerisine nerede ilave edilmesi gerektiği son derece önemli bir konudur. Ergitme ocağında, tutma ocağında, potaya sıvı metali alırken veya daha başka bir yolla. Asıl bakılması gereken konu dökümü gerçekleştirilen parçanın işlenmesi sonrasındaki ıskarta türleri ve ıskarta oranlarıdır. ıskarta oranının zamana, kimyasal analize, sıcaklığa, azot yüzdesine vb gibi proses parametrelerine göre değişimi son derece önemlidir. Bu konuların parçaya göre değerlendirilmesi gerekmektedir. Sadece parça kesit kalınlığı burada önemli parametre değildir. Parçanın kompleks şekilli olması, maçalı veya maçasız olması, maça sayısının fazla olması, maça montajının önemi son derece önemli proses parametreleridir. Azot elementini bünyesinde taşıyan Ferro Manganez Affine ferro alaşımını sıvı metali ocaktan alırken potaya atmak kendisinden en yüksek verimi almanın tek yoludur. Ocakta atıldığından çok daha yüksek verim alınır. Ancak potada yapılan ilavelerde verimin çok yüksek olması bazı parçalarda avantaj yerine dezavantaj olabilir. Biraz daha açık bir ifade ile potaya atılan azota ilave olarak maçadan ve kalıptan gelen azot da eklendiğinde parçada aşırı azot elementi ölçülebilir. Ve incelendiğinde azot hatalarına da rastlanabilir. Genellikle işleme sonrası yüzeyden 2-4 mm aşağıda çıkan bu hatalar spektrometre ile yapılan analizlerde azotun en yüksek konsantrasyonda olan bölgelerle eşleşirler.

Azot elementinin zararlı etkilerinden kurtulmanın yolu başta azot elementini doğru ölçmek, seri üretim sırasında en kısa sürede ölçebilmek ve de sadece gerektiği kadar azot elementini sıvı metal banyosuna vermektir. Evet 110-130 ppm arası azot değerlerinde çok mükemmel çekme testi değerlerine ulaşabilirsiniz ama buna gerek var mıdır, sorusunun cevabı önemlidir. Kesit farklılıklarına göre her

parça ayrı ayrı incelenmeli ve ona göre her bir parça üzerinde ayrı çalışmalar yapılmalıdır. Sadece metalin yönetimi değil ve aynı zamanda da maça ve kalıp kumunun içerisindeki azot elementinin yönetimi de son derece önemlidir.

Azot Elementinin Küresel Grafitli Dökme Demirlere Etkileri:

Azot elementinin gri dökme demirler üzerine etkileri bilinmesine ve yapılan çalışmaların sayısı fazla olmasına rağmen, küresel grafitli dökme demirler üzerine olan etkileri maalesef bilinmemektedir. Yapılan çalışma sayısı da sınırlıdır(7,8). Özellikle üretim tekniği nedeni ile küresel grafitli dökme demir içerisine verme zorluğu nedeniyle, Magnezyum tretmanı sırasında oluşan aşırı çalkalanma ve reaksiyonlar sonucu azot elementi sıvı metal içerisinde çözünme imkanı bulamadan sistemi terketmektedir. Yapılan çalışmalarda kupol fırını ergitmesi kullanan dökümhanelerde ve endüksiyon ocağı ergitimi kullanan dökümhanelerde azot elementinin her aşamadaki dağılımları ve nedenleri araştırılmıştır. Şarj malzemelerinden gelen azotun dağılımı araştırılmıştır. Özellikle Mg tretmanı aşamasına dikkat çekilmiştir. Ama Gri dökme demirlerde olduğu gibi, azot elementinin parçanın mekanik ve mikroyapı özelliklerine olan etkilerinden bahsedilmemiştir. Parçada çözünen azot miktarına bağlı olarak akma , kopma mukavemetleri ve % uzama değerlerine olan etkileri ortaya konmamıştır.

Azot elementinin küresel grafitli dökme demirler üzerine olan etkilerinin incelendiği en son çalışma ise Fras, Gorny ve Kawalec tarafından yapılan çalışma olarak karşımıza çıkmaktadır(8). Bu çalışmada ise özellikle kimyasal analizde Vanadyum ve Niobyum elementlerinin varlığı, EN-1563 :2012 'de belirtilen küresel grafitli dökme demir tipleri üzerine azot elementinin etkilerinin tam olarak ortaya konulamaması nedeniyle, halen eksikliklerle karşımıza çıkmaktadır. Herhangi bir alaşım elementi olmadan, EN-gjs-400-15'ten 700-2 sınıfına kadar tüm küresel grafitli dökme demirlerin akma, kopma mukavemeti ve uzama değerlerinin azot elementinin artışı ile nasıl değiştiği ve bu esnada mikroyapıda nasıl değişimler olduğu, halen araştırılması gereken konulardır.

Aslında en başta araştırılması gereken konu ise azot elementinin küresel grafitli dökme demirin içerisine nasıl verilmesi gerektiğidir. Hangi aşamada vereceğiz ve sonrasında da ne kadar vereceğiz veya verebileceğiz? Bunun üzerine çalışmalarımız devam etmektedir.

Azot Taşıyıcı Ferroalaşımalar ve Özellikleri:

Azot ihtive eden ferro alaşımlara örnek olarak 2 ürünü verebiliriz. İlki Ferromanganez affine ve diğeri de Ferrosilis affine'dir.

Aşağıda Tablo 1'de ve Tablo 2'de bu alaşımların kimyasal analizleri ve boyutları verilmektedir.

| Mn, % | C,% | P,% | S,% | Si% | N,% |
|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 75.61 | 0.056 | 0.0051 | 0.027 | 0.45 | 5.50 |

Boyutları: 10-50 mm (% 90 Min.)

Tablo 1. Ferro Manganez Affine Kimyasal Analizi:

| Si | N | Fe | Al | C |
|-----------|----------|-----------|-----------|----------|
| 50.16 | 31.39 | 16.85 | 1.48 | 0.12 |

Boyutları: 5-50 mm. (% 90 Min.)

Tablo 2. Ferro Silis Affine Kimyasal Analizi:

Bu malzemelerin tam olarak üretimin hangi aşamalarında sıvı metale verilmeleri konusunda kullanımları tamamen dökümhanelere bırakılmıştır. Farklı uygulamaları olan döküm firmaları bulunduğu bilinmektedir. Bu da yukarıda anlatıldığı gibi parçaya ve parçadan beklenen mekanik özelliklere ve parçanın ıskarta tür ve oranlarına direkt bağlıdır.

Aşağıda Tablo 3'de Lamel grafitli dökme demirlerde gerçekleştirilen deneylerin sonuçları verilmiştir. Her bir deneyde EN 1561'deki ayrı döküm çekme çubuğu değerleri baz alınmıştır. Her bir potadan 2 adet çekme çubuğu alınmış ve testler gerçekleştirilmiştir. Azot değerine bağlı olarak parçadan elde edilen mukavemet değerlerinin EN GJS 300 sınıfı mukavemet gerekliliklerini sağladığını görmekteyiz. Azot elementinin sıvı metal banyosundaki Ti elementi ile ilişkisi ve ayrıca diğer elementler ile de ilişkileri araştırılmalı ve ayrıca azot miktarının daha da artırılması durumunda elde edilecek en yüksek değerlerin neler olabileceği ve parçalarda azot gazı taları görülüp görülmeyeceği araştırılmalıdır.

| Deney No | C | Si | Mn | P | S | Cr | Cu | Sn | Ti | Al | N2 | Çekme Muk. 1 | Çekme Muk. 2 |
|----------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------------|--------------|
| 1 | 3.15 | 2.072 | 0.888 | 0.032 | 0.093 | 0.277 | 0.582 | 0.107 | 0.021 | 0.004 | 0.0058 | 267.2 | 269.8 |
| 2 | 3.17 | 1.959 | 0.888 | 0.025 | 0.113 | 0.287 | 0.608 | 0.095 | 0.022 | 0.0003 | 0.0055 | 256.3 | 258.1 |
| 3 | 3.15 | 2.053 | 0.924 | 0.032 | 0.075 | 0.263 | 0.61 | 0.093 | 0.020 | 0.003 | 0.0052 | 264 | 262 |
| 4 | 3.15 | 2.085 | 0.919 | 0.035 | 0.074 | 0.266 | 0.605 | 0.095 | 0.020 | 0.003 | 0.0047 | 257 | 254 |
| 5 | 3.10 | 1.968 | 0.934 | 0.029 | 0.078 | 0.26 | 0.571 | 0.098 | 0.019 | 0.004 | 0.0063 | 291.1 | 279.6 |
| 6 | 3.14 | 2.012 | 0.969 | 0.03 | 0.082 | 0.281 | 0.591 | 0.102 | 0.016 | 0.004 | 0.0069 | 274.8 | 273.2 |
| 7 | 3.12 | 2.006 | 0.946 | 0.031 | 0.095 | 0.291 | 0.602 | 0.112 | 0.017 | 0.004 | 0.0068 | 272.5 | 271.3 |
| 8 | 3.13 | 1.924 | 0.921 | 0.029 | 0.078 | 0.268 | 0.616 | 0.105 | 0.017 | 0.005 | 0.0062 | 270.8 | 272.3 |
| 9 | 3.12 | 2.017 | 0.966 | 0.035 | 0.074 | 0.319 | 0.644 | 0.102 | 0.019 | 0.004 | 0.0052 | 261.5 | 260.8 |
| 10 | 3.13 | 1.951 | 0.920 | 0.029 | 0.081 | 0.259 | 0.617 | 0.100 | 0.017 | 0.004 | 0.0061 | 264.6 | 257.6 |
| 11 | | | | | | | | | | | | | |
| 12 | | | | | | | | | | | | | |
| 13 | | | | | | | | | | | | | |
| 14 | | | | | | | | | | | | | |

Tablo 3. Lamel Grafitli Dökme Demirlerde Gerçekleştirilen Deneyler ve Sonuçları: (Elementler Ağırlıkça % ve Mukavemet değerleri de N/mm² = MPa olarak verilmişlerdir).

| Deney No | C | Si | Mn | P | S | Cr | Cu | Mg | Sn | Ti | N | Akma Muk. | Kopma Muk. | Uzama |
|----------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-----------|------------|-------|
| 1 Normal | 3.63 | 2.37 | 0.34 | 0.033 | 0.01 | 0.051 | 0.038 | 0.058 | 0.022 | 0.016 | 0.0081 | 374.18 | 619.46 | 6.65 |
| 1 Azotlu | 3.63 | 2.37 | 0.36 | 0.037 | 0.01 | 0.051 | 0.039 | 0.06 | 0.023 | 0.016 | 0.0091 | 388.69 | 676.96 | 8.3 |
| 2 Normal | 3.66 | 2.1 | 0.32 | 0.021 | 0.01 | 0.05 | 0.08 | 0.045 | 0.022 | 0.017 | 0.0065 | 310.89 | 520.49 | 12.78 |
| 2 Azotlu | 3.67 | 2.08 | 0.35 | 0.022 | 0.008 | 0.051 | 0.07 | 0.043 | 0.022 | 0.017 | 0.0093 | 318.67 | 549.59 | 12.86 |
| 3 Normal | 3.74 | 2.40 | 0.40 | 0.025 | 0.007 | 0.057 | 0.103 | 0.049 | 0.034 | 0.022 | 0.0041 | 369.7 | 611.1 | 5.28 |
| 3 Azotlu | 3.70 | 2.37 | 0.43 | 0.027 | 0.007 | 0.061 | 0.091 | 0.046 | 0.033 | 0.019 | 0.0034 | 380 | 652 | 6.14 |
| 4 Normal | 3.48 | 2.37 | 0.661 | 0.02 | 0.008 | 0.046 | 0.065 | 0.053 | 0.058 | 0.024 | 0.0047 | 393.15 | 663.03 | 5.02 |
| 4 Azotlu | 3.50 | 2.38 | 0.672 | 0.019 | 0.009 | 0.052 | 0.064 | 0.049 | 0.057 | 0.024 | 0.0057 | 401.54 | 690.8 | 5.59 |
| 5 Normal | 3.70 | 2.13 | 0.34 | 0.025 | 0.011 | 0.047 | 0.07 | 0.048 | 0.017 | 0.021 | 0.0027 | 353.3 | 597.13 | 10.88 |
| 5 Azotlu | 3.64 | 2.32 | 0.40 | 0.028 | 0.013 | 0.047 | 0.069 | 0.048 | 0.017 | 0.021 | 0.0055 | 366.93 | 614.68 | 12.78 |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |

Tablo 4. Küresel Grafitli Dökme Demirlere Ferro Mangan Affine Deneyleri (Elementler Ağırlıkça % 'dir. Mukavemetler N/mm²= MPa ve uzama değerleri birimi de % 'dir)

Tablo 4'de ise Ferromanganez affine ilaveli küresel grafitli dökme demir deneylerinin sonuçları verilmektedir. Deneylerde mekanik özelliklerin ölçümünde EN 1563'de tanımlanan bitişik döküm Lynchburg ayrı döküm çekme çubukları dökülerek gerçekleştirilmiştir. Tablodan görüleceği gibi Azot elementinin artışı ile akma mukavemetinde, kopma mukavemetinde ve uzama değerlerinde de az da olsa bir artış gözlenmiştir. Bu etkileri daha da net bir şekilde görmek için azot miktarının yükseltildiği, veriminin daha da artırıldığı yeni deneyler yapmak gerekmektedir. Deneyler endüksiyon ocağında

Sonuç:

Azot elementinin gri dökme demirlerde yüksek konsantrasyonlarda (130 ppm'den daha fazla) yüzey altı gaz boşluğu oluşturduğu uzun yıllardır bilinmektedir. Bunun yanında mukavemet artırıcı özelliği

de yadsınamayacak derecede yüksektir. Özellikle ülkemizde demiryolu ray hurdası ve imalat çeliği hurdası bulunmaması, dökümhaneleri azot taşıyıcı ferro alaşım ilavesi ile azotu sıvı metalin içerisine verme yoluna itmektedir. Ancak burada da döküm parçanın geometrik şekli, yoğun maçalı bir parça olup olmaması, kalıp kumunun azot içeriği vb tüm proses parametreleri önem kazanmaktadır. Bütün bunlar göz önüne alındığında da azotun üst kullanım sınırı parçadan parçaya değişmektedir. Hatta parçaların döküm takımlarının dizaynları sırasında, maçanın gazının nereden çıkabileceği ve nasıl ortamdan uzaklaştırılacağına dahi çok büyük önemi ortaya çıkmaktadır. İşte tam bu noktada da azot elementi taşıyan ferro alaşımların sıvı metale tam nerede, nasıl ve ne oranda katılacağı önem kazanmaktadır. Araştırmalar potada azot ilavesinin ekonomik ve en verimli yol olduğu yönünde birleşmesine rağmen, bazen veriminin kontrol edilememesi nedeniyle bunun bir dezavantaja dönüştüğü ve ocakta ve parçaya göre değişebilen belirli oranlarda ilavesinin daha iyi sonuçlar vereceğini göstermektedir.

Diğer yandan küresel grafitli dökme demir üretiminde de parçanın mekanik özelliklerine olumlu etkileri olan azotun, prosesin hangi aşamasında sıvı metale ne kadar verilebileceği ve etkilerinin neler olacağı yönünde de araştırmaların yapılması gerektiği açıktır. Deney sonuçları özellikle akma mukavemeti ve uzama değerleri sınırdan seyreden bazı küresel grafitli dökme demirlerde azotun bu değerleri olumlu etkileyip yükselttiğini göstermektedir. Önemli olan hangi formda, hangi aşamada ve ne oranda verilmelidir, bunun üzerine çalışmaların yapılması ve açıklığa kavuşturulmasıdır. Azot ilavesinin tretman sonrasında yapılması da önerilen yaklaşımdır.

KAYNAKLAR:

- 1-) Elliott, Roy., BsC, PhD., "Cast Iron Technology", Butterworth & Co. Ltd., 1988.
- 2-) Fras, E., Gorny, M., Kawalec, M., "Effect of nitrogen on structure and mechanical properties of ductile iron with small additions vanadium and niobium", Archives of Foundry Engineering, Volume 7, Issue 1/2007, 81-84.
- 3-) Jang, J. M., Kim, D.H., Paek, M., K., Pak, J. J., "Nitrogen Solubility in Cast Iron Containing C, Si and Mn", ISIJ International, Vol. 58 (2018), No: 7, pp. 1185-1190.
- 4-) Strande, K., Tiedje, N. S. and Chen, M. "A Contribution to the understanding of the combined effect of nitrogen and Boron in gray cast iron", International Journal of Metalcasting, 11 (1), pp: 61-70, 2007.
- 5-) Wilberfors, F. And Svensson, I. L., "The effect of Nitrogen and Inoculation on the tensile properties and microstructure of cast iron with lamellar graphite", Trans Tech Publications, Switzerland.
- 6-) Erikson, K., Liu, T., Gyllensten, B. and Oberg, J., "Grey cast iron for Engine cylinder block and cylinder head", European Patent EP 1 606 427 B1, 2004.
- 7-) Johnson, B.D. and Heine, R.W., "Nitrogen in Molten Iron Processing and Its Effects", AFS Transactions.
- 8-) Fras, E., Gorny, M., Kawalec, M., "Effect of Nitrogen on Structure and Mechanical Properties of Ductile Iron With Small Additions Vanadium and Niobium", Archives of Foundry Engineering, Volume 7, Issue 1/2007, 81-84.

DÖKÜM SANAYİSİNDE MAÇA VE KALIP ÜRETİMİNDE KULLANILAN ÖZEL KUMLAR

Martin DAHLMANN*, Halil GÖNENBABA**

**Hüttenes-Albertus Almanya*

***Metko Hüttenes-Albertus*

ÖZET

Gelişen teknoloji ile beraber döküm parçalardan beklenen özellikler de artmış, döküm parça tasarımları karmaşıklaşmış ve üretimleri zorlaşmıştır. Artan beklentilerden biri de döküm parçaların yüzey kaliteleri ve ölçü kararlılıklarıdır. İstenen yüzey kalitesine sahip döküm parçaların yeniden işlem yapmaksızın ve en düşük fire oranları ile üretilmesi rekabet ortamının getirdiği bir şart olmuştur. Döküm parçaların yüzey kalitesini belirleyen ana unsur kalıp ve maça kaliteleridir. Kalıp ve maçaların %95'den fazla kısmını kumlar oluşturduğundan kalıp ve maça yapımında kullanılan kumların özellik ve kaliteleri doğrudan döküm parça yüzey kalitesini etkilemektedir.

Döküm sanayisinde maça ve kalıp üretiminde kullanılan en yaygın kum çoğunlukla ihtiyacı karşılayan özellikleri ve ekonomik maliyetleri sebebi ile silis kumlarıdır. Ancak bazı durumlarda silis kumlarının sağlayabildiği özellikler yetersiz kalır ve daha iyi özellikler sunan özel kumlara ihtiyaç duyulur. Özel kum terimi, döküm sanayisinde maça ve kalıp üretiminde kullanılan silis kumları dışındaki bütün kumları kapsar. Bu bildiride döküm sanayisinde maça ve kalıp üretiminde kullanılan özel kumlar tanıtılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Özel Kumlar, Kalıp Kumları, Maça Kumları, Kalıp, Maça

ABSTRACT

With the developing technology, the desired properties of the castings have increased, the casting parts designs becomes more complicated and their production becomes difficult. One of the increasing expectations is the surface quality and dimensional stability of the parts. Casting parts production with high quality surface properties without rework operation and low scrap level is a condition brought by the competition. As the cores and molds are composed of more than 95% of the sands, the properties and qualities of the sands used in the mold and core making directly affect the casting quality.

The most common sand used in the manufacture of cores and molds in the foundry industry is silica sands due to their average technical features and economic costs. However, in some cases silica sands are inadequate and require special sands that offer better properties. The term special sand covers all industrial minerals (except silica sand) used together with common foundry binders as base materials for the manufacture of cores and moulds.

In this paper, special sands for the manufacture of cores and moulds used in the casting industry are presented.

Key words: Special Sand, Moulding Sand, Core Sand, Mould, Core

Giriş

Döküm sanayiinde kalıpların “temel malzemesi”VDG Merkblatt R201’e göre terminolojide tanımlanmaktadır. Döküm prosesinin temel malzemesi; içinde bağlayıcılar ve diğer özel katkı maddelerini de barındıran kumdur. Bu kumun esas görevi, tanelerinin birbiri arasındaki bağ kuvvetini artırarak yüksek sıcaklıklara dayanıklı ve mukavemeti yüksek bir kalıbın elde edilmesini sağlamaktır. Kum, tane büyüklüğü 0,063 mm. ile 1,50 mm. arasında değişen tanelerden oluşan bir karışımdır. Ancak kum sözcüğü silis veya kuvars gibi belirli bir minerali belirtmez; zirkon, olivin, kromit vb. öğütülmüş seramik mineralleri de boyutları bakımından yukarıdaki sınırlar içindeyse kum olarak adlandırılırlar. Kumlar, hammadde olarak döküm sanayiinde çok geniş bir kullanım alanına sahiptir. Kalıplarda, boyalarda, besleyici ve yolluklarda, ayrıca fırınlarda ve potalarda refrakter olarak kullanılan malzemelerin ana bileşenini kumlar oluşturmaktadır.

Özel Kum Nedir?

Özel kum terimi, döküm sanayiinde maça ve kalıp üretiminde kullanılan silis kumları dışındaki bütün kumları kapsar. Özel kumlar doğal mineral kumlarından direkt olarak elde edildiği gibi, bu kumların sinterlenmesi ve ergitilmesi yöntemiyle de elde edilmektedir. Bu kumlar, bu minerallerin kırma-elme-öğütme işleminden geçirilmesi ile de elde edilebilirler.

Ayrıca inorganik mineral kumlarına çeşitli fizikokimyasal işlemler uygulanarak özel kumlar üretilmektedir. Özel kumları silis kumlarından ayıran en önemli özellik bu kumların silis kumlarına göre özellikle 20-600 °C aralığında düşük genleşme davranışına sahip olmasıdır. Aynı zamanda silis kumlarına göre daha iyi bir ısı iletkenliğine ve refrakter karaktere sahiptir. Ayrıca diğer fiziksel özellikleri silis kumlarına nazaran üstündür.



Resim 1: Özel bir kum olan J-kumundan yapılmış maça.

Özel Kumların Özellikleri

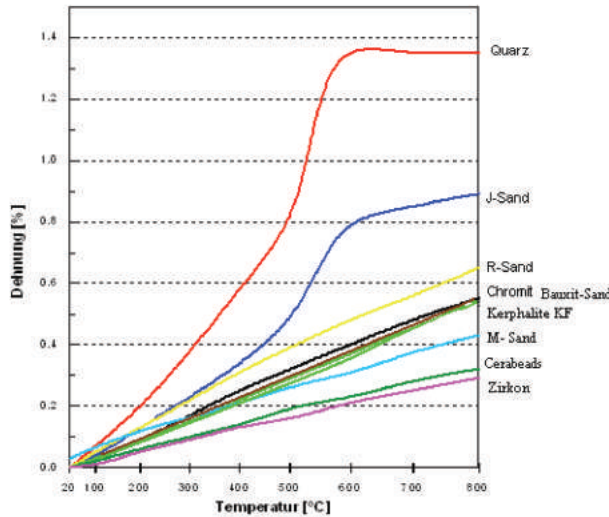
Isı ile Genleşme Davranışları

Alman Standartları Enstitüsü'nün (DIN) 51 045 no.lu standardında sıcaklığa bağlı olarak katı cisimlerin uzunluğunun değişimi şöyle belirtilmiştir: “Katı cisimlerin ısı gerilim altında hacim değişimleri gözlemlendiğinde, hacminin ya arttığı (genleşme) ya da azaldığı (büzülme) görülmüştür.” Katı cismin hacminde meydana gelen net değişim miktarı sıcaklığın termofiziksel parametrelere bağlı olarak değişiminden kaynaklanmaktadır. Uzunluğun sıcaklığa bağlı olarak değişimi (Δl) sıcaklığı değiştiren tersinmez ve tersinir faktörlere bağlıdır. Sıcaklığa bağlı olarak değişen Δl 'yi bulmak için numunenin

başlangıç uzunluğu l_0 , genellikle $T_0 = 200 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de alınır. Linear termal uzama katsayısı olan Δl 'yi bulmak için aşağıdaki formül uygulanır:

$$\alpha = \Delta l / l_0 \cdot \Delta T \text{ (mm/mm} \cdot \text{K)}$$

Şekil-2'de; belli sıcaklık aralıklarında ($\Delta T = 20 - 300^\circ\text{C}$, $20 - 600^\circ\text{C}$ ve $20 - 800^\circ\text{C}$) silis ve özel kumların genişerek sahip oldukları yüzde uzama miktarları verilmiştir. Silis kumunun kalıp malzemelerinde sıcaklığa bağlı olarak özel kumlara nazaran çok daha büyük bir genişleme yüzdesine sahip oluşu bu şekilde net olarak görülmektedir (Şekil-1). Sıcaklık arttıkça, kuvarsın yapısında dönüşümler görülür, sıcaklık kaydırmalı dönüşüm sıcaklığı $573 \text{ }^\circ\text{C}$ 'ye ulaştığında trigonal yapıdan hegzagonal kristal yapıya dönüşür. Bu faz donuşumu aniden gerçekleşir ve tersinirdir [2].



Şekil 1: Kumların uzama eğrileri*

Ölçüm: Quarzwerke Frechen, Johann- Friedrich-Bottger Institute, Prüflabor Selb

Kuvarsın sıcaklığı 20°C 'den 600°C 'ye çıkartıldığında yaklaşık %1,2 gibi yüksek bir genişleme gradyentine sahiptir. Bu durum döküm kumlarında silis kullanıldığında genişmeden dolayı karşılaşılan sorunların sebebidir. Cizelge-1'den de anlaşılacağı üzere silis kumları en yüksek termal genişleme katsayısına sahiptir.

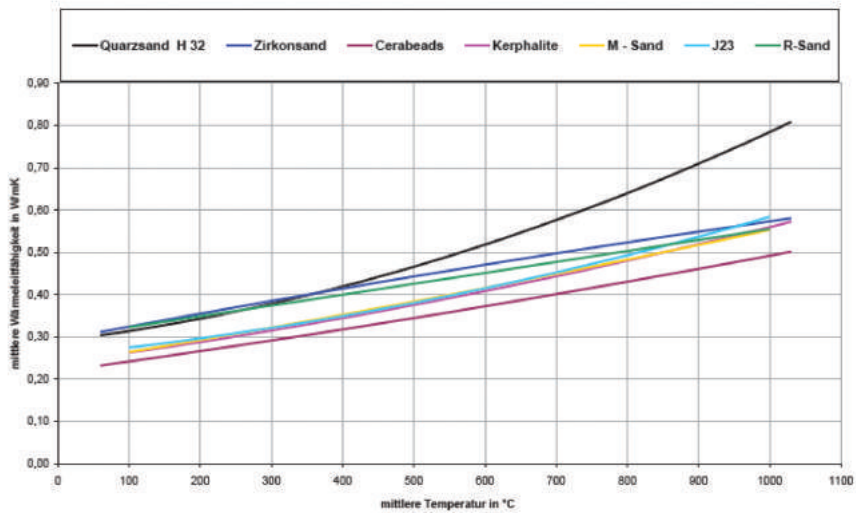
Termal İletkenlik

Termal iletkenlik katsayısı (λ), ısının malzemeye yayılma hızını ölçer. Normalde termal iletkenlik sabit metot adı verilen geometrik şekle sahip deney numuneleri ile ölçülmektedir. Bu metot sayesinde değişen sıcaklıklarda malzemenin yüzeyindeki hacimsel ısı akısı da ölçülebilmektedir. Bu deneyde panel testi veya boru testi gibi basit geometrik şekle sahip deney numuneleri kullanılmaktadır. Q , q yüzeyindeki dikey ısı akısını gösterirken, T_1 ve T_2 sıcaklıkları da q yüzeyinde değişen sıcaklıklardır. $Q_t = \lambda \cdot q \cdot \Delta T$ (k J/ h) $Q_t = q \cdot \Delta T$ (W/mK) veya (kJ/ mhK) termal iletkenlik testi önışlem görmemiş kumlara sabit metotlardan boru testi uygulanarak gerçekleştirilir (Şekil-2). Panel testi ise furanlı reçine içeren bağlayıcı kullanılan önışlem görmüş kalıp kumlarına uygulanır (Şekil-3). Bu testlerin sonuçları bizlere, 100 ile $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ arasında alüminyum silikat içeren kumların düşük değerlere sahip olma eğiliminde olduklarını gösterirken, ağır mineral içeren silis kumların yüksek değerlere sahip olduğunu ispatlamaktadır.

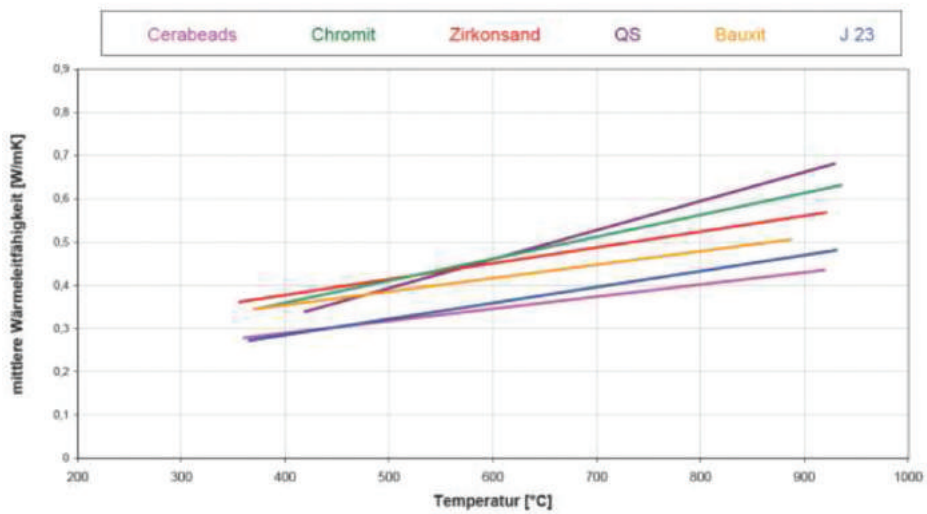
| | 20 - 300°C | 20 - 600°C | 20 - 800°C |
|------------------|------------|------------|------------|
| ■ Silika Kumları | 14 | 23 | 17 |
| ■ J Kumu | 8,1 | 13,7 | 11,5 |
| ■ R Kumu | 8,1 | 8,4 | 8,3 |
| ■ Boksit Kumu* | 6,2 | 7,2 | 7,4 |
| ■ Kromit | 7,1 | 7,5 | 7,5 |
| ■ Kerphalite KF | 5,3 | 6,5 | 7,0 |
| ■ M – Kumu | 4,2 | 4,5 | 4,8 |
| ■ Cerabeads | 3,5 | 4,0 | 4,3 |
| ■ Zirkon | 3,4 | 4,1 | 4,5 |

ÇİZELGE 1 : HA Özel Kumlarının Lineer Uzama Katsayıları

ÖLÇÜM Quarzwerke Frechen, Johann- Friedrich-Bottger Institute, Prüflabor Selb



ŞEKİL 2: Kumların Termel İletkenliği (boru testi)



ŞEKİL 3: Furan reçine ile bağlanmış kumların panel testi sonucunda termal iletkenlikleri

Refrakter Özellikleri

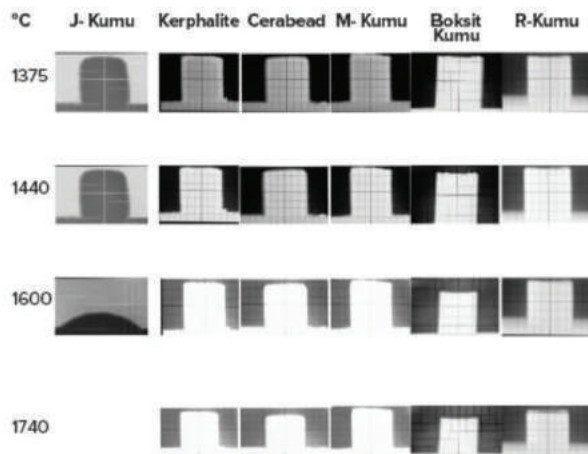
Bu kumlar hiçbir zaman belli bir erime noktasına sahip olmamışlardır. Çünkü ergimeden önce sinterlenme gerçekleşir. Bu malzemelerin kendi karakteristik özelliklerine göre sinterlenme sıcaklık aralıkları ve süreleri farklılık göstermektedir. Sinterlenmenin başlaması ve bitişi akış sıcaklığının başlangıç noktasındaki değişime bağlı olduğu gibi ergime noktasındaki değişime de bağlıdır. Bu değişim heating mikroskoplarda net bir şekilde gözlenmektedir. VDG Merkblatt P 26'ya göre sinterlenmenin başladığı sıcaklık doğal olarak kum tanelerinin birbirine yapışmaya başladığı sıcaklıktır [1]. Kumların termal iletkenlik kapasiteleri DIN 51063 normuna göre çıkarılan pirometrik koni eşdeğeri olarak karakterize edilmiştir.

Özel kumların sinterlenme özellikleri sıcaklıkları 10 K/dk arttırılarak heating mikroskopta gözlemlenmiştir. Şekil 4'te bu deneyin sonuçları yer almaktadır. Feldspatça zengin J-kumu sonuçlarından da görüleceği üzere tipik bir seramiğin sinterlenme davranışına sahiptir. Sinterlenme 1175 °C'de gerçekleşirken, yarım küreleşme sıcaklığı ise 1480 °C ve akma sıcaklığı da 1600 °C'dir. Özel kumlarda sinterlenmenin bittiği sıcaklık ölçülen en yüksek sıcaklık olan 1740 °C'nin üzerindedir. Bu sayede bu kumlar, yüksek sıcaklıklara dayanıklı birer refrakter olarak kullanılırlar. Cizelge-2'de ise bu kumlara ait sinterlenmenin başladığı ve bittiği sıcaklıklar VDG test yöntemine göre ölçülerek verilmiştir. Bu deney, heating mikroskopta gözlenmiş olup Seger'e göre pirometrik koni sıcaklığı kullanılmıştır.

| | | Kerphalite | Cerabeads | M-Kumu | Boksit Kumu | R- Kumu | J-Kumu |
|--|----|------------|-----------|--------|-------------|---------|--------|
| Sinterlenmenin Başladığı Sıcaklık (VDG P 26'ya göre) | °C | 1050 | 1200 | 1275 | 1100 | 1250 | 1150 |
| Sinterlenmenin başladığı sıcaklık (HM'ye göre) | °C | 1660 | 1660 | >1740 | >1440 | >1700 | 1175 |
| Sinterlenmenin bittiği sıcaklık (HM'ye göre) | °C | >1740 | >1740 | >1740 | >1740 | >1700 | 1480 |
| Koni sıcaklığı (Seeger Koni) | SK | >36 | 36 | >36 | 36 | 34 | 17 |
| Referans Sıcaklığı | °C | >1830 | 1800 | >1830 | 1780 | 1760 | 1500 |

ÇİZELGE 2: Özel kumların refrakter özellikler*

*VDG ve Seeger Koni testleri TU Bergakademia Freiberg'in Dokum Enstitüsü'nde gerçekleştirilmiştir. Heating mikroskop testleri (HM) ise Hirschau'da Amberger Kaolinwerke merkezinde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4: Özel kumların sinterlenme davranışları.

Özel Kumları Kullanmanın Sağladığı Avantajlar

Maça yapımında ve kalıp yapımında silika kumlara göre daha iyi fizikokimyasal özelliklere sahip oluşturu özel kumları tercih edilebilir bir hale getirmiştir. Özel kumlar sayesinde hedeflenen kusursuz bir döküm bütün özellikleriyle gerçekleşmektedir:

- Kumların genleşmesinden dolayı kaynaklanan damarlaşma gibi problemlerin önüne geçilmiş olunur.
- Oluşabilecek gaz bileşiklerinin önüne geçilmiş olunur.
- Dökümü yapılan ürüne gazlaşmayı sağlayacak bileşimlerin girmesi engellenir.
- Kalıpla metal ara yüzeyinde etkileşim gerçekleşmesini önlerler.
- Kalıba metal girişini engellerler.
- Maça ağırlığı düşer.
- Kumun akıcılığı artar.
- Mikroyapı oluşumları kontrol altındadır.
- İnce cidarlı döküm mamulleri üretilir.

Hüttenes-Albertus Özel Kumları

| Alüminyum Silikat Esaslılar | Malzeme Çeşidi |
|-------------------------------|--------------------------------------|
| J Kumu | Doğal Mineral karışımı |
| Kerphalite KF | İşlem görmüş doğal mineraller |
| Cerabeads | Sinterlenmiş seramik malzemeler |
| Chamotte | Sinterlenmiş seramik malzemeler |
| M Kumu | Oksitli bileşik içeren seramikler |
| Boksit Kumu | Oksitli bileşik içeren seramikler |
| Ağır Mineral İçerenler | |
| R Kumu | İşlem görmüş doğal mineraller |
| Teknik Seramikler | |
| SiC | Oksitli bileşik içermeyen seramikler |

Özel Kumların Karakteristik Özellikleri

| J- Kumu | |
|--|---|
| Mineralojik İçeriği | 48,5% feldspat + 47,5% kuvars |
| Özgül Ağırlığı | 2,66 g/cm ³ |
| Birim Ağırlığı | 1,47 g/cm ³ |
| Refrakter Özelliği | SK 17 = 1500°C |
| Lineer Termal Genleşme Katsayısı (α) (20–600 °C) | 12,5 – 137 |
| Isı İletkenliği (100–1000 °C) | 0,3 – 0,6 W/mK (panel testine göre) |
| Fractions AGS | 0,17; 0,20 ; 0,23 ; 0,28 ; 0,33 |
| Fractions GFN | 90; 70; 65; 55; 50 |
| Tane Yapısı | Yuvarlak köşeli |
| Maça Üretiminde Kullanıldığı Prosesler | Cold Box (soğuk kutu); Shell prosesinde (kabuk kalıba döküm yöntemi) Carbophen kumu; Resan. |

| Kerphalite KF | |
|--|---|
| Mineralojik İçeriği | Andalusit |
| Özgül Ağırlığı | 3,13 g/cm ³ |
| Birim Ağırlığı | 1,55 g/cm ³ |
| Refrakter Özelliği | SK 36 > 1830°C |
| Lineer Termal Genleşme Katsayısı (α) (20–600 °C) | 6,5 |
| Isı İletkenliği (100–1000 °C) | 0,26 – 0,55 W/mK (panel testine göre) |
| Fractions AGS | 0,17; 0,23; 0,28 |
| Fractions GFN | 90; 60; 55 |
| Tane Yapısı | Köşeli Tane |
| Maça Üretiminde Kullanıldığı Prosesler | Bütün bağlayıcı ajanlarla birlikte kullanılır |

| Nalgai Cerabeads™ | |
|--|---|
| Mineralojik İçeriği | Müllit (sinterlenmiş müllit) |
| Özgül Ağırlığı | 2,86 g/cm ³ |
| Birim Ağırlığı | 1,56 g/cm ³ |
| Refrakter Özelliği | SK 36 = 1800°C |
| Lineer Termal Genleşme Katsayısı (α) (20–600 °C) | 4,0 |
| Isı İletkenliği (100–1000 °C) | 0,24 – 0,50 W/mK (Panel testine göre) |
| Fractions AGS | 0,11 ; 0,23 ; 0,38 |
| Fractions GFN | 110 ; 65 ; 42 |
| Tane Yapısı | Yuvarlak |
| Maça Üretiminde Kullanıldığı Prosesler | Cold Box (soğuk kutu); Shell prosesinde (kabuk kalıba döküm yöntemi) Carbophen kumu; Resan. |

| Boksit Kumu | |
|--|---|
| Mineralojik İçeriği | δ* -Al ₂ O ₃ |
| Özgül Ağırlığı | 3,31 g/cm ³ |
| Birim Ağırlığı | 2,0 g/cm ³ |
| Refrakter Özelliği | SK 36 = 1780°C |
| Lineer Termal Genleşme Katsayısı (α) (20–600 °C) | 7,2 |
| Isı İletkenliği (100–1000 °C) | 0,35 – 0,50 W/mK (panel testine göre) |
| Manyetik Özellikleri | Var |
| Fractions AGS | 0,23 |
| Fractions GFN | 65 |
| Tane Yapısı | Yuvarlak |
| Maça Üretiminde Kullanıldığı Prosesler | Bütün bağlayıcı ajanlarla birlikte kullanılır |

| R- Sand | |
|--|---|
| Mineralojik İçeriği | Rutil |
| Özgül Ağırlığı | 4,23 g/cm ³ |
| Birim Ağırlığı | 2,42 g/cm ³ |
| Refrakter Özelliği | SK 34 = 1760°C |
| Lineer Termal Genleşme Katsayısı (α) (20–600 °C) | 8,4 |
| Isı İletkenliği (100–1000 °C) | 0,32 – 0,56 W/mK (pipet testine göre) |
| Fractions AGS | 0,18 |
| Fractions GFN | 75 |
| Tane Yapısı | Yuvarlak |
| Maça Üretiminde Kullanıldığı Prosesler | Cold Box; Kabuk kalıba döküm prosesinin kumlarında; Pentex; Carbophen; Resan. |

| Chamotte | |
|--|---|
| Mineralojik İçeriği | Müllit, kristobalit. (cam fazında) |
| Özgül Ağırlığı | 2,67 g/cm ³ |
| Birim Ağırlığı | 1,20 g/cm ³ |
| Refrakter Özelliği | SK 35 = 1780°C |
| Lineer Termal Genleşme Katsayısı (α) (20 - 600 °C) | 4,8 |
| Isı İletkenliği (100 - 1000 °C) | 0,25 – 0,50 W/mK (pipet testine göre) |
| Fractions AGS | 0,31 |
| Fractions GFN | 47 |
| Tane Yapısı | Köşeli tane |
| Maça Üretiminde Kullanıldığı Prosesler | Kabuk kalıba döküm prosesinin kumlarında; Pentex; Carbophen; Resan. |

| SiC | |
|--|---|
| Mineralojik İçeriği | Silisyum karbür |
| Özgül Ağırlığı | 2,67 g/cm ³ |
| Birim Ağırlığı | 1,60 g/cm ³ |
| Refrakter Özelliği | >36 = >1830°C |
| Lineer Termal Genleşme Katsayısı (α) (20 - 600 °C) | 4,7 |
| Isı İletkenliği (100 - 1000 °C) | 0,3 – 0,70 W/mK (panel testine göre) |
| Fractions AGS | 0,18; 0,30 |
| Fractions GFN | 72; 50 |
| Tane Yapısı | Köşeli tane |
| Maça Üretiminde Kullanıldığı Prosesler | Bütün bağlayıcı ajanlarla birlikte kullanılır |

Özel Kumlar ve Bağlayıcılar

Özel kumlar yüzey özelliklerine ve tane boyutlarına göre çok farklı karakteristik özellikler gösterirler. Yüzey özelliklerinin ve tane boyutunun su tutma kapasitelerine yaptıkları etki incelendiğinde bağlayıcıların belirli bir eğme mukavemetine sahip olmaları gerektiği anlaşılmaktadır. Çizelge-3'te özel kumların su tutma kapasiteleri yüzde olarak verilmiştir. Silis kumu olan H32'ye baktığımızda ise düşük viskozitenin istendiği soğuk reçine türünde bağlayıcıların kullanıldığı döküm proseslerinde talep edildiğini görmekteyiz. Bu kumların su tutma özelliklerini bir kenara bırakacak olursak yüzey gözeneklilerinde ve bağlayıcılık karakterlerinde öneme sahip olduklarını görmekteyiz. Kumların bağlayıcılık özelliklerinin tane yüzeyinin fiziksel özelliklerine ve pH'ına bağlı olduğu görülmektedir.

| Özel Kum Çeşitleri | Su tutma kapasitesi [%] |
|--------------------|-------------------------|
| J Kromit kumu | 0,15 |
| Zirkon kumu | 0,18 |
| SiC | 0,19 |
| M-Kumu | 0,25 |
| Boksit Kumu | 0,27 |
| J-Kumu | 0,45 |
| R-Kumu | 0,62 |
| Kuvars Kumu (H 32) | 0,77 |
| Kerphalite KF | 0,84 |
| Cerabeads 650 | 1,11 |
| Chamotte Kumu | 1,46 |

ÇİZELGE 3: Kalıp Kumlarının Su Tutma Kapasiteleri*

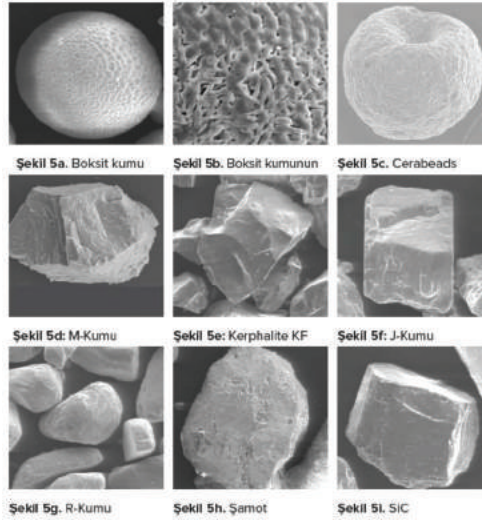
* Bu veriler TU Bergakademia Freiberg'in Dokum Enstitüsü'nden alınmıştır.

Şekil-5a'yı incelediğimiz zaman boksit kumlarının özel yüzey kalitesi sayesinde bağlayıcılık özelliklerinin geliştiği ve bu sayede daha az bağlayıcı miktarı kullanarak diğer kumlara nazaran daha verimli bir bağlayıcılık özelliğine sahip olduğu görülmektedir.

Çizelge-4'te ise döküm sanayiinde çeşitli bağlayıcılarda kullanılan özel kumlar gösterilmiştir. Bu sıralamadaki en baştaki kumlar kullanıldıkları bağlayıcılarda en verimli özellik gösteren ve en ucuz olanlarıdır.

| Kabuk Kumları | Cold-Box | Cold Resin | Warm-Box | Bentonit |
|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Cerabeads | J-Kumu | Boksit kumu | Cerabeads | Boksit kumu |
| Kerphalite KF | Boksit kumu | Kerphalite KF | Kerphalite KF | Kerphalite KF |
| J-Kumu | Kerphalite KF | | Boksit kumu | |
| Boksit kumu | M-Kumu | | M-Kumu | |
| R-Kumu | Cerabeads | | J-Kumu | |
| Şamot | R-Kumu | | | |
| SiC | SiC | SiC | SiC | |

ÇİZELGE 4: Kalıplama için kullanılan özel kumlar



Şekil 5a-5i özel kumların tane yüzeylerinin yapısını göstermektedir. Örneğin şekil-5a ve 5b'de görülen boksit kumunun özel bir tane yüzey yapısı mevcuttur. Bu yüzey özelliği yüksek bağ enerjisine sahip olmak gibi çok büyük bir avantaj sağlayarak, iyi bir bağ elde edilmesini sağlar. Böylece bu kumun kullanıldığı durumlarda daha az bağlayıcı kullanılarak prosesin maliyeti düşürülüp verimi artırılmaktadır. Şekil-5c'de görülen Naigai Cerabeads™ kumları dokulu bir yüzey özelliğine sahiptir fakat bu da yüzeye belli bir porozite kazandırmaktadır. Şekil-5d ile 5f arasında görülen M-Kumu, Kerphalite KF ve J-Kumu taneleri ise görece daha pürüzsüz bir yüzey yapısına sahiptir. Şekil-5g'de görülen R-Kumu ise dokulu bir yüzeye sahip olmasına karşın Şekil-5h'de görülen şatom kumunun yüzeyi gözeneklidir. Şekil 5i'deki silisyum karbür kumunun ise yüzeyi pürüzsüzdür.

Şekil 6a ile 6h arasındaki özel kumların tane şekillerine baktığımızda, Şekil 6c'de görülen Naigai Cerabeads™ ve Şekil 6e'de görülen boksit kumu çok düzgün dairesel yüzeylere sahiptir. Oysaki Şekil 6f'deki R-Kumu orta düzeyde küreselliğe sahiptir. Şekil 6b ve Şekil 6d'de görülen Kerphalite KF ve M-Kumları köseli bir tane yapısına sahipken, Şekil 6g ve Şekil 6h'deki şamot ve silisyum karbür kumları ise çok keskin bir köseli tane yapısına sahiptir.



Şekil 6a ile 6h arasındaki özel kumların tane şekillerine baktığımızda, Şekil 6c'de görülen Naigai Cerabeads™ ve Şekil 6e'de görülen boksit kumu çok düzgün dairesel yüzeylere sahiptir. Oysaki Şekil 6f'deki R-Kumu orta düzeyde küreselliğe sahiptir. Şekil 6b ve Şekil 6d'de görülen Kerphalite KF ve M-Kumları köşeli bir tane

yapısına sahipken, Şekil 6g ve Şekil 6h'deki şamot ve silisyum karbür kumları ise çok keskin bir köşeli tane yapısına sahiptir.

Özel Kumların Kullanıldığı Döküm Çeşitleri

Belli döküm yöntemlerinde özel kumların kullanımı, döküm hatalarından kaçınmak ve dökümü yapılan malzemenin yüksek sıcaklığa dayanabilmesini sağlamak için hayati öneme sahiptir.

- Çelik Döküm: Yüksek döküm sıcaklığından ötürü yukarıda bahsettiğimiz J-Kumu dışındaki bütün özel kum çeşitlerinin bu tip dökümlerde kullanılması uygundur. Bu özel kumların en önemli özelliği; yüksek refrakter karakterine sahip olduklarından dolayı metal ile kalıp kumu arasındaki reaksiyon oluşma eğilimini en az indirmektedir. Böylece döküm esnasındaki yüksek sıcaklıklarda metalin kalıba penetre olmasını engeller.
- Gri Dökme Demir: Otomotiv sektörü için döküm malzemesi üretiminde sıkça görülen damarlaşma problemi bu kumlar sayesinde önlenmektedir. J-Kumu özellikle cold-box yönteminde gaz oluşturuca bileşimler yerine düşük maliyetli bir alternatiftir. Hidrolik parçaların dökümüne, Cerabeads (KeraCron®) ve Kerphalite KF özel kumları içeren kalıp bileşimlerinin daha iyi özellikler kazandırdığı yapılan testler sonucunda kanıtlanmıştır.
- Demir-Dışı dökümlerde boksit kumu ve silisyum karbür kumu kullanılarak demir-dışı metallerin dökümü esansında oluşan mikro-yapılar kontrol altında tutulmaktadır.
- Ağır Metallerin dökümünde kullanılan M-Kumu sayesinde damarlaşmanın önüne geçilip, metalin kalıba penetrasyonu engellenmiş olur.
- İnce cidarlı kalıpların kullanıldığı döküm işlemlerinde Cerabeads, Şamot ve J-Kumları sayesinde düşük termal iletkenlik sağlanarak kalıpta yüksek yalıtıklanlık sağlanmış olur.

| Çelik Döküm | Gri Dökme Demir | Demir-Dışı dökümlerde | Ağır Metallerin dökümünde |
|---------------|-----------------|-----------------------|---------------------------|
| Cerabeads | J-Kumu | J-Kumu | M-Kumu |
| M-Kumu | Kerphalite KF | Kerphalite KF | Kerphalite KF |
| Kerphalite KF | Boksit kumu | Cerabeads | Cerabeads |
| Boksit kumu | Cerabeads | M- Kumu | Boksit kumu |
| R-Kumu | M-KUMU | Boksit kumu | |
| SiC | R- Kumu | R- Kumu | |
| | Şamot | SiC | |
| | SiC | | |

ÇİZELGE 5: Özel Kumların çeşitli döküm yöntemlerine uygulanmaları

SONUÇ

Devam eden küreselleşme süreci ve yeni teknolojilerin dünyada yaygın hale gelmesiyle birlikte döküm endüstrisinde de ileri teknoloji kavramı yerleşmiştir. Böylelikle ileri teknolojik ürünler üretilerek sanayideki kullanıcıların hizmetine sunulmaktadır.

Yukarıda bahsettiğimiz özel kumlar kendilerine has özellikleri sayesinde günümüzde artık çok karmaşık geometrik şekle sahip dökümü yapılan parçaların bile üretilmesini kolaylaştırmaktadır ve neredeyse hiç döküm sonrası işleme (tesviye vb.) gerek duyulmamaktadır.

Kaynakça

[1] VDG-Taschenbuch 11. Formgrundstoffe, Giesserei-Verlag GmbH

[2] O. W. Flörke: Fortschr. Mineral. Stuttgart, Juni 1997 Modifikationen des SiO₂

YAŞ KALIPLAMA KUMU TESTLERİ VE DÖKÜMDEKİ ETKİLERİNİN İRDELENMESİ

Cihan AKTOLGA

S&B Endüstriyel Mineraller A. Ş. İstanbul Türkiye

Bir dökümhane hergün yüzlerce ton kalıplama kumu hazırlamaktadır, bu hazırlanan kumun kalitesinin dökümü yapılan parçalara etkisi tartışılmayacak kadar büyüktür . Sadece bir kaç gram kumdan yapılan kalıp kumu testleri yüzlerce kalıbın ve dolayısıyla dökümün kaderini belirlemektedir Bu yüzden bu testlerin en doğru şekilde yapılması ve değerlendirilmesi gerekmektedir.

Anahtar kelimeler : Kalıp kumu analizleri, döküm hataları, k um bileşenlerinin etkileri

Green sand foundries are producing more than hundreds of mixer – tons of moulding mixtures. The quality of the green molding sand has a huge impact on the casting quality as well. The tests that are done out of a few grams of sand effect those hundreds of molds and so castings, therefore these tests should be performed correctly and evaluated properly.

Keywords: Moulding sand analyses, casting defects, effect of moulding sand components.

Giriş:

Kalıp kumu testleri dökümhanelerin az ya da çok sayıda yaparak, detaylı olarak inceleyerek, kumun çeşitli cihazlar ve methodlarla ölçülerek idare edilmesini sağlamaktadır. Bunlar uzun dönemdir kullanılan cihazlar ve metodlar olmasına rağmen eski usuller, elle kontrol bu gibi çalışmalarda hala katkı verebilmektedir. Ancak bir mühendislik çalışmasının parçası ve takip edilebilir bir proses için bir yönetim gerekmektedir, yönetim içinse bir ölçüm olması şarttır.

Deneyler ve değerlendirmeler

Kompaktabilite: Yaş kalıplama kumunda ilk ölçülmesi gereken özelliklerin başında kompaktabilite sıkıştırılabilirlik gelmektedir. 100mm boyundaki bir tüp içerisine (10 milimetrelik bir elekten geçirilen) serbest olarak düşürülen kumun test cihazına bağlı olarak; 3 çekiç darbesi, pnömatik ya da hidrolik olarak yük uygulanması sonucunda yaşadığı nihai hacim değişikliğinin ilk haline oranla farkı olarak nicelik kazandırılan bu test, yaş kalıplamanın ilk ve en geçerli ölçümüdür. Sonuç değil ama hedef olarak verilebilen tek değerdir. Kalıplama cihazının, dökümü yapılacak parçanın modelinin, kum şartlarına göre değişebilecek bir hedef belirlenir ve kumda diğer parametrelerin bu hedefi yakalaması için değişiklikler yapılabilir. Bu değişiklikler su ilavesi, aktif kil seviyesi, karışım süresi olabilmektedir. Parametrelerin ne kadar değişmesi gerektiğine ise gene kum içerisindeki aktif kil miktarından, toz miktarına, tane iriliğinden, mikser giriş sıcaklığına kadar bir çok etken bulunmaktadır. Bu konu edilen değişkenlerin hepsi aynı zamanda kalıplama esnasında ulaşılan kompaktabilite değerinin hatta kalıplama makinasına taşınımı esnasında da etkili olacaktır. Örneğin mikserden sıcak olarak çıkmış bir kalıp kumu, tesise girene kadar buharlaşarak kompaktabilitesini kaybederek, preste problemler yaratabilmektedir.

Nem değeri: Kompaktabilite değerine en önemli derecede etki eden parametrelerin başında gelmektedir. Kontrolü, kumun tesis içinde taşınmasından, sarsak performansına, ve önemlisi parça yüzey kalitesine kadar etkisinden dolayı çok önemlidir. Ölçümü, 100 120C civarında sabit ağırlık ulaşılan kadar fırında veya bir ısıtıcı kaynağıyla yapılabilir. Farklı cihazlar, farklı sonuçlar elde edebilmekte ancak cihazın kendi içerisindeki tutarlılığı daha önemlidir.

- Optimal nem değeri temper nemi, yani mukavemetlerin en yüksek seviyede yakalandığı nemden bir miktar yüksek olmasıdır. Bahsediliği gibi kum sisteminde mikserden, kalıplama tesisine kadar olan hareketlerde kaybedilecek neme bağlı olarak şekilde gösterildiği şekilde mukavemetler değişecektir. Temper seviyesinin üstünde olması mukavemetlerin düşmemesi aksine en yüksek olduğu noktaya gelmesini sağlamaktadır.
- Aşırı nem oranıyla beraber kalıplama esnasında yeterli plastiklik sağlansa bile yapışmalar görülebilir.
- Nem dengesi model boşluklarının doldurulabilmesi için yeterli akışkanlığı da sağlaması gerekmektedir.
- Her ne kadar sistemde mevcut olan serbest nem miktarı ölçümü yapılamasa da ölçümü yapılan toplam nem miktarı olarak da gaz hatalarının oluşumuna risk teşkil etmektedir. Minimum nem seviyesi gaz hatalarının oluşumu için tercih sebebidir.
- Artan nem miktarıyla birlikte eşi olmayan sıkışmalar yaşanabilmektedir, bununla birlikte kalıp kumlarında artan nem miktarı kuru basma mukavemetlerini arttırmakta, sarsakta parça kum ayrımı yapılırken dağılmayan parçaları tetikleyebilmektedir.

Numune ağırlığı: Bobin ağırlığı, standart numune gibi terimlerle de ifade edilebilen bu ölçüm, aslında standart numunenin (şekilde gösterilen 50 mm çapındaki tüplerde 50 mm boy) oluşturulması esnasında yakalanan gramaj olarak tespit edilmelidir. Bu herhangi bir şekilde sabitlenmiş değer değildir. Her ölçümü yapılan test numunesinde farklı olabilmektedir. Amaç 50mm boyundaki numuneyi standart sıkıştırma şartlarında (3 çekiç darbesi, ya da pnömatik, hidrolik sıkıştırıcı yeterli bası

ncın sağlanmasıyla) yakalanmasıdır. Ölçülen değer ise bu sabit sıkıştırma şartlarında ne kadar kum ihtiva ettiği. Değerin değişmesiyle birlikte kalıp kumunun derece içerisindeki yoğunluğuyla ilgili de bilgi alabiliriz. Tercihan bu değerlerin 145 gramın üstünde olması beklenmektedir.

Numune ağırlığı arttıkça, birim hacimde daha çok silis tanesinin var olacaktır. Yoğun bir biçimde yer alan silis taneleri birbirlerine daha yüksek nicelikte t emas sağlayacak ancak döküm esnasında sıvı metalin yapacağı basınca karşı da daha az boşluk vererek yüzey kalitesini arttıracaktır.

Aynı şekilde daha yakın temas halinde olan kum taneleri basma mukavemeti gibi mukavemet değerlerini de olumlu etkileyecektir.

Yaş mukavemetler bentonit bağlı kumun kalıplamaya hazır olduğu andaki mukavemetlerini temsil etmektedir. Kum mikserden çıkmış gerekli bentonit, kömür tozu ve su gibi ilaveleri yapılmış dereceye doldurularak sıkıştırmaya maruz kalacaktır. Bu sıkıştırma esnasında ve modelin kumdan ayrılması esnasındaki ve sıvı metalin ilk döküldüğü andaki ihtiyaç arz eden dayanımlar yaş mukavemetler olarak tanımlanır.

Yaş basma mukavemeti çok farklı makinaların, teknolojik olarak farklı yöntemler kullanmasına (hidrolik, pnömatik, elektrikli motor gibi) rağmen temelde yaptığı iş önceden bahsedilen 50 x 50 ölçülerinde silindirik numunenin 2 uç kesitinden yük uygulamak olacaktır. Her cihazın kendi içerisinde tutarlı sonuçlar vermesi burda da en önemli parametrelerden biridir.

Yaş basma mukavemetinin kritik olarak nitelendirilebildiği durumların başında, kalıbın ilk hazırlandığı ve hatta sürüldüğü esnada gerçekleşmektedir. Kalıp öncelikle kendi ağırlığını taşıyabilmelidir. Dikey hatlarda kalıpların birbirlerine döküm öncesi ve sonrası yapacağı basınçlar, yaş basma mukavemetine bağlı olarak kalıplama performansını etkileyecektir. Sıvı metal döküm anından itibaren döküm yüksekliğine bağlı metalostatik basınç, metalurjik genleşmelerin yapacağı basınç gibi etkiler kalıbın genişlemesine, kalıp bütünlüğünün bozulmasına ve sıvı metal kaçırılmalarına sebebiyet verebilir.

Yaş Kesme Mukavemeti: Hazırlanan standart numuneye gene dik bir biçimde yan yüzeylerinden, aynı eksende ters yüklere ve yükün karşılığının olmadığı şekilde yapılan ölçüme kesme mukavemeti denir. Kesme mukavemeti kalıba gelebilecek olan darbe ya da sıvı metalin yaratacağı akışa karşı dayanımı niteler. Aynı olgu farklı tip uygulama çeneleriyle anlatılabilir. Uygulamada çift çapraz kesme çenesi test ölçüm manometresinde en dış skalada görülen sonucun 2'ye bölünmesiyle elde edilir.

Ayırma Ezme Mukavemet: Tıpkı basma mukavemeti gibi düz çenelerle numuneye yapılan sıkıştırma hareketiyle ölçümü yapılır ancak bu test numunede silindirik yüzeyde yapılarak numunenin ezilmesiyle gerçekleşir. Aynı anda basma mukavemeti, kesme mukavemetleri de gerçekleştiğinden direk alınan değer kadar basma mukavemetiyle olan ilişkisi de değerlendirilmelidir. Ezme mukavemetinin basma mukavemetine oranını, kumun plastisitesini verir. Bu değer 15% üzerinde olması beklenir. Kalıpta özellikle model ayrılması esnasında yaşanabilecek koparmalar bu test sonucunun düşüklüğüyle ilişkilendirilebilir.

Değerlerin Okunması: Bütün bahsedilen yaş mukavemetler geleneksel test cihazlarıyla yapılabilir. Günümüzde bu sonuçlar dijital ekranlı cihazlardan alınmakla beraber halihazırda kullanımda olan manometreli cihazlar dökümhanelerde mevcuttur. Bu cihazların ölçümleri sağlıklı olmakta ancak hangi değer hangi skaladan okunacağı konusunda zaman zaman karışıklıklar yaşanmaktadır. Farklı yanlış skaladan okunmalar kendi içerisinde bir düzen sağlasa da, diğer dökümhanelerde ve kabul görülen literatürlerle yapılan kıyaslama yapıldığında prob lem sağlayacağı aşikardır.

Dış skala : Yaş Kuru basma mukavemeti
Orta skala : Yaş Kesme, ezme ayırma mukavemeti
İç skala : Maca mukavemetleri

Etki eden faktörler: Yaş mukavemetler ve diğer tüm mukavemetleri kalıp kumuna eklenen bentonit su ikilisi kontrol etmektedir. Mukavemet bentonit ilişkisi farklı bentonit tiplerine, kum kalitesine göre değişse de hepsinde ortak olarak gözlenebilecek davranış bentonit artışıyla mukavemetlerin artmasıdır. Su ilavesiyle ile daha önce de bahsedilen temper seviyesi kontrol edilebilme ktedir. Genel olarak yüksek bentonit içeriği daha yüksek nem ihtiyacı doğuracağından kontrol altında tutulması gerekmektedir. Aynı bentonit ilavesinde de farklı kompaktabilite nem seviyesinde farklı mukavemetler yakalanabilmektedir.

Bentonit ve su miktarına ilave olarak bir diğer etken karışma verimliliğidir. Bentonit plakalarının kalıp kumu içerisinde daha iyi dağılmasıyla birlikte daha çok yüzey alanı ve bağ köprüsü kurulabileceğinden mukavemetler doygunluk anına kadar karışma süresiyle artmaktadır. Bu noktadan sonra yapılan karışımlarda verimsizlik problemleri baş gösterebilir, hatta ısınan kumda yaşanabilecek kurumalar bentonit etkinliğini düşürerek mukavemetlerde azalmalar görülebilir.

Islak çekme mukavemeti : Kalıp kumu testleri arasında döküm şartlarının en güzel temsillerinden biridir. Cihazı diğer testlere kıyasla farklı ve özeldir. Standart numune şartlarında (numune ağırlığı tespit edilerek) özel tüpüne ilave edilir. Test, konik bir koparma çentiği olan sıkışmış kum numunesini 300 derecede yüzeyinden ısıtarak, yüzeyden içerde bir yoğunlaşma bölgesi oluşturur. Tam da adında bahsedildiği gibi bu bölge ıslak bir halde ik en çekme kuvvetleri uygulanır ve ölçülen sonuca ıslak çekme mukavemeti denir. Bu değer tercih en 0,25 N/cm² üzerinde olması beklenir. Bu değer altında döküm şartlarına da bağlı olarak dart hataları, sıçan kuyruğu gibi termal hatalar gözlemlenebilir. Bentonit ilave miktarı burda her zaman olduğu gibi en büyük etkenlerden biri olmasına rağmen, ıslak çekme mukavemeti bentonitin karakterine çok bağlı bir değerdir. Yukarıda bahsedilen hatalar gözlemlendiğinde öncelikle bentonit kalitesi sorgulanmalıdır.

Islak çekme mukavemeti, diğer mukavemet testlerinde çok daha farklı olduğu test methodu olarak direkt olarak dart hatası, termal hatalara istinaden yapıldığından bahsedilmiştir. Döküm parçası da aslında aynı bu test ortamındaki oluşumlara maruz kalmaktadır.

Döküm kalıbına sıvı metalin dolmaya başlamasıyla birlikte kalıp kumu bölgesel olarak radyan ısıya maruz kalacaktır. Bu ısı test cihazında da simule edilmiştir. Kalıp kumu doğası gereği nem içermekte ve bu nem buharlaşarak üst katmanlara ilerlerken soğumakta ve tekrar sıvı hale dönüşerek zayıflıklar yaratmaktadır. Tam da bu bölgede yaşanan kopma, kırılma, düşme gibi hatalar dart hataları olarak nitelendirilmektedir.

Gaz geçirgenliği : Kalıp boşluğunda bulunan gazların dökümün yaratacağı sıvı ve sıcaklık basıncıyla birlikte tahliyesini nitelendirmektedir. Temel olarak test tüpü içerisindeki standart numunenin içinden geçecek olan havanın bir ölçüsüdür. Elde edilen sonuçlar döküm şartlarına göre değerlendirilmelidir. 40cm/s gibi değerler aşırı düşük ve 150 üstü değerler genel olarak aşırı yüksek kabul edilebilir.

Kalıp içerisindeki gaz geçirgenliğine etki eden en önemli parametre kalıp kumunun özellikleridir. Genel olarak ince taneli kumlar geçirgenliği azaltırken, tanelerin yuvarlak olması da temas yüzeyini arttırarak geçirgenliği düşürecektir. Bununla beraber kum içerisindeki nem miktarı bentonit miktarına da bağlı olarak geçirgenliği arttırabilir. Bu kumun karakteristiğini verirken nihai olarak kalıp geçirgenliğini kalıp sıklığı da etkileyecektir.

Aktif kil testi : Kalıp kumu içerisinde bentonit 2 formda bulunabilir. İlave edildiği silis kumlarına tutunarak bağ kurabilen aktif kil formunda ve dökümün döngüsü içerisinde sıcak metalin yaratacağı tahribata uğrayarak ölü kil şeklinde. Kum sistemi yöne ticisinin bu 2 bilgiyi de bilmesi gerekirken mukavemetleri ilk olarak aktif bentonit miktarını tayin ederek kontrol edebilir. Bu ölçümü yapabilmek ufak bir teşkilat istemektedir. Sodyum pirofosfat, sülfirik asit, karıştırıcılar ve beherler ve en önemlisi çoğu yerde adını veren metilen mavisile yapılmaktadır. Metilen mavisi, kompleks bir molekül olup suda çözünen ve mavi renk alan bir kimyasal boyadır. Metilen mavisi pozitif yüke sahiptir ve elektrostatik olarak aktif olan bentonite yani aktif bentonite tutunarak miktarı belirlemede yardımcı olur. Test prosedürleri ciddiye alınmalı, ve standardize edilmelidir. Bentonit yapısı gereği karıştırma ve test süresi arttığında tutunum yapmaya devam edecek ve farklı sonuçlar verecektir.

Operatöre çok bağımlı bir test olmakla beraber, doğru sonuçlar için bazı doğrulama referansları ve prosedürün sıkı takip edilmesiyle standardize edilebilir. Bunun için standart kalibrasyon numunelerini üreticiden temin ederek hesaplama tablosu oluşturulabilir. Farklı tayin metodları olsa da aslında bütün testlerin temeli birim bentonit emiliminin tespit edilip toplam emilimin buna oranlanması şeklindedir.

Yanma kaybı testi : Kalıp kumu bileşenleri arasında bir diğer ilave unsuru kömür tozudur. Döküm esnasında yanma gerçekleştirerek parlak karbon, yastıklama, redüksiyon gibi farklı mekanizmalarla döküm yüzey kalitesini iyileştirmek için kullanılır. Ancak diğer hiç bir etkende olmadığı gibi aşırı yükseltilmesi, iyi sonuçlar doğurmaz. Bu yüzden sistem ilave edilen kömür tozu oranı kontrol altında tutulmalıdır.

Kömür tozu oranını yanma kaybı testi ile tayin edebiliriz. 5 gram kalıp kumunun 900C'de 3 saat yakılmasıyla birlikte edilen testin sonucunda kalan miktarın ilk ölçülen orana farkı yanma kaybını verecektir. Her ne kadar kum içerisinde yanma kaybına etki edecek başka ilaveler olsa bile (bentonit, maça reçineleri, diğer kalıntılar) en büyük bileşen kömür tozu olacaktır.

Uçucu testi : Yanma kaybından farklı olarak kömür tozu kalitesine de bağlı olarak kalıp içerisindeki uçucuların miktarını ölçmek için yapılan bir testtir. Temel olarak en büyük etken kömür tozu kalitesi olmasına rağmen tıpkı yanma kaybı testinde olduğu gibi bentonit, maça kalıntıları gibi farklı bileşenlerde bu ölçüme etki edecektir. Bu test yanmayı değil tam tersi ne oksijensiz ortamda oluşabilecek olan hidrokarbon salınımının ölçmektedir. Kalıp içerisindeki oksidasyonun engellenmesi için yeterli karbon salınımına ihtiyaç olacaktır.

Deneysel çalışmalar ve sonuçları:

Teorik bilgi; yaş mukavemetlere silis kumunun etkisi olabileceğinden yukarıda bahsedilmişti. Kalıp kumunun %85'ini oluşturan silis kumunun özellikleri şüphesiz mukavemetlerin de en büyük etkenlerinden biridir, tane boyutlarının azalmasıyla silis taneleri arasındaki temas artacağından yaş mukavemetler artacaktır. Aynı şekilde tanelerin köşeli yapıdan yuvarlak yapıya dönüşmesi kumun sıkışmasını artıracak ve bentonit bağları güçlenecektir.

Yukarıda verilen teorik bilgiye istinaden yapılan görüntülemelerde farklı tane şekillerine sahip silis taneleri görülmektedir. Test bünyesinde reklamasyon tesisine girmeden önce ve kademeli olarak işlem gören kumların görüntülerinde tane temizliği ve şekil değişimi gözlemlenmektedir. Her kademede silis yüzeyleri parlamakta ve şekil yuvarlanmaktadır.

Test ölçümleri, 3 farklı kum tipiyle gerçekleştirilmiştir.

1. Kum Maça Kum A : Dökümhanenin maça üretiminde kullandığı işlem görmemiş yeni kum.
2. Kum Yeni kum B : Imerys laboratuvarlarında yapılan tüm testlerde kullanılan F32 kodlu standart kum. (Bu kum muadil kumlara göre Türkiye şartlarında hep daha yüksek mukavemetler sağlamıştır)

3. Kum Reklama edilmiş kalıp kumu : Kalıp kumunun reklamasyondan çıktıktan sonraki halini temsil etmektedir.

Deney sonuçlarında da görüldüğü üzere;

1. Tane boyut dağılımının olduğu kadar tanelerin şeklinin de mukavemetlere etkisi gözlenmektedir.
2. Tane şeklinin daha yuvarlak hale gelmesiyle basma mukavemetinde ve ıslak çekme mukavemetinde artış gözlenmektedir, bu kumun bentonitle olan bağ miktarının artmasıyla açıklanabilir.
3. Numune ağırlığı ve geçirgenlikte değişiklikler kumun temas yüzeyinin artmasıyla birlikte daha iyi sıkışarak yoğunluğunun yükselmesiyle izah edilmektedir. Daha yoğun bir kumda numune ağırlığı artacak, bağı olarak geçirgenlik düşecektir.

Kaynakça:

1. Imerys, Yaş Kum Kalıplama El Kitabı (Döküm kalitesini iyileştirici tavsiyeler)
2. Effects of heat and cyclic reuse on the properties of bentonite bonded sand . (Korbinian SCHIEBEL, Guntram JORDAN,, Anders KAESTNER, Burkhard SCHILLINGER,Robert GEORGII, Kai Uwe HESS, Sandra BOEHNKE and Wolfgang W. SCHMAHL)
3. Tüdoksad Eğitim Notları: Kalıp ve Maça kumu Kritik Özellikleri TUDOKSAD 28.04.2015
Nick Richardson Cihan AKTOLGA Bülent Şirin, Adnan Demirel
4. https://cdn.bartın.edu.tr/metalurji/d7ee7cd9_f063_4669_8e1c393503ed6ffb/dokum_teknolojisi_4_hafta.pdf

GLOBAL DÜNYADA YARININ DÖKÜMHANELERİ

Haydar Alpaslan MUHUL*

**Metamak Metalurji Makine Mümessillik Ltd. Şti. İstanbul/Türkiye*

ÖZET

Artan enerji maliyetleri, artan hammadde ve hurda fiyatları ve küresel ekonomi üzerindeki baskılar, üreticileri verimliliği ve işletme maliyetlerini iyileştirmek için yenilikçi çözümler aramaya itiyor. Disa verimliliği arttırmak ve sürdürülebilirliğini sağlamak için özel tasarlanmış çözümlerle yarının dökümhanelerini desteklemeye devam etmektedir. İşletme maliyetini düşürmenin yanı sıra, enerji maliyetlerinden tasarruf konusunda yüksek sonuçlar elde edilmiştir. Bu yazıda Disa mevcut kalıplama makinaları ile Endüstri 4.0 kapsamında yaptığı geliştirmeler incelenmiş ve açıklanmıştır.

1. KALIPLAMA MAKİNALARI

1.1. Disamatic

DISA dikey kum kalıplama makineleri; hız, kalite, güvenilirlik, uygun maliyetli üretim ve çalışma ortamı için standardı belirler.

Yatay kalıplama teknolojisi yer kaplar ve insan gücünü birbirine bağlar, daha yavaştır ve döküm başına maliyeti daha yüksektir. DISAMATIC dikey kalıplama, modern, güvenli bir çalışma ortamı ile birlikte yüksek kaliteli, daha hızlı döküm üretimi sağlar.

Tüm dünyada 1.430'dan fazla dökümhane, çok çeşitli tipte ve boyutlarda üretim için DISAMATIC kalıplama makineleri kurmuştur.

- 500 x 400mm ile 1200 x 1050 mm arasında kalıp boyutları mevcuttur
- Verimliliğinizi optimize etmek için üstün çalışma süresi ve güvenilirlik
- Daha az işleme maliyeti ile sonuçlanan olağanüstü kalıp hassasiyeti
- Basit işletme ve bakım için dayanıklı tasarım
- Güvenli, yalın ve temiz olacak şekilde tasarlanmıştır.

1.1.1 Disamatic Modelleri

- DISAMATIC C3
- DISAMATIC D1 ve D3
- DISAMATIC LARGE 240-250-270 ve 280

1.2. Disamatch

DISA MATCH kalıplama makineleri, kısa ve orta vadede, yüksek verimlilikte kaliteli döküm üretiminde uzmanlaşmış ve maksimum çalışma süresi için hızlı kalıp değişimi gerektiren dökümhaneler içindir. Eşsiz DISAMATIC Üfleme / Sıkıştırma mekanizması ile birlikte patentli DISA kalıplama teknolojisi, hızlı kalıp değiştirme süreleri ile sürekli olarak yüksek hızlarda yüksek kalitede döküm ürettiği anlamına gelir.

Dünya çapında kurulu 120'den fazla makineyle DISA MATCH, demir, alüminyum veya diğer alaşımlar için güvenilir bir kalıplama sistemidir.

DISA MATCH, mevcut en iyi ve doğru kontrol edilen kum kalıplama sistemidir. Hızlı, hassas model değişiklikleri ve kullanımı kolay operatör arayüzü ile DISA MATCH, kısa dökümlerde bile, dökümhanelerin döküm başına en düşük maliyeti elde etmelerini sağlar.

1.2.1 Disamatch Modelleri

- DISAMATCH 20/24
- DISAMATCH 24/28
- DISAMATCH 28/32
- DISAMATCH 32/32

1.3 Disaflex

DISA FLEX ileri teknoloji kullanılarak üretilen yatay net bir kalıplama makinesidir. Bu teknoloji, net şekilli dökümlerin yakınında yüksek kaliteli, orta ve ağır üretimi için esnek bir çözüm isteyen dökümhaneler için tasarlanmıştır.

DISA FLEX, benzersiz DISA yüksek basınçlı, çift üfleme ve hidrolik sıkımalı kalıplama tekniğini sert bir makine tasarımıyla birleştirir ve kalıp makinesinde yüksek kalitede dökümlerin karlı üretimi için en iyi koşulları sağlar.

1.3.1 Disaflex Modelleri

- DISAFLEX 70
- DISAFLEX 80
- DISAFLEX 90

2. DÖKÜMHANELERDE SÜRDÜREBİLİRLİK

DISA Uygulama Servisleri, kalıplama ekipmanı sahipleri için global danışmanlık hizmetleri vermektedir.

Dünyanın en iyi dökümhane sorun gidericilerinden oluşan DISA Uygulama Hizmetleri ekibi ile döküm sürecinin tamamı hakkında derin ve geniş bir bilgi birikimi dökümhane performansının tüm yönlerini iyileştirecektir.

DISA veya DISA olmayan, her ölçekteki dökümhane, DISA Uygulama ekibi aşağıda belirtilen ve dökümhanelerde sıklıkla rastlanan problemleri sürdürülebilir şekilde gözden geçirme ve çözme konusunda destek verir.

- Yüksek Hurda Oranları
- Zayıf ve Hatalı Döküm Yüzeyleri
- Düşük verimlilik
- Kaçıklık ve Kum İnküzyonları
- Sıcak Yırtılma, Gaz ve Cüruf

DISA Uygulama uzmanları, bir problemin nedenini makine ayarlarından, kum karışımından ve optimum kalıp yoğunluğundan metal özelliklerine, model tasarımına ve yüzey kaplamasına kadar her detayı değerlendirir daha sonra iyileştirme yolculuğu, test ve ölçüm, öneri ve yönetimde size rehberlik ederler.

Uzmanların, tavsiyelerinin uygulanmasından sonra, dökümhanenin en yüksek performansta çalışmasını sağlayacaktır; düşük hurda oranı, daha hızlı proses veya daha yüksek üretim, daha yüksek verimlilik ve döküm kalitesi, önemli ölçüde kazanç sağlayacaktır.

3. DISA ile ENDÜSTRİ 4.0

3.1 Uzaktan Kumanda ve Yönetim Sistemi

Planlanmamış dökümhane ekipmanı aksama süresi gecikmelere neden olur, maliyetleri arttırır ve müşterileri hayal kırıklığına uğratar. Sorun ciddiye, mühendis gelmeden önce daha fazla zaman ve para kaybedilebilir. Dökümhane kalıplama ekipmanı sahipleri için, DISA Uzaktan İzleme Hizmetleri (RMS) kalıplama hatlarına uzman bir mühendislik değerlendirmesi sunar.

Güvenli bir ağ bağlantısı yoluyla, DISA'nın teknik uzmanları işlem ve makine verilerinizi analiz eder. Bu "görünmez mühendisler" sizi geliştirmekte olan sorunlara karşı uyarabilir, proses performansını optimize etmenize yardımcı olabilir ve acil durumlarda sizi destekleyebilir arıza ve duruş riskini asgariye indirir.

DISA uzmanlığına anında erişim ile maliyet yaratmadan DISA mühendisleri, kalıplama hattınızdan aldıkları verilerle mükemmel şekilde çalışmasını sağlar, yetkili bilgilerinizi işleminize uygular, sizi problemler konusunda uyarır ve size gerçek koruyucu bakım sağlar.

Avantajlar

- Makine veya işlem sorunlarının erken uyarı ile çalışma süresini en üst düzeye çıkarır
- Optimum performans ve kalite için veri odaklı bakış

- Acil durumlarda anında yardım
- Kapsamlı ve düzenli aylık raporlamalar
- Uzman denetimi ile minimum maliyet sağlar

Çalışma Sistemi

Özel DISA yazılımına sahip bir PC, kalıplama hattınızın kontrol sistemine bağlanır, işlem parametrelerini kaydeder ve ardından güvenli bir şekilde RMS merkezimize iletir. Burada veriler güvenli bir şekilde saklanır ve analiz için kullanılabilir hale getirilir. RMS uzak bağlantısı tamamen güvenlidir ve tüm verileri şifreleyen bir sanal özel ağ kullanır. RMS kurulumu, kapsama alanını gerektiği gibi ekstra makinelere uzatma esnekliği ile basit ve hızlıdır.

RMS tarafından depolanan veriler, uzun bir süre boyunca operasyonlarınızın kalıcı bir kaydını sunar. Bu, ekipman sorunları durumunda hayati önem taşıyan süreç izlenebilirliği sağlar.

4. DISA ile VERİMLİLİK ÇALIŞMALARI

4.1 Filtre (Süzgeç) Yerleştirme Robotu

Otomatik Filtre Ayarlayıcı (AFS)

Filtreleri otomatik olarak doğrudan kalıbın içine yerleştiren, sürekli aynı şekilde tekrarlayan ve makine çevrim süresini yavaşlatmayan PLC kontrollü bir robottur. Amaç üretimin hızlı ve sorunsuz çalışmasını sağlamaktır.

Yarı otomatik ve tam otomatik, her iki versiyonda da işler için saatte 70 kalıp üretiminde hızlı bir artış sağlar.

AFS'yi kullanmanın en dikkate değer etkilerinden biri dökümhane kaynaklarının kilidini açmasıdır. Aslında, tam otomatik sürüm, bir tam zamanlı çalışanın çalışma saatini ortadan kaldırır. Bu süre, dökümhanenin etrafındaki diğer, daha fazla katma değerli işler için kullanılabilir.

Tam otomatik filtre çözümünü çalıştırmak 1 operatörü serbest bırakacak ve üretkenliği % 15'e kadar artıracaktır.

4.2 Besleyici ve Maça Yerleştirme Robotu

4.2.1 Besleyici Yerleştirme Robotu (VSF)

DISAMATIC bir makinede izole döküm bölümlerini beslemeyi mümkün kılar ve bu şekilde besleyici kullanarak üretimde verimlilik artırılır.

- Gerektiğinde dökümde besleme hacimleri oluşturma imkanı
- DISAMATIC Hareketli plakasına kolayca adapte edilebilen robot ve pim ayarı
- Besleyici boynunda iyi kalıp sıkıştırma
- VSF ile beslemesi zor dökümlerde DISAMATIC hatlarından tam olarak verim alma
- Yatay hatlar ile karşılaştırıldığında, DISA VSF ile dikey üretim, döküm başına maliyetleri% 15'e kadar azaltabilir.

4.2.2 Maça Yerleştirme Robotu (ACF)

Maçaları otomatik olarak maça maskına ayarlamanıza ve üretim zamanından tasarruf etmek için maça maskalarını değiştirmenize olanak tanıyan özelleştirilmiş bir çözümdür.

- Otomatik Maça Besleyici üretim süresini maksimuma çıkarır
- Tekrarlayan ve ağır kaldırma işlerinin kaldırılması
- Kısaçaların ve maça maskalarının hızlı ve otomatik değişimi
- Masktaki doğru maça ayarı
- Maçaların hem dikey hem de yatay olarak taşınmasını sağlar.

DISA Otomatik Maça Besleyici ile saatte 400 kalıba kadar olan DISAMATIC hızını destekleyebilmektedir.

4.3 Kalıp Kaçıklık Kontrolü (MAC)

Dökümden önce gerçek zamanlı olarak kalıp yanlışlıklarını ölçer, kalıplar dökülmeden önce bile uyumsuzluk problemlerine tepki vermeyi mümkün kılan bir sistemdir.

- Kaçıklık, kalıp birleşmeme ve açıklık hataları, kalıp ezmeleri ve paralellik hakkındaki gerçek zamanlı veriler
- Operatör panelinde gerçek zamanlı veriler
- Gösterge panelindeki geçmiş veriler
- Uyumsuzluk hassasiyeti $<\pm 0,05$ mm
- Kalıp boşluklarında otomatik dökümün durdurulmasını sağlayarak

Yılda 15.000 ton üretimde bu sistem sayesinde kendisini 20 ayda geri ödeyerek maliyetini çıkarmakla beraber yüksek kalitede üretim yapılmasının önünü açmaktadır. MAC sadece iyi ve mükemmel şekilde hizalanmış kalıpların dökülmesini sağlayarak, döküm hassasiyetindeki iyileşme ile birlikte yeniden işleme ve hurdadaki potansiyel düşüş önemlidir. Basit bir cihazdır, ancak arkasındaki yazılım sayesinde devrim niteliğindedir.

4.4 Çiftli Kalıp Otomatik Döküm Sistemi (DIS)

DIS sistemi ile eşi görülmemiş verimlilik artışı sağlamaktadır.

Dikey kalıplamadaki en yeni gelişme, haftada beş gün, üç vardiya halinde yüzde 98'lik bir çalışma süresiyle çalışabilmektedir.

DISA İkili İndeks Sistemi (DIS), kalıplama hızını 430 kalıp saatten 475 kalıp saate taşıyabilmektedir ve bu da verimlilikte yüzde 10 artış demektir.

ISO TS 16949 otomotiv kalite sertifikamız olağanüstü hassasiyet standartları gerektirmektedir. DIS sistemi bizlere yeni bir hassasiyet seviyesi, esneklik ve güvenilirliğin yanı sıra yüksek kapasite, üstün kalite ve sabit performans sunar. Bu faktörlerin hepsi iki şeyi ortaya koymaktadır; eşsiz verimlilik ve karlılık.

5. SONUÇ

Yukarıda açıklamış olduğumuz tüm yenilikler ve geliştirmeler yarının dökümhanelerine yön verecek olup, düşük maliyetlerle yüksek verimli ürünler üretilerek rekabette hem yeni firmaları hem de mevcut firmaları ön sıralara ulaşmasını sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- 1) NoricanGroup "Disa Moulding Solutions" 2016, Danimarka
- 2) NoricanGroup "Digital Solutions" 2018, Danimarka
- 3) NoricanGroup "Brace Disc Presentation" 2015, Çek Cumhuriyeti-

ERKEN EKİPMAN YÖNETİMİ

Hande BİRENGEL* Veysel DURAK*
**Erkunt Sanayi A.Ş. , Ankara, Türkiye*

ÖZET

Şirketler, mevcut durumlarını korumak veya geliştirmek amacıyla çeşitli yatırımlar yapabilmektedirler. Bu yatırımlara örnek olarak tezgâh / makine veya yeni yazılım, ekipman alımlarını gösterebiliriz. Çoğunlukla şirketlerin gelişme isteğiyle yapılan bu yatırımlar, her zaman istenilen şekilde sonuçlanmayabilmektedir. Temel olarak ise, yapılacak yatırıma ait yeterli bilginin öncesinde edinilmemesi, alternatif metodların değerlendirilmemesi, yatırıma ait yedek parça veya sarf malzeme gerekliliklerinin gözetilmemesi yapılan yatırımdan %100 fayda sağlanmasını engellemektedir. Biz bu çalışmada yatırım kararının verilmesinden başlayıp, yatırımın tamamlanıp seri üretimde izleme sürecine kadar geçen zaman diliminde uygulanması gereken adımları tarif ettik. Süreçteki temel amaç, yukarıda anlatılan problemlerin giderilmesi için yapılacak olan yatırıma ait ekipmanın maksimum OEE değeri ve güvenilirlik seviyesi ile, minimum kurulum süresi, kurulum maliyeti, isg ve çevre riski, işletme ve bakım ihtiyaçları ile devreye alınmasını sağlamaktır. Ekipmana ait işletme ve bakım ihtiyaçlarının yatırım öncesinde gözetilmesi ile ekipmana ait salt yatırım maliyeti baz alınarak yatırımın değerlendirilmesini engellerken aynı zamanda şirketi uzun dönemde oluşabilecek görünmeyen maliyetlerden korumaktadır. Erken ekipman süreci işletilmeye başladığı andan itibaren ise, şirket içerisinde elde edilen bilgi ve deneyim, süreç adımları içerisinde knowhow olarak kayıt altına alınmakta ve tespit edilen bilginin uzun dönemde korunması sağlanmaktadır. Son olarak bu süreç, şirketlerin amaçları doğrultusunda ekipmanın ilk maliyeti yerine ömür boyu maliyetinin kıstas alınmasını sağlar ve bu sayede güçlü yatırım kararları alınmış olur.

Anahtar Kelimeler: Erken Ekipman, OEE, Knowhow, Ömür Boyu Maliyet, Sürekli İyileştirme

ABSTRACT

Companies prefer to make investments for both preserving their status and improve themselves. Purchasing a new machine / lathe or software / equipment could be given as an example for those investments. Usually, companies tend to make those investments for improving their processes. However, ineffectually, the result could be undesired. Generally, having lack of information about the investment, not evaluating the alternative methods, not considering the consumable parts or spare parts for the investment initially could prevent gaining 100% favor from the investment itself. In this study basic steps were described for investment process from making the initial decision to serial production follow-up. Main goal in this process is, engaging the investment with maximum level of OEE and dependability grade, minimum installation time & work health-safety and environmental risks, cost and production & maintenance necessities. By evaluating the production and maintenance necessities prior from making the investment, companies can be protected from the negative effects of the unseen costs. Right from the start of the early equipment management process, companies can preserve their knowledge and experience to form their knowhow in the long run. Lastly, this process allows managers and employees to evaluate the investment not only with the initial cost but also with the life cycle cost. Furthermore, with this detailed evaluation, companies can make strong investment decisions.

Key Words: Early Equipment, OEE , Knowhow, Life Cycle Cost, Continuous Improvement

GİRİŞ

Şirketler, karlılıklarını arttırdıklarında büyüyebilmek veya müşteri talebi doğrultusunda istenen durum & koşulları sağlayabilmek adına çeşitli yatırım girişimlerde bulunmaktadır. Küçük veya büyük yapılacak olan her yatırım riskinde karar verme faktöründen doğan bağımsız parametre olan riskin azaltılmasına yönelik çeşitli önlemler almak, şirketleri ekonomik açıdan korumak adına yürütülmesi gereken faaliyetlerdendir. Alınacak bu önlemlerin belirli bir metodoloji ile yürütme sürecine yalın üretim penceresinden bakıldığında ise karşımıza Erken Ekipman Yönetimi adı verilen yaklaşım çıkmaktadır.

Erken Ekipman Yönetimi, bünyesinde zaman yönetimi, kaynak yönetimi, satınalma ve risk yönetimi gibi bir çok konuyu barındırması sebebi ile yapısı gereği karmaşık ve yoğun bir süreçtir.

Sürecin geneline bir proje olarak bakılması ve başarılı planlama yapılması ile şirketlerin nihai amacı olan mantıklı yatırım kararları alınması hedefine ulaşılması mümkündür.

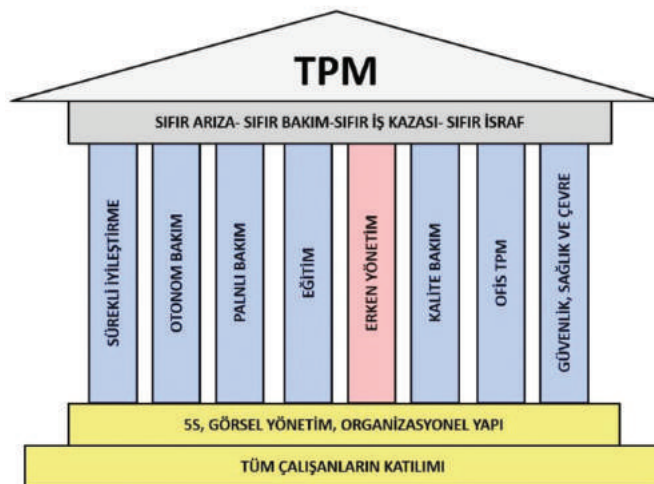
Bu süreçte erken ekipman yönetimi, yatırım maliyeti harici diğer gizli maliyet kalemlerinin oluşma olasılığını, farklı yatırım opsiyonlarının değerlendirilmesi ile minimize eder. Aynı zamanda bu sürecin başarılı uygulanması, şirketlerin verimsiz, bakım ve enerji maliyeti yüksek ekipman, tezgah, makina yatırımlarını engeller. “Ekonomik riskler yüksek olduğunda farklı opsiyonların değerlendirilmesi yapılacak olan yatırım kararları için beklenmedik pozitif sonuçlar doğurabilmektedir.” (Maurice Allains, Nobel ödüllü ekonomist, 1988)

Bu çalışmada, yalın yönetime uygun Erken Ekipman Yönetim süreci, aşamaları ve uygulama yöntemleri derlenmiştir.

1. YALIN ÜRETİM ÇERÇEVESİNDE ERKEN YÖNETİM

Erken yönetim, TPM'in (Total Productive Maintenance) sekiz ana unsurundan bir tanesidir. Sistemin amacı, yeni ürün veya prosesin tesise entegrasyonunda geçen zamanı & eforu minimize etmek aynı zamanda verimliliği de maksimize etmektir.

Erken yönetim konsepti içerisinde iki ana başlık yer almaktadır. Bunlardan ilki erken ürün yönetimi, ikincisi ise erken ekipman yönetimidir. Her iki yönetim sürecinde de önceki deneyimlerden elde edilen birikim ve sürecin etkin planlanması ile dizayn ve uygulama aşamalarında yaşanabilecek olası kayıpların azaltılmasına odaklanılmaktadır.



Şekil 1: Toplam üretken bakım sütunları.

2. ERKEN EKİPMAN YÖNETİMİNİN FAYDALARI

Erken ekipman yönetimi, yatırım kararının verilmesinden, tasarım, satın alma, montaj & devreye alma, kurulum ve işletme süreçlerinin tamamını kapsamaktadır. Bu sayede yatırım aşamalarının her evresinde kuruluşlar için hayati olabilecek önemli faydalar sağlar. Bu faydalardan bazıları aşağıda listelenmiştir.

- Erken ekipman yönetimi ile gerçekleştirilen yatırım projelerinde, proje yönetiminin 3 temel performans göstergesi: Kalite, Maliyet, Zaman en üst seviyede gerçekleştirilir.
- Sürecin genelinde sahip olunan proaktif yaklaşım sayesinde sorunların görülebilir hale getirilmesi, oluşmadan ortadan kaldırılabilmesi.
- Ekipmanın devreye alma süresinin azaltılması ile ekipman sayesinde gerçekleşecek olan kazanımın erken oluşmasının sağlanarak, yatırım geri dönüş süresinin kısaltılması. (ROI)
- Devreye alınacak ekipmana ait arıza duruşların minimize edilmesi.
- Ömür boyu maliyetin (LCC: Life Cycle Cost) değerlendirilmesi ile ekipmana ait bakım maliyetinin en aza indirgenmesi.
- Ekipmana ait kalite performansının en yüksek seviyede devreye alınması sayesinde seri üretim aşamasında oluşabilecek zayıf, fire maliyetinin azaltılması.

Sürece ait yan kazançlardan bir kısmı ise aşağıda özetlenen şekildedir;

- 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 ile kayıt altına alınması ve şirkette sahip olunan uzmanlık bilgisinin sonraki yatırımlarda değerlendirilmek üzere saklanması. Bu sayede şirket yatırım bilgi kataloğu oluşturulması.
- Operasyonel anlamda şirkete yeni katılanların, MP arşiv bilgisi sayesinde hızlı şekilde kendilerini çalışma arkadaşlarının bilgi seviyesine getirebilmesi sağlanır.



Şekil 2: Erken ekipman yönetimi kazanım süreci.

3. OEE İLE ERKEN EKİPMAN YÖNETİMİ İLİŞKİSİ

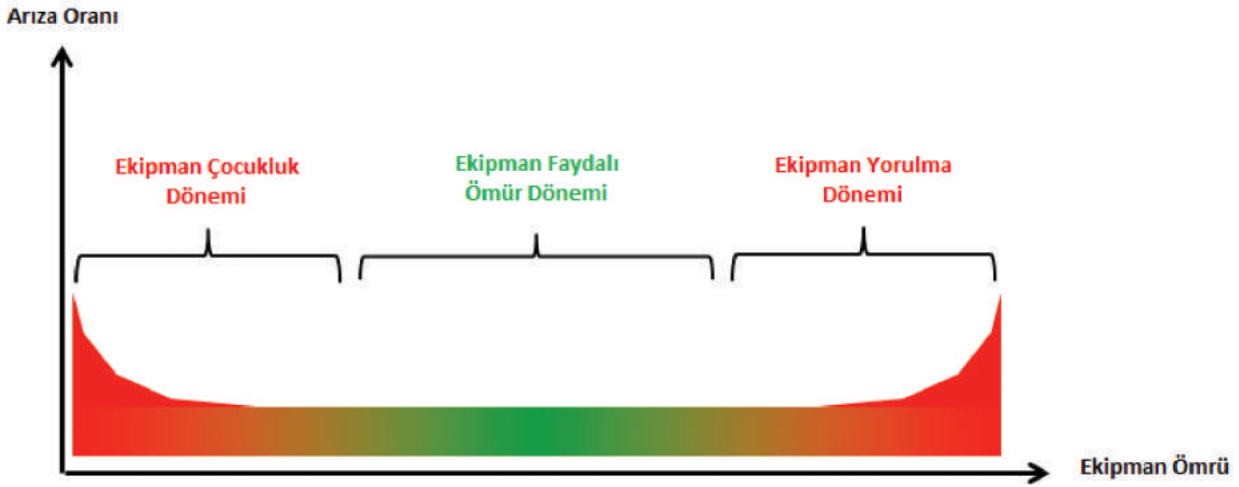
Hesaplanış yöntem farklılıkları göz ardı edildiğinde, ekipmana ait verimlilik ölçüm değeri olan OEE (Overall Equipment Effectiveness) içerisinde barındırdığı kalite, performans ve kullanılabilirlik çarpanları ile bizlere tarafsız veri seti sunmaktadır. Evrensel bir anahtar performans göstergesi olan OEE sayesinde ekipmanın etkinliği ile ilgili bilgi sahibi olunabilmekte ve bu gösterge şirketler arası kıyaslanabilmektedir.

Şirketlerin gerçekleştirdikleri faaliyetlerden ve OEE hesaplanış yöntem farklılıklarından bağımsız olarak, seri üretim tesisine sahip olan ve robot, tezgah, makine, hat gibi tekil sabit kıymetleri bünyesinde

bulunduran işletmelerde genellikle minimum %85'lik OEE değeri hedeflenmektedir. Erken ekipman yönetiminde, yeni yapılacak olan ekipman yatırımlarında bu seviyeye kurulum ile beraber ulaşılması amaçlanmaktadır.

Erken ekipman yönetimi uygulanmadığı takdirde, dizayn, imalat, test ve kurulum aşamalarında göz ardı edilen, detaylı şekilde irdelenmeyen problemler ekipman devreye alma aşamasında arızalara sebebiyet vererek, fire & tamir kayıpları ile ve düşük hız sorunlarıyla OEE performansında düşüslere sebebiyet vermektedir.

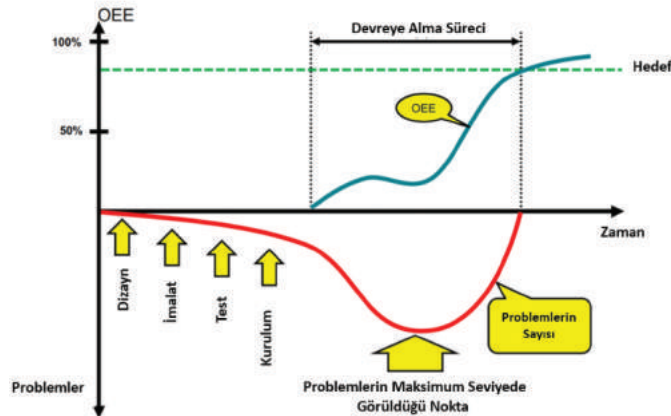
Öte yandan, makine ve ekipmanların kurulum aşamalarını kritik yapan başka bir nokta ise, güvenilirlik çalışmalarında tespit edildiği üzere, arızaların %80'inin makinaların gençlik döneminde meydana gelmesidir. Bu dönem kurulum aşamasına tekabül etmekte ve literatürde kuvvet eğrisi ile özetlenmektedir.



Şekil 3: Kuvvet eğrisi.

Klasik bir ekipman yatırımında, Çizelge 1 'deki durum söz konusudur. Yeni yatırıma ait olumsuz noktalar, yatırım devreye alma dönemi öncesinde belirlenip çözülmediği için, devreye alma aşamasında ortaya çıkan yoğun problemler çoğunlukla geçici çözümler ile bertaraf edilmeye çalışılmaktadır.

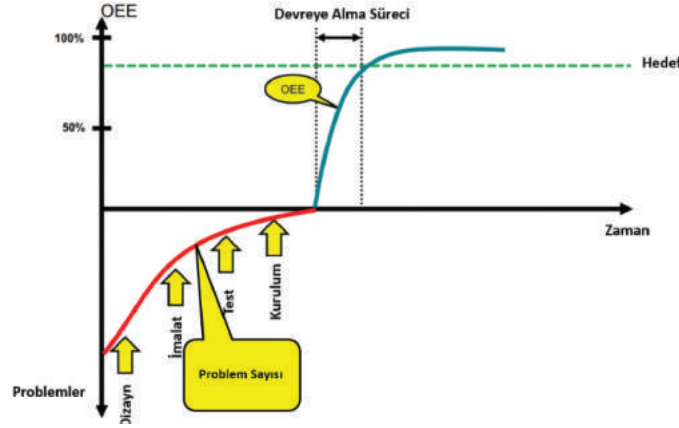
Alınan bu geçici önlemler ile problemlerin kök sebeplerine inilememekle beraber sorunlar çözülememektedir. Bu nedenle beklenen OEE performansına seri üretim koşullarında ulaşamamakta veya geç ulaşılmaktadır. Bu gecikmelerden dolayı firmalar finansal kayıplar yaşamaktadır.



Çizelge 1: Erken ekipman yönetimi uygulanmadığı durumdaki OEE değeri

Kullanılan fazladan efor ve zamanın israfını temelini oluşturması yanı sıra, bu durum şirkete yansıyan, yatırım kararı verilmesi sonrası ön görülmemiş, gizli, beklenmeyen maliyetleri de beraberinde getirmektedir.

Erken ekipman yönetiminin en temel amacı ise devreye alma süreci başından itibaren maksimum OEE seviyesine ulaşmaktır. Bu süreç ile beraber (Çizelge 2) ekipmanı devreye alma aşamasından önce problemler tespit edilip giderildiği için ekipman, maksimum OEE potansiyelini gösterebilir hale gelmektedir.



Çizelge 2: Erken ekipman yönetimi uygulandığı durumdaki OEE değeri (%)

4. YALIN ÜRETİMDE BİR EKİPMANIN TEMEL ÖZELLİKLERİ

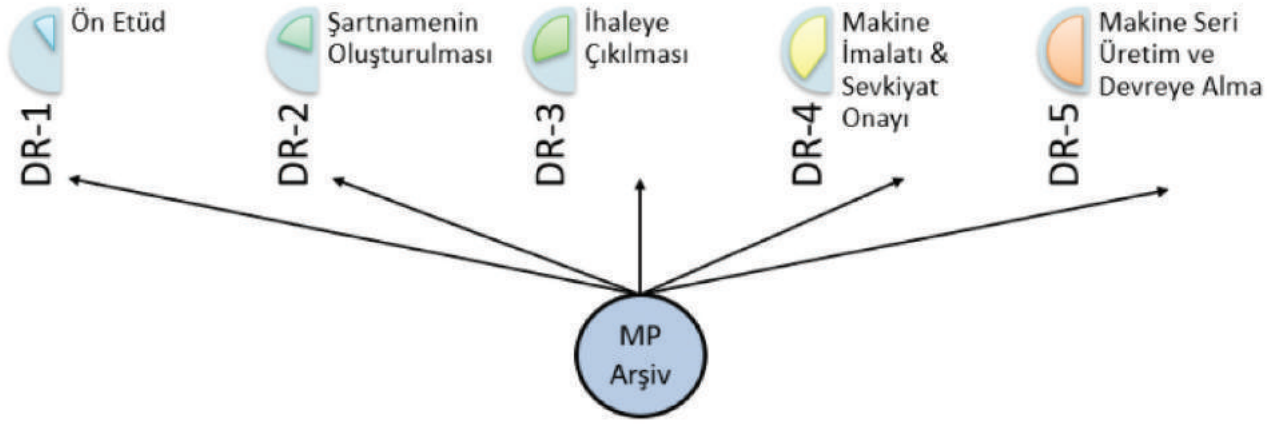
Kapasite artışı, karlılık, otomasyon ve kalite iyileştirmeleri sağlamak adına yapılan yatırımlar işletmelerin gelişiminde itici güç olurlar. Yalın üretim uygulayan işletmelerde, ekipmanlar TPM'e uygun olarak tasarlanmalı, imal edilmeli, satın alınmalı, kurulmalı ve işletilmelidir. TPM'e uygun ekipmanın karakteristikleri aşağıda tarif edilmiştir. Erken ekipman yönetimi, bu karakteristikteki ekipmanların işletmelerde faal olmasını sağlayan bir yönetim anlayışıdır.



Şekil 4: Ekipmana ait temel özellikler.

5. TASARIM GÖZDEN GEÇİRME (DESIGN REVIEW) VE UYGULAMA ADIMI

Erken Ekipman Yönetiminde tasarım gözden geçirme adı verilen çalışma adımları mevcuttur. Her bir gözden geçirmede incelenecek konular, önceden belirlenmiş olup bir sonraki aşamaya geçiş yeterliliğini ölçmeyi amaçlar. Erken ekipman yönetiminde süreci yönetecek komite içerisinde tüm ilgili birimler yer alır. Gözden geçirme toplantılarında yatırımın devreye alınması için yapılacak olan çalışmalar belirlenir. Sistemde toplamda beş adım mevcuttur.



Şekil 5: Gözden geçirme adımları ve başlıkları.

Bahsedilen beş katmanlı yapının amacı, erken ekipman yönetimi içerisinde kalite kapısı kavramını uygulamaktır.

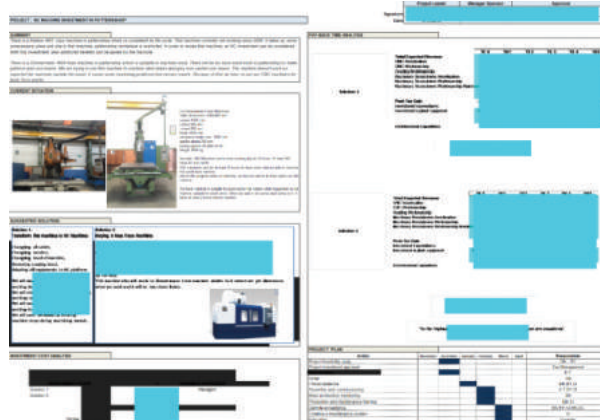
Tüm gözden geçirme toplantılarında MP arşiv bilgisinden faydalanılmaktadır. Yeni ortaya çıkan fikirler de gözden geçirme toplantılarında değerlendirilerek MP arşiv bilgisini beslemektedir.



Şekil 6: Enerji analizörü MP Arşivi.

5.1. DR-1 ÖN ETÜD

Ön etüd çalışmasına ihtiyaç duyulan yatırıma yönelik fizibilite çalışmasının oluşturulması ile başlanır. Bu aşamada Yatırım A3 raporu hazırlanır.



Şekil 7: Yatırım A3 raporu örneği.

Yatırım A3 raporunda ilgili yatırıma neden ihtiyaç duyulduğu, yatırım yapılmaz ise karşılaşılabilecek negatif durumlar, yatırım ile beraber elde edilecek kazançlar tarif edilir.

| ERKUNT SANAYİ A.Ş. ERKEN EKİPMAN YÖNETİMİ BİRİNCİ GÖZDEN GEÇİRME FORMU (DR-1) | | | | | | | | |
|--|-------------------|--|-----------------------|------------|------------|---|---|-------------------|
| No | Doküman Numarası: | Konu | Değerlendirme Tarihi: | | | | | Planlanan Çalışma |
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| 1 | | İhtiyaç duyulan kapasite belirlendi | | | | | 5 | |
| 2 | | Bütçe imkânları belirlendi | | | | | 5 | |
| 3 | | Temel üretim metodu belirlendi | | | | 4 | | |
| 4 | | Üretim temposu belirlendi | | | | 4 | | |
| 5 | | İççik ihtiyaç belirlendi | | | 3 | | | |
| 6 | | Otomasyon seviyesi belirlendi | | | | 4 | | |
| 7 | | Yedek parça ihtiyacı belirlendi | | | | 4 | | |
| 8 | | Kolay bakım yapılabilirlik (MP) özellikleri belirlendi | | | | 4 | | |
| 9 | | Ergonomi ve mesleki hastalıklar belirlendi | 1 | | | | | |
| 10 | | Alt yapı imkânları incelendi | | 2 | | | | |
| | | İş güvenliği özellikleri belirlendi | | | | | 5 | |
| | | | 1. Toplam: | 2. Toplam: | 3. Toplam: | | | |
| Genel Değerlendirme Puanı: /100 | | | | | | | | |
| Yeni Ekipman Projesi kapsamında Tarihinde yapılan 1. Gözden Geçirme sonrası değerlendirme puanında tarafıf aynı görülmüştür. | | | | | | | | |
| Proje Ekibi: | | | | | | | | |

Çizelge 3: Erken ekipman yönetimi DR-1 Değerlendirme Formu (%)

İlgili maddelerin gözden geçirilmesi sonrası birden beşe kadar puan sistemi ile her maddeye belirli bir puan verilir. Puanların belirlenmesindeki metod, aksiyonun gerçekleştirilme adımı ile ilişkilendirilmiştir.

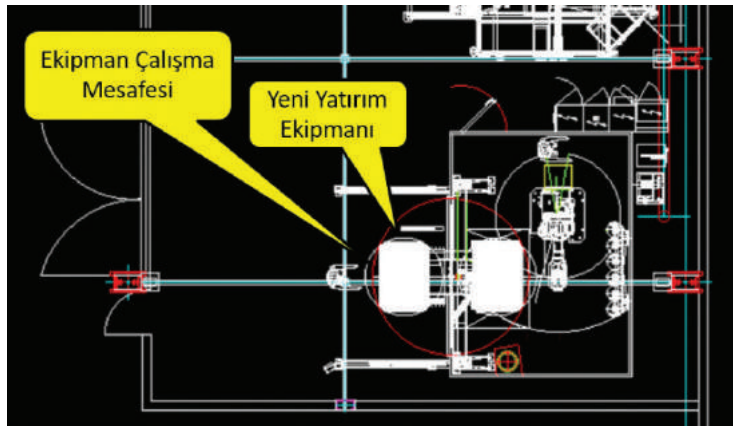
Süreç genelinde belirli kontrol listeleri kullanılarak çalışma etkinliği her adımda değerlendirilir.

5.2. DR-2 ŞARTNAMESİNİN OLUŞTURULMASI

Bu aşamada, ekipmana ait hazırlanacak olan şartnamede yer alması gereken parametreler belirlenir. Bu parametreler aşağıda özetlenmiştir.

5.2.1 DETAYLI ÜRETİM METODU

Detaylı üretim metodunda ekipmana ait dört boyut incelenir. Bu boyutlar; Makine, malzeme, metod ve insandır. Bu boyutlar ile ilgili ekipman nitelikleri değerlendirilir. Değerlendirmeler yapılırken, ekipmana ait yerleşim planı, mevcut tesis yerleşimi içerisinde değerlendirilir. Mümkün ise ekipman, yerleşim planına adapte edilerek yapılacak olan yatırımın, üretim akışını etkileme seviyesi değerlendirilmelidir.



Şekil 8: Yeni yatırımın mevcut yerleşim planı üzerinden incelemesi.

5.2.2 OTONOM BAKIM UYGUNLUK ÖZELLİKLERİ

Otonom bakım uygulanabilmesi adına, gerekli olan maddelerin belirlenmesidir. Bu noktada ekipmanı kullanacak olan operatörün makinasını temizlemesi, basit bakımlarını uygulayabilmesi için gerekli tüm olanaklar sağlanmalıdır.

5.2.3 KALİTE YETERLİLİĞİ

Ekipmandan beklenecek olan kalite performansının % şekilde ifade edilip belirlendiği aşamadır. Ek olarak, proses yeterliliği gibi Cp, Cpk beklentileri de bu aşamada belirlenmelidir.

5.2.4 ENERJİ İHTİYACI

Ekipmanın kullanım esnasında harcayacağı enerjinin öngörülerek belirlendiği adımdır. Ek olarak ekipmanda kullanılacak güç ünitesine ait enerji verim sınıfları değerlendirilmelidir.

5.3. DR-3 İHALE- TEKLİF İNCELEME SÜRECİ

Yatırıma ait tekliflerin değerlendirildiği bu aşamada aşağıdaki konular irdelenir.

- Masraflarının İncelenmesi: Ekipmana ait belirlenen yerleşim planınca yapılması gereken ek inşaat işçilikleri, kablolama işçilikleri belirlenir.
- Teslim Termini İncelemesi: Ekipmana ait teslim süresi, kurulum aşamasında tesisin geri kalanını ilgilendiren bir noktada yerleşen ekipman için netleştirilmesi önemli bir konudur.
- Yedek Parça Temin Kaynaklarının Belirlenmesi: Ekipmana ait yedek parçaların kolay temin edilebilir olması gerekmektedir.
- Make or Buy Analizi: Ekipmana ait yap / satın al analizi yapılarak, basit ekipmanların şirket bünyesinde imalatının mümkün olup olmadığına yönelik yapılan analizdir.
- Life Cycle Cost Analizi: Ekipmanın kullanılacak ömrü boyunca gereken maliyetlerin hesaplanıp analiz edilmesi metodudur.

5.4. DR-4 MAKİNA İMALATI-SEVKİYATI VE ONAYI

Bu aşamada ise, ekipmana ait ön kabul çalışmaları yürütülmektedir. Yapılması gerekenler temelde aşağıda listelenen şekildedir.

- Ekipmana ait kuru çalışma performansı denenmeli, herhangi bir ses veya olumsuz titreşimin bulunma durumu incelenmelidir.
- Ekipmana ait DR-1'de belirlenen kriterlerin şartnamede yer aldığı kontrol edilmelidir.
- Yedek parça listesi net şekilde, temin kaynakları ile beraber firmadan edinilmelidir.
- Kolay bakım yapılabilirlik ile ilgili gözden geçirme toplantılarında belirlenen maddeler kontrol edilmelidir.
- İSG ve ergonomik açıdan tespit edilen uygunsuzluklar veya dikkat edilmesi gereken noktalar bu aşamada kontrol edilmelidir.

5.5. DR-4 MAKİNA SERİ ÜRETİM VE DEVREYE ALMA

Bu aşamada ise, ekipman tesise yerleştirildikten sonra yapılacak olan ilk üretimler başlatılmalıdır. Bu üretimlerde kullanılan parametreler kayıt edilmeli ve üretilen ürünlerin kalitesi izlenmelidir. Gözden geçirme toplantısında belirlenen Cp, Cpk'ya uyum, şartnamede belirlenen cycle süresinde üretime uyum, reel işletme malzeme giderleri ve enerji sarfiyatları kontrol edilmelidir.

6. POST AUDIT

Devreye alınan yatırıma ait erken ekipman yönetim süreci DR-5 ile birlikte sonlanmamaktadır. Seri üretim izleme sürecinde bağımsız bir bölüm tarafından yatırımın devreye alınmasına ilişkin çalışan komitenin performansı analiz edilir.

Bu noktada ise, firmadan firmaya değişkenlik gösterebilecek farklı kategorilerde kontrol soruları belirlenerek denetlemeler gerçekleştirilebilir.

6. İZLEME

Erken ekipman yönetim sürecinde, projelerin takibin sağlanması adına erken ekipman yönetimi

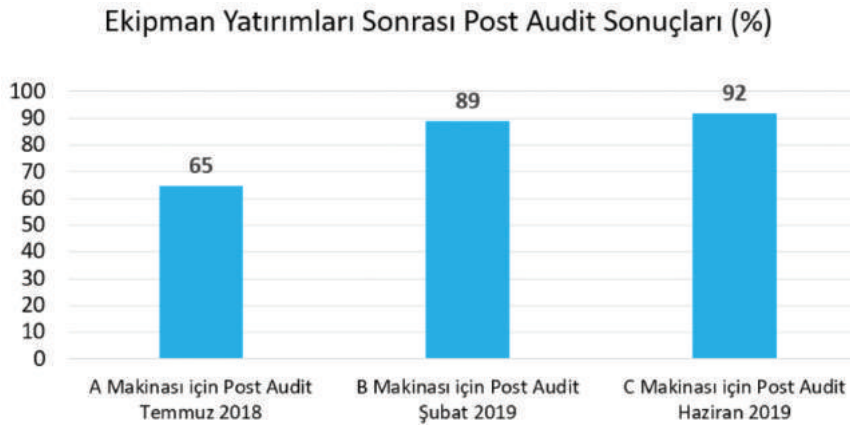
panosu oluşturulmuştur. Pano üzerinde yer alan yatırım Gantt Şeması ile tüm yatırımların birbirleri ile etkileşimleri ve önemli kilometre taşları belirlenmiştir. Ek olarak yine pano üzerinde her bir yatırıma ait yatırım kartları yer almaktadır.

Yatırıma özel olan bu kartlarda yatırımın adı, erken ekipman sürecine başlangıç tarihi, bitiş tarihi, ekipmanın kurulacağı yere ait detay bilgi ve yatırım numarası yer almaktadır.

Şekil 9: Erken ekipman yönetimi proje takip panosu.

7. SONUÇLAR

Erkunt Sanayi A.Ş.'de erken ekipman yönetimi uygulamalarına 2017 yılından başlanmıştır. 2017'den günümüze toplamda 10 adet yatırım sürecinde uygulanan bu metod ile, yatırım devreye alma süreci sonrasında uygulanan denetim sonucunu % 65 seviyelerinden % 92 seviyelerine ulaşılmıştır.



Çizelge 4: Erken ekipman yönetimi post audit sonuçları (%)

Yan kazançlar olarak ise, yatırım devreye alma sürecinde elde edinilen bilgi ve birikim ile, MP arşiv içeriği ve yelpazesi gelişmiştir. Ekipman bazında oluşturulan ön şartnameler ile birlikte kapasite artışı sebebi ile ihtiyaç duyulan standart ekipmanların yatırımları söz konusu olduğunda, erken ekipman yönetim süreci daha hızlı hareket edebilmektedir.

Ekipmana ait kritik parametre ve gerekliliklerin belirlenmesi aşamasında yapılan araştırmalar ile ise, sektörel teknolojik gelişmelere olan farkındalık seviyesi arttırılmıştır.

8. ERKEN EKİPMAN VE GELECEĞİ

Ülkemiz gibi benzer, teknoloji transfer eden ülkelerde erken ekipman yönetimi yüksek öneme

sahiptir. Yapılan yatırıma ilişkin detaylı bilgilerin edinilmesi, yatırım sonrasında seri üretim esnasında çıkabilecek problemlere karşı yol gösterici, önceden uyarıcı niteliktedir.

Bizler bugün erken ekipman yönetimini, endüstri 4.0 projelerinde devreye alabilmek adına çalışmalar yürütülmektedir. IT konsepti, ekipmanların birbirleri ile girebilecekleri etkileşimler, erken ekipman yönetim sürecini geliştirecektir. [1] Bununla beraber, sadece ekipman ve makine alımlarında değil özellikle yazılım ile ilgili yapılacak olan yatırımlarda da erken ekipman proje yönetim aracı önümüzdeki dönemde de kullanılacaktır.

9. KISALTMALAR

OEE: Overall Equipment Effectiveness (Genel Ekipman Verimliliği)

LCC: Life Cycle Cost (Ömür Maliyet Analizi)

Make or Buy: Yap ya da satın al. Yatırımı planlanan ekipmana, tesise, makinaya ait bileşenlerin şirket içerisinde yapılması veya dışarıdan satın alınması durumlarını karşılaştıran yatırım analiz metodu.

Audit: Denetim

IT: Information Technology (Bilgi Teknolojisi) Bilgi teknolojisi, genellikle bir işletmede veri veya bilgi depolamak, almak, iletmek, çalışmak ve işlemek için bilgisayarların kullanılmasıdır.

ROI: Return on Investment (Yatırım Maliyetinin Geri Dönmesi)

DR: Design Review (Tasarım Gözden Geçirme)

KPI: Key Performance Indicator (Anahtar Performans Göstergesi)

Cp: Process Capability. Proses yetenek katsayısıdır. Prosesin dağılımı ile ilgili bilgi verir.

Cpk: Process Capability. Proses yetenek katsayısıdır. Hem prosesin dağılımı, hem de meydana gelişi hakkında bilgi verir.

10. 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 ile ilgiliengin bilgi ve birikimlerini bizlerle paylaşan Yalın Enstitü danışmanlarından Sayın Sedat CANOĞLU'na teşekkür ederiz.

11. KAYNAKÇA

1) S. Saraswat & G.S. Yadava, "An Overview on Reliability, Availability, Maintainability and Supportability (RAMS) Engineering", International Journal of Quality & Reliability Management Vol.25, 2008, P. 330-314

2) S. Carlsson & H. L. Ernefelt, "Reducing lead time during installation projects through Continuous Improvement and Early Management", Department of Industrial Management and Logistics, Lund University, Yayınlanmış doktora tezi, İsviçre 2017, P. 25-30

FARKLI TİP SICAK KUTU MAÇA REÇİNELERİNİN DÖKÜME OLAN ETKİSİNİN BELİRLENMESİ

Alper Emre GÜVENDİK*, İrem Şevval GÜNDÜZ**,
Beyza KOBAK**, Melike AÇIK**,
Özge AKSIN ARTOK*, Ümit CÖCEN**

* Çukurova Kimya Endüstrisi A.Ş., Ar-Ge Merkezi, Manisa/Türkiye
** Dokuz Eylül Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, İzmir/Türkiye

ÖZET

Sıcak kutu maça reçineleri sistemleri tercih edilen döküm cinsine ve tekniğine göre kendi içinde farklı tipte reçine gruplarından oluşmaktadır. Döküm sırasında ve sonrasında dökümhane için en uygun sıcak kutu maça reçinesi cinsini seçmek için yapılan araştırmalar göstermiştir ki sıcak kutu tekniği ile kullanılan reçinelerin termal ve mekanik karakterleri döküm cinsine göre farklı özelliklerde olmaktadır. Bu seçimi yaparken kullanılacak bilimsel yöntemler araştırılmış ve farklı sıcak kutu reçine – serter ikilileri kıyaslanarak kendi aralarında değerlendirilmiştir. Döküm öncesinde elde edilecek olan maçaların mekanik özellikleri çekme testi ile tespit edilmiş ve ideal kürleme sıcaklığı ve süreleri tespit edilmeye çalışılmıştır. Toplam dört farklı tipte sıcak kutu maça reçinesi testlenmiştir. Daha çok demir alaşımlarının dökümlerde tercih edilen A, B, C olarak kodlanmış Furfuril-Üre-Formaldehit (FUF) reçinelerin çekme dayanım testi değerleri ve TG-DTA ile termal özellikleri, ağırlıklı olarak demir dışı dökümde kullanılan Üre-Formaldehit (UF) tipi D reçinesinden daha yüksek bulunmuştur. D reçinesinde gözlemlenen sıcaklıkla hızlı ayrışma özelliği bu reçine kullanılarak elde edilecek olan maçaların düşük ergime noktasına sahip metallerin dökümü ve sonrası için daha uygun olacağını göstermiştir. B reçinesi ise hem maçalara sağladığı yüksek dayanım ve gaz geçirgenliği hem de düşük gaz salınımı ile ferro dökümler için en avantajlı reçine olarak tespit edilmiştir.

ABSTRACT

Hot box core resins systems have different types of resin groups according to the preferred casting type and technique. According to the research during casting and shake-out process, the most suitable type of resin can be selected by different mechanical and thermal properties that are given by resin system. The scientific methods that can be used to make this choice are investigated and compared and evaluated among resin and hardener systems. The mechanical properties of the cores to be obtained before casting were determined by tensile test and the ideal curing temperature and durations were tried to be determined.

Furfuryl-Urea-Formaldehyde (FUF) resins coded as A, B, C which are preferred in iron castings showed higher tensile strength test values and thermal properties on TG-DTA than Urea-Formaldehyde (UF) type resin D which used mainly in non-ferrous casting. The fast decomposition observed in resin D showed that the cores made by this resin would be more suitable for casting with low melting point metals. Resin B has been identified as the most advantageous resin for ferro castings due to high strength and gas permeability and low gas release of its foundry cores.

Key words: Foundry core, hot box, strength, TGA

1. Giriş

Maça, doğrudan kalıplama ile üretilmesi zor veya imkansız olan döküm parçalarındaki iç boşlukları oluşturmak amacıyla yaygın olarak kullanılan bir kalıp bileşenidir [1]. Bu bileşenin döküm işlemleri sırasındaki fiziksel davranışı, belirli standartlara [2] uygun tasarlanan numune maçaların dayanımının yeterli olması gerekir. İnce kesitli parçaların üretiminde kullanılan maçalardan dağılıbilirlik, gaz geçirgenliği ve yüksek mukavemet beklenen özellikler arasındadır. Bu özellikler maçaların üretim yöntemlerine göre farklılık göstermektedir. Maçalar gaz ile sertleşen, pişirilmeden sertleşen ve ısı ile sertleşen olmak üzere üç farklı yöntemle üretilmektedir. Isı ile sertleşen maçalar kabuk yöntemi, maça yağı bağlayıcıları, ılık kutu ve sıcak kutu olmak üzere dört gruba ayrılmaktadır. Sıcak kutu yöntemi ile üretilen maçalar dağılıbilirlik, gaz geçirgenliği ve yüksek mukavemet özelliklerini sağlamaktadır. Bu özellikler demir ve demir dışı dökümlerde döküm sıcaklığına bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir [3].

Uygun sıcak kutu reçinesi ve kum seçimi sıcak kutu tekniğini seçen dökümcüler için kritik bir öneme sahiptir. Bu önemi gözler önüne seren pek çok çalışma yapılmış ve bağlayıcı cinsi, miktarı, kumun cinsi, köşelilik katsayısı, pişirme sıcaklığı ve süresi gibi pek çok parametrenin döküme ve kalitesine etki edeceği öne sürülmüştür [4-7]. Dioszagei ve arkadaşları yaptıkları bir çalışmada bağlanmamış döküm kumlarının termal genleşmesini ve kum karışımlarının deformasyonu arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Silis, kromit, olivin ve zirkon kumu olmak üzere dört farklı tipte temel döküm kumunu incelenmiştir. Bağlayıcı ile karıştırılmamış kum numunelerin termal analizi dilatometre ile, kalıplama karışım numuneleri sıcak distorsiyon testleri ile analiz edilmiştir. Ölçümleri yapılan numuneler farklı termal davranışları ile seçilen furan, üre ve fenolik reçineler ile karıştırılmıştır. Ölçümler her malzemeden 3 farklı örnek alınarak yapılmıştır. Sonuç olarak döküm kumu termal genleşmesinin büyük ölçüde sıcak bozulma davranışını etkilediğini, fakat kullanılan bağlayıcı türüne de bağlı olduğu gösterilmiştir [4]. Bir diğer çalışmada ise Grabarczyk ve arkadaşları sıcak kutu yöntemi ile hazırlanan kalıp kumlarının mekanik ve termal deformasyonu incelenmiştir. Kum karışımlarında reçine olarak fenolik reçine kullanılmıştır. Sertleşme işlemi 30, 60, 90, 120 s olmak üzere dört farklı sürede ve 220°C sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Soğuduktan sonra test edilen numunelerin en düşük eğme mukavemet değeri 4 MPa iken, sıcak test edilen numunelerin mukavemet değerlerinin en yükseği 4,45 MPa olduğu görülmüştür. Termal deformasyon ölçümü için yapılan testlerin sonucunda, sıcaklık yükseldikçe numune deformasyonunda hafif artış gözlenmiştir. 320°C sıcaklıkta 0,3 mm'ye ulaşılmış ve bu sıcaklık değerine kadar iyi ısı kararlılığı olduğu görülmüştür [5].

Sıcak kutu yöntemiyle maça üretimi için kum ve reçine olmak üzere iki temel bileşen bulunmaktadır. Bu yöntemde ile üretilen maçalarda 50-60 AFS tane numarasındaki silis kumu ve organik reçine olan fenol formaldehit, üre formaldehit (UF) ve furan reçinesi kullanılmaktadır. Sıcak kutu yönteminin işlem sıcaklığı 210-300 °C arasındadır. Kullanılan reçine miktarı kum ağırlığına göre belirlenip kum ağırlığının % 2-2,5 arasında değişmektedir. Bu yöntemle elde edilen mukavemet değerleri 900-1800 N/in² arasındadır [3]. Çekme testi üretilen maçaların ideal mukavemet değeri aralığında olup olmadığını belirlemek amacıyla yapılmaktadır.

Gaz miktarı testi ise döküm sırasında oluşan gazların miktarını belirlemek için yapılmaktadır. Sıcak kutu ve soğuk kutu yöntemi ile üretilen maçalarda yapılan gaz miktarı maça kumuna katılacak reçine oranının artması ile artmaktadır. Aynı zamanda gaz miktarı tayini yapılırken işlem sıcaklığının artması ile çıkan gaz miktarında artma meydana gelmektedir. Gaz miktarındaki artış yüzey hatalarına ve döküm kalitesini düşürmeye sebep olmaktadır.[8] Sıcak kutu yöntemi ile üretilen maçalarda bu oran soğuk kutu ile üretilen maçalara kıyasla daha azdır. Bu duruma göre sıcak kutu ile üretilen maçalar daha avantajlı olmaktadır [9]. Gaz geçirgenliği testi ise döküm sırasında oluşacak gazların kolaylıkla çıkıp çıkamayacağı hakkında bilgi edinebilmek için yapıl-

maktadır. Yanma kaybı testi ise döküm sırasında maçadan uzaklaşan reçine miktarını belirlemek amacıyla yapılmaktadır.

Yapılan çalışmada sıcak kutu yöntemi ile üretilen maçaların mekanik özellikleri incelenmektedir. Sıcak kutu yöntemi ile üretilecek maçaların çekme testi ile kürleşme sıcaklığı ve süresi, reçine miktarı ve cinsi, kum tane boyutu ve dağılımının mekanik özelliklere etkisi incelenmektedir. Maça üretimi için kullanılan kumlara elek analizi yapılmaktadır. Bununla birlikte reçinelere ise uluslararası standartlara uygun olarak, pH (ISO 8975), viskozite (DIN 53211), serbest formaldehit (ISO 1142) ve katı madde miktarı (ISO 3251) testleri uygulanmaktadır. Reçinelerin hangi sıcaklıklarda termal bozunmaya uğradığı belirlemek için TG-DTA analizleri ve reçinelerde oluşan fonksiyonel grupların incelenmesi amacıyla FT-IR analizi yapılmaktadır. Üretimi gerçekleşen maça numunelerine çekme testi, gaz miktarı ve geçirgenlik testleri ile birlikte yanma kaybı testi yapılmıştır. Dokuz Eylül Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği ile yürütülmüş olan bu çalışmada sıcak kutu yöntemi ile üretilecek maçaların mekanik özellikleri araştırılarak karşılaştırmaları yapılmaktadır. Elde edilen sonuçlar demir ve demir dışı yapılacak olan döküm cinsine göre yorumlanmıştır.

2.1- Deneysel Çalışmalar

Deneysel çalışmalarda dört farklı reçinenin özellikleri belirlenip bu reçineler ile üretilen maça numunelerinin mekanik özellikleri karşılaştırılmıştır. Deneylerde kullanılacak olan kuma, tane boyut dağılımını belirlemek için elek analizi, reçinelere ise pH, viskozite, katı madde miktarı, serbest formaldehit miktarını belirlemek amacıyla standartlara uygun testler uygulanmıştır. Reçinelerin sıcaklık artışı ile yapısında meydana gelen kütle kayıplarını belirlemek amacıyla termogravimetrik analiz (TGA), ekzotermik ve endotermik reaksiyonlar sonucu meydana gelen sıcaklık değişimleri belirlemek için ise diferansiyel termal analiz (DTA) yapılmıştır. Deneylerde kullanılan reçinelerin fonksiyonel gruplarını belirlemek amacıyla FTIR analizi yapılmıştır.

Maça üretiminde kullanılan reçine ve kumdan kaynaklanan döküm sıcaklığındaki kütle kaybını belirlemek amacıyla yanma kaybı testi yapılmıştır. Döküm sırasında oluşan gazların maçadan kolayca çıkıp çıkamayacağını belirlemek amacıyla gaz geçirgenlik testi ve oluşan bu gazların miktarını belirlemek amacıyla gaz miktarı testi yapılmıştır. Sıcak kutu maçalarının mukavemetlerini belirlemek amacıyla çekme testleri yapılmıştır.

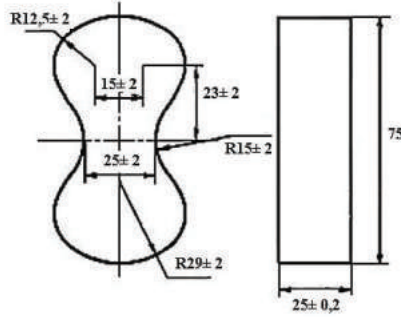
2.2- Malzemeler

Değişen reçine cinsi ve miktarı, kürleşme süresi ve sıcaklığı, farklı kum tane boyutuna göre maçaların mekanik özelliklerini karşılaştırmak amacıyla silis kumu ve dört farklı reçine kullanılmıştır. Hazırlanan numunelerde 50 ve 70 AFS tane numarasına sahip %98 saflıkta, özgül ağırlığı 2,39-2,55 g/cm³ arasında değişen silis kumu kullanılmıştır. Sıcak kutu reçine sistemi olarak A, B, C ve D reçineleri kullanılmıştır. Bu reçinelerden A, B, C furan modifiyeli üre formaldehit reçinesi, D reçinesi ise üre formaldehit reçinesi olup kumun ağırlığına göre % 1,6 ve % 2,5 oranlarında kullanılmıştır. Reçine ağırlığına göre ise sırasıyla % 33 ve % 25 oranlarında katalizör kullanılmıştır. Bu katalizörler amonyum nitrat ve amonyum klorür içermektedir.

2.3- Numune Hazırlama

Maça numunesi hazırlamak için kum reçine ve katalizörden oluşan kum karışımı hazırlanmıştır. İlk deney koşulunda reçine miktarı kum ağırlığına göre % 1,6 ve katalizör miktarı reçine ağırlığına göre % 33 olarak belirlenmiştir. İkinci deney koşulunda ise reçine miktarı kum ağırlığına göre % 2,5 ve katalizör miktarı reçine ağırlığına göre % 25 olarak belirlenmiştir. Tartılan 2 kg'lık kuma ilk olarak katalizör daha sonra reçine ilave edilerek birer dakika karıştırılmıştır. Hazırlanan kum karışımı Disa George Fischer +GF+ marka sıcak kutu maça makinasının kum haznesine

boşaltılarak 180 °C ve 230 °C sıcaklığındaki maça sandığına 600-700 kPa basınç üflenmiştir. Maça sandığına üflenen kum karışımları 10, 30, 45 ve 60 s boyunca kürleştirilmiştir. Kürleştirilen numuneler maça sandığından Şekil 1’de verilen boyutlarda çıkararak çekme testinde kullanılmıştır.



Şekil 1 Standart maça numunesinin boyutları [7].

Çekme testinde kullanılan numuneler yanma kaybı ve gaz miktarını belirlemek için yapılan testlerde kullanılmıştır. Gaz geçirgenlik testi için ise 50 g kum karışımı kullanılarak silindirik numune oluşturulmuştur.

3- Deneysel Sonuçlar

3.1- pH, Viskozite, Serbest Formaldehit ve Katı Madde Miktarı

Reçinelerin kimyasal özelliklerini etkileyen önemli faktörlerden biri UF reçinesindeki formaldehitin üre oranına olan değeridir. Bu oran azaldıkça serbest formaldehit miktarı azalmakta çevreye olan formaldehit salımı da azalmaktadır. Ancak mukavemet değerleri de formaldehit üre mol oranını azaldıkça azalmaktadır. UF reçinesinin kontraplak yapımı gibi farklı alanlardaki kullanımını baz alarak sürdürülen araştırmalarda ve UF reçinesinin tek başına kürleştirilmesi ile elde edilen malzemenin incelendiği çalışmalarda da üre formaldehit mol oranının artmasıyla yapının dayanımının ve serbest formaldehitinin arttığı tespit edilmiştir [10,11, 12]. Reçinelerin pH değerlerinin çok düşük veya yüksek olması istenen bir durum değildir. Reçinenin bağlayıcı özelliğini olumsuz yönde etkilemektedir. Bunun yanında reçinelerin pH değerleri viskozite değerlerini de etkilemektedir. pH değeri arttıkça reçinelerin viskozite değerlerinin arttığı Tablo 1’de görülmektedir. Reçinenin sıcaklığı ve kum karışımı oluşturulurken kumun sıcaklığı viskoziteyi etkilemektedir. Reçine sıcaklığı azaldıkça daha viskoz hale gelmektedir. Reçinenin viskozitesinin olması gereken değerden daha fazla olması durumunda maça makinesinden kumun üflenmesi sırasında üfleme işlemi zorlaşmaktadır. Reçine ile karıştırılan kum reçinenin sıcaklığını azaltarak viskozite değerini arttırabilmektedir. Bu durum karışımın akışkanlığının azalmasına neden olmaktadır. Katı madde miktarı ile ısı karşısında buharlaşmayan reçinenin konsantrasyonunu ölçülmekte ve reçinelerin pH değerlerinden, diğer reçine özelliklerinden bağımsız olarak değişmektedir. Katı madde miktarıyla maçaların gaz miktarında artma görülmüştür. Bu durumun katı maddenin yani polimerin yanması sonucu oluşan gazların çıkışından kaynaklandığı düşünülmektedir.

| Reçine | pH | Viskozite (cP) | Serbest Formaldehit Miktarı (%) | Katı Madde Miktarı (%) |
|--------|-----|----------------|---------------------------------|------------------------|
| A | 7,8 | 350 | 3,08 | 60,0 |
| B | 7,6 | 250 | 4,95 | 49,0 |
| C | 7,6 | 250 | 4,25 | 49,0 |
| D | 8,0 | 500 | 0,92 | 60,0 |

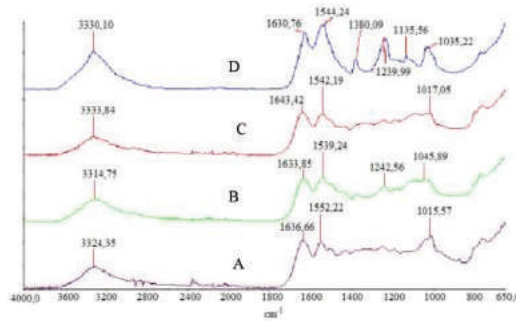
Tablo 1. Deneylerde kullanılan reçinelerin bazı özellikleri.

Katı madde yüzdesi reçinenin içerisindeki uçucu sıvıların uçurulmasıyla geriye kalan polimerik bağlayıcı miktarının başlangıçta alınan numune miktarına bölünmesiyle hesaplanır ve reçine içerisindeki bağlayıcı özellikteki polimerik yapı hakkında bilgi verir. Reçinenin ıslatıcılığını yükseltip, viskozitesini düşürmek için üretim sırasında ya da sonrasında eklenen sıvıların yetersiz gelmesi durumunda kum ya da reçine iyi karışmamaktadır [13].

3.2- FTIR

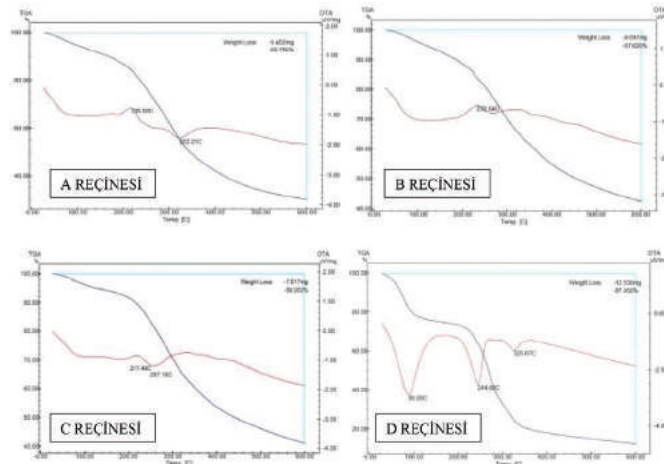
FTIR analizi 4000-650 cm⁻¹ dalga numarası aralığına sahip cihaz ile yapılmıştır. Yapılan FTIR analizi sonucunda A, B, C reçinelerinin 3333,84-1015,57 cm⁻¹ dalga numaraları arasında keskin pikler oluşturduğu görülmüştür. D reçinesinin 3330,10-1035,22 cm⁻¹ dalga numara aralığında keskin pikler oluşturduğu ve bu dalga numarası aralıklarındaki keskin piklerin değerleri Şekil 2’de verilmektedir.

Furan modifiyeli üre formaldehit olan A, B ve C reçinelerinin 3314,75-3333,84 cm⁻¹ dalga numarası aralığında meydana gelen pikler bağlı N-H grubu olarak belirlenmiştir. Bu piklerden sonraki genişlemenin reçinelerin hidroksil grubuna ve salınan sudan kaynaklandığı görülmüştür. Aynı reçinelerde 1643,42-1633,85 cm⁻¹ dalga numarası aralığında oluşan pikler ise -C=C- bağlarına aittir. Aynı reçinelerde 1552,22-1539,24 cm⁻¹ dalga numarası aralığında görülmüş olan pikler ise C-O bağlarını temsil etmektedir. B reçinesinde A ve C’den farklı olarak görülen 1242,56 cm⁻¹ dalga numarasındaki pik C-N bağına aittir. Aynı reçinelerde 1045,89-1015,57 cm⁻¹ dalga numarası aralığında oluşan pikler ise C-H bağına aittir [14,15].



Şekil 2. Etüvde 230 °C’de 4 dakika kürleştirilen reçinelerin FT-IR analizi

Yapılan FT-IR analiz sonucunda D reçinesinde 3330,10 cm⁻¹ dalga numarasında O-H, N-H bağları, 1630,76 cm⁻¹ dalga numarasında -C=C- bağları, 1544,24 cm⁻¹ dalga numarasında C-O bağları, 1239,99 cm⁻¹ dalga numarasındaki pikin C-N bağlarına ait olduğu görülmüştür [14].



Şekil 3. Kürleşmiş A, B, C ve D reçinesine ait DT-TGA grafikleri

3.4- Yanma Kaybı

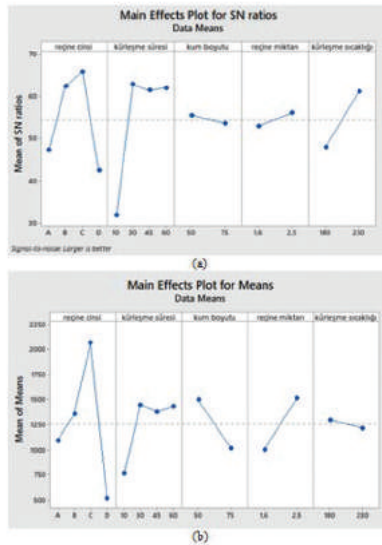
| Reçine | Reçine Miktarı (kum ağı. %) | Kürleşme Sıcaklığı (°C) | AFS Tane Numarası | Yanma Kaybı (g) |
|--------|-----------------------------|-------------------------|-------------------|-----------------|
| A | 1,6 | 180 | 45-50 | 1,80 |
| A | 2,5 | 230 | 70-75 | 2,25 |
| B | 2,5 | 180 | 70-75 | 2,48 |
| C | 2,5 | 180 | 45-50 | 2,32 |
| C | 1,6 | 230 | 70-75 | 1,58 |
| D | 1,6 | 180 | 70-75 | 1,48 |

Tablo 2 Deneysel çalışmalar için üretilen maçalarda yanma kayıpları

Maçaların oluşumunda kullanılan organik reçinelerin ve kumun döküm esnasındaki kütle kaybını belirlemek amacıyla yanma kaybı testi yapılmaktadır. Çekme testi numunelerinden bir parça alınarak 5-6 g olacak şekilde öğütülmüştür. Toz haline getirilen numune seramik kroze içerisine yerleştirilerek 900°C'de 20 dakika boyunca fırında ısıtılmıştır. Fırından alınan numune oda sıcaklığına geldikten sonra reçinelerin yanma kaybı hesaplanmıştır (Tablo 2). Reçine kullanım miktarının artması yanma kaybını da artırmıştır. Kumdaki organik madde miktarı arttığı için döküm sırasında yanarak gaz çıkışı, dolayısıyla gaz hatası ihtimali de artacaktır.

3.5- Sıcak Kutu Maçalarının Mukavemeti

Furan modifiyeli üre formaldehit reçinesi olan A reçinesi, B reçinesi, C reçinesi ve üre formaldehit reçinesi olan D reçinesi ile üretilen çekme numunelerinde 50 ve 70 AFS tane numarasına sahip silis kumu kullanılmıştır. Kullanılan kum ağırlığına göre % 1,6 oranında reçine kullanıldığında reçine ağırlığına göre % 33 katalizör kullanılmıştır. Kullanılan kum ağırlığına göre % 2,5 oranında reçine kullanıldığında ise reçine ağırlığına göre % 25 katalizör kullanılmıştır. Bu çekme numuneleri 180 °C ve 230 °C olan kürleşme sıcaklıklarında kürleşmiştir. Kürleşme işlemi 10, 30, 45 ve 60 s olan dört farklı kürleşme süresinde gerçekleştirilmiştir. Bu deney koşullarında üretilen çekme numunelerinin mukavemetleri Tablo 3, Tablo 4, Tablo 5 ve Tablo 6 'da detaylı bir şekilde yer almaktadır.



Şekil 7 Maçaların soğuk mukavemetlerinin Taguchi yöntemi ile anlamlandırılması, (a) S/N grafiği ve (b) ortalama değer grafiği

Yapılan çekme testi sonucunda elde edilen tüm mukavemet değerlerinin optimizasyonu varyans analizinin kullanıldığı Taguchi deney tasarımı ile sağlanmıştır. Optimizasyon sonucu ile maça mukavemetini etkileyen en önemli parametrelerin kürleşme süresi ve reçine cinsi olduğu görülmüştür. C reçinesi ile üretilen maçalarda kürleşme süresi 30 saniye olan, kürleşme sıcaklığı 230 °C olan, 50 AFS tane numarasına sahip kum kullanılarak ve kum ağırlığına göre belirlenen % 2,5 oranında reçine kullanılarak optimum mukavemet 1771 N/in² olarak elde edilmiştir. (Şekil 7).

| | | Sıcak Mukavemet (N/in) | | | | | | | | Soğuk Mukavemet (N/in) | | | | | | | |
|--|---------------------------------|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----------------|--|------|------------------|------|------------------|------|------------------|-----|
| | | Kürleşme süresi (s) ve sıcaklığı (°C) | | | | | | | | Kürleşme süresi (s) ve sıcaklığı (°C) | | | | | | | |
| | | 10 | | 30 | | 45 | | 60 | | 10 | | 30 | | 45 | | 60 | |
| Kum AFS No. | Reçine Miktarı (kum ağırlığı %) | 180* | 230 | 180 | 230 | 180 | 230 | 180 | 230 | 180* | 230 | 180 | 230 | 180 | 230 | 180 | 230 |
| 50 | 1,6 | | 104 | 182 | 156 | 326 | 286 | 456 | 46 | | 938 | 192 | 1146 | 237 | 938 | 218 | 833 |
| | 2,5 | | 234 | 221 | 286 | 417 | 495 | 755 | 62 ⁹ | | 1354 | 217 ⁷ | 1432 | 247 ⁰ | 1563 | 268 ⁸ | 166 |
| 70 | 1,6 | | 104 | 117 | 143 | 156 | 313 | 208 | 36 ⁵ | | 833 | 5 | 781 | 4 | 938 | 3 | 7 |
| | 2,5 | | 143 | 156 | 339 | 273 | 664 | 417 | 82 ⁵ | | 807 | 872 | 1432 | 132 | 1263 | 101 | 117 |
| *180 °C kürleşme sıcaklığında ve 10 s kürleşme süresinde mukavemet belirlenememiştir.0 | | | | | | | | | | | | | | 8 | 6 | 2 | |

Tablo 3 A reçinesi dayanım değerleri

| | | Sıcak Mukavemet (N/in ²) | | | | | | | | Soğuk Mukavemet (N/in ²) | | | | | | | |
|--|---------------------------------|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----------------|--|------|-----|------|------------------|------|------------------|------------------|
| | | Kürleşme süresi (s) ve sıcaklığı (°C) | | | | | | | | Kürleşme süresi (s) ve sıcaklığı (°C) | | | | | | | |
| | | 10 | | 30 | | 45 | | 60 | | 10 | | 30 | | 45 | | 60 | |
| Kum AFS No. | Reçine Miktarı (kum ağırlığı %) | 180* | 230 | 180 | 230 | 180 | 230 | 180 | 230 | 180* | 230 | 180 | 230 | 180 | 230 | 180 | 230 |
| 50 | 1,6 | | 52 | 65 | 130 | 130 | 260 | 260 | 41 | | 677 | 938 | 1302 | 102 | 1250 | 157 | 117 |
| | 2,5 | | 156 | 130 | 313 | 273 | 417 | 573 | 62 ⁷ | | 1667 | 148 | 1667 | 199 ⁹ | 2396 | 220 ⁶ | 156 ² |
| 70 | 1,6 | | 39 | 65 | 104 | 117 | 234 | 221 | 35 ⁵ | | 664 | 5 | 899 | 2 | 1146 | 118 ¹ | 115 ³ |
| | 2,5 | | 104 | 221 | 195 | 378 | 299 | 638 | 42 ² | | 1042 | 117 | 1146 | 149 | 1042 | 199 ⁵ | 9 |
| *180 °C kürleşme sıcaklığında ve 10 s kürleşme süresinde mukavemet belirlenememiştir. ⁹ | | | | | | | | | | | | | | 2 | 8 | 2 | |

Tablo 4 B reçinesi dayanım değerleri

| | | Sıcak Mukavemet (N/in ²) | | | | | | | | Soğuk Mukavemet (N/in ²) | | | | | | | |
|--|--------------------------------|---------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---------------------------------------|------|------------------|------|------------------|------|------------------|------------------|
| | | Kürleşme süresi (s) ve sıcaklığı (°C) | | | | | | | | Kürleşme süresi (s) ve sıcaklığı (°C) | | | | | | | |
| | | 10 | | 30 | | 45 | | 60 | | 10 | | 30 | | 45 | | 60 | |
| Kum AFS No. | Reçine Miktarı (kum ağırlık %) | 180* | 230 | 180 | 230 | 180 | 230 | 180 | 230 | 180* | 230 | 180 | 230 | 180 | 230 | 180 | 230 |
| 50 | 1,6 | | 52 | 104 | 156 | 208 | 286 | 430 | 391 | | 729 | 132 | 1172 | 164 | 1224 | 221 | 125 |
| | 2,5 | | 156 | 156 | 208 | 260 | 443 | 430 | 651 | | 1016 | 257 ⁸ | 1771 | 276 ¹ | 2761 | 276 ⁴ | 166 ⁰ |
| 70 | 1,6 | | 52 | 78 | 195 | 117 | 404 | 182 | 573 | | 1380 | 8 | 1367 | 112 ¹ | 1198 | 122 ¹ | 100 ⁷ |
| | 2,5 | | 104 | 143 | 430 | 234 | 778 | 247 | 109 | | 1563 | 148 | 2604 | 161 ⁰ | 1797 | 184 ⁴ | 153 ³ |
| *180 °C kürleşme sıcaklığında ve 10 s kürleşme süresinde mukavemet belirlenememiştir. ⁴ | | | | | | | | | | 5 | | 5 | | 9 | | 7 | |

Tablo 5 C reçinesi dayanım değerleri

| | | Sıcak Mukavemet (N/in ²) | | | | | | | | Soğuk Mukavemet (N/in ²) | | | | | | | |
|--|--------------------------------|---------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----------------|---------------------------------------|-----|-----|-----|------------------|-----|------------------|-----|
| | | Kürleşme süresi (s) ve sıcaklığı (°C) | | | | | | | | Kürleşme süresi (s) ve sıcaklığı (°C) | | | | | | | |
| | | 10 | | 30 | | 45 | | 60 | | 10 | | 30 | | 45 | | 60 | |
| Kum AFS No. | Reçine Miktarı (kum ağırlık %) | 180* | 230 | 180 | 230 | 180 | 230 | 180 | 230 | 180* | 230 | 180 | 230 | 180 | 230 | 180 | 230 |
| 50 | 1,6 | | 86 | 104 | 182 | 169 | 286 | 260 | 33 | | 352 | 638 | 703 | 690 | 586 | 781 | 625 |
| | 2,5 | | 117 | 273 | 331 | 417 | 404 | 742 | 56 ⁹ | | 469 | 586 | 886 | 859 | 912 | 990 | 938 |
| 70 | 1,6 | | 52 | 117 | 156 | 156 | 273 | 208 | 0 | | 286 | 677 | 625 | 109 | 573 | 109 | 547 |
| | 2,5 | | 182 | 182 | 573 | 234 | 781 | 286 | 85 | | 716 | 833 | 912 | 106 ⁴ | 703 | 112 ⁴ | 677 |
| *180 °C kürleşme sıcaklığında ve 10 s kürleşme süresinde mukavemet belirlenememiştir. ⁹ | | | | | | | | | | 8 | | 0 | | | | | |

Tablo 6 D reçinesi dayanım değerleri

3.6- Gaz Miktarı

| | | | | Gaz miktarı (cm ³ /g) | | | |
|---------------|----------|-------------------|--------------------------------|----------------------------------|-------|-------|-------|
| Kürleşme | | AFS Tane numarası | Reçine miktarı (kum ağırlık %) | Reçine | | | |
| Sıcaklık (°C) | Süre (s) | | | A | B | C | D |
| 180 | 45 | 70 | 1,6 | 14,35 | 14,05 | 13,97 | 16,83 |
| | | | 2,5 | 16,67 | 15,87 | 19,03 | 21,68 |

Tablo 7 180 °C'de 45 s kürleştilen 70 AFS tane numarasına sahip kum kullanılarak üretilen maçaların gaz miktarları

180°C'de 70 AFS tane numarasındaki kum ve kum ağırlığına göre %2,5 reçine kullanılarak üretilen maça numunelerinin gaz miktarları 15,87-21,68 cm³/g değer aralığında değiştiği görülmüştür. Aynı koşullarda %1,6 oranında reçine kullanılarak üretilen maça numunelerinin gaz miktarlarının ise 13,97-16,83 cm³/g arasında değiştiği görülmüştür (Tablo 7). Dört farklı reçine kullanılarak üretilen maça numunelerinde artan reçine oranı ile maça numunelerinden çıkan gaz miktarının arttığı tespit edilmiştir.

Zhang ve arkadaşları tarafından 2013 yılında yapılan çalışmada sıcak kutu, kabuk yöntemi ve soğuk kutu yöntemi ile üretilmiş olan maçaların üretimi sırasında çıkan gaz miktarları incelenmiştir. Çalışma sonucunda artan reçine miktarı ile gaz miktarının da arttığı görülmüştür [9].

4- Genel Sonuç

İncelemeler sonucunda maçalarda kullanılan reçine oranının artması ile mukavemetlerin arttığı görülmüştür. Kürleşme süresi ile genel olarak mukavemetlerde artış meydana geldiği ancak reçinelerin termal bozunmaya uğraması sebebiyle artan kürleşme süresiyle mukavemetlerde azalmalar meydana gelmiştir. Kullanılan kumun tane boyutundaki ve kürleşme sıcaklığındaki artış ile genel olarak mukavemet değerleri artmaktadır.

Termal özellikler kıyaslandığında, D (UF) reçinesinin demir dışı dökümler için daha uygun olduğu görülmektedir. Bunun sebebi ise özellikle düşük sıcaklıklarda organik bağlayıcı maddenin yanarak yapıdan daha hızlı uzaklaşarak döküm sonrası kalıbın daha rahat bozulacak olmasıdır. D reçinesi daha yüksek sıcaklıklar gerektiren dökümlerde daha fazla gaz salınımı yapacağından döküm hatalarına sebep olabilir.

C (FUF) reçine kullanılarak üretilen optimum mukavemeti sağlayan maçanın gaz miktarına bakıldığında 19,03 cm³/g ve gaz geçirgenlik değerine bakıldığında ise 882 Pa olduğu görülmektedir. Dökümde kullanılacak maçaların gaz miktarının düşük olması istenilen bir durumdur. Bu optimum mukavemet değeri diğer reçineler kullanılarak üretilen maçaların çekme testi sonucunda maçalar ile de elde edilebilmektedir. C reçinesi kullanılarak üretilen maçanın mukavemetine yakın olan mukavemet B (FUF) reçinesi ile üretilen maça ile de elde edildiği görülmüştür. Bu mukavemet 1667 N/in²'dir. Bu mukavemete sahip B reçinesi ile üretilen maça 230 °C kürleşme sıcaklığında, 50 AFS tane numarası kum ile kum ağırlığına göre % 2,5 oranında reçine kullanılarak ve 30 s boyunca kürleştirilerek elde edilmiştir. Bu reçine ile üretilen maçanın gaz miktarı 15,87 cm³/g ve gaz geçirgenlik değeri ise 980 Pa'dır. Bu sonuçlara göre aynı mukavemete sahip fakat daha az gaz miktarı ve daha yüksek gaz geçirgenliğine sahip olan B reçinesi ile üretilen maçaların döküm uygulamalarında kullanılması önerilmektedir.

5- Kaynaklar

- 1) Beeley, P.,(1972), Foundry Technology ,(1st ed.), I, Oxford.
- 2) Rus GOST Standartları , 23409.7-78, Rusya.
- 3) Brown,J.,R.,(2000), Foseco Non-Ferrous Foundryman's Handbook,(11th), Oxford.
- 4) Svidro, J. T., (2017) The influence of thermal expansion of unbounded foundry sands on the deformation of resin bonded cores, Archives of Metallurgy and Materials,62,795-798.
- 5) Grabarczyk, A., Major-Gabryś K., Dobosz, St. M., Jakubski, J., (2018) Mechanical and Thermal Deformation of Hot-box Moulding Sand, Archives of Foundry Engineering, 18, 55 - 58
- 6) Lucarz, M., (2017), Method of Selecting the Reclamation Temperature of Spent Moulding Sands with Organic Binders, Archives of Engineering,18,65-70.
- 7) Stachowicz, M., Granat, K., Obuchowski, P.,(2017) Evaluation of the Possibilities of Sodium Silicate Sands Application in Automated Hot-Box Process of Cores Shooting, Archives of Foundry Engineering,17, 155-160

- 8) Kažnica, N., Zych, J., Mocek, J., (2017), Gases Emission From Surface Layers of Sand Moulds and Cores Stored Under the Humid Air Conditions, *Archives of Foundry Engineering*, 17, 79-84
- 9) Zhang, B., Garro, M., Chautard, D., Tagliano, C., (2013), Gas Evolution From Resin Bonded Sand Cores Prepared By Various Processes, *Metallurgical Science and Technology*
- 10) Arif Nuryawan, Byung-Dae Park, Adya P. Singh, (2014), Penetration of urea-formaldehyde resins with different formaldehyde/urea mole ratios into softwood tissues, *Wood Science and Technology* 48(5)
- 11) Byung-Dae Park, Eun Chang Kang, Jong Yong Park, (2006) Effects of formaldehyde to urea mole ratio on thermal curing behavior of urea-formaldehyde resin and properties of particle-board, *Journal of Applied Polymer Science*, 101-3, 1787-1792
- 12) Byung-Dae Park, Charles R. Frihart, Yan Yu c, Adya P. Singh, (2013), Hardness evaluation of cured urea-formaldehyde resins with different formaldehyde/urea mole ratios using nanoindentation method, *European Polymer Journal* 49, 3089-3094
- 13) Irving Skeist, (1990), *Handbook of Adhesives*, (3rd), New Jersey.
- 14) Zorba, T., Papadopoulou, E., Hatjiissaak A., Paraskevopoulos, K., M., Chrissafis, K., (2008) Urea-Formaldehyde Resins Characterized by Thermal Analysis and FTIR Method, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 92, 29-33
- 15) R Ghafari, K DoostHosseini, A Abdulkhani, SA Mirshokraie, (2016), Replacing formaldehyde by furfural in urea formaldehyde resin: effect on formaldehyde emission and physical-mechanical properties of particleboards, *European Journal of Wood and Wood Products* 74 (4), 609-616
- 16) Kadri Siimer, Tiit Kaljuvee, P. Christjanson, (2003), Thermal behaviour of urea-formaldehyde resins during curing, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* 72(2):607-617

OTOMATİK KALIPLAMA HATLARINDA KULLANILAN MİNİ BESLEYİCİ SİSTEMLERİNDEKİ GELİŞMELER

Haydar KAHRAMAN*, ***, İbrahim Hayri KESER*, ***, Özge AKSIN
ARTOK*, Ümit CÖCEN**

* Çukurova Kimya Endüstrisi A.Ş., Ar-Ge Merkezi, Manisa/Türkiye

** Dokuz Eylül Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, İzmir/Türkiye

*** Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir/Türkiye

ÖZET

Kum kalıba döküm yöntemi düşük maliyeti ve kalıplama kolaylığı nedeniyle uzun yıllardan beri tercih edilmektedir. Fakat ayrıntılı parçaların dökümünde kalıp hazırlama işlemi uzun sürebilir. Yüksek basınçlı otomatik kalıplama hatları kum kalıba dökümün seri üretime uydurulması açısından büyük bir gelişme olarak görülmektedir. Böylece ayrıntılı otomotiv ve makine parçalarının düşük insan gücü ile kısa sürede üretimi gerçekleştirilebilmektedir. Yüksek basınç otomatik kalıplama hatalarında besleyici kullanımına bakıldığında, mini besleyici sistemleri en iyi alternatif olarak görülmektedir. Mini besleyiciler genel olarak düşük sıvı metal gereksinimi ve yüksek termal modülleri ile ön plana çıkmaktadır. Mini besleyici sistemlerinin yüksek kalıplama basıncına dayanabilecek yapıya sahip olması gerekir. Bu nedenle hem besleyici yapısında değişiklik yapılarak hem de yardımcı yük sönmüleme edebilen sistemler kullanılarak gömleğin kalıplama sırasında hasar alması engellenmiş olur. Bu amaçla geliştirilen yeni mini besleyici sisteminin incelemesi ve deneme döküm çalışmaları ile uygulaması yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Döküm, besleme, kalıplama hattı, mini besleyici

ABSTRACT

Sand casting method is commonly preferred, because of low-cost and easy molding. However molding time can be long for detailed casting parts. The high-pressure automatic molding systems are very effective improvement on casting for mass production integration. Especially for iron based alloy casting, manufacturing rate increases greatly. Also, manpower decreases and casting yield rises up. Mini risers are good alternative for automatic molding system to solve feeding problems. Mini risers have less feeding metal and higher thermal energy. The weakest side of mini risers is their brittle structure. The riser consists of particulate material and inorganic binder, so high compactivity force of molding system can cause damage. There are different fixing systems that have been used for this circumstance. The purpose of these systems is absorbing the molding force on riser. There are various assistant components like spring pins, ductile breaker cores and frictional connectors.

Keywords: Casting, feeding, molding system, mini riser

1. GİRİŞ

Döküm kalıbı, döküm parçası, besleyici, yolluk, çıkıcılar ve diğer yardımcı bileşenlerden oluşmaktadır. Bileşenlerin tamamı yüksek döküm sıcaklığına dayanıklı kalıp malzemesinde uygun boşluklar olarak tasarlanmaktadır. Döküm parçanın eksiksiz elde edilebilmesi için ilgili bileşenlerin tamamının sistematik tasarlanması gerekir. Yolluk ve çıkıcılar sıvı metalin hareketini düzenlerken, besleyici kısmı metal tamamen katılaşıncaya kadar görev yapmaktadır. Diğer bileşenler besleyici ve yolluk sistemine yardımcı olmaktadır[1,2,3].

Besleyiciler, sıvı metal kalıbı doldurup katılaşma başladıktan sonra görev alır. Besleyici tasarımında, besleyicinin ve besleyicinin döküm parçasına bağlandığı boyun kısmının en son katılaşması beklenir. Bu sırada besleyicinin, besleme mesafesi içerisindeki tüm bölgelere 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 edilir. Besleyiciyi daha uzun süre sıcak tutabilmek amacıyla geliştirilen yardımcı elemanlar gerekli besleyici boyutlarının oldukça küçülmesine sağlayarak kalıp verimini artırmaktadır. Besleyicinin tamamını veya büyük kısmını saran ekzotermik ve yalıtım esaslı gömlekler en sık kullanılan yardımcı elemanlardır[2,3,4].

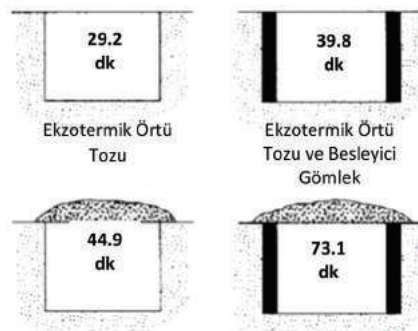
Besleyici gömleklerin temel amacı içerdiklerin bileşenlerin gösterdiği kimyasal reaksiyon ile sıvı metali ısıtması ve uzun süre sıcak tutmasıdır. Ayrıca bileşimindeki refrakter malzemeler sayesinde hem kimyasal yollarla üretilen ısının hem de sıvı metalin katılaşması sırasında ortaya çıkan yüksek ısının hızlı yayılımını engellemektir. 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 döküm destek elemanlarıdır [5, 8].

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 katılma süresi şöyle hesaplanır:

$$t_F = kM_F^2 \quad (1)$$

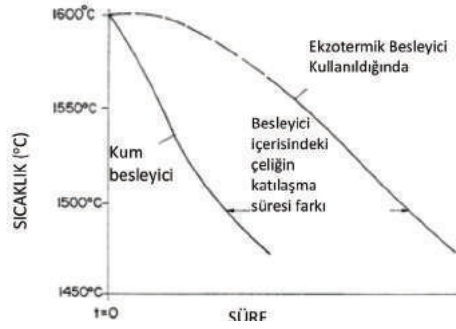
t_F besleyicinin katılma süresi, M_F besleyici modülü, k gömlek ve toz olmak üzere iki bileşene bağlı katsayıdır.

Besleyici metali yan duvarlarında gömlek kullanımı metalin ısı kaybını azaltmaktadır. Fakat en iyi besleme etkinliği için besleyici gömlek ile birlikte gömlek bileşimine benzer özelliklere sahip örtü tozu kullanımı gereklidir (Şekil 1). Besleyici gömlekler kapalı veya kapaklı olarak kullanıldığında örtü tozu kullanımına gerek kalmayabilir [6]



Şekil 1 200 mm çapta 250 mm yüksekliğindeki çelik parçada besleyici gömlek ve ekzotermik toz kullanımının soğuma hızlarının karşılaştırılması [6]

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 2'de verilmektedir. Sıvı metal hareketinin en kolay olduğu, soğuma eğrisinin düzleşmeye başlamadan hemen önceki kısma kum içerisindeki sıvı çelik daha hızlı ulaşırk-en gömlek içerisindeki sıvı metal nispeten daha uzun sürede ulaşmaktadır. Bu da katılaşma tamamlana-nana 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].

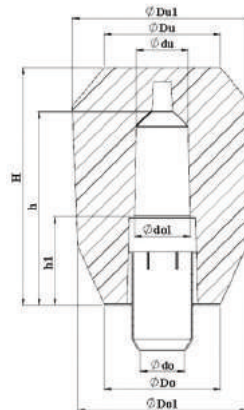


Şekil 2 Ekzotermik besleyici kullanımının sıvı çeliğin soğumasına etkisi [7]

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

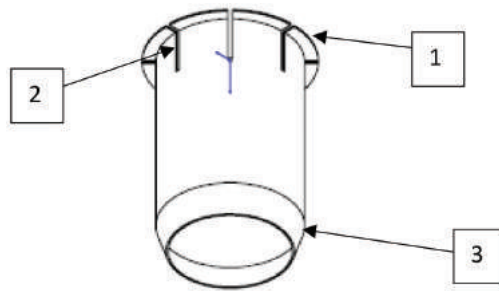
Geometrik tasarım çalışmaları otomatik yüksek basınçlı kalıplama hatlarında kullanılan yüksek egzotermik özellikli ve partikül bazlı kırılğan yapıdaki besleyici gömleklerin kalıplama basınçları altında hasara uğramalarını engellemek üzere gerçekleştirilmiştir. Yeni geliştirilen tasarım besleyici gömlek ve yardımcı elemandan oluşan bir sistemdir (Şekil 3).

Sabitleme elemanı, 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 5'te sabitleme elemanı kullanılan ve kullanılmayan gömleklerin basma testi grafiklerinin karşılaştırılması verilmiştir. Sabitleme elemanı kullanılmayan gömlekte deformasyon neredeyse hiç meydana gelmeyerek gömlek hasara uğramaktadır. Fakat sabitleme elemanlı gömlekte yükün büyük bir kısmı sürtünerek ve içe-dışa doğru esneyerek deforme olabilen sabitleme elemanı tarafından karşılanmaktadır. Bu durumda gömleğin hasar alması engellenerek aşırı yüklenme durumunda sabitleme eleman ilk aşamada iç yan yüzeylerden sürterek, daha sonrasında elemanın yan kısımları deforme olup gömlek içerisindeki durdurma kademesine dayanarak yükü karşılar.



Şekil 3 Geliştirilen mini besleyici sistemi

Hareketli iç sabitleme elemanı farklı şekillerde tasarlanmış temel olarak aynı işlevi görmektedir. Besleyici gömlek içerisinde yükün uygulama yönüne ters yönde hareket ederek besleyici gömlek iç yan yüzeylerine sürtünerek ve plastik deformasyona uğrayarak kalıplama hattının gömlek üzerinde oluşturduğu yükü karşılamaktadır. Şekil 4'te gösterilen iç hareketli sabitleme elemanı 1 numara ile gösterilen çıkıntıları besleyici gömlek iç yüzeyine sürterek 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 besleyici gömlek dar temas yüzeyine sahip bölgelere uygulanabilmekte ve döküm sonrasında boğaz kısmı olarak tabir ettiğimiz besleyici ve döküm parçası arasındaki bölgeden besleyicinin kolay kırılmasını sağlamaktadır.



Şekil 4 Mini besleyici sabitleme elemanı

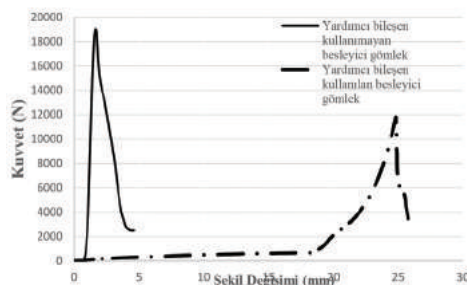
Yapılan çalışmalarda piyasada mevcut ürünlerden ve literatürde bahsedilen besleyici gömlek tasarımlarından tamamen farklı geometrik tasarımlar geliştirilerek gerçekleştirilmiştir.

Tasarlanan gömlek sistemi Manisa Celal Bayar Üniversitesi Deneysel Fen Bilimleri Araştırma ve Uygulama Merkezi laboratuvarlarında Shimadzu AGX 300kN Ünlversal test cihazı ile basma testleri uygulanmıştır. Testlerden sonra besleyici gömlek sistemi yüksek basınç otomatik yaş kum kalıplama sisteminde döküm uygulaması yapılmıştır.

3. BULGULAR

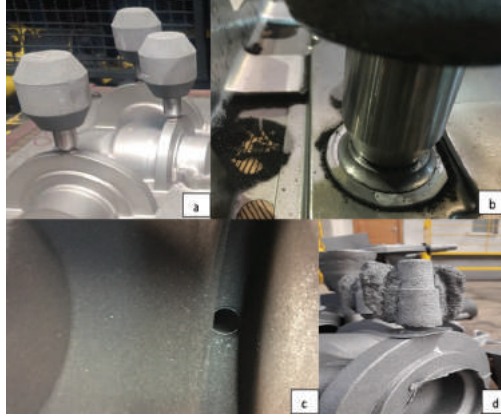
Yüksek basınç yaş kum otomatik kalıplama hatlarına uygun olarak geliştirilen besleyici gömleklerin kalıplamada yüklere karşı davranışları basma testi ile belirlenmiştir

Şekil 5'te yardımcı eleman kullanılan ve kullanılmayan gömleklerin basma testi karşılaştırılması verilmiştir. Yardımcı eleman kullanılmayan gömlekte şekil değişimi neredeyse hiç meydana gelmeyerek gömlek hasara uğramaktadır. Fakat yardımcı elemanlı gömlekte yükün büyük bir kısmı esnek koruma elemanı tarafından sönlümlendiğinden deformasyon miktarı fazladır. Bu durumda gömleğin hasar alması engellenerek aşırı yüklenme durumunda koruyucu eleman ilk aşamada yan yüzeylerden sürtme, daha sonrasında alt kısımda esneme yaparak yükü sönlümlenmektedir.



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 gösterge-sidir.



Şekil 6 Yeni tasarlanan mini besleyici ile yapılan (a) kalıp, (b) besleyici bağlantı noktası, (c) kalıp içi ve (d) döküm sonrası görüntüleri

4. GENEL SONUÇLAR

Yüksek basınç yaş kum otomatik kalıplama makinelerinde kullanıma uygun besleyici gömlekler üzerinde çalışılmıştır. Bu tip kalıplama sistemlerinde en önemli parametrenin yüksek basınç altında ve kalıplama sıkıştırması sırasında gömleklerin hasara uğramamasıdır. Geliştirilen sistemin mekanik dayanımı sağladığı hem mekanik testler hem de döküm denemeleri sonucunda tespit edilmiştir. Ayrıca döküm denemeleri sonucunda besleyici gömlek performansına herhangi bir olumsuz etkisi görülmemiştir. Söz konusu sistemin patent başvurusu çalışmaları tamamlanmıştır. Farklı döküm alışımlarında kullanılabilmesi açısından gömlek termal modülünün iyileştirme çalışmalarına devam edilecektir.

5. TEŞEKKÜR

Döküm denemesi çalışmalarında bizlere kapılarını sonuna kadar açan ve desteklerini esirgemeyen Atik Metal A.Ş. ailesine ve Sayın Oğuz Atlıhan'a teşekkürü bir borç biliriz.

6. 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) J. R. Brown, "Foseco Ferrous Foundryman's Handbook", Butterworth-Heinemann, 2000, 319-322.
- 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

DİJİTALLEŞME VE ENDÜSTRİ 4.0 ÇAĞINDA MAÇA ÜRETİMİ

Alexander MEISTER
Laempe Mössner Sinto GmbH

ÖZET

Aşağıdaki makale modern maça üretiminin geleceği hakkında bir fikir verip ve devam etmekte olan dördüncü sanayi devriminin potansiyelini göstermektedir. Laempe Mössner Sinto ve R. Scheuchel firmalarının ortak girişimi ile kurulan Inacore GmbH firmasında kazanılan deneyimleri baz alarak , günümüzün olanakları ve gelecek ürünler hakkında özel bir genel bakış sağlamak mümkündür.

1. GİRİŞ – MODERN MAÇAHANE FİKRİ

Heyecan verici zamanlarda yaşıyoruz.4. Endüstri Devrimi'nin başlarındayız. Sanal dünya ve gerçek dünya birleşiyor ve ürünler eşsiz bir hız, esneklikte ve bilinmeyen bir kaynak verimliliği düzeyinde üretilebilir.

Daha önceki üç endüstri devriminde olduğu gibi dördüncü de, nasıl yaşadığımız, nasıl çalıştığımız ve birbirimizle nasıl ilişki kurduğumuz konusunda büyük değişiklikler yaratacaktır. Örneğin bugün sadece makinaları çalıştıran işçilerin, gelecekte robotları kullanma ve yapay zekaya sahip akıllı sistemler ile çalışma becerilerine sahip olmaları gerekebilir.

Dördüncü sanayi devriminin, şirketleri hızlı değişim, zorluklar ve risklerle karşı karşıya bırakacağı, ancak gelecekte fırsatları da artıracığı kesindir.

Laempe Mössner Sinto, 1980 yılındaki kuruluşundan bu yana maça üretimi alanında teknoloji lideri olma hedefine sahip bir şirket olduğu için şirketin 4. sanayi devrimine yönelik yatırım yapacağı da kesindi.

Bu felsefe ile şirket CEO'su Andreas Mössner, 2016 yılında ABD'deki Silikon Vadisi'ni ziyaret etti ve dökümhane endüstrisinin teknolojik fırsatların çok gerisinde olduğunu fark etti.

Bu gezinin bir sonucu olarak Laempe geleceğine bir yatırım olarak 2017 yılında BMW firması için inorganik maça üretimi yapmak üzere son teknoloji üretim tesisi olan Inacore ortak girişim şirketini kurdu. Aynı zamanda Laempe, Inacore'da Endüstri 4.0'ın dijitalleştirilmesini ve uygulanması konusunda işbirliği yapmak üzere Start-up Pragmatik Endüstrileri ile çalışmaya başladı.

Dahası, 2018'de Laempe, görsel inceleme alanında uzman ve modern maçahane kavramını tamamlamak için Inspectomation şirketini satın aldı. Laempe, GIFA 2019'da kendi 3D-Maça Yazıcısı'nı piyasaya sürdü.

2. DİJİTALLEŞME VE ENDÜSTRİ 4.0'IN ANLAMI

Wikipedia, dijitalleştirmenin analog kaynak verilerinin sayısal bir formata dönüştürülmesi anlamına geldiğini söylüyor.

Wikipedia'ya göre Endüstri 4.0, makinelerin web bağlantısıyla donatıldığı ve tüm üretim zincirini görselleştirebilen ve kendi başına kararlar alabilecek bir sisteme bağlı olduğu akıllı fabrikalar fikridir. Basit anlatımı ile, dijitalleştirme makineler, fırınlar, klima sistemi ve benzerlerinin dahil olduğu tüm tesisi birbirine bağlar. Bu sonuçta tüm tesisin şeffaflığına neden olur. Bu şeffaflığa dayanarak, Endüstri 4.0, mümkün olan en yüksek Genel Ekipman Verimliliği, kısaca OEE'ye ulaşmak için tüm farklı parametreleri teşhis etmek, kontrol etmek ve ayarlamak için yapay zekaya sahip akıllı sistemlerin en üst seviyede uygulanması anlamına gelir.

3. DİJİTALLEŞMENİN MODERN MAÇAHANEDE PRATİK KULLANIMI

Bölüm 1'de bahsedildiği gibi, Laempe, 2017 yılında Start-up Pragmatik Endüstrileri ile birlikte geleceğin modern maçahanesini oluşturmak için Inacore'un dijitalleştirilmesi çalışmalarına başladı.

Amaç geçmişte ve şimdi de olduğu gibi maça başına maliyeti en aza indirmek için sırasıyla OEE'yi (Genel Ekipman Verimliliğini) en üst seviyeye çıkarmak için bütüncül bir yaklaşım olmuştur.

Bu gelişimin sonucu, "Laempe Digital Cockpit" adlı yeni bir üründür ve aşağı yukarı maçahaneniz için bir uygulama mağazasıdır(App-store).

3.1 OEE-App (Toplam Ekipman Verimliliği)

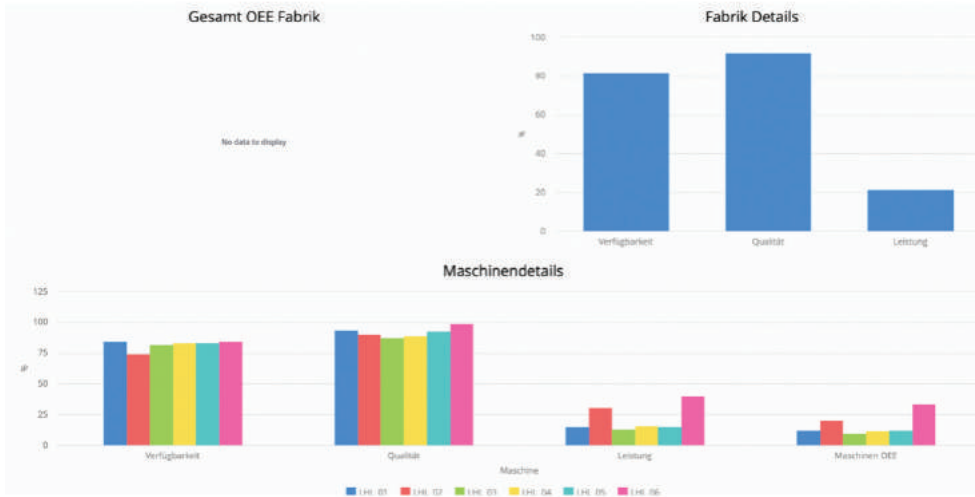
Bu uygulama, kullanılabilirlik, performans ve ürün kalitesine bağlı olarak makinenizin OEE'sini hesaplar. Genel görüntü operatör panelinde gösterilir.



Resim1: Tek makina OEE örneği

Diğer makinelerin entegrasyonu ile tüm maçaخانه için OEE'yi hesaplamak ve ayrı bir dizüstü bilgisayarda veya tablette görselleştirmek mümkündür. Sistem, farklı makinelerin veya makine kurulumlarının karşılaştırılmasını sağlar. Örneğin, LHL 02 makinesi (şekil 2), belki de daha sık bakımdan dolayı tüm makinelerin en düşük kullanılabilirliğine sahiptir. Aynı zamanda, bu makine LHL 02 tüm makinelerin en iyi üretkenliğine ve dolayısıyla en yüksek ikinci OEE'ye sahiptir.

Kurulum karşılaştırması tarafından kazanılan bilgiler şimdi, diğer tüm makinelere en iyi makine kurulumunu uygulayarak OEE'yi artırmak için kullanılabilir.



Resim 1: Tüm maçaخانه için OEE değerlendirmesi

3.2 Kullanıcı Uygulaması (Operator-App)

Kullanıcı Uygulaması, her makinenin kullanılabilirliğini ve kalitesini artırmak için yaratıldı. Operatör, vardiyası için hedef miktarını, üretilen ve reddedilen maça sayısını görüyor. Ek olarak, üretimde olan maçanın farklı açılardan görünümü gösterilmektedir ve bir hurda oluşması durumunda, operatör kusur alanını işaretler ve daha sonra açılır pencerede kusur türünü seçer ve eğer bir çatlak, ayrılma, nozul tıkanması, gevşek kum veya benzeri.

AGWES

Soll: 781, Ist: 640, Ausschuss: 4

Service

Riss, Kernbruch, Loser Sand, Porös, Einschuss zu, Sonstiges

Korrespondierender Ausschuss

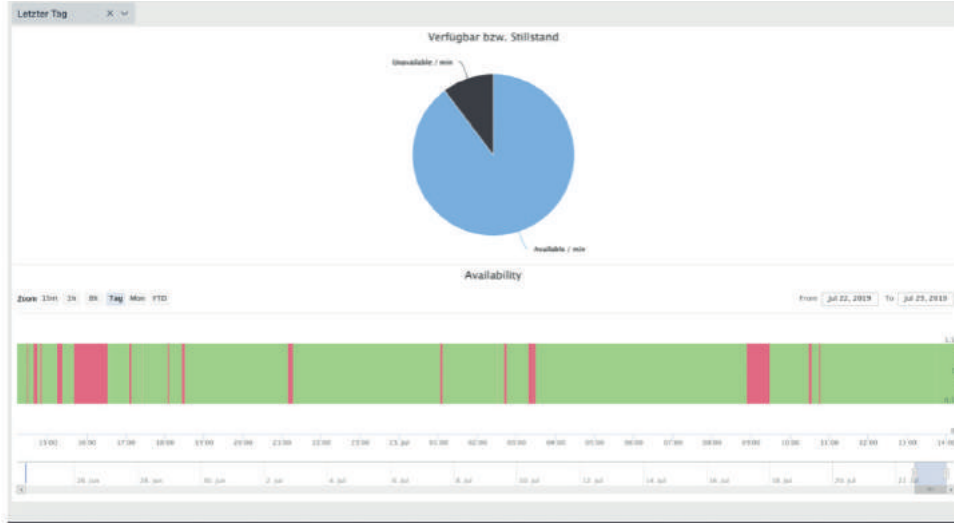
Schließen

Resim 2: Kullanıcı Uygulaması açılır ara yüzey ekranı ekran örneği

Makinenin herhangi bir sebepten dolayı durdurulması gerektiğinde, operatör servis düğmesine basarak makinenin durma süresinin nedenini bildirir. Bir açılır pencere belirir ve operatör, aksamın değiştirilmesi, üfleme nozülünün temizlenmesi, makine temizliği vb. seçenekleri arasından seçim yapar.

3.3 Duruğ Uygulaması(Downtime-App)

Kullanıcı Uygulaması ile kazanılmış servis bilgisine ek olarak, bu uygulama makinenin çalışmadığı her an için makine performansını düşüren tüm süreleri kaydeder. Temizleme süresi, maça alma, kum için bekleme süresi ve daha fazlası gibi performansın azaltılmasının tüm nedenleri hakkındaki bilgi, müşterinin kesin bir yatırım hesaplaması yapmasını ve dolayısıyla en verimli yatırımlar için rasyonel ve veri temelli bir tartışmaya sahip olmasını sağlar.



Resim 3: Duruş Uygulaması ilk versiyon örneği

3.4 Şikayet Uygulaması(Complain-App)

Bu uygulama, tüm üretim zincirindeki her bir partinin ve hatta her bir maçanın geri izlenmesini sağlar. Açıkça iyi bir maçanın dökümde bir hataya neden olması durumunda, bu uygulama size, makinenin ve karıştırıcının tüm üretim parametrelerini, belirli bir hata grubu için kontrol etme imkanı verir. Üfleme zamanı veya dökülme zamanı, iklim koşulları, döküm parametreleri ve daha birçok parametre hakkında daha fazla bilgi mevcut ise uygulanabilir.

Reklamationsinformationen zu Charge: 22411

Zurück zur Auswahl Erstellt am: 25. Februar 2019 14:35:21 MEZ

| RFID | Maschine | Kernkasten | Ankurit Maschine |
|------|----------|-------------------------------|-------------------------------|
| 1440 | LHL_05 | BX KGH PINK SKPL 3317874 EX12 | 25. Februar 2019 08:39:10 MEZ |

Schussparameter:

| Parametername | Schuss 1 | Schuss 2 | Schuss 3 | Schuss 4 |
|----------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| Schießdruck [bar] | 38.0 (35.0) | 38.0 (35.0) | 38.0 (35.0) | 38.0 (35.0) |
| Schießzeit [ms] | 1500.0 (1500.0) | 1500.0 (1500.0) | 1500.0 (1500.0) | 1500.0 (1500.0) |
| Füllstand Schießkopf [%] | 2.3913E-41 (-0.07532239) | 2.3899E-41 (3.51365E-39) | 2.391E-41 (6.0915803E17) | 2.3908E-41 (-1.5362918E-33) |
| Maschinenzeit [s] | - | - | - | - |
| Gesamttaktzeit [s] | - | - | - | - |
| Schussentlüfungszeit KK [ms] | 800.0 (800.0) | 800.0 (800.0) | 800.0 (800.0) | 800.0 (800.0) |
| Schussentlüfungszeit Ventil [ms] | 1667.0 (1800.0) | 1661.0 (1800.0) | 1794.0 (1800.0) | 1792.0 (1800.0) |

Resim 4: Üfleme parametreleri (Makina:LHL 05 , maça serisi :22411)

Bir partinin geri izlemesi yeterli değilse, müşteri ayrıca her bir maçayı Inspectomation'dan bir Lazer sistemi ile işaretleme olanağına sahiptir.



Resim 5: Inspektomation lazer sistemi ile markalanmış maça

3.5 Hepsi Bir Arada Uygulaması(All-in-View-App)

Hepsi Bir Arada Uygulaması, vardiya başına düşen hedef rakamlarla karşılaştırmalı saatlik üretim rakamlarına genel bir bakış sunar. Vardiya başına temizleme süresi vb. gibi daha fazla bilgi eklenebilir. Genel görünüm, üretim alanındaki ortak bir monitörde sunulmaktadır ancak bir dizüstü bilgisayarda veya tablette de görüntülenebilir.

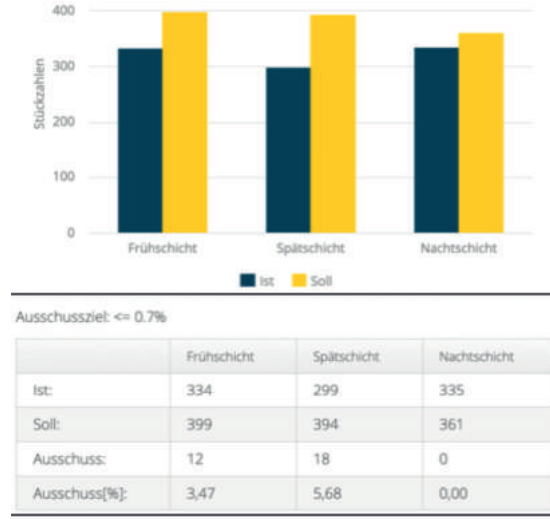
All In View - Stückzahlinformationen
(Maschine: LHL_01, Kalenderwoche: 9)

| Schicht | Uhrzeit | 100% | | Tagesziel | | Mo | | Di | | Mi | | Do | | Fr | | Sa | | n.J.O. | | Kernkasten | | |
|----------------------------------|---------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|----|----|------------|-------------|----|--|--------|--|-------------|----------|--|
| | | 25.02.2019 | 25.02.2019 | 25.02.2019 | 25.02.2019 | 26.02.2019 | 27.02.2019 | 28.02.2019 | 01.03.2019 | 02.03.2019 | 28.02.2019 | WM | MK | 25.02.2019 | aufgespannt | | | | | | | |
| 3 | 22:00 - 23:00 | 40 | 40 | 32 | 32 | 24 | 24 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 23:00 - 00:00 | 62 | 102 | 50 | 82 | 39 | 63 | | | | | | | | | | | | | | WM-MK 12 | |
| | 00:00 - 01:00 | 62 | 164 | 50 | 132 | 54 | 117 | | | | | | | | | | | | | | WM-MK 12 | |
| | 01:00 - 02:00 | 62 | 226 | 50 | 182 | 50 | 167 | | | | | | | | | | | | | | WM-MK 12 | |
| | 02:00 - 03:00 | 62 | 288 | 50 | 232 | 37 | 204 | | | | | | | | | | | | | | WM-MK 12 | |
| | 03:00 - 04:00 | 62 | 350 | 50 | 282 | 42 | 246 | | | | | | | | | | | | | | WM-MK 12 | |
| | 04:00 - 05:00 | 62 | 412 | 50 | 332 | 46 | 292 | | | | | | | | | | | | | | WM-MK 12 | |
| | 05:00 - 06:00 | 62 | 474 | 50 | 382 | 14 | 306 | | | | | | | | | | | | | | WM-MK 12 | |
| | 06:00 - 07:00 | 44 | 518 | 35 | 417 | 51 | 357 | | | | | | | | | | | | | | WM-MK 12 | |
| | 07:00 - 08:00 | 62 | 580 | 50 | 467 | 16 | 384 | 373 | | | | | | | | | | | | | WM-MK 12 | |
| 1 | 08:00 - 09:00 | 62 | 642 | 50 | 517 | 16 | 389 | | | | | | | | | | | | | | WM-MK 12 | |
| | 09:00 - 10:00 | 62 | 704 | 50 | 567 | 57 | 446 | | | | | | | | | | | | | | WM-MK 12 | |
| | 10:00 - 11:00 | 62 | 766 | 50 | 617 | 51 | 497 | | | | | | | | | | | | | | WM-MK 12 | |
| | 11:00 - 12:00 | 62 | 828 | 50 | 667 | 47 | 544 | | | | | | | | | | | | | | WM-MK 12 | |
| | 12:00 - 13:00 | 62 | 890 | 50 | 717 | 40 | 584 | | | | | | | | | | | | | | WM-MK 12 | |
| | 13:00 - 14:00 | 62 | 952 | 50 | 767 | 4 | 638 | | | | | | | | | | | | | | WM-MK 12 | |
| | 14:00 - 15:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 15:00 - 16:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 16:00 - 17:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 17:00 - 18:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 18:00 - 19:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 19:00 - 20:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 20:00 - 21:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 21:00 - 22:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 22:00 - 23:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ist-Abweichung je AT | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | -179 | | |
| Ist-Abweichung je AT (kumuliert) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | -179 | | |
| n.J.O. kumuliert | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | W: 38 M: 20 | | |
| Reinigungszeit je AT / min | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 40 | | |

Resim 6: 9.ncu hafta Hepsi Bir Arada örneği

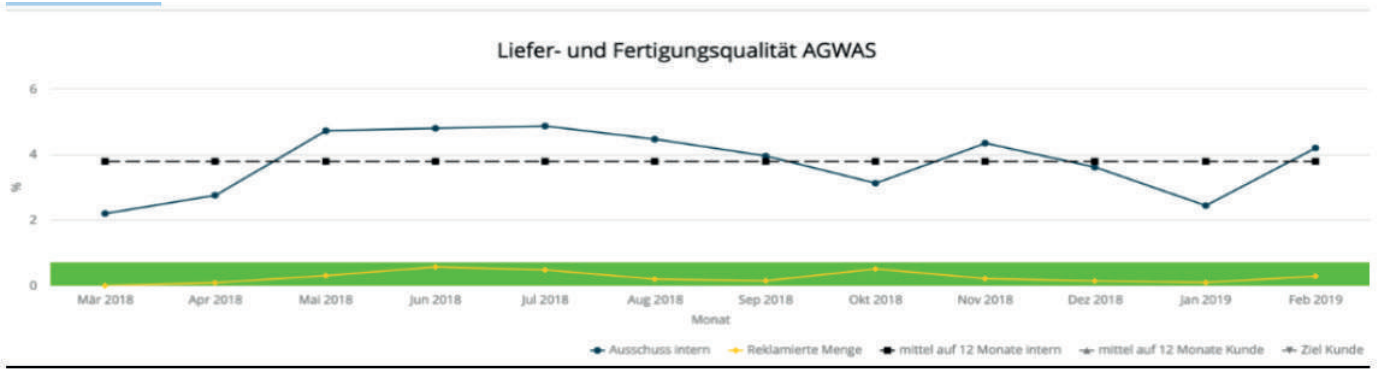
3.6 Raporlama Uygulaması(Reporting-App)

Hepsi Bir Arada uygulamasına ilave olarak, Raporlama Uygulaması, vardiya, makina, maça sandığı ve maça tipi bazında üretim ve kalite gerçekleştirmelerini günlük olarak değerlendirme imkanı verir.



Resim 7: Günlük üretim rapor örneği

Rapor sadece günlük üretim kalitesini değil aynı zamanda daha uzun bir zaman aralığında aynı bilgileri içermektedir. Son kullanıcıdaki bir arayüz ile şikayet edilen maçaları izlemek bile mümkün.



Resim 8: AGWAS maçası için kalite rapor örneği

Sunulmuş olan uygulamaların yanı sıra geliştirme aşamasında olan ,planlanan ve hizmete sunulmuş bir çok uygulamada bulunmaktadır.

Bazı örnekler:

- Maça Sandığı Uygulaması(Tooling-App) : Her bir maça sandığının çalışma süresi ve bakım zaman planlaması yapmak için tüm ilgili bilgileri içeren merkezi bir sistem. Üfleme sayısı veya bakım geçmişi gibi bilgiler kaydedilecektir.
- Kestirimci Bakım (Predictive maintenance): Bu sistem, metal yorulması belirtilerini analiz etmek ve dolayısıyla bir arıza meydana gelmeden önce bakımı planlamak için tüm ana silindirlerin ve motorların mevcut çalışma parametrelerini ölçmektedir.
- Proses Performansı(Process performance): Yapay zeka sayesinde makine, maksimum işlem performansına ulaşmak için nem veya sıcaklık gibi değişen çevre koşullarına bağlı olarak üfleme basıncı, gazlama süresi, gazlama sıcaklığı gibi işlem parametrelerini ayarlayabilecektir.
- Tüm bu uygulamalar, gelecekteki maça üretim olanakları ve yetenekleri hakkında küçük bir fikir vermektedir. Teknoloji geliştirmenin şu anki aşaması, dijitalleştirme bağlamında daha fazla görülebilir. Bir sonraki seviye kesinlikle yapay zekalı sistemlerin uygulanması olacak ve bu da genel verimliliği artıracaktır.

Sonuç olarak:

- Daha kısa zamanda pazara sunum: Dijital bir kopya ilk fiziksel prototipi yapmadan önce sanal dünyadaki yeni ürünleri tasarlama, simüle etme ve test etme fırsatını verecek.
- Limitsiz tasarım imkanı: 3D yazıcı, belki doğadan ilham alınarak mümkün olan en yüksek ekipman performansı için yapıcı engeller olmadan ürünlerin tasarımına izin verecektir.
- Optimize edilmiş makina performans ve kalitesi: Makina performansını olumsuz etkileyebilecek bütün etkenler belirlenebilecek ve otomatik olarak yapay zeka kullanılarak ayarlanabilecektir.
- Maksimum makina kullanılabilirliği: Kestirimci bakım uygulanması makina performansını en üst seviyede tutabilecek bakım aralıkları seçilmesini sağlayacak ve bakıma ayrılacak süre en alt seviyeye indirilecektir.
- Enerji Kaybı: Tüm tesisin enerji tüketimi, eşsiz bir verimlilik uyumu ile koordine edilecektir.

Bu yazının başlangıcında yazıldığı gibi, 4. Sanayi Devrimi ile şirketler hızlı değişim ve zorluklarla, risklerle ve fırsatlarla yüzleşecektir.

Filozof Khalil Gibran'ın dediği gibi : "İlerleme, olanı artırmakta değil, olacak olana doğru ilerlemekte yatar."

DEMİR DÖKÜMHANELERİ İÇİN AR&GE MERKEZİNİN ÖNEMİ, KURULUMU İÇİN GEREKENLER, KURULUM SÜRECİ, AR&GE PROJE FELSEFESİ

Zafer AY*, Yaşar Uğur AKI*, Gökhan ECE*

**Demisaş A.Ş. Vezirhan/Bilecik/Türkiye*

ÖZET

Ar-Ge, Teknoloji Geliştirme Bölgeleri Kanunu'na göre; kültür, insan ve toplumun bilgisinden oluşan bilgi dağarcığının artırılması ve bunun yazılım dahil yeni süreç, sistem ve uygulamalar tasarlamak üzere kullanılması için sistematik bir temelde yürütülen yaratıcı çalışmalardır.

Araştırma ve deneyimden yararlanarak

- Yeni malzemeler, yeni ürünler ya da cihazlar üretmeye,
- Yeni süreçler, sistemler kurmaya,
- Üretilmiş veya kurulmuş olanları önemli ölçüde geliştirmeye yönelmiş sistemli bir çalışmadır.

Bu çalışmalar kapsamında DEMİSAŞ A.Ş. olarak yaptığımız çalışmalar şunlardır;

- Fabrikamızda Ar-Ge Merkezinin ve yönetim sistematığının kurulması ve yürütülmesi,
- Kurulum için gereken şartların oluşturulması,
- Akademisyenlerden tecrübe kazanılması,
- Devlet destekleri kazanım çalışmaları,
- Proje mantığının oturtulması ve proje uygulamaları,
- Sürdürülebilirlik çalışmalarıdır.

Anahtar Kelimeler: Ar-Ge, Proje Mantığı, Ür-Ge, Devlet Destekleri, Ar-Ge Merkezi Kurulumu

ABSTRACT

R & D, according to the Technology Development Zones; creative works carried out on a systematic basis to increase the knowledge of culture, people and society.

Using research and experience

- To produce new materials, new products or devices,
- To establish new processes, systems,
- It is a systematic work aimed at significantly improving what has been produced or established.

In line with these studies, DEMİSAŞ A.Ş. Our work as follows;

- Establishment and execution of R & D Center and management systematic in our factory,
- Establishing conditions for installation,
- Gaining experience from academicians,
- Acquisition of government subsidies,
- Establishment of project logic and project applications,
- Sustainability studies.

Keywords: R&D, Project Logic, P&D, Government Grants, R & D Center Installation

1. GİRİŞ

5746 sayılı kanunda Ar-Ge Merkezi olarak tanımlanan yapılar; siparişe dayalı ve/veya Ar-Ge ve yenilik projeleri yürütmek amacıyla sermaye şirketleri tarafından kurulmuş ve işletmenin organizasyonel yapısından ayrı bir birim şeklinde örgütlenmiş yapıları ifade eder.

2. AR-GE'NİN TANIMI

Araştırma ve deneysel geliştirme (AR-GE), insan, kültür ve toplumun bilgisinden oluşan bilgi dağarcığının arttırılması ve bu dağarcığın yeni uygulamalar tasarlamak üzere kullanılması için sistematik bir temelde yürütülen yaratıcı çalışmalardır. OECD tarafından hazırlanan Frascati Kılavuzu'na göre AR-GE,

- Temel araştırma: Yeni bilgi edinmek için, uygulanabilir olup olmadığına bakılmaksızın yapılan deneysel ya da teorik çalışmalardır.
- Uygulamalı araştırma: Yeni bilgi edinmek için, öncelikli ve özel olarak pratik bir amaç ya da hedefe yönelik olarak yapılan özgün araştırmalardır.

- Deneysel geliştirme: yeni süreç, sistem veya hizmet üretmek ya da üretilmiş veya kurulmuş olanları büyük ölçüde geliştirmek amacıyla yeni materyal, ürün ve cihaz üretmeye yönelik olarak araştırma veya pratik deneyimler sonucunda elde edilen bilgiler üzerinden yapılan sistemli araştırmalardır.

Endüstride yaygın olarak kullanılan Ar-Ge Merkezi yapısı son yıllarda ağır sanayilerden biri olan dökümhanelerde de gündeme gelmeye başlamıştır. Gelişmiş ülkelerle aramızdaki teknoloji açığının kapatılması, ürün ve hizmet kalitesinin yükseltilmesinde AR-GE faaliyetleri büyük önem taşımaktadır. Herhangi yeni bir ürün üretmek ya da var olan ürün ya da proses üzerinde değişiklik yapmak olarak tanımlanan AR-GE' nin temelini bilgi ve bilim oluşturmaktadır.

Bilgi, hammadde, emek, zaman, mekan, sermaye ve öteki girdilere olan ihtiyacı azalttığı için her şeyi ikame etmekte, ileri bir ekonominin merkezi haline gelmekte ve bu gerçekleşikçe değeri hızla artmaktadır.

- Ar-Ge Merkezinin kurulmasını,
- Projelerin hazırlanması,
- Başvuru işlemleri,
- Teknik yeterlilikler ve çalışmaları,
- Mali ve İK tarafıyla yapılan çalışmalar,
- Bakanlıkla yürütülen faaliyetler,
- Fabrika iç organizasyonunun sisteme adaptasyonu ve yönetimin desteği,

hepsi ayrı ayrı yürütülüp daha sonra bir bütün haline getirilmesi gereken detaylı çalışmalardır.

AR-GE için en önemli unsur insan faktörüdür. AR-GE, her şeyden önce merak, sezgi ve yaratıcılık isteyen, kendi başına iş yapabilecek ve kendi kendini denetleyebilecek kişilikte olanların ilgileneceği bir uğraştır. Bireylerdeki merak ve yaratıcılığın bilimsel merak ve bilimsel yaratıcılığa dönüşmesi için önce eğitim sisteminin daha sonra da içine girilecek çalışma ortamının kişilerin bu özelliğini geliştirecek şekilde düzenlenmesi gerekmektedir.

Özetle AR-GE, esneklik, disiplinli çalışma ve süreklilik isteyen, yetişmiş uzmanlardan oluşan bir ekip işidir. Kısacası büyük özveri ister, sonucunda da başarılı çalışmalar veya öğrenilmiş dersler ortaya çıkarır.

Süreçlerinde, ürünlerinde ve teknolojilerinde Ar-Ge yapan kuruluşlar, her zaman diğerlerinden bir adım daha ileride olmakla kalmaz. Sürekli kendini ve proseslerini yenileyebildikleri için bilgi ve tecrübe kazanırlar. Bundan dolayı iyi zamanlarında verimlilik artırırken zor zamanlarında ise kolay toparlanma şansına sahip kuruluşlar haline gelirler.

Tabi ki bu sistemi kurabilmek, fiziki şartların yeterliliğini sağlayabilmek, projelerde çalışmak, uygu-

lamalarını yapmak ve başarı sağlayabilmek, sonrasında da Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığının denetimine tabi olarak Ar-Ge Merkezi olmak büyük ve zorlu bir yolculuktur. Sonrasında yürütme adımına devam sürecinde çalışmalarını devam ettirmek gerekmektedir.

3. Ar-Ge Merkezi Olmak İçin Ön Şartlar Nelerdir?

Kanun çerçevesinde ilgili ünvanı elde edebilecek için;

- Ar-Ge birikimine ve sistematik proje yönetim tecrübesine sahip olmak
- Belirli NACE kodları haricindeki sektörlerde azami sayıda tam zaman eş değer 15 Ar-Ge personeli istihdam etmek
- İşletmenin diğer faaliyetlerinden ayrı bir şekilde örgütlenmiş ve kontrol edilebilir bir birime sahip olmak gerekmektedir.

4. DEMİSAŞ A.Ş. Ar-Ge Merkezi Kurulum Aşamaları

- Mevcut Durumun İncelenmesi ve literatür araştırması.

AR-GE Merkezi olan farklı firmalara yapılan ziyaretler.

- Proje Rapor Onay

Kick Off: Ar Ge Merkezi Kurulum Projesi Hakkında Yönetime bilgilendirme yapılmıştır. Projenin başlama onayının yönetimden alınması ve sonrasında tüm projelerin yürütülmesi devam etmiştir. Ara toplantılar ile kurulum ve projeler hakkındaki milestoneların üst yönetimimize aktarılması sağlanmıştır.

- Danışman Seçimi

Danışman ile çalışılmalı mı, Danışman seçimi nasıl yapılmalı, dikkat edilecek hususlar;

Danışman ile çalışmak Firmayı Ar-Ge yolculuğunda 1-0 önde başlatabilir. Ancak tabi ki doğru seçimi yapabilmek ve bu kararı verebilmek hiç de kolay değildir. Örneğin, düşünün ki bir araç alacaksınız ve arabalar hakkında hiçbir bilginiz yok, bu durumda sizi nasıl bir sürecin beklediğini az çok tahmin edersiniz. Yani araçta aradığınız yada arayabileceğiniz kriterlerden bile haberiniz yok. Sadece iyi bir araç almak istiyorsunuz, fakat burada; performans, yakıt, dayanıklılık, kalite, servis, yedek parça, garanti, araç iç ve dış hacmi, fiyat gibi kabaca sayabileceğimiz ana kriterler vardır. Ar-Ge Merkezi ve bunun gibi projelerde de aynı durum söz konusudur. Yani size kendini ve yaptığı işi tanıtmaya gelen danışmanlar çeşitli konulardan bahsedeceklerdir. Bir çok süslü sunumu size aktaracaklardır. Ancak alacağınız hizmet, belki de sadece güzel bir sunum ve merkez başvurusundan ibaret olabilir.

Bunu nasıl bilebilirsiniz, tabiki ön araştırmanız iyi olmalıdır. Danışmanları çağırdığınızda neredeyse onların bilgisine yakın bir temel bilgiye sahip olmalısınız. Size yakın firmalara yapacağınız ziyaretler ufkunuzu bu yönde açmak için çok faydalı olacaktır. Biz bu konuda üst yönetimimizin tecrübelerinden son derece faydalandık ki, kendileri bizi özellikle direkt olarak işin içine sokmamıştır, ön araştırmalarımız, firmalara yaptığımız benchmark çalışmalarımız ve sonucunda temel bilgimizin iyi olmasını sağlamışlardır ve sonuç olarak, Ar-Ge Yolculuğunda 10 seviye varsa biz level 5 ten başladık diyebilirim gönül rahatlığıyla.

Sonrasında tabi ki iyi bir danışman firma ile çalışılmalıdır. Çünkü başta özellikle nasıl projeler yapılmalı, süreleri ne olmalı, bütçeleri nasıl hesaplanmalı, Ar-Ge Merkezi fiziki şartları sağlanırken nelere dikkat edilmeli ve başlardaki en önemli konulardan biri olan dokümantasyon ve Bakanlık diline çevrilirken nelere dikkat edilmesi gerektiği konularının % 80'ini bilmiyorsunuz. Danışman burada devreye giriyor.

- Ar-Ge Merkezi Personeli Seçimi

26 Şubat 2016 tarihinde resmi gazetede yayınlanan Ar-Ge Reform Paketiyle Ar-Ge ve yenilik ekosistemini geliştirecek pek çok yeni düzenleme getirilmiştir. Bu kanunun ardından Bakanlar Kurulu'nun almış olduğu karar ile 50 tam zamanlı eşdeğer Ar-Ge personeli sınırlaması kaldırılarak, çoğu sektör

için bu sınır 15 tam zamanlı eşdeğer Ar-Ge personeline düşürülmüştür.

Ar-Ge Personelinin tanımı ise resmi gazetede yayınlanan Araştırma, Geliştirme Ve Tasarım Faaliyetlerinin Desteklenmesine İlişkin Uygulama Ve Denetim Yönetmeliği'nde;
Ar-Ge faaliyetlerinde doğrudan görevli araştırmacı ve teknisyenleri şeklinde tanımlanmıştır.

Araştırmacı: Ar-Ge faaliyetleri ile yenilik tanımı kapsamındaki projelerde, yeni bilgi, ürün, süreç, yöntem ve sistemlerin tasarım veya oluşturulması ve ilgili projelerin yönetilmesi süreçlerinde yer alan en az lisans mezunu uzmanlardır.

Teknisyen: Meslek lisesi veya meslek yüksekokullarının tasarım, teknik, fen veya sağlık bölümlerinden mezun, teknik bilgi ve deneyim sahibi kişilerdir.

Destek Personeli: Ar-Ge ve yenilik veya tasarım faaliyetlerine katılan veya bu faaliyetlerle doğrudan ilişkili yönetici, teknik eleman, laborant, sekreter, işçi ve benzeri personeller ise destek personeli kategorisine alınmıştır. Destek Personeli Ar-Ge personeli toplamının, en fazla %10'u kadar olabilir.

Yine işin başlarında danışman desteği almanızın faydası diyebileceğim konulardan biri de personel seçimidir. Ancak burada aksatılmaması gereken önemli noktalardan biri de alınan Teknik danışmanlığın yanında bir de Mali danışmanlık alınması gerektiğidir. Bu konunun detaylarını sürdürme aşamasında anlatıyor olacağım.

- Tanımda adı geçen araştırmacı ve teknisyenlerimiz;
DEMİSAŞ'ta 4 ve 2 yıllık üniversitelerin mühendislik ve teknik bölümlerinden seçilmiştir.
- Teknik Şartnamelerin Belirlenmesi ve Dokümantasyon Çalışmalarına Başlanması

Proje planının güncel tutulması

Proje çalışmaları ve sunum dosyalarına başlanması

Proje deyince ilk akla gelen konu, doğru bir proje ve proje planı olmalıdır. Ar-Ge proje felsefenizi çok iyi oluşturmalsınız. Proje adımlarınızı doğru belirlemeli ve kendinize göre bir proje yönetim sistemi kurmalısınız ve bunu da standartta oturtabilmiş olmalısınız. Şunu rahatlıkla söyleyebilirim ki, biz Ar-Ge Merkezi olmadan önce de zaten Ar-Ge projeleri planlıyor, uyguluyor ve projeyi bitiriyorduk. Bir proje yönetim sistematiğimiz vardı. Büyük projeler ve bunun yanında günlük iyileştirme faaliyetleri yapıyorduk. Tabi bunların bir kısmı excellde büyük projelerin olduğu bir kısmı da proje yönetim programlarında takip ediliyor ve yürütülüyordu. Ar-Ge projelerinin tamamı yeni bir modül altında, aşamalar, görevler, zaman çizelgesi, üyeler, Gant görünümü, yorumlar, proje başlangıç ve bitiş tarihleri, projenin tamamlanma oranlarının ve daha birçok alt detayın olduğu bir programla takip edilmeye başlandı ve projelerimizi buradan bölüm amirleri ve üst yönetimin de görebildiği bir sistem kuruldu, burada proje tamamlanma ve gecikmeleri ve neden dolayı gecikmeler olduğu hepsi görülmektedir. Tüm bunlar projeye bir disiplin getirmektedir. Ayrıca proje ile ilgili kişilerin tüm ortak dosya ve takvime anında ulaşabilmesini sağlamaktadır.

Projeleri seçerken de, dikkat edilmesi gereken noktalar vardır. Bir çalışmanın Ar-Ge projesi olabilmesi için, Dünyada ilk, Türkiye'de ilk veya fabrikanızda ilk olması gerekiyor. Ayrıca; ilgili projeye neden ihtiyacımız vardı, iş planı, projenin yenilikçi yönü, somut çıktıları, bunları proje adımlarına yedirerek iyi bir sunum hazırlayabilmeli ve gelen akademisyen denetçilere iyi aktarabilmelidir.

Buradaki en önemli konulardan bir tanesi de, Ar-Ge ve Ür-Ge kavramlarıdır ki gerçekten karışabilmektedir.

5. Ar-Ge ve Ür-Ge Arasındaki Temel Farklar

Birbirlerinden farkları çok açık ve nettir:

- Ür-Ge, basit anlamda mevcut bir ürünün yapısını, maliyetini azaltmak ya da kalitesini yükseltmek gibi amaçlarla, bugünkü görünüşünden ve işlevinden farklı hale getirmek demektir. Yani mevcut ürünlerin maliyet ya da kullanım açısından geliştirilmesini tanımlayan bir kavram.
- Dolayısıyla yepyeni bir ürün, yöntem ve amaçtan bahsediyorsanız bunun bir Ar-Ge olduğunu; ancak herhangi mevcut bir ürününüzü veya kullanımını geliştirmekten bahsediyorsanız bunun bir Ür-Ge olduğunu söylemek mümkündür.

Bu bağlamda Ar-Ge ve Ür-Ge'nin örtüşen ve birbiriyle karıştırılacak hiçbir yanı yoktur. Peki neden karışmaktadır? Karışmaktadır çünkü çoğu ürün geliştirme faaliyetinin belirli bir yüzdesi Ar-Ge'den oluşmaktadır. Yani aslında Ar-Ge, Ür-Ge'nin vazgeçilmez bir parçasıdır.

Ar-Ge'nin de aslında Ür-Ge'den bağımsız olmayan bir alt "Ür-Ge" süreci olduğunu gördük. Bu bağlamda ürün geliştirme süreçleri aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Ürün Hedef Özelliklerinin (Teknik ve Ticari) Belirlenmesi
- Ürün Teknik Detay Dokümanlarının Çıkarılması
- Ürün Geliştirme Faaliyetlerinin Ekip Bazında Planlamasının Yapılması
- İş Paketlerinin Gerçeklenmesi ve Testler (Ar-Ge buradaki bir alt Ür-Ge sürecidir)
- Çalışmaların Entegrasyonu
- Bütün Sistem Testleri
- Kurulum, Bakım, Destek

Ar-Ge göreceli bir kavramlardır, bir şirket için Ar-Ge faaliyeti, başka bir şirket için standart mühendislik olarak sınıflandırılabilir.

6. Fikri, Sınai Mülkiyet Haklarının Yönetimi

Ar-Ge Merkezlerinde gerçekleştirilen Ar-Ge faaliyetleri için fikri, sınai mülkiyet hakları araştırmaları yapılması gerekmektedir. Yurt içi/yurt dışı kaynaklarda yapılacak araştırmalar; yeni Ar-Ge projelerinin geliştirilmesi konusunda ilham vermekte, geliştirilen ürün/hizmetin bir hak ihlali doğurmayacağını garanti altına almakta ve geliştirilen ürün/hizmetin haklarının korunarak rakiplere karşı önlem alınmasına yardımcı olmaktadır.

i. Patent: Kopya olmadığı sürece genel olarak her sürece ve ürüne patent alabilirsiniz. Önemli olan dünyada başka bir şirket henüz bunu yapamıyor veya yapmadı diyebiliyorsanız bu patenttir ve iyi bir

Ar-Ge çalışmasıdır.

ii. Faydalı Model: Faydalı modelin patentten farkı süredir. Patent 20 yıl hakkını korurken, faydalı modelde koruma süresi 10 yıldır.

Ür-Ge, Ar-Ge, patent ve benzeri kavramlara çok da takılmadan aslında yapılması gereken şey ürün geliştirmektir. Ürününüzü geliştirirken zaten Ar-Ge yapmış oluyorsunuz ve çalışma sonucunda patent yada faydalı model çıkma ihtimali her zaman vardır.

- Bina ve Laboratuvar Teknik Değerlendirme Onay

Ar-Ge merkezi olacak binanın tespiti veya yeni bina yapılması ve bu çalışmaya karar verme süreci başlı başına bir adımdır. Bu kısımda mevcut bölgelerinizin metrekaresini, çalışan sayısını, merkezde çalışacak kişi sayısını ve yapacakları işleri de göz önüne alarak uygun bir yapılanma içine girmelisiniz. Mesela kaç araştırmacı istihdam edeceksiniz, kaç teknik elemanı ne tür projelerde çalıştıracaksınız, destek elemanlarının sisteminizde yerleşimi nasıl olacak, gibi sorulara vereceğiniz cevaplar hep bu personellerin yerleşimini belirlemede birer unsur olacaktır.

Ar-Ge Merkezi olabilecek bölgelerin tespiti için gerekli teknik çizimler üzerinde alanların işaretlenmesi

çalışması, Yönetime sunulması ve karar alınması; Burada Yönetimin de kararlılığı, desteği ve bilgisi çok önemlidir, çünkü eğer üst yönetimin bu konuda ne kadar bilgisi varsa ve arkanızda ne kadar durabiliyorsa, ancak o kadar başarılı olabilirsiniz. Özellikle işin en başında onlardan alınan destek bu zor yolculukta sizleri gerçekten birkaç adım öne götürebiliyor.

Bunları neden söylüyorum. Ar-Ge Merkezi Yöneticisini işe alıp, hadi sistemi kur da bir an önce imkanlardan yararlanmaya başlayalım diyen ve elini taşın altına hiç sokmayan tanıdığımız birçok üst düzey yönetici var. Burada DEMİSAŞ A.Ş' nin bir çalışanı olarak üst yönetimimize çok teşekkür ediyorum, her zaman destek oldular ve ufukumuzu açtılar.

- Bina ve laboratuvar inşaat faaliyetlerinin tamamlanması
- Eğitimler (teknik, proje yönetimi, fikri sınai haklar ve sunum hazırlama ve sunum teknikleri)
- Demirbaş Temini
- Laboratuvar cihazları temini ve eğitimleri
- Cihazlar bölgesine kamera ve kartlı geçiş sistemi montajı ve PDKS Sisteminin raporlama çalışmaları

Burada gerekli olan, PDKS mantığına göre içerde ve dışarda geçirilen süreler ve personelin izinleridir.

- Bakanlık faaliyetleri ve başvuru evraklarının sisteme yüklenmesi
- Ar-Ge Merkezi olabilmek için Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığının görevlendirdiği akademisyenler tarafından yapılan yerinde fiziki ve proje denetimlerinin gerçekleştirilmesi

Denetçi akademisyenler tarafından yapılan tetkiklerde de projeler, süreç ve laboratuvarlar hakkında bilgi sahibi olabilirsiniz. Burada önemli olan, özellikle yürütme aşamasında devam edecek projeler ve verilecek olan ödevler hakkında doğru yorumlar yapabilecek düzeye gelebilmek ve denetçiler, danışmanlar ve bakanlıktan iyi yararlanabilmek ve işletmemiz için en doğru kararları verebilmek ve uygulamaları en iyi şekilde yapabilmektir.

- Bakanlıkta, bakanlık görevlileri ve yine akademisyenler tarafından yapılan denetimin ardından Ar-

Ge Merkezi olmaya hak kazanılması

Yine projelerin anlatıldığı ve özellikler bütçeler hakkında da detaylı bilgi verildiği bu toplantılara da iyi hazırlanmak gerekmektedir. Çünkü orada kendimizi doğru anlatabilmek için çok fazla vakit bulamayabiliriz.

7. Devlet Destekleri ve Mahiyetleri

Kanun çerçevesinde; Araştırmacı, teknisyen ve destek personeli Ar-Ge personeli olarak tanımlanır. Ar-Ge personelleri için;

- Gelir Vergisi Stopaj İndirimi
- SGK İşveren Payı İndirimi
- Damga Vergisi İndirimi
- Temel Bilimler Personel İstihdamı Teşviki geçerli olmaktadır. Destek personeli, teknik personel olmayabilir fakat toplam Ar-Ge personeli sayısının %10'unu aşmamalıdır.

8. Ar-Ge Merkezlerinde Personeller Harici İndirimler Nelerdir?

Kanundan faydalanan işletmeler;

- Ar-Ge İndirimi
- Gümrük Vergisi Muafiyeti
- Siparişe Dayalı Ar-Ge İndirimi konularından da yararlanma imkanı bulurlar.

9. Vergisel Teşvikler

- Devlet tarafından AR-GE çalışmaları önemli kabul edilerek "vergisel" açıdan da belirli koşulları ye-

rine getirmek koşuluyla desteklenmek istenmektedir. Vergisel teşvikleri; vergi erteleme ve taksitlendirme, vergi muafiyet bağış ve yardımlar, yatırım destekleri KOSGEB desteği olmak üzere üç başlık altında toplamak mümkündür.

i. Vergi Erteleme ve Taksitlendirme: Kurumlar Vergisi Kanunu'nun 1. maddesinin 6 numaralı bendinin son paragrafına eklenen hüküm ile kurumların işletme içi AR-GE faaliyetinde bulunmaları teşvik edilmiştir. Getirilen hükümle kurumların, yıl içinde yaptıkları AR-GE harcamalar tutarını geçmemek üzere, ilgili dönemde ödemeleri gereken yıllık kurumlar vergisinin %20'sinin kanun süresinde tahsilinden vazgeçilerek, bu orana isabet eden vergi üç yıl içinde kurumlar vergisinin ödeme taksitleri ile birlikte eşit taksitler halinde ödenecektir. Ancak madde de sözü edilen AR-GE faaliyetlerinin yeni teknoloji arayışına yönelik faaliyetlerden olması gerekir. Aksi halde söz konusu istisna hükmü uygulanmayacaktır. Bu haktan yararlanmak isteyen mükelleflerin Maliye Bakanlığı'na başvurmaları gerekmektedir.

ii. Vergi Muafiyeti

Türk Medeni Kanunu hükümlerine göre, kurulan vakıflarla bilimsel araştırma ve geliştirme faaliyetlerinde bulunan kurum ve kuruluşlara vergi muafiyeti tanınması ile ilgili usul ve esaslar 15.02.1990 tarih ve 20434 sayılı resmi gazetede yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Bu düzenlemeye göre, bilimsel AR-GE faaliyetinde bulunan kurum ve kuruluşların muafiyet şartları şunlardır. Bilimsel AR-GE faaliyetinde bulunmak üzere kurulacak kurumların;

- Anonim şirket veya vakıf şeklinde kurulması,
- Amaçlarının; mevcut teknolojiyi geliştirme veya yeni teknoloji arayışına yönelik olması,
- Yatırımlarının, Yatırım Teşvik ve Yatırım İndirimi Belgesine bağlanmış bulunması,
- TÜBİTAK, DPT, ile ilgili diğer bakanlık ve kuruluşların kuruma vergi muafiyeti verilmesinin uygun olacağı yolunda Maliye Bakanlığı'na olumlu görüş bildirmeleri (Vakıf şeklindeki kuruluşlar için, ayrıca Vakıflar Genel Müdürlüğü'nün görüşü alınır) şarttır.

• Vergi muafiyetinden yararlanmak isteyen vakıflar ile bilimsel araştırma ve geliştirme faaliyetlerinde bulunan kurum ve kuruluşlar, senet veya sözleşmelerini bir dilekçeye ekleyerek Maliye Bakanlığı'na başvururlar. Maliye Bakanlığı bu esaslardaki şartlar çerçevesinde gerekli uygunluğu sağladıktan sonra, ilgili kuruluşların görüşlerini, merkez denetim elemanının raporunu, senet veya sözleşmenin bir örneğini, kendi görüşünü de ekleyerek Bakanlar Kurulu'ndan vergi muafiyeti kararı alınmak üzere Başbakanlığa gönderir.

iii. Bağış ve Yardımlar: Bağış ve yardımlar, AR-GE faaliyetlerinin yaygınlaştırılması için, bu gibi faaliyetlerde bulunan kurum ve kuruluşlara yapılan her türlü bağış ve yardımların, gelir vergisi mükelleflerince yıllık beyanname ile bildirilen gelirlerden indirilmesi, kurumlar vergisi mükelleflerince ise, gider olarak yazılabilmesidir (GVK Md. 89/2 - KVK Md. 7/15).

iv. Yatırım Destekleri: AR-GE yatırımlarına özel destekler getirilmiştir. Bunlar sırasıyla; yatırım indirimi, kredi sağlanması, dış kredi teminat mektubu giderlerine gider payı olarak özetlenebilir.

- a- AR-GE yatırım projeleri: "özel önem taşıyan sektör yatırımı" sayıldığından %100 yatırım indiriminden yararlanmaları mümkündür.
- b- AR-GE yatırımlarında araştırma projelerinin alet, makine ve teçhizat alımları ile yatırım giderlerinin %50' si bir kez olmak üzere fon kaynaklarından kredilendirilerek desteklenmektedir. 250 milyon ABD dolarını aşan AR-GE yatırım projelerinin tüm harcamalarının %50'si kredilendirilebilmektedir.
- c- AR-GE yatırım projelerinin teminat mektubu giderlerinin %50'si katkı payı olarak devlet tarafından karşılanmaktadır. Ayrıca AR-GE yatırım projelerine dahil malzemenin ithalinde fon alınmamaktadır.

v. KOSGEB Desteği: TÜBİTAK tarafından AR-GE yardımı uygulama esasları doğrultusunda yapılacak değerlendirme sonucunda desteklenmesi uygun görülen KOS (Küçük ve orta ölçekli sanayi) işletmelerine ait AR-GE projeleri KOSGEB'in vereceği ek destekten yararlanır. Bu destek TÜBİTAK ve KOSGEB tarafından onaylanan projeler için TÜBİTAK tarafından her dönem için düzenlenerek DTM'ye bildirilen

AR-GE Proje Yardımı Bildirimi'nde belirtilen "firmaya ödenecek miktar"ın %20'si tutarındadır.

10. Tübitak Proje Destekleri:

- Desteklenen Ar-Ge Proje Harcamaları:
- Personel giderleri (Hâlihazırda çalışan ve/veya yeni alınacak personel ve firma ortakları)
- ARGE Laboratuvar ve kalite kontrol için test aleti, teçhizat ve ölçüm cihazı alım giderleri
- ARGE Malzeme giderleri; Geliştirilecek ürünün hammadde ve bileşen giderleri
- Ürün denemesi için kullanılacak sarf malzemesi giderleri
- Bilgisayar ve Workstation giderleri
- Teknik Yazılım alımları (Çizim, CAD, modelleme, tasarım, simülasyon ve analiz yazılımları)
- Seyahat giderleri
- Teknik Danışmanlık hizmeti giderleri
- Prototip imalatı için firma dışından yapılan diğer hizmet ve işçilik alım giderleri
- Ülke içindeki üniversiteler, TÜBİTAK'a bağlı AR-GE birimleri, özel sektör AR-GE kuruluşlarına yaptırılan ürün analizi ve laboratuvar giderleri
- Yeminli Mali Müşavirlik (YMM) Alım Giderleri
- Desteklenen Ar-Ge Proje Aşamaları:

Kavram Geliştirme (Araştırma)

- Fizibilite Çalışmaları
- Laboratuvar Çalışmaları
- Tasarım Çalışmaları
- Prototip üretimi/ Geliştirme Çalışmaları
- Pilot tesisin kurulması
- Deneme üretimi ve tip testlerinin yapılması
- Ayrıca vergi konusunda da çok ciddi avantajlar elde edilmektedir:

11. Neden Ar-Ge Merkezi Kurduk

Ar-Ge Merkezleri kısaca; sürekli olarak Ar-Ge projelerinin üretildiği ve sürdürüldüğü, mali ve teknik aşamalarının belirli kurallar dahilinde yürütülmesi gereken yapılar olarak tanımlanabilir. Mevzuatlarca belirlenmiş bu kurallar çerçevesinde gerçekleştirilen faaliyetlerin firmaya sağlayacağı maddi ve teknik avantajlar bulunmaktadır. Her ne kadar maddi avantajlar ön plana çıkarılsa da Ar-Ge Merkezi olan işletmelerin asıl kazancı Ar-Ge faaliyetlerini belirli bir sistem dahilinde yürütmesi olarak belirtilebilir. DEMİSAŞ A.Ş. olarak, hizmet verdiğimiz sektörlerin değişen ihtiyaçları doğrultusunda yeni malzeme ve proses çalışmaları için ve işletmemize en üst düzeyde karlılığı sağlayabilecek projeleri yönetebilmek için Ar-Ge Merkezi kurmaya karar verdik.

12. Ar-Ge Maliyetlerinin Kontrol Edilebilir Olması

Ar-Ge merkezlerinde, giriş çıkış sistemlerinin kontrollü olması, Ar-Ge projelerinin belirli bir plan çerçevesinde yürütülmesi, Ar-Ge giderlerinin usulüne uygun muhasebeleştirilmesi ve Ar-Ge merkezi bünyesindeki tüm faaliyetlerin izlenebilir olması, Ar-Ge giderlerinin detaylı bir şekilde takip edilmesini mümkün kılmaktadır. Ar-Ge giderlerinin gerçeğe oldukça yakın bir şekilde hesaplanması; Ar-Ge projesinin tamamlanmasını takiben ürünlerin fiyatlandırılması, rakip ürünler karşısında konumlandırılması, Ar-Ge yatırımının geri dönüşü gibi önemli donelerin güvenilirliğini arttırmakta ve stratejilerin belirlenmesine yardımcı olmaktadır.

Bu bağlamda Ar-Ge Merkezi PDKS siteminin güncel ve eksiksiz çalışıyor olması ve iyi takip ediliyor olması, raporlamanın düzenli olarak yapılması gerekmektedir. Ar-Ge için dış görevli personel, yıllık izinler ve Ar-Ge projelerinde görevli olan personelin izinleri düzenli olarak sisteme girilmelidir.

Proje bütçe öngörü ve gerçekleştirenleri çok iyi planlanmalı ve yürütme aşamasında da titizlikle takip edilmelidir.

Tüm bu mali taraf ve İK ile ilgili kısımlar da en az bir Ar-Ge projesini hazırlamak ve sunabilmek kadar önemlidir. Çünkü doğru planlayıp rakamları tutturamadığınız bir çalışmadan teşvik almanız beklenemez.

Muhasebe, İK ve teknik taraflar düzenli toplantılar ile bir araya gelerek ortak konuların paylaşımını yapabilmelidir ve aylık raporları birbirlerine önceden karar verecekleri ortak formatla sunmalıdırlar.

13. Bilimsel Yayınların Sürekli Takibi ve Uygulanması

Ar-Ge Merkezlerinin güncel akademik kaynakları incelemesi adına ulusal ve uluslararası bilimsel veri tabanlarına erişiminin bulunması gerekmektedir. Gerçekleştirilecek Ar-Ge faaliyetleri ile ilgili mevcut durumda yapılmış akademik çalışmaların incelenmesi, geliştirilecek ürün/hizmetlerde bu kaynaklardan faydalanılması, söz konusu yöntemlerin doğrulanması veya geliştirilmesi ile Ar-Ge merkezi bünyesinde gerçekleştirilen faaliyetlerin akademik yayınların üretilmesine olanak sağlaması da mümkün olacaktır.

14. Üniversite-Sanayi İşbirliği

Ar-Ge Merkezi olunması durumunda, Ar-Ge faaliyetlerinde bilimsel danışmanlık almak amacıyla sürekli olarak Üniversite-Sanayi İşbirliğini aktif halde bulundurmak gerekmektedir. Bu kapsamda, belirli kriterleri doldurmuş akademisyenleri belirli sürelerde Ar-Ge Merkezi bünyesinde çalıştırabilme imkanı bulunmakta, bununla beraber kısmi zamanlı olarak danışmanlık desteği alınması mümkün olmaktadır. Ar-Ge faaliyetlerine akademisyenlerin iştirak edecek olması, Ar-Ge projeleri sonucunda ortaya çıkacak nihai ürün/hizmetin niteliğinin artmasına katkı sağlayacaktır.

15. Nitelikli Personel Kadrosu Yaratabilme

Ar-Ge merkezinin en önemli avantajlarından bir tanesi de şüphesiz firmaların sağlanan mali avantajlara birlikte istikrarlı bir nitelikli iş gücü kadrosu kurma imkanının elde edilmesi. Bunun yanında kanun çerçevesinde sağlanan teşviklerle birlikte, özellikle temel bilim ve lisans üzeri eğitim derecesine sahip personellerle daha düşük işveren maliyetleriyle çalışabilmek de Ar-Ge merkezlerinin izleyeceği diğer istihdam politikalarından bir tanesi.

Yaratılan nitelikli istihdamın kalıcılığını sağlamak amacıyla Ar-Ge merkezi özelinde oluşturulacak performans – ödül sistemi politikası, nitelikli personelin Ar-Ge'ye katılımını artırmayı amaçlıyor. Ar-Ge Merkezinde bir yılını doldurmuş ve yüksek lisans, doktora gibi yüksek öğrenimi devam eden personellerin öğrenim sürelerinin de Ar-Ge merkezinde geçirilen saat olarak değerlendirilebilmesi, personel niteliklerinin artırılmasına katkı sağlanmasını hedefliyor.

DEMİSAŞ'ta kurduğumuz Ar-Ge teşvik sistemi ile Ar-Ge personellerimiz;

- Yüksek lisans ve doktora çalışmalarında,
- Hazırladıkları makalelerde,
- Kongre teknik sunumlarında,
- Patent çalışmalarında ve
- Ar-Ge proje onaylarında üst yönetimin teşvik desteğinden faydalanabilmektedirler.

16. SONUÇ:

Ülkemiz ekonomik sistemi kamusal ve özel girişimci olmak üzere karma bir ekonomiye sahiptir, sistem olarak da Serbest Piyasa Ekonomisi benimsenmiştir. Son yıllarda gerek kamusal gerekse özel girişimciler sadece ülke için değil dünya için mal ve hizmet üretir olmuşlar, dünyanın globalleşme kervanına katılmışlardır. Küçük, orta ve büyük ölçekli işletmelerimiz yavaş da olsa fason üretim ya da yabancı

patentli üretim yapma yerine yeni teknoloji ile üretim yapma gereksinimi duymaya başlamışlardır. Devlet de bilgi devriminin önemini kavramış, kamusal olarak AR- GE çalışmalarını etkin bir şekilde destekleme teşviklerini uygulamaya koymuştur.

Teşvikler araştırmacı iş gücü yetiştirilmesi, teknoparklar kurulması ve vergisel içeriklidir. Küçük ve orta ölçekli işletmelerden gereksinme duyan girişimcilerin yenilikçi teknoloji gereksinimleri yeterli düzeyde karşılanabilecek alt yapıya sahip ise de büyük ölçekli işletmelerin kamusal olsun özel girişimci olsun gereksinme duyacakları uzun vadeli maliyeti ve rizikosu yüksek yenilikçi teknoloji gereksinmelerinin tamamının karşılanması ne yazık ki henüz olanaksızdır. Bu konularda girişimcilerden de ısrarlı isteklerin geldiği de söylenemez. Teşvikler şimdilik yeterlidir. Girişimcilerin istemleri doğrultusunda artırılabilir ve çeşitlendirilebilir. Yeter ki girişimciler inanarak yenilikçi teknoloji üretimine gereksinme duysunlar. Globalleşmede, yenilikçi teknoloji üretiminde dünyada yaşanan yarışın oldukça sonlarındayız, biraz öne geçebilmek için kamu ve özellikle özel kesim, bu yarışta geri kalmamak için bu konuda yatırım yapması gerekmektedir. Bu sayede Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı destekleri de tüm firmalar için artacaktır ve sanayi refahında kendiliğinden bir yükselme meydana gelecektir.

17. TEŞEKKÜR

Ar-Ge Merkezi kurulum projesi kapsamında hazırlanmış olan bu çalışmaya vermiş oldukları destekten dolayı üst yönetimimize ve katkılarından dolayı tüm DEMİSAŞ Ar-Ge ekibimize teşekkür ederiz.

18. KAYNAKLAR:

1. T. C. SANAYİ ve TEKNOLOJİ BAKANLIĞI Ar-Ge Teşvikleri Genel Müdürlüğü, Ar-Ge ve Tasarım Merkezleri Tanıtım ve Bilgilendirmesi,
2. Sistem Global Danışmanlık Teknik Arşivi
3. Tübitak Ar-Ge Destekleri Bültenleri
4. Tübitak Sanayi Ar-Ge Projeleri Kılavuzu

DÖKME DEMİRDEN İMAL EDİLMİŞ AĞIR HİZMET DİZEL MOTOR BLOĞUNDA YAPILAN HAFİFLETME ÇALIŞMASI, YOLLUK TASARIMI VE DÖKÜM SİMÜLASYONU

Ümit KİRENCİ *, Enishan ÖZCAN *, Alen Murat Kuyumcu * Ali Serdar VANLI **, Anıl AKDOĞAN **

* *TÜMOSAN Motor ve Traktör Sanayi, A.Ş. , İstanbul, Türkiye*

** *Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi, İstanbul, Türkiye*

ÖZET

Bugünlerde, elektrikli ve hibrit araçların yaygınlaşması ve emisyon standartlarının giderek sıkılaşması, dizel motor kullanımını tartışmaya açmıştır. Fakat tork ve güç ihtiyacı nedeniyle ağır hizmet sektöründe dizel motor kullanımı, günümüz ekonomik ve teknolojik şartlarında halen ekonomik ve verimli bulunmaktadır. Bu nedenle, rekabetçi piyasa şartları gereği ve teknolojik gelişmeler doğrultusunda ağır hizmet dizel motorlarındaki iyileşme arayışları ve hafifletme çalışmaları aralıksız devam etmektedir. Bu çalışmada, traktör motorunda kullanılmak üzere tasarlanmış ve üretilmiş bir ağır hizmet dizel motor bloğuna; endüstriyel kullanımda avantaj sağlamak amacıyla; hafifletme ve tasarım iyileştirme çalışmaları uygulanmıştır. Hazırlanan yeni tasarım, bir döküm simülasyon programı yardımı ile üretim parametreleri ve kalıplama detayları göz önüne alınarak optimize edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Gri Dökme Demir, Ağırlık Hafifletme, Tasarım Doğrulama, Dizel Motor Bloğu, Döküm Simülasyonu

ABSTRACT

Hybrid and electric cars is getting popular, emission standards getting harder day by day therefore diesel engines started to discuss at nowadays. But diesel engines still economic and efficient because of the torque and power requirements of the heavy-duty industries according to today's technology and economic conditions. In this direction, research and development process of heavy duty diesel engines continues on process optimisations and weight reductions with new technologies. In this study, to compete in industrial area, weight reduction and design development is applied for a diesel engine block which is designed and manufactured for a tractor. New light weight design is optimised according to manufacturing process and moulding requirements via casting simulation software.

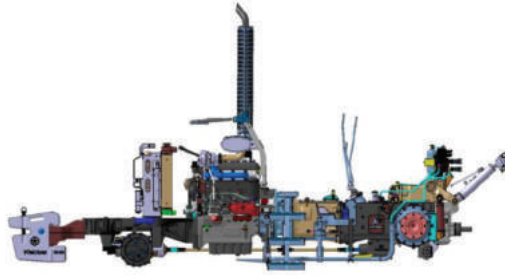
Keywords: Grey Cast Iron, Weight Reduction, Design Verification, Diesel Engine Block, Casting Simulation

1 GİRİŞ

Motor blokları, motor bütünü içerisinde kritik öneme sahiptir. Aksesuarlara ve alt sistemlere taşıyıcı görevi üstlenir. Kranka yataklık yapar, güç iletiminin önemli bir parçasıdır. Ayrıca ısı transferinin önemli kısmı motor bloğu üzerinden gerçekleşir. Motor blokları aynı zamanda motorun en karmaşık geometrili ve en büyük parçasıdır. Bu çalışmada, başlangıçta traktörde kullanılmak üzere tasarlanan bir dizel motor bloğuna yönelik yapılan hafifletme çalışmasının detayları, simülasyon koşulunda kullanılacak yolluğun tasarımı ve döküm simülasyon uygulamasının detayları verilmiştir.

2 MOTOR BLOĞU HAFİFLETME ÇALIŞMASI

Çalışmaya konu olan motor bloğu, proje başlangıcında traktör motorunda kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Traktörde kullanılan motor, aynı zamanda traktör şasisinin bir parçasını oluşturmaktadır. Şekil 1'de örnek bir traktör şasisi görülmektedir.

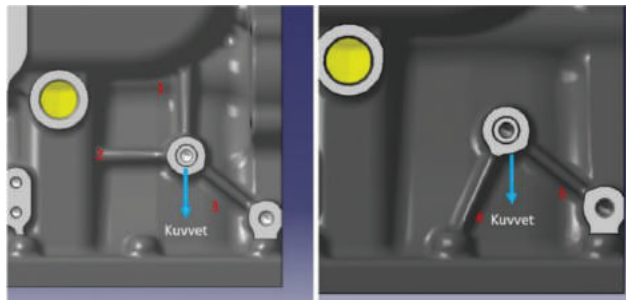


Şekil 1 Traktör şasisinin bir parçası olan dizel motor bloğu

Motor bloğu şasinin taşıyıcı kısmını oluşturduğundan, motorun kendi dinamikleri dışında; traktörün çevresel faktörlerden gelen etkilere karşı da dayanıklı olması gerekmektedir. Ayrıca ileride değinilecek yük faktörü açısından da bakıldığında, çalışma yoğunluğu ticari kullanımlara göre daha yüksek olduğu için tasarım emniyet faktörleri göreceli olarak yüksek tutulmaktadır [1].

2.1 Doğru Tasarım

Parça tasarımına başlarken veya geliştirme esnasında yapılması gereken ilk çalışmalardan biri, girdilerin ve çıktılarının belirlenmesidir. Ürün geliştirme tarafında dahi yapılacak bir iyileştirmeye başlamadan önce, geliştirilecek kısmın görevini, çalışma şartlarını ve emniyet faktörlerinin doğru tespit edilmesi gerekmektedir. Şekil 2'de bununla ilgili bir örnek paylaşılmıştır.

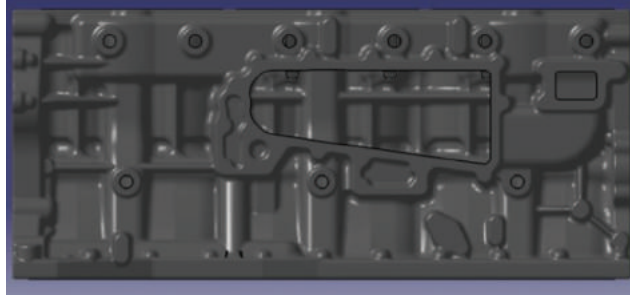


Şekil 2 Tasarım iyileştirme örneği

Soldaki tasarım, prototipin ilk halini, sağdaki tasarım hafifletilmiş çalışmayı göstermektedir. Dökme demirler çekmeye nazaran, daha yüksek basma dayanımı gösterirler [2]. Bir blok üzerinde buna benzer onlarca durum bulunmaktadır. İşletme şartları ve malzeme ilişkisi doğru irdelendiğinde en uygun tasarım elde edilir [1].

2.2 Üretimden Gelen Kısıtlar

Parça tasarlanırken sınırlardan biri de üretim tarafından gelen taleplerdir. Kalıp ile üretilen parçaların temel tasarım parametrelerinden biri çıkma açısı adı verilen faktördür. Şekil 3'de kalıplamaya hazır motor bloğunun yan yüzeylerinden biri görülmektedir.



Şekil 3 Motor bloğunun yan yüzeyi

Üreticiler kalıp çıkma açısı için her zaman en yüksek değerin verilmesini isterler, fakat böylesine karmaşık ve çok fazla girinti çıkıntı olan yüzeylerde, çıkma açılarının artması cidar kalınlıklarının artmasına ve dip noktalarda malzeme yığılmasına neden olmaktadır. Üreticiler buna benzer uygulamalarda genel olarak 3° çıkma açısı önermektedirler. Bu çalışmada da çıkma açıları her bölgeye özel olarak değerlendirilip 1° ile 3° arasında değişecek şekilde uygulanmıştır. Bu sayede % 0.5 ile % 1 arasında ağırlık kazancı sağlanmıştır.

2.3 Motor Tasarımında Bir Parametre Olarak Yük Profili

Yük profili, motor tasarım ve kalibrasyon parametrelerine ait önemli bir faktördür. Tanımı firmaların kendi politikaları ve teknolojik altyapılarına göre değişmektedir. John Deere firması yük faktörü için yakıt tüketimi üzerinden bir değerlendirme yaparken [3], IVECO firması yük faktörünü motorun o andaki ihtiyacı olan gücün, maksimum güce oranı şeklinde ifade etmektedir. Tablo 1'de çeşitli firmaların kıyaslamalı şekilde yük faktörü değerleri verilmektedir [1].

| Ekipman Tipi (Kamyon) | Marka/Firma | Yük Faktörü | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|-------------|-------------|-----|-----|-----|------|-----|-----|--------|-----|-----|
| | | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 |
| | Caterpillar | | | | | | | | | | |
| | Komatsu | | | | | | | | | | |
| | Gransberg | | | | | | | | | | |
| Çalışma Şartlarında Sınıflandırma | | Hafif | | | | Orta | | | Yüksek | | |

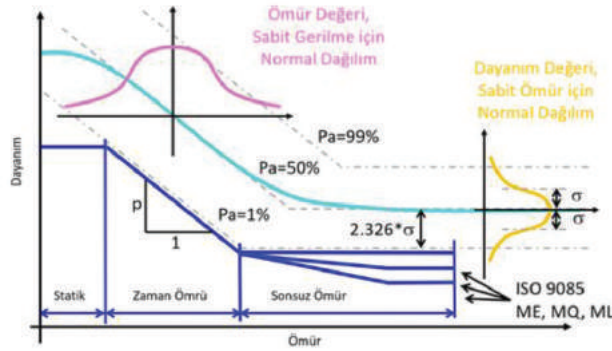
Tablo 1 Farklı firmalara göre yük faktörü [1]

Tablo 2'de de görüldüğü üzere bir motorun çalışma döngüsü, uygulamaya göre ciddi farklılıklar göstermektedir. Aynı özellikte iki motor, traktör uygulamasında 70 kW olarak kullanılırken, forklift motoru olduğunda 100 kW olacak şekilde kalibrasyonu yapılabilmektedir.

| Uygulama Tanımı | Aktivite (saat/yıl) | Yük Faktörü (%Maksimum Güç) |
|----------------------------|---------------------|-----------------------------|
| Jeneratör | 338 | 74 |
| Hava Kompresörü | 815 | 48 |
| Petrol Sahası Araçları | 1231 | 92 |
| Klimalar | 1341 | 28 |
| Taktik Askeri Araçlar | 260 | 62 |
| Fork Liftler | 1700 | 30 |
| Yüzey İşlem Ekipmanları | 561 | 45 |
| Marin Yardımcı Ekipmanları | 2608 | 67 |
| Çekiciler, (Tır) | 761 | 68 |

Tablo 2 Endüstriyel uygulama örnekleri [4]

Şekil 4'de örnek bir S/N eğrisi paylaşılmıştır. İşletme anında ortaya çıkan gerilmenin genliği, ortalama gerilmenin büyüklüğü, tekrar sayısı ve malzeme ömrü ile doğrudan ilişkilidir [1, 5].



Şekil 4 SN Eğrisi ve Ömür Parametresi [1]

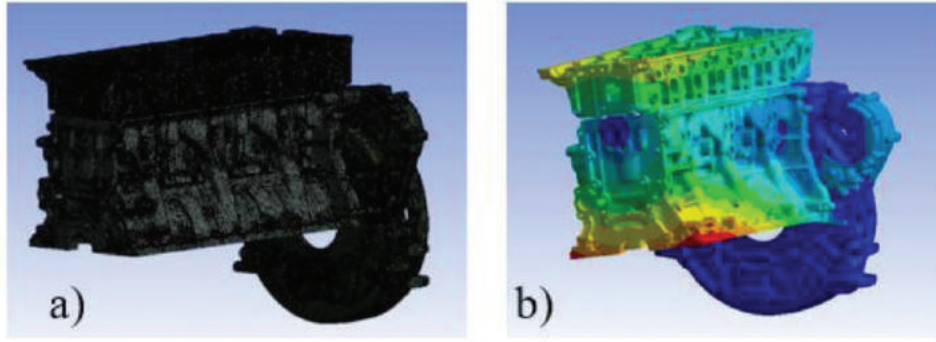
Benzer güçte iki motorda; tam güç değerini ömrünün % 20'si ile % 80'i kadarında kullananlar arasında oluşan gerilme, genlik ve yük tekrarı kıyası, tasarımda farklı boyutlandırma için belirleyici nitelikte kritik bir değişkendir.

2.4 Malzeme Seçimi

Malzeme seçimi, parça hafifletme çalışmalarında dikkate alınacak değişikliklerin başında gelir ve oldukça majör sonuçlar vermektedir [1]. Malzeme seçiminde birçok parametre etkindir, fakat bu çalışmada; üretim ve işleme kolaylığı, ısı iletim kabiliyeti ve maliyet açısından gri dökme demir avantajlı olarak görülmektedir [6]. Tablo 3'de ısı iletim katsayıları arasındaki ilişki verilmiştir. Bu çalışmada hafifletme çalışması yapılan motor bloğu mevcut prototipten daha yüksek güçte motor versiyonlarında da kullanılacağı için, ısı iletim katsayısı yüksek, firma bünyesindeki talaşlı imalat alt yapısına uygun işlenebilirlik özelliklerine sahip olan EN-GJL-250 (Gri Dökme Demir) tercih edilmiştir.

| | Gri Dökme Demir | Küresel Grafitli Dökme Demir | Kompakt Grafitli Dökme Demir | Alüminyum Alaşımları |
|-----------------------------|-----------------|------------------------------|------------------------------|----------------------|
| Isı iletim Katsayısı (W/mK) | 45-50 | 10-30 | 30-40 | 90-210 |

Tablo 3 Isı iletim katsayısı karşılaştırması [6]



Şekil 6 (a) Blok ve Sistem ile Birlikte Ağ Görüntüsü (b) Burulma Modu Şekli

TÜMOSAN bünyesindeki deneyimler neticesinde, modal analizlerde karşılaştırılan iki tasarım arasındaki farkın %5 olması durumunda, olumlu ya da olumsuz kayda değer bir sonuç olmadığı kabulü ile ilerlenmektedir. Motorun çalışma dinamikleri açısından bakıldığında hafifletilmiş tasarımda sistemin burulma modunda kayda değer bir artış görülmüş ve olumlu anlamda değerlendirilmiştir. [1]

4 DÖKÜM SİMÜLASYONU VE YOLLUK TASARIMI

Hafifletilmiş blok tasarımının, yolluk tasarımı ve besleyici hesabı için gerekli olan tüm bilgiler Tablo 5 ve Tablo 6'da verilmiştir.

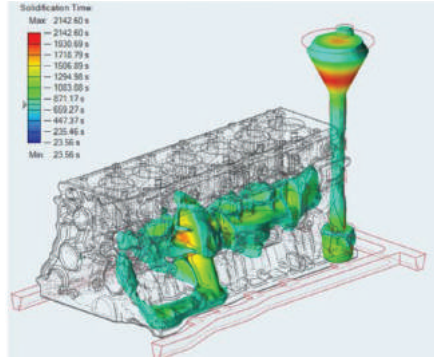
| | |
|----------------------------|---|
| Blok Tipi | Sıralı Altı Silindir |
| Motor Hacmi | 7,8lt |
| Çap x Stroke | 110 x 137mm |
| Soğutma Kanalı | Kapalı Soğutma Kanalı, Gömleksiz, Yekpare |
| Döküm Parça Ağırlık | ~230kg |
| Parça Hacmi | ~32000 cm ³ |
| Parça Yüzey Alanı | ~16000 cm ² |
| Parça ölçüleri | ~470 x 800 x 350mm |

Tablo 5 Blok datası özellikleri

| | | | |
|----------------------------|--|-------------------|--------|
| Malzeme: | EN-GJL-250 (BS EN-1561:2011'e göre) | | |
| Yoğunluk: | 7,2 gr/cm ² (BS EN-1561:2011'e göre) | | |
| Solidüs Sıcaklığı: | 1100°C | Likidüs Sıcaklığı | 1205°C |
| Dinamik Viskozite: | 0,001 kg/msn | | |
| Kalıp Kumu: | Yaş Kalıplama Kumu | | |
| Maça Kumu: | Silis Kumu | | |
| Sürtünme Katsayısı: | ~0,4 | | |
| Kalıp Yüksekliği: | ~550mm | | |
| Döküm Sıcaklığı: | ~1450°C | | |

Tablo 6 Malzeme ve kalıba ait özellikleri

İlk aşamada parçanın sıcak noktalarının tespiti, modüllerin, çıkıcı koyulacak bölgelerin belirlenmesi için taslak yolluk tasarımı ile döküm simülasyonu koşulmuştur. İlk simülasyon sonuçlarına göre parçanın genel durumu değerlendirilmiş, sıcak bölgeler tespit edilmiş ve genel sıcaklık dağılımı, boşluk oluşacak ve beslenecek bölgelerin tespiti yapılmıştır. Şekil 7’de geç katılan bölgelerin simülasyon sonucu paylaşılmıştır.



Şekil 7 Geç katılan bölgeler

Motor bloğunda genel cidar kalınlıkları 5-6mm arasında değişmektedir. Su ceketi ve genel cidar bölgesinde bir problem görülmezken, en geç katılan ve boşluk oluşması muhtemel noktalar ana yağ galerilerinin üzerinde bulunan bölgeler olarak tespit edilmiştir.

4.1 Yolluk Hesabı ve Boyutlandırma

Taslak yolluk ile yapılan denemeler sonrasında yolluk tasarımı tekrar yapılmıştır. Kalıba bazı noktalarda çıkıcılar eklenmiştir. Toplam döküm ağırlığı ~ 340kg için dolun süresi 24sn olacak şekilde kritik kesit hesabı yapılmıştır.

Kritik Kesit Hesabı;

$$C_A = \frac{22,6 \times W}{\rho \times \xi \times t \times \sqrt{H}} \quad [1]$$

C_A : Kritik Kesit Alanı (cm²)

W : Brüt Döküm Ağırlığı (kg)

CA: Kritik Kesit Alanı (cm²)

W: Brüt Döküm Ağırlığı (kg)

ρ : Özgül Ağırlık (gr/cm³)

ξ : Sürtünme Faktörü (birimsiz)

t: Döküm Süresi (sn)

H: Etkin Döküm Yüksekliği (cm)

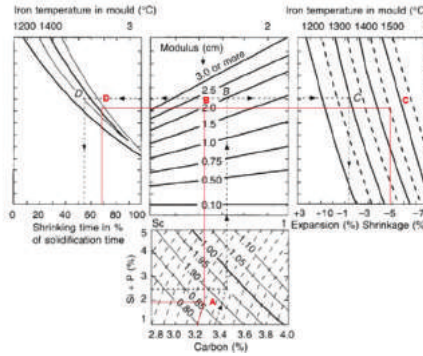
Yapılan hesap sonucundaki yolluk bilgileri Tablo 7’de verilmiştir. Kritik kesit düşey yollukta olacak şekilde, iki ayrı yatay koldan, on noktadan beslenecek şekilde yolluk tasarımı yapılmıştır.

| | Kritik Kesit (cm ²) | Yatay Yolluk (cm ²) | Meme (cm ²) |
|-----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------------------|
| Kesit Oranı | 1 | 1,2 | 1,4 |
| Kesit Alanı (cm ²) | 18,4 | 22,08 | 29,44 |

Tablo 7 Basınçsız yolluk, kesit oranları ve kesit alanları

Besleyici hesabı için Şekil 8'deki tablolardan faydalanılmıştır. Öncelikle parça modülü bulunmuş, sonrasında tablolarda malzeme kimyasal bileşimine göre 1. Tablodan % C oranı ile % (Si+P) kesiştirilerek A noktası belirlenmiştir. Akabinde 2. Tabloya doğru dik çekilerek parça modülüne denk gelen B noktası bulunmuş, B'den 3 ve 4 numaralı tablolara yatay doğru çekilmiş ve döküm sıcaklığı ile kesiştirilerek ve C ve D noktaları belirlenmiştir. D noktasının düşeyindeki değer “ % ST ” ile çekme zamanı yüzdesi elde edilmiştir. C noktasında sıfır veya pozitif değer elde edilir ise besleyici kullanmaya gerek kalmayacaktır. C noktasının düşeyinde ise çekme/genleşme yüzdesi, kalıp kumu genleşme yüzdesine eklenerek çekme değerinin son hali “S” hesaplanır. Yaş kum kalıplamada kalıp genleşmesi yaklaşık % 2 kabul edilir [1,8].

Tablo 8'de hesaplamada kullanılan değerler verilmiştir.



Şekil 8 Final tasarım besleyici hesabı [8]

| | |
|--|----------|
| Parça Modülü | ~2,015cm |
| Besleyici Modülü | ~1,99cm |
| Şekil 10, A Noktası | ~0,9 |
| Şekil 10, B Noktası | ~2,015 |
| Şekil 10, C Noktası | ~%4,5 |
| Şekil 10, D Noktası | ~%68 |
| Besleyicinin Parçayı esleme yüzdesi (Ekzotermik) | ~% 25 |

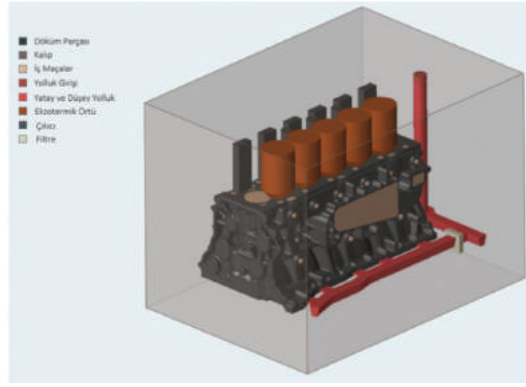
Tablo 8 Besleyici hesabında kullanılan değerler

Besleyici kütlesinin hesabı için;

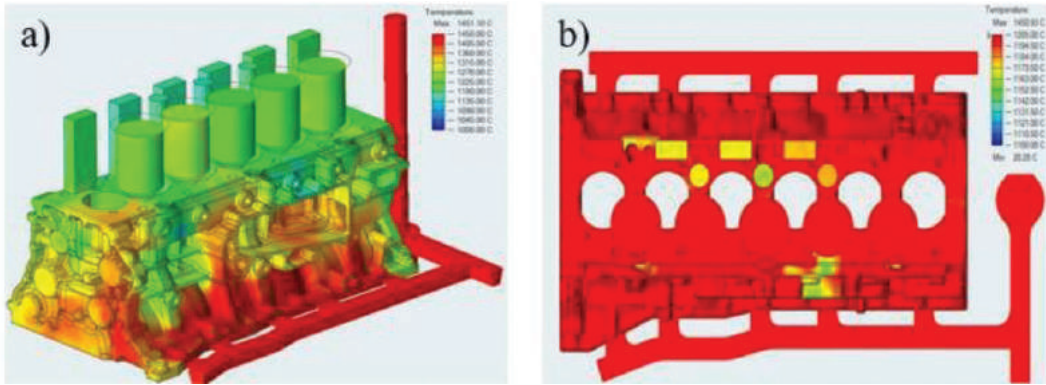
$$C_A = \frac{22,6 \times W}{\rho \times \xi \times t \times \sqrt{H}} \quad [1]$$

C_A : Kritik Kesit Alanı (cm²)

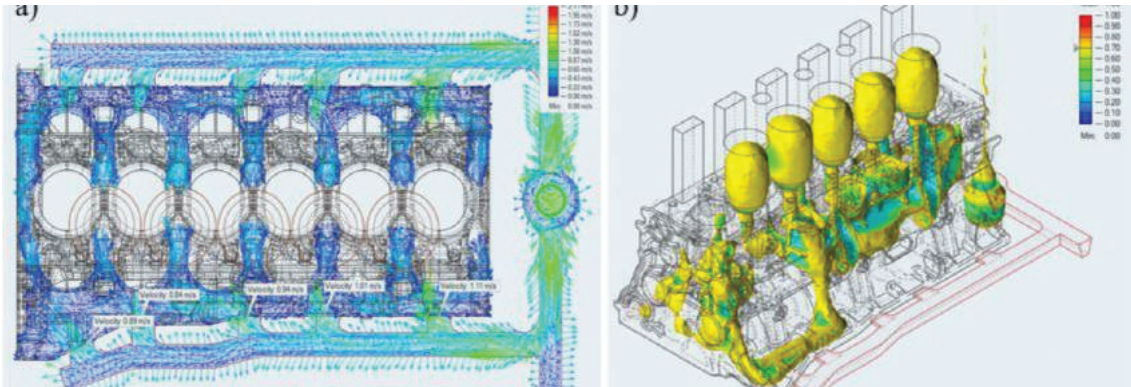
W : Brüt Döküm Ağırlığı (kg)



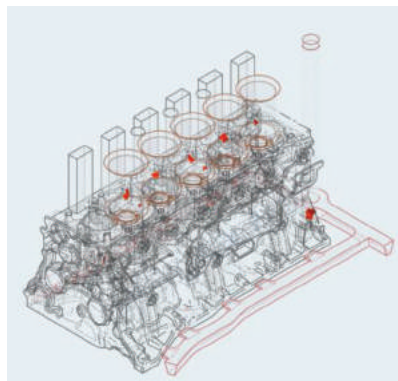
Şekil 9 Final yolluk tasarımına ait simülasyon ekranında bir görüntü iyileştirilmiş yolluk tasarımı ile yapılan döküm simülasyonu sonuçları;



Şekil 10 (a) Döküm sonu sıcaklık dağılımı (b) Döküm sonu üst bölgede solidüs ve likidüs arası sıcaklık dağımı



Şekil 11 a) Meme kesitindeki hız dağılımı b) Katılma Anından Bir Görüntü



Şekil 12 Çekinti Boşlukları

Tablo 9’da eski ve yeni bloğa ait toplam döküm ağırlıkları karşılaştırılmıştır.

| | Baz Motor Bloğu | Hafifletilmiş Motor Bloğu |
|----------------------------|------------------------|----------------------------------|
| Brüt Parça Ağırlığı (kg) | ~ 245 | ~ 230 |
| Dolum Süresi (sn) | ~ 24 | ~ 24 |
| Yolluk Ağırlığı (kg) | ~ 37 | ~ 33 |
| Besleyici Ağırlığı (kg) | ~ 64 | ~ 61 |
| Çıkıcı Ağırlığı (kg) | ~ 27 | ~ 23 |
| Toplam Döküm Ağırlığı (kg) | ~ 370 | ~ 345 |

Tablo 9 Döküm Ağırlığı Karşılaştırma Tablosu

5 SONUÇ

Bu çalışmada, traktör motorunda kullanılmak üzere tasarlanmış ve ilk prototipleri üretilmiş bir dizel motor bloğunun, rekabet şartları neticesinde endüstriyel uygulamalarda da kullanılmak üzere, güç yoğunluğunun arttırılması şartı esas alınarak tasarım kriterleri iyileştirilmiş ve yapılan analiz çalışmaları sayesinde eski durumu ile son durumu kıyaslanmıştır. Yapılan iyileştirme sonrasında ilk prototipe göre blok kütlesinde yaklaşık % 6’lık bir hafifleme sağlanmıştır. Hafifletilmiş tasarım ile eski blok datası, tek başlarına ve sistem ile birlikte dinamik şartlara karşı tepkileri incelenmek üzere modal analize tabi tutulmuştur. Elde edilen sonuçlarda görüldüğü üzere modlarda dikkate değer bir değişiklik yok iken; hafifletilmiş yeni tasarımda özellikle burulma modunda yaklaşık % 34 gibi dikkate değer bir iyileştirme sağlanmıştır.

Tasarım olarak iyileştirilen blok datası, üretim açısından değerlendirilerek eski blok ile karşılaştırılmış, yolluk tasarımı ve hesaplamaları yapılmıştır. Blok datasındaki hafifleme, et kalınlıklarının homojen hale getirilmesi, çıkma açıları ve köşe yuvarlama neticesinde oluşan cidar yığılmalarının azaltılması şeklindeki iyileştirmeler neticesinde, çekme ve gaz boşlukları oluşan bölgeler iyileştirilmiştir. Ayrıca güçlendirme amaçlı eklenen feder yapıları iyileştirilerek hem mukavemet hem de hafifleme sağlanmıştır. Üretim maliyeti açısından bakıldığında toplam döküm ağırlığı azalarak seri üretim maliyetleri aşağı çekilmiştir. Aynı dolum süresi dikkate alınarak yapılan hesaplamalar neticesinde toplam döküm ağırlığında %7’lik bir hafifletme sağlanmıştır. Çalışma sonunda elde edilen döküm simülasyon sonuçları sayesinde ile firma içi kalite kontrol süreçleri geliştirilmiş; döküm sonrası tahribatlı, tahribatsız muayenelerde yapılacak kontroller detaylandırılmış ve parça kalite kontrol sistemine dahil edilmiştir.

6 KAYNAKÇA

- 1) Ü. Kirenci, A. Akdoğan, A.S. Vanlı “Dökme Demirden İmal Edilmiş Ağır Hizmet Dizel Motor Bloğuna Yönelik Hafifletme Çalışması”, Proceeding Book of Fourth International Iron and Steel Symposium, Karabük, Türkiye, pp. 151-155, 2009.
- 2) BS EN 1561:2011, “Founding – Gray Cast Irons”, 2011.
- 3) John Deere World Headquarters, “Marine Engine Pocket Guide”, http://www.deere.co.uk/en_GB/docs/product/equipment/marine_engines/pocket_guide/marine_engines_pocket_guide.html, [Online, accessed: 30.03.2019]
- 4) C. E. Lindhjem, M. Beardsley “Nonroad Engine Emissions Modeling Team Assessment and Modeling Division” EPA, Office of Mobile Sources, Haziran, Washington, USA, 1988.
- 5) F. Babalık, “Makine Elemanları ve Konstrüksiyon Örnekleri”, Nobel Yayın Evi, Ankara, pp 354-410, 2006.
- 6) B. Dondlinger, K. Hoag, “Vehicular Engine Design, Second Edition”, Springer Wien Heidelberg, New York, USA pp. 97-100, 2016.
- 7) M. Yaman, “Hafif Ticari Bir Araç Jantının, Sonlu Elemanlar Modelinin Oluşturulması ve Doğrulanması”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2012.
- 8) J.R. Brown, “Foseco Ferrous Foundryman’s Handbook” Reed Educational and Professional Publishing, Oxford, UK, pp. 296-355, 2000.

MO İLAVESİNİN VE PROSES PARAMETRELERİNİN ÖSTEMPERLENMİŞ SÜNEK DÖKME DEMİRLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Ali KELEŞ*, Rabia CENGİZ*, Mehmet YILDIRIM **

**Motus Crankshaft Company R&D Center,*

***Konya Technical University*

ÖZET

Bu çalışmada, Mo ilavesinin ve östemperleme sıcaklık ve süresinin östemperlenmiş sünek dökme demirlerin mikro yapı ve mekanik özelliklerine etkisi detaylı bir biçimde incelenmiştir. GGG-70 standardında küresel grafitli dökme demirlere (KGGD) 950 °C' de 2 saat östenitleme ısıl işlemi uygulandıktan sonra 350 ve 320 °C sıcaklıklarda 90 ve 120 dakika süre ile tuz banyosunda östemperleme ısıl işlemi uygulanmıştır. Östemperleme işleminden sonra numunelerin faz analizleri X-ışınları kırınım yöntemiyle, mikroyapıları ise optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskobu kullanılarak, mekanik özellikleri ise Brinell sertlik testi ve çekme testi ile incelenmiştir. Her iki sıcaklık ve sürede östemperleme işleminden sonra karakteristik ösferrit ve yüksek karbonlu östenitten oluşan östemperlenmiş sünek dökme demir mikro yapısı elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Östemperleme, Küresel grafitli dökme demirler, Mekanik özellikler, Mikro yapı

ABSTRACT

In this study, the effect of Mo addition and austempering temperature and time on the microstructure and mechanical properties of austempered ductile cast iron were investigated in detail. GGG-70 nodular cast iron samples were austenized at 950 °C for 2 hours and then austempered in a salt bath at 350 and 320 °C for 90 and 120 minutes. After austempering heat-treatment, phase analysis of the samples were performed using X-ray diffraction, microstructures were investigated by light optical microscope and scanning electron microscope, whereas mechanical properties were analyzed by Brinell hardness test and tension test. Characteristic austempered ductile iron microstructure composed of ausferrite and high carbon austenite were observed after austempering treatments at 350 and 320 °C for 90 and 120 minutes.

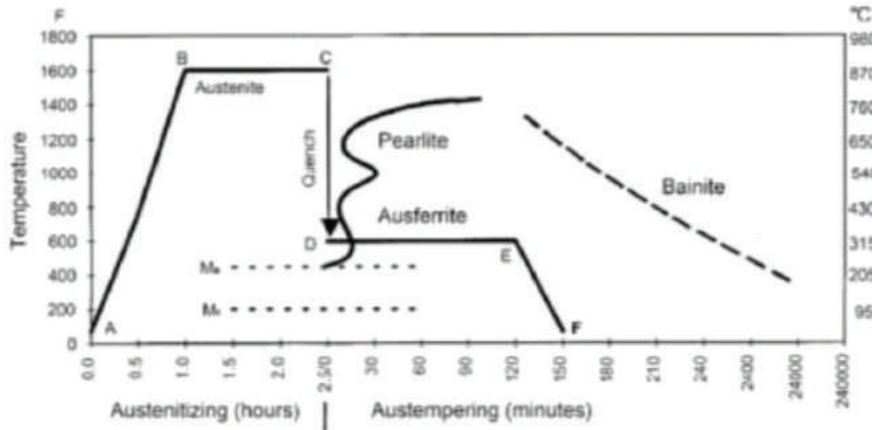
Keywords: Austempering, Nodular cast irons, Mechanical properties, Microstructure

1. GİRİŞ

Günümüzde hafif, yüksek dayanımlı ve düşük maliyetli malzemelerin geliştirilmesi en önemli araştırma alanlarından bir tanesidir. Bu amaçla, sürekli olarak yeni malzemeler geliştirmekte ve hâlihazırda kullanılanları kontrol etmek gereklidir. Bu tür bir malzeme olan küresel grafitli dökme demirler uygun ısıl işlem yönteminin uygulanması ve alaşım elementi ilavesi ile birlikte çok üstün mekanik özelliklere sahip olmaktadır [1-8].

Östemperlenmiş sünek dökme demirler veya ösferritik sünek dökme demirler olarak bilinen malzemeler sünek dökme demirlerin önemli bir türü olup küresel grafitli dökme demirlerin östemperleme ısıl işlemi neticesinde oluşmaktadır. Östemperlenmiş sünek dökme demirlerin mekanik özellikleri küresel grafitli dökme demirlerle kıyaslandığında yüksek dayanım, iyi süneklik, yüksek tokluk, yüksek aşınma ve sürünme direnci gibi mükemmel mekanik özelliklere sahip oldukları bilinmektedir [9]. Bu eşsiz özellikleri sayesinde, otomobil endüstrisi (krank milleri, şanzıman dişlileri, bağlantı çubukları ve süspansiyon parçaları), savunma sanayi (top mermileri, uçak iniş takımları, vb.), iş makineleri, demiryolları, tarım aletleri gibi pek çok yapısal uygulamada kullanılmaktadır [10]. Ayrıca, sahip olukları düşük yoğunlukları ve yüksek dayanım/ağırlık oranları sayesinde dövme çelikler başta olmak üzere çeliklerin, dökme demirlerin ve alaşımların yerine geçebilecek malzemeler olarak düşünülmektedir [11].

Östemperlenmiş sünek dökme demirlere östemperleme ısıl işlemi uygulanınca mikro yapılarında önemli değişiklikler meydana gelmektedir. Östemperleme neticesinde ösferrit (beynitik ferrit) ve yüksek karbonlu östenit (γ HC) fazları bulunmaktadır. Bu eşsiz mikro yapı sayesinde östemperlenmiş sünek dökme demirler mükemmel fiziksel ve mekanik özelliklere sahiptir [12]. Östemperleme ısıl işlemi Şekil 1'de gösterildiği üç kademeli bir ısıl işlemdir: (i) birinci kademe tam bir östenitik (γ) matris elde etmek için 850-1050 °C 'de yeterli sürede yapılan östenitleme, (ii) ikinci kademe, 250-450 °C arası bir sıcaklığa su verme ve (iii) son kademe su verilen sıcaklıkta 1-4 saat arasında uygulanan östemperleme işlemi [13-17].



Şekil 1 Östemperleme ısıl işlemi gösteren izotermal sıcaklık-zaman-dönüşüm diyagramı [18].

Östemperleme işleminde iki kademeli faz dönüşümü meydana gelmektedir [19-24].

İlk aşama: $\gamma \rightarrow \alpha + \gamma\text{HC}$

İkinci aşama: $\gamma\text{HC} \rightarrow \alpha + \text{karbür}$

Birinci aşamada östenit beynitik ferrit (ösferrit) ve yüksek karbonlu östenite dönüşmektedir. Bu aşamada dayanım ve tokluk en yüksek değerlerine ulaşmaktadır. Eğer birinci aşama

uzun sürerse yüksek karbonlu östenit beynitik dönüşümü tamamlamak için ferrit ve sementit (karbür) dönüşmektedir (ikinci aşama). İkinci aşama dönüşüm oluşan karbürlerin mekanik özelliklere olumsuz etkisinden ötürü çok istenilmez. Mikro yapıda karbürlerin bulunması süneklik ve tokluğun önemli ölçüde azalmasına sebep olmaktadır. Birinci aşamanın sonu ile ikinci aşamanın başlangıcı arasında geçen süreye işlem penceresi (processing window) adı verilmekte ve en uygun mekanik özellikler bu süreçte elde edilmektedir [19].

Küresel grafitli dökme demirlerin östemperlenebilme kabiliyeti, proses şartlarına (sıcaklık ve süre) alaşım elementi ilavesine (alaşım elementinin türü ve miktarı) ve kesit kalınlığına bağlıdır. Bu parametreler faz dönüşüm kinetiğini ve işlem penceresini önemli ölçüde etkilemektedir [25, 26]. Alaşım elementi ilavesinin östemperleme kabiliyeti üzerine farklı etkileri vardır. Birincisi, alaşım elementi ilavesinin su verme sırasında perlit oluşumunu tetiklememesi gerekmektedir. İkincisi, östenitin faz dönüşüm kinetiğini etkileyerek istenilen ösferrit fazının oluşumunu kolaylaştırmalıdır. Bununla birlikte, sünek dökme demirin matrisinde meydana gelen katı hal faz dönüşümüne etkisinden önce, grafit kürelerinin katılma davranışını (nodül sayısı ve nodülrite) da önemli ölçüde etkilemektedir. Bu yüzden, östemperleme ısıl işlemi uygulayacak küresel grafitli dökme demirlerde alaşım tasarımı yapmak veya diğer bir deyişle hangi alaşım elementinden ne kadar bulunacağını tahmin etmenin çok faydası olacağı bilinmektedir [27, 28].

Ni, Cu ve Mo hem küresel grafitli dökme demirlerde hem de östemperlenmiş sünek dökme demirlerde sıklıkla ilave edilen alaşım elementleridir. Bu elementlerden Ni ve Cu östeniti stabilize ederken, Mo kuvvetli karbür yapıcı bir element olup östeniti stabilize etmektedir [8, 17, 29].

Bu çalışma kapsamında Mo ilavesinin ve östemperleme sıcaklık ve süresinin GGG-70 (EN-GJS-700-3) sınıfı küresel dökme demirin östemperleme kabiliyetine ve mekanik özelliklerine etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır.

2. MALZEME ve METOT

2.1 Üretim

Çalışma kapsamında kullanılan ve iki farklı bileşime sahip (%0,2 Mo içeren ve Mo içermeyen) küresel grafitli dökme demirler GGG-70 standardına uygun olarak Konya Organize Sanayi Bölgesi'nde faaliyet gösteren Motus Döküm tesislerinde geleneksel kum kalıba döküm yöntemi kullanılarak üretilmiştir. Dökümün yapıldığı kalıp ASTM A536 - 84 standardına göre keel blok şeklinde hazırlanmıştır. Ergitme işleminde 1500 kg kapasiteli Inductotherm marka orta frekanslı indüksiyon ocağı kullanılmıştır. Ocağa şarj olarak sfero piki, çelik hurdası ve sfero döndü hurdası yüklenmiştir. Ergime işleminden sonra sıvı metale döküm sıcaklığında (1450 °C) küreselleştirme ve aşılama işlemleri uygulanmıştır. Küreselleştirme işlemi tundish potasında FeSiMg7 küreselleştirici kullanılarak yapılmış olup, aşılama işlemi ise döküm potasında Fe-Si (75% Si) alaşımı kullanılarak yapılmıştır. Daha sonra sıvı metal kum kalıplara dökülerek soğutulmaya bırakılmıştır. Dökümü yapılan dökme demirlerin kimyasal analizi OBLF RS1000-162 model optik emisyon spektrometresi kullanılarak gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar Çizelge 1'de verilmiştir. Karbon eşdeğeri aşağıdaki eşitlik kullanılarak Mo içeren ve içermeyen bileşimler için sırasıyla % 4.302 ve % 4.317 olarak hesap edilmiştir.

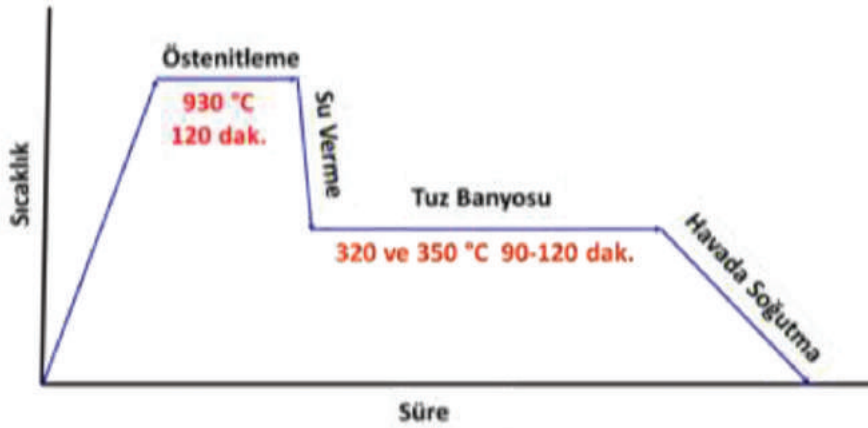
$$CE = \%C + \frac{\%Si + \%P}{3} \quad [1]$$

| Bileşim | Fe | C | Si | Mn | Cu | P | S | Mg | Ni | Mo |
|----------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| % 0 Mo | bal. | 3,56 | 2,24 | 0,108 | 0,841 | 0,032 | 0,012 | 0,036 | 0,004 | <0.001 |
| % 0.2 Mo | bal. | 3.49 | 2.40 | 0.083 | 0.824 | 0.035 | 0.014 | 0.050 | 0.001 | 0.197 |

Çizelge. 1 Çalışma kapsamında kullanılan küresel grafitli dökme demirlerin kimyasal bileşimi.

2.2 Isıl İşlem

Üretilen küresel grafitli dökme demir parçalar 930 °C' de 2 saat östenitleme ısıl işlemi uygulandıktan sonra 320 ve 350 °C sıcaklıklarda 90 ve 120 dakika süre ile östemperleme yapılmıştır (Şekil 2). Östemperleme işlemi Petrofer AS135 ısıl işlem tuzu (50% NaNO₃-50% KNO₃) içeren sıcaklık kontrollü tuz banyosunda gerçekleştirilmiştir. Tuz banyosu östemperleme süresince motorlu bir mikser tarafından karıştırılmıştır. Östemperleme işlemi tamamlandıktan sonra parçalar oda sıcaklığında soğutulmaya bırakılmış ve sonrasında yüzeyindeki tuz tabakasının giderilmesi için yıkanmıştır. Östemperleme ısıl işlemi Ankara Sincan Organize Sanayi Bölgesi'nde bulunan Döksan Isıl İşlem tesislerinde gerçekleştirilmiştir.



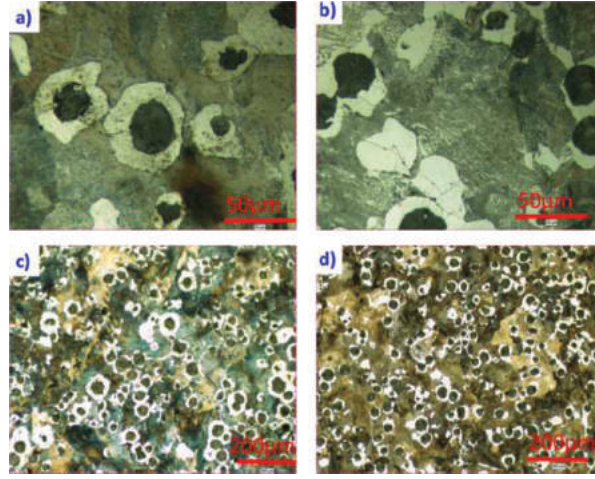
Şekil. 2 Küresel grafitli dökme demirlere uygulanan östemperleme ısıl işleminin grafiksel gösterimi.

2.3 Karakterizasyon

Numunelerin mikroyapı analizleri Nikon Eclipse MA100 model optik mikroskop kullanılarak yapılmıştır. Numuneler standart metalografik numune hazırlama teknikleri kullanılarak hazırlanmıştır. Bu işlem kapsamında numuneler önce zımparalanmış sonra 1 µm Al₂O₃ ile parlatılmış ve % 2 Nital çözeltisi kullanılarak dağlanmıştır. Görüntü analiz yazılımı kullanılarak döküm haldeki parlatılmış numunelerde küresellik, küre sayısı ve ferrit/perlit oranları belirlenmiştir. Numunelerin mekanik özellikleri çekme ve sertlik testleri ile belirlenmiştir. Çekme testi Alşa KTM 1000 model universal test cihazı kullanılarak ISO 6892-1: 2016 standardına uygun olarak yapılmıştır. Brinell sertlik ölçümü ise EMCO Test DuraVision 300 model sertlik ölçme cihazı kullanılarak 62.5 kgf yük altında ve 2.5 mm bilye ile yapılmıştır.

3. Sonuçlar ve Tartışma

Isıl işlem görmemiş, dökülmüş haldeki küresel grafitli dökme demirlerin mikro yapı fotoğrafları Şekil 3' te verilmektedir. Mo içeren ve içermeyen her iki mikro yapıda grafit küreleri, ferrit (beyaz renkli), ve ince perlit (koyu renkli ve tabakalı) fazlarından meydana gelmektedir. Her iki mikro yapıda herhangi bir döküm hatasına, karbür ve inklüzyon varlığına rastlanmamıştır. Ayrıca, Mo ilavesinin mikro yapısal özellikleri çok fazla değiştirmedeği gözlemlenmiştir. Sadece Mo içermeyen dökme demirin nodül sayısı 244 mm⁻² iken % 0.2 Mo ilavesi ile birlikte bu oran ortalama 234 mm⁻² 'ye gerilemiştir.



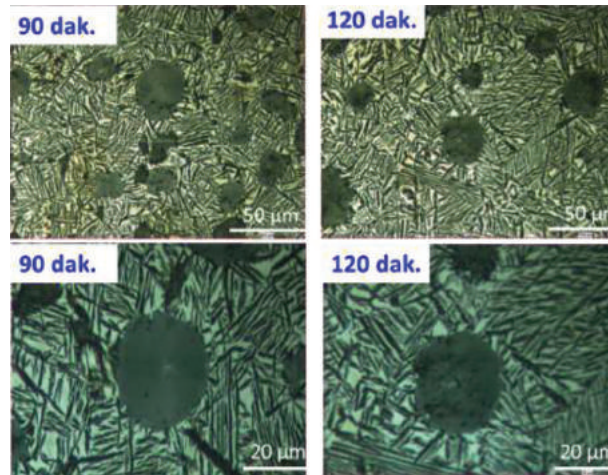
Şekil. 3 Dökülmüş haldeki küresel grafitli dökme demirlere ait mikroyapı fotoğrafları: (a) % 0 Mo x500, (b) % 0.2 Mo x500, (c) % 0 Mo x100 ve (d) % 0.2 Mo x100.

Mo ilavesi öncesinde ve sonrasında gözlemlenen benzer mikro yapılardan ötürü dökülmüş haldeki küresel grafitli dökme demirlerin mekanik özellikleri de birbirine çok benzemektedir. Mo içermeyen ve % 0.2 Mo içeren numunelerin sertlik, dayanım ve uzama değerlerinin birbirine çok yakın olduğu gözlemlenmiştir.

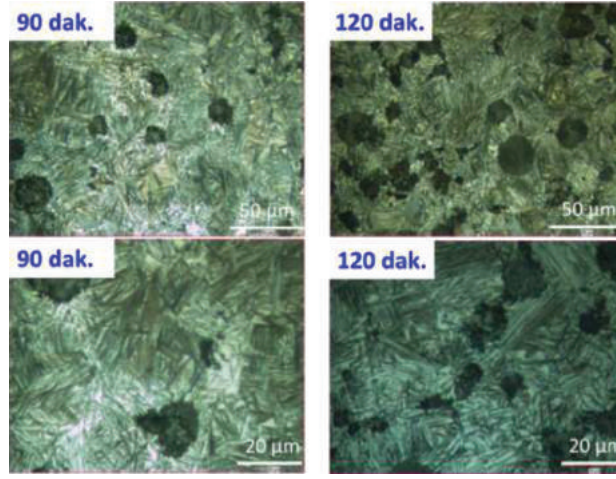
| Bileşim | Sertlik | Çekme Dayanımı (MPa) | Akma Dayanımı (MPa) | Uzama (%) |
|----------|---------|----------------------|---------------------|-----------|
| % 0 Mo | 203 | 722 | 493 | 5.80 |
| % 0.2 Mo | 207 | 720 | 492 | 5.71 |

Çizelge. 2 Dökülmüş haldeki (ısıtım işlem görmemiş) küresel grafitli dökme demirlerin mekanik özellikleri.

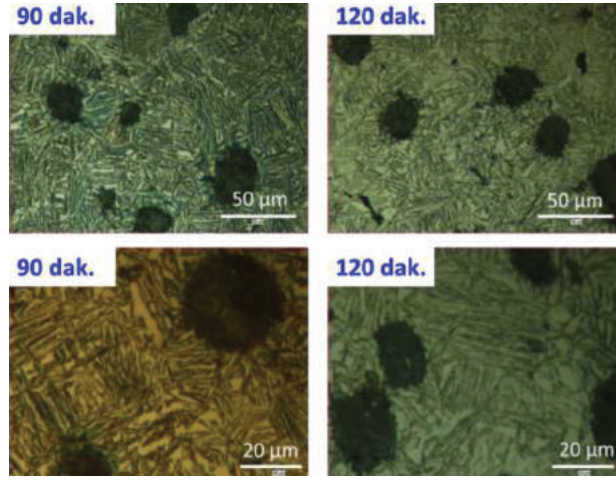
Mo içermeyen numuneye ait östemperleme sonrası mikroyapı fotoğrafları Şekil 4 ve 5'te verilmiştir. Tüm östemperleme sıcaklık ve sürelerinde tipik bir östemperlenmiş sünek dökme demir mikro yapısı elde edilmiştir. Elde edilen mikro yapılar grafit küreleri, ösferrit (siyah sivri faz) ve östenitten (açık renkli faz) meydana gelmektedir.



Şekil. 4 320 °C sıcaklıkta 90 ve 120 dakika östemperlenmiş Mo içermeyen numuneye ait mikroyapı fotoğrafları.



Şekil. 5 350 °C sıcaklıkta 90 ve 120 dakika östemperlenmiş Mo içermeyen numuneye ait mikroyapı fotoğrafları.



Şekil. 6 350 °C sıcaklıkta 90 ve 120 dakika östemperlenmiş %0.2 Mo içeren numuneye ait mikroyapı fotoğrafları.

% 0.2 Mo ilavesi sonrasında benzer mikro yapısal özellikler gözlemlenmiştir. Mo ilavesi sonucunda herhangi bir karbür veya martenzit oluşumuna rastlanılmamıştır. Mevcut fazların miktarında ve boyutunda önemli tabir edilecek değişiklikler gözlemlenmemiştir. Fakat, mikroyapısal özelliklerle ilgili daha kesin ve net bilgilere ulaşmak için bu numunelere taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve X-ışını difraksiyonu (XRD) analizleri mutlaka yapılmalıdır. SEM ile mikro yapı daha detaylı incelenecektir, XRD ile östenitin miktarı ve östenitin içerisindeki C miktarı hesap edilecektir.

| Durum | Sertlik | Çekme Dayanımı (MPa) | Akma Dayanımı (MPa) | Uzama (%) |
|------------------------|---------|----------------------|---------------------|-----------|
| % 0 Mo döküm | 203 | 722 | 493 | 5.80 |
| % 0 Mo-350°C 90 dak | 283 | 1204 | 903 | 6.80 |
| % 0 Mo-350°C 120 dak | 279 | 1190 | 1060 | 3.80 |
| % 0.2 Mo döküm | 207 | 720 | 492 | 5.71 |
| % 0.2 Mo-350°C 90 dak | 273 | 972 | 794 | 7.1 |
| % 0.2 Mo-350°C 120 dak | 261 | 911 | 728 | 6.7 |

Çizelge. 3 Dökülmüş haldeki (ısıtılmış işlem görmemiş) küresel grafitli dökme demirlerin mekanik özellikleri.

Östemperlenmiş tüm numunelerin mekanik özellikleri Çizelge 3'te gösterilmiştir. Östemperleme sonrası mekanik özelliklerde çok önemli artışlar meydana gelmiştir. Öncelikle sertlik, akma ve çekme dayanımı değerleri tüm koşullar için büyük oranda artmıştır. Dahası süneklik (uzama) değerleri de sadece Mo içermeyen ve 120 dakika östemperlenen numunede azalmış diğer tüm koşullarda nispeten atmıştır. Elde edilen veriler östemperleme ısıl işleminin başarılı bir şekilde gerçekleştiği ve tam da beklenen dayanım-uzama-tokluk sonuçlarının var olduğunu belirtmektedir. Bununla birlikte östemperleme süresinin artmasıyla birlikte uzama değerlerinde azalma meydana gelmektedir. Ayrıca, Mo ilavesinin numunelerin akma ve çekme dayanımını düşürdüğü fakat uzama değerlerini arttırdığı gözlemlenmiştir. Mo içermeyen ve 90 dakika östemperlenen numuneden elde edilen 1204 MPa çekme dayanımı, 903 MPa akma dayanımı ve % 6.8 uzama çok önemli mekanik performansı işaret etmektedir. Aynı şekilde % 0.2 Mo içeren ve yine 90 dakika östemperlenen numuneden elde edilen 972 MPa çekme dayanımı, 794 MPa akma dayanımı ve % 7.1 uzama Mo içermeyene kıyasla biraz zayıf olsa da yapısal uygulamalar için çok önemli mekanik değerlere sahiptir.

Teşekkür

Bu çalışma 7180889 numaralı "Östemperlenmiş sünek dökme demir krank millerinin üretimi ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi" isimli TÜBİTAK 1507 projesi olarak desteklenmiştir.

4. Kaynakça

- [1] A. K. Das, R. K. Panda, J. P. Dhal ve S.C. Mishra "Variation of mechanical properties of austempered ductile iron with processing parameters" International Journal of Current Research, Vol. 4(8), 2012, p. 012-016.
- [2] A. Refaey ve N. Fatahalla "Effect of microstructure on properties of ADI and low alloyed ductile iron" Journal of Materials Science, Vol. 38, 2003, p.351- 362.
- [3] L. Sidjanin, R. E. Smallman ve J. M. Young "Electron microstructure and mechanical properties of silicon and aluminium ductile irons" Acta Metali Materilia Vol. 42 (9), 1994, p. 3149-3156.
- [4] V. Franetovic, M. M. Shea ve E. F. Ryntz "Transmission electron microscopy study of austempered nodular iron: Influence of silicon content, austenitizing time and austempering temperature" Materials Science and Engineering, Vol. 96, 1987, p. 231-245.
- [5] S. K. Putatunda "Austempering of a Silicon Manganese Cast Steel" Materials and manufacturing processes, Vol. 16(6), 2001, p. 743-762.
- [6] O. Eric, M. Jovanovic, L. Sidanin, D. Rajnović ve S. Zeca "The austempering study of alloyed ductile iron"Materials and Design, Vol. 27, 2006, p. 617-622.
- [7] N. Ahmadabadi, H. M. Ghasemi ve M. Osia Wear "Effects of successive austempering on the tribological behavior of ductile cast iron" Vol. 231,1999, p. 293-300.
- [8] A. K. Das, J. P. Dhal, R. K. Panda, S. C. Mishra, ve, S. Sen "Effect of Alloying Elements and Processing Parameters on Mechanical Properties of Austempered Ductile Iron" Journal of Materials and Metallurgical Engineering, Vol. 3, 2013, p. 8-16.
- [9] S. K. Putatunda, A. V. Singar, R. Tackett ve G. Lawes, "Development of a high strength high toughness ausferritic steel" Materials Science and Engineering. A, Vol. 513-514, 2009, p. 329-339.
- [10] J. Yang ve S. K. Putatunda, "Effect of microstructure on abrasion wear behavior of austempered ductile cast iron (ADI) processed by a novel two-step austempering process" Materials Science and Engineering. A, Vol. 406, 2005, p. 217-228.
- [11] Y. Yalcın ve A. Özel, " Östemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demir" Metalürji Dergisi, Vol. 23(119), 1999, p. 15-19.
- [12] E. Konca, E. K. Tur ve E. Koç, "Effects of Alloying Elements (Mo, Ni and Cu) on the Austemperability of GGG-60 Ductile Cast Iron" Metals, Vol. 7, 320, 2017, p. 1-9.
- [13] P. A. Blackmore ve R. A. Harding, "The Effects of Metallurgical Process Variables on the

- Properties of Austempered Ductile Irons” *Journal of Heat Treatment*, Vol. 3, 1984, p. 310–325.
- [14] J. R. Keough ve K. L. Hayrynen 2010, “Designing with Austempered Ductile Iron (ADI)” *AFS Proceedings*, 10–129, 2010.
- [15] T. Tun ve K. T. Lwin, “Optimizing the Microstructure and Mechanical Properties of Austempered Ductile Iron for Automobile Differential Gear” *Journal of Metals, Materials and Minerals.*, Vol. 18, 2008, p. 199–205.
- [16] M. A. Yescas-Gonzales, “Modelling the Microstructure and Mechanical Properties of Austempered Ductile Irons”. Ph.D. Thesis, University of Cambridge, Cambridge, UK, Nov. 2001.
- [17] L. Meier, M. Hofmann, P. Saal, W. Volk ve H. Hoffman, “In-situ measurement of phase transformation kinetics in austempered ductile” *Material Characterization*, Vol. 85, 2013, p. 124–133.
- [18] K. L. Hayrynen, K. R. Brandenburg, J. R. Keough, “Applications of Austempered Cast Irons”, *AFS Transactions*, Vol. 110, 2002, p. 1-10.
- [19] B.A. Sadighzadeh, “Effect of Alloying Elements on Austempered Ductile Iron (ADI) Properties and its Process: Review”, *China Foundry*, Vol. 12(1), 2015, p. 54-70.
- [20] R. B. Gundlach ve J. F. Janowak, “Development of Ductile Iron for Commercial Austempering” *AFS Transactions*, Vol. 91, 1983, p. 377–388.
- [21] R. C. Voigt ve C.R. Loper, “Austempered ductile iron — process control and quality assurance” *Journal of Heat Treating*, Vol. 3(4), 1984, p. 291–309.
- [22] B. V. Kovacs, 1994, “On the Terminology and Structure of ADI” *AFS Transactions*, Vol. 102, 1994, p. 417-420.
- [23] B.A. Sadighzadeh, S. Yazdani ve B. Avishan, “Effect of Shot Peening Process on Fatigue Behavior of an Alloyed Austempered Ductile Iron” *China Foundry*, Vol. 8(3), 2011, p. 325-330.
- [24] M Bahmani, R. Elliott, ve N. Varahram 1997, “The austempering kinetics and mechanical properties of an austempered Cu-Ni-Mo-Mn alloyed ductile iron” *Journal of Materials Science*, Vol. 32(18), 1997, p. 4783-4791.
- [25] P. Sellamuthu, D. G. H. Samuel, D. Dinakaran, V. P. Premkumar, Z. Li ve S. Seetharaman, “Austempered Ductile Iron (ADI): Influence of Austempering Temperature on Microstructure, Mechanical and Wear Properties and Energy Consumption”, *Metals*, Vol. 8 (53), 2018, p. 1-12.
- [26] B. Bosnjak, B. Rudovic ve K. P. Tonev “Microstructural and mechanical characteristics of low alloyed Ni-Mo-Cu austempered ductile iron”. *ISIJ International*, vol. 40(12), 2000, p. 1246–1252.
- [27] K. L. Hayrynen, “The Production of Austempered Ductile Iron (ADI)”. In *Proceedings of the 2002 World Conference on ADI*, Louisville, KY, USA, 26–27 September 2002; p. 1–6.
- [28] J. Hernandez-Avila, E. Salinas-Rodriguez, E. Cerecedo-Saenz, I. Rivera-Landero, E. Cardoso-Legorreta, J. Flores-Badill ve M.I Reyes-Valderrama “The Effect of Molybdenum on the Microstructure of Nodular Iron” *European Scientific Journal* Vol. 11, 2015, p. 377–388.
- [29] E. Konca, K. Tur ve E. Koç, “Effects of Alloying Elements (Mo, Ni, and Cu) on the Austemperability of GGG-60 Ductile Cast Iron” *Metals*, Vol. 7 (320), 2017, p. 1-9.

ZIRHLI PERSONEL TAŞIYICILARDA KULLANILAN SÜSPANSİYON KOLUNUN ÖSTEMPERLEME PROSESİ İLE KULLANIM SÜRELERİNİN UZATILMASI

Şerife HELVACIOĞLU*, Gökhan SAĞLAM*, Ayşe ERKAN*,
Ümmihan YILMAZ*, Gökhan YİĞİT*,
**Döksan Isıl İşlem A.Ş., Ankara, Türkiye*

ÖZET

Küresel grafitli dökme demirlerin (KGDD) ısı işlem görmesi ile üretilen östemperlenmiş sünek demir (ADI), uygulanan ısı işlem parametrelerinin değiştirilmesi ile geniş bir aralıkta değişen üstün mekanik özelliklere sahip olmaktadır. Bu çalışmada farklı östemperleme, östenitleme sıcaklıkları ve zamanının, GGG 60 (EN-GJS-600-3) malzemeli süspansiyon kolunun özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Numunelere 900-930°C'de östenitleme, 320-360°C'de östemperleme ve 30-120 dk östenitleme/östemperleme süreleri parametre olarak uygulanmıştır. Östemperleme işlemi yapılmış numune parçası çekme çubuğuna dönüştürülmüş; çekme mukavemeti, akma dayanımı, uzama, testleri yapılmıştır. Artan östemperleme sıcaklığı ile östenit hacmi artarken, akma ve çekme dayanımı azalmıştır. Düşük östemperleme sıcaklıklarında östenitli ve martenzitli ösferritin iyi görünüşü ile ilişkili olarak sertlik artmıştır. Yüksek östemperleme sıcaklığı ile uzamada azalma gözlenmiştir.

ABSTRACT

Heat treating the ductile cast iron produced austempered ductile iron (ADI), which have outstanding mechanical properties that can be varied over a wide range by varying the heat treatment parameters. In this study, the effects of different austempering, austenitizing temperatures and time on the properties of suspension arm with GGG 60 (EN-GJS-600-3) material were investigated. Austenitization at 900-930 °C, austempering at 320-360 °C and austenitizing / austempering times of 30-120 min were applied as parameters. The austempered spheroidal graphite cast iron part is converted into a draw bar and tensile strength, yield strength, elongation are made. The yield and tensile strength decreases the austenite volume increases with increasing the austempering temperature. The higher value of hardness at lower austempering temperature is associated with the appearance of fine ausferrite with some austenite and martensite. With higher austempering temperature, it was observed decrease in elongation while the amount of martensite contents increase.

Keywords: Austempered Ductile Iron (ADI), GGG60, Ductility, Suspension Arm

1.GİRİŞ

Değişen dünya ile birlikte mühendislik malzemelerinde de bu değişikliğe paralel olarak genelde daha mukavemetli, daha hafif ve düşük maliyetli malzemeler geliştirmek için çalışmalar yapılmıştır. Bu malzeme gruplarından biri de Küresel Grafitli Dökme Demir(K-GDD) malzemeleridir. Yeni bir mühendislik malzemesi olan KGDD ilk 1948'deki American Foundrymen's Society'nin yıllık konferansında sunulmuştur. Bunu östemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demir (ÖKGDD) çalışmaları izlemiştir. Çeliğin dayanım, sünek, yüksek kırılma tokluğu ve aşınma dayanımı özellikleri ile KGDD'in dökülebilirlik ve düşük üretim maliyetini birleştiren ÖKGDD düşük maliyetle üstün mekanik özellikte parçaları üretebilmesinin yolunu açmıştır. ÖKGDD bilinen mekanik özellikleri dışında çeliklerde uzun yıllardır bilinmekte olan faz dönüşümü mekanizması ile yeni kullanım alanları sağlamıştır. ÖKGDD yapısındaki kalıntı östenit, yoğruk şekil değişikliğine maruz bırakıldığında martenzite dönüşmesi ile malzemenin dayanımı ekstara arttırarak ömrünü uzattığı tespit edilmiştir [1].

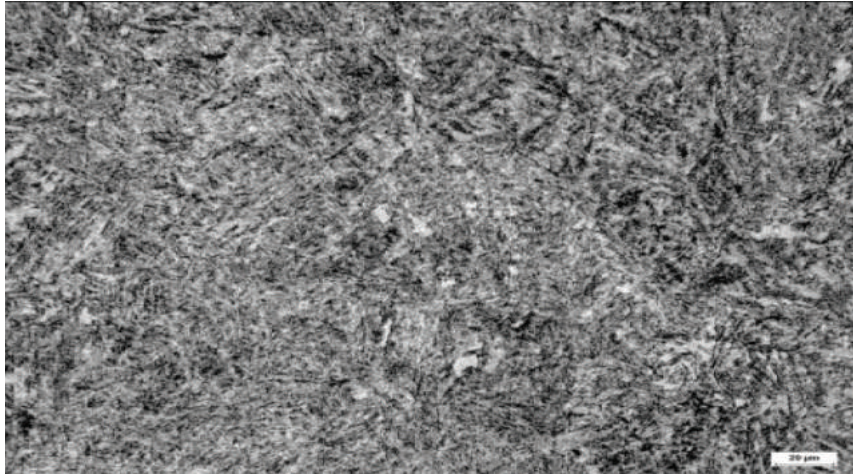
Konca ve arkadaşları çalışmalarında; alaşım elementleri (Mo, Ni ve Cu) eklenmiş EN-GJS-600-3 malzemede östemperlemeyle ulaşılabilen değerleri gösterdiğinde, geleneksel ENGJS- 600-3 malzemede östemperleme ısı işlemiyle tüm numuneler mukavemetinde önemli artışlar göstermiştir. Mo-Ni-Cu alaşımlı sfero, Ni-Cu alaşımlı sfero ile karşılaştırıldığında daha yüksek sertlik, verim ve çekme dayanımına sahip olduğu tespit edilmiştir [2]

KGDD malzemeleri uygun ısı işlemler ile ortalama %10-40 daha ucuz olmasından ayrıca daha kolay üretilebilir olmasından dolayı bazı uygulamalarda çeliğin yerini almaya başlamıştır [3].

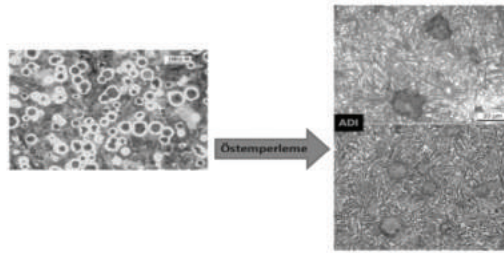
ÖKGDD ürünlerin yüksek mukavemetli olması, ağırlıkta %40' lara varan avantaj sağlayarak ince kesitli parça tasarımları yapılabilmektedir. Ayrıca temas eden parçalar arasında grafit nodül özelliği sayesinde yağlayıcı görev yaparak aşınma mukavemetini de olumlu etkilemektedir. KGDD' ler üstün mekanik özellikleri sayesinde otomotiv sanayinde krank milleri, vites dişlileri, tekerlek poryası, kam mili, ön aks taşıyıcısı, diferansiyel taşıyıcısı ve süspansiyon kolları gibi parçaların üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır [4].

Yüksek dayanımda olan GGG 60 (EN-GJS-600-3) malzemeye östemperleme ısı işlemi uygulanarak yüzeyi sert, çekirdekte tok ve sünek malzeme eldesi sağlanmıştır. Östemperleme ısı işlemi uygulanan süspansiyon kollarına, zorlama ve darbelere karşı dayanıklılık kazandırıldığı görülmüştür. Bu durum özellikle araçların tekerlek düzeninde darbe sünümleme görevi yapan süspansiyon kolu gibi aşırı engebeli ve zorlu arazi araçlarında önem taşımaktadır [5].

İyileştirilmiş mekanik özellikler grafit boyutu,şekli ve matris mikroyapı birleşiminden kaynaklanmakta olup mekanik özellikleri etkilemektedir. Yüksek çekme mukavemetinin, akma dayanımının ve sünekliğinin elverişli kombinasyonu ile elde edilen mükemmel mekanik özellikler bu malzemeyi dövme çelik malzemeye alternatif kullanımının yolunu açmıştır. Uygulanan östemperleme ısı işlemi sonucu çelik malzeme ve KGDD'malzemelere göre farklılık göstermektedir. Östemperleme ısı işlemi sonucu çeliklerde Şekil-1' de verilen beynit (ferrit+sementit) martis yapısı oluşurken, küresel grafitli dökme demirlerde Şekil-2'de verilen ösferrit (östenit+ferrit) matris yapısı oluşmaktadır [1,6].



Şekil-1: Çeliğin Östemperleme Isıl İşlemi Sonucu Oluşan Beynit Matris Yapısı



Şekil-2: Küresel Grafitli Dökme Demirin Östemperleme Isıl İşlemi Sonucu Oluşan Ösferrit Matris Yapısı

Östemperleme ısı işlem yöntemi uygulanarak elde edilen değerler, östemperleme ısı işlem sıcaklıklarında ve sürelerinde yapılan değişiklikler sayesinde mekanik özellikleri daha üstün hale getirdiği tespit edilmiştir [7].

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

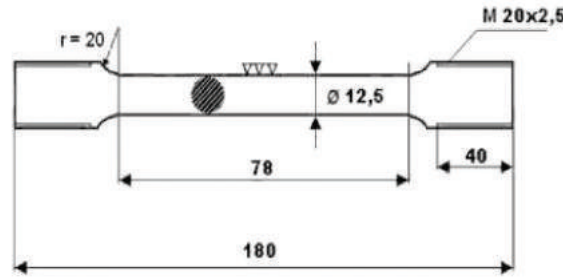
Bu çalışmanın amacı dövme çelikten üretilen süspansiyon kollarının malzemesini GGG 60 (EN-GJS-600-3) ile değiştirerek ÖKGDD'in üstün mekanik ve metalografik özelliklerinden yararlanarak daha hafif, darbe ve çarpmalara karşı dayanıklı parçaların üretilmesini sağlamaktır.

2.1. Numune Hazırlanışı: Akma, çekme ve uzama gibi mekanik testleri uygulayabilmek için EN 1563 standardına uygun dökülen ve kimyasal kompozisyonu referans değerler aralığında olan Y blok GGG 60 (EN-GJS-600-3) numuneler yine standarda uygun kesilerek hazır hale getirilmiştir. Kullanulacak numunelerin kimyasal kompozisyonu Tablo-1'de verilmiştir.

| C | Si | Mn | P | S | Mg | Cr | Ni |
|--------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|------|
| 3,64 | 2,16 | 0,297 | 0,031 | 0,015 | 0,051 | 0,056 | 0,14 |
| Mo | Cu | Al | Ti | Sn | Pb | Zn | |
| <0,001 | 0,513 | 0,015 | 0,008 | 0,003 | <0,001 | <0,001 | |

Tablo-1:Deneylerde kullanılan Küresel Grafitli Dökme Demir Kimyasal Kompozisyonu

Numuneleri, östempereleme sonrası metalografik inceleme için parça kesilmiş ve bakalite alınmıştır. 180, 240, 400, 600, 800 ve 1000'lik zımpara kağıdı ile zımparalanmıştır. Dağlayıcı olarak %3 nital kullanılmıştır. Bütün mikroyapıların görüntülenmesinde Leica DM-RM marka optik mikroskop kullanılmıştır. Sertlik ölçümleri EMCO-Test DuraScan-70 G5 sertlik ölçüm cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ölçümler BMS (Bulut Makina) marka cihaz kullanılarak 3000 kg yük altında, 10 mm çapında bilya ile HB 10 metodu yöntemiyle ölçülmüştür. Herbir numune için 5 farklı bölgeden ölçülen sertlik değerlerinin ortalaması alınmıştır. Mekanik incelemelerde çekme testleri KOSGEB laboratuvarında TS EN ISO 6892-1 standardına uygun olarak yapılmıştır. 250 kN kapasiteli ZWICK ROEL Z250 çekme test cihazında yapılmıştır. Çekme testi için seçilen çekme hızı ise 0,0067 mm/s olarak seçilmiştir. Çekme testi numuneleri Şekil-3'te verilen teknik resimdeki ölçülere uygun (birimler mm) hazırlanmıştır. %Uzama miktarı bilgisayara girilen numune boyuna bağlı olarak deney sonrasında ilk ve son boya göre hesaplanmıştır.



Şekil-3:Çekme Testi Numunesi

Uygulanan ısı işlemin mekanik değerlerde sağladığı iyileşme oranını tespit etmek için işlem öncesi incelenen mekanik değerler Tablo-2'de verilmiştir.

| Sertlik (HB) | Çekme Mukavemeti (N/mm ²) | Akma Dayanımı (N/mm ²) | Uzama (%) |
|--------------|---------------------------------------|------------------------------------|-----------|
| 245 | 614 | 523 | 2,9 |

Tablo-2: İşlemsiz Numunenin Mekanik Değerleri

2.2.Östempereleme Isıl İşlem Fırınlarının Özellikleri:Östenitleme işlemi Ø1600 mm ve yükseklik 2500 mm ölçülerine sahip atmosfer kontrollü, PLC kontrollü kuyu tipi fırında yapılmıştır. Östempereleme işlemi ise hacmi 2.2x1.8x3.25 m (enxboyxderinlik) olan, 3.5x1.8x4.0 m boyutlarında ve tam doldurulduğunda yaklaşık 50 ton ağırlığında ısı işlem tuzu alabilen tuz banyosunda yapılmıştır. Östempereleme ısı işleminde izotermal beklemeyi sağlamak için %50 KNO₃ ve %50 NaNO₂ karışıma sahip tuz kullanılmıştır.

2.3. Uygulanan Östempereleme Isıl İşlem Parametreleri:Hazırlanan numuneler 3 ana gruba ayrılarak A,B ve C olarak adlandırılmıştır. A ve B numuneleri bir firmanın numuneleri olup kendi içerisinde değerlendirilmiştir. C numuneleri kendi içerisinde C1, C2, C3 ve C4 olarak alt gruplara ayrılmış farklı firmanın numuneleridir. Her bir bilimsel çalışma 3'er kez tekrarlanmıştır. Östempereleme ısı işlemi ile sağlanan iyileşmeyi tespit edebilmek için işlem görmemiş numunelerin mekanik ve metalografik testleri yapılmıştır. Uygulanan östempereleme ısı işlem parametreleri Tablo-3'te verilmiştir. Malzemesi değiştirilerek EN 1563 döküm standardına uygun dökülen süspansiyon kolu numuneleri 900-930°C sıcaklıkta 60-90 dakika (dk) süresince östenitleme işlemi yapılmıştır. Östenitleme fırınından tuzbanyosuna geçiş sürecinde oluşacak ısı kaybının önüne geçmek için tüm denemelerde 5 dk'de 940°C sıcaklığa çıkılmış ve 10 dk bekletildikten sonra 320- 360°C sıcaklıkta 30-60-90-120 dak süresince östempereleme işlemi uygulanmıştır.

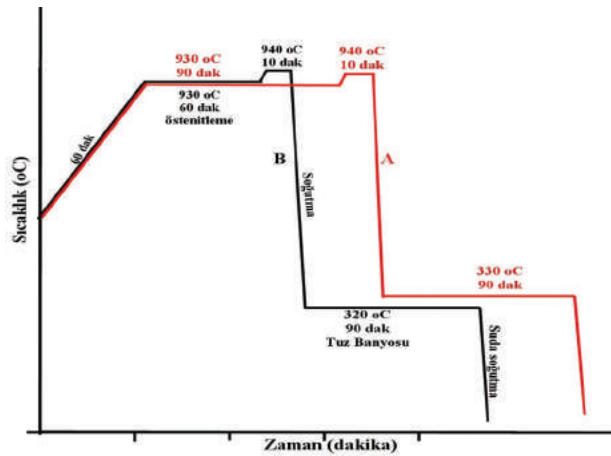
Uygulanan prosesin hemen sonlanması için tüm numuneler suda soğutulmuştur. Uygulanan ısıtma işlemi sonunda mekanik testler ve metalografik incelemeler yapılmıştır.

| Numune Adı | A | B | C1 | C2 | C3 | C4 |
|------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Östenitleme Sıcaklığı (°C) | 930 | 930 | 900 | 900 | 900 | 900 |
| Östenitleme Süresi (dk) | 90 | 60 | 90 | 90 | 90 | 90 |
| Östempereleme Sıcaklığı (°C) | 330 | 320 | 360 | 360 | 360 | 360 |
| Östempereleme Süresi (dk) | 90 | 90 | 30 | 60 | 90 | 120 |

Tablo-3:Uygulanan Östempereleme Isıl İşlem Parametreleri

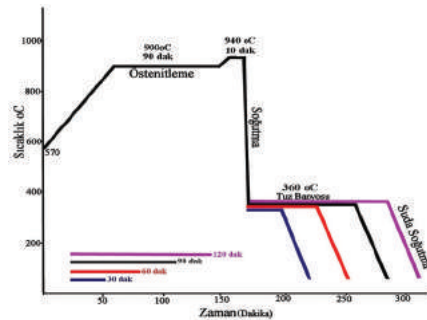
İlk denemede numune A 930°C sıcaklıkta 90 dk östenitleme, 330°C sıcaklıkta 90 dk östempereleme işlemi ve numune B 930°C sıcaklıkta 60 dk östenitleme, 320°C sıcaklıkta 90 dk östempereleme işlemi sonunda suda soğutulmuştur. Uygulanan ısıtma parametreleri Tablo-3'te özetlenmiştir.

Numune A ve Numune B'de östenitleme süreleri ve östempereleme sıcaklığının mekanik ve metalografik sonuçları nasıl etkilediği incelenmiştir. Şekil-4' te numune A ve B'nin östempereleme işlem sıcaklık-zaman grafiği verilmiştir



Şekil-4: A ve B Numunelerinin Östempereleme Isıl İşlem Sıcaklık-Zaman Grafiği

Diğer denemede ise numune C olarak adlandırılan C1, C2, C3, C4 numuneleri 900°C sıcaklıkta 90 dk süresince östenitlenmiş, 360°C sıcaklıkta sırası ile 30, 60, 90, 120 dk sürelerinde östempereleme işleminin ardından suda soğutulmuştur. Şekil-5'te C numunelerinin östempereleme ısıtma işlem sıcaklık-zaman grafiği verilmiştir.



Şekil-5: C Serisi Numunelerin Östempereleme Isıl İşlem Sıcaklık-Zaman Grafiği

3. BULGULAR

3.1.Mekanik Test Sonuçları:Östemperleme ısıl işlemi uygulanan malzemelerin mekanik değerleri için ASTM A897 Östemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demir (ADI) Standardı referans alınmıştır. Standart değerleri Tablo-4’ de verilmiştir.

| SI birimi | Sınıf 1 | Sınıf 2 | Sınıf 3 | Sınıf 4 | Sınıf 5 |
|----------------------------------|------------|-------------|-------------|--------------|--------------|
| | 900/650/09 | 1050/750/07 | 1200/850/04 | 1400/1100/02 | 1600/1300/01 |
| Çekme mukavemeti, min, ksi | 900 | 1050 | 1200 | 1400 | 1600 |
| Akma mukavemeti, min, ksi | 650 | 750 | 850 | 1100 | 1300 |
| Uzama in 50 mm, min, % | 9 | 7 | 4 | 2 | 1 |
| Darbe enerjisi, J ^c | 100 | 80 | 60 | 35 | 2 |
| Sertlik, HBW, kg/mm ² | 269-341 | 302-375 | 341-444 | 388-477 | 402-512 |

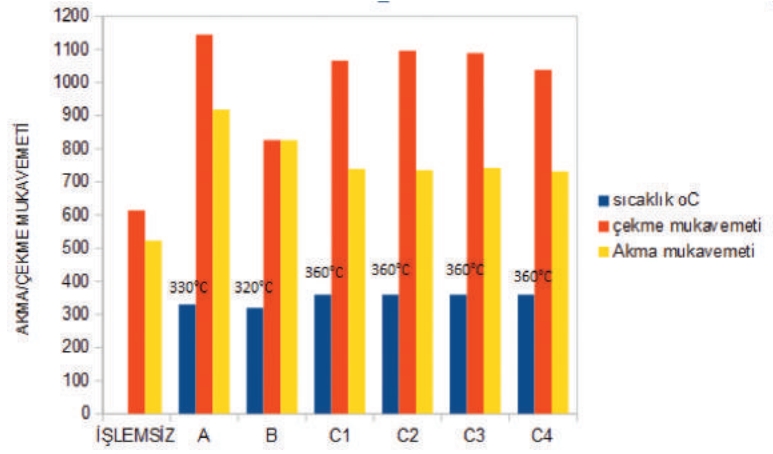
Tablo-4:ASTM A 897 Östemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demir (ADI) Standardı

Yeni geliştirilen östemperleme ısıl işlem prosesleri uygulanan numunelerden elde edilen mekanik test sonuçları Tablo-5’te verilmiştir.

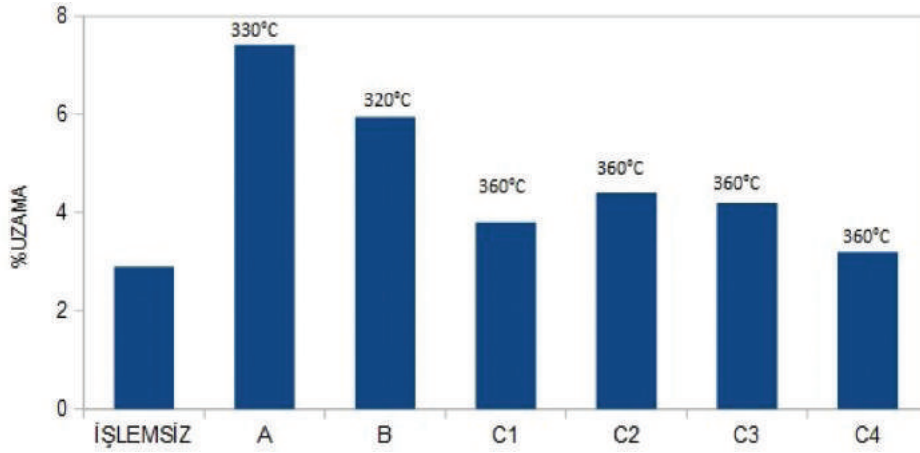
| | A | B | C1 | C2 | C3 | C4 |
|--|------|------|------|------|------|------|
| Sertlik (HB) | 350 | 294 | 334 | 329 | 318 | 299 |
| Çekme Mukavemeti (N/mm²) | 1145 | 826 | 1066 | 1096 | 1088 | 1038 |
| Akma | 919 | 826 | 739 | 735 | 742 | 731 |
| Dayanımı (N/mm²) | | | | | | |
| Uzama (%) | 7,41 | 5,94 | 3,8 | 4,1 | 4,2 | 3,2 |

Tablo-5:Numunelerin Mekanik Test Sonuçları

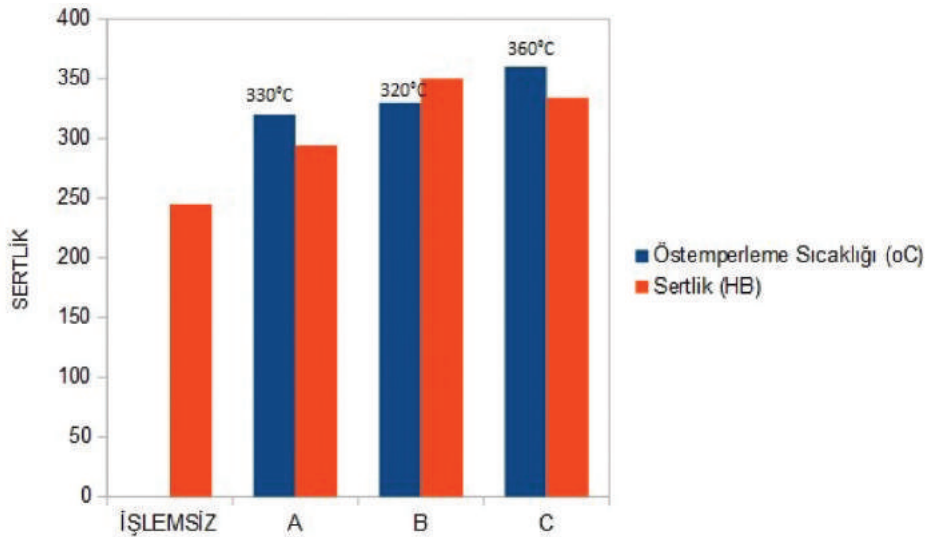
Östemperleme sıcaklığı attıkça çekme mukavemetinde ve uzamada azalma görülmüştür. 330°C sıcaklığa uygulanan östemperleme sonunda daha yüksek çekme mukavemeti ve uzama görülmüştür. Bu durum östemperleme sıcaklığı ile martensit içeriğinin kontrol edilebildiği ve istenilen mekanik değerlerin elde edilebildiğini göstermektedir. Böylece yüksek mukavemet sayesinde yüksek kırılma tokluğu sağlanmaktadır.



Şekil-6: Östempereleme Sıcaklığına Bağlı Akma/Çekme Mukavemeti Değişimi

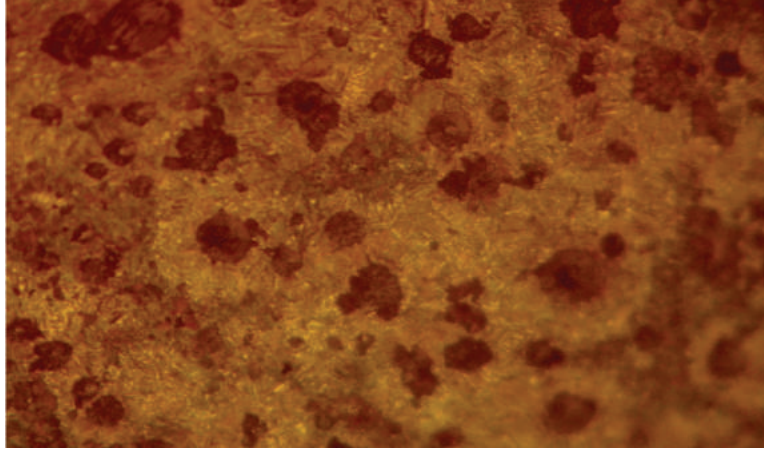


Şekil-7: İşlem Öncesi ve Sonrası Östempereleme Sıcaklığına Bağlı Uzama Değişimi



Şekil-8: Östempereleme Sıcaklığına Bağlı Sertlik Değişimi

3.2. Mikroyapı sonuçları: Östempereleme sonrası 200x büyütme ile mikroyapısına bakılan numune Şekil-6'da verilmiştir. Mikroyapıda sağlanan iyileşme yüksek mukavemet ve uzama sağlamaktadır.



Şekil-6:Östemperlenmiş Numune Mikroyapısı (200x)

4. SONUÇLAR

- Artan östemperleme sıcaklığı ile östenit hacmi artarken, akma ve çekme dayanımı azalmıştır.
- Düşük östemperleme sıcaklıklarında östenitli ve martenzitli ösferritin iyi görünüşü ile ilişkili olarak sertlik artmıştır.
- Yüksek östemperleme sıcaklığı ile uzamada azalma gözlenmiştir.
- Östemperleme sonrası yüksek sertliğe sahip olan numunelerin daha düşük akma/çekme mukavemetine ve uzamaya sahip oldukları belirlenmiştir.

5. KAYNAKÇA

1. AKÇA C., “Östemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirde Alaşım Elementlerinin Östenit-Martenzit Dönüşümüne Etkisi”, YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ FEN Enstitüsü, DOKTORA TEZİ, İSTANBUL 2005.
2. KONCA E., TUR K., KOÇ E.; ‘Effects of Alloying Elements (Mo, Ni and Cu) on the Austemperability of GGG-60 Ductile cast Iron’, Journal of Metals , Cilt 7, S. 320, 2017, Sayfa 2-9.
3. DEVECİLİ A. O., UYMAZ G., “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, S. 2, 2016, Sayfa. 47-53.
4. KIRCALI K. K., ÇAKIR M. C., “Östemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirlerde Östemperleme Sıcaklığı ve Zamanının İşlenebilirliğe Etkilerinin İncelenmesi” TİMAK-Tasarım İmalat Analiz Kongresi 26-28 Nisan 2006 – BALIKESİR.
5. ÇETİN B., MEÇO H., DAVUT K., ARSLAN E., “Microstructural Analysis of Austempered Ductile Iron Castings”, Hittite Journal of Science and Engineering, 2016, 3 (1) 29-34
6. V. KILIÇLI, M. ERDOĞAN “Arakritik Östenitleme Sıcaklıklarından Östemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demir Mikroyapı ve Mekanik Özellikleri” 14th International Materials Symposium (IMSP’12), 10-12 October 2012 Pamukkale Üniversitesi, Denizli-TÜRKİYE.
7. ÇETİN B., KURTULDU H., DURKAYA G., DAVUT K., “A Specific Image Processing Code in Matlab to Perform Advanced Nodularity and Nodule Count Analysis of Austempered Ductile Iron Castings” Microsc. Microanal. 23 (Suppl 1), 2017, Sayfa 232-233.

TEHLİKE TAHMİNİ UYGULAMALARI

Berivan BODUROĞLU*

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

ÖZET

İş yerlerinde gerçekleşen kazalar aslında bir dizi zincirleme problemin sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. Bu zincirin halkalarında; tehlikeli ortamlar, tehlikeli davranışlar ve eğitim eksikliği gibi problemler yer almaktadır. İş sağlığı güvenliğini sağlamak için verdiğimiz eğitim, bizim için en değerli olgudur. Biz bu çalışmada eğitim eksikliği problemini hem tehlikeyi görmeme hem de tehlikeli davranışı tercih etme olarak değerlendirdik. Bu aşamada, görme olgusunu odak noktamıza alarak, İş güvenliği konusunda farkındalığı arttıracak, düzeltici değil, önleyici bir bakış açısı yakalayarak, tehlike ve riskleri görme yöntemleri üzerinde durduk. Uygulamada çeşitli araçlar kullanarak görme oranımızı arttırmaya çalıştık ve farkındalığımızı ölçtük. Amacımız her biri ayrı yetkinlik, yeterlilik, eğitim seviyesinde olan ve üretimin farklı bölümlerinde görev yapan çalışanlara herkesin kendinden, hepimizin birbirimizden sorumlu olacağı önce güven olgusunu aşılama, daha sonra da tehlikeyi görerek karşı önlem algısını geliştirmek ve farkındalığı yüksek bir ekip oluşturmaktır.

Anahtar Kelimeler: Tehlike, eğitim, bilinçlenme, iş güvenliği

ABSTRACT

Accidents in workplaces actually occur as a result of a series of sequence problems. In the rings of this chain; there are basic problems such as hazardous environments, dangerous behaviors and lack of education. The training we provide to ensure occupational health and safety is the most valuable fact for us.

In this study, we considered the problem as the lack of education not seeing the hazard and to prefer the hazardous behavior. At this stage, by focusing on the phenomenon of vision, we focused on the methods of seeing the risks and hazards by gaining a preventive perspective and not a recoverer approach that will increase awareness of work safety. In practice, we tried to increase our vision ratio by using various tools and we measured our awareness. Our aim is to instill the phenomenon of trust, that will be on themselves and responsible for each other, to the employees each of whom has different competence and education level and working in different parts of the production, also our aim is to improve the sense of the counter measure by foreseeing the hazard and create a team with high awareness.

Keywords: hazard, training, awareness, work safety

1.GİRİŞ

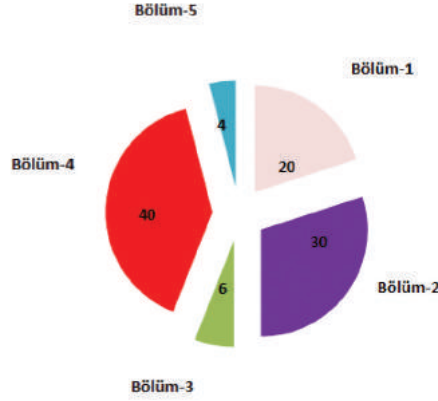
Tehlike, iş kazasına sebep olabilecek potansiyeli olan, mevcut ya da olası her durumu içermektedir. Tehlikeyi görme ya da tahmin etme ise gerçekleşme potansiyeli olan her kaza ve ucuz atlama konusunda tedbir alabilmek için önlem niteliğindedir. Olay gerçekleştikten sonra alınan tedbirler ilgili olay için düzeltici olup reaktif bir yaklaşımdır. Olaylar gerçekleşmeden alınacak önlemler ise bir veya birden fazla riskin giderilmesinde proaktif yaklaşım sağlayacağından önleyici nitelikte olacaktır. Tehlike, yaygın olarak kabul edildiği üzere iki önemli olgunun ayrı ayrı ya da birlikte bir araya gelmesi ile riske dönüşmektedir. Bu olgular ortamdaki tehlikeli durumlar veya yapılabilecek tehlikeli davranışlardır. İki olgunun bir arada olduğu durumlarda tehlikeli davranışın tercih edilme oranının azaltılması ya da sadece tehlikeli hareket yaparak tehlikeli duruma neden olma oranının azaltılması bu çalışmanın öncelikli çalışma konusudur. Örneğin, yalıtımı sağlanmamış bir elektrik kablosu ile çalışma yapmak hem tehlikeli durum hem de tehlikeli davranışın bir arada olduğu riskin gerçekleşme olasılığını arttıran bir çalışma şeklidir. Aynı şekilde koruyucusu olan makinanın koruyucusunu devre dışı bırakarak çalışma yapmakta tehlikeli davranışa örnek gösterilebilir. Her iki olayda da çalışan, tehlikeli durum karşısında tedbir almak ya da alınmasını sağlamak yerine çalışmaya devam etmiş yani tehlikeli davranışa yönelmiştir. Geçmişte yaşanan olaylar analiz edildiğinde, aynı çalışan veya aynı prosesteki farklı çalışanların tehlikeler karşısında benzer tehlikeli davranışları gösterdiği görülmüştür. Bu durum davranış değişikliği konusunda farkındalığın arttırılması gerektiği sonucunu doğurmaktadır. Çalışanlar için hazırlanan mevcut eğitim uygulamalarında istenen farkındalık düzeyinin altında kalınması, eğitim yönteminde çeşitliliğe gidilmesi gerektiğine işaret etmektedir. Bu nedenle yeni yöntemler belirlemek ve mevcut eğitim tipimizi geliştirmek için yalın ve uygulamalı eğitimler alınarak tesise özel metotlar geliştirilmiştir. Bu çalışmada, çalışanların tehlikeli durumlar karşısında tedbir almaları, tehlikeyi göze alarak hareket etmemeleri, tehlikeli bir davranışa yönelmeden kendi ve çalışma arkadaşlarının güvenliğini gözetebilecekleri çalışanlara dönüşmeleri için yapılan faaliyetler yer almaktadır.

2. EĞİTİM VE FARKINDALIK

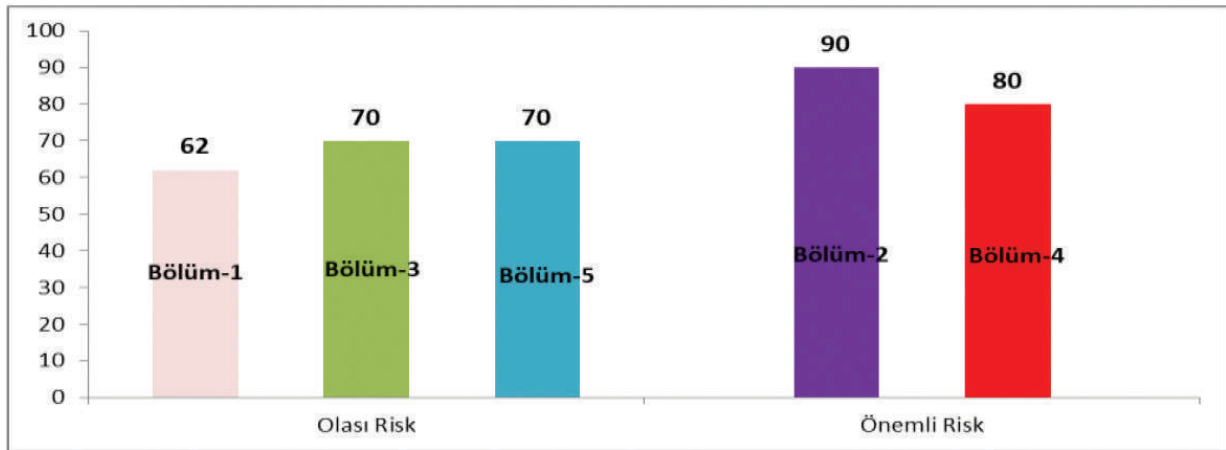
Eğitim, temelde herhangi bir konu hakkında bilgi ve beceri kazanımı amacı ile yürütülen faaliyet olarak nitelendirilebilir. Farkındalık kavramı ise bilinçli olmanın bir parçasıdır. Bu nedenle eğitimlerin sonucunda farkındalığı arttırmak yani bilinçlenmeyi sağlamak beklenmektedir. İş sağlığı güvenliği konusunda yapılan eğitimlerde bu bilinci oluşturmak, güvenlik kültürünün temelini oluşturmak için oldukça önemlidir. Klasik sınıf eğitimlerinde yaygın olarak farkındalık, amirlerin çalışanları sahadaki gözlemleri ile takip edilmekte ya da amirlerin değerlendirme formu kullanımı ile ölçülebilmektedir. Çalışan sayısının yoğun olduğu iş yerlerinde tek tek gözlem yapmak, eğitim çeşitliliğine göre istenen seviyede değerlendirme formu uygulamak, amaçtan uzaklaşmaya sebep olabilir. Klasik eğitimlerin tehlikeyi görme ve tepki verme noktasında istenen sonucu vermemesi de amaçlanan sonuca ulaşamadığını göstermektedir. Mevcut verilerle tehlikeli davranış tekrarındaki sıklık incelendiğinde, yetişkinlere uygulanan eğitimlerin sonucunda aynı kişinin eğitim sonrası tehlikeli davranışı tekrar etmesi ya da aynı bölümdeki çalışanların eğitim sonrası benzer tehlikeli davranışları tekrar etmesi oranında istenen seviyeye ulaşamadığı analiz edilmiştir. Yeni farkındalık ölçüm yöntemi mevcut yöntemden farklılıklar içermektedir. Tehlike tahmin eğitimi ve sonrasında yapılacak olan tehlike kartı hazırlama uygulaması, eğitim esnasında farkındalık ölçümü için değerlendirme formunun da hazırlanması anlamına gelmektedir. Farkındalığı ölçme kriteri, eğitim esnasında ekibin belirlediği tehlikelerin çalışan tarafından tek başına tehlike kartına işlenmiş olması ile ölçülecektir. Klasik değerlendirmeden farklı olarak yeni değerlendirme yönteminde, tehlike kartına beklenen adette tehlikenin hatırlanarak yazılması, istenen seviyeye ulaşmaya kadar da on beş günde bir uygulamanın tekrar edilmesi ile farkındalık artışı sağlanacaktır. Bu uygulama ile görme olgusunu odak noktaya alacağımız için iş güvenliği konusunda farkındalık artışı sağlanması, çalışanlara düzeltici değil önleyici bir bakış açısı katılması, tehlike ve riskleri görme oranında da artışa neden olması beklenmektedir.

2.1 Riskli Bölümlerin Belirlenmesi

Çalışmaya risk puanına göre riskli bölüm önceliklendirmesi yaparak başlanmıştır. Burada amaç, bölümleri risklere göre sınıflandırarak başlangıç noktası belirlemektir. Riskli bölümleri belirlerken risk analizlerinden, ortam ölçümlerinden, olay araştırmalarından, geçmiş tecrübelerden faydalanılmıştır. Bu kapsamda, döküm prosesi boyunca tehlikeler değerlendirildiğinde, aşağıdaki tabloda oranları belirtilen bölüm bazında tehlike dağılımı analiz edilmiştir.



Tablo-1 Toplam Tehlikenin Bölümlere Dağılımı %



Tablo-2 Bölümlerin Risk Puanı Ortalaması

| DEĞERLENDİRME | FREKANS DEĞERİ | OLASILIK DEĞERİ | ŞİDDET DEĞERİ | RİSK DEĞERİ | DEĞERLENDİRME SONUCU | | | |
|---------------|-------------------------------|------------------------------------|---|--------------------------|----------------------|--|------------|-----------------------|
| | Tehlikeye maruz kalma sıklığı | Bir olayın meydana gelme olasılığı | Olayın gerçekleşmesi durumunda ortaya çıkacak tahmini zarar | | | | | |
| | 10 | Sürekli-Saatte Bir | 10 | Çok Yüksek İhtimale Olur | 100 | Birden çok ölüm | 400<RS | Çok Yüksek Risk |
| | 6 | Günde Bir veya Birkaç Defa | 6 | Yüksek İhtimale Olur | 40 | Ölüm | | |
| | 3 | Haftada Bir-Ara Sıra | 3 | Olur | 15 | Kalıcı hasar, yaralanma, iş kaybı | 200<RS<400 | Yüksek Risk |
| | 2 | Ayda Bir-Sık Değil | 1 | Düşük İhtimale Olur | 7 | Önemli Hasar, yaralanma, dış ilk yardım | 70<RS<200 | Önemli Risk |
| | 1 | Yılda Birkaç kez-Seyrek | 0,5 | Çok Düşük İhtimale Olur | 3 | Küçük hasar, yaralanma, dâhil ilk yardım | 20<RS<70 | Olası Risk |
| | 0,5 | Birkaç Yılda Bir-Çok Seyrek | 0,2 | Olası Beklenmez | 1 | Ucuz atlatma | RS<20 | Kabul Edilebilir Risk |

Tablo-3 Risk Puanı ve Açıklama

Bölüm-1'de toplam tehlikeli durumların %20'si yer alırken bölümün ortalama risk puanı olası riskler kategorisindedir.

Bölüm-2'de toplam tehlikeli durumların %30'u yer alırken bölümün ortalama risk puanı önemli riskler kategorisindedir.

Bölüm-3'de toplam tehlikeli durumların %6'sı yer alırken bölümün ortalama risk puanı olası riskler kategorisindedir. Bölüm-4'de toplam tehlikeli durumların %40'ı yer alırken bölümün ortalama risk puanı önemli riskler kategorisindedir.

Bölüm-5'de toplam tehlikeli durumların %4'ü yer alırken bölümün ortalama risk puanı olası riskler kategorisindedir.

Risk puanı ve risk değeri kıyası yapıldığında; Bölüm-1, Bölüm-2 ve Bölüm-4'de çalışmalar yürütülmeye başlanmıştır. İlk olarak bölümlerde çalışanların eğitim durumları analiz edilmiş, yaş ortalaması çıkarılmış ve ilgili bölümlerde çalışma süreleri incelenmiştir.

2.2 Başlangıç Faaliyetleri

Risk puanına göre belirlediğimiz bölümlerde tehlike tahmin eğitimi uygulamasına geçmeden önce temel bilgi ve iş sağlığı güvenliği alanındaki farkındalığı güçlendirmek için çalışmalar yürütülmüştür. Bu çalışmalar başlangıç faaliyetleri olarak nitelendirilmiştir. Bu faaliyetler tamamlandıktan sonra çalışmanın ana konusu olan tehlike tahmin eğitimleri yapılmış, tehlike kartı hazırlama formları dağıtılarak daha önce ekip tarafından tespit edilen tehlikelerin tamamının formlara yazılması sağlanmıştır. Bu çalışmanın sonucunda da farkındalık ölçülmüştür.

Öncelik sırasına göre aşağıdaki başlangıç faaliyetleri yürütülerek çalışmanın temeli oluşturulmuştur.

- İş sağlığı güvenliği konusunda tiyatro etkinliği ve dış eğitim hizmetleri ile çeşitli konularda yeni eğitimler düzenlenmiştir.
- DOJO sınıfında (uygulamalı eğitim sınıfı) İş sağlığı güvenliği eğitimleri sıklığı arttırılmıştır.
- Grup liderlerinin yürüttüğü İş sağlığı güvenliği devriyesi uygulaması başlatılmıştır.
- İş sağlığı güvenliği konulu slogan yarışması düzenlenmiştir.
- İş sağlığı güvenliği konulu bulmaca etkinliği gerçekleştirilmiştir.

Başlangıç faaliyetleri tamamlandıktan sonra ana çalışma konusu olan;

- Tehlike tahmini uygulamaları çalışması yapılmıştır.
- Uygulama sonucunda ekip olarak bölüm bazlı tehlikeler listesi çıkarılmıştır.
- Tehlikeler listesi ekiple bir kez okunmuş ve tehlike tahmin kartı doldurma etkinliği gerçekleştirilmiştir.
- Çalışanların farkındalık seviyeleri baraj değere ulaşana kadar (70/100) tehlike tahmin kartı doldurma uygulaması belirli periyotlarda tekrar edilmiştir.

3. TEHLİKE TAHMİNİ VE TEHLİKE TAHMİNİ KARTI HAZIRLAMA

3.1 Tehlike Tahmini

Çalışma hayatının bir döneminde, kişilerin, aynı ekiple uzun zaman aynı işi yapmalarından kaynaklanan bir durumun sonucu olarak yaygın kullanım şekliyle “işletme körlüğü” süreci başlamaktadır. Bu dönemde, çalışanların hemen önlerinde duran tehlikeleri görmemeleri veya kanıksamaları sonucunda riskli olaylar yaşanmaya başlamaktadır.

Tehlike tahmini uygulaması ile görünmeyeni görünür kılmak, tepki vermek ve sonuç olarak tedbir alarak tehlikenin riske dönüşmesini engellemek hedeflenmektedir.

Tehlike tahmin eğitim kartı oluşturma çalışması ve değerlendirme kısmını oluşturan tehlike tahmin uygulaması, risklerin %90 oranında yoğunlaştığı Bölüm-1, Bölüm-2 ve Bölüm-4’de uygulanmaya başlanmıştır. Bu bölümlerde görev yapan çalışan sayısı üretim prosesinde çalışan sayısının %80’ini oluşturmaktadır.

3.1.1 Prosesin Fotoğrafı Üzerinden Tehlike Tahmini

Bu uygulamada, belirlenen bölümlerden çalışanlar seçilmiş ve o bölüme ait prosesi temsil eden bir fotoğraf çekilmiştir. Uygulama, çekilen fotoğraf üzerinden çalışana zarar verme potansiyeli olan tehlikelerin belirlenmesi ile başlanmıştır. Geçmiş olaylar, risk analizleri, ucuz atlatma kayıtları da referans alınarak olabilecek tüm tehlikeler çıkarılmıştır. Tehlikeler şekil-1’de gösterilen karta yazılmıştır.

Bu uygulama, proses dışından seçilen bir fotoğrafın fabrika sahasına asılması ile hataları bul etkinliği şeklinde de yapılmıştır.

3.1.2 Prosesin Video Çekimini İzleyerek Tehlike Tahmini

Bu uygulamada, belirlenen bölümlerden çalışanlar seçilmiş ve o bölüme ait prosesi temsil eden video çekimi gerçekleştirilmiştir. Uygulama, çekilen video kaydının sürekli izlenmesi ile çalışana zarar verme potansiyeli olan tehlikelerin belirlenmesi ile başlamıştır. Geçmiş olaylar, risk analizleri, ucuz atlatma kayıtları da referans alınarak olabilecek tüm tehlikeler çıkarılmıştır. Tehlikeler şekil-1’de gösterilen karta yazılmıştır.

3.1.3 Sahada Prosesi İzleyerek Tehlike Tahmini

Bu uygulamada da Tablo-1’den faydalanılarak en tehlikeli bölüm ve bu bölümdeki en tehlikeli proses seçilmiştir. Öncelikle geçmiş olaylar, risk analizleri, ucuz atlatma kayıtları incelenmiştir. Bölüm çalışanlarından oluşturulan ekip, proseste iş devam ederken birkaç çevirim boyunca ilgili bölümde faaliyet yürüten çalışanları izlemiştir. Proses süresince çalışanlara zarar verme potansiyeli olan tehlikelerin belirlenmesi sağlanmıştır. Tehlikeler şekil-1’de gösterilen karta yazılmıştır.

3.2 Tehlike Tahmin Kartı Hazırlama

Proses fotoğrafı, faaliyet videosu ya da sahada operasyon başında yapılan tehlike tahminleri etkinliği tehlike tahmin eğitim kartlarına her ekip tarafından aktarılmıştır. Tespit edilen her tehlike için ekip karşı önlem tedbirlerine bu aşamada karar vermektedir. Bu noktada tespitler olan veya olası riskleri içerdiğinden alınması gereken bir tedbir var ise aksiyon alınmış, eksiklik giderilmiştir. Her tehlike içinde olasılık, şiddet ve frekans dikkate alınarak puanlama yapılmıştır. Tehlikeler şekil-1’de gösterilen karta yazılmıştır.

| TEHLİKE TAHMİN EĞİTİM KARTI | | | | | | |
|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| İŞLETİM NO: | İŞLETİM NO: | İŞLETİM NO: | İŞLETİM NO: | İŞLETİM NO: | İŞLETİM NO: | İŞLETİM NO: |
| İŞLETİM NO: | İŞLETİM NO: | İŞLETİM NO: | İŞLETİM NO: | İŞLETİM NO: | İŞLETİM NO: | İŞLETİM NO: |
| 1. BAĞIM (HANGİ TEHLİKELER MEVCUT ?) (TEHLİKE İHTİMLERİNİN ORTAYA ÇIKARILMASI) | | | | | | |
| 2. BAĞIM (HANGİ TEHLİKELERİN ÖNLENME İHTİMLERİNİN ORTAYA ÇIKARILMASI) | | | | | | |
| 3. BAĞIM (TEHLİKELERİN ÖNLENME İHTİMLERİNİN ORTAYA ÇIKARILMASI) | | | | | | |
| 4. BAĞIM (TEHLİKELERİN ÖNLENME İHTİMLERİNİN ORTAYA ÇIKARILMASI) | | | | | | |
| 5. BAĞIM (TEHLİKELERİN ÖNLENME İHTİMLERİNİN ORTAYA ÇIKARILMASI) | | | | | | |
| 6. BAĞIM (TEHLİKELERİN ÖNLENME İHTİMLERİNİN ORTAYA ÇIKARILMASI) | | | | | | |
| 7. BAĞIM (TEHLİKELERİN ÖNLENME İHTİMLERİNİN ORTAYA ÇIKARILMASI) | | | | | | |
| 8. BAĞIM (TEHLİKELERİN ÖNLENME İHTİMLERİNİN ORTAYA ÇIKARILMASI) | | | | | | |
| 9. BAĞIM (TEHLİKELERİN ÖNLENME İHTİMLERİNİN ORTAYA ÇIKARILMASI) | | | | | | |
| 10. BAĞIM (TEHLİKELERİN ÖNLENME İHTİMLERİNİN ORTAYA ÇIKARILMASI) | | | | | | |
| 11. BAĞIM (TEHLİKELERİN ÖNLENME İHTİMLERİNİN ORTAYA ÇIKARILMASI) | | | | | | |
| 12. BAĞIM (TEHLİKELERİN ÖNLENME İHTİMLERİNİN ORTAYA ÇIKARILMASI) | | | | | | |
| 13. BAĞIM (TEHLİKELERİN ÖNLENME İHTİMLERİNİN ORTAYA ÇIKARILMASI) | | | | | | |
| 14. BAĞIM (TEHLİKELERİN ÖNLENME İHTİMLERİNİN ORTAYA ÇIKARILMASI) | | | | | | |
| 15. BAĞIM (TEHLİKELERİN ÖNLENME İHTİMLERİNİN ORTAYA ÇIKARILMASI) | | | | | | |
| 16. BAĞIM (TEHLİKELERİN ÖNLENME İHTİMLERİNİN ORTAYA ÇIKARILMASI) | | | | | | |
| 17. BAĞIM (TEHLİKELERİN ÖNLENME İHTİMLERİNİN ORTAYA ÇIKARILMASI) | | | | | | |
| 18. BAĞIM (TEHLİKELERİN ÖNLENME İHTİMLERİNİN ORTAYA ÇIKARILMASI) | | | | | | |
| 19. BAĞIM (TEHLİKELERİN ÖNLENME İHTİMLERİNİN ORTAYA ÇIKARILMASI) | | | | | | |
| 20. BAĞIM (TEHLİKELERİN ÖNLENME İHTİMLERİNİN ORTAYA ÇIKARILMASI) | | | | | | |
| 21. BAĞIM (TEHLİKELERİN ÖNLENME İHTİMLERİNİN ORTAYA ÇIKARILMASI) | | | | | | |
| 22. BAĞIM (TEHLİKELERİN ÖNLENME İHTİMLERİNİN ORTAYA ÇIKARILMASI) | | | | | | |
| 23. BAĞIM (TEHLİKELERİN ÖNLENME İHTİMLERİNİN ORTAYA ÇIKARILMASI) | | | | | | |
| 24. BAĞIM (TEHLİKELERİN ÖNLENME İHTİMLERİNİN ORTAYA ÇIKARILMASI) | | | | | | |
| 25. BAĞIM (TEHLİKELERİN ÖNLENME İHTİMLERİNİN ORTAYA ÇIKARILMASI) | | | | | | |
| 26. BAĞIM (TEHLİKELERİN ÖNLENME İHTİMLERİNİN ORTAYA ÇIKARILMASI) | | | | | | |
| 27. BAĞIM (TEHLİKELERİN ÖNLENME İHTİMLERİNİN ORTAYA ÇIKARILMASI) | | | | | | |
| 28. BAĞIM (TEHLİKELERİN ÖNLENME İHTİMLERİNİN ORTAYA ÇIKARILMASI) | | | | | | |
| 29. BAĞIM (TEHLİKELERİN ÖNLENME İHTİMLERİNİN ORTAYA ÇIKARILMASI) | | | | | | |
| 30. BAĞIM (TEHLİKELERİN ÖNLENME İHTİMLERİNİN ORTAYA ÇIKARILMASI) | | | | | | |

Şekil-1 Tehlike Tahmin Eğitimi Kartı

3.3 Tehlike Tahmin Uygulaması

Bu uygulamada ekiplerce belirlenmiş tehlikelerin tamamı Şekil-1'de örneği verilen forma işlenmiştir. Belirlenen bu tehlikeler bölümün potansiyel tehlikeleri olarak kabul edilmiş ve her çalışan tarafından bilinmesi amaçlanmıştır. Bu aşamada liste tüm ekip üyelerine okunarak tehlikeler ve tedbirler üzerinde inceleme yapılmıştır. Örneğin ilgili bölümde 30 adet tehlike ve tedbir üzerinde fikir birliği sağlanmıştır. Son aşama olan "farkındalık seviyesi ölçme adımı" başlatılmıştır.

Şekil-2'de örneği verilen forma her ekip üyesinin tehlike ve tedbiri tek başına yazması beklenmektedir. İlk kısımda belirlenen tüm tehlikelerin en az %70'i yazılana kadar uygulama belirlenen periyotlarda tekrarlanmıştır.

| TEHLİKE TAHMİNİ UYGULAMASI | | | |
|----------------------------|--------------|---------------------|--|
| OPERATÖR: | | TARİH: | |
| Adı Soyadı: | | PLAN: | |
| Soyadı: | | ONAY: | |
| Vardığı: | | EĞİTİM: | |
| Konu: | | | |
| # | RİSK NOKTASI | Ne Olursa Kaza Olur | |
| 1 | | | |
| 2 | | | |
| 3 | | | |
| 4 | | | |
| 5 | | | |
| 6 | | | |
| 7 | | | |
| 8 | | | |
| 9 | | | |
| 10 | | | |

Şekil-2 Tehlike Tahmini Uygulama Formu

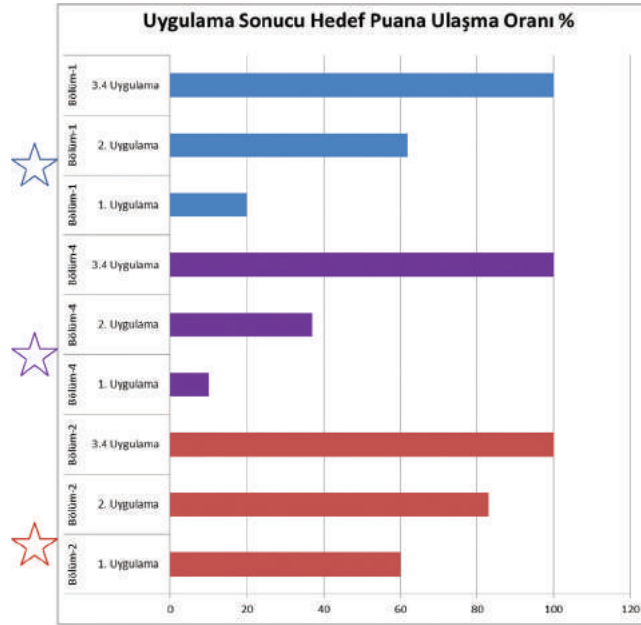
3.4 Tehlike Tahmini Uygulaması Sonuçları

Tablo-1'de belirlenen bölümlerde yapılan tehlike tahmin eğitimi uygulaması ile çalışanlar her gün görev yaptıkları yerdeki olası tehlikeleri gözlemlene ve sonrasında görme yetisine ulaşmışlardır. Risk puanı düşük olsa bile her tehlike için karşı tedbir üzerinde görüşülmüş, sadece görmek değil tedbir almak içinde beyin fırtınası yöntemi ile yaratıcı düşünceleri ve fikir üretmeleri sağlanmıştır.

Tehlike tahmin uygulaması ile tehlikeleri yazarak öğrenme metodu denenmiştir. Öğrenmenin etkili yollarından biri olan yazma, çağrışım sağlayacağı için tehlikeler görünür kılınmaya başlanmıştır. Yazma sayesinde zihninde yorumlama imkânı da doğacağı eğitimlerde özellikle belirtilmiştir.

Formlar hedeflenen başarı puanına ulaşana kadar tekrar doldurtulmuştur. Birlikte yapılan 3.ve 4. uygulamanın sonunda çalışma yapılan bölümlerde tüm çalışanların hedeflenen farkındalık seviyesine ulaştığı görülmüştür.

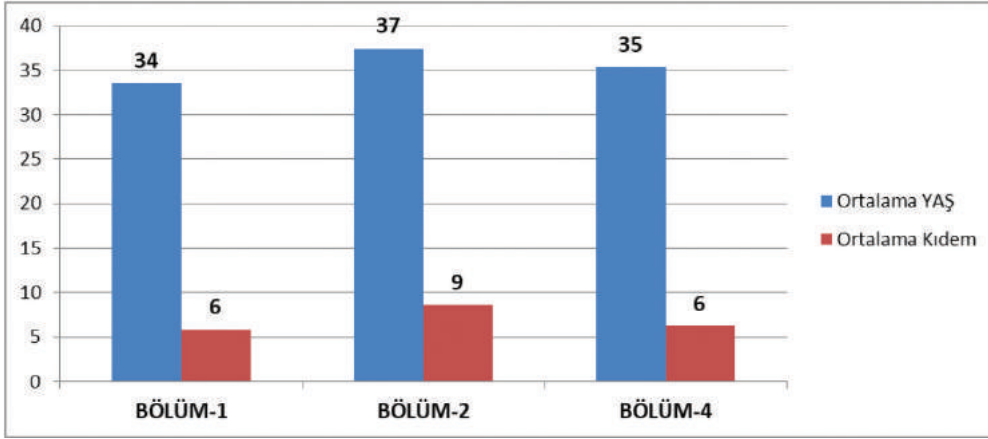
Tablo-4'de, 1. uygulama ve 3-4. uygulama sonrası farkındalık değişimi gösterilmektedir.



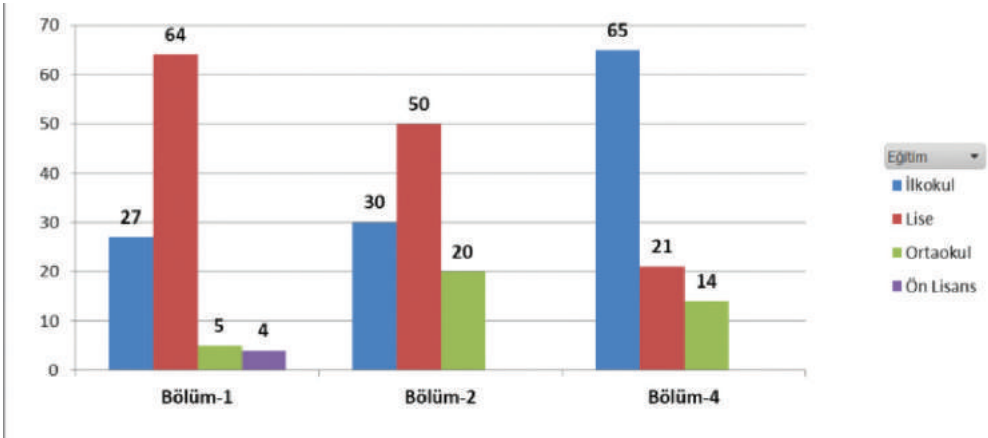
Tablo-4 Uygulama Sonucu Hedef Puna Ulaşma Oranı

Bölüm-1'de çalışanların yaş ortalaması 34'dür. En genç çalışan 19, en yaşlı çalışan 50 yaşındadır. Çalışanların %64'ü lise mezunudur. Bu bölümde çalışanların ortalama kıdem süresi 6 yıldır. En yeni çalışan 1 yıl süreyle bölüm-1'de çalışmaktadır, en kıdemli çalışan ise 26 yıldır bu bölümde görev yapmaktadır. Yapılan birinci uygulamada tehlikelerin %20'sinin riske dönüşme olasılığı olan Bölüm-1'de, 70 olan başarı puanına ulaşan çalışan oranı %20'dir. İlk uygulamada başarısız olanlarla İkinci uygulama yapıldığında bu oran %62'ye ulaşmıştır. İkinci uygulamada başarısız olanlarla yapılan son uygulama ile başarı oranı %100'e ulaşmıştır. Bölüm-2'de çalışanların yaş ortalaması 37'dir. En genç çalışan 20, en yaşlı çalışan 52 yaşındadır. Çalışanların %50'si lise mezunudur. Bu bölümde çalışanların ortalama kıdem süresi 9 yıldır. En yeni çalışan 1 yıl süreyle bölüm-2'de çalışmaktadır, en kıdemli çalışan ise 22 yıldır bu bölümde görev yapmaktadır. Yapılan birinci uygulamada tehlikelerin %30'unun riske dönüşme olasılığı olan Bölüm-2'de 70 olan başarı puanına ulaşan çalışan oranı %60'dır. İl uygulamada başarısız olanlarla İkinci uygulama yapıldığında bu oran %82'ye ulaşmıştır. İkinci uygulamada başarısız olanlara yapılan son uygulama ile başarı oranı %100'e ulaşmıştır. Bölüm-4'de çalışanların yaş ortalaması 35'dir. En

genç çalışan 22, en yaşlı çalışan 52 yaşındadır. Çalışanların %21'i lise mezunudur. Bu bölümde çalışanların ortalama kıdem süresi 6 yıldır. En yeni çalışan 1 yıl süreyle bölüm-4'de çalışmaktadır, en kıdemli çalışan ise 26 yıldır bu bölümde görev yapmaktadır.



Tablo-5 Çalışanların Ortalama Yaşları ve Ortalama Kıdemleri



Tablo-6 Çalışanların Eğitim Durumu Oranı %

Yapılan birinci uygulamada tehlikelerin %40'ının riske dönüşme olasılığı olan Bölüm-4'de, 70 olan başarı puanına ulaşan çalışan oranı %19'dur. İlk uygulamada başarısız olanlarla ikinci uygulama yapıldığında bu oran %38'e ulaşmıştır. İkinci uygulamada başarısız olanlara yapılan son uygulama sonucunda başarı oranı %100'e ulaşmıştır.

4- SONUÇLAR VE BULGULAR

Tehlikelerin %90'nının riske dönüşme olasılığı olan; Bölüm-1, Bölüm-2 ve Bölüm-4'te tehlike konusunda farkındalığı arttıracak, İş sağlığı ve güvenliği faaliyetlerinde katılımcı bir yaklaşım sağlayacak, tehlike tahmin etkinliği çalışanların %80'nine uygulanmıştır. Çalışmanın amacı tehlike tahmin uygulaması ile tehlikelerin %70'inin hatırlanması ve uygulama formlarına yazılması ile her katılımcının en az 70 puan almasını sağlamaktır. Bu çalışmanın sonucunda; İlk uygulamada tüm bölümlerde çalışanların ortalama %20'si istenen farkındalık puanı olan 70 puan seviyesine ulaşmıştır. 3. ve birkaç çalışmada yapılan 4. uygulama ile bu oran %100 seviyesine ulaşmıştır. Çalışanlar, ekip tarafından ilgili bölüm için belirlenen tüm tehlikeleri uygulama formuna yazabilmiştir. Hedeflenen farkındalık düzeyine ulaştıktan sonra belirlenen bölümlerde yaşanan veya yaşanması olası riskli olay oranı, çalışma öncesi ve çalışma sonrasında dönem boyunca kıyaslanmıştır. Bu sayede yapılan eğitimin başarısının riskli olaylarla ilişkisi kurulmuştur. Yapılan incelemede; Bölüm -1'de %65, Bölüm-2'de %40, Bölüm-4'de ise %54 oranında riskli ve olası riskli

olayda düşüş yönünde iyileşme olduğu görülmüştür. Bu sonuçlara göre tehlike tahmin eğitimi ve uygulamasının sadece benzer sektörlerde değil üretimin olduğu her alanda farkındalığı arttıracığı, tesislerde yaşanacak riskli olay yüzdesini düşüreceği, ekip sinerjisi yaratacağı, güvenlik kültürüne katkı sağlayacağı öngörülmektedir.

TEŞEKKÜR

Yalın Enstitü danışmanlarından Ali Kemal Aydın, Yüksel Bayrak ve Erkunt Sanayi A.Ş. Çevre Mühendisi Onur Köseoğlu, İSG Mühendisi Kaan Arce ile birlikte yürütülen çalışmalardan faydalanılarak hazırlanmıştır. Çalışmaya katkılanından dolayı kendilerine teşekkür ederim.

FLAKSLARDA ÇEVRESEL İYİLEŞTİRMELER VE UYGULAMA METODUNDAKİ GELİŞMELER

Alan BURROWS*, Halil GÖNENBABA**

Sercan AKIN**

**Hüttenes-Albertus UK*

***Metko Hüttenes-Albertus*

Özet

Sağlık, güvenlik ve çevre günümüz dünyasında yeni ürün geliştirmenin ön sıralarında yer almaktadır. Bu yazıda, bir dökümhane tedarikçisinin (HA) bu zorlukları karşılayacak gelişimsel yaklaşımı açıklanmaktadır.

Bu aslında kimyaya ve hammaddelerin seçimine bağlı olarak emisyon azaltma özellikli bir ürünün tasarlanmasına ve ardından hangi teknik / uygulama yönteminin müşteri gereksinimlerine en uygun olduğuna dikkat çekerek iki aşamalı bir yaklaşımdır.

Summary

Health, safety and the environment are at the forefront of new product development in today's world. This paper describes the developmental approach of a foundry supplier (HA) to meet those challenges.

This is essentially a two-stage approach, with the initial emphasis on designing a product with emissions reductions based on chemistry and selection of raw materials, followed by consideration of which technique/application method is best suited to the customer requirements.

Giriş

Hammadde tehlikesinin azaltılması doksanlı yılların başında “ecoflux” ürün çeşitliliği ile başladı. İlk odak noktası alüminyum flaks çeşitliliğinde zehirli florürlerin ve organo halojenürlerin azaltılması / çıkarılması / değiştirilmesidir. Bu prensip, demir dökümhaneleri için düşük tehlikeli besleyici tozu olmak üzere, diğer alaşım grupları için ürünlere kadar genişletilmiştir. Ürünün fiziksel formu, uygulama yöntemlerinin seçimi/seçimleri üzerinde etkili olacaktır.

Ürünlerin en güvenli ve en verimli şekilde uygulanması, döner gaz alma, flaks enjeksiyonu, döner flaks enjeksiyonu ve fırın duvar temizliği için flaks uygulama cihazları gibi ekipman esaslı çözümlere yol açmıştır.

Çalışma ortamını iyileştirmek için kimya kullanımına ve uygulama yöntemlerine örnekler

Kimya Yaklaşımı

Bununla ilgili bir örnek GJS, küresel grafitli dökme demir ve diğer demir alaşımlarında korozyona dayanıklı bileşenler üreten ve 16 tona kadar döküm ağırlığı olan bir şirkettir. Müşteri ile AR-GE ekibimiz arasındaki yakın işbirliğinde, müşteri tarafından atanan akredite bağımsız bir laboratuvar tarafından ölçülen emisyonların azaltılmasına odaklanan yeni tip besleyici tozu bileşikleri geliştirilmiştir. Geleneksel besleyici tozu bileşikleri florürler ve azot, kükürt, karbon oksitleri gibi zehirli gaz halinde bileşikler üreten kimyasallar içerebilir. Bu yeni nesil besleyici tozu malzemeleri, ayrışmalarından kaynaklanan bu tehlikeli bileşikler üreten kimyasallardan arındırılmıştır.

Mevcut ürünleri iki yeni formülasyon ile karşılaştırılarak ilk laboratuvar değerlendirmesi yapıldı. Belirlenmiş müşteri ürünü ile yeni formülasyonların karşılaştırıldığı ilk bulgular şu şekilde özetlenmiştir:

- 1) Her iki yeni formülasyonun da yanma süresi, mevcut ürününkinden iki kat daha fazladır.
- 2) Yeni ürünlerin bir ürün için% 50 ve ikinci ürün için% 100 oranında genişlemesi, ikinci ürün mevcut ürünle eşleşmektedir.
- 3) Her iki yeni ürün için de görsel değerlendirmede duman seviyeleri çok düşüktür, mevcut üründe ‘plastik’ kokusuyla beraber bir duman çıktığı bildirilmiştir.
- 4) Değerlendirmede iki yeni ürün için kaydedilen en yüksek sıcaklıklar aşağıdaki gibidir ve mevcut ürün ise bu sıcaklıkların üstündedir(-8% & + 15%).
- 5) İki yeni ürün için de maksimum sıcaklığa ulaşmak için geçen süre daha uzundu (11% & 20%), bu yeni ürünlerle görülen uzun yanma süresi göz önüne alındığında beklenen bir durumdur.
- 6) Tutuşmadan 10 dakika sonra, bir ürün artan sıcaklıkta daha sıcak ve mevcut üründen bir ürün daha düşük sıcaklıktadır(-7% & + 15%). Tutuşmadan 20 dakika sonra, yeni ürünler% 15 ve% 18 daha sıcaktı, bu da yeni ürünler için daha iyi yalıtım / ısı tutma özellikleri olduğunu gösteriyor.

Laboratuvar değerlendirmesinin ardından hem besleme özelliklerinin performansını hem deku- rum içi dökümhane emisyonlarının ölçümünü yapan döküm denemeleri yapıldı. Emisyon ölçümleri, dökümhanelerdeki emisyon testlerinde deneyimli bağımsız bir araştırma şirketi tarafından gerçekleştirildi.

Bu test dökümhane tarafından yapıldı, tercih ettikleri yeni ürünü mevcut ürünle karşılaştırmalı olarak test ettiler. Sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenmiştir:

1. Beklenildiği gibi florür seviyeleri, hem yeni ürün için hem de mevcut ürün için ihmal edilebilir (test ekipmanındaki sınırlamalar, test edilen her iki ürün için 1,7 ppm'nin altındaki seviyeleri ve muhtemelen sıfır değerlerini doğrular).

2. Karbon monoksit seviyeleri, mevcut ürün ile karşılaştırıldığında yeni ürünle % 50 oranında azaltıldı.
3. Her iki ürün için fenol seviyeleri çok düşük ve eşdeğer seviyelerde ve furfuril alkol, formaldehit, benzen ve toluen yeni üründe düşük seviyelerdedir. Yeni ürün için kükürt dioksit düzeyi % 74 oranında azdır.
4. Dökümhane, denemeler sırasında tüm durumlarda, besleyici tozu besleme performansının, döküm sonuçlarına dayanarak eşdeğer ve tatmin edici olduğunu belirtti.

Madde 3) durumunda, bu emisyonlar tamamen veya kısmen kullanılan reçine sistemine dayandırılabilir, ancak düşüşler ve görülen iyileştirmenin nedenleri tartışmaya açıktır.

Uygulama Yaklaşımı

Tehlikeleri azaltmak için uygulamada iyileştirmeler yapmanın bir başka örneği, fırın duvarı temizleme flaks makinesi için verilmiştir.

Flaks formülasyonu iyileştirmelerine ek olarak, yeni tasarlanmış flaks makineleri artık mevcut olup, manüel uygulama ve eski stil flaks makinesiyle karşılaştırıldığında çeşitli avantajlar sunmaktadır.



Şekil 1. Yeni Tasarım Flaks Makinesi

Yazar, makine ile kombinasyon halinde duvar temizleme flaksı kullanmanın yararlarını açıklamıştır. (fırın verimliliğini ve kapasitesini koruyarak, fırın astarının ömrünün uzamasına neden olan kazıma yoluyla mekanik hasarın azaltılması, kontrollü uygulama, flaks kullanımında azalma, havadaki flaks / operatör maruz bırakarak azalma).

Özetle, yeni cihazlar operatörün flaks tozuna ve ayrıca kullanım sırasında fırın ısısına maruz kalmasını azaltır. Bu yeni cihazlar oldukça taşınabilir ve hafiftirler. Yeni tasarlanmış flaks uygulama ekipmanının önceki tasarımlara göre özellikleri, avantajları ve faydaları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- 1) Flaks haznesinin, üfleme borusu ve flaks dağıtım düzenlemesinden ayrılmasına bağlı olarak cihaz ağırlığının azaltılması (kullanımda).
- 2) Kullanıcı dostu tasarım ve taşınabilme kolaylığı.
- 3) Büyük flaks haznesi ile daha büyük fırınlarda daha iyi kullanılmaktadır.

- 4) Daha büyük fırınlar için flaks üfleme borusuna isteğe bağlı uzatma parçaları.
5) Toz akışının tutarlılığını geliştirmek için çıkışta titreşim cihazının bulunması

| Topping Bileşenleri | Tehlikeli Madde | 8 saat TWA Sonuçları | Belirlenen Standart | Birim |
|---|------------------|----------------------|---------------------|-------------------|
| Huttenes-Albertus İngiltere Besleyici Tozu Referans 1 | Karbonmonoksit | 67 | 30 | ppm |
| | Karbondioksit | 0.07 | 5000 | ppm |
| | Kükürt dioksit | 0.7 | - | ppm |
| | Hidrojen Florür | <1.7 | 1.8 | ppm |
| | Furfuril Alkol # | <0.03 | - | mg/m ³ |
| | Fenol # | <0.04 | 2 | ppm |
| | Formaldehit # | 0.08 | 2.5 | mg/m ³ |
| | Benzen # | 1.4 | 1 | ppm |
| | Tolüen # | 2.7 | 191 | mg/m |
| Belirlenen Müşteri Ürünü | Karbonmonoksit | 133 | 30 | ppm |
| | Karbondioksit | 0.07 | 5000 | ppm |
| | Kükürt dioksit | 2.7 | - | ppm |
| | Hidrojen Florür | <1.7 | 1.8 | ppm |
| | Furfuril Alkol # | <0.08 | - | mg/m ³ |
| | Fenol # | <0.04 | 2 | ppm |
| | Formaldehit # | 0.12 | 2.5 | mg/m ³ |
| | Benzen # | 3.1 | 1 | ppm |
| | Tolüen # | 6.4 | 191 | mg/m ³ |

Tablo 1. Emisyonlar Tablosu - Besleyici Tozu

Notlar: Standart şartlar, aksi belirtilmedikçe EH40'da tanımlandığı şekilde İşyeri Maruziyet Sınırlarıdır;

= Taşeron laboratuvar analizi. Azot oksitleri gözlenmez, ancak yeni ürün formülasyonuna dayanarak, ürün nitrat içermediğinden sıfır değer beklenir;

Vurgulanan kırmızı = tipik olarak besleyici tozu kimyasından kaynaklanan bileşikler;

Vurgulanan mavi = tipik olarak kullanılan reçine bağlayıcı sistem ile ilişkili bileşikler.

Sonuç

Çoğu durumda, "düşük tehlike" kimyasal bileşiklerinin dikkatlice seçilmesi ve saflıklarının, tane büyüklüğü dağılımının kontrol edilmesi yoluyla, tehlikeli emisyonlar üreten bileşikleri kullanmaya gerek kalmadan amaca uygun ürünler geliştirmek mümkündür.

Şu anda kullanımda olanlardan doğal olarak daha güvenli olan yeni ürün formülasyonlarının geliştirilmesi kimyagerin temel amacı olmaya devam etmektedir. Bununla birlikte, uygulama yöntemi ayrıca kullanım sırasında operatörün maruz kalmasının azaltılmasında önemli bir rol oynayabilir.

BİRİNCİL VE İKİNCİL A356 ALAŞIMININ SIVI METAL KALİTESİNE TANE İNCELTİCİ İLAVESİNİN ETKİSİ

Özen GÜRSOY¹, Eray ERZİ², Derya DIŞPINAR¹

¹*İstanbul Teknik Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul – Türkiye*

²*İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul – Türkiye*

ÖZET

Alüminyum dökümünde tane incelticiler mekanik özellikleri arttırmak amacıyla endüstride oldukça sık kullanılmaktadır. Al-Ti-B master alaşımının ilavesi ile sıvı metale dahil olan TiAl₃ ve TiB₂ bileşikler yoğunluk farkı nedeniyle zamana bağlı olarak potanın dibine doğru hareket eder. Sekonder alüminyum ile yapılan dökümlerde ise kalıntı Ti tane inceltici performansını etkileyen bir başka durumdur. Bu çalışmada, birincil ve ikincil A356 alüminyum alaşımlarına tane inceltici ilave edilerek çekme numuneleri dökülmüştür. Sıvı metal kalitesi bifilm indeks (BI) analizi ile takip edilmiştir. Dökümler kum ve kokil kalıplara yapılmıştır. Sekonder külçe ile yapılan dökümlerin kırık yüzeyleri incelenerek hata alanı oranı (AFD) belirlenmiştir. Mekanik özellikleri tane incelticilerin değil; soğuma hızının etkilediği gözlenmiştir. Kum kalıba yapılan dökümler daima daha yüksek mekanik özellikler göstermiştir. Ayrıca sıvı metal temizliğinin önemi de gözler önüne serilmiştir.

Anahtar kelimeler: Bifilm, Tane İnceltme, Mekanik Özellikler, 356, AFD

ABSTRACT

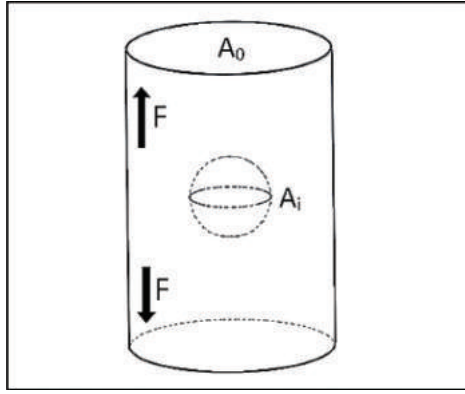
In aluminium casting, grain refiners are used frequently in the industry to increase the mechanical properties. With the addition of the Al-Ti-B master alloy, the TiAl₃ and TiB₂ compounds move to the bottom of the crucible due to the difference in density. In castings with secondary aluminium, residual Ti is another problem that affects the grain refinement performance. In this study, tensile samples were cast by adding grain refiner to primary and secondary A356 aluminium alloys. Melt quality was monitored by bifilm index (BI) analysis. Castings were done with sand and die moulds. Area Fraction of Defects (AFD) was determined by examining the fracture surfaces of the castings with secondary ingots. Sand castings always showed higher mechanical properties. In addition, the importance of melt cleaning process appears clearly.

Keywords: Bifilm, Grain Refinement, Mechanical Properties, AFD

1. GİRİŞ

Al-Si alaşımları alüminyum döküm endüstrisinde en sık tercih edilen alaşım grubudur. Bu alaşım grubu içinde özellikle motor bloğu gibi kritik parçaların üretiminde A356 (Al-7Si) alaşımı özellikle motor bloğu üretiminde kullanılan ve en çok araştırma konusu olan alaşımdır [1]. Pratikte, A356 alaşımı kum ve ya kokil kalıplara; alçak basınçlı, gravite ve cosworth gibi yöntemlerle dökülür. Daha yüksek mekanik özellikler elde edebilmek için dökümde kokil kalıp tercih edilmesi gerektiği kabul edilir. Benzer bir kabul tane inceltici mastır alaşımlarının kullanımı ile ilgilidir. Tane incelticiler sayesinde daha küçük ve eş eksenli olması beklenen tanelerin mekanik özellikleri arttırdığı iddia edilir [2]. Her ne kadar tane inceltme mekanizması netlik kazanmasa da, TiAl3 ve TiB2 partiküllerinin çekirdeklenme merkezi oluşturması sayesinde mikroyapının incelendiği düşünülmektedir. Ancak Ti bileşiklerinin tane inceltmedeki etkinliği tartışma konusudur [3]. Sıvı alüminyum ve tane incelticiler arasındaki yoğunluk farkı nedeniyle TiAl3 ve TiB2 zamanla sıvı metalin alt bölgesine hareket eder ve potanın dibine çöker [4-5]. Bu nedenle Al-Ti-B master alaşımlarının etkinliği her zaman tartışma konusudur.

Yoğunluğu neredeyse sıvı alüminyumunkine eşit olan bifilmli sıvı alüminyum içinde askıda kalır. Tane inceltici ilavesinden sonra sisteme dahil olan heterojen çekirdekleyici partiküller bifilmli potanın altına doğru sürüklenir. Bu olay zincirleme bir reaksiyonun ilk adımıdır. Bifilmli potanın dibine doğru sürüklenmesi sıvı metal kalitesini; sıvı metal kalitesi de mekanik özellikleri doğrudan etkiler [6-7].



Şekil 1 : Çekme numunesinde hatanın gösterimi.

Parçada bifilm gibi hataların varlığı parçanın kesitteki yük taşıyan alanı azaltır. Bu nedenle hataların varlığı ve sayısı mekanik özellikleri doğrudan etkiler. Kırık yüzeyler taramalı elektron mikroskobu (Scanning Electron Microscope (SEM)) incelemesi ile incelenebilir ve hata alanı oranı (Area Fraction of Defect (AFD)) belirlenebilir. Caceres ve Selling [8], A356 alaşımı kırık yüzeylerinde yaptığı çalışmada hata alanı oranı ile hem çekme mukavemeti hem de kopma uzaması arasında ters bir ilişki yakalamışlardır.

Bazı yazarlar ise [9-10], kırılma yüzeyindeki porozite çaplarının çekme mukavemeti ve uzama değerlerini doğrudan etkilediğini ve kesit alan azaldıkça hataların yakınındaki stresi plastik deformasyonun arttığını öne sürmüşlerdir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, Ti tane inceltici ilavesinin primer ve sekonder A356 alüminyum alaşımının sıvı metal kalitesine etkisi incelenmiştir. Çalışmada kimyasal analizleri Çizelge 1'de verilen primer ve sekonder A356 alaşımı külçeler ile tane inceltici olarak Al-5Ti-1B kullanılmıştır. Ergitme işlemi rezistanslı fırında 725°C'de yapılmıştır. Çizelge 2'de görüldüğü gibi master alaşımı ilavesi her

iki alaşım için de ağırlıkça %0 ve %0,1 oranında olmak üzere iki farklı orandadır. Sıvı metal kalitesindeki değişimler vakum altında katılaştırma testi (Reduce Pressure Test (RPT)) cihazı ile hazırlanan numunelere bifilm indeks analizi (BI) uygulanarak takip edilmiştir. Her bir koşul için yaklaşık 10 kg olan şarj tükenene dek RPT numuneleri hariç hem kokil hem kum kalıplara çekme çubukları dökülmüştür. RPT numuneleri tam ortalarından kesilerek zımparalanmıştır. Taranan numuneler SigmaScan görüntü analiz yazılımı ile incelenerek BI değerleri belirlenmiştir. İşleminin ardından çekme çubukları çekme testine tabi tutulmuştur. Çekme testi sonuçları ise istatistiksel analiz için Weibull analizi ile değerlendirilmiştir.

| Alaşım | Si | Mg | Fe | Ti | B | Sr |
|----------|------|------|------|------|-------|--------|
| Primer | 7.26 | 0.31 | 0.08 | 0.07 | 0.001 | 0.0005 |
| Sekonder | 7.31 | 0.26 | 0.13 | 0.11 | 0.001 | 0.008 |

Çizelge 1 : A356 alaşımlarının kimyasal analizleri (% ağ.).

Çalışmada ayrıca sekonder A356 alaşımının çekme testi sonrasında kırık yüzeyleri taramalı elektron mikroskopunda (Scanning Electron Microscope (SEM)) incelenmiştir. Ardından SigmaScan görüntü analiz yazılımı ile analiz edilmiş; Şekil 1 ve (1) eşitliği kullanılarak hata alanı oranı (AFD) belirlenmiştir. Bu eşitlikte A0 tüm kesit alanı, Ai hataların toplam alanını ifade etmektedir.

$$AFD = \frac{100 \times A_i}{A_0} \quad (1)$$

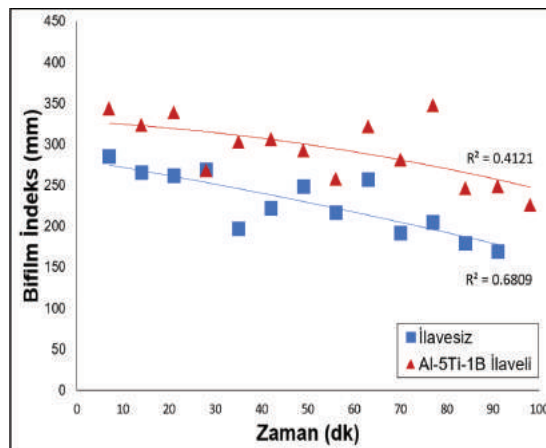
Çalışmada ısıl işlem ve gaz giderme prosesleri uygulanmamıştır.

| Ergitme | şarj | Master ilavesi (ağ. %) |
|------------|----------|------------------------|
| Alaşım I | Birincil | - |
| Alaşım II | Birincil | 0.1 |
| Alaşım III | İkincil | - |
| Alaşım IV | İkincil | 0.1 |

Çizelge 2 : Çalışmadaki deney matrisi (%ağ.).

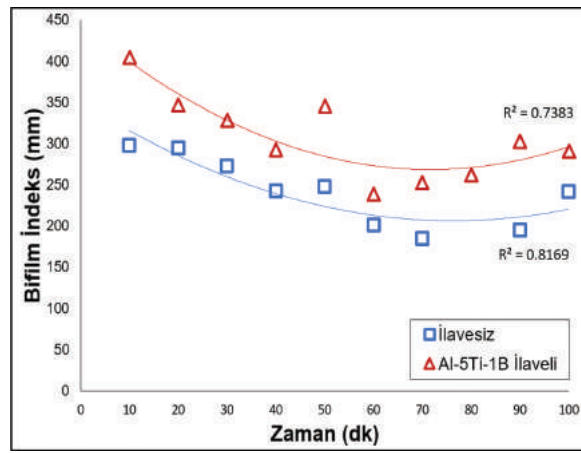
3. BULGULAR

Çalışmada primer ve sekonder A356 alaşımları kullanılarak Al-5Ti-1B ilaveli ve ilavesiz 4 farklı şarj hazırlanmıştır. Her çalışmada yaklaşık 8 dakika aralıklarla sıvı metal tükenene dek RPT numunesi alınmıştır. Alınan RPT numuneleri yapılan ile yapılan BI analizi Şekil 1 ve 2'deki gibidir.



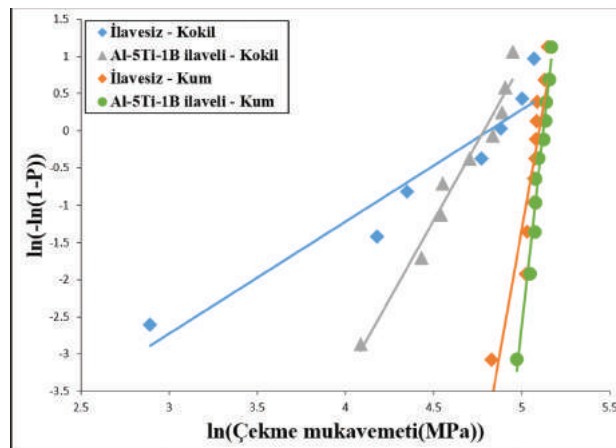
Şekil 2 : Primer A356'da zamana bağlı BI değerimi

Primer hammadde ile yapılan çalışmada BI değerleri azalan bir trend göstermiştir (Şekil 2). Hem ilavesiz hem de Al-5Ti-1B ilaveli sıvı metalde pota dibine gidildikçe BI azalmakta; sıvı metal kalitesi artmaktadır. İlavesiz sıvı metalde 285 mm ile başlayan BI 169 mm ile son bulmuştur. Tane inceltici ilaveli sıvı metalde ise BI 344 mm'den 226 mm'ye düşmüştür. Benzer durum Şekil 3'de sekonder hammadde ile yapılan BI analizi için de geçerlidir. Hem ilavesiz hem de Al-5Ti-1B ilaveli sıvı metalde azalan bir eğilim söz konusudur. İlavesiz ve Al-5Ti-1B ilaveli sekonder sıvı metaller ile yapılan çalışmada BI düşüşleri sırasıyla 297 mm'den 241 mm'ye ve 404 mm'den 290 mm'ye şeklindedir. Hem primer hem de sekonder hammaddeler ile yapılan BI çalışmalarda dikkat çekici bir ortak nokta vardır. Tane inceltici ilavesi BI değerinin primer şarjda 59 mm; sekonder şarjda ise 107 mm artmasına neden olmuştur. Her iki koşulda da başlangıç BI değerleri aynı olmasına rağmen tane inceltici master alaşımı ilavesi ile BI artmakta, sıvı metal kalitesi düşmektedir. Master alaşım çubuklarının yüzey/hacim oranı oldukça yüksektir. Sıvı metale ilavesi halinde hem bünyesindeki oksitler hem de sıvı metal yüzeyindeki oksit tabakası sıvı metale karışmaktadır. Bu durum sıvı metal kalitesinin düşüşüne neden olmaktadır.



Şekil 3 : Sekonder A356'da zamana bağlı BI değişimi.

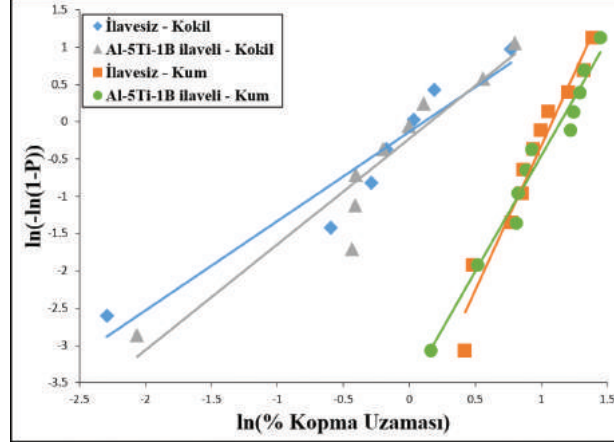
Çizelge 2'de gösterilen her alaşım için sıvı metal tükenene dek hem kokil hem kum kalıplara çekme testi için döküm yapılmıştır. Tüm çekme çubukları işlemenin ardından çekme testine tabi tutulmuştur ve Weibull analizi ile istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 4 : Primer A356 çekme mukavemeti sonuçları için Weibull analizi.

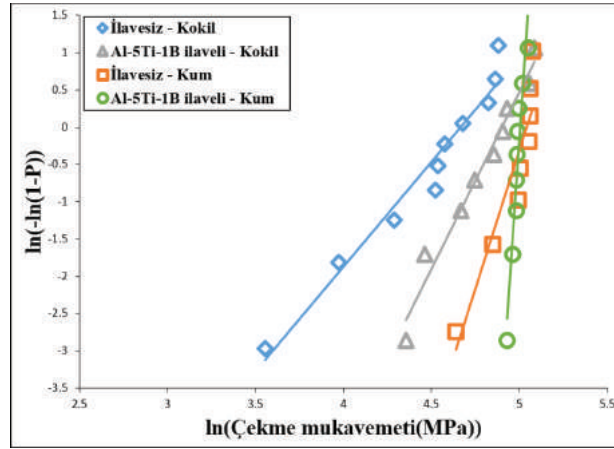
Şekil 4'teki primer A356 şarj ile yapılan çekme testi sonuçları en istikrarsız ve mukavemetsiz sonuçların ilavesiz yapılan kokil dökümlere ait olduğunu göstermiştir. En yüksek mukavemetli ve en istikralı olan döküm ise tane inceltici ilaveli kuma dökümdür. İlavesiz kuma dökümler ise

ilaveli olanlara oldukça yakın olmasına rağmen daha düşük mukavemete ve istikrara sahiptir. Primer A356 ile yapılan dökümlerin uzama değerleri de benzer bir sonuç göstermiştir. İlaveli ve ilavesiz kokil dökümlerin % kopma uzaması değerleri oldukça düşük ve istikrarsızdır. Ancak hem ilavesiz hem Al-5Ti-1B master alaşımı ilaveli kuma dökümlerin mukavemet değerleri ve istikrar kabiliyeti oldukça yüksektir.



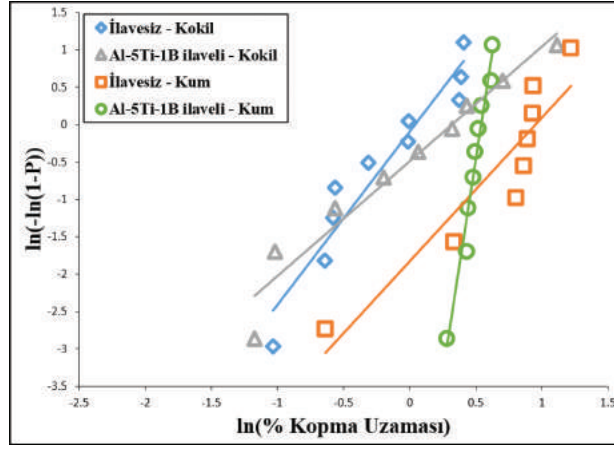
Şekil 5 : Primer A356 kopma uzaması sonuçları için Weibull analizi.

Şekil 6 ve 7’da sekonder şarj ile yapılan dökümlerin çekme değerlerinin sonuçlarının primer şarj ile yapılan dökümlerinkine son derece benzer olduğu görülmektedir.



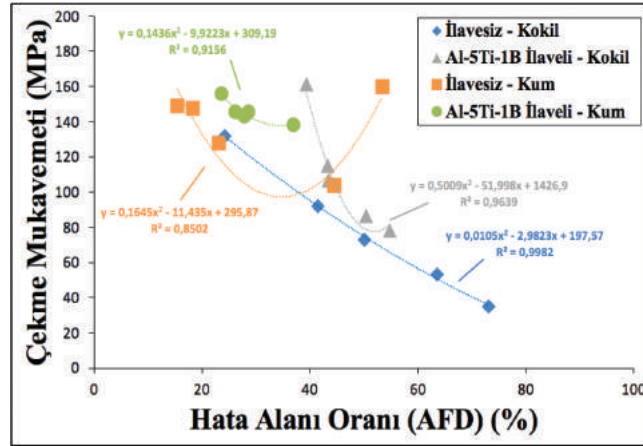
Şekil 6 : Sekonder A356 çekme mukavemeti sonuçları için Weibull analizi.

Hem primer hem sekonder A356 şarjı ile yapılan kokil dökümlerde tane inceltici ilavesinin çekme özelliklerinde daha yüksek değerler sağladığı görülmektedir. Genel bilinenin aksine, kuma yapılan dökümler her iki şarjda da daha yüksek ve istikrarlı sonuçlar vermiştir. Kokil dökümlerin çekme mukavemetlerinin Weibull karakteristiği ortalaması ve kopma uzaması Weibull karakteristiği ortalaması sırasıyla 120,5 ve 1,18’dir. Bu değerler kuma dökümlerde ise sırasıyla 158,6 ve 2,6’ya yükselmiştir. Tane inceltici ilavesi kuma dökümde düşük de olsa bir fark yaratarak özellikle istikrarda artış sağlamıştır.



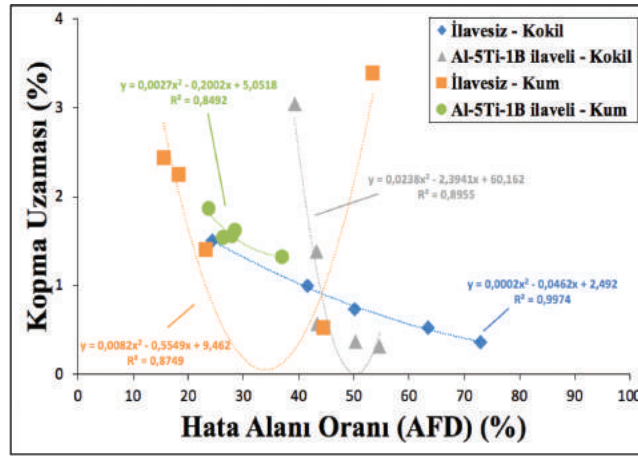
Şekil 7 : Sekonder A356 kopma uzaması sonuçları için Weibull analizi.

Şekil 4-7 incelendiğinde primer alaşım ile yapılan dökümlerin BI değerlerinin sekonder olanlardan her ne kadar daha düşük olsa da iyi sıvı metal kalitesi sağlayacak seviyede olmadığı görülmektedir. Bu durum mekanik özelliklere doğrudan yansımıştır. Primer A356 şarjı ile yapılan dökümler sıvı metal temizliği yapılmadığı için sekonder A356 alaşımına kıyasla mekanik özellikler açısından hayati bir fark yaratmamıştır. En iyi mekanik değerleri veren kuma dökümlerde sekonder şarjdan primer şarja geçildiğinde çekme mukavemetinin Weibull karakteristiği ve kopma uzamasının Weibull karakteristiği sırasıyla 154,4'ten 167,5'e ve 2,59'dan 3,15'e yükselmiştir.



Şekil 8 : Sekonder A356 alaşımının AFD-Çekme mukavemeti ilişkisi.

Çalışmada sekonder külçe ile dökülen A356 çekme çubukların kırık yüzeyleri JEOL JSM-5600 marka ve model taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir ve analiz edilerek AFD değerleri tespit edilmiştir. Sekonder A356 külçe ile dökülen çekme çubuklarının çekme mukavemeti-AFD ve kopma uzaması-AFD ilişkileri Şekil 8 ve 9'daki gibidir. İki durum hariç tüm koşullarda hata alanı oranı (AFD) hem çekme mukavemeti hem de kopma uzaması arasında bir ilişki belirlenmiştir. AFD ile neredeyse tüm çekme değerleri uyumlu bir ilişki içindedir. AFD arttıkça çekme mukavemeti ve kopma uzaması azalmaktadır.



Şekil 9 : Sekonder A356 alaşımının AFD-Kopma uzaması ilişkisi.

4. SONUÇLAR

- Mastır alaşımı ilavesi sıvı metal kalitesini düşürür.
- Sıvı metal temizliği olmaksızın yapılan dökümlerde primer ya da sekonder külçe kullanımı arasında kayda değer bir fark yoktur
- AFD ile çekme değerleri arasında uyumlu bir ilişki vardır.

5. KAYNAKÇA

- [1] G. Timelli, G. Camicia, and S. Ferraro. "Effect of grain refinement and cooling rate on the microstructure and mechanical properties of secondary Al-Si-Cu alloys." *Journal of materials engineering and performance* 23.2 (2014): 611-621.
- [2] P. S. Mohanty, and J. E. Gruzleski. "Grain refinement mechanisms of hypoeutectic Al-Si alloys." *Acta materialia* 44.9 (1996): 3749-3760.
- [3] Samuel, A. M., et al. "Some aspects of grain refining of Al-Si cast alloys." *International Journal of Cast Metals Research* 32.1 (2019): 1-14.
- [4] P. L. Schaffer and A. K. Dahle. "Settling behaviour of different grain refiners in aluminium." *Materials Science and Engineering: A* 413 (2005): 373-378.
- [5] C. Limmaneevichitr, and W. Eideh. "Fading mechanism of grain refinement of aluminum-silicon alloy with Al-Ti-B grain refiners." *Materials Science and Engineering: A* 349.1-2 (2003): 197-206.
- [6] D. Dispınar et al. "Degassing, hydrogen and porosity phenomena in A356." *Materials Science and Engineering: A* 527.16-17 (2010): 3719-3725.
- [7] D. Dispınar and J. Campbell. "Porosity, hydrogen and bifilm content in Al alloy castings." *Materials Science and Engineering: A* 528.10-11 (2011): 3860-3865.
- [8] Caceres CH, Selling BI (1996) Casting defects and the tensile properties of an AlSiMg alloy. *Materials Science and Engineering: A*, 220(1-2), 109-116.
- [9] Surappa MK (1986) Effect of macro-porosity on the strength and ductility of cast al-7 si-0.3 mg alloy. *Scripta Metallurgica*, 20(9), 1281-1286.
- [10] Teng X, Mae H, Bai Y, Wierzbicki T (2009) Pore size and fracture ductility of aluminum low pressure die casting. *Engineering Fracture Mechanics*, 76(8), 983-996.

FARKLI DÖKÜM AŞAMALARINDAKİ SIVI METAL AKIŞKANLIĞININ İNCELENMESİ

A. Yiğit KAYA*^{***}, Onur ÖZAYDIN*, Esra DOKUMACI**
Elvan ARMAKAN*

**Cevher Jant Sanayii A.Ş., İzmir, Türkiye*

***Dokuz Eylül Üniversitesi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği, İzmir, Türkiye*

ÖZET

Alçak basınçlı döküm yönteminde ergimiş sıvı metalin kokil kalıptaki tüm keskin köşeleri, ince kesitleri ve ürünü oluşturan boşlukları doldurabilmesi; dolum hatalarını azaltması bakımından kritik bir öneme sahiptir. Akışkanlık olarak nitelendirilen bu özellik, kullanılan alaşımın kompozisyonundan, üretim sürecinde kullanılan modifiye edicilerden, tane incelticilerden ve metalin temizliğinden doğrudan etkilenmektedir. Bu çalışmanın kapsamında yalnızca alaşım kompozisyonu ve metal temizliğinin etkileri incelenmiştir.

Bu çalışmada, alüminyum alaşımlı jant üretiminde kullanılan iki temel alaşım olan AlSi7Mg0.3 ve AlSi11Mg0.3 kullanılarak alaşım kompozisyonunun akışkanlığa etkisi araştırılmıştır. Her iki alaşım tipinin de üç farklı üretim adımındaki akışkanlıkları test edilmiştir. İlk olarak gaz giderme öncesi sıvı metalin, daha sonra gaz giderme işlemi görmüş olan sıvı metalin ve son olarak da döküme hazır olan sıvı metalin akışkanlıkları test edilmiştir. Her adımda metal temizliği de ergimiş sıvı metal üzerinden değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: AlSi7Mg0.3, AlSi11Mg0.3, Alüminyum Döküm, Akışkanlık, Kokil Kalıp

ABSTRACT

In the low pressure die casting of aluminum with a permanent mold, the liquid metal must fill all the sharp corners, thin sections and small volumes in the mold completely. This is of critical importance for reduction of casting defects. This characteristic, known as fluidity, is directly affected by the composition of the alloy, the modifiers, the grain refiners and the cleanliness of the molten metal.

In this study, the effect of material properties on fluidity was investigated by using AlSi7Mg0.3 and AlSi11Mg0.3, two main alloys used in the production of aluminum alloy wheels. Both alloys were tested for fluidity in three different production steps. First, the fluidity of the liquid metal before degassing was tested for two different alloys. Second, fluidity of the degassed liquid metal was tested. Finally, the fluidity of the liquid metal ready for casting had been tested. At each step the cleanliness of the molten metal was also examined.

Keywords: AlSi7Mg0.3, AlSi11Mg0.3, Aluminum Casting, Fluidity, Permanent Mould

1. GİRİŞ

Akışkanlık ergimiş bir metalin katılaşmadan önce aldığı uzunluk biriminden yol olarak tanımlanır. Dökümde de kalıbın tüm kesitlerinin dolabilmesi akışkanlığa bağlıdır. Tüm kesitleri doldurulamamış kalıptan kaliteli bir ürün oluşturulamaz. Bu noktada zayıf akışkanlık, dökülen parçalarda eksik dolum gibi kaliteyi doğrudan etkileyen problemler yaratır ve fire miktarını arttırarak işletmelere zarar olarak yansır [1]. Dökümde kalite problemi yaşamamak için akışkanlığa etki eden etkenlerin iyi bilinmesi gerekir. Akışkanlığı önemli şekilde etkileyen parametreler iki genel başlık altında toplanır. Bu parametreler; Metal parametreleri ve kalıp parametreleridir. Metal parametreleri: Sıvı metal sıcaklığı, kompozisyonu, temizliği, eklentilerin sıvı metale etkisi (tane incelticiler, modifiye ediciler, flakslar vb.); kalıp parametreleri ise: Kalıp sıcaklığı, kalıp yüzey özellikleri, kalıba uygulanan kaplamalar, kalıp termal iletkenliğidir [2]. Bu çalışmada, kompozisyon etkisi deneysel olarak görmek istediğimiz parametreler arasındadır. Teorik olarak öngörülen, kullandığımız iki alaşım olan AlSi7Mg0.3 ve AlSi11Mg0.3'ün akışkanlıklarının farklılık göstermesidir.

Literatürdeki çalışmalarda, oksit inklüzyonlarının akışkanlığı düşürdüğü gözlenmiştir [3]. Oksit inklüzyonlar sıvı metalde temizlik açısından önemlidir. Endüstriyel şartlarda sıvı metalin temizlenmesi için farklı önlemler alınmaktadır. Bu önlemlerden en önemlisi gaz giderme uygulamalarıdır. Asal gaz, vakum yöntemi ve ultrasonik yöntem kullanılan yaygın yöntemlerdendir. Asal gaz kullanarak gaz giderme, pota içindeki sıvı metal içinden genelde azot veya argon gazı geçirilerek yapılır. Bu gazların seçilme nedeni sıvı içinde çözünmemeleri ve reaksiyon vermemeleleridir [4]. Yüzeye doğru ilerleyen küçük kabarcıklar oluşturulan bu yöntemde kabarcıklar, sıvı metal için porozite oluşumunda rol oynayan hidrojen gazının [5] sıvı metalin içinden yüzeyine doğru çıkmasını sağlar. Yüzeye çıkan hidrojen yapıdan giderilmiş olur. Bu aşamadan sonra sıvı metal eski haline göre daha temizdir denilebilir. Stronsiyum (Sr) ve Titanyum-bor (TiBor) genel olarak AlSi7Mg0.3 ve AlSi11Mg0.3 alaşımlarıyla üretim sürecinde kullanılan eklentilerdir. Sr, silis tanelerinin sivri yapısını, küresel silisyum tanelerine dönüştürerek mekanik özellikleri arttırır. Tibor ise bu tanelerin boyutunu küçültmede kullanılır. Kullanılan bor ve titanyumun akışkanlığı arttırdığı gözlenmiştir [6]. Sıvı metal kalıba döküldüğü andan itibaren sıvı metalden kalıba ısı akışı gerçekleşir. Kalıp metalinin termal iletkenliği yüksek ise sıvı metalden kalıba ısı geçişi de fazla olacak, sıvı metal daha hızlı katılaşacaktır. Bu katılaşma hızı arttığında akışkanlık azalacaktır [2]. Kalıp sıcaklığı da sıvı metalin katılaşmasını etkilediği için erken katılaşmaya sebep olması akışkanlığı da azaltacaktır. Kalıba uygulanan poteyaj gibi kaplamalar, sıvı metalin katılaştıktan sonra kalıbın yüzeyinden kolay ayrılmasını sağlamak için yapılmaktadır. Kalıp yüzey özelliklerinin metal akışını kolaylaştıracak şekilde daha pürüzsüz olması da akışkanlığı arttıracak olan etmenlerdendir.

Akışkanlık farklı şekillerde ölçülebilmektedir. Spiral akışkanlık testi, vakum akışkanlık testi, farklı kesit kalınlıkları içeren kalıplarla akışkanlık testi en yaygın tercih edilen akışkanlık testlerindendir. Spiral test yönteminde de sıvı metalin eşit kesit kalınlıklarında bir boşluktan geçerek yürüdüğü mesafe göz önüne alınıp değerlendirme yapılmaktadır. Farklı kesit test kalıbında ise akışkanlığın farklı kesitlerdeki etkisine bakılmaktadır. Bu çalışmada ise akışkanlık testleri, Cevher Jant Sanayii A.Ş.'de üretilmiş metal spiral akışkanlık test kalıbıyla yapılmıştır.

Dökülebilirliğinin ve korozyon dayanımının iyi olması, yüksek mukavemet/düşük yoğunluk oranı ile özellikle otomotiv ve havacılık sektöründe artan hafif malzeme ihtiyacı alüminyum alaşımlarının tercih edilme nedenleridir [7]. Bu çalışmada kullanılan iki alaşım AlSi7Mg0.3 ve AlSi11Mg0.3 üstteki özellikleri sağlayan iki farklı kompozisyonda alüminyum alaşımıdır (Tablo 1). Bu sebeple üretim süreçlerinde de sıklıkla tercih edilen alaşımlardır.

| | | | | | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------|-------------|--------|--------|---------|---------|--------|-------|--------|
| AISI7Mg0.3 | Al | Si | Mg | Fe | Ti | Cu | Ni | Zn | Sn | Mn |
| | Ana Element | % 6.5-7.5 | % 0.25-0.45 | % 0.1 | % 0.15 | % 0.01 | % 0.013 | % 0.07 | % 0.1 | % 0.1 |
| AISI11Mg0.3 | Al | Si | Mg | Fe | Ti | Cu | Ni | Zn | Sn | Mn |
| | Ana Element | % 10-11.8 | % 0.19 | % 0.15 | % 0.05 | % 0.013 | % 0.07 | % 0.1 | % 0.1 | % 0.45 |

Tablo 1. AISi7Mg0.3 ve AISi11Mg0.3 alaşımlarının kompozisyonları [8]

Teorik olarak AISi11Mg0.3 alaşımının AISi7Mg0.3'ten daha fazla akışkanlık göstermesi beklenmektedir. Bu çalışmada diğer tüm parametreler sabit tutularak metal kompozisyonunun akışkanlığa etkisinin teoride öngörülenle benzer olup olmadığına ve metal temizliğinin akışkanlığa etkisine bakılmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Sıvı metalin akışkanlığı spiral akışkanlık testiyle, uzunluk cinsinden yapılmıştır. Bu test için sıcak iş çeliğinden bir akışkanlık kalıbı tasarlanmıştır. CATIA programı kullanılarak çizilen ve daha sonra Cevher Jant Sanayii A.Ş. bünyesindeki kalıphanede işlenmiş olan spiral akışkanlık test kalıbı (Şekil 1) bu çalışmada akışkanlığın ölçülmesi için kullanılmıştır. Kalıbın alt derecesinin yüzeyi spiral şeklinde (bkz. Arşimet spirali) işlenerek kalıp boşluğu oluşturulmuştur. [9]



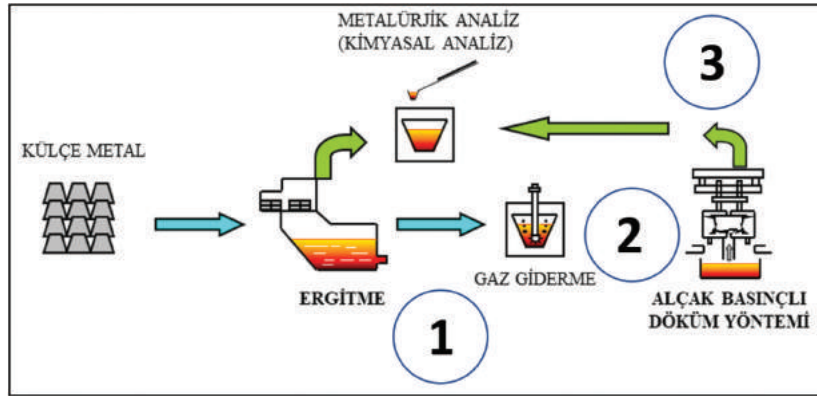
Şekil 1. Spiral Akışkanlık Test Kalıbı

Oluşturulan kalıp, fırında belirli bir sıcaklığa ulaştıktan sonra Şekil 2'de görüldüğü gibi alt ve üst derecesine Fosco firmasına ait Dycote 39 ve Dycote 34 poteyajları uygulanmıştır. Ardından tekrar fırına yerleştirilen kalıp yaklaşık 400 °C'ye ulaştığında fırından çıkartılmış döküm yapılmak üzere ergitme ocaklarının yanına götürülmüştür.



Şekil 2. Döküm yapılmadan hemen önceki kalıp sıcaklığı

Alüminyum külçeden ürün oluşana kadar geçen süreçte üründen istenen özellikleri sağlamak adına Şekil 3'te belirtilen seri üretim adımları izlenmiştir. Bu adımlar külçenin belirli vezinlerle ergitme ocağına şarj edilmesi, ergitme ocağından transfer potasına aktarılan sıvı metal alaşım ilaveleriyle mikro yapısında istenilen özelliklerin sağlanması, transfer potasındaki ergimiş metalin gaz giderme süreci ile içerisindeki hidrojen gazının yüzeye çıkartılıp metal içine karışmasının önlenmesi ve alüminyum alaşımlı jant üretiminde yaygın olarak kullanılan döküm yöntemi olan alçak basınçlı döküm tezgahlarına bekletme ocaklarından sıvı metalin transfer edilmesidir. Ergimiş metal form verilmiş kalıp içine doldurularak ve katılaştırılarak jant döküm işlemi (brüt) tamamlanır.

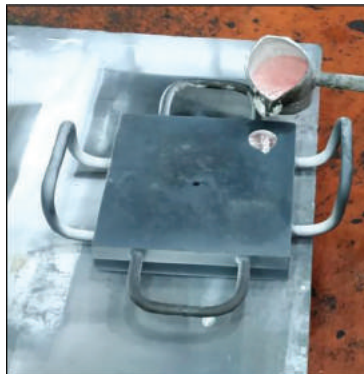


Şekil 3. Üretim akış şeması

Bu çalışmada AlSi7Mg0.3 ve AlSi11Mg0.3 alaşımları kullanılmıştır. Her alaşımın üç farklı durum için akışkanlık testleri yapılmıştır. İlk durumda AlSi7Mg0.3 alaşımının sıvı metalini, ergitme ocağından transfer potasına alınarak çubuk formunda AlTi5B1 ve AlSr15 master alaşımları eklenmiştir. Sıvı metalden alınan örneklere IDECO cihazı ile termal analiz ardından ARL Thermofisher cihazı ile kimyasal analiz yapılmıştır. Daha sonra Şekil 4'te gösterildiği gibi gravite döküm yöntemiyle sıvı metal kalıba dökülmüştür.

İkinci durumda transfer potasındaki ergimiş metal gaz giderme ünitesine getirilmiştir. Gaz giderme ünitesi asal bir gaz ve karıştırma işlevi gören bir milin sıvı metalin dibine daldırılmasıyla çalışan sanayi tipi bir ünedir. Gaz giderme uygulaması tamamlanmış potadan sıvı metal alınmış, analizler sonrası dökümü gerçekleştirilmiştir.

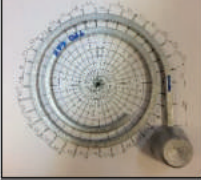
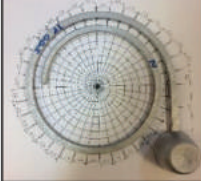
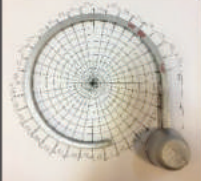


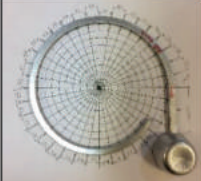
Üçüncü durumda ise gaz gidermeden çıkan sıvı metal transfer potasından alçak basınçlı döküm tezgahının bekletme ocağına transfer edilmiştir. Bekletme ocağından alınan sıvı metal örneği de aynı şekilde analiz edilerek dökülmüştür. Tüm durumlarda gerçekleştirilen gravite dökümler bir kişi tarafından aynı hızla manuel olarak gerçekleştirilmiştir. Benzer durumlar AlSi11Mg0.3 alaşımı için de incelenmiştir.



Şekil 4. Akışkanlık kalıbına gravite döküm

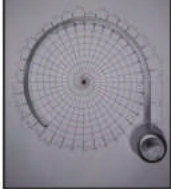
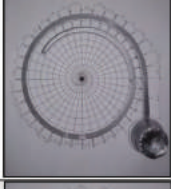
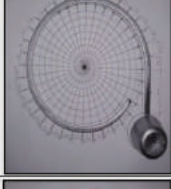
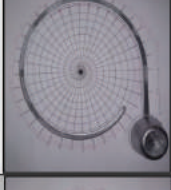


3. BULGULAR

Akışkanlık testi sonrası elde edilen sonuçlar Tablo 2.'de verilmiştir. Kimyasal ve termal analizler firmada kullanılan müşteri şartnamelerine uygundur.

| Malzeme | Döküm Adımı | Kalıp Sıcaklığı | Kimyasal Analizi | Termal Analizi | Boy [mm] | Fotoğraf |
|-------------|---------------------|-----------------|------------------|----------------|----------|---|
| AlSi7Mg0.3 | Gaz Giderme Öncesi | 400 °C | Uygun | Uygun | 1040 |  |
| | Gaz Giderme Sonrası | 370 °C | Uygun | Uygun | 875 |  |
| | Bekletme Ocağı | 350 °C | Uygun | Uygun | 550 |  |
| AlSi11Mg0.3 | Gaz Giderme Öncesi | 446 °C | Uygun | Uygun | 1205 |  |
| | Gaz Giderme Sonrası | 342 °C | Uygun | Uygun | 786 |  |
| | Bekletme Ocağı | 271 °C | Uygun | Uygun | 590 |  |

Tablo 2. Akışkanlık testi sonuçları

Kalıp sıcaklık farklarının sonuçları etkilediğinin görülmesi sonrası AlSi7Mg0.3 malzemesi için detaylı bir araştırma gerçekleştirilmiş, aynı döküm adımında farklı kalıp sıcaklıkları için akışkanlık değerleri ölçülmüş ve sonuçları Tablo.3'te verilmiştir.

| Malzeme | Döküm Adımı | Kalıp Sıcaklığı | Kimyasal Analizi | Termal Analizi | Boy [mm] | Fotoğraf |
|------------|---------------------|-----------------|------------------|----------------|----------|---|
| AlSi7Mg0.3 | Ergitme Ocağı | 394 °C | Uygun | Uygun | 442 |  |
| | Ergitme Ocağı | 446 °C | Uygun | Uygun | 837 |  |
| | Gaz Giderme Öncesi | 368 °C | Uygun | Uygun | 590 |  |
| | Gaz Giderme Öncesi | 373 °C | Uygun | Uygun | 586 |  |
| | Gaz Giderme Sonrası | 340 °C | Uygun | Uygun | 347 |  |
| | Gaz Giderme Sonrası | 326 °C | Uygun | Uygun | 165 |  |

Tablo 3. Farklı kalıp sıcaklıklarının aynı döküm adımıdaki akışkanlığa etkisi

4. SONUÇ

Bu çalışmada, literatürdeki diğer çalışmalar esas alınarak firmaya özgü spiral akışkanlık kalıbı tasarlanmış ve iki farklı kompozisyondaki alaşımın üç farklı döküm adımı için akışkanlıkları karşılaştırılmıştır. Bu ilk adımda görülen sonuçlar ve literatür bilgisi birleştirilerek, aynı döküm adımlarında farklı kalıp sıcaklıklarında akışkanlık sonuçları karşılaştırılmıştır. Şüphesiz, kalıp sıcaklığı ve metal içeriği dışında farklı parametreler de akışkanlığı değiştirebilir. Bu çalışmada, diğer tüm parametreler olabildiğince aynı hale getirilmeye çalışılarak döküm adımları ve kalıp sıcaklığının akışkanlığa etkisi incelenmiştir. Elde edilen tüm bulgulara göre alttaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- Firmaya özgü tasarlanan ve üretilen kokil akışkanlık kalıbında tekrarlı testler gerçekleştirilebilmiştir.
- Literatürde de belirtildiği gibi benzer deney aşamalarının AlSi11Mg0.3 alaşımının, gaz giderme sonrası durumu hariç, AlSi7Mg0.3'e göre daha fazla akışkanlık gösterdiği gözlenmiştir.
- Her iki alaşımda da gaz giderme öncesi sıvı metallerin daha yüksek akışkanlığa sahip olduğu gözlenmiştir.
- Çalışmadaki kalıp sıcaklığı parametresi pratikte her döküm için sabit tutulmadığı için

bekletme ocağından alınan örneklerde kalıp sıcaklığının azalmasına bağlı olarak akış hızında azalma olduğu sonucuna varılmıştır.

• Aynı döküm adımlarındaki aynı metal için, kalıp sıcaklığının artması ile metal akışkanlığının arttığı gözlemlenmiştir.

5. TEŞEKKÜR

Yazarlar olarak, bu çalışmanın yürütülmesinde değerli destekleri olan; Doç. Dr. D. Dışpınar, M. Tepedelen, O. Ordu, Y. Çatal, M. A. Çiçek, M. Çekçi ve 'Cevher Jant'taki tüm iş arkadaşlarımıza teşekkür ederiz.

KAYNAKÇA

[1] Adefuye, O.A., PhD, Casting Fluidity of Commercially Pure Al-Si Casting Alloys. Lagos State University, Lagos, Nigeria, January 2014, Vol. 4 No.1, ISSN 1857-8047, pp.16-30.

[2] Saxena, S., and Sharma, P.K., Casting Fluidity of Metals and Alloys. IJIRSET, February 2017, ISSN 2319-8753, pp. 3018-3031.

[3] Di Sabatino M, Arnberg L, Rørvik S, and Prestmo A,: The influence of oxide inclusions on the fluidity of Al-7 wt.%Si alloy, June 2005, Materials Science and Engineering A 413-414 (2005) pp. 272-276

[4] <https://dokumhane.net/kutuphane/aluminyum-alasimlarinda-gaz-giderme/>

[5] Dışpınar, D., Campbell, J.; Alüminyum Ve Alaşımlarının Döküm Kalitesinin Belirlenmesi. pp. 1-11

[6] Dahle A K, Tøndel P A, Paradies C J, and Arnberg L,: Effect of Grain Refinement on The Fluidity of Two Commercial Al-Si Foundry Alloys. Metallurgical and Materials Transactions, A 27 (1996) 2305-2313. doi:10.1007/bf02651885.

[7] Çolak, M.; Kayıkcı, R.; and Dışpınar, D.: Influence of Different Cross Sections on Fluidity Characteristics of A356, Transactions of the Indian Institute of Metals, April 2015, Volume 68, Issue 2, pp 275-281

[8] Wiecheć, J., Uliasz P., Knych, T., Piwowska-Uliasz M., Jarosz, R.: The Influence of Chemical Composition and Parameters of Heat Treatment on the Mechanical Properties and Electrical Conductivity in Hypoeutectic Aluminium Silicon Alloys. Archives of Foundry Engineering, 2013, ISSN 1897-3310 Volume 13 Issues 3/2018 pp.179-184.

[9] Yildirim, K., Helvacı, M., Gürsoy, Ö., Erzi, E., Kahraman, C., and Dışpınar, D.: Fluidity Characteristics of A201 and A206 Al-Cu Alloy, Archives of Foundry Engineering, ISSN 1897-3310 Volume 18 Issues 1/2018 pp.135-138.

ALSi10MG ALAŞIMLI DÖKÜM PARÇALAR İÇİN ISIL İŞLEM PROSESİNDE OPTİMİZASYON ÇALIŞMALARI

Elvan Bilge MENTEŞE*, Ferhat AYDOĞAN*, Nurşen SAKLAKOĞLU**

**Döktaş Dökümcülük Tic. Ve San. A.Ş., Manisa, Türkiye*

***MCBÜ Mühendislik Fakültesi, Manisa, Türkiye*

ÖZET

Bu çalışmada, AlSi10Mg döküm alaşımından üretilen parçaların kesit kalınlıkları ve boyutuna bağlı olarak T6 ısıtma işlemi optimizasyonu yapılmıştır. Böylece çalışma sonunda kapasite kullanımında %28 artış sağlanarak enerjiden %24 lük tasarruf yapılmıştır.

Deneyel çalışmalar kapsamında mevcut durumdaki ısıtma işlem süreleri, sıcaklıkları ve mekanik/metalografik test sonuçları kaydedilmiştir. Denemelerin ilk fazında T6 ısıtma işleminde çözeltiye alma prosesinde metalografik kontroller ile parça geometrilerine göre minimum çözeltiye alma süresi belirlenmiştir. Daha sonra yaşlandırma prosesi için farklı yaşlandırma süreleri ve sıcaklıkları denenerek mekanik ve metalografik test kontrolleri ile en uygun süre ve sıcaklık belirlenmiştir. Minitab 18 programıyla sonuçlar değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Al-Si alaşımları, T6 ısıtma işlemi, Mekanik özellikler, Regresyon analizi

ABSTRACT

In this study, T6 heat treatment optimization was performed depending on the section thickness and size of the parts produced from AlSi10Mg casting alloy. As a result, 28% increase in energy consumption was achieved by increasing the capacity utilization by 24%.

Within the scope of experimental studies, Heat treatment times, temperatures and mechanical / metallographic test results were recorded. In the first phase of the experiments T6 heat treatment in the process of the process of metallographic control with the minimum geometry of the time taken to determine the solution was determined. Then, different aging times and temperatures were tried for aging process and the most suitable time and temperature were determined by mechanical and metallographic test controls. The results were evaluated with Minitab 18 software.

Keywords: Al-Si alloys, T6 treatment, Mechanical properties, Regression analysis

1.GİRİŞ

Üretim sektöründe ürün tasarımının önemli bir adımını teşkil eden malzeme seçimi genel olarak endüstride ürünün fonksiyonelliğine göre hafiflik (özellikle hareketli sistemlerde), mukavemet (dayanıklılık), maliyet (fiyat) ve seri üretime uygunluk (üretim için çok fazla ön hazırlık gerektirmeme) kriterleri göz önünde bulundurularak yapılmaktadır [2].

Otomotiv sektörü üreticileri araçların verimliliği, ekonomik ve çevreci olması konusunda müşteri talepleri ve devlet mevzuatları tarafından zorlanmaktadır.

Hem tüketicinin verimli yakıt talebini hem de devlet mevzuatlarını karşılamak için düşük yoğunluklu alüminyum (Al) alaşımlarının (2.7 g/cm³) geliştirilmesiyle alüminyum parçalar, çelikler ve dökme demirler (7.8 g / cm³) gibi malzemelerin yerini almaya devam etmektedir[1].

Araçların hafifletilmesi amacıyla başlatılan malzeme çalışmalarında daha önce de belirtilen seçim kriterleri göz önüne getirildiğinde neredeyse bütün yollar hafiflik / dayanım oranı açısından Al - Si - Mg alaşım sistemlerine çıkmaktadır. Üretilecek olan döküm parçalarının yukarıda belirtilen mekanik özellikleri ise temel olarak alaşımın mikroyapısına, dökümün kalitesine (kusursuzluğuna) ve ısı işlem ihtiyacına göre değişmekte ve kritik özellikler bu şekilde belirlenebilmektedir[2].

Al alaşımlarına farklı amaçlar için çok farklı ısı işlemler uygulanabilmektedir. Bunların başında çözeltiye alma ve yaşlandırma gelmektedir. Alüminyum alaşımları için ısı işlem genellikle, çökeltme sertleşmesi gösterebilen işlenik (işlem) alaşımların mukavemetini ve sertliğini arttırmak için uygulanan işlemlerle sınırlıdır. Alüminyum alaşımlarının mukavemetinin artırılması amacıyla uygulanan çökelti oluşturma ısı işlemi; çözeltiye alma, fazların çözülmesi (katı çözeltilerin oluşturulması), su verme; aşırı doymuş yapının oluşturulması, yaşlanma; çözünen atomların oda sıcaklığında veya daha yüksek sıcaklıklarda çökmesi (çökeltme sertleşmesi) olmak üzere üç basamaktan oluşur [3].

Al alaşımlarına ısı işlem uygulanabilmesi ya da daha doğrusu başarılı bir ısı işlem (özellikle yaşlandırma ısı işlemi) uygulanabilmesi için özellikle Cu, Mg, Fe, Mn, Sn ve Zn elementlerinin varlığının gerekliliği vurgulanmaktadır. Çünkü bu elementler ısı işlem sonucunda çökeltiler (Mg₂Si, Mg₃Mn₂Al₁₈, Al-FeSi, AlCuMgSi, CuAl₂ vb.) oluşturmak için gerekmektedir. Oluşturulan bu çökeltiler ise dayanımı ve sertliği geliştirmektedir [3].

Al alaşımlarına en çok uygulanan ısı işlem olan T6, çözeltiye alma, su verme ve yaşlandırma aşamalarından oluşan işlemidir. Çözeltiye alma ısı işleminde malzemenin ergime başlangıç sıcaklığının altındaki bir sıcaklığa ısıtıldıktan sonra, hızla bu sıcaklıktan soğutulması ile aşırı doymuş katı eriyik yapısı oluşturulur. Burada amaç çökeltme sertleştirme yaratacak elementlerin çözünerek katı çözelti içinde hapsedilmesidir. AlSi10Mg için işlem sıcaklığı (440 - 540 °C) ve süresi (1-5 saat) parçanın kesit kalınlığı ve bileşimine bağlı olarak maksimum homojenizasyon sağlayacak şekilde seçilmelidir [3-6]. Çözeltiye alma adımı üç faz görülür. Birincisi alaşım elementlerinin çözünerek zengin bir alüminyum matris fazının oluşturulması ki bunlar daha sonra çökeltme sertleşmesi yaratacaktır, ikincisi çözünmeyen bileşenlerin küreselleşmesi ve üçüncüsü mikro yapının homojenleşmesidir. Hızlı soğutma yani su verme işlemi çözünen elementlerin çözeltide kalmasını sağlamaktadır. Hızlı su verme çökelti sertleştirme özelliğini geliştirmektedir. Su verme işlemi sıcak su, polimerli su ya da yüksek hızlı fanlarla hava ile yapılabilir. Su verme işleminin en önemli detaylarından biri de çözeltiye alma işleminden çıkan parçanın çok kısa süre içinde su verme işlemine tabi tutulmasıdır. Su verme sonrasında çözeltide kalan çözünen elementler, oda sıcaklığında yavaşça çökelmeye başlarlar. Bir süre sonra bazı alaşımlar oda sıcak-

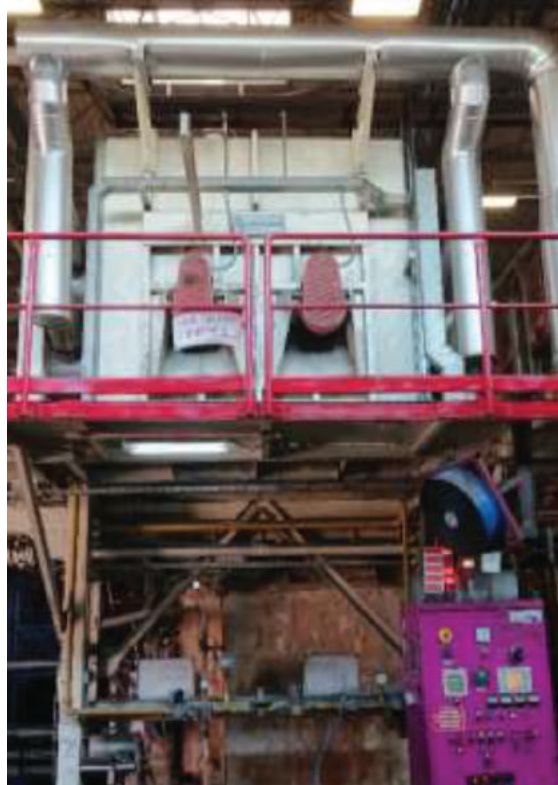
lığında oldukça sertleşebilirler. Buna doğal yaşlanma adı verilir. Suni yaşlandırma olarak anılan işlem ise, döküm parçaların 100-200°C gibi sıcaklık aralığında 1-25 saat aralığında tutulması ile yaşlandırmanın hızlandırılmasıdır. Yaşlandırma sıcaklığında süre arttıkça, yavaş yavaş çökelti yapısı oluşur ve sertlik maksimum değerine doğru artar. Daha fazla yaşlandırmaya devam edilirse sertlik düşmesinin görüldüğü aşırı yaşlanma durumu ortaya çıkar. Isıl işlem uygulaması sonucunda mekanik özellikler gelişmektedir [3].



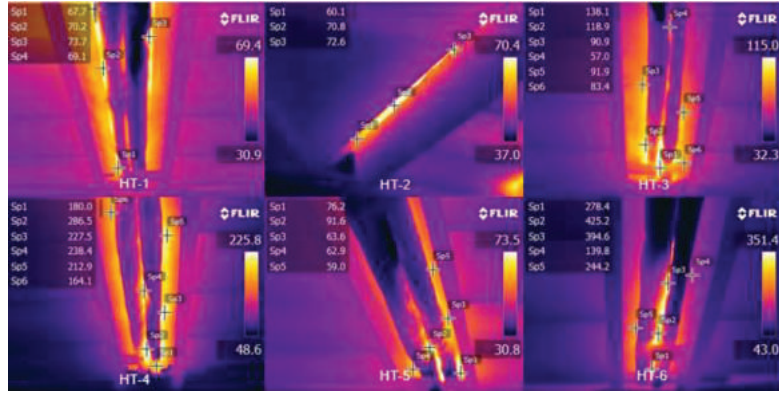
Şekil 1 : T6 Isıl işlemi şematik gösterimi

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Isıl işlem çalışmalarında sıcaklıktaki kararlılıklar çok önemlidir. Proses parametrelerindeki optimizasyon çalışmalarına başlamadan önce parametrelerin doğruluğundan emin olmak gerekmektedir. Firmamızda kullanılan Şekil 2 de bulunan batch tipi ısıl işlem fırınında sıcaklık kontrolleri FLIR E60 termal kamera ile, fırın içi sıcaklık dağılımı harici termograf ile kontrol edilmiştir. Deneylere başlamadan önce fırın içi sıcaklık dağılımının homojen olması ve Tablo 1'de fırın kapağının dışından alınan termal kamera ölçümleriyle ortaya çıkan sıcaklık kaçaklarının engellenmesi bakım onarım çalışmalarıyla giderilmiştir ve yapılan kontroller ile doğrulanmıştır.



Şekil 2 : Batch Tipi Isıl İşlem Fırını



Şekil 3 : Isıl işlem fırın kapaklarının dışındaki sıcaklık termal kamera kayıtları

| FIRIN | Min. Sıcaklık (°C) | Max Sıcaklık (°C) | Ölçüm Sırasındaki Fırın Sıcaklığı (°C) |
|---------------------|--------------------|-------------------|--|
| Isıl İşlem Fırını 1 | 63 | 96 | 195 |
| Isıl İşlem Fırını 2 | 60 | 225 | 395 |
| Isıl İşlem Fırını 3 | 55 | 148 | 180 |
| Isıl İşlem Fırını 4 | 94 | 286 | 180 |
| Isıl İşlem Fırını 5 | 55 | 99 | 153 |
| Isıl İşlem Fırını 6 | 139 | 441 | 530 |
| Isıl İşlem Fırını 7 | 117 | 317 | 360 |

Tablo 1 : Isıl işlem fırın kapaklarının termal kamera ile ölçüm sonuçları

DeneySEL çalışmada kullanılan AISi10Mg döküm alaşımının bileşimi Tablo 2’de gösterilmiştir. Ergitme işlemi için 1000 kg/h kapasiteli devirmeli tip fırın kullanılmıştır. Sıvı alüminyum işlemleri gerçekleştirilen AISi10Mg alaşımının Alçak Basıncı Döküm tezgahında dökümleri yapılmıştır. Çalışmada kullanılacak parça firmada 10197 kodlu Motor Braketidir.

| Si | Fe | Cu | Mn | Mg | Cr | Ni | Zn | Pb | Sn | Ti |
|--------|----------|----------|---------|-----------|---------|---------|----------|-------------|-----------|-----------|
| 9-10,5 | max 0,15 | max 0,08 | max 0.1 | 0,25-0,45 | max 0.1 | max 0.1 | max 0.18 | 0,020-0,055 | max 0,005 | max 0,005 |

Tablo 2 : AISi10Mg Kimyasal Analizi

Bu alaşım grubu için literatürde ve endüstrideki uygulamalarında çözeltiye alma sıcaklığı 535 ± 5 °C derecedir [7]. Bu çalışma kapsamında çözeltiye alma süresi benzer parçalara, döküm yöntemine ,parça et kalınlıklarına, katılma hızlarına göre 1+3 saat (1 saat fırının belirlenen sıcaklığa ulaşma süresi, +3 ise belirlenen sıcaklıkta bekleme süresi) olarak belirlenmiştir.

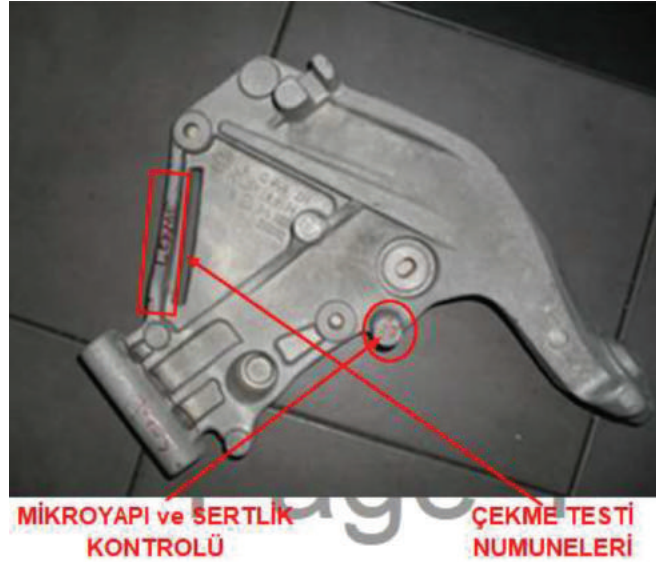
Bu çalışma kapsamında sabitlenen çözeltiye alma sıcaklık ve süresine göre farklı yaşlandırma süre ve sıcaklıklarıyla denemeler yapılmıştır. Deney planı Tablo 3 de paylaşılmıştır.

| Çözeltiye alma sıcaklığı (°C) | Çözeltiye süresi (h) | Yaşlandırma sıcaklığı (°C) | Yaşlandırma süresi (h) |
|-------------------------------|----------------------|----------------------------|------------------------|
| 535 | 1+3 | 150 | 1+4 |
| 535 | 1+3 | 160 | 1+3,5 |
| 535 | 1+3 | 160 | 1+3 |
| 535 | 1+3 | 170 | 1+4 |
| 535 | 1+3 | 180 | 1+1,5 |
| 535 | 1+3 | 180 | 1+2 |
| 535 | 1+3 | 180 | 1+3 |
| 535 | 1+3 | 190 | 1+2 |
| 535 | 1+3 | 190 | 1+3 |

Tablo 3 : Deney planında uygulanacak ısıl işlem parametreleri

Isıl işlemleri tamamlanan parçalardan Şekil 4 de görüldüğü gibi parça üzerinden işaretli bölgelerden alınan numunelerden mikroyapı görüntüleri Nikon Epiphot 200 Mikroskop/Clemex görüntü analiz programıyla alınmıştır. Mekanik testler olarak sertlik ölçümleri AFFRI LD250 cihazında 250kg yükte 5mm bilya çapında ISO 6506-1 standardına uygun olarak yapılmıştır. Çekme numuneleri DIN 50125 standardında Biçim B'ye göre hazırlanmıştır ve çekme testleri SHIMADZU AG-I 100 KN cihazında ISO 6892-1 standardında Metod B'ye uygun olarak yapılmıştır.

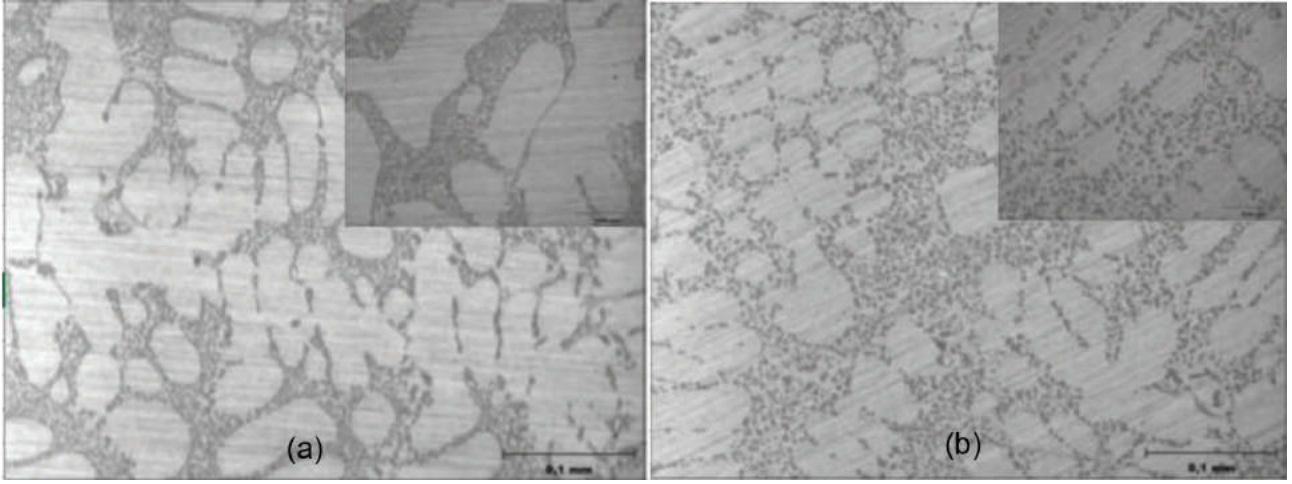
Bu çalışmada parçanın T6 ısıl işlemiyle kabul kriterlerinin (Çekme mukavemeti: min.290 MPa, Akma mukavemeti: min 210Mpa, %Uzama: min 4) sağlanabileceği min. sıcaklık ve süre belirlenmesi amaçlanmıştır. Böylece hem kapasite kullanımının artırılması hem de enerji tasarrufu sağlanması hedeflenmektedir. Bu çalışma kapsamında elde edilen test sonuçları Minitab 18 yazılımı ile istatistiksel olarak değerlendirilmiş ve parçanın mekanik özelliklerine etkiyen parametreler tartışılmıştır.



Şekil 4 : Motor Braketi parçası üzerinden numune alma bölgeleri

3. BULGULAR

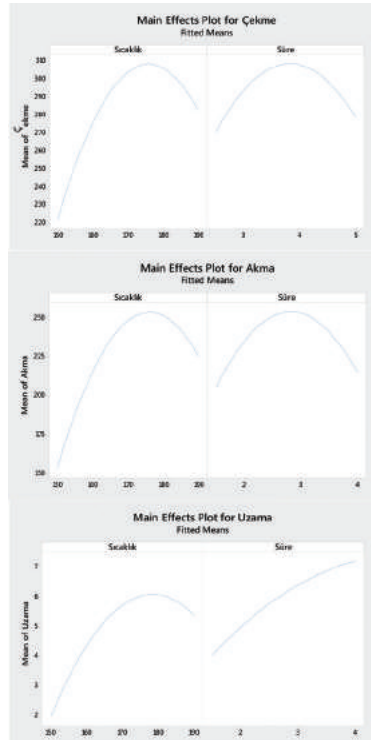
Şekil 5'te görüleceği üzere, malzemeler dendritik olarak katılmıştır. Dendrit kolları arasında ötektik silisyum gözlemlenmektedir. Beklenildiği gibi, ısıl işlem ötektik silisyumun küreselleşmesine yol açmıştır.



Şekil 5 : (a) Döküm hali x200-x500 büyütme ve (b)T6 Isıl İşlemlı 190°C 1+2 yaşlandırılmal x200-x500 büyütme mikroyapı görüntüleri

Yapılan denemelerin sonuçları Minitab programında regression analiziyle incelenmiştir. Yaşlandırma sıcaklığı ve sürenin çekme mukavemeti, akma mukavemeti ve % uzama ana etki grafikleri şekil 6'da verilmiştir. Çözeltiye alma işleminden sonra α -Al dengesiz halde ve Si ve Mg atomları yanısıra boşluklarla aşırı doymuş durumdadır. Yaşlanma prosesiyle Si/Mg/bosluklar bir araya gelmeye ve β (Mg₂Si) çöktürmelerini oluşturmaya başlar ve bunun sonucunda akma/çekme/sertlik gibi mekanik özellikler artar [4-5].

Görüldüğü gibi, yaşlandırma denemeleri için belirlediğimiz sıcaklık ve süre denemelerinin sonucunda akma, çekme mukavemeti ve %uzama değerleri için tekli ana etki grafiklerinde sıcaklık artışında benzer davranışlar sergilenmiştir. Fakat süre ana etki grafiklerinde bizim en kısa süreyi bulmak için seçtiğimiz sıcaklık süre parametreleri sebebiyle %uzama değerleri süre arttıkça artıyor olarak görünmektedir.



Şekil 6. Çekme mukavemeti, akma mukavemeti ve %uzama için sıcaklık ve sürenin ana etki grafikleri

Yaşlandırma sıcaklık ve süre parametrelerindeki değişikliklerin çekme mukavemeti, akma mukavemeti ve %uzama kriterlerine göre matematiksel ilişkisi eşitlik (1), (2) ve (3) no.lu denklemlerle gösterilmiştir. Görüldüğü gibi çekme mukavemeti, akma mukavemeti ve %uzamaya sırasıyla ısı işlem sıcaklık ve süre seçimiyle %62,94, 66,65 ve 52,47 oranlarında müdahale etmek mümkündür. Bu müdahale oranlarının dışında kalan oranlar genellikle parçanın döküm şartlarından oluşmaktadır.

$$\begin{aligned} \text{Çekme} = & -5894 + 56,2 \text{ Sıcaklık} + 680 \text{ Süre} - 0,1291 \text{ Sıcaklık} * \text{Sıcaklık} - 21,72 \text{ Süre} * \text{Süre} \\ & - 2,938 \text{ Sıcaklık} * \text{Süre} \quad (1) \end{aligned}$$

$$R2=\%62,94$$

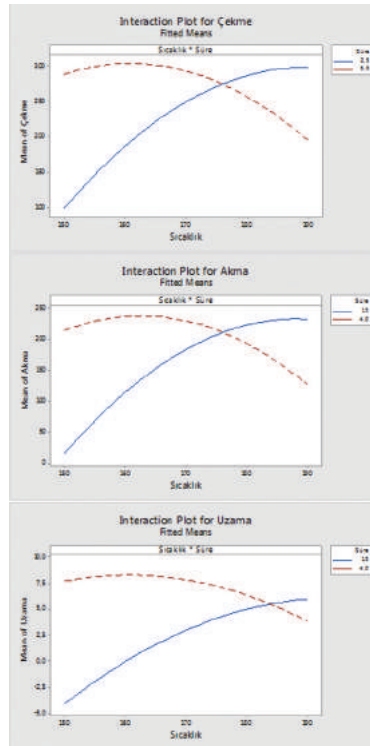
$$\begin{aligned} \text{Akma} = & -6712 + 63,4 \text{ Sıcaklık} + 746 \text{ Süre} - 0,1483 \text{ Sıcaklık} * \text{Sıcaklık} - 28,08 \text{ Süre} * \text{Süre} \\ & - 3,04 \text{ Sıcaklık} * \text{Süre} \quad (2) \end{aligned}$$

$$R2=\%66,65$$

$$\begin{aligned} \text{Uzama} = & -256 + 2,34 \text{ Sıcaklık} + 27,8 \text{ Süre} - 0,00513 \text{ Sıcaklık} * \text{Sıcaklık} - 0,31 \text{ Süre} * \text{Süre} \\ & - 0,139 \text{ Sıcaklık} * \text{Süre} \quad (3) \end{aligned}$$

$$R2=\%52,47$$

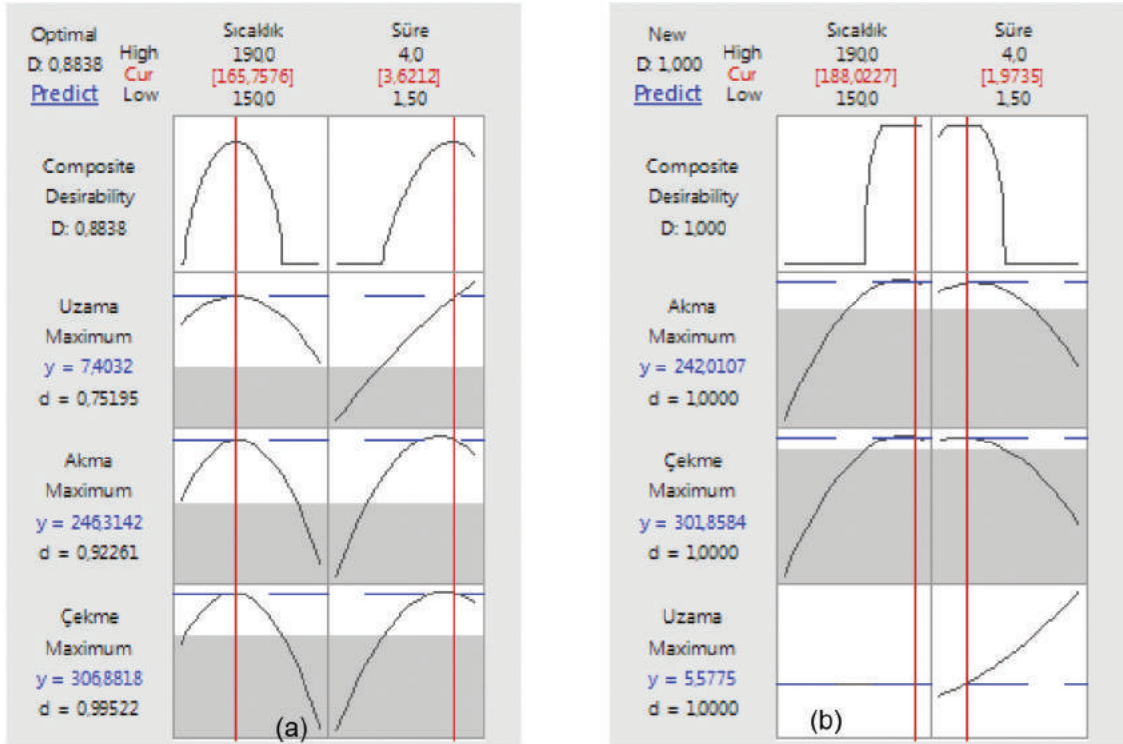
Yapılan analiz sonucunda sıcaklık ve sürenin etkileri dışında Şekil 7'de görüldüğü gibi sıcaklık ve sürenin birbiri ile etkileşiminde çekme mukavemeti, akma mukavemeti ve %uzama üzerinde etkileri görülmektedir.



Şekil 7. Çekme mukavemeti, akma mukavemeti ve %uzama için sıcaklık sürenin ikili etkileşimi

Denemeler sonunda minitab programında sıcaklık, süre, sıcaklık-süre ikili etkileşimleri, sıcaklık-sıcaklık etkileşimi, süre-süre etkileşimi gibi bir çok parametreden yararlanarak sonuçları optimize ettiğimizde Şekil 8'deki grafikler elde edilmiştir. Bu grafiklerden a) ısı işlem parametreleriyle elde edilebilecek maksimum çekme, akma, %uzama değerlerini elde etmek için seçilmesi gereken parametreleri (yaşlandırma sıcaklığı 165°C iken yaşlandırma süresi 3,62 saat) göstermektedir. Grafiklerden b) deneyin amacı olan süre kısaltmak için sonuçları parça kabul

kriterlerinin (Çekme mukavemeti: min.290 MPa, Akma mukavemeti: min 210Mpa, %Uzama: min 4) kabul sınırı üzerindeki değerler için seçilmesi gereken parametreleri (yaşlandırma sıcaklığı 188°C iken yaşlandırma süresi 1,97 saat) göstermektedir. Grafikte belirtilen D (desirability) değeri 0 ve 1 arasında değişmektedir ve 1'e yakın olması istenen hedefin gerçekleşme ihtimalinin artması anlamına gelmektedir. Yani b) grafiğinde minimum süreye göre optimizasyonu yapılan parametreleri uyguladığımızda hedeflenen çekme, akma, %uzama değerlerinin yüzde yüz karşılandığı anlaşılmaktadır.



Şekil 8: Yaşlandırma süre ve sıcaklıklarının optimizasyon grafikleri (a) Maksimum Çekme, Akma, %Uzama değerleri için (b) Minimum süre ve sıcaklık değerleri için

4. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında firmamızda üretilmekte olan Motor Braketi parçasının T6 işleminde beklenen mekanik özellikleri sağlayacak şekilde sıcaklık ve süre optimizasyonu yapılmıştır.

Denemelerde kullanılan parçanın ısı işlem sıcaklık ve süre optimizasyonu sonrasında çözeltiyeye alma süresinden 1 saat, yaşlandırma süresinden 1 saat olmak üzere toplamda 2 saat azaltılmıştır. Kapasite hesabı yapıldığında bu parça için %39'luk bir kapasite artışı sağlanmıştır. Burada yapılan denemeler firmada T6 ısı işlemi yapılan tüm parçalar için de ayrı ayrı uygulanmıştır ve toplam kapasitede %28'lik bir artış, enerji giderlerinde de %24 oranında iyileşme sağlanmıştır.

KAYNAKÇA

- 1) Anthony Lombardi, " MITIGATION OF CYLINDER DISTORTION IN ALUMINUM ALLOY ENGINE BLOCKS VIA HEAT TREATMENT PROCESS OPTIMIZATION", Ryerson University, Toronto, Ontario, Canada, 2015 pp 1-2
- 2) Onur Güven, "ALÜMİNYUM SİLİSYUM MAGNEZYUM DÖKÜM ALAŞIMLARININ YAPI İNCELEMESİ", İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul 2005 pp 7-8
- 3) Hasan Hasırcı, "Effects of Heat Treatment Parameters on the Abrasive Wear Behaviours of the Eutectic AlSi Alloy", Politeknik Dergisi, 18, 2015, P. 7-13

- 4) Guiqing Wang, "Guocheng Ren and Yan Liu, Influence of Natural Aging on Artificial Age Hardening of an Aluminum Cast Alloy", 2017 Asia-Pacific Engineering and Technology Conference (APETC 2017), Kuala Lumpur, May 2017, 978-1-60595-443-1
- 5) Emma Sjölander, Salem Seifeddine, " The heat treatment of Al-Si-Cu-Mg casting alloys", Materials Letters, Volume 58, Issue 15, June 2004, Pages 2096-2101
- 6) Fred Major, Rio Tinto Alcan, "Heat Treatment of Aluminum Foundry Alloys", Foundry Alloy Heat Treatment Seminar for WPI/MPI, International Ltd., 2008
- 7) Onur GÜVEN, Doğan ALPDORUK, Şükrü IRMAK, "AlSi7Mg DÖKÜM ALAŞIMINDA T6 ISIL İŞLEM PARAMETRELERİNİN MEKANİK DEĞERLERE ETKİSİNİN İNCELENMESİ" ,

KUM EROZYONU TEKNİĞİ İLE DÖKÜM VE ISIL İŞLEMİ

Ege DEMİRTAŞ, Elif AKTAN, Murat H. LUŞ*, Altan TÜRKELİ

Marmara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul

**Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul*

ÖZET

Kum erozyonuyla döküm yöntemi olarak adlandırılan yeni bir döküm tekniği kısaca tanımlandı. Bu döküm tekniği, suda çözünebilen bağlayıcı kumun suyla yıkanarak sıvı metalin suyla teması ve bu hızlı soğumasının avantajı üzerine kuruludur. Kum kalıba göre daha hızlı soğumanın sonucu olarak, çok ince ötektik yapı ve ufak dendritler elde edilebilir. Bu da mekanik özelliklerin gelişmesini sağlar. Bu çalışmada, normal kum kalıba döküm ve kum erozyonuyla döküm yöntemleriyle üretilmiş A356 alaşımının mikroyapısı ve T6 ısıl işlemi karşılaştırıldı ve sonuçlar kısaca tartışıldı.

ABSTRACT

A new casting process called as “Ablation Casting” is described briefly. This process takes advantages of the high cooling rate due to water spray on a sand aggregate with a water-soluble binder. As a result, the heat transfer is more rapid than conventional sand casting and hence smaller dendritic and eutectic structures can be obtained. This can improve the mechanical properties. In this study, microstructures and heat treatment of sand cast and ablation cast of A356 alloy are compared to each others and results are briefly discussed

Keywords; Ablation Casting, Aluminium, A356, T6 Heat Treatment

1. GİRİŞ

Döküm yöntemleri iki ana grupta toplanmıştır. Kalıcı kalıba döküm ve harcanan kalıba döküm. Kalıcı kalıpta genelde metal bir kalıp içine sıvı metal dökülür. Metallerin ısı transfer hızı yüksek olmasından dolayı, sıvı metal hızlı katılaşır ve buna bağlı olarak ince yapılar oluşur. Diğer yandan, kum kalıp gibi yöntemlerde ise, silis kumu ve benzeri refrakter tozlarının ısı iletim katsayısı düşük olduğundan daha yavaş bir katılaşma oluşmasına bağlı olarak, kısmen daha kaba yapılar meydana gelir. Dökümde, metal ile kalıp arasında ince bir hava tabakası oluşur. Bu tabakanın ısı iletim katsayısının çok düşük olması, metalin daha yavaş soğumasına sebep olur.

Son yıllarda, kum kalıba döküm yönteminde, metal kalıp döküm özellikleri veren yeni bir döküm yöntemi geliştirilmiştir. Bu "Ablation döküm" veya önerilen Türkçe adıyla "Kum Erozyonuyla Döküm" dür. Bu döküm yönteminde, alaşım, suda çözünebilen bir bağlayıcı kullanılmış kum kalıba dökülür dökülmez suyla hızla soğutulur. Böylece, hızlı soğutmadan dolayı çok ince bir yapı elde edilir. Bu da mekanik özellikleri geliştirmektedir. Soğutma genelde besleyiciden uzak bölgede başlar ve besleyiciye doğru yönlendirilerek ilerler. Bu sayede, yönlendirilmiş bir katılaşma sağlanır. Hızlı su ile soğutmada önce kum ve sonrasında, metal ile kum kalıp arasında oluşan ince gaz filmi kaldırıldığından yüksek soğuma sağlanır. Dolayısıyla kum yüzeyinde ilk katılaşan dendrit boyları, içte oluşanlara göre kısmen daha büyük olabilir. Özellikle ötektik mikroyapıdaki lameller arası mesafe çok ince oluşabilmektedir[1-12].

Kum erozyonuyla döküm yönteminin avantaj ve dezavantajları, referans 12 de detaylı olarak verilmiştir. Bu makalede bu konu tekrar edilmeyecektir [12].

Bu çalışmada A356 alüminyum alaşımı laboratuvar şartlarında kum kalıba ve suyla soğutulularak, yani kum erozyonuyla aynı boyutlardaki kalıba döküldü. Bu iki farklı döküm yönteminden elde edilen mikro yapılar ve bu yapıların ısıl işleme etkileri karşılaştırıldı.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

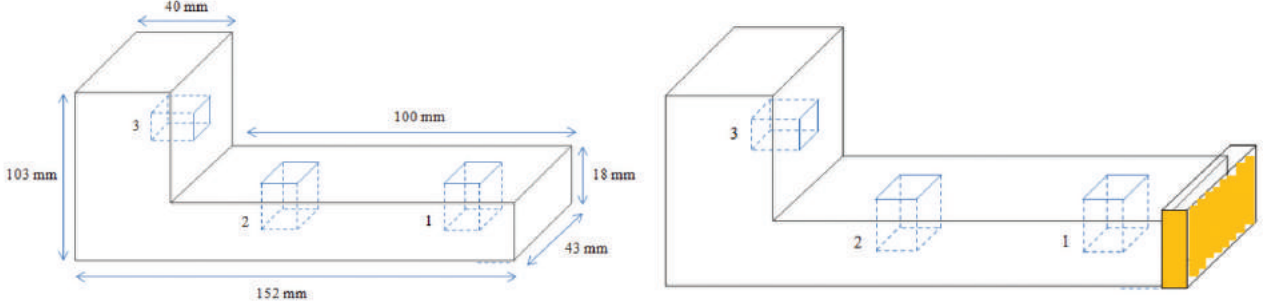
Bu çalışma da A356 alaşımı kullanıldı. Bu alaşımın bileşimi çizelge 1 de verildiği gibidir. Bu çizelgeden de görüleceği gibi, bu temelde bir Al-% 7 Si içeren Al-Si alaşımıdır. Ayrıca, Na ve Sr ilavesi yapılmadığından, bunların değerleri son derece düşüktür. Bu çalışmada orjinal döküm yönteminde kullanılan cam suyu yerine, yaklaşık % 4-5 civarında bentonite+su içeren kum kalıba döküm yapıldı. Dökülen L-şeklindeki parçanın boyutları şekil-1 a ve b de görüldüğü gibidir. Aynı model kullanılarak, bu sefer döküm sonrası yukardan hızla su verilerek aynı parça gerek pirinç çil kullanarak ve gerekse çilsiz döküldü. İkinci yöntemde, yani kum erozyonuyla dökümde, su, bir bidon ile yukardan verildi. Her üç dökülen parçadan üçer numune alınarak metalografik incelemesi yapıldı. Isıl işlem için ise, gerek kum erozyonuyla ve gerekse normal dökümle üretilmiş parçalardan çeşitli numuneler alındı. Bunlar 540 C de üç ve oniki saat çözeltiye alma işlemi sonrasında su verildi ve 155 C de yaşlanma işlemi yapılarak sertlikleri ölçüldü. Metalografik incelemede, dağlayıcı olarak saf su+%1 NaOH çözeltisi kullanıldı.

| Al (%) | Fe (%) | Si (%) | Cu (%) | Mg (%) | Zn (%) | Na(%) | Sr(%) | Ti (%) |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 92,04 | 0,19 | 7,2 | 0,03 | 0,42 | 0,01 | 0.0012 | 0,0001 | 0.1 |

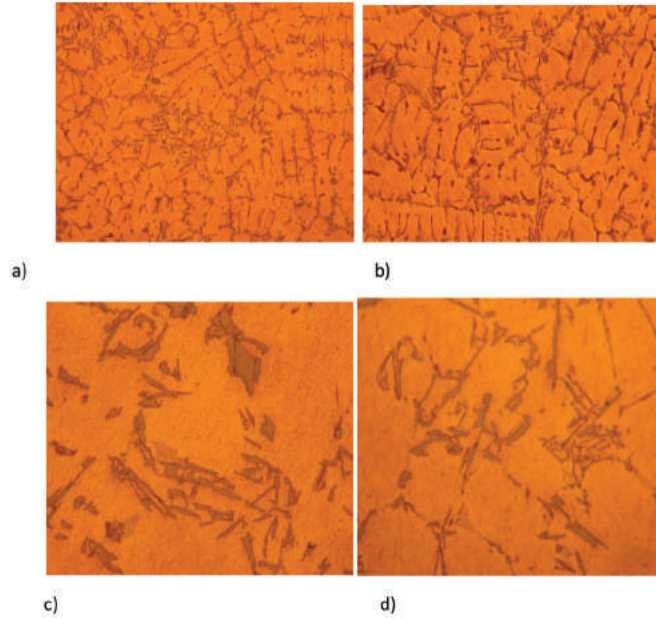
Çizelge 1 A356 alüminyum alaşımının bileşimi (ağ %)

3. BULGULAR

Klasik kum kalıba ve su soğutmalı kum kalıba dökülmüş parçalardan alınan numuneler, zımparalama, parlatma ve dağlamadan sonra optik mikroskopla incelendi. Şekil-2 de, normal kum kalıba dökümün 2 ve 3 bölgelerinden alınan numuneler verilmiştir. Buradan da görüleceği gibi, dendritik yapı büyük ve oluşan silis kristalleri kabadır. Bazı bölgelerde, dendrit boylarının ölçümü yaklaşık 140-150 mikrona kadar çıkmaktadır.

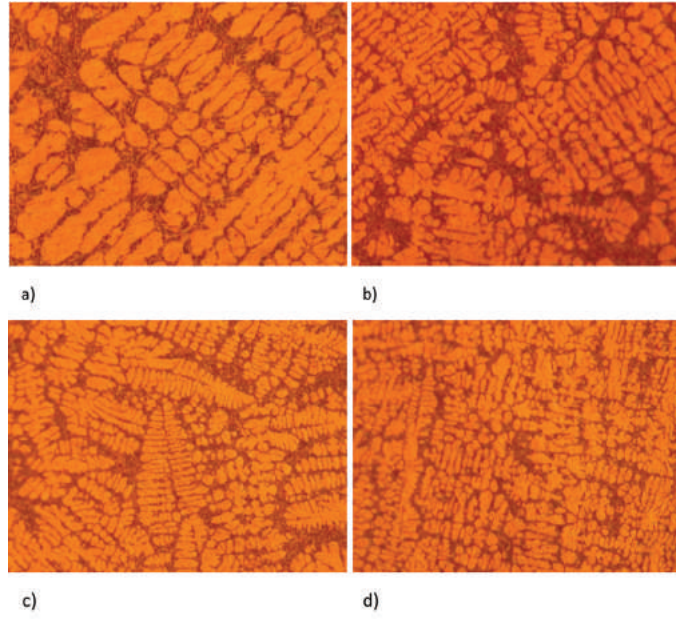


Şekil 1. Kum erozyonuyla döküm (pirinç çilli ve çilsiz) ve kum dökümüyle yapılan parçanın üç boyutlu şekli ve bu dökümlerden incelemek amacıyla numune alınan üç bölgenin yeri

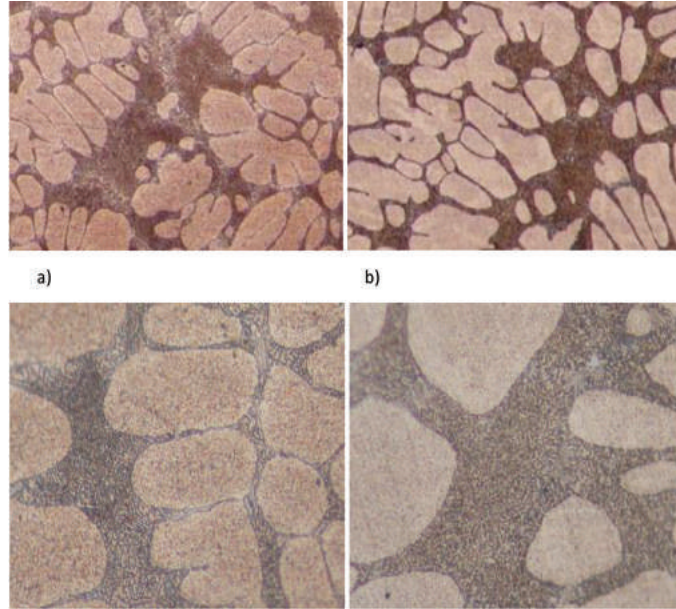


Şekil 2 Normal kum kalıba döküm parçasının 1 ve 3 bölgelerinden alınan tipik döküm yapıları. a) 1 bölgesi b) 3 bölgesinden alınan numuneler X50 büyütmede c) ve d) aynı bölgelerden alınan numunelerin X100 büyütmedeki yapıları ve oluşan iri silis kristalleri

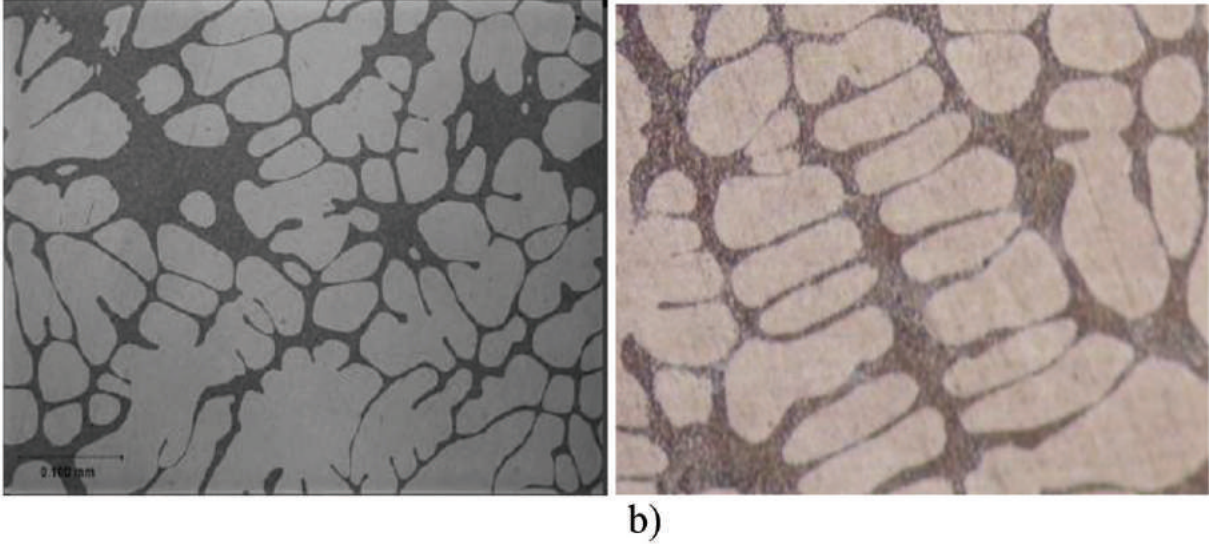
Genelde ortalama 60-70 micron seviyelerindedir. Kum erozyonuyla döküm yapılmış parçalardan alınan 2 v 3 bölgesinin numuneleri şekil 3 de verilmiştir. Bu mikro yapılar normal dökümle karşılaştırıldığında, dendrit boylarının oldukça küçüldüğü kolaylıkla fark edilebilir. Bu fark, su soğutmasına bağlı olarak, katılaşma süresinin azalması ve dolayısıyla kabalaşma süresinin azalmasından kaynaklanmaktadır. Bu yapılarda dendrit boyları 40-50 micron aralığına kadar küçüldüğü görülmüştür. Diğer yandan oluşan ötektik yapılardaki silis kristalleri arası mesafe oldukça küçüldüğü kolaylıkla fark edilebilir. Burada ilginç olan nokta, hiçbir Na ve Sr gibi ötektik modifiye edici kullanılmamasıdır. Pirinç çil kullanılarak ve kum erozyonuyla dökülmüş numunelerde ise, tipik mikro yapı şekil 4 de verildiği gibidir. Bu yapılardan da görüleceği gibi, ötektik yapı iyice küçülmüştür. Kum erozyonuyla dökümü tanıtmak amacıyla çeşitli makaleler yazılmıştır. Bu makalelerde, A356'nın tipik bir mikro yapısı verilir. Bu mikro yapı bu çalışmadan elde edilen mikro yapılarla karşılaştırılması şekil 5 te verilmiştir. Buradan da görüleceği gibi bu çalışmada kum erozyonuyla döküm yönteminden elde edilen mikroyapıyla, çeşitli makalelerde kullanılan mikro yapı arasında büyük bir benzerliğin olduğu hemen algılanabilmektedir.



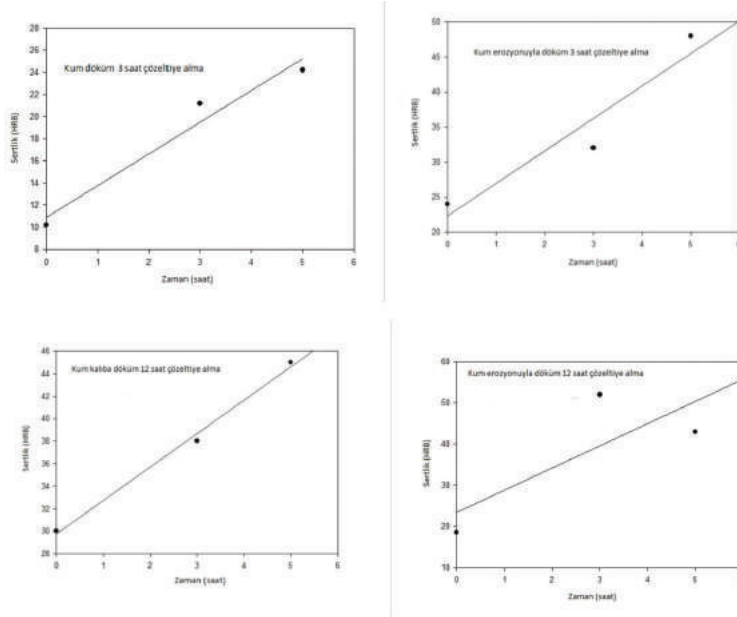
Şekil 3 Kum erozyonuyla dökülen parçanın 2 ve 3 bölgelerinden alınan tipik döküm yapıları. a) ve b) 2 bölgesi c) ve d) 3 bölgesinden alınan numuneler X50 büyütmede



Şekil 4 Kum erozyonuyla dökülen ve pirinç çil uygulanmış parçanın 2 ve 3 bölgelerinden alınan tipik döküm yapıları. a) ve b) 2 bölgesi X50 büyütmede c) ve d) 3 bölgesinden alınan numuneler X200 büyütmede



Şekil 5 Kum erozyonuyla dökülen ve pirinç çil uygulanmış döküm parçasından (b) alınan numunenin mikro yapısının, kum erozyonuyla döküm maklelerinde sıklıkla kullanılan ve aynı alaşım için referans olarak verilen tipik döküm yapılarıyla (a) karşılaştırılması



Şekil 6 Kum erozyonuyla dökülen ve normal kum kalıba dökülen numunelerin, 540 C de 3 ve 12 saatlik çözeltiye alma sürelerinden sonra, 155 C de yaşlanma ısıl işlemi ve bu sırada sertliğin zamanla değişimi

Referans döküm kitaplarında, A356 alaşımının kum kalıba ve metal kalıba dökümü için T6 ısıl işlem sıcaklığı ve süresi, 540 C ve kum için 6-12 saat aralığı, metal kalıp için ise 4-12 saat aralığı verilmektedir. Yaşlanma için ise 155 C ve 2-5 saat aralığı önerilmiştir. Bu prosedüre bağlı olarak, gerek normal kum dökümden alınan numuneler ve gerekse kum erozyonuyla döküm yönteminden alınan numuneler, 3 saat ile 12 saatlik bir çözeltiye alma işleminden sonra beş saate kadar yaşlandırılmışlardır. Bu sonuçlar şekil 6 da verilmiştir. Buradan da görüleceği gibi, kum erozyonuyla dökümde sertlik değerleri daha yüksek olmaktadır. Bu, dendrit boylarının küçük ve dolayısıyla magnezyum elementinin difüzyonunun daha hızlı olmasına bağlanabilir. Ancak, 12 saatlik çözeltiye alma işlemi sonrasında bu etkinin kısmen daha az olduğu gözlenmiştir. Çünkü, magnezyumun geri difüzyonu için yeterince süre oluşmakta ve ayrıca, oluşan silis kristalleri küreselleşmekte ve yapıya kısmen daha homojen dağılım göstermektedir. Referans kitaplarda, A356'nın yaşlanma sonrası sertlik değeri, 70-75 HB

olarak verilmektedir. Bu çalışmada elde edilen değerler, HRB den HB ye dönüştürüldüğünde, yaklaşık aynı sonuçların elde edildiği kolaylıkla görülebilir. Burada ilginç olan diğer bir noktada, bu dökümlerde hiçbir tane küçültücü ve ötektik modifiye edici element kullanılmamış olmasıdır.

4. SONUÇ

Bu çalışmada, A356 alaşımı, basit bir soğutma sistemi kullanılarak, kum erozyonu döküm tekniği ve normal kum kalıba döküm tekniği kullanılarak döküldüler. Elde edilen mikro yapılar karşılaştırıldı. Kum erozyonuyla döküm tekniğinde, hiç bir modifiye edici ve tane küçültücü element kullanılmadan, çok ince bir yapı elde edildi. Dökümü tabiken yapılan T6 ısıl işlemi de, kum erozyonuyla dökümde normal döküme göre daha yüksek sertlikler elde edildi.

5. REFERANSLAR

- 1) J. Campbell, "Concise Casting", AFS, Schaumburg, IL, USA, 2010, pp79-87
- 2) J. Campbell, "Complete Casting Handbook: Metal Casting Processes, Techniques and Design", Elsevier, Amsterdam, 2011, pp. 1019-1023
- 3) J. Campbell, "Complete Casting Handbook: Metal Casting Processes, Techniques and Design", Elsevier, Amsterdam, 2011, pp. 926-928
- 4) J. R. Grassi, G.A. Kennesaw, J. Campbell, M. West, G.W. Kuhlman, United States Patent, US 7 121 318 B2, 2006
- 5) J.R. Grassi, J. Campbell, G.W. Kuhlmann, United States Patent, US 7 165 600 B2, 2007
- 6) J.R. Grassi, J. Campbell, G.W. Kuhlmann, United States Patent, US 7 147 031, 2006
- 7) J.R. Grassi, J. Campbell, G.W. Kuhlmann, United States Patent, US 200 400 456 98, 2004
- 8) Mahi Sahoo, Sudhari Sahu, "Principles of Metal Casting", McGraw Hill, NY, USA, 2014, pp. 375
- 9) Grassi, J., Campbell, J., Hartlieb, M., Major, F., "Ablation Casting", Foundry Trade Journal, 184(3674), 2010, pp. 124-126.
- 10) Grassi, J., Campbell, J., Hartlieb, M., Major, F., "The Ablation Casting Process", Materials Science Forum, 618-619, 2009, pp.591-594
- 11) Bohlooli, V., Mahalli, S.M., Boutorabi, S.M., "Effect of Ablation Casting on Microstructure and Casting Properties of A356 Aluminium Casting Alloy", ACTA Metallurgica Sinica, 26(1), 2013, pp.85-91
- 12) E. Demirtaş, A. Türkeli, "A356 Alaşımının Ablation Dökümü ve Mikroyapısı", 7. Alüminyum Sempozyumu, İstanbul, Ekim, 2015, TMMOB, 2015, pp. 208-214

A356 ALAŞIMINDA VANADYUM VE BOR İLAVESİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ

Özkan KESEN² , Selim TEMEL² , Ahmet Can FİLİZ¹ , Özen GÜRSOY² ,
Eray ERZİ¹ , Derya DIŞPINAR²

¹ *İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Avcılar, İstanbul, Türkiye*

² *İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fakültesi, Maslak, İstanbul, Türkiye*

ÖZET

Bu çalışmada Alüminyum A356 alaşımında 730 °C'de kum ve kokil kalıplara yapılan dökümlerde, sıvı metale bor ve vanadyum elementleri, ağırlıkça %0,05 ve %0,1 oranında ilave edilmiştir. Soğuma hızına bağlı yapı farklılıklarını anlamak adına, farklı kalınlıklar içeren basamak numunesine metalografik analiz yapılmıştır. Mekanik dayanımı saptamak amacıyla numuneler, sertlik ve çekme testlerine tabi tutulmuştur. Bifilm İndeksi incelemek adına vakum altına katılma testi yapılmış ve bifilm index hesaplanmıştır. Yapılan analizler neticesinde sertlik ve çekme mukavemeti arttırılmış ve tane boyutlarında küçülme görülmüştür. Bunun yanında Wiebull analizlerince elde edilen sonuçlara göre kum kalıba dökülen numuneler daha stabil ve tekrarlanabilir sonuçlar vermiştir.

Anahtar kelimeler: Alüminyum, Bor, Vanadyum, Tane İnceltme, Bifilm

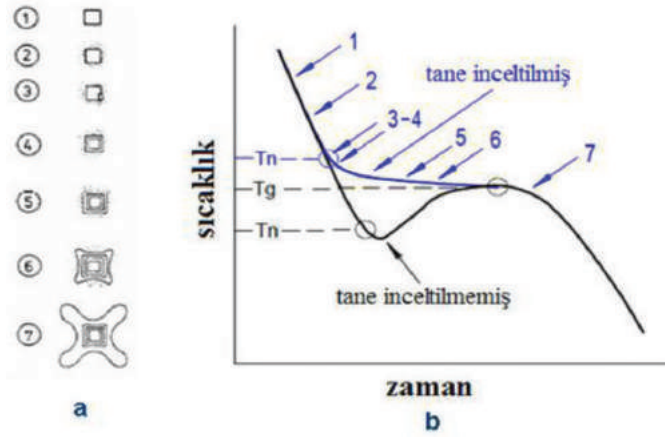
ABSTRACT

In this study, boron and vanadium elements were added 0.05 wt.% and 0.1 wt.% in the casting of sand and die moulds in aluminium A356 alloy at 730 ° C. In order to understand the microstructure differences due to cooling rate, metallographic analysis was performed on the step sample containing different thicknesses. The samples were subjected to hardness and tensile tests in order to determine the mechanical properties. Solidification test was performed under vacuum to determine liquid metal quality and bifilm index was calculated. Analyses showed that hardness and tensile strength were increased and grain size decreased. According to the results that obtained by Weibull analysis, sand casting samples gave more stable and reproducible results.

Keywords: Aluminium, Boron, Vanadium, Grain refinement, Bifilm

1. GİRİŞ

Otomobil ve havacılık sektöründe çokça kullanılan alüminyum alaşımlarını geliştirilmesinde en önemli nokta mukavemet artırma yöntemleridir. Bu çalışmada mukavemet arttırma yöntemlerinden en çok kullanılan tane inceltme yöntemi kullanılmış olup Bor ve Vanadyumun etkisi incelenmiştir. Alüminyum silisyum alaşımlarında tane inceltme mukavemet arttırma etkisinin yanında mikro yapı homojenliği de tane inceltme mekanizmasının etkilerindedir.



Şekil 1: (a)Alüminyumun TiAl₃ partiküllerinin çekirdeklenecek büyümesi sırasında geçirdiği aşamaların şematik gösterimi, (b)tane inceltici ilave edilmemiş ve tane inceltici ilave edilmiş sıvı alüminyumun soğuma eğrilerinin gösterimi. [1,2]

Şekil 1(a)'da şematize edilmiş görselde sıvı alüminyuma ilave edilen tane incelticinin çözünme sonrasında sıvı alüminyum içerisinde heterojen çekirdeklenme noktaları yaratması ve bu heterojen çekirdeklenmeye bağlı olarak büyüyen tane gösterilmiştir.

Şekil 1(b)'de tane inceltici ilave edilmiş ve ilave edilmemiş durumların soğuma diyagramları verilmiştir. Bu diyagramlarda da görüleceği gibi tane inceltici ilave edilmemiş durumda çekirdeğin kendiliğinden oluşması için çekirdeklenme sıcaklığı olan T_n sıcaklığının altına inmesi ve daha sonra oluşan çekirdeğin büyümesi sırasında bir aşırı soğuma durumu gözlemlenmektedir. Tane inceltici ilave edilmiş durumda ise çekirdeklenmenin T_g sıcaklığında gerçekleştiği ve bir aşırı soğuma durumu gözlemlenmediği görünmektedir.

Alüminyum alaşımlarında tane inceltme etkisi uzun yıllardır bilinmektedir. Endüstride yaygın olarak Al-Ti-B tane incelticiler kullanılmaktadır. Kullanılan tane incelticilerin mekanizması Al-Ti faz diyagramındaki %1,2 de oluşan peritektik reaksiyonun sonucunda TiAl₃ bileşiği çökler. Bu çökelen partiküller sıvı alüminyumdaki a-Al kristalleri için çekirdeklenme noktası oluşturur. Bu çekirdeklenme noktalarından dolayı yapıda homojen çekirdeklenme ve tane inceltme işlemi gerçekleşir [3, 4].

Alüminyum alaşımlarında titanyumdan farklı olarak bor ve vanadyumda tane inceltici olarak kullanılmaktadır. Yapılan araştırmalara göre Ti içermeyen B tanelerinin daha küresel yapılar oluşturduğu gözlemlenmiştir. Dişpanar tarafından yapılan çalışmalarda da bor tanelerinin alüminyum alaşımlarında daha küresel taneler oluşturduğu gözlemlenmiştir. [7, 9].

Yapılan literatür araştırmalarında vanadyumun 500ppm altında bir tane inceltici etkisi göstermediği belirtilmiştir bu durumda Al-V faz diyagramındaki peritektik noktadan kaynaklandığı düşünülmüştür. [10, 11].

H.Tahiri ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada ilave edilen Bor tane inceltme etkinliği olarak Titanyum'dan daha iyi olduğunu gözlemlenmiştir. [12].

Bu doğrultuda yapılan bu çalışmada A356 alaşımına ağırlıkça %0,05 ve %0,1 oranında Bor ve Vanadyum ilave edilerek kum kokil kalıplara dökümler yapılarak tane inceltme etkisi incelenmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada A356 alaşımı, AIV10 ve AIB3 master alaşımları kullanılmıştır. Kullanılan A356 alaşımının bileşimi Tablo 1'de verilmiştir.

| Alaşım | Si | Fe | Cu | Mn | Zn | Ti | Al |
|--------|-----|------|------|------|------|------|-------|
| A356 | 6,8 | 0,35 | 0,02 | 0,03 | 0,04 | 0,04 | Kalan |

Çizelge 1: A356 alaşımının kimyasal bileşimi (ağırlıkça %)

İlk olarak dökümün yapılacağı kum kalıplar için dörde bir oranın da reçine ve sertleştirici kullanılarak kum kalıplar yapılmıştır.

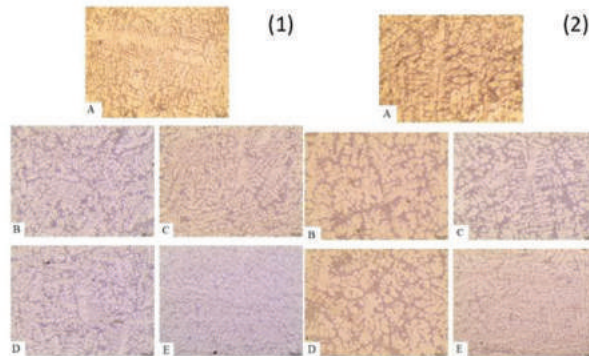
Külçeler uygun boyutlarda kesilerek rezistans fırında 730°C de ergitilmiştir. Yapılan ergitme işleminden sonra sıvı alüminyum içerisine AIV10 ve AIB3 master alaşımları %0,05 ve %0,1 oranında ilave edilmiştir. 10 dakikalık bir beklemeden sonra cüraf alınarak bir karıştırma işlemi gerçekleştirilmiş ve daha sonra 5 dakika daha beklenerek basamak, çekme ve RPT (Reduced Pressure Test) numuneleri üretilmiştir.

Kokil kalıba yapılan dökümlerde tane inceltici etkisinin daha iyi görülebilmesi için kalıplar 140°C ye ısıtılmış ve daha sonra dökümleri yapılmıştır.

Üretilen basamak numuneleri mikroyapı analizi için kesilmiş ve metalografik işlemleri yapılmış ve mikroyapı görüntüleri alınmıştır. Alınan mikroyapı görüntülerinden DAS (Birinci Dendrit Kol) ve SDAS (İkincil Dendrit Kol) değerleri ölçülmüştür. Bifilm index değerleri için üretilen RPT numuneleri kesme işleminde sonra zımparalanmış ve tarayıcı yardımıyla taranmıştır. Bu tarama işleminden sonra görüntü analizi kullanılarak bifilm index ölçülmüştür. Çekme mukavemeti için numuneler işlenmiş ve çekme işlemi ASTM E-80 standardına göre yapılmıştır.

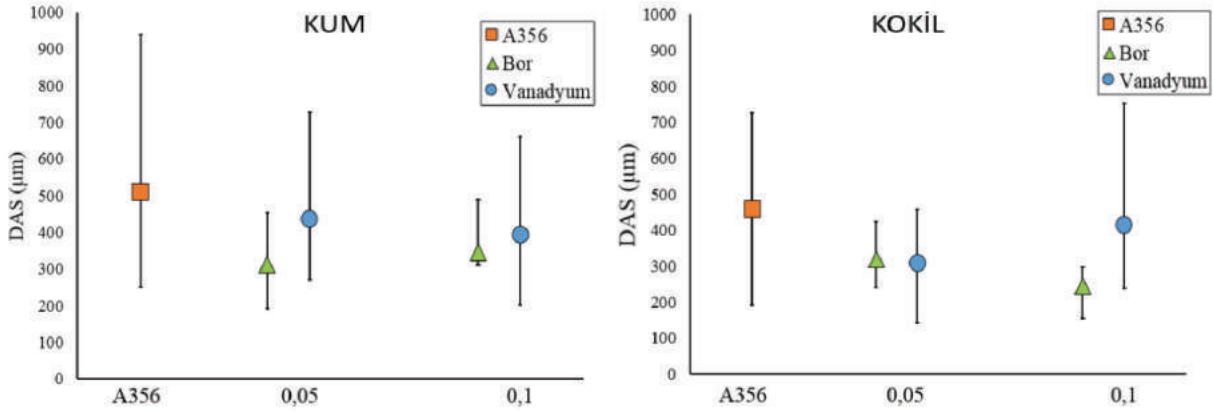
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Yapılan testlerin ve analizlerin sonuçları bu bölümde verilmiştir.



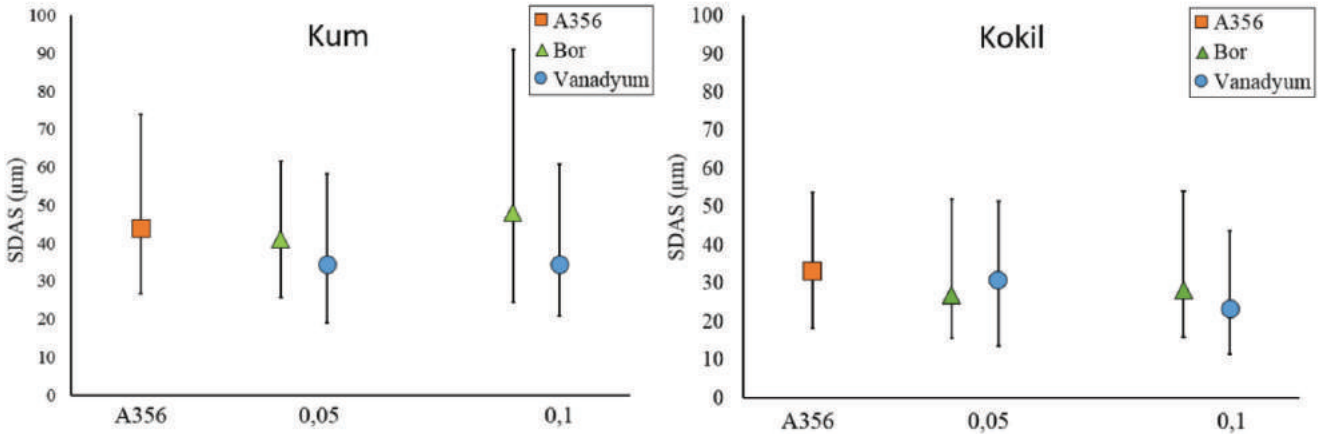
Şekil 2: Kokil Kalıba yapılmış döküm mikroyapı fotoğrafları (1), Kum Kalıba yapılmış döküm mikroyapı fotoğrafları (2) (A) A356, (B) %0,05 Bor ilaveli, (C) %0,05 Vanadyum ilaveli, (D) %0,1 Bor ilaveli, (E)%0,1 Vanadyum ilaveli.

Şekil 2’de verilen mikroyapıları verilen kum ve kokil dökümlerin mikroyapı analizleri yapılmış ve grafiksel olarak aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 3: Kum ve kokil kalıplara yapılan dökümlerin Birincil Dendrit Kol Uzunluğu (DAS)

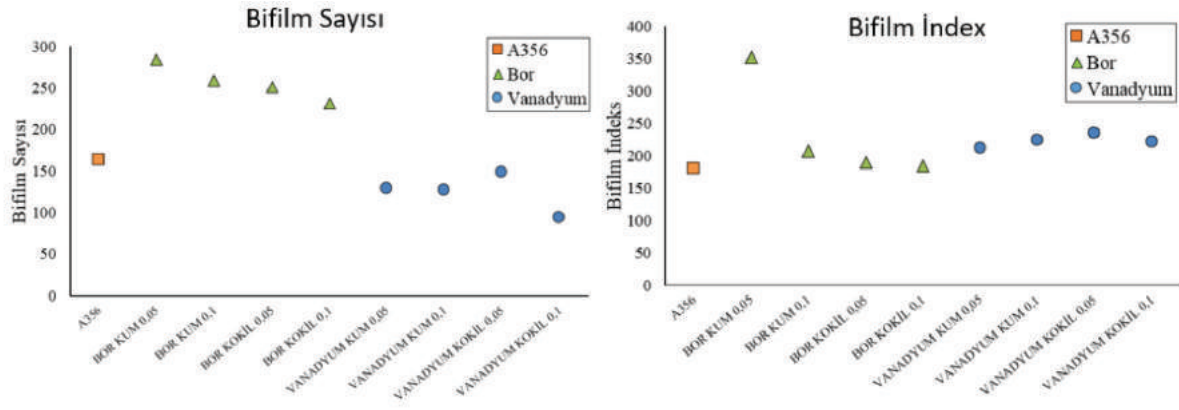
Şekil 3’te verilen DAS uzunlukları incelendiğinde her iki master ilavesi için tane inceltmenin başarılı olduğu gözlemlenmektedir. Ayrıca her iki master kendi arasında kıyaslandığında Al-3B master alaşımının Al-10V master alaşımına göre DAS uzunlukları üzerinde daha etkili olduğu gözlemlenmiştir. Kum ve kokil kalıba dökülen numunelerin İkincil Dendrit Kol Uzunlukları ölçülmüş ve aşağıdaki gibi grafikler halde gösterilmiştir.



Şekil 4: Kum ve kokil kalıplara yapılan dökümlerin İkincil Dendrit Kol Uzunluğu (SDAS)

Şekil 4’te gösterildiği üzere Kum kalıba yapılan dökümler kokil kalıba yapılan dökümlere göre daha yüksek değerler göstermiştir. Ayrıca Vanadyum eklenmiş numunelerde, soğuma hızına da bağlı olarak SDAS değerlerinin daha düşük olduğu görülebilir. Bu da göstermektedir ki Vanadyum, SDAS uzunlukları üzerinde daha etkilidir.

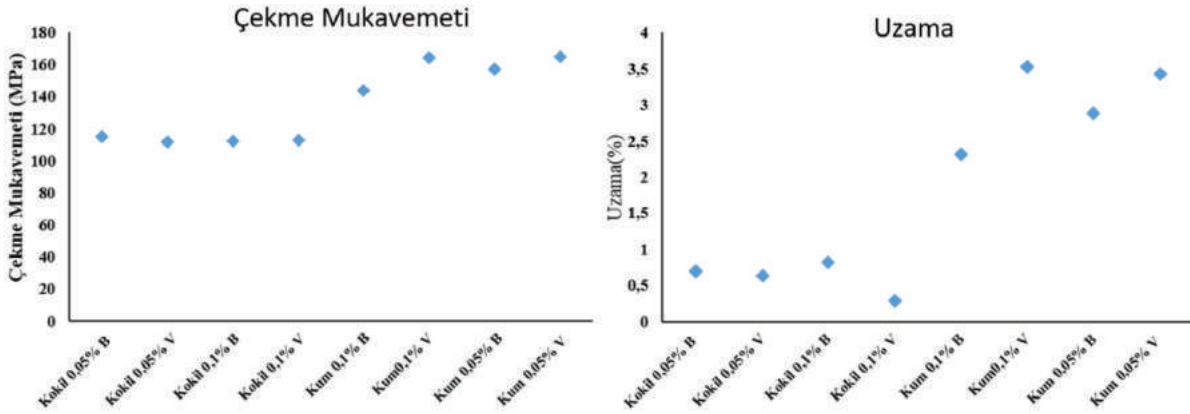
Sıvı metal kalitesini tayin etmek adına hesaplanan bifilm sayısı ve bifilm index değerleri ile oluşturulan grafikler aşağıda verilmiştir.



Şekil 5: Vanadyum ve Bor master alaşımı eklenen numunelerin Bifilm Sayısı ve Bifilm Index değerleri.

Şekil 5'te görülebileceği üzere elde edilen bifilm indexler birbirlerine yakinken bifilm sayıları birbirinden çok farklıdır. Bunun temel sebebi Vanadyum ve Bor arasındaki porozite boyutları ve şekillerinin farklı olmasıdır. Şekil 5'te ki grafiklere bakarak Vanadyum içeren numunelerin porozite boyutları Bor içeren numunelere göre daha yüksektir.

Kum ve kokil kalıba dökülerek oluşturulan çekme çubuklarından elde edilen değerlerden oluşturulan grafikler aşağıdaki gibidir.

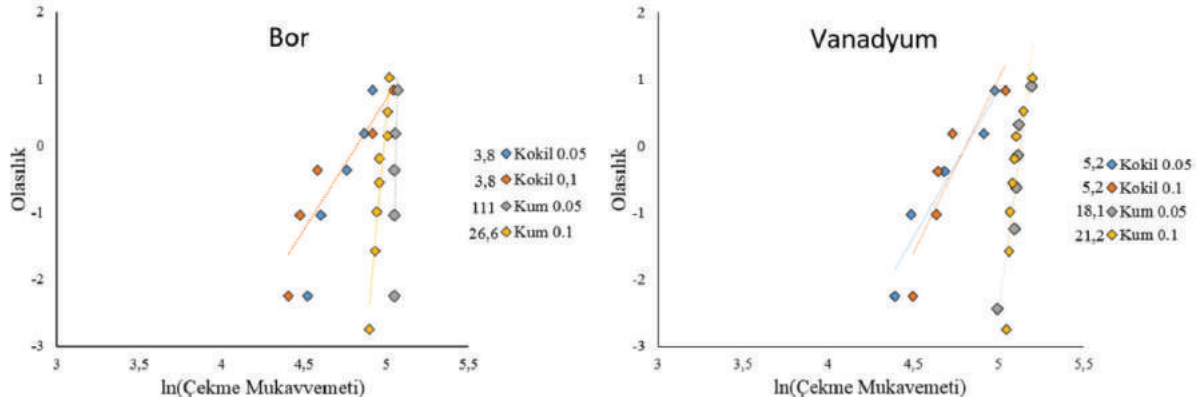


Şekil 6: Bor ve Vanadyum içeren numunelerin Çekme Mukavemeti ve Uzama değerleri

Şekil 6'da vanadyum ve bor içeren numuneler çekme mukavemetleri ve uzama değerlerine göre kıyaslanmıştır. Soğuma hızı daha yüksek olan kokil kalıba dökülen numunelerin beklenen aksine daha düşük mukavemet değerlerinde koptuğu, kum kalıba dökülen numunelerin ise daha yüksek mukavemet değerlerine ulaşabildiği söylenebilir. Ayrıca vanadyum ve bor karşılaştırıldığında vanadyumun çok düşük miktarda olsa da daha yüksek sonuçlar verdiği söylenebilir.

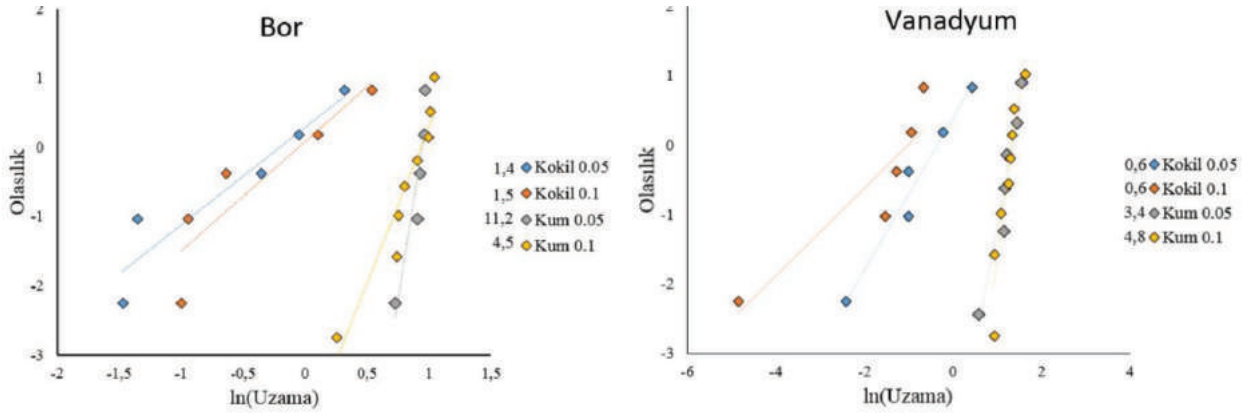
Uzama değerleri açısından yapılan karşılaştırmada, kokil kalıba dökülen numunelerin uzama değerlerinin kum kalıba dökülen numunelere göre çok düşük kaldığı görülebilir. Vanadyum ve bor karşılaştırıldığında ise kum kalıba yapılan dökümlerde Vanadyumun daha yüksek değerler verdiği görülebilmektedir.

Elde edilen çekme mukavemeti ve uzama değerlerini kıyaslamak adına Weibull grafiklerinden yararlanılmıştır. Çizilen grafikler aşağıdaki gibidir.



Şekil 7: Çekme mukavemeti değerlerinin Weibull grafikleri

Şekil 7'deki grafiklere bakıldığında kum kalıba yapılan dökümlerin kokil kalıba yapılan dökümlere göre çok daha stabil ve tekrarlanabilir sonuçlar verdiği görülmektedir. Bor ile vanadyum kıyaslandığında, kum ve kokil kalıba dökülen numunelerin çekme değerlerinin weibull değerleri arasındaki farkın borda daha yüksek olduğu görülebilir.



Şekil 8: Çekme çubuklarının uzama değerlerinin weibull grafikleri

Şekil 8'deki grafiklere bakıldığında kum kalıba dökülen numunelerin uzamalarının weibull değerleri kokil kalıba dökülenlerinkinden daha yüksektir. Bu da kum kalıba dökülen numunelerin daha stabil ve tekrarlanabilir olduğu söylenebilir. Uzama değerlerinden çıkarılan sonuçların çekme mukavemetinden elde edilen sonuçlarla benzerliği göze çarpmaktadır.

4. SONUÇLAR

A356 alaşımında bor ve vanadyumun etkileri arasındaki farka bakılırsa, borun DAS uzunlukları üzerinde, vanadyumun ise SDAS üzerinde daha etkili olduğu görülmüştür.

Vanadyumun daha yüksek çekme mukavemetine sahip olduğu (Ortalama 140 MPa) borun ise vanadyumun altında değerler gösterdiği (en fazla 130 MPa) görülmüştür. Bununla birlikte, Weibull istatistikleri bor içeren numunelerin daha tekrarlanabilir sonuçlar verdiğini göstermiştir. Elde edilen bulgulara göre kum kalıba dökülen numuneler hem daha yüksek mukavemet değerlerine erişmiş hem de daha stabil ve tekrarlanabilir sonuçlar vermiştir.

Bifilm indexleri yakın olan bor ve vanadyum içeren numunelerin bifilm sayılarının farklı olması

bifilmelerin boyut ve şekillerinin farklı olduğunu göstermiştir. Bor içeren numunelerin daha küçük ama daha fazla sayıda, vanadyum içeren numunelerin daha az sayıda ancak daha büyük poroziteler içerdiği çıkarımı yapılmıştır.

5. REFERANSLAR

- [1] Lee, Y.C., Dahle, A.K., StJohn, D. H., Hutt, J. E. C., 1999, "The effect of grain refinement and silicon content on grain formation in hypoeutectic Al-Si alloys", *Materials Science and Engineering*, A259, 43-52. [2] Baypınar, F., 2005, "GRAIN REFINING OF ALUMINIUM FOUNDRY ALLOYS USING AL5Ti1B", M.Sc. Thesis, Gazi University Institute of Science. [3] Çolak.M, Kayıkcı.R, 2009, "INVESTİGATION OF GRAIN REFINING EFFECT OF AlTiB MASTER ALLOY ADDITION ON ETIAL160 CASTING ALLOY", 5th International Advanced Technologies Symposium (IATS'09), 13-15 May 2009, Karabük, Turkey.
- [4] P. L.Schaffer,A. K.Dahle, 2005, "SETTLING BEHAVIOUR OF DIFFERENT GRAIN REFINERS IN ALUMINIUM", *Materials Science and Engineering: A*, Volumes 413-414, Pages 373-378.
- [5] J.R. Davis, 2013, "Light Metals and Alloys", ASM International, p372. [6] Tøndel, P. A., Halvorsen, G., & Arnberg, L. (1993). Grain refinement of hypoeutectic Al-Si foundry alloys by addition of boron containing silicon metal. *LIGHT METALS-WARRENDALE-*, 783-783.
- [7] Dişpınar D., Nordmark A., Voje J., Arnberg L., "Influence Of Hydrogen Content And Bifilm Index On Feeding Behaviour Of Al-7Si", 138th TMS Annual Meeting, USA, 15-19 Feb. 2009, pp.63-70.
- [8] Uludağ M., Çetin R., Dişpınar D., Tiryakioğlu M., "Effect of Degassing and Grain Refinement on Hot Tearing Tendency in Al8Si3Cu Alloy", *INTERNATIONAL JOURNAL OF METALCASTING*, vol.12, pp.589-595, 2018.
- [9] Uludağ M., Çetin R., Dişpınar D., Tiryakioğlu M., "Characterization of the Effect of Melt Treatments on Melt Quality in Al-7wt %Si-Mg Alloys", *METALS*, vol.7, 2017.
- [10] Johanson, Audun. Effect of Vanadium on Grain Refinement of Aluminium. MS thesis. Institutt for materialteknologi, 2013.
- [11] Küçük A.O., Gürsoy Ö., Erzi E., Dişpınar D., "Characterisation of properties of V, B, Mo, Sr additions on HPDC of A380 alloy", *High Tech Die Casting*, Venice, Italy, 22-23 June 2016, pp.1-10.
- [12] Tahiri, H., et al. "Effect of Sr-grain refining-Si interactions on the microstructural characteristics of Al-Si hypoeutectic alloys." *International Journal of Metalcasting* 12.2 (2018): 343-361.

7075 ALÜMİNYUM ALAŞIMININ YARI KATI ERİTME YÖNTEMİYLE BASINÇLI DÖKÜMÜ VE MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Ali KALKANLI, Cemre Metin POYRAZ

Orta Doğu Teknik Üniversitesi – Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Ankara, Türkiye

ÖZET

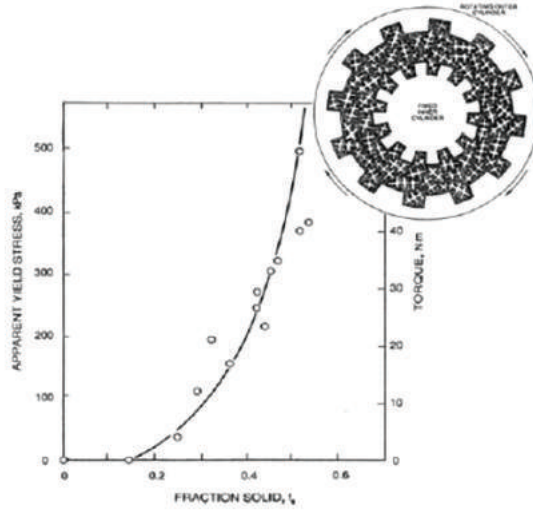
Yarı katı eritme yöntemi yıllar geçtikçe daha yoğun bir şekilde araştırılmakta ve bu alandaki ilgi artmaktadır. Yüksek mukavemetli alüminyum alaşımları uzun yıllardır katı hal şekillendirme yöntemleri olan ekstrüzyon, dövme ve hadde gibi yöntemlerle nihai ürün olarak üretilmektedir. Bunun en önemli nedeni de katı hal şekillendirme yöntemlerinin geleneksel döküm yöntemlerine kıyasla daha üstün mekanik özelliklere ve az sayıda iç yapı kusurlarına sahip olmasıdır. Bir çeşit yarı katı eritme yöntemi olan 'reodöküm' yöntemi aksine, endüstriyel ölçekte yüksek mukavemetli alüminyum alaşımı üretiminde gelecek vaadeden bir methodur. Kum kalıba döküm ve yüksek basınçlı döküm gibi konvensiyonel döküm yöntemlerinin aksine, reodöküm yöntemi ile gaz boşluğu ve çekinti döküm hatalarını asgari ölçekte tutup, yüksek mukavemetli alüminyum alaşımı üretilmesi mümkün olmaktadır. Bu nedenle reodöküm yöntemi, yüksek mukavemetli 7075 alüminyum alaşımı üretiminde, yüksek kalıp maliyeti ve malzeme kaybı sorunları içeren dövme, hadde ve ekstrüzyon gibi katı hal şekillendirme yöntemleri yerine alternatif olma potansiyeline sahiptir. Bu çalışmada bir yarı katı eritme metodu olan reodöküm yöntemi ile 7075 alaşımı üretilmesi ve titreşim frekansı ve sıcaklık gibi proses parametrelerinin mikroyapı, mekanik ve termal özellikler üzerindeki etkisinin gözlemlenmesi hedeflenmiştir. Böylece üç farklı mekanik titreşim altında ve dört farklı yarı katı eritme sıcaklığında dik pres altında reodöküm deneyleri gerçekleştirilmiştir. Üretilen numunelerin mekanik özellikleri test edilmiş ve iç yapıları farklı metotlarla karakterize edilmiştir. Çalışma sonunda, 7075 alaşımı için en uygun reodöküm koşulları belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yüksek Mukavemetli Alaşımlar, 7075 Alüminyum Alaşımı, Yarı Katı Eritme Yöntemi

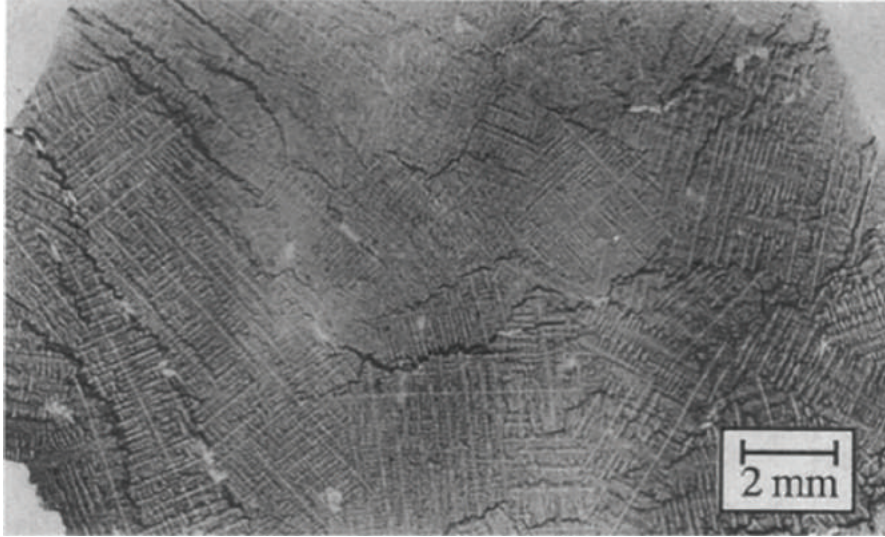
1.GİRİŞ

1. Semi-Solid Melting Method

Katılaşmakta olan metallerin reolojik davranışlarıyla ilgili ilk çalışmalarda metalin izotermal kayma mukavemeti ve metal içindeki katı miktarı arasındaki ilişki üstünde yoğunlaşmıştır. Bu amaca binaen yaygınca Pb-Sn (Kurşun-Kalay) alaşımları incelenmiş ve ölçülebilir bir mukavemetin %20 katı oranında (şekil 1'de görün) meydana geldiği gözlemlenmiştir. Mukavemet değeri %40 katı miktarda 200 kPa ulaşmakta ve bu aşamadan sonra mukavemette ani bir artış gözlenmektedir. Bu ani artışın nedeni ise katılaştan dendrit kollarının birbirini kesmesi ve daha fazla harekete izin vermemesidir. [3] Nihayetinde çok yüksek katı miktarlarına ulaşıldığında, metal içinde kalan az miktardaki sıvı termal ve mekanik yükleri kaldıramayarak çatlaklara ve sıcak yırtılmaların oluşmasına neden olmaktadır (şekil 2'de görün).

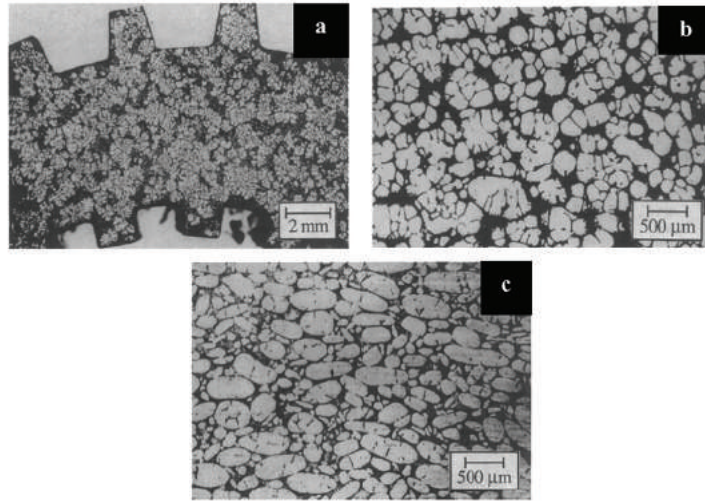


Şekil 1: Sn-15Pb alaşımının izotermal kayma mukavemeti değişimi [3]



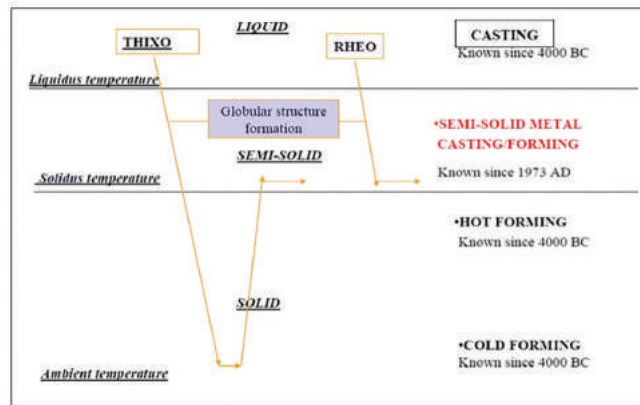
Şekil 2: Al-10Cu dökümündeki sıcak yırtılmaların rodyografı [4]

Bu yüzden yarı katı eritme yönteminin tarihi, Massachusetts Institute of Technology (MIT)'de Sn-Pb alaşımlarının sıcak yırtılma davranışı üzerine yapılan bir çalışmaya dayanmaktadır. [5] Bu çalışmada, izotermal yük yerine likidus sıcaklığının üstünden başlayarak devamlı yük vermenin, maksimum kayma mukavemetini oldukça düşürdüğü görülmüştür. Bununla beraber bu çalışmadaki en önemli çıkarım şöyle olmuştur; yarı katı eritme adını verdikleri bu yöntemle klasik dendrit morfolojisindeki döküm yapısından kurtularak, yuvarlak taneli bir iç yapı elde edilebilmektedir. Bu çalışmada Spencer açık bir şekilde katı miktarını ve uygulanan kuvveti arttırmanın, katılaşmayı dendrit formundan yuvarlak tane formuna dönüştürdüğünü göstermiştir (3.şekilde görün). [3] Böylece döküm hatalarının kaynağı olan dendritler yok olduğu için nihai üründe de daha az döküm hataları bulunacaktır.



Şekil 3: Devamlı soğutulan Sn-15Pb a) düşük yük ve düşük katı miktarında b) düşük yük ve yüksek katı miktarında c) yüksek yük ve yüksek katı miktarında [3]

Endüstriyel anlamda kullanılan, tiksotik ve reodöküm olmak üzere iki çeşit yarı katı eritme yöntemi bulunmaktadır (şekil 2' de görün). Tiksodökümde öncelikle katı haldeki biyetler yuvarlak tane yapısında üretilip daha sonra solidus sıcaklığının üstünde bir sıcaklıkta şekil verilir. Bunun yanı sıra reodökümde sıvı bir alaşım oluşturulup daha sonra likidus sıcaklığının altında basınç uygulanarak şekil verilir. [2] Reodöküm yöntemi endüstriyel açıdan daha pratik olduğundan ve yüksek miktarda sıvı içerdiğinden, bu çalışmada reodöküm yöntemiyle 7075 alaşımı üretilmiştir.



Şekil 4: Reo ve tiksotik döküm yöntemlerinin şematik illüstrasyonu [2]

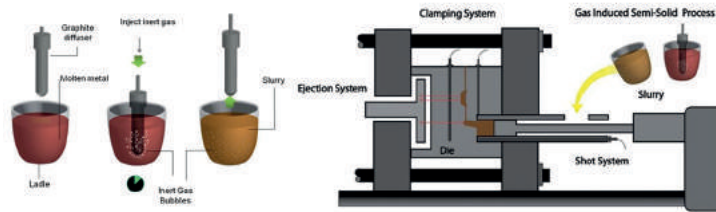
2. Reodöküm

Reodöküm yöntemi alüminyum ve çeşitli alaşımlarının yarı katı şekillendirilmesinde birçok küresel çapta firma tarafından yaklaşık 30 yıldır kullanılmaktadır (tablo 1'de görün). Rheocasting is a semi-solid melting method which has been used in the production of

| Process Name | Organization | Location | Technique Used to Generate Slurry |
|-------------------------------------|---------------------------------|--------------|-----------------------------------|
| Gibbs | Gibbs Die Casting | USA | Stirring |
| Hitachi | Hitachi Metals | Japan | Stirring |
| Honda | Honda | Japan | Stirring |
| Induction Heating/Stirring | CSIR | South Africa | Stirring |
| SEED Process | Alcan | Canada | Stirring |
| Slurry On Demand | Mercury Marine | USA | Stirring |
| Rheo-Diecasting | Brunel University | England | Stirring/Dendrite fragmentation |
| Semi-Solid Rheocasting | IdraPrince | USA | Stirring + numerous nuclei |
| ATM | CSIRO | Australia | Pressure Waves |
| Continuous Rheoconversion Process | Worcester Polytechnic Institute | USA | Dendrite fragmentation |
| Buhler | Buhler | Switzerland | Numerous nuclei |
| Controlled Diffusion Solidification | Worcester Polytechnic Institute | USA | Numerous nuclei |
| Direct Thermal Method | University College Dublin | Ireland | Numerous nuclei |
| New Rheocasting | Ube | Japan | Numerous nuclei |
| Sub-Liquidus Casting | THT Presses | USA | Numerous nuclei |

Tablo 1: Reodöküm yöntemini kullanan çeşitli küresel çapta firmalar [6]

Reodöküm yöntemi temelde iki aşamadan oluşur; başlangıçta istenilen kimyasal kompozisyondaki alaşım fırında eritilir ve eritme aşamasından sonra kısmi katı miktarda bir harç devamlı karıştırma (mekanik, ultrasonik ve manyetik) ile hazırlanarak basınçlı döküm yöntemiyle şekillendirilir (5. Şekilde görün).



Şekil 5: Gaz indüklenmiş karıştırma ile harç oluşturma ve harcın basınçlı dökümü [7]

3. Yüksek Mukavemetli 7075 Alaşımı

Alüminyum alaşımları yaygın bir şekilde otomotiv, havacılık ve savunma sanayilerinde kullanılmaktadır. 1000-7000 serileri alüminyum alaşımları geniş bir çeşitlilik sunmakta ve değişik metotlarıyla üretilebilmektedirler. Bütün alüminyum alaşımlarının arasında, yüksek mukavemeti ile 7000 serisi (özellikle 7075) alaşımları göze çarpmaktadır (2.tabloda görün). [1] 7075 alaşımının çekme mukavemeti dövme parçalar için 600 MPa değerine kadar çıkabilmektedir. Lakin bu yüksek değerler konvansiyonel döküm yöntemleriyle üretimde gözlemlenememektedir. Daha önce de belirtildiği gibi reodöküm yöntemi yüksek mukavemetli 7075 alaşımının dövme metotlarıyla üretimine alternatif olarak göze çarpmaktadır.

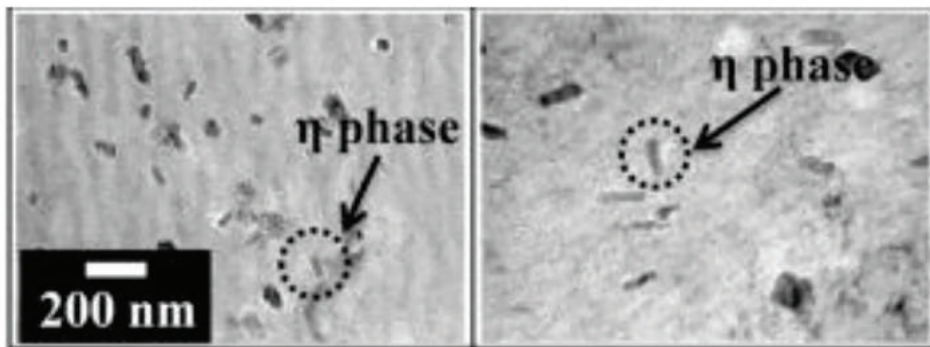
| Alüminyum Serisi | Kimyasal Kompozisyon | Güçlendirme Metodu | Mukavemet Aralığı (MPa) |
|------------------|-------------------------------|--------------------|-------------------------|
| 1XXX | Al | Soğuk İşlem | 70-175 |
| 2XXX | Al - Cu - Mg (1-2.5%Cu) | Isıl İşlem | 170-310 |
| 2XXX | Al - Cu - Mg - Si (3-6%Cu) | Isıl İşlem | 380-520 |
| 3XXX | Al - Mn -Mg | Soğuk İşlem | 140-280 |
| 4XXX | Al - Si | Soğuk İşlem | 105-350 |
| 5XXX | Al - Mg (1-2.5% Mg) | Soğuk İşlem | 140-280 |
| 5XXX | Al - Mg -Mn (3-6%Mg) | Soğuk İşlem | 280-380 |
| 6XXX | Al - Mg - Si | Isıl İşlem | 150-380 |
| 7XXX | Al - Zn - Mg | Isıl İşlem | 380-520 |
| 7XXX | Al - Zn - Mg - Cu | Isıl İşlem | 520-620 |
| 8XXX | Al - Li - Cu - Mg | Isıl İşlem | 280-560 |

Tablo 2: Alüminyum alaşımlarının kimyasal kompozisyonları ve çekme mukavemetleri [1]

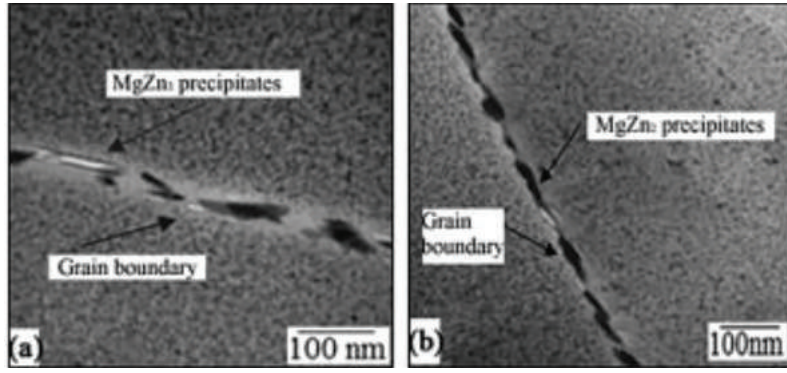
| Alloy | Si | Fe | Cu | Mn | Mg | Cr | Zn | Ti | Al |
|-------|------|------|---------|------|---------|-----------|---------|------|-----------|
| 7075 | 0.40 | 0.50 | 1.2-2.0 | 0.30 | 2.1-2.9 | 0.18-0.28 | 5.1-6.1 | 0.20 | remaining |

Tablo 3: 7075 alaşımın kimyasal kompozisyon aralığı [1]

7075 alaşımında ana alaşım elementleri %1.2-2.0 bakır, 2.1-2.9% magnezyum ve 5.1-6.1% çinkodur. [1] 7075 alaşımı için ana güçlendirme metodu ise çökeltme sertleştirmesidir. Bu üç ana alaşım elementi (bakır, magnezyum ve çinko) ısıl işlem ile çok küçük çökelti oluşturarak, alaşıma yüksek mukavemetini sağlamaktadır. Al₂Cu ve MgZn₂ çökelti bunların başlıcalarıdır. Aslında MgZn₂ çökeltisi nano metre boyutlarında çökelti olduğundan, literatürde 7075 alaşımına mukavemetini veren ana etken olarak görülmektedir, eğer homojen bir şekilde iç yapıda dağılırsa.



Şekil 6: Dövülmüş ve ısıl işlem görmüş 7075 alaşımının TEM altında mikryapısı [8]

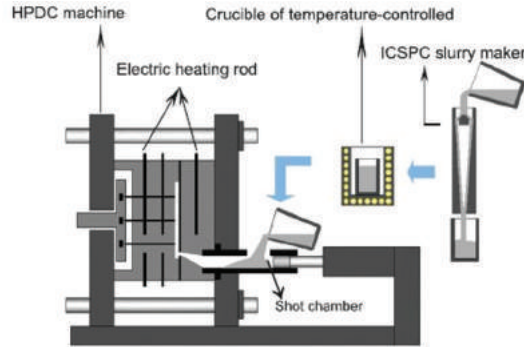


Şekil 7: Kaynaklanmış 7075 alaşımın TEM altında mikroyapısı [9]

4. 7075 Alaşımının Reodökümü

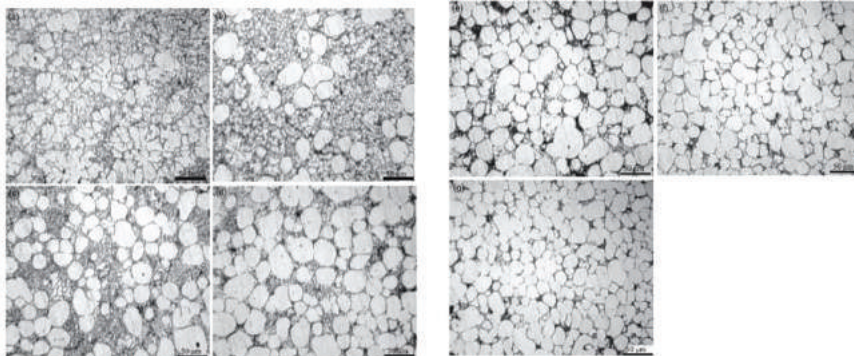
7075 alaşımın reodökümü ile ilgili çalışmalar gün geçtikçe önem kazanmakta ve bu alanda daha fazla çalışma gözlemlenmektedir. Bu çalışmaların büyük bölümü, kısmi katı harç oluşturmada mekanik ve ultrasonik karıştırma yöntemlerini kullanmış ve son şekillendirme aşamasında yüksek basınçlı döküm metodunu tercih etmişlerdir.

7075 alaşımın reodökümü ile ilgili bir çalışmada, Yang [10] ve çalışma arkadaşları ters koni şeklinde döküm kanalı adını verdikleri bir yöntemle kısmi katı harç oluşturarak, bu harcı yüksek basınçlı döküm yöntemiyle farklı sıcaklık ve basınçlarda şekillendirmişlerdir (şekil 8'de görün).



Şekil 8: Ters koni şeklinde döküm kanalı yönteminin şematik illüstrasyonu [10]

Toplamda dört farklı proses sıcaklığı ve üç farklı enjeksiyon basıncı kullanarak reodöküm deneyleri gerçekleştirilmiştir. Reodöküm numunelerine ek olarak konvensiyonel basınçlı döküm yöntemiyle de numune üretilmiştir.



Şekil 9: Farklı proses parametreleri ile üretilmiş 7075 alaşımı numuneler; [10]

a) Konvensiyonel basınçlı döküm (basınç=60MPa) b) Reodöküm 1 (630oC proses sıcaklığı, 60MPa) c) Reodöküm 2 (628oC proses sıcaklığı, 60MPa) d) Reodöküm 3 (626oC proses sıcaklığı, 60MPa) e) Reodöküm 4 (624oC proses sıcaklığı, 60MPa) f) Reodöküm 5 (626oC proses sıcaklığı, 90MPa) g) Reodöküm 6 (628oC proses sıcaklığı, 120MPa)

Bu çalışmada üretilen numunelerin optik mikroskop altındaki iç yapıları şekil 9’da görülebilir. İç yapı analizine göre proses sıcaklığındaki düşüş ve enjeksiyon basıncındaki artış optimum, dendrit morjolojisinin tamamen bozulmasına ve başarılı bir şekilde ince yuvarlak taneli iç yapı elde edilmesine neden olmaktadır. Sonuçlar göstermiştir ki; ince taneli ve yuvarlağımsı iç yapı elde etmek için katı harç içindeki katı miktarı kritik değerlerin üstüne çıkmamalı ve enjeksiyon basıncının değeri en uygun değerde kullanılmalıdır.

| Proces | Dök. Sıcaklık | Proces Sıcaklık | UTS (MPa) | | Uzama (%) | |
|-------------------------------------|---------------|-----------------|-----------|------------|-----------|------------|
| | | | Döküm | Isıl İşlem | Döküm | Isıl İşlem |
| Konvensiyonel Basınçlı Döküm | 660 | | 228-243 | | 5.55 | |
| | | 630 | 286-297 | 460-474 | 3.05 | 2.55 |
| | | 628 | 288-301 | 462-481 | 2.85 | 2.20 |
| Reodöküm | 660 | 626 | 293-299 | 462-490 | 1.65 | 1.20 |
| | | 624 | 275-294 | 435-453 | 1.05 | 0.75 |

Tablo 4: Farklı döküm parametreleri ile üretilmiş reodöküm 7075 alaşımı numunelerin mekanik özellikleri [10]

Tablo 4’de bu çalışmada üretilen numunelerin ısıl işlem öncesi ve sonrası mekanik özellikleri görülmektedir. Ulaşılmış maksimum çekme mukavemeti 489 MPa olmakla beraber en uygun proses parametreleri 626oC proses sıcaklığı ve 90 MPa enjeksiyon basıncı olmuştur.

2.DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1 7075 alaşımın basınçlı dökümü

Bu çalışmada 7075 alaşımının basınç altında yarı katı şekillendirilmesi üç aşamadan oluşmuştur. Öncelikle 7075 alaşımı indüksiyon fırınında eritilmiştir (25 kg çelik kapasiteli indüksiyon ocağı, şekil 10’da görün). Daha sonra sıvı alaşıma mekanik titreşim uygulanarak kısmi katı bir harç oluşturulmuştur (mekanik titreşim cihazını şekil 11’de görebilirsiniz). Ayrıca sıcaklık kontrolü için mekanik titreşim cihazının karıştırıcısına bağlı bir K-tipi termokapl bulunmaktadır. İstenilen sıcaklık ve frekansta hazırlanan kısmi katı harç daha sonrasında dik pres makinasına kepçe yardımıyla taşınmış ve dökülmüştür. Dökümü takiben yaklaşık 100 tonluk bir kuvvetle harç şekillendirilmiştir.

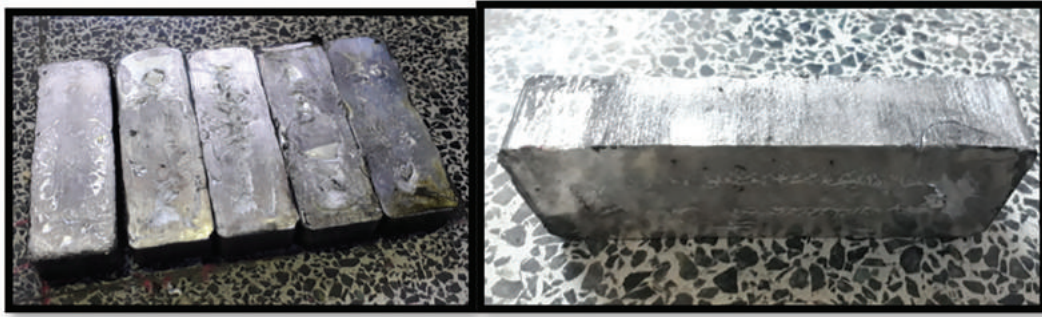


Şekil 10: 25 kg çelik kapasiteli indüksiyon ocağı (solda), titreşim cihazı ve termal analiz kurulumu (sağda)



Şekil 11: Reodöküm deneylerinde kullanılan dik basınçlı pres

Deneylerin sonunda üç farklı sıcaklıkta ve üç farklı titreşim frekansında dikdörtgen prizma şeklinde numunler üretilmiş ve bu numunelerden ASTM B557M-10 standartlarına göre çekme numuneleri işlenmiştir.



Şekil 12: Yarı katı reodökümle üretilmiş 7075 alaşım numuneler

| Titreşim Frekansı (hz) | Döküm/Proses Sıcaklığı (°C) | | | |
|------------------------|-----------------------------|----------|----------|-----------|
| | 670 | 635 | 630 | 625 |
| Ttitreşimsiz | Döküm #1 | - | - | |
| 35 hz | - | Döküm #2 | Döküm #3 | Döküm #4 |
| 25 hz | - | Döküm #5 | Döküm #6 | Döküm #7 |
| 15 hz | - | Döküm #8 | Döküm #9 | Döküm #10 |

Tablo 5. Reodöküm deney parametreleri (titreşim frekansı ve proses sıcaklığı)

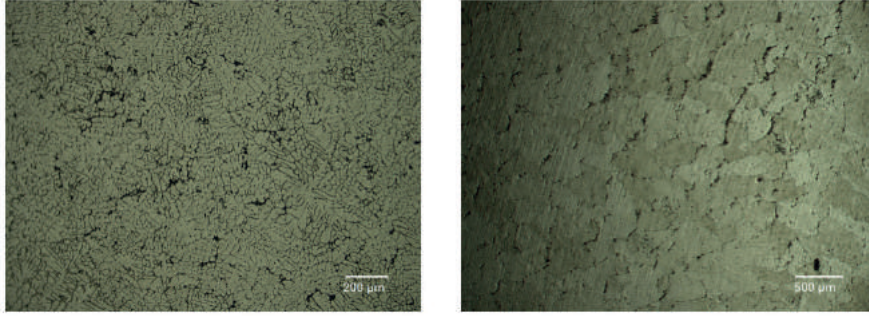


Şekil 13: ASTM standartlarına göre işlenmiş çekme testi numunesi

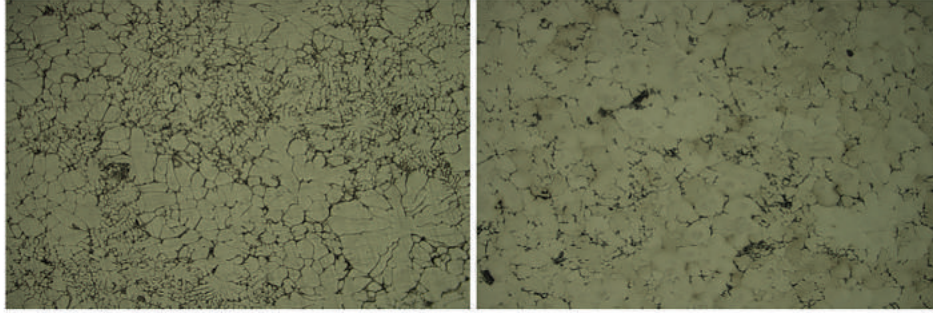
T6 ısıt işemi 7075 alaşıımı için için belirlenmiş standard bir ısıt işlemdir ve belirli birkaç aşamadan oluşmaktadır. Bu çalışmada da öncelikle çekme test numunelerine 475oC' de 1.5 saat homojenizasyon ısıt işlemleri uygulanmış ve ardından 120oC' de 24 saat yaşlandırma işlemleri uygulanmıştır. Hem ham-döküm numuneler hem de ısıt işlemleri numunelerinin mekanik testleri ve iç yapı analizleri gerçekleştirilmiştir.

3.SONUÇLAR

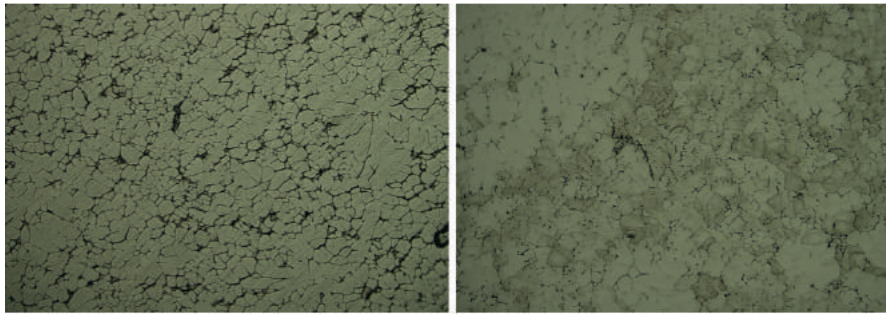
3.1 İç Yapı Analizi



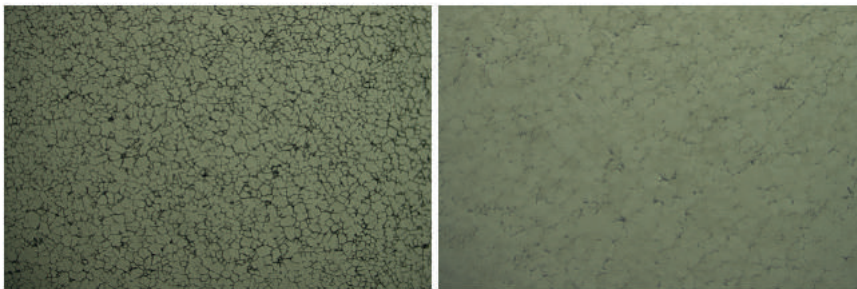
Şekil 14: Optik mikroskop altında çekilmiş iç yapılar; konvansiyonel basınçlı döküm (ısıt işlemsiz ve ısıt işlemleri numune, 200x)



Şekil 15: Optik mikroskop altında çekilmiş iç yapılar; 25Hz frekansta 625oC reodöküm (ısıt işlemsiz ve ısıt işlemleri numune, 200x)

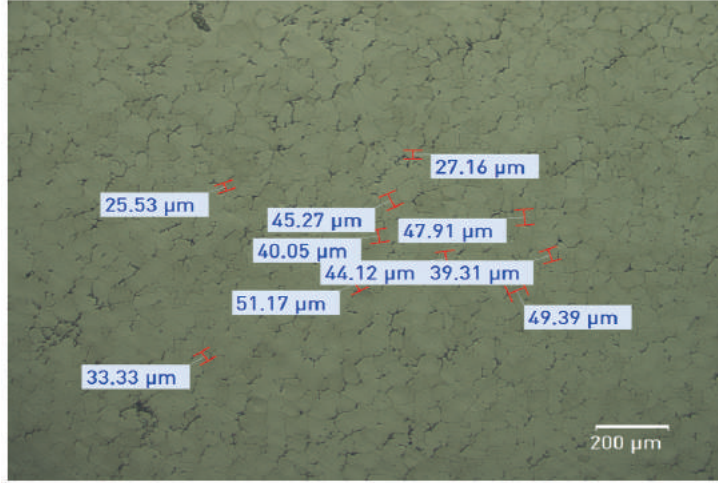


Şekil 16: Optik mikroskop altında çekilmiş iç yapılar; 25Hz frekansta 630oC reodöküm (ısıt işlemsiz ve ısıt işlemleri numune, 200x)

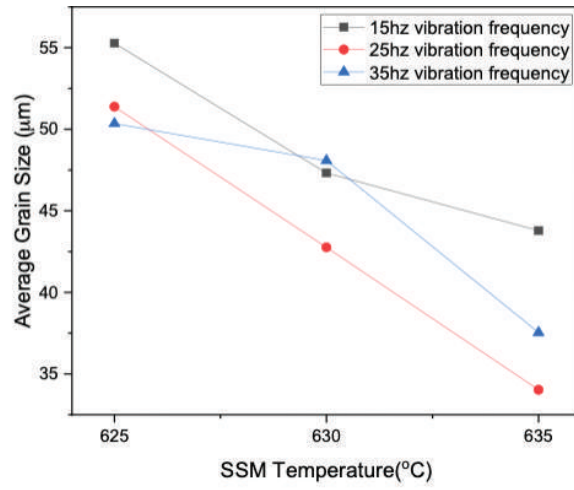


Şekil 17: Optik mikroskop altında çekilmiş iç yapılar; 25Hz frekansta 635oC reodöküm (ısıt işlemsiz ve ısıt işlemleri numune, 200x)

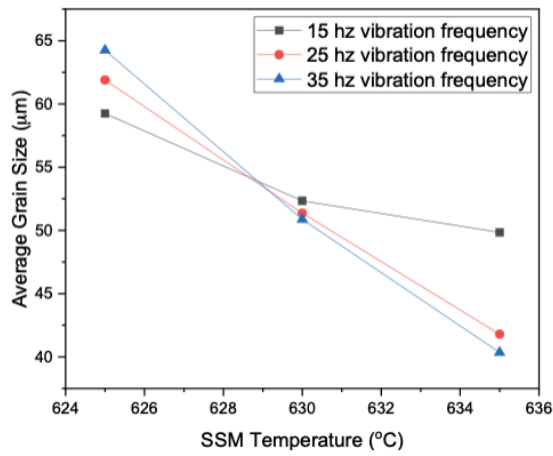
3.2 Tane Boyutu Ölçümü



Şekil 18: Reodöküm numunelerin örnek tane boyutu ölçümü

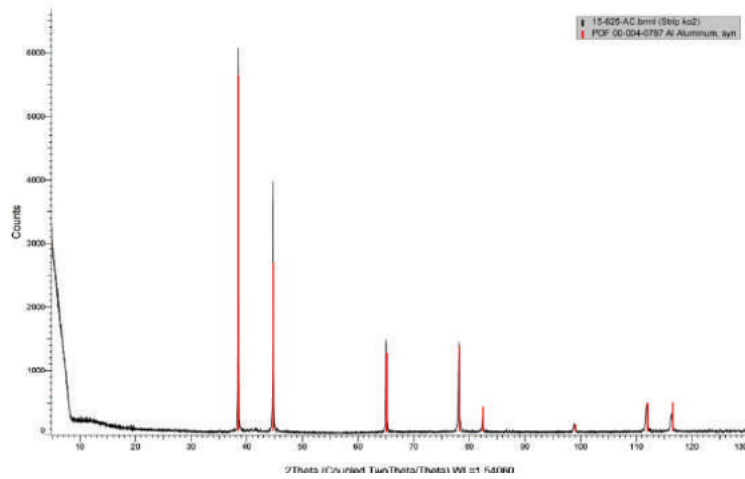


Şekil 19: Ortalama tane boyutunun proses sıcaklığına bağlı değişimi (ısıls işlemsiz numuneler için)

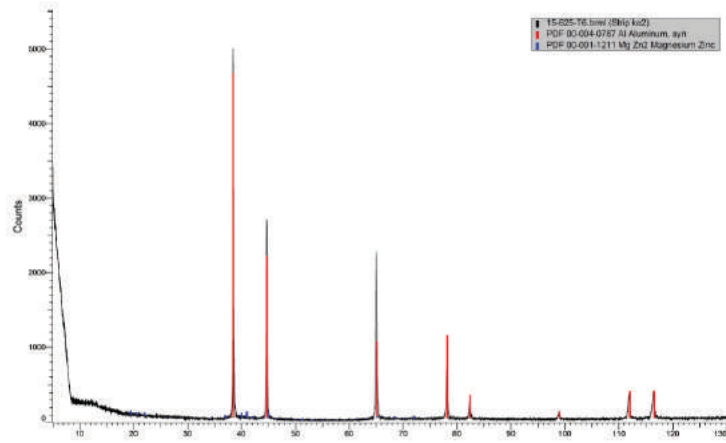


Şekil 20: Ortalama tane boyutunun proses sıcaklığına bağlı değişimi (ısıls işlemlili numuneler için)

3.3 X-Ray Kırınım Testi Sonuçları

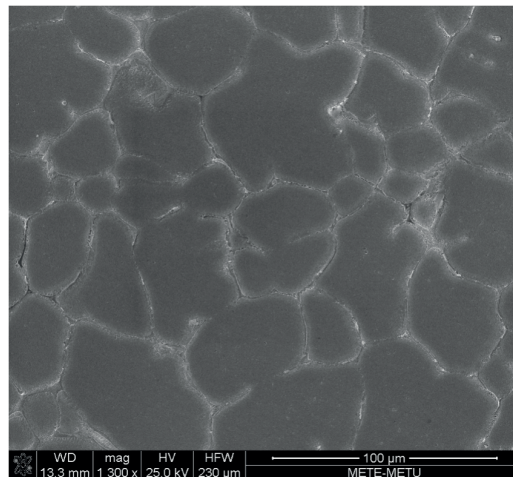


Şekil 21: Reodökümle üretilmiş 7075 alaşımının XRD sonuçları (ısıt işlemsiz numune)

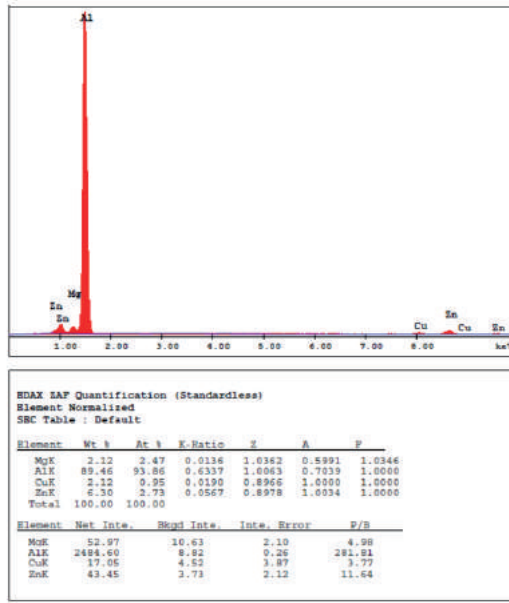


Şekil 22: Reodökümle üretilmiş 7075 alaşımının XRD sonuçları (T6-ısıt işlemlı numune)

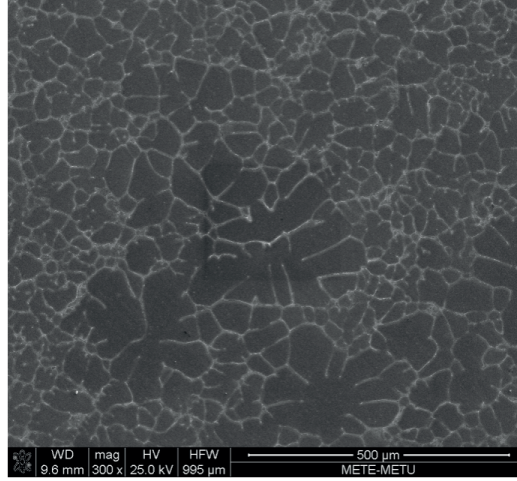
3.4 Taramalı Elektron Mikroskop Analizi



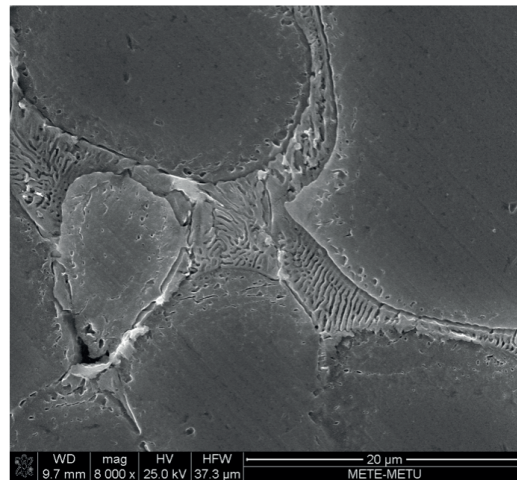
Şekil 23: Reodökümle 35hz ve 635oC' de üretilmiş 7075 alaşımı yuvarlağımsı iç yapı



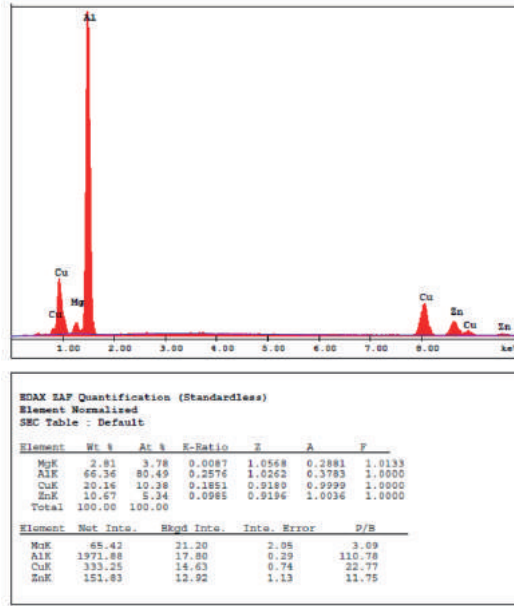
Şekil 24: Yuvarlak tanelerin EDS kimyasal analiz sonuçları



Şekil 25: 35hz 625oC'de üretilmiş numunedeki dendritik ve yuvarlak taneli iç yapı

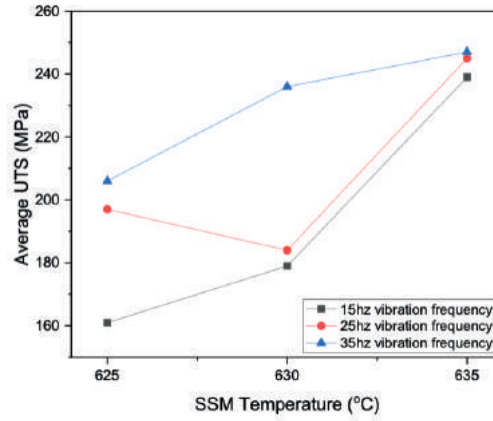


Şekil 26: 35hz 625oC'de üretilmiş numunedeki tane arası ötektik fazı

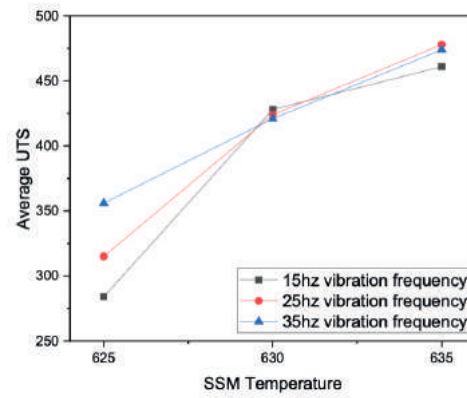


Şekil 27: Tane arası ötektik fazının EDS kimyasal analiz sonuçları

3.5 Mekanik Test Sonuçları



Şekil 28: Reodöküm numunelerde ortalama çekme mukavemetinin proses sıcaklığıyla değişimi (ısıtılmış numuneler için)



Şekil 29: Reodöküm numunelerde ortalama çekme mukavemetinin proses sıcaklığıyla değişimi (T6-ısıtılmış numuneler için)

4.TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada yüksek mukavemetli ve yuvarlak, ince taneli iç yapıda 7075 alaşı reodöküm yöntemiyle üretilmiştir. Reodöküm deneyleri 625, 630 ve 635oC proses sıcaklıklarında ve 15,25 ve 35 Hz. Titreşim frekansında başarıyla gerçekleştirilmiştir. Proses sıcaklığı düştükçe tane boyunda artış ve mekanik özelliklerde düşüş gözlemlenmiştir. Maksimum çekme mukavemeti 25 Hz. Titreşim frekansında ve 635oC döküm sıcaklığında gözlemlenmiştir. Bu bulgular literatür verileriyle çelişiyor olarak görülmesine karşın, en uygun döküm sıcaklığı aslında ölçülen 635oC' den 5-6oC daha düşüktür. Bunun nedeni ise kısmi katı harcı taşıma esnasında meydana gelen ısı kaybıdır. XRD ve SEM sonuçlarına göre 7075 alaşımı için çok önemli rol oynayan MgZn₂ çökeltisi çok düşük yoğunlukta gözlemlenmiştir. Bu çalışmadaki en önemli bulgulardan biri de şudur; proses sıcaklığı kritik değerlerin altına düştüğünde 7075 alaşımı içinde dendritlerin ve yuvarlak tanelerin bir arada bulunduğu ikili bir yapı gözlemlenmektedir.

Özetle bu çalışmada 40mikron tane boyutuna ve 483 MPa çekme mukavemetine ulaşılabilir. 25 Hz. titreşim frekansı ve 635oC proses sıcaklığı en uygun reodöküm parametreleri olarak belirlendi.

5.KAYNAKÇA

- [1] Baucio, M., "ASM metals reference book. Materials Park", OH: ASM International, 1993
- [2] Govender G, Ivanchev L, Rapdasa, "Near Net Shape Forming Using Semi-Solid Melting Metal Forming",2005
- [3] Flemings, M. C. (1991). "Behavior of metal alloys in the semisolid state". Metallurgical Transactions A, 22(5), 1991, pp.957-981
- [4] R. A. Rosenberg, M. C Flemings, and H. F. Taylor; "Foundrymen's Soc. ", Trans. Am., Vol. 28, 1960, pp.518-28
- [5] D. B Spencer: "Ph.D. Thesis", Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, 1971
- [6] S. P. Midson, "A Comparison of Thixocasting and Rheocasting", World Foundry Congress, 2006
- [7] Semi-solid Die Casting using the Gas Induced Semi-Solid (GISS) Technique. (n.d.). Retrieved November 02, 2017, from <http://rdo.psu.ac.th/en/news/2014Features-21.php>
- [8] Aoba, T., Kobayashi, M., & Miura, H., "Effects of aging on mechanical properties and microstructure of multi-directionally forged 7075 aluminum alloy", Materials Science and Engineering: A,700, pp 220-225, 2017
- [9] Kumar, P. V., Reddy, G. M., & Rao, K. S., "Microstructure, Mechanical and Corrosion Behavior of High Strength AA7075 Aluminum Alloy Friction Stir Welds - Effect Of Post Weld Heat Treatment", Defense Technology,11(4), pp 362-369, 2015
- [10] Yang, B., & Mao, W., "Microstructure Characteristics and Mechanical Properties of Rheocasting 7075 Aluminum Alloy", China Foundry, 20., 2010
- [11] Curle, U., "Semi-solid near-net shape rheocasting of heat treatable wrought aluminum alloys". Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 20(9), pp 1719-1724, 2010
- [12] ASTM Standard B5573M-10, " Test Methods for Tension Testing Wrought and Cast Aluminum- and Magnesium-Alloy Products (Metric)," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2003

YÜKSEK BASINÇLI ALÜMİNYUM DÖKÜM İLE ÜRETİLEN ÜRÜN KALİTESİNE ALTi5B1 VE ALB3 ÖN ALAŞIMININ ETKİSİ

Yekta Berk SÜSLÜ*, Mehmet Sıraç ACAR*, Onur ÖZCAN*, Muammer MUTLU*, Özgül KELEŞ**

**Mita Kalıp ve Döküm Sanayii A.Ş., İstanbul, Türkiye*

***İstanbul Teknik Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye*

ÖZET

Yüksek basınçlı döküm; araçlarda motor, şanzıman ve fren aksam parçaları gibi yük altında çalışan, sızdırmazlığın istendiği parçaların üretiminde kullanılan önemli bir döküm yöntemidir. Yüksek basınçlı döküm prosesinde, ergiyik metalin kalıba enjekte edilmesi sırasında oluşan, katılaşma sonrasında porozite ve çekinti gibi mekanik özellikleri olumsuz etkileyen hatalar görülebilmektedir. Bu çalışmada, döküm hatalarının önlenmesine yönelik tane incelticiler kullanılmıştır. Yoğrulabilir alaşımların rafinasyonunda yaygın kullanılan ALTi5B1 ve döküm alaşımlarına daha uygun olduğu düşünülen ALB3 ön alaşımlarının tane inceltme performansları, ALSi12Cu1(Fe) alaşımının yüksek basınçlı dökümünde gözlemlenmiştir. Tane inceltici alaşımın etkinliğinin belirlenebilmesi için soğuk parmak testi, radyografik analiz, makro ve mikroyapı analizleri, sertlik testi ve sızdırmazlık testi uygulanmıştır.

Anahtar kelimeler: Yüksek basınçlı döküm, porozite, çekinti, ALTi5B1, ALB3

ABSTRACT

High pressure die casting technique is an essential method being used for producing parts which work on load and sealing required as engine, gearbox and brake system parts. In HPDC process, during melt injection and solidification, porosity and shrinkage defects can be seen which affect mechanical properties negatively. In this study, grain refiners are used for preventing casting defects. Grain refinement performance of ALTi5B1 which is applied widely during refinement of wrought alloys and ALB3 which is thought to be more suitable for cast alloys are observed in HPDC of ALSi12Cu1(Fe). Cold finger test for specifying efficiency of grain refiner, radiographic analysis, macro and microstructure analyses, hardness test and leakage test are applied.

Keywords: High pressure die casting, porosity, shrinkage, ALTi5B1, ALB3

1. GİRİŞ

Al-Si alaşımları, başta otomotiv parçaları olmak üzere yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Ergiyik haldeki yüksek akıcılıkları, döküm teknikleri ile şekillendirilmelerinde büyük avantaj sağlamaktadır. Al-Si-Cu ve Al-Si-Mg alaşımlarının dahil olduğu 43XXX, 46XXX ve 47XXX (EN 1780) yüksek basınçlı döküm alaşım serileri, alüminyum döküm alaşımları içerisinde en çok üretilen ve kullanılan olma özelliğini taşımaktadır [1]. Otomotiv sektöründe kullanılan ve bu tip alaşımlardan üretilen parçalar çoğunlukla gerilmelere maruz kalmaktadır, sızdırmazlığın istendiği kritik parçalar da mevcuttur. Döküm parçaları mekanik gerilmelere ve sızdırmazlığa karşı dirençli kılmanın yolu homojen bir mikroyapı elde etmek ve dökümden kaynaklı hataları en aza indirebilmektir [2]. Özellikle yüksek basınçlı döküm tekniği ile üretilen parçalarda ergiyik hazırlama, enjeksiyon süreci ve katılaşma koşullarına bağlı olarak kritik porozite ve çekinti hataları görülebilmektedir. Yüksek basınçlı dökümde mikroyapı, göreceli olarak daha hızlı bir soğuma sağlandığı için kokil döküm mikroyapısına göre daha ince olmakla birlikte, kesit farklarına ve kalıbın sıcak/soğuk bölgelerine göre değişkenlik gösterebilmektedir [3]. Homojen bir mikroyapı elde edebilmek ve dökümde katılaşma sırasında meydana gelen hataları en aza indirmek için tane inceltici kullanımı yaygındır. Özellikle yoğrulabilir (dövme) alaşımların üretimi sırasında AlTiB esaslı tane incelticiler sıklıkla tercih edilmektedir [4]. Düşük oranda %Si içeren bu alaşımlarda, AlTiB tane incelticiler iyi bir performans sergilemektedir [5]. Ancak, yüksek basınçlı döküm tekniği gibi yöntemlerde kullanılan alüminyum alaşımları kullanım alanlarına göre, yoğrulabilir alaşımlara nazaran daha fazla oranda silisyum, bakır, magnezyum vb. alaşım elementi içermektedir. Döküm alaşımlarında, Ti içeren ön (master) alaşımlarının kullanılmasına bağlı olarak katılaşma sırasında porozite ve katlı oksit (bifilm) oluşumunu artırdığı görülmüştür [6]. Tane inceltme üzerine yapılan çalışmalarda, AlTi5B1 rağbette olan bir ön alaşımı olarak tanımlanmıştır [7]. Bunun yanı sıra, yapılan çalışmalarda [8], ağırlıkça %2'den fazla Silisyum içeren alüminyum alaşımlarında, AlTiB esaslı tane inceltici kullanımına bağlı olarak aksi şekilde tane kabalaşması (zehirleme etkisi) görülebildiği ve Silisyum miktarındaki artış ile Ti-Si içerikli intermetaliklerin oluşmasına ve tane inceltme fonksiyonu olan TiB₂ gibi yararlı intermetaliklerin işlevselliğini kaybettiği belirtilmiştir. Bu sebeple döküm alaşımlarında, daha az Ti içeren ve Ti içermeyen AlB₃ gibi ön alaşımları ile yapılan çalışmalar ile devam etmiştir. Özellikle döküm alaşımlarında, hem tane inceltme performansı ile hem de daha uzun süre özelliğini muhafaza edebilmesi sebebiyle AlB₃ ön alaşımı ön plana çıkmıştır [9].

Bu çalışmada, EN AC 47100 yakın-ötektik döküm alaşımı (AlSi₁₂Cu₁) sızdırmazlığın istendiği bir fren aksam parçasının yüksek basınçlı dökümünde kullanılmıştır. AlTi5B1 ve AlB₃ ön alaşımlarının tane boyutu üzerindeki etkinlikleri, soğuk parmak (cold finger) test yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Soğuk parmak numuneleri makro dağlama işlemine tabi tutulmuş ve katılaşmanın homojenliği kıyaslanmıştır. AlTi5B1 ve AlB₃ ön alaşımları, yüksek basınçlı dökümde kullanılmış ve ilgili parçanın sızdırmazlık sebebiyle 'A sınıfı' porozite istendiği bölgesindeki etkinliği CT (Computed Tomography) taraması ile gözlemlenmiştir. Parçanın sızdırmazlık istenen bölgeden metalografik numune çıkarılmış ve elektrolitik dağlama yapılarak tane boyutu ve şekli analiz edilmiştir. Sonuç olarak, AlB₃ ön alaşımının hem soğuk parmak testinde, hem de yüksek basınçlı döküm denemesinde tane inceltme üzerindeki olumlu etkileri gözlemlenmiştir. AlB₃ kullanımına bağlı olarak en ince taneli yapı ve tane sınırlarının artmasına bağlı olarak en yüksek sertlik değerleri elde edilmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1 Malzeme Özellikleri: Soğuk parmak testinde ve döküm denemelerinde, yüksek akıcılığa ve sıcak yırtılma direncine sahip, mekanik olarak iyi işlenebilir EN AC 47100 (AlSi₁₂Cu₁(Fe)) alüminyum döküm alaşımı kullanılmıştır. Gerçekleştirilen test ve deneme öncesi ergiyikten alınan numunenin kimyasal bileşimi optik emisyon spektrometresi kullanılarak belirlenmiştir ve değerler Çizelge 2.1'de verilmiştir.

| | Si | Cu | Fe | Mg | Mn | Cr | Zn | Ti | Sr |
|------------------------|-----------|---------|------|------|------|------|------|------|------|
| 47100 Standart | 10,5-13,5 | 0,7-1,2 | 1,3 | 0,35 | 0,55 | 0,1 | 0,55 | 0,2 | 0,07 |
| Ergiyik (Soğuk parmak) | 10,97 | 0,83 | 0,75 | 0,06 | 0,28 | 0,02 | 0,32 | 0,05 | 0,07 |
| Ergiyik (Döküm deneme) | 11,09 | 0,84 | 0,75 | 0,06 | 0,29 | 0,02 | 0,31 | 0,05 | 0,07 |

Çizelge 2.1: 47100 alaşımasının kimyasal bileşimi (%ağ.)

Tane inceltici olarak çekilmiş çubuk şeklinde temin edilmiş AlTi5B1 ve külçe döküm AlB3 ön alaşımları kullanılmıştır. Ön alaşımlarının kimyasal bileşimi Çizelge 2.2’de verilmiştir.

| Ön alaşımı türü | Al | B | Ti |
|-----------------|-------|------|-----|
| AlTi5B1 | 93,90 | 0,95 | 5,1 |
| AlB3 | 96,85 | 3,1 | ≈0 |

Çizelge 2.2: AlTi5B1 ve AlB3 ön alaşımlarının kimyasal bileşimi (%ağ.)

2.2 Soğuk Parmak Testi: Tane inceltici ön alaşımlarının tane boyutu üzerindeki etkilerinin görülebilmesi için soğuk parmak testi gerçekleştirilmiştir. Soğuk parmak denemesinde içerisinden soğuk ($23\pm 3^{\circ}\text{C}$) su geçirilen bakır aparat, kokil bir kalıp içerisine dökülmüş ($730\pm 10^{\circ}\text{C}$) ergiyik metale daldırılmıştır. Bakır aparat katılma süresi boyunca ergiyik metale temas halinde tutulmuştur. Soğuk parmak test koşulları Çizelge 2.3’de, test düzeneği Şekil 2.1’de verilmiştir.

| Deneme kodu | Döküm sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$) | AlTi5B1 (%ağ.) | AlB3 (%ağ.) |
|-------------|--|----------------|-------------|
| 1-Normal | 730 ± 10 | 0 | 0 |
| 2-AlTiB | 730 ± 10 | 0,5 | 0 |
| 3-AlB | 730 ± 10 | 0 | 0,5 |

Çizelge 2.3: Soğuk parmak test koşulları



Şekil 2.1: Soğuk parmak test düzeneği

2.3 Makroyapı Analizi: Soğuk parmak testinden alınmış kokil döküm numuneler boydan kesit olacak şekilde kesilmiş ve incelenecek yüzeyleri sırasıyla 600 ve 1000 numara zımparalanmıştır. Yüzeyler tane sınırlarının gözle görülebilmesi için Tucker makro dağlayıcısı (45 mL HCl + 15 mL HNO₃ + 15 mL HF + 25 mL H₂O) ile dağlanmıştır. Makroyapı analizi ile tane inceltici ön alaşımı içermeyen, AlTi5B1 ve AlB3 ön alaşımı ilaveli numunelerin tane boyutu kıyası görsel olarak gerçekleştirilmiştir.

2.4 Deneme Dökümü: Deneme dökümleri tane inceltici içermeyen, AlTi5B1 içeren ve AlB3 içeren ergiyikler ile üç aşamada gerçekleştirilmiştir. Döküm denemelerinde 400 ton mengine kilitleme kapasiteli Hidroteknik marka soğuk kamaralı pres kullanılmıştır. Deneme döküm parametre ve seviyeleri Çizelge 2.4’de verilmiştir. Her bir denemeden 5’er baskı alınmıştır. Döküm sonrası parçalar talaşlı şekillendirme ile nihai formuna getirilmiştir.

| Deneme No | Ergiyik sıc. (°C) | 1. faz hızı (m/s) | 2. faz hızı (m/s) | 3. faz basıncı (bar) | Kademe (mm) | İlave (%0,5) ağ. |
|-----------|-------------------|-------------------|-------------------|----------------------|-------------|------------------|
| 1-Normal | 710±5 | 0,15±0,05 | 3±0,3 | 300±5 | 120 | Yok |
| 2-AlTiB | 710±5 | 0,15±0,05 | 3±0,3 | 300±5 | 120 | AlTi5B |
| 3-AlB | 710±5 | 0,15±0,05 | 3±0,3 | 300±5 | 120 | AlB3 |

Çizelge 2.4: Döküm deneme parametre ve seviyeleri

2.5 Radyografik Analiz (CT): Tane inceltici ön alaşımı kullanılmamış ve kullanılmış döküm parçalar, döküm prosesinden kaynaklı porozite ve çekinti gibi hataların belirlenmesi için radyografik analize tabi tutulmuştur. Her denemenin radyografik olarak en hatalı parçalarına 129 kV ve 1,9 mA ayarlarında 720 poz (2 tur) CT uygulanmıştır. Radyografik görseller Volume Graphics Studio Max 3.0 programı kullanılarak simüle edilmiş, dökümden kaynaklı hatalarının konumları, boyutları saptanmış ve hacimsel yüzdeleri hesaplanmıştır.

2.6 Sertlik Testi: Tane inceltici alaşımların parça sertliği üzerindeki etkilerinin görülebilmesi için sertlik testi gerçekleştirilmiştir. Sertlik testinde Affri Brinell sertlik ölçüm cihazı kullanılmış; 2,5 mm çapında çelik bilya uç ile 10 saniye boyunca 62,5 kgf kuvvet uygulanmıştır. Parçaların sertlik testine elverişli bölgelerinden 5’er ölçüm alınmıştır.

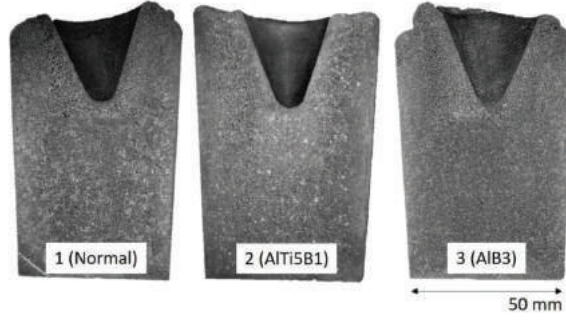
2.7 Mikroyapı Analizi: Fren sistemine ait dökülen parçaların ‘A sınıfı’ porozite istenen bölgesinden metalografik kesme cihazı ile numuneler alınmıştır. Numuneler soğuk kalıplandıktan sonra sırasıyla 600, 1000 ve 2500 numara zımparalama işlemi ardından parlatma keçesi ve 1 µm’lik kolloidal silika ile parlatılmıştır. Numunelerin tane sınırlarının görülebilmesi için Barker dağlayıcısı (5 mL %48 HBF₄ + 200 mL H₂O) ile 20 V gerilimde yaklaşık 1 dakika elektrolitik dağlama yapılmıştır.

2.8 Sızdırmazlık Testi: Tane inceltici ön alaşımlarının döküm parçanın sızdırmazlık üzerindeki etkilerinin görülebilmesi için denemelerde üretilen tüm parçalar su altında 4 bar basınçta 15 saniye sızdırmazlık testine tabi tutulmuştur.

3. SONUÇ VE TARTIŞMA

3.1 Makroyapı Analiz Sonuçları: Tane incelticisi kullanılmadan, AlTi5B1 kullanılan ve AlB3 kul-

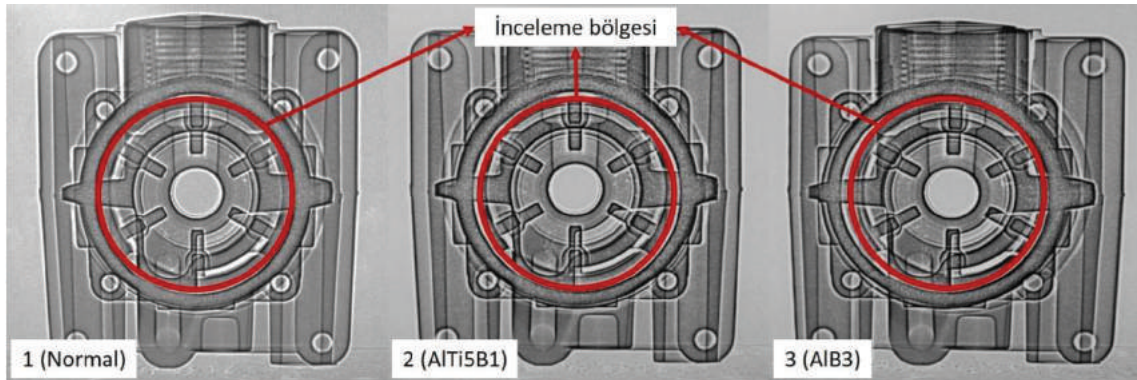
lanılan ergiyikten alınan soğuk parmak test numunelerinin makrodağlama sonuçları Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1: Normal, AlTi5B1 ve AlB3 içeren numunelerin makroyapıları

Şekil 3.1'de verilen sonuçlar incelendiğinde, tane inceltici kullanılmayan test sonucunda çelik kalıp cidarına temas eden bölgelerde ince ancak merkeze doğru uzayan sütunsu taneler görülebilmektedir. Merkezde azalan soğuma hızına bağlı olarak oluşmuş göreceli olarak kaba taneler oluşmuştur. Soğutucu bakır aparatın temas ettiği bölgelerde de benzer durum bulunmaktadır, aparatın temas ettiği bölgeden uzaklaştıkça katılma yönünde yönlendirilmiş kaba taneler oluşmuştur. Tane inceltici ön alaşımının kullanılmadığı deneme, kokil döküm yönteminin karakteristiğini göstermektedir. AlTi5B1 tane inceltici ön alaşımının kullanıldığı numunede, normal döküme göre daha ince taneler görülebilmektedir. Taneler daha homojen ve eşeksenli formda katılmıştır. AlB3 tane inceltici ön alaşımı ilavesi ile alınan numunede ise taneler çok daha ince katılmış, eşeksenlilik artmıştır. Makroyapı sonuçlarına göre her iki tane incelticinin olumlu sonuç verdiği görülebilmektedir; AlB3 ise AlTi5B1'e göre daha iyi bir performans sergilemiştir.

3.2 Döküm Parçaların Radyografi (CT) Sonuçları: Deneme dökümü sonrası parçalara uygulanan radyografik analiz sonucu her denemenin görsel olarak en çok hata içeren parçasının radyografik görselleri Şekil 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.2: Fren aksam parçalarının radyografik görselleri

Şekil 3.2'de verilen radyografik görsellerde, tane inceltici kullanımına bağlı olarak farklılık gösteren denemelerin, parçaların radyografik kalitesi üzerinde benzer etkileri olduğu görülebilmektedir. Mevcut döküm hatalarının daha detaylı görülebilmesi ve nicel olarak kıyaslanabilmesi için CT analizi gerçekleştirilmiştir. CT analiz sonuçları Şekil 3.3'de verilmiştir. İlgili parçaların içerdiği hataların hacmi ve yüzdesel karşılıkları Çizelge 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.3: Parçaların CT analiz sonuçları, %96 saydamlık

| Deneme No | Parça hacmi (mm ³) | Saptanan hata sayısı | Ortalama hata hacmi (mm ³) | Hata oranı (%) |
|-----------|--------------------------------|----------------------|--|----------------|
| 1-Normal | 115046 | 31 | 0,192 | 0,005 |
| 2-AlTiB | 115858 | 31 | 0,182 | 0,004 |
| 3-AlB | 115752 | 20 | 0,08 | 0,001 |

Çizelge 3.1: Parçaların içerdiği hataların sayısal verileri

CT sonuçları incelendiğinde, tane inceltici kullanılmayan parçada ortalama 0,192 mm³ hata hacmi hesaplanmıştır. Parçada bulunan döküm hataları ise tüm hacmin %0,005'ini oluşturmaktadır. AlTi5B1 kullanımı ile ortalama hata oranı 0,182 mm³'e düşürülmüştür. Porozite ve çekintinin engellenmesi ile birlikte toplam hata oranı %0,004 olarak hesaplanmıştır. AlB3 kullanımı ile birlikte ortalama hata hacmi 0,08 mm³ olarak hesaplanmıştır. AlB3 tane inceltici kullanımı ile hata hacminde kayda değer ilerleme gözlemlenebilmiştir. Toplam hata oranı ise %0,001 ile en düşük değerde hesaplanmıştır. AlTi5B1 ve AlB3'ün döküm hataları üzerindeki olumlu etkileri görülmüştür.

3.3 Sertlik Testi Sonuçları: 3 ayrı koşulda gerçekleştirilmiş denemelerden seçilmiş birer parçaya uygulanmış sertlik testi sonuçları Çizelge 3.2'de verilmiştir.

| Deneme kodu | Bölge-1 | Std. sapma 1 (σ) | Bölge-2 | Std. sapma 2 (σ) | Bölge-3 | Std. sapma 3 (σ) |
|-------------|---------|---------------------------|---------|---------------------------|---------|---------------------------|
| 1-Normal | 78,06 | 0,37 | 79,27 | 0,21 | 80,65 | 0,16 |
| 2-AlTiB | 80,11 | 0,11 | 79,82 | 0,08 | 82,36 | 0,07 |
| 3-AlB | 82,43 | 0,02 | 81,74 | 0,06 | 83,94 | 0,05 |

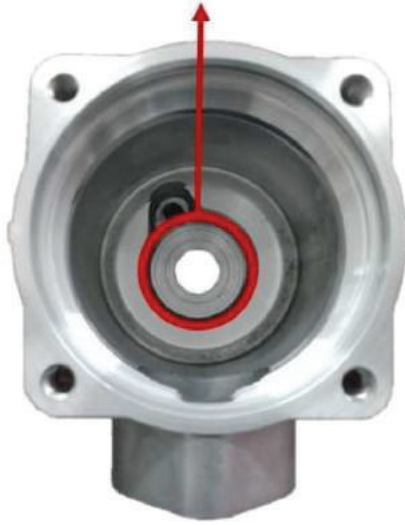
Çizelge 3.2: Parçaların ilgili bölgelerinden ölçülmüş ortalama sertlik değerleri (HB)

Döküm parçaların sertlikleri incelendiğinde, aynı döküm koşullarında tane inceltici ön alaşımı kullanımına bağlı olarak sertlik değerlerinin arttığı görülebilmektedir. Kesit kalınlıkları; Bölge-1 3,43 mm, Bölge-2 11,67 mm, Bölge-3 ise 20,12 mm'dir; kesit kalınlığının artmasına bağlı olarak sertlik değerlerinde bir miktar artış görülebilmektedir.

Bununla birlikte, sertlik değerlerindeki artış mekanik özellikleri doğrudan etkileyebilecek yeterlilikte değildir, yaklaşık 1 – 2 HB'lik fark parçadan parçaya ya da baskıdan baskıya değişebilecek bir değerdir.

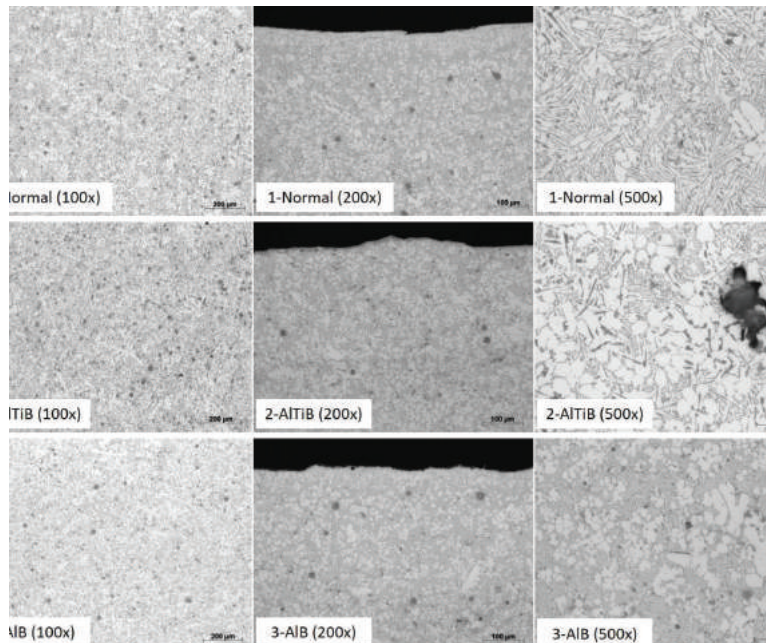
3.4 Mikroyapı Analiz Sonuçları: Mikroyapı analizinin yapıldığı, sızdırmazlığın istendiği bölge Şekil 3.4'de verilmiştir. Tane boyutu ve mikroyapı analizleri, ilgili bölgenin kesitinden alınmış numuneler üzerinden gerçekleştirilmiştir.

Metalografik inceleme bölgesi



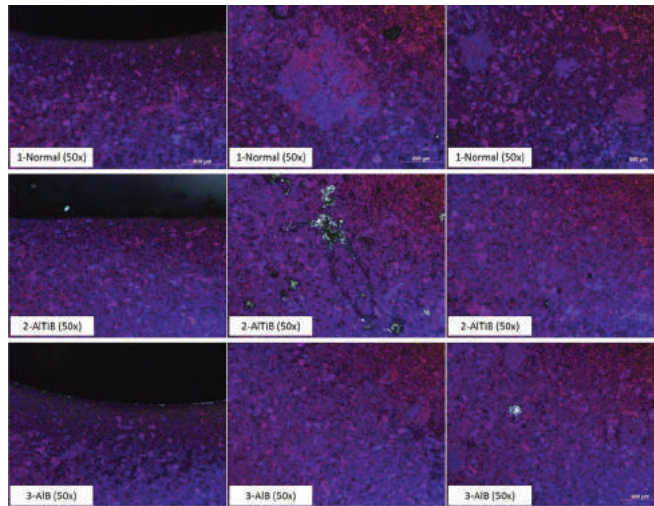
Şekil 3.4: Parçanın sızdırmazlık istenen ve mikroyapı analizinde incelenen bölgesi

Her 3 denemenin inceleme bölgesinden alınmış mikroyapı görüntüleri Şekil 3.5'de verilmiştir.

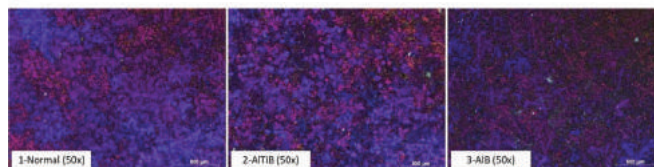


Şekil 3.5: Numunelerden alınan mikroyapı görselleri (100, 200, 500x)

Mikroyapılarda 200x görsellerindeki dış kısım (siyah bölgenin altı), maça ile temas eden bölgedir. Mikroyapılar incelendiğinde, yüksek basınçlı dökümde göreceli olarak hızlı katılaşmaya bağlı rozet tipi dendritik α -Al fazları görülebilmektedir. Her numunenin genel yapısı (100x) benzer karakteristikleri taşımaktadır. 200x görselleri incelendiğinde, dıştan merkeze doğru α -Al partikül boyutunda artış görülebilmektedir. Bu durum merkeze doğru azalan soğuma hızı ile açıklanabilmektedir, maça ile temasta olan dış kısım nispeten çok daha ince partiküller ile Sr etkisinde ikizlenmeye bağlı oluşmuş fiber Al-Si ötekliği içermektedir. 500x görselleri incelendiğinde, normal (tane inceltici kullanılmayan) numunede dıştan merkeze doğru Sr etkisinin kaybolduğu, dıştaki yapının aksine lamelli Al-Si ötektik fazlarını içerdiği görülebilmektedir. Heterojen bir yapının varlığından bahsetmek mümkündür. AlTi5B1 kullanılan numunede ise benzer şekilde dıştan merkeze doğru kabalaşan Al-Si ötektik yapısı görülebilmektedir. Bunun yanı sıra, kaba ve iğnesel fazlar dikkat çekmektedir. Rakhmonov ve arkadaşları [10], AlTi5B1 tane inceltici ön alaşımı ve AlSi7Cu3 alaşımı ile yaptıkları çalışmada, yüksek soğuma hızlarında tane incelticinin Fe yönünden zengin, iğnesel formda β -AlFeSi oluşumunu artırdığını gözlemlemiştir. Diğer numune mikroyapılarında yaygın olarak bulunmayan, Ti varlığında oluştuğu düşünülen kaba iğnemesi intermetalik fazlar, özellikle porozitelerin bulunduğu konumda yaygın olarak görülebilmektedir. β -AlFeSi fazları, malzemenin mekanik özellikleri (akma ve çekme dayanımı) üzerinde olumsuz etkileri olan yapılar olup, tokluğu azaltmaktadır. AlB3 kullanılan numunede ise, merkez ve dış kenar bölgelerinin homojen bir yapıya sahip olduğu görülebilmektedir. Sr varlığında oluşmuş fiber Al-Si ötekliği ve rozet tipi α -Al fazları genel mikroyapıyı oluşturmaktadır. İğnesel β -AlFeSi fazları, AlTi5B1 kullanılan alaşımın aksine kaba formda görülmemiştir. α -Al partikülleri, beklenildiği üzere diğer numunelerin aksine daha ince ve rozet şeklindedir. Bunun yanı sıra, tüm numunelerde Al-Si-Fe-Mn içeren, koyu gri renkli poligonal α -Al(Fe,Mn)Si fazları görülmektedir. Mn etkisi ile iğnesel formdan çokgen formuna dönüşen bu yapılar, Fe'nin mekanik özellikler üzerindeki olumsuz etkilerini baskılasa da; talaşlı şekil verme sırasında takım kırma ve dökümde kalıba yapışmayı artırma gibi olumsuz etkileri de bulunmaktadır [11-12]. Alüminyum alaşımlarında dağlama olmaksızın mikroyapı üzerinden tane boyutuna dair bir çıkarım yapmak mümkün olmadığından, elektrolitik dağlama gerçekleştirilmiştir. Numunelerin tane sınırlarının görülebildiği elektrolitik dağlama görselleri Şekil 3.6'da verilmiştir. Soğuk parmak kokil döküm numunelerinden alınmış elektrolitik dağlama görselleri Şekil 3.7'de verilmiştir.

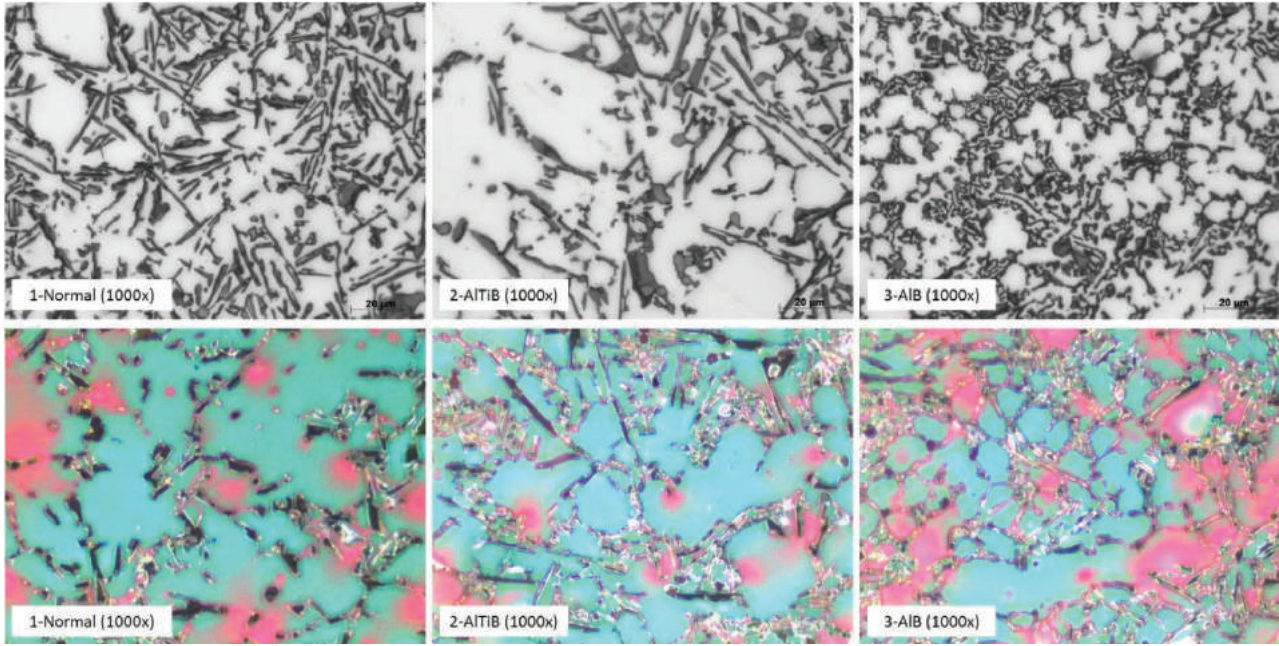


Şekil 3.6: Yüksek basınçlı döküm numune elektrolitik dağlama görselleri (50x)



Şekil 3.7: Soğuk parmak numune elektrolitik dağlama görselleri (50x)

Numunelerin elektrolitik dağlama görselleri incelendiğinde, kokil dökümde çok daha kaba tanelerin oluştuğu görülebilmektedir. Yüksek basıncılı dökümde ise göreceli olarak hızlı katılaşma sonucu daha ince taneler elde edilebilmektedir. Parçadan alınan numunelerin elektrolitik dağlama görsellerinde, maçaya temas eden hızlı katılaşma bölgesinde çok ince taneler bulunmaktadır. Merkeze doğru taneler kabalaşmaya başlamaktadır. AlTi5B1 ve AIB3 kullanımına bağlı olarak daha homojen ve eşmerkezli tanelerin oluştuğu görülebilmektedir. Tane inceltici kullanılmayan numunede akış ve katılaşmaya bağlı tane boyutu farkları görülürken, tane inceltici kullanılan numunede böyle bir duruma rastlanılmamıştır. Yüksek basıncılı dökümdeki soğuma hızı ele alındığında, kokil döküme göre çok daha ince taneli yapı elde edilmiştir. Bunun yanı sıra, tane inceltici varlığında incelen primer α -Al fazları, tane inceltici kullanılmayan numuneye göre daha ince taneli yapı oluşmasına sebep olmuştur. Numunelerin dağlanmış mikroyapıları Şekil 3.8'de verilmiştir.



Şekil 3.8: Yüksek basıncılı döküm numune mikroyapıları (1000x)

Numunelerin 1000x mikroyapı görsellerine bakıldığı zaman, özellikle α -Al fazlarının boyutları ve Şekilleri arasındaki farklar görülebilmektedir. Tane inceltici n alaşımın varlığında partikül boyutunda düşüş gözlemlenmiştir. Makroyapı ve mikroyapı analizleri doğrultusunda, en azından AlTi5B1 içeren n alaşım için bir zehirlenme etkisi varlığı gözlemlenmemiştir. Bununla birlikte, gerçekleştirilen çalışmalar sonucu AIB3 tane inceltici n alaşımının döküm hataları ve hem primer faz hem de tane boyutu üzerindeki olumlu etkilerinden dolayı AlTi5B1 tane inceltici n alaşımına en azından döküm alaşımları için etkili bir alternatif olduğu saptanmıştır. 3.5 Sızdırmazlık Sonuçları: Tane incelticisi kullanılmadan, AlTi5B1 kullanılan ve AIB3 kullanılan her bir denemeden alınmış 5'er parçanın sızdırmazlık testi sonucunda her parça testi başarılı bir Şekilde geçmiştir. CT analizinde görülen döküm hatalarının, sızdırmazlık açısından herhangi bir problem oluşturmadığı gözlemlenmiştir.

3. GENEL SONUÇLAR

1. Tane inceltici içermeyen, AlTi5B1 içeren ve AIB3 içeren ergiyikler ile yapılan soğuk parmak test sonuçlarında tane inceltici n alaşımlarının homojen katılaşma üzerindeki olumlu etkileri görülmüştür. Yüksek basıncılı dökümde, uygun miktarda ve doğru zamanlama ile tane inceltici kullanımında homojen katılaşmış eşksenli tanelere sahip makroyapı elde etmek mümkündür. AIB3 kullanılan denemede, en iyi sonuç elde edilmiştir.

2. Tane inceltici içermeyen, AlTi5B1 içeren ve AlB3 içeren ergiyikler ile yapılan döküm denemeleri sonucu elde edilen fren aksam parçalarının radyografik analizi doğrultusunda katılma koşullarına bağlı olarak oluşmuş porozite ve çekinti hataları saptanmıştır. CT taraması ve görüntülerin analizinde kullanılan VG Studio Max 3.0 simülasyon programı ile tane inceltici ön alaşımı içeren parçaların daha az hata içerdiği hesaplanmıştır. AlB3 kullanılmış parçanın daha az miktarda ve hacimde döküm hatası içerdiği simülasyon programı vasıtası ile görülebilmektedir.

3. Özellikle tane inceltici kullanılmış parçalar arasındaki fark elektrolitik dağlama sayesinde daha net şekilde görülebilmektedir. En az döküm hatası istenen bölgede, tane inceltici ön alaşımı varlığıyla elde edilmiş ince taneli yapı görülmüştür.

4. Tane inceltici ön alaşımlarının sertlik üzerinde çok belirgin bir etkisi görülmemiştir, tane incelmeye bağlı olarak ortalama 3 HB'lik sertlik artışı elde edilmiştir. Döküm denemeleri ile elde edilen parçaların içerdiği döküm hatalarının bu koşullar altında sızdırmazlığı olumsuz etkilemediği görülmüştür.

KAYNAKÇA

- [1] J.G. Kaufman ve E.L. Rooy, "Aluminum Alloy Castings Properties, Processes, and Applications", ASM International, 2004, pp 27.
- [2] X.P. Niu, B.H. Hu, I. Pinwill ve H. Li, "Vacuum assisted high pressure die casting of aluminium alloys", Journal of Materials Processing Technology, Vol.105(1-2), 2000, pp: 119-127.
- [3] J.H. Lee, H.S. Kim, S.I. Hong, C.W. Won, S.S. Cho, ve B.S. Chun, "Effect of die geometry on the microstructure of indirect squeeze cast and gravity die cast 5083 wrought Al alloy and numerical analysis of the cooling behavior", Journal of Materials Processing Technology, Vol.96(1-3), 1999, pp: 188-197.
- [4] I. Nagli, "The influence of stirring on the fading of the AlTi5B1 grain refiner in an Al-Fe alloy", Metalurgija, Vol.50.1, 2011, pp: 25-28.
- [5] A.L. Greer, P.S. Cooper, M.W. Meredith, W. Schneider, P. Schumacher, J.A. Spittle, ve A. Tronche, "Grain refinement of aluminium alloys by inoculation", Advanced Engineering Materials, Vol.5(1-2), 2003, pp: 81-91.
- [6] P.S. Mohanty, F.H. Samuel ve J.E. Gruzleski, "Experimental study on pore nucleation by inclusions in aluminum castings", AFS Transactions Vol. 103, 1995, pp: 555-564.
- [7] Y. Birol, "Performance of AlTi5B1, AlTi3B3 and AlB3 master alloys in refining grain structure of aluminium foundry alloys", Materials Science and Technology 28 Vol.4, 2012, pp: 481-486.
- [8] D. Qiu, J.A. Taylor, M.X. Zhang ve P.M. Kelly, "A mechanism for the poisoning effect of silicon on the grain refinement of Al-Si alloys", Acta Materialia, Vol.55(4), 2007, pp: 1447-1456.
- [9] Y. Birol, "AlB3 master alloy to grain refine AlSi10Mg and AlSi12Cu aluminium foundry alloys", Journal of Alloys and Compounds Vol. 513 2012, pp: 150-153.
- [10] J. Rakhmonov, G. Timelli, F. Bonollo, ve L. Arnberg, "Influence of grain refiner addition on the precipitation of Fe-rich phases in secondary AlSi7Cu3Mg alloys" International Journal of Metalcasting, Vol.11(2), 2017, pp: 294-304.
- [11] S. Ferraro ve G. Timelli, "Influence of sludge particles on the tensile properties of die-cast secondary aluminum alloys", Metallurgical and Materials Transactions B, Vol.46(2), 2015, pp: 1022-1034.
- [12] Y. Zedan, F.H. Samuel, A.M. Samuel ve H.W. Doty, "Effects of Fe intermetallics on the machinability of heat-treated Al-(7-11)% Si alloys", Journal of Materials Processing Technology, Vol.210(2), 2010, pp: 245-257.

YÜKSEK BASINÇLI DÖKÜM PROJELERİNİN DEĞERLENDİRME SÜRECİNDE RİSK VE MALİYET ANALİZİ

Tufan ÖZAY ^a, Burak AKSOYLU ^b, Ali Serdar VANLI ^c

^a *Şahin Metal A.Ş., Hadımköy, İstanbul, Türkiye.*

^b *Torun Basınçlı Döküm A.Ş., Tuzla, İstanbul, Türkiye.*

^c *Yıldız Teknik Üniversitesi, Beşiktaş, İstanbul, Türkiye.*

ÖZET

Yüksek basınçlı döküm yöntemi ile imal edilen alüminyum parçalar; artan müşteri beklentileri, karmaşık geometrileri ve daralan toleransları sebebiyle her geçen gün daha zor ve riskli hale gelmektedir. Üretilen parçalarda müşteri beklentilerinin sağlanamaması, proje doğrulama sürecinde yaşanan sapmalar ve buna bağlı olarak termin zamanlarında yaşanan gecikmeler ve benzeri diğer riskler doğru şekilde yönetilemezse; projenin kaybına, cezai yaptırımlara ve müşteri ile ilişkilerin bozulmasına kadar ilerleyen olumsuz süreçlere sebep olabilmektedir. Tüm bu zorluklar ve riskler, teknolojideki son gelişmeler sayesinde rahatlıkla aşılabilmekte ve daha kararlı prosesler tasarlanabilmektedir. Bu yüksek teknolojik gelişmelerin üretim hattında kullanılması ise firmalara ekstra maliyetler getirmektedir. Yüksek maliyetli bu teknolojiler, doğru hesaplanmadığı takdirde, projeler karlılıklarını kaybetmekte ve hatta zarar edilmesine varan sonuçlar görülebilmektedir. Bu çalışma kapsamında, alüminyum alaşımlarından yüksek basınçlı döküm yöntemiyle üretilmesi planlanan parçaların, değerlendirme sürecinde göz önüne alınması gereken riskler ve doğru hesaplanması gereken maliyet faktörleri sistematik bir şekilde ele alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Basınçlı Döküm Yöntemi, Risk ve Maliyet Analizi, Proje Değerlendirme Süreci

ABSTRACT

Aluminium parts manufactured by high pressure casting method; Increasing customer expectations, complicated geometries and shrinking tolerances are becoming more and more difficult and risky. Failure to meet customer expectations in the casting parts, deviations in the project validation process and consequently delays in delivery times and other similar risks cannot be managed correctly; loss of the project, criminal sanctions and deterioration of relations with the customer. All these challenges and risks can be easily overcome by the latest developments in today's technology and more stable processes can be designed. Using these high technological developments in the production line brings extra costs to the companies. If these technologies come at a high cost, if the projects are not calculated correctly, the projects lose their profitability and even results can be seen. In this study, the risks to be considered during the evaluation process and the cost factors that are expected to be calculated correctly are projected in a systematic manner.

Keywords: High Pressure Die Casting, Risk and Cost Breakdown, Project Assessment Process

deburring and vibro finished; no deburring by hand permissible

Cleanliness specification as per:
S252001-1: SKK 3A
Surface: 138 cm²

Ejector pins 0.3 max. raised, 0.1 max. recessed, rigid burr 0.3 max. permitted
Burrs along parting line 0,3 max. permitted
Tool offset 0,3 max. permissible unless otherwise specified
After deburring protrusion up to 0,5 max. and recesses up to 0,8max. permitted
in the range of gate and deaeration area.

Casting defects within entire part as per S266021-1: D5/2
In area of material accumulation at a minimum distance of 2mm to the
part surface: D5/3 is valid.

tolerance of not dimensioned radii RX±0,5

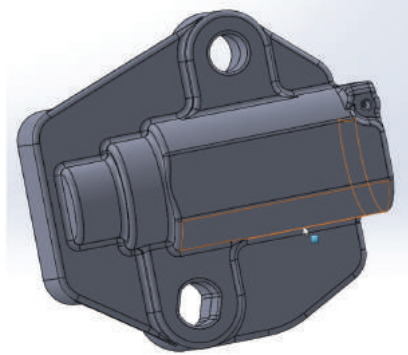
tolerance of not dimensioned wall thicknesses: X±0,15

general casting tolerance as per ISO 8062-3-DCTG 7-RMAG C-GCTG 4

general mould draft as per DIN EN ISO 10135: TM 2° max.

Şekil 3. Diğer müşteri beklentileri

d) 3D Model: Boyutsal talepler ve tolerans değerleri ile diğer beklentilerin anlaşılması sırasında hesaplamaları kolaylaştırmak ve parçayı daha iyi anlamak için destek dokümanıdır. 2D resmin tam olarak anlaşılması ve değerlendirilmesi için olmazsa olmaz bir bilgidir.



Şekil 4. 3D katı model

e) İlave (Özel) Müşteri İstekleri: Bunlar genellikle 2D ve 3D resim dışında iletilen ve tedarikçi tarafından sorgulanması gereken her türlü beklentiye ifade eder. Bu bilgiler genellikle daha önce yaşanan müşteri şikayetleri, paketleme yöntemleri ve ticari lojistik şekli (FCA,DAP) gibi konuları kapsar. Bu detayların proje maliyet kalemlerinde önemli bir yeri olduğu unutulmamalıdır. Şekil 5'te farklı teslimat yöntemleri görülmektedir.

| TESLİM ŞEKİLLERİ | |
|--|-----|
| DESCRIPTION | |
| EXW Ex Works | EXW |
| FCA Free Carrier | FCA |
| CPT Carriage Paid To | CPT |
| CIP Carriage and Insurance Paid To | CIP |
| DAT Delivered At Terminal | DAT |
| DAP Delivered At Place | DAP |
| DDP Delivered Duty Paid | DDP |
| FAS Free Alongside Ship | FAS |
| FOB Free on Board | FOB |
| CFR Cost and Freight | CFR |
| CIF Cost, Insurance and Freight | CIF |

Şekil 5. Farklı teslimat yöntemleri

f) Tahmini Üretim Adetleri: Bu madde müşterinin döküm parçasını hangi zaman aralıklarında ve ne kadar miktarda satın alacağı bilgilerini tanımlar. Genellikle birden çok ihtimalden oluşur ve bunlara genelde senaryo adı verilir. Üreticinin bu senaryoları dikkate alarak prosesini planlaması ve maliyet hesaplamalarında bunları göz önünde bulundurması gerekmektedir.

Şekil 6'da müşterinin sadece Avrupa bölgesi için belirlediği 3 farklı senaryo örneğini yıllık ortalama adetleri ile görebilirsiniz. Bazı durumlarda bu senaryo aylık skala ile gönderilebilmektedir.

| Europe | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 |
|---------|---------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------|
| Quote 1 | 120 000 | 360 000 | 1 410 000 | 1 880 000 | 1 880 000 | 1 880 000 | 940 000 |
| Quote 2 | 96 000 | 288 000 | 1 128 000 | 1 504 000 | 1 504 000 | 1 504 000 | 752 000 |
| Quote 3 | 48 000 | 144 000 | 564 000 | 752 000 | 752 000 | 752 000 | 376 000 |

Şekil 6. Farklı üretim senaryoları

g) Zaman Beklentisi: Müşteri ve tedarikçi için en önemli kriterlerden birisi de projenin zamanlamasıdır. Bu husus, müşteri tarafından ne zaman proje parçasının üretime başlayacağı, onaylarının verileceği ve satış sürecine girileceği bilgilerini içerir. Bu aşamada söz konusu tarihlere uygun hareket etmek için yapılacak yatırımları ve tüm tedarikçi süreçlerini planlamak büyük önem taşımaktadır.

Bu adımı yönetebilmek için mutlaka bir proje şablonu oluşturulmalı ve kullanılmalıdır. Otomotiv sektörü için bu şablon APQP (Gelişmiş Ürün Kalitesi Planlaması) adı verilen bir sistem ile tanımlanır ve uygulanması beklenir. Şekil 7'de, minimum adımla planlanan bir proje planı örneği ve fazları paylaşılmıştır.

| PROJECT TIME LINE (APQP STEPS) | |
|--------------------------------|------------------------------|
| weeks | Order&Letter of Intent |
| | Order Of Prod. Equipment |
| | Technical Drawings |
| | 3D DATA |
| | Customer Spec./Standards |
| | Fesblity. |
| | Risk Ananalysis |
| | SPPC List |
| | Design Review |
| | Capacity Plan |
| weeks | Injection Mould Design |
| | Ejec.&Markin Appr |
| | Cooling Design |
| | Mouldability |
| | 2D & 3D Comperison |
| | Simulation |
| | Mould Production Approval |
| | Injection Mould Construction |
| | Trimming Mould Design |
| | Process Flow Chart |
| weeks | Process FMEA |
| | Pre-Launch Control Plan |
| | Packaging Opr. Card |
| | Shipment Opr. Card |
| | X-ray Opr. Card |
| | Machine Back-up Plan |
| | Approved Supplier List |
| | Contingency Plan |
| | Floor Plan Layout |
| | Off-tool Sample |
| Measur. Report Conformity | |
| Trimming Mould Construction | |
| Trials Reports | |
| Casting Mould Conformity | |
| Trimming Mould Conformity | |
| Gauge Design | |
| CMM Fixture Design | |
| Gauge Construction | |
| Casting Mould Photo | |
| Trimming Mould Photo | |
| X-RAY PHOTO | |
| IMDS | |
| Material Report | |
| MSA | |
| Machine Capability | |
| Initial Process Cap | |
| PRE SERIES | |
| IS & PPAP Presentation | |
| Product Safety Review | |
| Psw Approval | |
| Casting Mould Approval | |
| Trimmin Mould Approval | |
| Gauge Approval | |
| Machine Approval | |
| Fixture Approval | |
| Casting Mould Coating | |
| Labeling Plates | |

Şekil 7. Proje planı örneği

2. PROSES ADIMLARI

Bu bölümde değineceğimiz konular, bir önce ki bölümde elde edilen veriler ışığında döküm makinesi seçimi, kalıp türü ve göz sayısının belirlenmesi, döküm sonrası işlemlerin tanımlanması, kalite beklentilerinin sağlanması için gerekli hesaplamalar ve burada ki maliyet kalemlerinin belirlenmesini içermektedir.

a) İş Akış Şeması: Bu adımda, üretilecek parçanın müşteri beklentilerini eksiksiz şekilde karşılaması için gerekli kontrol noktalarının akışa eklenmesi gereklidir. Ayrıca, eğer var ise tedarikçi ile yapılacak işlemler ve nakliyeler değerlendirilmelidir. Unutulmamalıdır ki üretimin maliyet hesaplaması bu akış üzerinden yapılmakta ve müşteriye sunulmaktadır. Şekil 8'de iş akış şemasına ait bir örnek yer almaktadır.

b) Ergitme ve Gaz Alma: Tüm bilgiler müşteri tarafından sağlanan teknik dokümandan alınır. En büyük risk ve değerlendirme kriteri, üretim hattında olmayan yeni bir alaşım türü kullanılmasından kaynaklanır. Yeni bir alaşım kullanılacak ise gaz alma prosesi de mutlaka buna göre hazırlanmalıdır.

| İŞ AKIŞI | YER | NOT |
|-------------------------------------|-----------|-----------|
| ERGİTME | DÖKÜMHANE | |
| GAZ ALMA | DÖKÜMHANE | |
| DÖKÜM | DÖKÜMHANE | |
| GÖZ KONTROL-DÖKÜM | DÖKÜMHANE | |
| TRİM | DÖKÜMHANE | |
| MASTAR KONTROL-DÖKÜM | DÖKÜMHANE | |
| VİBRASYON | DÖKÜMHANE | |
| İŞLEME_DİK | DÖKÜMHANE | |
| MASTAR KONTROL-FİNAL | DÖKÜMHANE | |
| YIKAMA & KURUTMA | DÖKÜMHANE | |
| BOYAMA | TEDARİKÇİ | İÇ NAVLUN |
| GİRİŞ_KONTROL | DÖKÜMHANE | |
| MONTAJ | DÖKÜMHANE | |
| SIZDIRMAZLIK TESTİ (MONTAJ SONRASI) | DÖKÜMHANE | |
| FİNAL KALİTE KONTROL | DÖKÜMHANE | |
| PAKETLEME | DÖKÜMHANE | |
| DEPOLAMA | DÖKÜMHANE | |
| SEVKİYAT | FCA | |

Şekil 8. İş akış şeması örneği

c) Döküm ve Trim: Bu adımda ise tespit edilen müşteri şartlarına ulaşacak kalıp ve proses dizaynları tamamlanmalıdır. Bu hesaplamalara genel olarak makine seçimi, hazne doluluk oranı ve kalıp içi döküm basınç değerlerinin kombine olarak değerlendirilmesi ile başlanır. Döküm simülasyonu çalışmaları ile devam edilir ve son olarak multidisipliner bir yapı üzerinden değerlendirilerek karara bağlanır. Bu değerlendirmeler sonucu döküm tezgâhı, kalıp göz sayısı, yaklaşık çevrim süresi, tahmini OEE (Toplam Ekipman Etkinliği) değerleri belirlenmiş olmalıdır. Bu kısım proje planının en kritik bölümüdür.

d) Çapak Alma: Bu kısımda müşteri beklentisine göre ve dökümhane imkanlarına uygun bir şekilde parçalara istenilen seviyede çapak temizliği sağlanmalıdır. Unutulmamalıdır ki bu ara operasyon arkasındaki ek operasyonlar için temel oluşturur. Örneğin görsel veya boyanacak bir parça için kumlama önerilebilir veya talaşlı imalat uygulanacak bir parça için vibrasyon değerlendirilebilir. Bu kısımda müşteri beklentisi ve parça özellikleri önem kazanmaktadır. Ayrıca günümüzde daha gelişmiş robot uygulamalı proseslerden de yararlanılmaktadır.

e) Talaşlı İmalat: Bu proses, yüksek basınçlı döküm yöntemi ile parça imalatında dökümden sonra ki en önemli operasyonlardan biridir. Burada fikstür ve takım ve işleme tezgâhı parça beklentilerine uygun şekilde seçilmelidir. Bu prosesin çevrim süresi, tüm parçanın üretim içinde ki akışını etkileyen en önemli adımı oluşturmaktadır.

f) Diğer Prosesler: Bu işlemler parça beklentisine göre değişebilen adımlardır. Adımlar içinde; boyama, kaplama, ısıl işlem, sızdırmazlık, montaj ve paketleme gibi alt başlıklar yer alabilmektedir. Bu prosesler ayrıntılı şekilde incelenmeli ve maliyet kalemleri yatırım ve sarf olmak üzere dikkatlice değerlendirilmelidir. Unutulmaması ve hesaplanması gereken diğer bir konu da her proses adımıyla oluşan makine ve ekipman doluluğudur. Proses adımlarında doluluk faktörü mutlaka değerlendirilmesi gereken bir konudur.

3. RİSK VE MALİYET ANALİZİ

Genel itibariyle her işletmenin mali yapısı ve maliyet stratejileri birbirinden farklılık göstermektedir. Her işletmenin maliyet üzerine farklı çözüm sistemleri bulanmakla beraber doğru ve gerçekçi sonuçlar ancak proses adımlarının ve kavramsal tasarımların optimum şekilde belirlenmesi ile gerçekleşmektedir. Günümüzde farklı ERP (Kurumsal Kaynak Planlama) çözümleri, standart maliyet uygulamaları, standart ve fiili maliyet karşılaştırmaları, birim aktivite maliyetlerinin değişkenliği ve değişkenliğe neden olabilecek sorunların tespit edilebilmesi; şirketlerin sürdürülebilir ve karlı bir büyümeyi sağlayabilmesi açısından önem arz etmektedir.

Bu değerlendirme süreçleri içerisinde kullanılan hammadde çeşidi, menşei, satın alım koşulları (uzun vadeli, spot, kısa vadeli vb.), primer veya sekonder alım farklılıkları; hammadde prosesindeki değerlendirilmesinde dikkate alınacak unsurlardır. Alüminyum hammaddesi, primer veya sekonder kaynaklardan üretilmesine bağlı olarak farklı değerlendirme metodlarında işlem görmektedir. Primer hammaddenin üretiminde boksit ve enerji maliyetleri (elektrik) farklılık gösterirken, sekonder malzeme için ise hurda fiyatları ve doğalgaz maliyetleri ön plana çıkmaktadır. Hammadde genel itibariyle çeşitli borsa fiyat değerleri üzerinden işlem görmekle birlikte, üreticinin, prosesin, lokasyonun bulunduğu ülkenin işçilik ve genel üretim giderleri ile birlikte lojistik ve gümrükleme maliyetleri; primaj alım dengesine yansımaktadır.

Günümüzde ağırlıklı olarak LME (London Metal Exchange) deki farklı dinamiklerde primer ve sekonder alımın işlem görmesi söz konusu olsa da fiiliyatta risk primlerini yönetebilmek LME bazlı bir dengede çok kolay olmamaktadır. Dolayısıyla Almanya ağırlıklı WVM (German Metals Trade Association) veya Metal Bulletin gibi değerlemelerden satın alma ve satış işlemleri yapılabilmektedir. Alüminyum fiyatlarının satın alma operasyonundan satış operasyonuna kadar açık pozisyon bırakmadan yönetilebilmesi; hurda dönüşüm oranı, ülkeler arası ticaret ve gümrük anlaşmaları ve menşei ülkenin direkt, endirekt işçilik ve enerji maliyetlerinin bir korelasyonundan primaj yoluyla değerlendirilmesi göz önüne alınarak sağlanabilir. Günümüzde hammadde fiyatları çok fazla değişkenlik gösterdiğinden, müşteriler son dönemde ağırlıklı olarak baz fiyat üzerinden değerlendirme ve teklif talebi istemektedirler. Aradaki farkın yönetimi ise tamamen işletmelerin bu konudaki ticari ve yönetsel becerisinin bir çıktısı olarak firmaya katkı sağlamakta veya son tahlilde zarar getirmektedir.

Buna mukabil otomotiv sektöründeki birçok OEM ve TR1 firması kendi CBD (Cost Break Down) belgeleri üzerinden işletmelerin gerek hammadde maliyetlerinin gerekse operasyon karlılığının ve pazarlama yönetim giderlerinin kırınımlarını şeffağça değerlendirebilen sistemler kullanmaktadır. Hammaddenin maliyeti hesaplandıktan sonra, kurum fiili operasyonlar ve benzer ürünlerden edindiği tecrübeyle, keşif maliyetini hesaplayabilmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken önemli husus, proses adımlarının her birinin ayrı bir maliyet merkezi olarak değerlendirilmesidir. Dolayısıyla ergitme ve oksidasyon kayıplarından, döküm hücrelerinin

duruşlarına, bakımlarına, çalışan personelin dağılımına kadar her bir maliyet kalemi için doğru adresleme yapılması şarttır. Bununla beraber, tahmini iç fire miktarı ve kalitesizlik maliyeti işletmeler açısından değişkenlik göstermektedir. Buradaki başarı, maliyet ve müşteri memnuniyeti açısından büyük önem arz etmektedir. Bütün bunlar oluşurken dikkat edilmesi gereken en önemli husus ise OEE, yani toplam verimlilik hesaplamalarıdır. Günümüzde işçilik maliyetlerinin düşük olduğu ülkeler kavramı; yüksek verimlilikle daha düşük maliyet hedefleyen ve karanlık fabrikalar olarak adlandırılan endüstri 4.0 yolculuğuna kendini bırakmıştır. Unutulmamalıdır ki alüminyum basınçlı dökümde beyaz eşya, aydınlatma, elektronik, endüstri, savunma sanayi, havacılık ve otomotiv gibi farklı sektörlerin farklı beklentileri olduğundan, makine ekipman yeterliliğinin yanı sıra ürün güvenliği ile ilgili ölçüm ekipmanlarının hassasiyeti ve amortisman giderlerinin etkisi de oldukça yüksektir.

Sonuç olarak, nihai parça fiyatının içinde, hammadde ve primaj maliyetinin yanı sıra operasyonel maliyetler ile pazarlama ve genel yönetim giderleri yer almaktadır. Tüm bu kalemler alt alta koyulduktan sonra firma kar oranları eklenerek satış fiyatı belirlenmektedir. Hammadde fiyatlarının yanı sıra burada yönetilmesi gereken en önemli kalem operasyonel maliyetlerdir. Direk ve endirek işçilik ile genel üretim giderlerini de ihtiva eden operasyonel maliyetler; ergitme, döküm, kumlama, talaş kaldırma, final kontrol, yıkama ve paketlenme gibi tüm üretim adımlarını içerecek şekilde hesaplanmalıdır. Isıl işlem, boyama, kaplama, talaşlı imalat gibi ilave katma değer sağlayan proseslerde tedarikçi yönetimi veya entegre sistem kurulumları, maliyetlerde ve karlılıklarda firmaların farklı fiyat politikası dinamiklerini oluşturmaktadır. Günümüzde risk ve maliyet analizinin doğru şekilde belirlenmesinin yanı sıra, müşteriler tedarikçilerinin projenin ilk fazından itibaren sürece dahil olmasını talep etmekte ve bu şekilde proses tasarımındaki tecrübenin maliyet tasarımına aktarılması, parçanın hafifletilmesi, fonksiyonel ve mekanik özelliklerin iyileştirilmesi gibi farklı kazanımlar sağlanabilmektedir.

4. SONUÇ

Yüksek basınçlı döküm prosesi, doğal yapısı gereği başta faz değişimi sonrasında ise yüksek basınç ve hız gibi kontrolü zor ve pahalı fiziksel kurullarla yönetilen, bunların dışında değişkenlikleri çok ve karmaşık olan bir üretim prosesidir. Bu karmaşık prosesin sahip olduğu dezavantajlarının yanında üretim hızı ve sayısının fazlalığı, kullanılan hammaddenin çevreye olan az kirlilik etkisi ve artan alaşımlandırma yetenekleri ile artan mekanik özellikleri sebebiyle hala dünya da oldukça tercih edilmekte ve yakın gelecekte tercih edilmeye devam edeceği görülmektedir.

Gelişen teknoloji ile bu prosesten üretilecek olan parça hassasiyetleri ve beklentileri de artmıştır. Bu etkenlerin yanında artan rekabet koşulları yüksek basınçlı döküm ile parça üreten şirketlerin işini de diğer sektörlerde olduğu gibi zorlaştırmaktadır. Bu sebeplerle dökümhanelerin kendini bu rekabetten koruması ve devamlılıklarını sağlaması için bu çalışmada anlatmaya çalıştığımız gibi müşteri beklentilerini iyi analiz etmeli, maliyetlerini operasyonel adımları göz önüne alarak dikkatlice hesaplamalı ve tüm bunları yaparken rekabetçi olabilmek için riskleri ile maliyetlerini ve yatırımlarını dengeleyip kendi ekonomik devamlılığını sağlamalıdır. Tüm bu çalışmaların şeffaf ve izlenebilir olması, risk ve maliyet analizi esnasında yapılabilecek hataların önceden belirlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

DÖKME DEMİR TALAŞI TAKVİYELİ ALÜMİNYUM MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMENİN ÜRETİMİNİN ARAŞTIRILMASI

Açelya SANDIKOĞLU¹⁻², Uğur AYBARS ESER¹,
Ahmet KABİL³, Çağlar YÜKSEL⁴

¹*Ferro Döküm A.Ş. Gebze, Kocaeli*

²*Gebze Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gebze, Kocaeli, Türkiye*

³*Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fakültesi, Esenler, İstanbul, Türkiye*

⁴*Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Yakutiye, Erzurum, Türkiye*

ÖZET

Mühendislik malzemelerine her geçen gün artan özellik talepleri doğrultusunda malzemelerin monolitik olarak kullanımları yetersiz kalmaktadır. Bu sebeple kompozit malzemelere olan gereksinim artan bir hızda devam etmesinden dolayı, alüminyum gibi düşük yoğunluk yüksek mukavemet sergileyen alaşım gruplarına muhtelif takviyeler yapılmaktadır. Bu çalışmada da hurda niteliğindeki lamel grafitli dökme demir talaşı alüminyum matris içerisine katılarak yeni nesil bir takviye malzemesi olabileceği gösterilmiştir. Numunelerin karakterizasyonunda içyapısal incelemeleri ve sertlik değerlerinin belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: alüminyum matrisli kompozit, dökme demir, talaş, hurda, sertlik

ABSTRACT

The use of materials as monolithic is insufficient due to the increasing demand of the engineering materials. For this reason, various reinforcements are made to alloy groups which exhibit low density high strength, such as aluminum, due to the need for composite materials at an increasing rate. In this study, it has been shown that the cast iron swarf in the form of scrap can be added to the aluminum matrix and could be a new generation reinforcement material. In the characterization of the samples, analysis of microstructures and determining of hardness values were carried out.

Keyword(s): aluminum matrix composite, cast iron, swarf, scrap, hardness

1.Giriş

Metal matrisli kompozit (MMK), 1960'lardan bu yana varlığını sürdürmektedir. Ticari uygulamaları, yüksek maliyetleri nedeniyle sınırlı kalmıştır. Özellikle askeri uygulamalarda kullanılmaya başlanması ile yaygınlaşmaya başlamıştır. Birçok farklı metal alaşımının farklı özelliklerini teşkil ettiği için alaşımlamaya alternatif olarak 1970'li yıllarda birçok araştırmacı MMK üzerinde yoğunlaşmaya başlamıştır. Bu faaliyetlerin bir sonucu olarak, son yirmi yılda birçok yeni MMK uygulamaları yapılmıştır. Kara taşımacılığı (oto ve demiryolu), havacılık, endüstriyel, rekreasyon ve altyapı endüstrilerinde kullanılmak üzere, aşınma direnci ve elektriksel iletkenliği geliştirilmiş malzemeler elde edilmiştir. Günümüz endüstrisinde yaygın olarak, düşük yoğunlukla beraber yüksek mukavemetler elde etmek istenir. Bununla beraber, düşük termal genleşmesi, yorulma direnci ve aşınma özellikleri geliştirilmiş metal matrisli kompozitlere ihtiyaç duyulmuştur. Uygulama alanlarına göre ihtiyaç duyulan metal matrisli kompozitin üretimi için aşağıdaki parametreler değerlendirilmelidir [1,3].

- Takviye fazı ile matris alaşımının kimyasal olarak uyumluluğu,
- Takviye elemanının; cinsi, şekli, boyutu, dağılımı, yüzey özellikleri, kimyasal kompozisyonu ve homojenliği

Alüminyum, titanyum, berilyum, kobalt ve gümüş genel olarak çalışılan ana matris fazlarıdır. Kullanılan takviyeler ise seramik oksitler (alümina, silisyum dioksit), nitritler (Si₃N₄, AlN) ve karbürler (silisyum karbür ve titanyum karbürdür)'dir.

Alüminyum alaşımları, otomotiv endüstrisinde, yüksek mukavemet/ağırlık oranının yanı sıra yüksek ısı iletkenliği nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak alüminyumun çelik ve dökme demirlere kıyasla akma dayanımlarının nispeten daha düşük olması alüminyum parçaların daha kolay aşınmasına sebep olur. Bu özellikleri geliştirmek amacıyla doğru takviye tipi, oranları ve üretim yönteminin seçilmesi ile alüminyum metal matrisli kompozitler (AMMK) üzerinde çalışmalara yoğunlaşmıştır. Alüminyum metal matrisli kompozitler hafif malzemeler olup çok sayıda yapısal, yapısal olmayan ve işlevsel uygulamada denenmiş ve kullanılmıştır. Bununla birlikte dayanım/ölgül ağırlık oranının yüksek olması, elektrik iletkenliği/ölgül ağırlık oranının yüksek olması, atmosfere ve diğer ortamlara karşı korozyon direncinin iyi olması alüminyum alaşımlarından üstün kılan özellikleridir. Genel olarak otomotiv ve havacılık endüstrisinde kullanılmaktadır. AMMK'lerin otomotiv sektöründeki en önemli faydaları hafiflikle beraber yüksek ölgül dayanımı ile daha düşük yakıt tüketimi, daha yüksek verimlilik, daha düşük bakım maliyeti ile beraber yeni nesil hibrit araçlara hitap etmektedir [4,5].

Bu çalışmada düşük maliyetli lamel grafitli dökme demir talaşını alüminyum matris içerisine katkılıdırarak, sıkıştırılmalı döküm yöntemiyle üretimi amaçlanmıştır. Numunelerin içyapısal karakterizasyonu yapılacak ve mekanik testler uygulanacaktır. Sonuçlar incelenerek optimum üretim koşulları tespit edilecektir.

2. Deneysel Çalışmalar

Bu çalışmada takviye lamel grafitli dökme demir talaşı, matris malzemesi A356 alaşımı seçilerek kompozit malzemenin mekanik özellikleri incelenmiştir. Çalışmada 750 °C'de ergitilen 250 gr A356 alaşımına 100 gr lamel grafitli dökme demir talaşı ilavesiyle çekme çubuğu kalıbına dökümü yapılmıştır. A356 alaşımı kimyasal analizi Tablo 1'de verilmiştir.

| Si | Fe | Cu | Mg | Ti | B | Al |
|------|-------|-------|------|------|------|-------|
| 6,65 | 0,064 | 0,014 | 0,32 | 0,05 | 0,01 | Kalan |

Tablo 1 : A356 Alaşımının kimyasal analizi

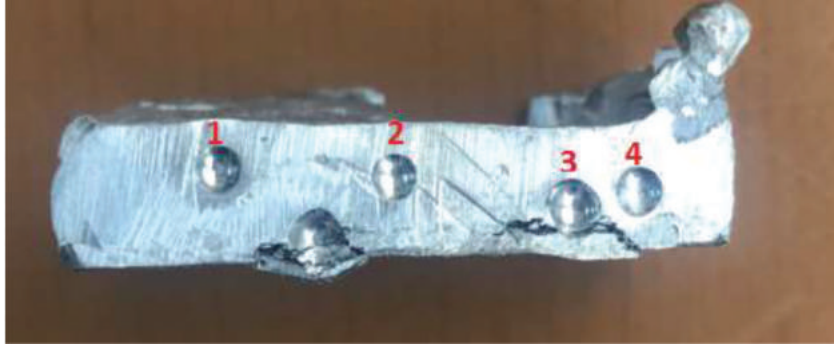
Çalışmada mekanik özelliklerin tespit edilebilmesi amacıyla imal edilen çekme çubuğu kalıbı Şekil 1’de gösterilmiştir. İlk olarak lamel grafitli dökme demir talaşının oksit oluşumunu önleyebilmek için 400 °C derece ön-ısıtma işlemi yapılmıştır. Ön kurutması yapılan talaşlar çekme çubuğu kalıbının içerisine yerleştirildikten sonra ergitilen A356 alaşımının 220°C’de ön ısıtması yapılan çekme çubuğu kalıbına dökümü yapılmıştır. Takviye ve matris dağılımını görebilmek için de içyapı incelemesinin ardından sertlik testi yapılmıştır.



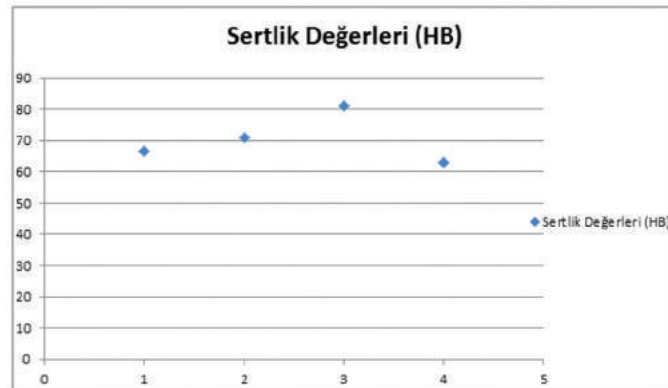
Şekil 1 Çekme Çubuğu Modeli

3. Bulgular ve Tartışma

Dökümü yapılan Şekil 2’de gösterilen numunelerin sertlik testi BMS OBPC 3000 cihazı ile gerçekleştirilmiş olup sonuçları da Şekil 3’de resmedilmektedir.



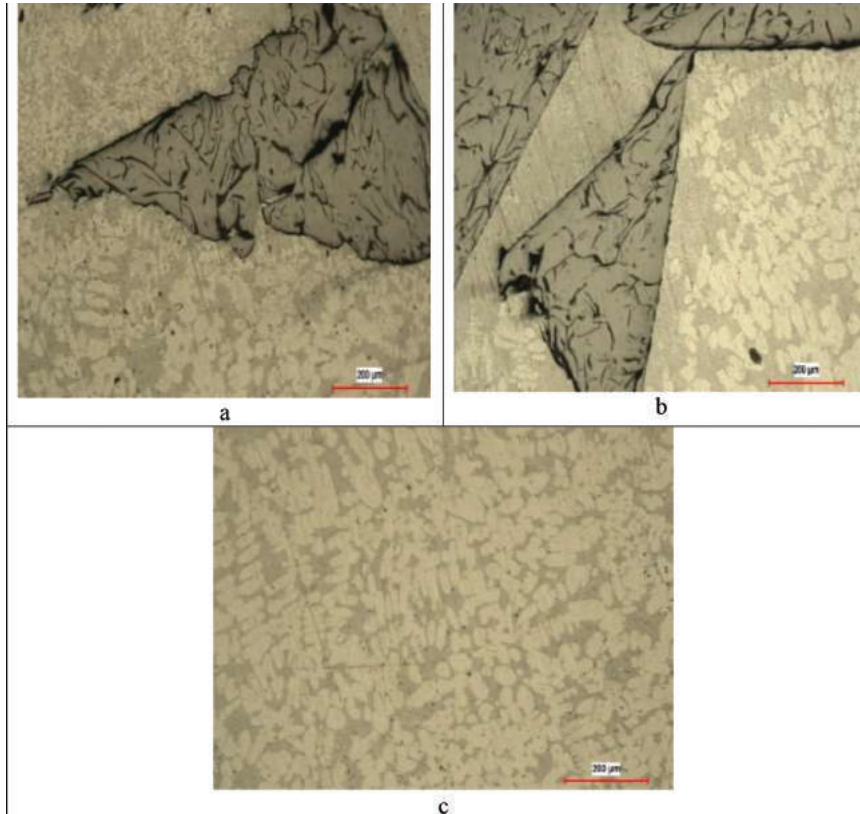
Şekil 2 Sertlik Numunesi



Şekil 3 Ölçüm yapılan noktalar değerlendirildiğinde takviyenin (demir talaşının) olduğu bölge 3.nokta olup, matrisin olduğu kısım 1.nokta ile karşılaştırıldığında sertlik sonuçlarının yükseldiği gözlemlenmiştir.

Ölçüm yapılan noktalar değerlendirildiğinde takviyenin (demir talaşının) olduğu bölge 2.nokta olup, matrisin olduğu kısım 1.nokta ile karşılaştırıldığında sertlik sonuçlarının yükseldiği gözlemlenmiştir. Ayrıca alüminyum matrisli kompozit malzeme çalışması olarak da A356 alaşımına da uçucu kül takviyesi yapılmış olup mekanik özellikler iyileştirilmiş ve homojen dağılım elde edilmiştir [7, 8]. Benzer sonuçları Aydın, vd. ağı.%0,1 grafen ile takviyeledikleri A356 alaşımında gözlemlenmişlerdir [9].

Elde edilen A356 alaşımına takviye edilen demir talaşı sıkıştırılmalı döküm yöntemi ile dökülen numunelerin içyapısal karakterizasyonuna takviye matris oranlarının homojenliği, ıslanabilirliği incelemek için NIKON MA200 mikroskopuyla incelemeler gerçekleştirilmiştir. Mikro yapı görüntüleri Şekil 4'de gösterilmiştir. Bu çalışmalar ışığında seramik partikülden daha ucuz olan lamel grafitli dökme demir talaşı takviyelendirilerek Şekil 3'de görüldüğü gibi demir talaşı ve A356 alaşımı homojen bir şekilde dağılım göstermiştir. Şekil 3a ve 3b'de takviyelenmiş alüminyum kompoziti resmedilmektedir. Açık bir şekilde arayüzeyin sürekli ve matris ile uyumlu olduğu gözlemlenmektedir. Arayüzey bağlanmasının malzemenin tüm özelliklerine etki edeceğinden dolayı böylesi bir bağlanmanın istenen bir yapıda olduğu gözlemlenir iken, takip eden mekanik ve aşınma testleri ile daha da açık bir hale getirilecektir. Şekil 3c ise takviyesiz alüminyum alaşımının olağan içyapı görüntüsünü göstermektedir. Metal matrisli kompozitlerin seramik partiküllerle güçlendirilmesi ıslanabilirliğe bağlı olup homojen dağılım ve iyi ıslanabilirlik takviye parçacıkları ve matris arasında güçlü bir bağ kurulmasına yol açar. Shorowordi, vd. [10] çalışmalarında SiC, Al₂O₃ ve B₄C takviye elamanlarını kullanarak alüminyum metal matrisli kompozit üretimini araştırmışlardır. Takviye olarak kullandıkları bu üç farklı seramik partiküllerinden en yüksek verimi B₄C takviyesinden elde ederek matris/takviye arayüzeyinin en iyi şekilde sağlanabildiği göstermişlerdir. Alüminyum alaşımlarına yapılan takviyelere bir başka örnek de Singla, vd. tarafından ağı.%5- 20 SiC takviyesidir. Takviye oranının artması ile malzemenin aşınma davranışının geliştiği ve takviyesiz malzemelere göre daha uzun ömür sergileyeceğini ileri sürmüşlerdir [11].



Şekil 4: İçyapı Görüntüleri (X100)

4.) SONUÇ

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar:

- Talaş gibi yüksek spesifik modüle sahip hammaddelerdeki ergitme kayıpları %70-75 mertebesinde [12]. Bu sebeple bu çalışmadaki dökme demir talaşının geri dönüştürülmesinde yeniden ergitmeye alternatif olarak kompozit sanayisinin kullanılabileceği gösterilmiştir.
- İÇyapı görüntüleri incelendiğinde matris/takviye arayüzeyinin homojen şekilde sağlanmıştır.
- Matrisin takviyeyi iyi şekilde ıslatabilmiştir.
- Takviyenin olduğu bölgede, matris bölgesine göre sertlik değerlerinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Bu ön çalışmanın ileriki safhalarında aşınma, korozyon ve mekanik testleri yapılacaktır. Bu testlerden elde edilecek daha detaylı bulguların yakın zamanda literatüre ve sanayiye sunumu gerçekleştirilecektir.

Referanslar

- [1] Uygur, İ. U., & Saruhan, H. (2004). "Alüminyum Esaslı Metal Matris Kompozit Malzemelerin Mekanik Özellikleri". *Sakarya University Journal of Science*, 8(1), 167-174.
- [2] Dearnley, P. A., Gummersbach, J., Weiss, H., Ogwu, A. A., & Davies, T. J. (1999). "The sliding wear resistance and frictional characteristics of surface modified aluminium alloys under extreme pressure", *Wear*, 225, 127-134.
- [3] Miracle, D. B. (2005), "Metal matrix composites—from science to technological significance", *Composites science and technology*, 65(15-16), 2526-2540.
- [4] Amaardeep Singh, Ajar Singh Rana, Niraj Bala (2015) 'Study of Wear Behavior of Aluminum Based Composite Fabricated by Stir Casting Technique', Vol 4, 2278-0149
- [5] Lall, C., Williamson, P., Drive, S., Street, W., & Pa, S. M. (2013). *Wear Resistance and Mechanical Properties of Selected PM Aluminum Alloys and Composites. Advances in Powder Metallurgy and Particulate Materials*, 1-17.
- [6] Miracle DB, Donaldson SL. Introduction to composites. In: ASM handbook. In: Miracle DB, Donaldson SL, editors. *Composites*, vol. 21. Materials Park: ASM International; 2001. p. 3–17.
- [7] Kulkarni, S. G., Meghnani, J. V., & Lal, A. (2014). Effect of fly ash hybrid reinforcement on mechanical property and density of aluminium 356 alloy. *Procedia Materials Science*, 5, 746-754.
- [8] Hashim, J., Looney, L., & Hashmi, M. S. J. (2001). The wettability of SiC particles by molten aluminium alloy. *Journal of Materials Processing Technology*, 119(1-3), 324-328.
- [9] Aydın, O., Kocaveli, A., Gürsoy, Ö., Erzi, E., & Dışpınar, D. (2019). Aluminum Matrix Graphene-Reinforced Composite Materials. In *Shape Casting* (pp. 365-371). Springer, Cham.
- [10] Shorowordi, K. M., Laoui, T., Haseeb, A. S. M. A., Celis, J. P., & Froyen, L. (2003). Microstructure and interface characteristics of B4C, SiC and Al2O3 reinforced Al matrix composites: a comparative study. *Journal of Materials Processing Technology*, 142(3), 738-743.
- [11] Singla, M., Singh, L., & Chawla, V. (2009). Study of wear properties of Al-SiC composites. *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, 8(10), 813.
- [12] Yüksel, Ç., "Alüminyum ve alaşımlarının sıvı metal kalitesinin arttırılması", Doktora Tezi, FBE, Yıldız Teknik Üniversitesi, 2016.

ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ YÜKSEK BASINÇLI DÖKÜM YÖNTEMİNDE HAVA TAHLİYE SİSTEMLERİ

Aslan ÇELİK*, Erhan TÜRKMEN*, Ali Serdar VANLI**

* *Torun Basınçlı Döküm A.Ş., Tuzla, İstanbul, Türkiye.*

** *Yıldız Teknik Üniversitesi, Beşiktaş, İstanbul, Türkiye.*

ÖZET

Basınçlı döküm sanayinde imalatı gerçekleştirilen parçalardan istenilen kalite özellikleri, her geçen gün beklenenin ötesinde artış göstermektedir. Bu beklentileri sağlayabilmek ancak optimum kalıp ve proses dizaynı ile mümkün olabilmektedir. Basınçlı döküm kalıplarının yüksek maliyeti ve imalinden sonra çoğu zaman revizyona izin vermeyen yapılarından dolayı, kalıp imal safhasından önce, döküm simülasyon uygulamaları sayesinde, kalıp ve proses tasarımlarımızı optimize etme imkânı bulabilmekteyiz. Firmalar genelde bu simülasyon uygulamalarında parçaların kalıp üzerindeki yerleşimine ve yolluk sisteminin tasarımına önem vermekte, hava tahliye sistemleri ikinci planda kalmaktadır. Oysaki parça kalitesini ve kalıp ömrünü etkileyen en önemli faktörlerden birisi hava tahliye sistemlerinin uygunluğudur. Bu çalışmada, hava tahliye sistemleri hesabının nasıl yapıldığı ve hangi noktalara dikkat edilmesi gerektiği ayrıntılı şekilde incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Basınçlı Döküm Yöntemi, Hava Tahliye Sistemleri, Optimum Tasarım, Simülasyon

ABSTRACT

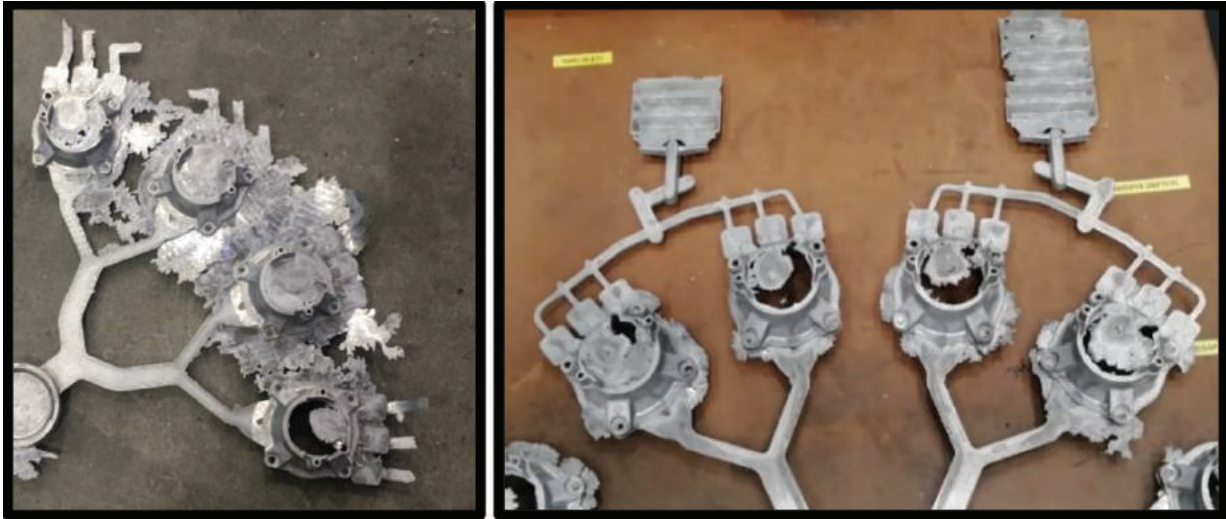
The required quality characteristics of the casting parts manufactured in the die casting industry increase continuously beyond expectations. These expectations can be only achieved by optimum die and process design. Due to the high cost of the die-casting molds and the structures which do not allow for revision after the manufacturing, we can optimize our mold and process designs before mass production step, thanks to the casting simulation applications. Generally, companies give importance to the placement of the parts on the mold and the design of the runner system in these simulation applications, and the air evacuation systems are in second plan. However, one of the most important factors affecting the part quality and mold life is the suitability of air venting systems. In this study, how air evacuation systems are calculated, and which points to be considered are analyzed in detail.

Keywords: Die Casting Proses, Air Venting Systems, Optimum Design, Simulation

1. HAVA TAHLİYE SİSTEMİNİN ÖNEMİ

Yüksek basınçlı döküm prosesinde karşılaşılan en önemli döküm hatalarından biri porozite olup, genellikle proses parametrelerine, kalıp tasarımına ve döküm alaşımına bağlı olarak meydana gelmektedir. Porozite döküm parçalarda sızdırmazlık sorunlarına, yüzey hatalarına, talaşlı işlenebilme kabiliyeti ve mekanik özelliklerde kayıplara yol açmaktadır. Çekinti (büzulme) ve gaz porozitesi olmak üzere iki tür porozite türü mevcut olup, her iki tür de döküm kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Çekinti porozitesi çoğunlukla katılaşma esnasında kendini çekmenin beslenememesinden dolayı meydana gelirken, gaz porozitesi ise yolluk tasarımı, proses parametreleri ve kalıp içindeki havanın tahliyesine bağlı olarak oluşmaktadır [1].

Yüksek basınçlı döküm prosesinde, yüksek hız ve yüksek basınç altında üretim yapılırken, kalıp boşluğunda bulunan havanın kalıptan uygun bir şekilde tahliye edilmesi beklenmektedir. Parçalardan istenen kalite özelliklerini belirleyen en önemli etkenlerden birisi de hava tahliye sistemidir. İyi bir yolluk tasarımı, yeterli bir hava tahliye kesit alanı hesaplanmadan tam olarak gerçekleştirilemez. Hesaplanan hava tahliye kesit alanına göre hava tahliye yöntemi belirlenmeli ve tasarım buna göre nihai haline getirilmelidir [2]. Uygun olmayan hava tahliye yöntemi, parça kalitesinde bir takım problemleri de beraberinde getirecektir. Bunlardan bazıları gaz porozitesi, eksik dolum, kalıpta çapaklanma, makine parametrelerinin normal ihtiyaçtan daha yüksek değerlere ayarlanması ve buna bağlı olarak hem kalıpta hem de makinede meydana gelen ekstra sorunlar olarak karşımıza çıkabilir [3]. Şekil 1'de hava tahliye sistemi yetersiz olan bir kalıpta meydana gelen çapaklanma ve aynı kalıba hava tahliye sistemi revizyonu sonrasında çapaklanmanın giderildiği bir örnek görülmektedir.



Şekil 1. Hava tahliye kesit alanı yetersiz bir kalıpta çapaklanma durumu
(a) Hatalı hava tahliyesi (b) Düzeltilmiş hava tahliyesi

Hava kesit alanı uygunsuzluğuna bağlı olarak, makine parametrelerinin istenen kalite özelliklerini sağlayabilmesi için sürekli olarak değiştirilmesi ihtiyacı doğmaktadır. Bu da proses optimizasyonunu ve dolayısıyla döküm kalitesini ve firesini olumsuz yönde etkilemektedir. İşlenen parçalarda yüzeye yakın bölgelerde oluşan gaz boşluklarının ortaya çıkması; sızdırmazlık testi uygulanan parçalarda, parçanın test esnasında sızdırması; yüksek servis sıcaklıklarında çalışan parçalarda kabarma; mekanik yük altında çalışan parçalarda ise gaz boşluğuna bağlı olarak görülen kırılma hataları, hava tahliyesinin yetersiz olduğu durumlarda meydana gelmektedir. Bu ve benzeri hatalar, müşteri şikayetlerini arttıracığından, reklamasyon ve işletme maliyetleri ile birlikte şirket üzerinde ekstra mali bir yük oluşturacaktır.

2. HAVA TAHLİYE KESİTİNİN HESAPLANMASI

Hava tahliye sistemi, yolluk sisteminin hesaplanması esnasında dikkate alınan kabul kriterlerine göre belirlenir. Debinin sabitliği ilkesine bağlı kalınarak yolluk giriş kesit alanı ile birlikte hava tahliyesi için gereken kesit alanı da hesaplanır. Hesaplamaya ilk olarak dolum ağırlığı belirlenerek başlanır. Dolum ağırlığı, toplam döküm ağırlığından farklı olarak yolluk girişlerinden itibaren kalıp boşluğuna doldurulması gereken sıvı metal ağırlığını ifade etmektedir. Dolum ağırlığına, taşma cepleri ve hava tahliye sisteminin ağırlığı da dahildir. Teorik hesaplamalarda ceplerin ve hava tahliye sistemlerinin ağırlıkları, ortalama parça ağırlığının %20-30'u arasında alınabilir. Dolum ağırlığından yola çıkılarak, dolum hacmi hesaplanır. Daha sonra dökülen parçanın kritik cidar kalınlığına, sıvı metal ve kalıp yüzey sıcaklığı ile dökülen alaşımın cinsine göre belirlenen dolum süresi (ms) kullanılarak dolum debisi hesaplanır.

Bu hesaplamaların ardından dolum için gerekli olan sıvı metal debisi belirlenmiş olacaktır. Hesaplanan debi, piston çapı ve 2. faz piston hızının farklı korelasyonlarını elde etmek için kullanılır. Debinin sabitliği ilkesinden yola çıkarak hava tahliyesi için ihtiyaç duyulan kesit alanı da yine bu debi değeri kullanılarak hesaplanır. Burada dikkat edilmesi gereken en önemli husus, yolluk girişindeki sıvı metal hızı ile tahliye sistemindeki hava çıkış hızı arasında yaklaşık 5 katlık bir hız farkının mevcut olduğudur. Hava tahliye sistemlerinde, havanın kalıptan çıkarken ulaşacağı hız değerleri 100-300 m/s arasında değişebilmektedir. 300 m/s'nin üzerindeki değerler, ses hızı duvarına yaklaşıldığı için sonik patlamalara neden olabilmektedir [4]. Şekil 2'de örnek bir kesit hesaplama tablosu görülmektedir.

[Parça Ağırlığı(g) + Ceperler(g) + Hava Tahliye Kanalları(g)] x Göz Sayısı = Dolum Ağırlığı(g)

Dolum Hacmi(cm³) = Dolum Ağırlığı(g) / Sıvı Metal Yoğunluğu(g/cm³)

Dolum Debisi(l/s) = Dolum Hacmi (cm³) / Dolum Süresi (ms)

Hava Tahliye Kesit Alanı(mm²) = Debi (l/s) x 1000 / Hava Tahliye Hızı (m/s)

3. HAVA TAHLİYE SİSTEMLERİ

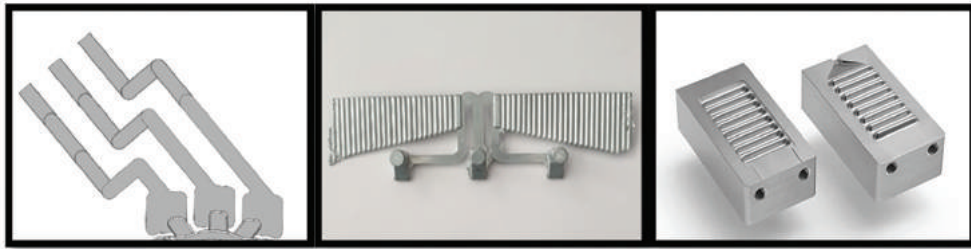
Yüksek basınçlı döküm prosesinde farklı hava tahliye sistemleri kullanılmaktadır. İlk olarak, taşma cepleri ve bunlarla bağlantılı hava tahliye kanalları kullanılmaya başlanmıştır. Daha sonraki uygulamalarda ise washboard ve chillventler geliştirilmiştir. İlerleyen yıllarda yaşanan teknolojik gelişmeler vakum takviyeli hava tahliye sistemlerinin ortaya çıkmasına öncülük etmiş ve günümüzde yaygın şekilde kullanımlarına olanak sağlamıştır. Parçadan beklenen porozite şartlarına göre en uygun hava tahliye yöntemi seçilerek mutlaka kalıp tasarımına dâhil edilmelidir.

3.1. Konvansiyonel Hava Tahliye Sistemleri

Konvansiyonel hava tahliye sistemlerini üçe ayırmamız mümkündür: hava tahliye kanalı, washboard ve chillvent. Genellikle hava tahliye kanalları 0,03-0,3 mm derinlik ile 10-50 mm genişlik değerlerine sahip olurken; washboard ve chillventlerde 0,3-0,8 mm derinlik ve 50-150 mm arasında genişlik değerleri kullanılmaktadır. Şekil 3'te hava tahliye kanalı ve chillvent tasarımlarına ait örnekler gösterilmektedir. Bunlardan en etkin konvansiyonel hava tahliye sisteminin chillvent olduğu bilinmektedir.

| Die Specification Cold Chamber | | FRECH® | |
|---|---------------------------------------|-----------|----------------------------|
| Aluminium | | | |
| Part name | Wilo Motor Housing | | |
| Part weight | 125 g | Overflow: | 25 g |
| Number of parts in the die n | 8 | | |
| Smallest critical wall-thickness of casting | 3 mm | | |
| Filling time (from filling time diagram) | 30 ms | | |
| Machine | FRECH 830-K | Plunger ø | 80 mm |
| Specific casting pressure | 700 bar | | |
| Part properties | pressure tight | N | Yes/No |
| | galvanizable | N | Yes/No |
| | mechanically stressed | N | Yes/No |
| Filling weight = | part weight (g) | + | overflows (g) |
| | 125 g | + | 25 g |
| | | x | number n |
| | | | 8 |
| | | | = 1200,0 g |
| Filling volume = | filling weight (g) | = | 1200,0 g |
| | density of melt | = | 2,4 g/cm ³ |
| | | | = 500,0 cm ³ |
| Flow rate Q = | filling volume (cm ³) | = | 500,00 cm ³ |
| | filling time (ms) | = | 30 ms |
| | | | = 16,67 l/s |
| Plunger velocity = | flow rate Q (l/s) x 10 | = | 16,67 l/s x10 |
| | plunger area (cm ²) | = | 50 cm ² |
| | | | = 3,32 m/s |
| Runner cross-section | flow rate Q (l/s) x 1000 | = | 16,67 l/s x1000 |
| | runner velocity (m/s) | = | 30 m/s |
| | | | = 555,6 mm ² |
| Gate cross-section Aa | flow rate Q (l/s) x 1000 | = | 16,67 l/s x1000 |
| | gate velocity (m/s) | = | 35 m/s |
| | | | = 476,2 mm ² |
| Gate cross-section = | Gate cross-section (mm ²) | = | 476,2 mm ² |
| (per part) | number n | = | 8 |
| | | | = 59,5 mm ² |
| Filling ratio = | shot weight x 100 | = | 2.368,0 g x100 |
| | effect. Cast vol. x density | = | 2.411 cm ³ x2,4 |
| | | | = 41 % |
| | | | (max. 66%) |
| Ventilation cross-section | flow rate Q (l/s) x 1000 | = | 16,67 l/s x1000 |
| | air speed V1 (100-300 m/s) | = | 200 m/s |
| | | | = 83,33 mm ² |

Şekil 2. Örnek kesit hesaplama tablosu



Şekil 3. Konvansiyonel hava tahliye sistemleri
(a) Hava tahliye kanalı (b) Washboard (c) Chillvent

3.2. Vakum Destekli Hava Tahliye Sistemleri

Standart chillventler veya diğer adıyla 2 boyutlu (2D) chilventler, vakumlu döküm uygulamasında da kullanılabilir. Ancak hava tahliye kesitleri sınırlı olduğundan, istenilen kesit alanlarına ulaşamayan durumlar söz konusu olabilmektedir. İlerleyen yıllarda mekanik vakum valfleri geliştirilmiş ve kullanımı son yıllarda artış göstermiştir. Mekanik valfler iki pistonla sahip olup sıvı metalin hareketine duyarlı olarak mekanik açma kapama hareketi sağlamaktadır. Bu

valflerde hava tahliye kesit alanları oldukça yüksek değerlere çıkabilmektedir. Mekanik vakum valfleri kullanan proseslerde makine duruş sürelerinin yüksek olması, valf bakımlarının zorluğu ve maliyeti gibi hususlardan dolayı kullanımı nispeten kısıtlanmaktadır. Son yıllarda, yüksek basınçlı döküm kalıplarında üç boyutlu (3D) chillvent sistemleri geliştirilmiş ve kullanılmaya başlanmıştır. Bu sistemler hem chillvent hem de vakum valfi olarak kullanılabilir [2]. Şekil 4'te 2D chillvent, mekanik valf ve 3D chillvent ile ilgili örnekler görülmektedir.

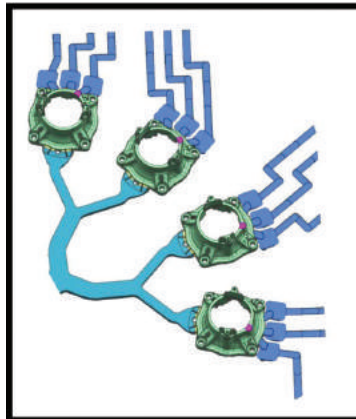


Şekil 4. Vakum destekli hava tahliye sistemleri (a) 2D Chillvent (b) Mekanik Valf (c) 3D Chillvent

4. HAVA TAHLİYE SİSTEMLERİNİN TASARIMI

Parça iyileştirme analizi ile başlayan tasarım süreci, parça kalıplanabilir hale getirildikten sonra yoluk girişi ve yolluk şeklinin belirlenmesi ile devam eder. Yolluk giriş bölgesi simülasyon programları yardımıyla belirlendikten sonra tasarıma nihai halini vermek için belirlenen hava tahliye sisteminin de tasarıma ilave edilmesi gerekmektedir. Simülasyon ilk aşamada herhangi bir hava tahliye sistemi olmadan yapılır. Bu simülasyonlar referans alınarak son dolum noktaları belirlenir ve o bölgelere, hesaplanan ve karar kılınan hava tahliye sistemi eklenip tasarım yeniden simüle edilir. Son koşum sonrası elde edilen simülasyon verileri, daha önce ki tecrübeler ile birlikte değerlendirilir. Bir iyileştirme yapılması durumunda simülasyon koşumu yenilenir ve nihai sonuçlar tekrar değerlendirilir [5].

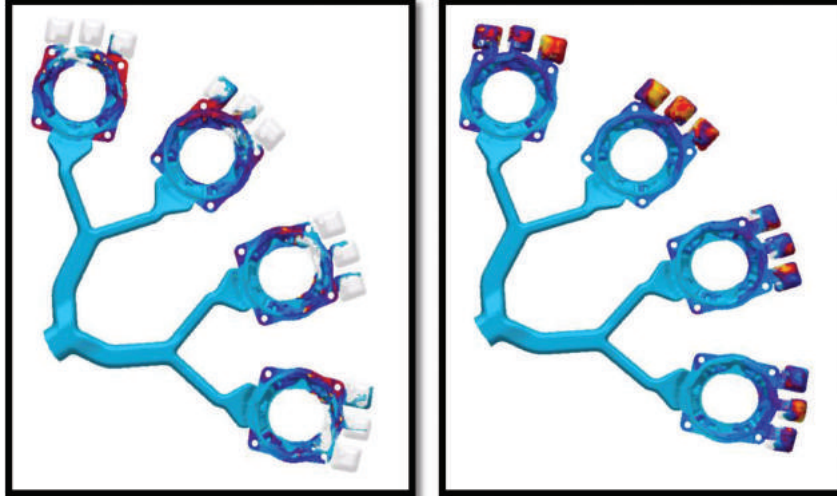
Bu çalışmada, tecrübeye dayalı olarak ve hesaplama yapılmadan tasarlanan bir hava tahliye sisteminin, uygulamada yetersiz kaldığı ve daha sonra sistemin revize edildiği ve bu sayede hangi kalite özelliklerinde ve makine parametrelerinde değişiklik gözlendiği incelenmiştir. Çalışmaya Şekil 5'de görülen hava tahliye sistemi ile başlanmıştır. Simülasyon koşumu sonrasında incelenen "Air Entrapment" sonuçlarına göre hava sıkışmalarının yoğunluk olarak ceplere iletildiği görülmektedir. Teorik olarak hesaplanan kesit alanı 88 mm² olmasına rağmen, ilk tasarımdaki hava tahliye kanalı 48 mm² kesit alanı sağlayabilmiştir. Benzer parçalarda hava tahliye kanalları ile yapılan dökümün yeterli olması, ilk tasarımda referans oluşturmuş ve tecrübeye dayalı şekilde hava tahliye kanalı tasarıma ilave edilmiştir. Ancak uygulamada tahliyesin yetersiz kaldığı görülmüş ve hesaplamalar sonucu revize edilmiştir.



Şekil 5. Hava tahliye kanalı tasarımı.

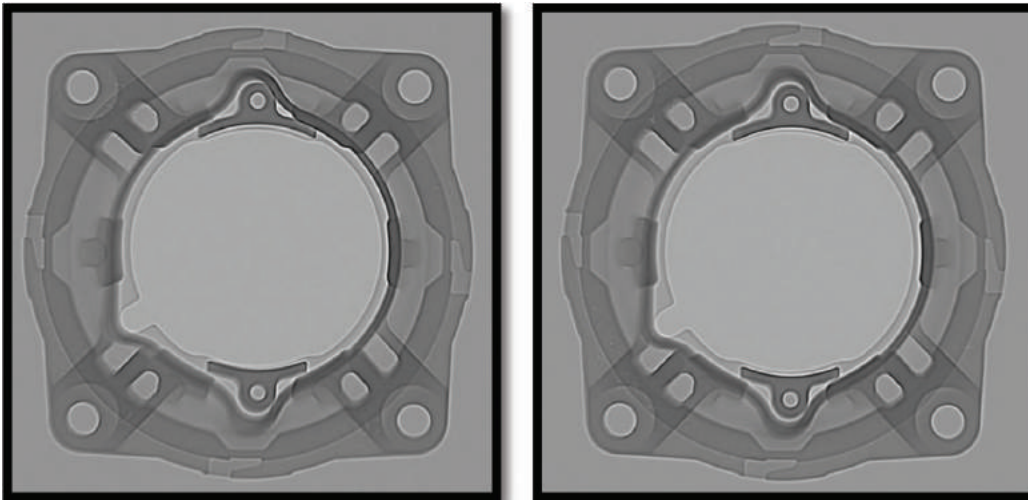
Kalıp tasarımında dikkat edilmesi gereken önemli noktalardan biri de, tasarım yapılırken, ilerleyen dönemde olası bir probleme karşı çelikler üzerinde, hava tahliye sistemini değiştirebilecek esnekliğin oluşturulmasıdır. Tasarım yapılırken cepler, son dolum noktalarına yerleştirilmiş ve simülasyonda konumları doğrulanmıştır. Sanal ortamda yapılan testler sonucunda hava sıkışmalarının ceplere aktarıldığı görülmüştür (Şekil 6).

Kalıp tamamlandıktan sonra üretime alındığında çapaklanma ve porozite sorunu ile karşılaşmış olup makine üzerinde yapılan çeşitli parametre değişiklikleri ile optimum değerler yakalanmaya çalışılmış ancak kalıbın seri üretim şartlarına uygun olmadığı tespit edilmiştir. Özellikle porozite sorununu çözmek adına hızlarda ve basınçlarda birçok farklı parametre değeri uygulanmış, ancak her baskıda farklı bölgelerde kendini gösteren poroziteler tam anlamıyla giderilememiştir.



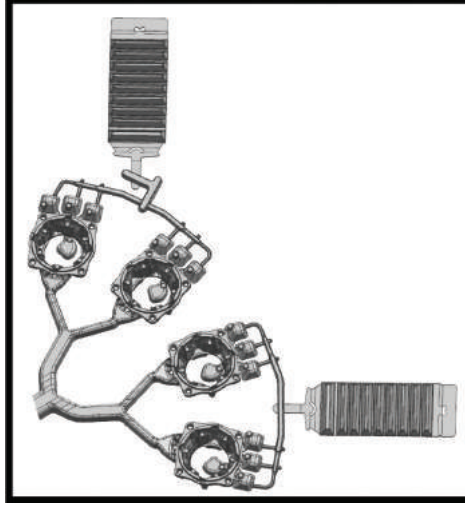
Şekil 6. Hava tahliye kanalının simülasyon görüntüsü

Döküm sonuçlarından elde edilen veriler, hava tahliye kanalları ile bu parça özelinde sonuca gidilemeyeceği, istenilen makine döküm parametrelerinin ve kalıp kondisyonunun sağlanamayacağı şeklinde yorumlanmıştır. Şekil 7’de, optimize edilmiş döküm parametreleri ile üretilmiş parçanın X-Ray görüntüsü verilmiştir. Parçada yoğun şekilde porozite gözlenmektedir. Mekanik yük altında çalışan parçalarda porozite önem arz etmektedir. Bu nedenle hem makine parametrelerinin optimize edilmesi hem de parça kalitesini arttırmak amacıyla tasarım değişikliğine gidilmiştir.

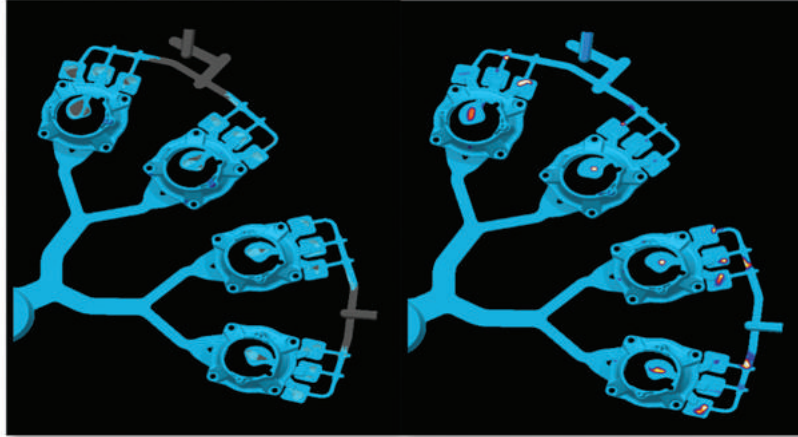


Şekil 7. Hava tahliye kanalı ile dökülen parçanın XRay görüntüsü

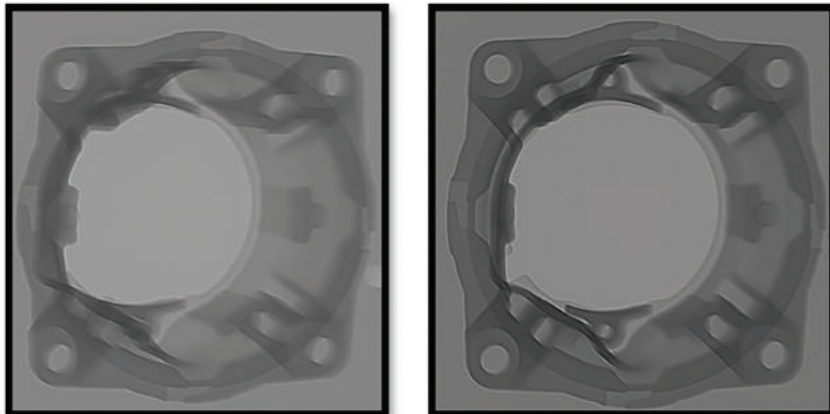
Bunun ardından hem seri üretim şartlarını sağlamak hem de gaz çıkışını rahatlatmak amacıyla hava tahliye kanalları iptal edilerek kalıba chillvent ilave edilmiştir (Şekil 8). Simülasyon koşumuna göre daha iyi bir sonuç elde edileceği anlaşıldığından, söz konusu revizyonlar kalıba uygulanmış ve kalıp deneme dökümüne alınmıştır (Şekil 9). Yapılan denemeler sonucunda salkımda daha önce meydana gelen çapaklanma sorunu ortadan kalkmış, hız ve basınç değerleri düşürülmüş ve porozite değerleri açısından çok daha iyi bir parça elde edilmiştir (Şekil 10). ASTM E2973 baz alındığında, dökülen parçadaki porozite değerleri Level 1 seviyesine kadar gerilemiştir (Şekil 11).



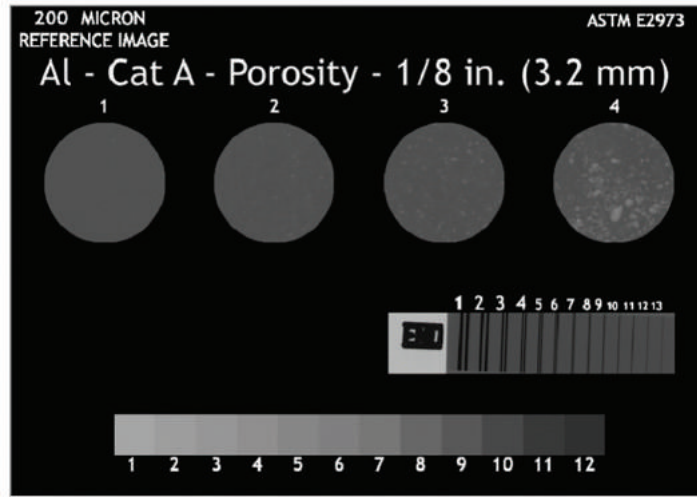
Şekil 8. Hava tahliye kanallarının chillvent ile değiştirilmesi



Şekil 9. Chillvent eklenmiş tasarımın simülasyon ile doğrulanması



Şekil 10. Chillvent eklenmiş parçaların X-Ray görüntüleri



Şekil 11. ASTM E2973'e göre X-Ray seviyeleri [6].

Basınçlı döküm yönteminde, her parça özelinde edinilen tecrübeler ve bu tecrübelerden çıkartılması gereken dersler bulunmaktadır. Özellikle alüminyum alaşımların yüksek basınçlı döküm yönteminde, teorinin her zaman pratikle birebir eşleşmediği, yapılan hesaplamaların geçmişte elde edilen tecrübelerle harmanlanması gerektiği bilinmektedir. Bu yüzden tasarımı yapılan kalıbın, olası revizyonlara izin verecek esnekliğe sahip olması gerekmektedir. Aksi takdirde revizyon gerektiren ancak bu değişikliğin kalıba uygulanmasının mümkün olmadığı durumlarda kalıp maliyetinin yanı sıra, proses parametrelerinin oturtulamamasına bağlı olarak boşa harcanan iş gücü, müşterinin kalite beklentilerini karşılayamamış parçaların maliyeti gibi durumlar, işletmelerin yaşayabileceği olası problemlerdir. Bu nedenle kalıp, olası revizyonların yapılmasına uygun altyapıya sahip olmalıdır [5].

5. SONUÇ

Yapılan hesaplamaların neticesinde, hava tahliye sistemindeki revizyon sonrası kalıpta çapak ve porozite oluşumu ortadan kaldırılmıştır. Döküm parametrelerinin tamamı, prosesi yormayacak şekilde ayarlanmış ve proses parametrelerinde gerekli esneklik sağlanmıştır. Sonuç olarak, hava tahliye sisteminin hatalı seçilmesine bağlı olarak, dökülmesi zor olan ve müşteri beklentilerini karşılamayan bir kalıba, yapılan matematiksel hesaplamalar sonucunda doğru hava tahliye sistemi uygulanmıştır. Böylece hem üretim parametreleri optimum şekilde ayarlanabilmiş, hem de parça kalitesi müşteri beklentilerini karşılayacak seviyeye ulaşmıştır.

KAYNAKÇA

1. O. Kenar, A. Doğan, F. Topçu, E. Altuncu, "Performance Evaluation of Overflow Designs on Cold Shut and Blister Defects on Aluminum Die Casting", 19. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi (IMMC 2018), İstanbul, Türkiye, Congress Proceedings Book, pp. 369-372, Ekim 2018.
2. A. Doğan, O. Kenar, B. Erdil, E. Altuncu, "Effect of Different Air Venting Designs on Porosity in High Pressure Aluminum Die Casting Process", 19. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi (IMMC 2018), İstanbul, Türkiye, Congress Proceedings Book, pp. 253-256, Ekim 2018.
3. E.J. Vinarcik, "High Integrity Die Casting Processes", John Wiley & Sons Inc., New Jersey, 2003.
4. B. Andresen, "Die Casting Engineering: A Hydraulic, Thermal and Mechanical Process", Marcel Decker Inc., New York, 2005.
5. 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.
6. ASTM E2973-15: Standard Digital Reference Images for Inspection of Aluminum and Magnesium Die Castings, 2015.

SR MODİFİKASYONU VE T6 ISIL İŞLEMİNİN A380 ALAŞIMINDA AŞINMA DAVRANIŞI ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Mikdat GURTARAN*, Muhammet ULUDAĞ*

* *Bursa Teknik Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Bursa, Türkiye*

ÖZET

Ticari amaçlı üretilen Al-Si-Cu alaşımları uzun yıllardır özellikle otomotiv endüstrisinde kullanılmaktadır. Son zamanlarda otomotiv endüstrisindeki dinamik uygulamalar için bu alaşımların aşınma özelliklerinin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmuştur. Bu çalışmada, Sr modifikasyonu işleminin A380 alaşımında aşınma davranışı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Buna ek olarak, malzemeye uygulanan T6 ısıtma işlemi ile malzemenin aşınma davranışındaki değişimler araştırılmıştır. Aşınma testi 3N yük altında ve 20 m yol parametreleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Hem ısıtma işleminin hem de Sr modifikasyonunun mikroyapı üzerindeki etkisine bağlı olarak malzemenin aşınma davranışı detaylı bir şekilde tartışılmıştır. Sonuç olarak Sr modifikasyonu ve T6 ısıtma işleminin mikroyapı üzerinde etkili olduğu ve T6 ısıtma işleminin malzemenin aşınma özelliklerini iyileştirdiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: A380 alaşımı, Sr modifikasyonu, T6 ısıtma işlemi, aşınma davranışı, mikroyapı

ABSTRACT

Al-Si-Cu alloys which produced as commercial have used in especially automotive industry for many years. In recent years, it is a requirement to improve the wear properties of these alloys for using dynamic applications in automotive industry. In this study, the effect of Sr modification on wear behavior of A380 alloy was investigated. In addition to this, with T6 heat treatment applied to material, changing in the wear behavior of the material was researched. Wear test is made under the parameters which are 3N force and 20 m road. Wear behavior of material was discussed in detail depending on the effect of both heat treatment and Sr modification on microstructure. As a result, it was seen that Sr modification and T6 heat treatment have an effect on the microstructure and that T6 heat treatment develops wear behavior of the material.

Keywords: A380 alloy, Sr modification, T6 heat treatment, wear behavior, microstructure

1. GİRİŞ

Al ve alaşımları çelikten sonra en çok tercih edilen mühendislik malzemelerindedir [1]. Son yıllarda özellikle otomotiv ve uçak sanayi gibi kritik uygulamalardaki kullanımı artmaktadır. Bu alaşımların birçok farklı endüstride kullanılması sahip olduğu üstün özellikler ile açıklanabilmektedir. Al ve alaşımları başta düşük yoğunluk olmak üzere, dökülebilirlik, işlenebilirlik, korozyona karşı direnç ve ısı ve elektriksel iletkenlik gibi üstün özelliklere sahiptir [2, 3]. Bu alaşımları üretmede farklı teknikler kullanılabilir de döküm tekniği seri imalata uygunluğu, istenilen boyutta parça üretimi ve diğer üretim tekniklerine göre daha ucuz olması sebebiyle yaygın bir şekilde tercih edilmektedir [4].

Döküm tekniği ile üretilen malzemenin yüksek mekanik özelliklere sahip olması bekleniyorsa birçok döküm parametresinin optimum hale getirilmesi gerekmektedir [5]. Al-Si-Cu alaşımlarında Al-Si ve Al-Cu olmak üzere iki farklı ötektik yapı mevcuttur [6]. Ergiyik içerisindeki Si katılaşma ile birlikte iğnemsiz ve kaba bir formda meydana gelmektedir [7]. Böyle bir morfolojiye sahip ötektik yapı malzemenin sünekliğini düşürerek mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkilemektedir. Ötektik Si morfolojisinin bu olumsuz etkisini minimize etmek için ötektik modifikasyonu işlemi yapılmaktadır [8, 9]. Ötektik modifikasyonu için en çok tercih edilen alaşım elementlerinden bir tanesi stronsiyumdur. Stronsiyum ergiyik içerisine AlSr15 master alaşımı şeklinde dahil edilmektedir. Ergiyik içerisine dahil edilen Sr katılaşma esnasında Si partiküllerinin önünü tıkararak iğnemsiz ve kaba bir formda oluşmasını engellemektedir [10].

Al ve alaşımları birçok mühendislik malzemesine göre üstün özelliklere sahip olsa da, üretildikten hemen sonra, hiçbir işlem yapmaksızın, kullanımı oldukça sınırlıdır. Üretilen alaşımın mekanik özelliklerini iyileştirmek için ısı işlem uygulanmaktadır [11]. Al ve alaşımlarına en çok uygulanan ısı işlem tekniklerinden bir tanesi çökeltme sertleşmesi ısı işlem tekniğidir [12]. Al-Si-Cu alaşımlarında çökeltme sertleşmesi ile özellikle CuAl₂ fazları oluşturularak yapı içerisinde homojen bir şekilde dağıtılmaktadır. Al-Al yapısına göre çok daha sert bir yapı olan CuAl₂ yapısının oluşmasıyla malzemenin mekanik özellikleri iyileşmektedir [13]. Çökeltme sertleşmesi ısı işlemi çözeltiye alma, su verme ve yaşlandırma basamaklarından meydana gelmektedir.

Al ve alaşımlarının son yıllardaki dinamik uygulamalardaki kullanımı malzemenin aşınma özelliklerinin geliştirilmesini zorunlu bir hale getirmiştir. Aşınma prosesi belli yönlerdeki kuvvet bir kuvvete maruz kalan malzemede meydana gelen kütle kaybı şeklinde tanımlanabilmektedir [14]. Çalışma ortamına göre şiddetli, hafif, kazınma, oyuk ve sürtünme gibi aşınma çeşitleri meydana gelebilmektedir. Literatürde abrasif, korozif, yorulma, oksidasyon, delaminasyon ve yayıngan gibi farklı aşınma mekanizmaları açıklanmıştır [15].

Bu çalışmada Sr modifikasyonu ve T6 ısı işleminin malzeme mikroyapısı ve aşınma davranışı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Aşınma davranışı incelenirken iki farklı aşındırma tekniği kullanılmış olup sonuçlar kıyaslama yapılarak tartışılmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

Çalışmada kullanılan A380 alaşımının kimyasal kompozisyonu Tablo 1'de verilmiştir.

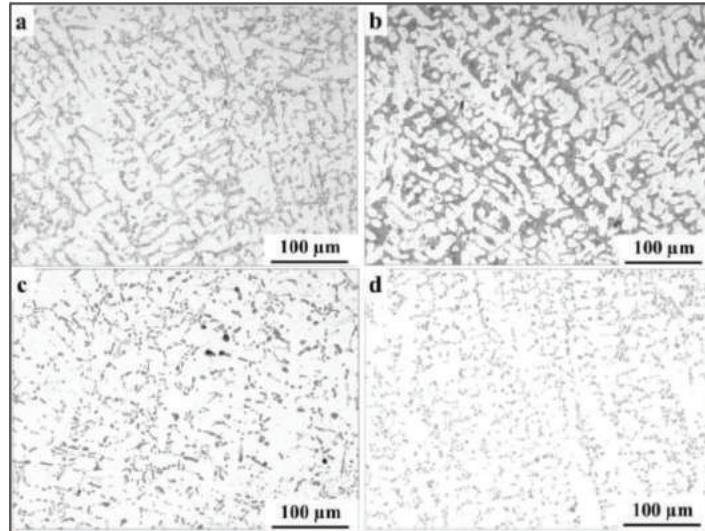
| Alaşım | Si | Fe | Cu | Mn | Mg | Zn | Ti | Al |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| A380 | 8,14 | 0,64 | 3,12 | 0,44 | 0,22 | 0,49 | 0,02 | Kalan |

Tablo 1. A380 alaşımının kimyasal kompozisyonu

İlgili firmalardan temin edilen ingotlar daha küçük boyutlara kesilmiştir. Kesilen ingotlar potaya yerleştirildikten sonra elektrik rezistanslı fırına şarj edilmiştir. Ergitme işleminden sonra 30 ppm AlSr15 master alaşımı ilavesi gerçekleştirilmiştir. Master alaşımı ilavesinden sonra kokil kalıplara dökümler gerçekleştirilmiştir. Daha sonra test numuneleri gerekli kesim işlemlerinden sonra elde edilmiştir. Elde edilen test numunelerinin yarısına T6 ısıl işlemi uygulanmıştır. T6 ısıl işlemi; 495 °C'de 3 saat süre ile çözeltiye alma, kaynayan suda su verme ve 175 °C'de 16 saat süre ile yapay yaşlandırma parametreleri altında gerçekleştirilmiştir. Numune hazırlama işlemi sabit ve uygun boyutlarda bir test numunesi hazırlamak amacıyla bakalite alma işlemiyle devam etmiştir. Bu işlemin ardından mikroyapı incelemelerinin yapılacağı numunelere zımparalama ve parlatma işlemi yapılmıştır. Diğer taraftan ise aşınma testleri 3 N yük, 20 m yol ve 8 mm/sn hız parametreleri altında yapılmıştır. Aşınma testi kuru ve yağ ortamı olmak üzere iki farklı ortamda gerçekleştirilmiştir. Aşındırma için 5 mm çapında kromla sertleştirilmiş çelik bilye kullanılmıştır. Buna ek olarak, kuru ortam için abrasif aşınma tekniği kullanılarak aşınma testi tekrarlanmıştır. Abrasif aşınma testi 30 grade zımpara kâğıdı kullanılarak 10 N yük 30 m yol parametreleri altında gerçekleştirilmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Test numunelerinin mikroyapı analizi sonucu elde edilen görüntüleri Şekil 1'de verilmiştir. Şekil 1a incelendiğinde Si ötektik yapısının kaba ve iğnemsî bir formda oluştuğu görülmektedir. Al alaşımlarında akışkanlığı iyileştirici bir etkisi bulunan Si, katılaşma esnasında iğnemsî bir morfolojide oluşmakta ve malzemenin mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkilemektedir [16]. Şekil 1b'de ise Sr ilavesi ile kaba ve iğnemsî morfolojide oluşan Si ötektik yapısının çok daha küçük ve eş eksenli bir morfolojide oluştuğu görülmektedir. Aynı test numunelerinin T6 ısıl işlem sonrası elde edilmiş mikroyapı görüntüleri Şekil 1c ve Şekil 1d'de verilmiştir. İlavetsiz alaşım için bakıldığında Si ötektik yapısının T6 ısıl işlemi ile modifiye edildiği görülmektedir. Sr ilavesi ile modifiye olan mikroyapı ise T6 ısıl işlemi ile çok daha küçük Si morfolojilerinden meydana gelmiştir.



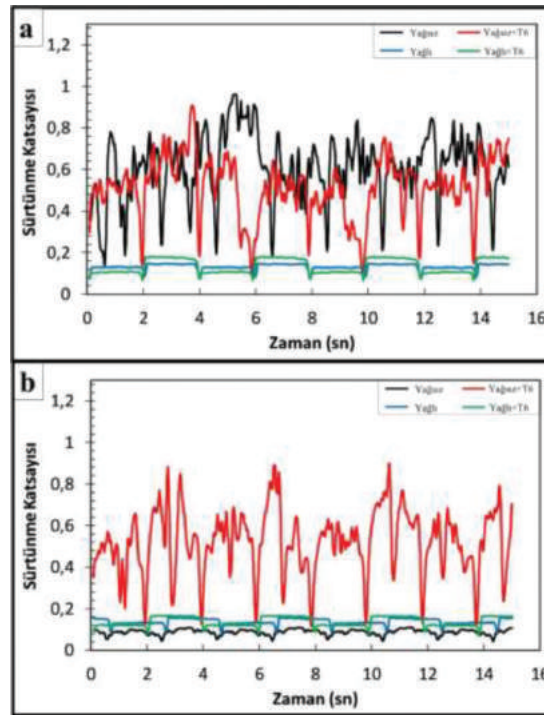
Şekil 1. Mikroyapı görüntüleri; a) ilavesiz-ısıl işlemsiz, b) Sr ilaveli-ısıl işlemsiz, c) ilavesiz-ısıl işlemlî, d) Sr ilaveli-ısıl işlemlî

Mikroyapı incelemeleri ışığında elde edilen ikincil dendrit kolları arası mesafe uzaklığı (SDAS) değerleri Tablo 2'de verilmiştir. Tablo incelendiğinde ısıl işlemsiz ve ilavesiz test numunesi için SDAS değerinin 16,74 mikron seviyelerinde olduğu görülmektedir. Kokil kalıba gerçekleştirilen dökümlerde katılaşma hızı daha yüksek olduğunda taneler büyümeye fırsat bulamamakta ve kum kalıba gerçekleştirilen dökümlere nazaran daha küçük taneli bir mikroyapı meydana gelmektedir [17]. Çözeltiye alma işlemi ile birlikte az da olsa bir tane kabalaşması meydana

gelmiştir. Yaşlandırma işlemi ile birlikte tane kabalaşması meydana gelmiş ve SDAS değeri 23,33 mikron olarak elde edilmiştir. Sr ilavesi tane boyutunu çok az da olsa düşürmüştür. Burada ısı işlem sonrasında tane boyutunda küçülme meydana gelmiştir.

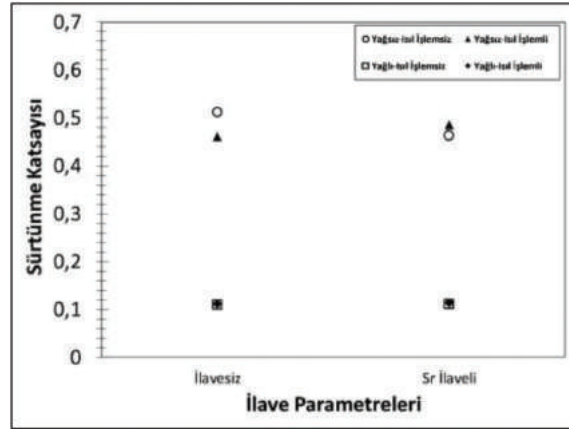
| Ortalama SDAS Değerleri | | | |
|--------------------------------|----------------------|-----------------------|--------------------|
| | Isıl İşlemsiz | Çözeltiye Alma | Yaşlandırma |
| İlavesiz | 17 | 18 | 23 |
| Sr İlaveli | 15 | 18 | 15 |

Tablo 2. SDAS değerleri



Şekil 2. Test numunelerinin aşınma testi sonucu elde edilen sürtünme katsayısı - zaman grafikleri; a) ilavesiz, b) Sr ilaveli

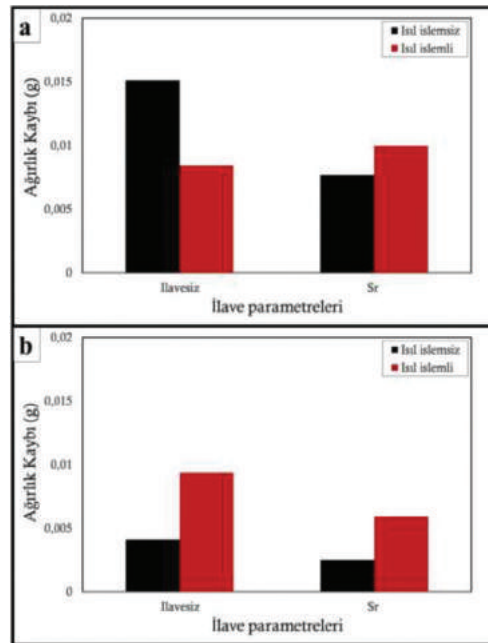
Şekil 2'de ilavesiz ve Sr ilaveli alaşımın aşınma testi sonucu elde edilen sürtünme katsayısı zaman grafikleri verilmiştir. Şekil 2a incelendiğinde, yağlı ortamda gerçekleştirilen testlere sürtünme katsayısı ısı işlem öncesi ve sonrası düzenli bir değişim sergilemiştir. Elde edilen değerler aşınma testinin ilk 15 saniyesi için düşük seviyelerdedir. Diğer taraftan kuru ortamda gerçekleştirilen testte ise sürtünme katsayısı zamanla değişim göstermiştir. Aşınma işleminde aşındırıcı ucun git gel hareketleri sonucunda malzemeden kopan parçalar aşındırıcı uç üzerine yapışmış ve bu da sürtünme katsayısı değerlerinin zamanla değişimine neden olmuştur. Şekil 2b'de ise Sr ilaveli test numunesinin sürtünme katsayısı zaman değişim grafiği verilmiştir. Şekilden görüleceği üzere T6 ısı işlemi sonrası kuru ortamda gerçekleştirilen testin sürtünme katsayısı daha yüksek çıkmıştır. Elde edilen değişim grafikleri aşınma testinin ilk 15 saniyesini kapsamaktadır. O nedenle Sr ilaveli alaşım için, her ne kadar ısı işlem öncesi kuru ortamda gerçekleştirilen testte sürtünme katsayısı-zaman grafiğinde değerler düşük seviyelerde olsa da sürtünme katsayısı grafiği (Şekil 3) incelendiğinde aslında öyle olmadığı açıkça görülmektedir.



Şekil 3. Alaşımın farklı ısı işlem ve aşındırma ortamı için sahip olduğu sürtünme katsayısı değerleri

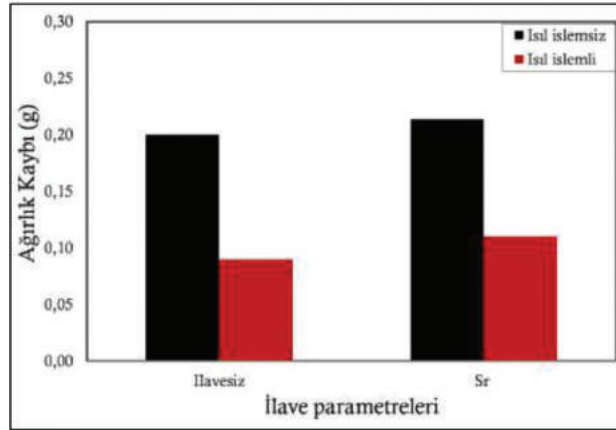
Şekil 3'te ilavesiz ve Sr ilaveli alaşımın farklı aşındırma ortamı ve ısı işlem parametreleri altında elde edilen sürtünme katsayısı değerleri verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere numuneler için yağsız ortam şartlarında elde edilen sürtünme katsayısı değerleri daha yüksek değerlere sahiptir. Bu oldukça olağan bir durumdur, çünkü kuru ortamda git gel hareketini kolaylaştıracak herhangi bir etmen olmadığı için aşınma daha fazla gerçekleşmektedir. Yağ ortamında git gel hareketi daha kolay gerçekleştiğinden sürtünme katsayısı değerleri daha düşük değerlerde elde edilmiştir.

Şekil 4'te yağlı ve kuru ortamda gerçekleştirilen aşınma testi sonucunda test numunelerinde meydana gelen ağırlık kayıpları verilmiştir. İlavesiz test numunesinde T6 ısı işlemi malzemenin aşınma davranışını iyileştirmiştir. Buna karşın Sr ilaveli test numunesi için yağlı ve yağsız ortamlarda yapılan aşınma işlemi sonrasında meydana gelen ağırlık kayıpları T6 ısı işlemi ile birlikte artmıştır. Aşınma prosesi 3 N gibi düşük kuvvetlerde gerçekleştirildiğinden elde edilen sonuçlar malzemenin yüzey özelliklerini kapsamaktadır. Ayrıca, sıcaklığın etkisiyle malzeme yüzeyi malzemenin iç kısmına göre daha sünek bir hal almış ve bu da malzemenin yüzey aşınma özelliklerini olumsuz yönde etkilemiştir.



Şekil 4. Farklı aşındırma ortamları için meydana gelen ağırlık kayıpları; a) kuru ortam, b) yağlı ortam

Kütlesel aşınmanın meydana geldiği abrasif aşınma testi sonucu elde edilen ağırlık kayıpları Şekil 5'te verilmiştir. Şekil incelendiğinde T6 ısıl işlemi sonrasında malzemenin aşınma özelliklerinin iyileştiği, yani malzemelerde meydana gelen kütle kaybının azaldığı her iki ilave parametresi için de görülmektedir. Elde edilen bu sonuç literatür ile uyumludur [18, 19]. Bununla birlikte Sr ilavesi ile malzemenin aşınma davranışında çok az da olsa bir kötüleşme meydana gelmiştir. Bunun neden Sr ilavesinin döküm kalitesine olan olumsuz etkisi ile açıklanabilmektedir [20, 21]. Abrasif aşınma testi boyunca yüzeysel aşınmadan ziyade bir kütle aşınması meydana gelmiştir. Sonuç olarak elde edilen özelliklerin malzemenin genelini kapsadığı söylenebilmektedir.



Şekil 5. Abrasif aşınma testi sonucu meydana gelen ağırlık kayıpları

4. SONUÇLAR

Yapılan güncel çalışma ışığında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- AlSr15 ilavesi malzeme mikroyapısını etkilemiş ve ötektik Si morfolojisini kaba ve iğnemsiformdan ince ve daha küresel bir forma dönüştürmüştür.
- T6 ısıl işleminin tane boyutu üzerinde belirli bir etkinliği gözlenmezken, ötektik Si yapısını modifiye ettiği söylenebilmektedir.
- T6 ısıl işlemi ile birlikte malzemenin yüzey kısımları aşınmaya karşı daha dirençsiz bir hale gelmiştir.
- Genel olarak T6 ısıl işleminin malzemenin aşınma davranışını iyileştirmiştir.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma; 190Y0001 nolu bilimsel araştırma projesi kapsamında Bursa Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir.

6. KAYNAKLAR

1. King, F., Aluminium and its alloys. 1987: Ellis Horwood Chichester.
2. Schwartz, M.M., Metals Joining Manual.(Book). McGraw-Hill Book Co., Chapters paged separately, 1979, 1979.
3. Zolotarevsky, V.S., N.A. Belov, and M.V. Glazoff, Casting aluminum alloys. Vol. 12. 2007: Elsevier Amsterdam.
4. Campbell, J., Castings. 2003: Elsevier.
5. Campbell, J., Castings practice: the ten rules of castings. 2004: Elsevier.
6. Taylor, J., G. Schaffer, and D. StJohn, The role of iron in the formation of porosity in Al-Si-Cu-based casting alloys: Part II. A phase-diagram approach. Metallurgical and Materials transactions A, 1999. 30(6): p. 1651-1655.
7. Dinnis, C.M., J.A. Taylor, and A.K. Dahle, As-cast morphology of iron-intermetallics in Al-Si foundry alloys. Scripta materialia, 2005. 53(8): p. 955-958.
8. Dahle, A., et al., Eutectic modification and microstructure development in Al-Si Alloys. Mate-

- rials Science and Engineering: A, 2005. 413: p. 243-248.
9. Hegde, S. and K.N. Prabhu, Modification of eutectic silicon in Al-Si alloys. *Journal of materials science*, 2008. 43(9): p. 3009-3027.
10. Campbell, J. and M. Tiryakioğlu, Review of effect of P and Sr on modification and porosity development in Al-Si alloys. *Materials Science and Technology*, 2010. 26(3): p. 262-268.
11. Ogris, E., et al., On the silicon spheroidization in Al-Si alloys. *Journal of Light Metals*, 2002. 2(4): p. 263-269.
12. Li, R., et al., Age-hardening behavior of cast Al-Si base alloy. *Materials Letters*, 2004. 58(15): p. 2096-2101.
13. Sjölander, E. and S. Seifeddine, The heat treatment of Al-Si-Cu-Mg casting alloys. *Journal of Materials Processing Technology*, 2010. 210(10): p. 1249-1259.
14. Dwivedi, D., Adhesive wear behaviour of cast aluminium-silicon alloys: Overview. *Materials & Design (1980-2015)*, 2010. 31(5): p. 2517-2531.
15. Dwivedi, D.K., Wear behaviour of cast hypereutectic aluminium silicon alloys. *Materials & design*, 2006. 27(7): p. 610-616.
16. Xu, C.L. and Q. Jiang, Morphologies of primary silicon in hypereutectic Al-Si alloys with melt overheating temperature and cooling rate. *Materials Science and Engineering: A*, 2006. 437(2): p. 451-455.
17. Xiaowu, H., A. Fanrong, and Y. Hong, Influences of pouring temperature and cooling rate on microstructure and mechanical properties of casting Al-Si-Cu aluminum alloy. 2012. 25(4): p. 272-278.
18. Vencl, A., I. Bobić, and Z. Mišković, Effect of thixocasting and heat treatment on the tribological properties of hypoeutectic Al-Si alloy. *Wear*, 2008. 264(7-8): p. 616-623.
19. Eshaghi, A., H. Ghasemi, and J. Rassizadehghani, Effect of heat treatment on microstructure and wear behavior of Al-Si alloys with various iron contents. *Materials & Design*, 2011. 32(3): p. 1520-1525.
20. Uludağ, M., et al., Characterization of the effect of melt treatments on melt quality in Al-7wt% Si-Mg alloys. *Metals*, 2017. 7(5): p. 157.
21. Campbell, J., An overview of the effects of bifilms on the structure and properties of cast alloys. *Metallurgical and Materials Transactions B*, 2006. 37(6): p. 857-863.

ZAMAK ALAŞIMLARIN SICAK KAMARALI BASINÇLI DÖKÜM YÖNTEMİNDE PROSES OPTİMİZASYONU VE ALAŞIM MODİFİKASYONU

Cem KARAKAYA*, Uğur BÜYÜK*, Tezer KARAYOL*

Ali Serdar VANLI**, Anıl AKDOĞAN**

**Mesan Kilit A.Ş., İstanbul, Türkiye*

***Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, İstanbul, Türkiye*

ÖZET

Zamak, saf çinkoya alüminyum, bakır ve magnezyum ilavesiyle elde edilen, adını da bu elementlerin Almanca baş harflerinden alan, dünya endüstrisinde en çok kullanılan 4. metal olan çinko alaşımına verilen ticari isimdir. Otomotiv başta olmak üzere, ev eşyaları endüstrisi, hırdavat, büro ekipmanları, ziraat ve madencilikte kullanılan cihazlar, elektronik aletler, mutfak ve banyo armatürleri, endüstriyel kilit ve bağlantı elemanları gibi pek çok alanda kullanılan Zamak alaşımının şekillendirilmesinde en çok tercih edilen yöntemlerin başında sıcak kamaralı basınçlı döküm yöntemi gelmektedir. Bu yöntem, düşük ergime sıcaklığına sahip demir dışı metallerin seri üretimi için uygun maliyetli bir proses olup; boyutsal mükemmellik, yüzey kalitesi ve yüksek üretim hızı gibi avantajlara sahiptir. Bu yöntemde kullanılan döküm ve kalıp sıcaklığı, dolum süresi, piston ve yolluk giriş hızları ile katılma sırasında uygulanan ütüleme basıncı gibi proses parametreleri, ürün kalitesini ve mekanik özellikleri doğrudan etkilemektedir. Bu çalışmada, optimize edilmiş proses parametreleri uygulanarak, daha düşük yoğunluğa sahip bir alaşım ile döküm denemeleri yapılmış; bu sayede nihai ürünlerde hafifletme elde edilmesinin yanı sıra, uygulanan alaşım modifikasyonu ile mekanik dayanımın geliştirilmesi hedeflenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Basınçlı Döküm Yöntemi, Proses Optimizasyonu, Alaşım Modifikasyonu

ABSTRACT

Zamak is the trade name given to pure zinc by the addition of aluminum, copper and magnesium and named after the German initials of these elements and is the 4th most commonly used metal alloy in the world industry. Hot chamber die casting is one of the most preferred methods for shaping Zamak alloy which is used in many areas such as automotive, household goods industry, hardware, office equipment, agricultural and mining equipments, electronic tools, kitchen and bathroom fixtures, industrial locks and fasteners. This method is a cost-effective process for mass production of non-ferrous metals with low melting temperatures; It has advantages such as dimensional perfection, surface quality and high production speed. The process parameters such as casting and die temperature, filling time, piston and gating inlet speeds and ironing pressure applied during solidification directly affect product quality and mechanical properties. In this study, with the application of optimized process parameters, an attempt was made to cast a alloy with a lower density; In this way, besides the lightening of the final products, it is aimed to improve the mechanical strength with the applied alloy modification.

Keywords: Die Casting Method, Process Optimization, Alloy Modification

1. GİRİŞ

Çinko, yeryüzünde en çok bulunan elementler arasında 23. sırada olmasına rağmen dünyada yıllık 13 milyon tonluk kullanım miktarı açısından demir, alüminyum ve bakırdan sonra 4. sırada gelmektedir. Çinko doğada %95'i, sfaleritin (ZnS) bakır, kurşun ve demir sülfürleri ile karıştığı sülfürlü cevher yataklarından çıkarılmaktadır [1]. Çinko maden yatakları açısından küresel üretimin %38'lik üretimi ile başta Çin olmak üzere Avustralya ve Peru çinko madenlerine sahip ülkeler arasında üst sıralarda yer almaktadır [2]. 1900'lü yılların başlarında aktif olarak kullanılmaya başlayan çinko esaslı Zamak alaşımları genellikle dekoratif ve yapısal amaçlı kullanılmaktadır. 1950'li yıllardan sonra Amerika'da alüminyumca daha zengin ve Zamak alaşımlarından türetilmiş ZA olarak bilinen yeni nesil Zn-Al esaslı alaşımlar geliştirilmiştir. 2000'li yıllardan günümüze en yaygın olarak kullanılan Zamak alaşımları Zamak 3, Zamak 5 ve Zamak 7 olmakla beraber, en yaygın kullanılan ZA alaşımları ise ZA 8 ve ZA 27 olarak bilinen alaşımlardır [3].

Zamak alaşımları ile ZA alaşımları kıyaslandığında, ZA alaşımlarının daha iyi mekanik özelliklere sahip ve yüksek dayanım/ağırlık oranı ile iyi aşınma ve döküm kabiliyeti gibi karakteristik özelliklere sahip olması, birçok yapısal uygulamada, pirinç, bronz, alüminyum ve diğer döküm alaşımlarının yerine kullanılmasını sağlamıştır. Başlıca kum kalıba döküm, basınçlı döküm gibi birçok döküm yöntemiyle üretilebilen çinko esaslı alaşımların üretiminde, çoğunlukla karmaşık şekilli parçaların üretiminde sıklıkla tercih edilen basınçlı döküm yöntemi ön plana çıkmaktadır [3,4]. Özellikle Zamak 5 ve ZA 8 görece daha düşük ergime sıcaklıkları nedeniyle günümüzde sıcak kamaralı basınçlı döküm yöntemiyle üretimi oldukça öne çıkmaktadır [5].

Bu çalışmayla, proses optimizasyonu sağlanmış Zamak 5 yerine %8 Al içeren ve nispeten daha düşük yoğunluğa sahip ticari bir ZA alaşımı olan ZA 8 kullanımı ile sıcak kamaralı basınç döküm yöntemi kullanılarak döküm denemeleri gerçekleştirilmiştir. Böylece üretilen parçaların çekme ve akma mukavemetleri, darbe direnci, sertlik gibi mekanik özellikleri incelenerek nihai ürünlerin hafifletilmesiyle birlikte mekanik dayanımlarının iyileştirilmesi hedeflenmiştir.

Basınçlı döküm sektöründe üretimin yaklaşık %60'lık kısmı çinko alaşımları ile sağlanmaktadır. Yüksek döküm kabiliyeti ve düşük maliyeti, çinko alaşımlarının tercih edilmesindeki en önemli faktörlerdendir. Düşük ergime sıcaklığına bağlı olarak düşük enerji tüketimine olanak sağlamakla birlikte kalıpların daha uzun ömürlü olmasını sağlamaktadır. Bu nedenle kalıp maliyeti ve kalıp bakım maliyetleri de düşük olmaktadır. Talaşlı imalata elverişli, yüksek mekanik dayanım özelliklerine sahip ve yüzey bitirme işlemleri düşük maliyetlidir. Zamak alaşımlarının alüminyum yüzdesi %3,5-4,3 arasında iken ZA alaşımlarında bu oran %8-28 arasında olabilmektedir. Alüminyumun yanı sıra alaşımlarında bakır, magnezyum, kurşun, demir ve safi miktarda kadmiyum elementi de bulunmaktadır. Günümüzde en çok kullanılan çinko alaşımlarının mekanik özellikleri Tablo 1.1'de gösterilmiştir. Tablo 1.2'de ise bu alaşım kimyasal içerikleri gösterilmiştir.

| Mekanik Özellikler | Zamak 2 | Zamak 3 | Zamak 5 | ZA 8 | ZA 27 |
|--|---------|---------|---------|------|-------|
| Çekme Dayanımı (MPa) | 359 | 283 | 328 | 374 | 425 |
| Akma Dayanımı (MPa) | 283 | 221 | 228 | 290 | 376 |
| Darbe Dayanımı (J) | 47 | 58 | 65 | 42 | 12,8 |
| Kesme Dayanımı (MPa) | 317 | 214 | 262 | 275 | 325 |
| Sertlik-Brinell (HB) | 100 | 82 | 91 | 103 | 119 |
| Uzama (50 mm'de %) | 7 | 10 | 7 | 10 | 1 |
| Density (g/cm ³) | 6,6 | 6,6 | 6,6 | 6,3 | 5 |
| Ergime Sıcaklığı (°C) | 385 | 384 | 383 | 390 | 431 |
| Termal İletkenlik (W/m.K) | 105 | 113 | 109 | 115 | 123 |
| Termal Genleşme Katsayısı (µm/m°K) | 27,7 | 27,4 | 27,4 | 23,3 | 26 |
| Elektriksel İletkenlik Katsayısı (%IACS) | 25 | 27 | 26 | 27,7 | 29,7 |

Tablo 1.1 Zamak ve ZA alaşımların mekanik özellikleri [8]

| Mekanik Özellikler | Zamak 2 | Zamak 3 | Zamak 5 | ZA 8 | ZA 27 |
|----------------------------------|----------------|----------------|----------------|-------------|--------------|
| Alüminyum, % | 3.5-4.3 | 3.5-4.3 | 3.5-4.3 | 8.0-8.8 | 25.0-28.0 |
| Bakır,% | 2.5-3.0 | 0,25 | 0.75-1.25 | 0.8-1.3 | 2.0-2.5 |
| Magnezyum,% | 0.02-0.05 | 0.02-0.05 | 0.03-0.08 | 0.015-0.03 | 0.01-0.02 |
| Demir,% (maksimum) | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,075 | 0,075 |
| Kurşun, % (maksimum) | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,006 | 0,006 |
| Kadmiyum,% (maksimum) | 0,004 | 0,004 | 0,004 | 0,006 | 0,006 |
| Kalay,% (maksimum) | 0,003 | 0,003 | 0,003 | 0,003 | 0,003 |
| Çinko,% | Geri Kalanı | Geri Kalanı | Geri Kalanı | Geri Kalanı | Geri Kalanı |

Tablo 1.2 Zamak ve ZA alaşımların kimyasal bileşimleri [8]

Saf çinko metalinin üstün korozyon direnci özelliğine rağmen, düşük mekanik özelliğe sahip olması hammadde olarak kullanımını sınırlandırır. Çinkonun kullanım alanlarını arttırmak için alüminyum, magnezyum gerekli görüldüğü durumlarda da bakır elementi ilave edilerek endüstride sıkça kullanılan Zamak alaşımları elde edilmektedir. Zamak içeriğinde katılan alaşım elementlerinden en önemlisi alüminyumdur. Minimum %4 oranında ilave edilen alüminyum elementi ile malzemenin mukavemeti ve ergimiş metalin akışkanlığı artmaktadır. Alüminyumun bu ideal değerden daha az olması durumda mekanik özelliklerde ve yüzey özelliklerinde azalma görülürken; fazla olması durumunda ise darbe mukavemetinde azalma görülmektedir. Bakır elementi yapının sertliğini ve akışkanlığını arttırmasına rağmen nihai üründe boyutsal kararsızlığa sebep olduğundan alaşım elementi olarak kullanımı oldukça sınırlandırılmıştır [6]. Magnezyum elementi yapı içerisinde bulunan empüritelerle yaptığı reaksiyonlar nedeniyle hammaddeye eklenmektedir. Mukavemeti ve sertliği de arttıran magnezyum elementi alaşımda fazla bulunması durumunda ötekoit dönüşümü geciktireceğinden dros miktarını arttırır ve ergimiş metalin akışkanlığını azaltır. Bu nedenle alaşımlarda çok kısıtlı miktarda bulunmaktadır [7].

Başta otomotiv ve yapı sektörleri olmak üzere, oyuncaklar, dekoratif parçalar, beyaz eşya parçaları, elektrikli ev eşyaları parçaları, hırdavat, endüstriyel kilit ve aksesuarları, ara bağlantı elemanları, spor ekipmanları gibi oldukça geniş bir alanda mamül ve yarı mamüllerin üretiminde çinko alaşımları kullanılmaktadır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

2.1. Uygulama

Bu araştırmada sektörel olarak daha çok tercih edilen Zamak 5'in yerine ZA 8 alaşımı kullanılarak daha yüksek dayanımlara sahip ve daha hafif parçaların mevcut sistem ve proses parametreleri ile sağlanması amaçlanmıştır. Bu doğrultuda gelen hammaddelerin her bağından üçer numune külçe alınarak kimyasal analizinin uygunluğu Bruker marka Q4 Tasman model ileri düzey ısıya duyarlı hücrelere sahip optik emisyon spektrometresi ile test edilmiştir. Yapılan analiz sonuçları Tablo 2.1'de gösterilmiştir. EN-1744 çinko basınçlı döküm alaşım standardına göre Zamak 5 ve ZA 8 alaşımlarının uygunluğu doğrulanmıştır.

| Malzeme | Zamak 5 | | | | ZA 8 | | | |
|---------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|---------|----------|
| | 1.Külçe | 2.Külçe | 3.Külçe | Ortalama | 1.Külçe | 2.Külçe | 3.Külçe | Ortalama |
| Al (%) | 4,21 | 4,10 | 4,09 | 4,136 | 8,027 | 8,294 | 8,007 | 8,109 |
| Cu (%) | 0,94 | 0,93 | 0,99 | 0,958 | 1,141 | 1,215 | 1,041 | 1,132 |
| Mg (%) | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,044 | 0,025 | 0,021 | 0,023 | 0,023 |
| Pb (%) | 0,006 | 0,008 | 0,008 | 0,007 | 0,0055 | 0,012 | 0,0052 | 0,008 |
| Fe (%) | 0,01 | 0,01 | 0,009 | 0,012 | <0,002 | <0,002 | <0,002 | <0,0020 |
| Cd (%) | 0,0003 | 0,0003 | 0,0003 | 0,000 | 0,0015 | 0,0016 | 0,0015 | 0,002 |
| Sn (%) | 0,002 | <0,002 | 0,002 | 0,003 | 0,0032 | 0,0076 | <0,002 | 0,005 |

Tablo 2.1 Hammadde kimyasal analiz sonuçları

| Malzeme | Zamak 5 | ZA 8 |
|----------------------------|---------|------|
| Test (gr/cm ³) | | |
| 1. Külçe | 6,62 | 6,03 |
| 2. Külçe | 6,53 | 6,15 |
| 3. Külçe | 6,54 | 6,03 |
| Ortalama | 6,56 | 6,07 |

Tablo 2.2 Hammaddelerin yoğunluk ölçüm sonuçları

Çalışmanın amaçlarından biri de üretilen parçaların ağırlığının düşürülmesi olduğu için gelen hammaddelerin yoğunluk ölçümü RADWAG marka PS 750.R2 model hassas terazi yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Buna göre sonuçlar Tablo 2.2'de gösterilmiştir. Teorikte olduğu gibi Zamak 5'in yoğunluğu ZA 8 alaşımına kıyasla daha yüksek yoğunluğa sahip olduğu görülmüştür.

Zamak 5 ve ZA 8 dökümü için SİMHOPE marka SH-100 model sıcak kamaralı basınçlı döküm makinesi kullanılmıştır. Numune dökümünde hali hazırda Zamak 5 ile sağlıklı parçalar alınabilmiş baskı parametreleri kaydedilmiştir. Dört farklı kalıpta dört farklı numuneden ilk beş baskı elenerek ellişer baskı alınmıştır. Döküm işlemi tamamlandıktan sonra pota içerisindeki ergimış Zamak 5 metali boşaltılıp temizlenerek ZA 8 külçesi ile doldurulmuştur.

| Kalıp No | 1.Kalıp | | 2.Kalıp | | 3. Kalıp | | 4.Kalıp | |
|---------------------------|---------|------|---------|------|----------|------|---------|------|
| | Zamak 5 | ZA 8 | Zamak 5 | ZA 8 | Zamak 5 | ZA 8 | Zamak 5 | ZA 8 |
| Grup Ayırma Süresi | 0,5 | | 0,5 | | 0,5 | | 0,5 | |
| Hızlı Vuruş Süresi | 2 | | 1,2 | | 1,8 | | 2,5 | |
| Vuruş Gecikme Süresi | 0,5 | | 0,5 | | 0,5 | | 0,5 | |
| Soğutma Süresi | 6 | | 4,5 | | 6 | | 8 | |
| Mengene Açık Sprey Zamanı | 0,1 | | 0,1 | | 0,1 | | 0,1 | |
| Mengene Kapalı | 5 | | 5 | | 5 | | 5 | |
| İtici Bekleme Zamanı | 0,2 | | 0,2 | | 0,2 | | 0,2 | |
| İtici Vuruş Adedi | 1 | | 2 | | 2 | | 2 | |
| Sprey Zamanı | 0,3 | | 0,3 | | 0,3 | | 0,3 | |
| Sprey Adedi | 3 | | 3 | | 3 | | 2 | |
| Ürün Düşme Zamanı | 4 | | 4 | | 4 | | 4 | |
| Çevrim Zamanı | 1,5 | | 1,5 | | 1,5 | | 1,5 | |
| Düşürücü Zamanı | 0,3 | | 0,3 | | 0,3 | | 0,3 | |
| Pota Sıcaklığı | 435 | 445 | 435 | 445 | 435 | 445 | 435 | 445 |
| Nozül Sıcaklığı | 530 | | 530 | | 530 | | 530 | |
| Kaz Boynu Sıcaklığı | 435 | | 435 | | 435 | | 435 | |

Tablo 2.3 Zamak 5 ve ZA8 alaşımları proses parametreleri

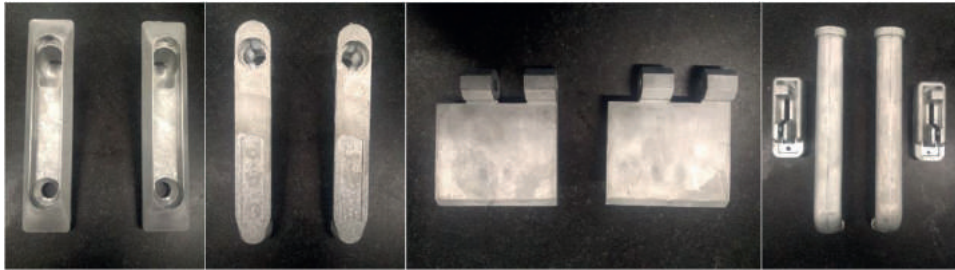
ZA 8 döküm için Zamak 5 numune dökümünde kaydedilen proses parametrelerin aynısı kullanılmıştır. Fakat ZA 8'in ergime sıcaklığı dolayısıyla döküm sıcaklığı yüksek olduğu için pota sıcaklığı 10°C arttırılmıştır. Bu baskı parametreleri Tablo 2.3'de gösterilmektedir. ZA 8'in kimyasal kompozisyonunda mevcut olan ve Zamak 5'e nazaran yüksek alüminyum miktarı nedeniyle, ZA 8 ile gerçekleştirilen numune dökümünde, basınçlı döküm makinesinin potasında karıştırma işlemi uygulanmıştır. Karıştırma işleminin amacı maliyete etki eden sıcaklığı olabildiğince düşük tutarak alüminyumun ergimiş metal içerisinde homojen olarak dağılmasını sağlamaktır.

Zamak 5 ve ZA 8 ile dökülen numunelerin ilk beş baskısı hurdaya ayrıldıktan sonra alınan ilk sağlıklı baskıların salkım ağırlığı tartılmıştır. Sonrasında salkımların yolluk, hava cebi ve taşma cepleri parça üzerinden ayrılmıştır. Bu işlem sonrası kalıpta yer alan her gözdeki parçaların ağırlıkları kontrol edilmiştir. Buna göre elde edilen sonuçlar Tablo 2.4'de gösterilmiştir. İlk üç kalıpta simetrik olarak eş parçalardan oluşan ikişer göz bulunmaktayken, dördüncü kalıpta farklı iki parçadan oluşan iki göz bulunmaktadır. Ölçümlerde eş parçalara sahip gözlerden sadece birinin ölçümü yapılmıştır. 3. kalıp parçasında kullanılan civataların ağırlıkları salkım ve göz ağırlıklarından düşülerek hesaplanmıştır. Ağırlık ölçümleri sonucunda ZA 8 alaşımıyla yapılan dökümde Zamak 5 alaşımıyla yapılan döküme kıyasla ağırlıkta %5,81 oranında düşüş olduğu görülmüştür.

Dökümü yapılan parçaların görselleri Şekil 2.1'de verilmiştir. Buna göre soldaki numuneler Zamak 5, sağdakiler ise ZA 8 alaşımı ile gerçekleştirilen döküm numunelerine aittir. Sırasıyla sol baştan 1.kalıp, 2. kalıp, 3. kalıp ve 4. Kalıptan dökülen parçalar gösterilmiştir.

| Malzeme Numune | Zamak 5 | | | | | ZA 8 | | | | |
|------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-------------------|-------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-------------------|-------------------|
| | 1. Kalıp (gr) | 2. Kalıp (gr) | 3. Kalıp (gr) | 4. Kalıp | | 1. Kalıp (gr) | 2. Kalıp (gr) | 3. Kalıp (gr) | 4. Kalıp | |
| | | | | A Gözü (gr) | B Gözü (gr) | | | | A Gözü (gr) | B Gözü (gr) |
| Salkım | 673 | 330 | 386,62 | 1018,5 | | 633 | 310,5 | 362,12 | 962,5 | |
| 1 | 217,21 | 96,43 | 144,89 | 593,50 | 218,50 | 204,90 | 90,52 | 134,87 | 557,50 | 206,50 |
| 2 | 216,84 | 96,35 | 144,23 | 592,50 | 219,00 | 204,58 | 90,49 | 135,40 | 560,50 | 207,00 |
| 3 | 217,27 | 96,45 | 144,13 | 593,50 | 219,00 | 204,25 | 90,55 | 135,57 | 558,00 | 207,00 |
| 4 | 217,85 | 96,45 | 143,07 | 593,00 | 218,50 | 204,24 | 90,52 | 135,56 | 560,00 | 206,50 |
| 5 | 217,52 | 96,47 | 143,62 | 593,50 | 218,50 | 204,14 | 90,41 | 135,61 | 558,50 | 206,50 |
| 6 | 216,84 | 96,68 | 143,70 | 591,50 | 219,00 | 204,23 | 90,52 | 135,75 | 556,50 | 206,50 |
| 7 | 217,11 | 96,72 | 144,18 | 591,00 | 219,00 | 204,99 | 90,53 | 134,82 | 556,50 | 206,00 |
| 8 | 217,65 | 96,64 | 143,72 | 592,00 | 219,00 | 204,02 | 90,78 | 135,55 | 557,00 | 207,00 |
| 9 | 217,59 | 96,48 | 143,62 | 590,50 | 218,00 | 204,15 | 90,34 | 135,65 | 558,50 | 207,00 |
| 10 | 216,85 | 96,40 | 144,91 | 589,50 | 218,50 | 204,85 | 90,46 | 134,95 | 557,50 | 206,00 |
| 11 | 216,99 | 96,38 | 144,24 | 591,50 | 219,00 | 204,19 | 90,37 | 134,85 | 557,50 | 206,50 |
| 12 | 216,79 | 96,39 | 143,05 | 592,00 | 218,00 | 204,87 | 90,48 | 135,06 | 560,00 | 206,00 |
| 13 | 217,55 | 96,40 | 144,09 | 593,00 | 219,00 | 204,82 | 90,51 | 134,95 | 557,00 | 206,00 |
| 14 | 216,98 | 96,32 | 144,19 | 593,50 | 219,00 | 204,87 | 90,48 | 135,60 | 557,00 | 206,50 |
| 15 | 217,62 | 96,57 | 144,12 | 591,00 | 218,50 | 204,73 | 90,53 | 134,83 | 558,00 | 206,00 |
| Ortalama | 217,24 | 96,48 | 143,98 | 592,10 | 218,70 | 204,52 | 90,50 | 135,27 | 558,00 | 206,47 |
| Toplam | 1268,50 | | | | | 1194,76 | | | | |
| Ağırlık Tasarrufu | 5,81% | | | | | | | | | |

Tablo 2.4 Zamak 5 ve ZA 8 alaşımları ile yapılan dökümlerin ağırlık ölçümleri



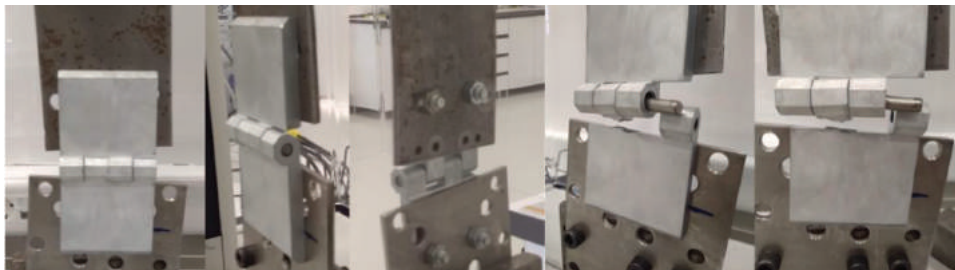
Şekil 2.1 Zamak 5(sol) ve ZA 8 (sağ) alaşımlardan dökülmüş parçalar

2.2. Mekanik Dayanım Testleri

Döküm işlemi tamamlanan parçaların gerekli dayanımlarını kıyaslamak amacıyla ürün temel işlevine yönelik çekme testi, standart çekme testi, standarda uygun çentik darbe dayanım testi ve sertlik ölçümleri yapılmıştır.

2.2.1. Ürün Bazlı Çekme Testi

Dökümü gerçekleştirilen ve 3. Kalıptan elde edilen parçalar herhangi bir standarttan bağımsız olarak karşılaştırılmak üzere çekme testine tabi tutulmuştur. Çekme testi uygulamasına dair görseller Şekil 2.2'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Ürün bazlı çekme testi uygulaması

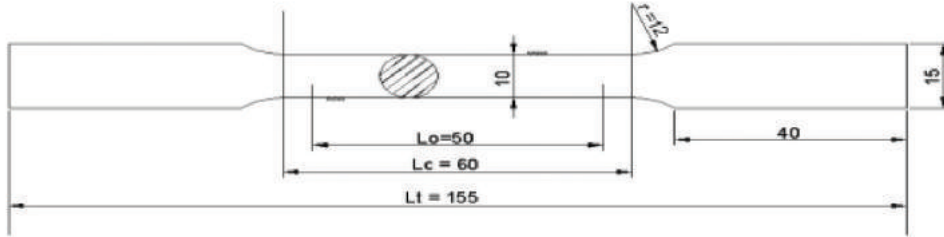
Çekme sonuçları Newton cinsinden maksimum yükte kırılma değerlerinin bağlantı piminin yüzey kesit alanına (mm²) bölümüyle hesaplanarak kıyaslanmıştır. Çekme dayanımı testi sonuçlarına ilişkin değerler Tablo 2.5'de verilmiştir.

| Malzeme | Zamak 5 | | ZA 8 | |
|------------------|-------------------------------------|-------------|-------------------------------------|-------------|
| | Çekme Dayanımı (N/mm ²) | Uzama (mm) | Çekme Dayanımı (N/mm ²) | Uzama (mm) |
| 1 | 60,94 | 6,4 | 73,97 | 7,1 |
| 2 | 59,25 | 8,4 | 62,02 | 7 |
| 3 | 64,67 | 7,7 | 63,58 | 9,9 |
| 4 | 74,64 | 7,1 | 83,83 | 9,3 |
| 5 | 53,46 | 6,7 | 74,20 | 6,5 |
| 6 | 62,94 | 8,4 | 61,14 | 7,9 |
| 7 | 88,79 | 6,5 | 62,80 | 9,3 |
| 8 | 61,19 | 6,6 | 66,76 | 8,8 |
| 9 | 73,15 | 8,9 | 78,64 | 7,8 |
| 10 | 83,54 | 8,7 | 73,26 | 8,9 |
| Ortalama: | 68,26 | 7,59 | 70,02 | 8,27 |

Tablo 2.5 3. Kalıp numunelerinin çekme testi sonuçları

2.2.2. Standarda Uygun Çekme Testi

4. kalıptan elde edilen numunelerden TS EN ISO 6892-1 standardına uygun olarak işlenen çekme çubukları yine bu standarda uygun şekilde oda sıcaklığında (25°C'de) çekme testine tabi tutularak çekme dayanımları tespit edilmiştir. Çekme testi numunelerinin standart gereksinimi Şekil 2.3'da gösterilmiştir. Test sonuçlarına ilişkin değerler Tablo 2.6'de gösterilmiştir.



Şekil 2.3 TS EN ISO 6892-1 standardına göre çekme testi numunesi boyutları

| Malzeme | Zamak 5 | | ZA 8 | |
|------------------|-------------------------------------|-------------|-------------------------------------|-------------|
| | Çekme Dayanımı (N/mm ²) | Uzama (%) | Çekme Dayanımı (N/mm ²) | Uzama (%) |
| 1 | 169,98 | 1,24 | 141,73 | 0,54 |
| 2 | 148,88 | 1,22 | 163,78 | 0,58 |
| 3 | 144,88 | 1,36 | 143,82 | 0,70 |
| 4 | 178,54 | 1,32 | 152,51 | 1,14 |
| 5 | 172,85 | 1,32 | 175,22 | 1,10 |
| Ortalama: | 163,03 | 1,29 | 155,41 | 0,81 |

Tablo 2 Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı..6 TS EN ISO 6892-1 Standardına uygun yapılan çekme testi sonuçları

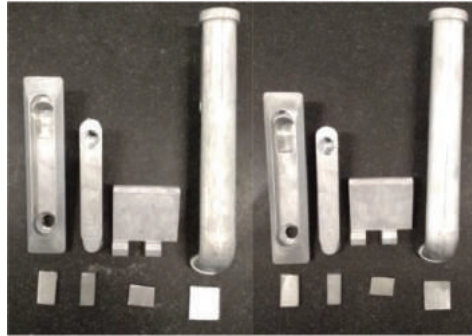
Test için 4. kalıptan elde edilen numunelerin işlenmesi sonucunda elde edilen numunelerde meydana gelen porozitenin yüksek olması nedeniyle sonuçların teorikten ve ürün bazlı yapılan çekme testinden farklı olduğu düşünülmektedir. Test numunelerine ait görseller Şekil 8.10'da gösterilmiştir. Şekilde sol baştan beş numune Zamak 5, geri kalan beş numune ise ZA 8'den üretilmiştir.



Şekil 2.4 Zamak 5 (soldan beşi) ve ZA 8 (sağdan beşi) alaşımlarından elde edilen çekme testi numuneleri

2.2.3. Sertlik Ölçümü

Her bir kalıptan elde edilen parçalardan çıkarılan sertlik testi numunelerinin Brinell cinsi HB30 skalasında ölçümleri AFFRİ SYSTEM marka 206 TD model sertlik ölçüm cihazı ile yapılmıştır. Her kalıptan elde edilen numunelerin ISO 6506-1 standardında yer alan 6.3. maddesi gereğince test numunesi et kalınlığı test iz derinliğinin (yaklaşık 0,2mm) en az sekiz katı olması gerekliliğini sağlayacak şekilde işlenmiştir (Şekil 8.13).



Şekil 2.5 (Sol) Zamak 5 ve (sağ) ZA 8 döküm parçalarından elde edilen sertlik ölçüm numuneleri (her döküm parçasının altında)

Yapılan sertlik test sonuçları Tablo 2.7'te gösterilmiştir. Sonuçlar, her kalıptan üretilen parçalardan üçer numune alınarak ve üçer ölçüm yapılarak ortalaması alınarak belirtilmiştir. Sonuçlar göz önüne alındığında, Zamak 5 ve ZA 8 teorik sertlikleri arasındaki fark uygulamada elde edilmiştir.

| Malzeme | Zamak 5 (HB30) | ZA 8 (HB30) |
|-------------------|---------------------------|------------------------|
| 1. Kalıp Numunesi | 106,7 | 116,5 |
| 2. Kalıp Numunesi | 107,2 | 117,7 |
| 3. Kalıp Numunesi | 108,4 | 118,1 |
| 4. Kalıp Numunesi | 108,1 | 118,3 |
| Ortalama | 107,6 | 117,6 |

Tablo 2.7 Zamak 5 ve ZA 8 sertlik ölçüm değerleri ortalamaları

3. SONUÇLAR

Bu araştırmada sektörel olarak daha çok tercih edilen Zamak 5'in yerine ZA 8 alaşımının kullanılarak daha yüksek dayanımlara sahip ve daha hafif parçaların mevcut sistem ve ayar parametreleri ile sağlanması amaçlanmıştır.

Bu çalışmada ayrıca, Zamak 5 ve ZA 8'in birbirine yakın kimyasal içerikleri ve döküm sıcaklığı sayesinde ZA 8'in Zamak 5 endüstrisinde yüksek yatırım maliyetlerine neden olmaksızın maksimum kar ile ZA 8'in sisteme entegre edilebilirliği için çalışılmıştır. Ağırlıkta yapılan iyileştirme ile gerek üretim gerek ise taşımada ortaya çıkabilecek zayıflıklar düşecektir. Nakliye ve lojistik açısından değerlendirildiğinde hafiflik sayesinde maliyetler düşecektir.

Yapılan testler sonucunda Zamak 5 ve ZA 8 döküm numunelerinin mekanik özellikleri karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçlarına göre ZA 8'in Zamak 5'e göre daha yüksek dayanım değerlerine sahip olması beklenirken, mevcut sistemde yapılan minimal değişiklikler ile teorikteki değerlere ulaşamamıştır. Ulaşılan değerler Tablo 3.1'de karşılaştırılmıştır.

| Malzeme Özellikler | Zamak 5 | | ZA 8 | |
|-------------------------------------|---------------|----------|----------------|----------|
| | Teorik | Uygulama | Teorik | Uygulama |
| Çekme Dayanımı (N/mm ²) | 328 | Ürün | 374 | Ürün |
| | | Standart | | Standart |
| Uzama | 7 (50mm'de %) | 7,59 mm | 10 (50mm'de %) | 8,27 mm |
| Sertlik (HB30) | 91 | 107,6 | 103 | 117,6 |
| Darbe Dayanımı (J) | 65 | 61 | 42 | 56 |
| Yoğunluk (gr/cm ³) | 6,6 | 6,41 | 6,3 | 6,15 |

Tablo 3.1 Zamak 5 ve ZA 8 teorik ve uygulamadaki değerleri

Bu araştırmada, sektörel olarak daha çok tercih edilen proses optimizasyonu sağlanmış Zamak 5 yerine %8 Al içeren ve nispeten daha düşük yoğunluğa sahip ticari bir ZA alaşımı olan ZA 8 kullanımı ile sıcak kamaralı basınç döküm yöntemi kullanılarak döküm denemeleri gerçekleştirilmiştir. Böylece üretilen parçaların çekme mukavemetleri, darbe dayanımı, sertlik gibi mekanik özellikleri incelenerek nihai ürünlerin hafifletilmesiyle birlikte mekanik dayanımlarının iyileştirilmesi hedeflenmiştir.

Prosesin geliştirmesi için yapılması gerekenler aşağıda belirtilmiştir.

- 1- Karıştırma işleminin daha homojen şekilde ve inert gaz eşliğinde sürekli yapılmasıyla, ZA 8 sıvı metalinin hava ile temasının mümkün olduğunca azaltılması,
- 2- ZA 8 alaşımlar için döküm kalıbına sıvı metalin enjeksiyonu sırasında, kalıp içerisindeki havanın tahliyesinin sağlanabilmesi için kalıp tasarımının revize edilmesi,
- 3- Kalıp şartlandırma cihazı kullanılarak, her baskıda aynı özelliğe sahip döküm parçaların elde edilmesi,

Proseste gerekli düzenlemelerin yapılarak uygulanması halinde Zamak 5 kullanan firmaların ZA 8'e geçiş yaparak gerek maliyetlerinde gerekse malzeme mekanik özelliklerinde iyileştirme sağlanması hedeflenmiştir.

Bu tez çalışmasında, istenilen mekanik değerlere ulaşamamış olsa dahi gelecekte yapılacak çalışmalarda araştırmacılara yardımcı olması durumunda hedefine ulaşacaktır.

TEŞEKKÜR

Deneyisel çalışmam sırasında fabrikanın her türlü imkanlarından yararlanmamı sağlayan ve şahsıma sonsuz değer veren değerli patronlarım Sn. Rıdvan MERTÖZ ve Sn. Mustafa MERTÖZ başta olmak üzere, yardımları ile hep yanımda bulunan bünyesinde çalışan tüm fabrika per-

soneline gösterdikleri ilgi ve alaka ile vermiş oldukları emeklere karşılık teşekkürü bir borç biliririm. Son olarak bu süreçte her türlü imkanı sağlayan ve her konuda destek olan başta ailem olmak üzere tüm dost ve arkadaşlarım teşekkür ederim.

4. KAYNAKÇA

- [1] Porter, Frank C. “ Zinc Handbook. CRC Press. ISBN 978-0-8247-8340-2”, 1991.
- [2] Tolcin, A.C. ”Mineral Commodity Summaries 2015:Zinc”. United States Geological Survey, 2015.
- [3] Houghton, M. E., and Murray, M. T., An Introduction to Zinc Alloys, Metals Forum, Vol. 6, no. 4, 1984, pp. 211-225.
- [4] Gervais E., Levert, H., and Bess, M., The Development of Zinc – Based Foundry Alloys, AFS Transaction, Vol. 88, 1980, pp. 183-195.
- [5] Mihaichuk, W., Casting with ZA alloys, Machine Design, April 21, 1988, p.162.
- [6] B. Deniz Polat, “Zamak Alaşımı Nedir? Zamaktan Nasıl Para Kazanılır?” Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği, Metalurji Mühendisleri Odası, Dergi, 2010
- [7]Nyrstar Annual Seminary in Istanbul, presented by Marc Verstraete,2009.
- [8] <https://www.dynacast.com/selector>

DERİN DAĞLAMA YÖNTEMİYLE BİFİMLERİN AÇIĞA ÇIKARILMASI

Furkan TEZER*, Özen GÜRSOY*, Mert ZORAĞA*, Eray ERZİ*, Derya DIŞPINAR*,

**İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Metalurji ve Malzeme Mühendisliği A.B.D İstanbul, Türkiye*

Anahtar Kelimeler: Alüminyum-Silisyum Alaşımları, Derin Dağlama, Mikroyapı, Sıvı Metal Kalitesi, Porozite,

ÖZET

Bu çalışmada, Al-Si döküm alaşımlarına derin dağlama yöntemi kullanılarak bifilmlerin oluşum mekanizması anlaşılmaya çalışılmıştır. Bu nedenle bifilmlerin uygulanan çözeltilerle reaksiyona girmesi istenmemiş, bunun yerine alüminyumun reaksiyonu ve çözünmesi hedeflenmiştir. Deneyde AlSi10Mg alaşımından çekme çubuğu numuneleri, daha önce dökülmüş RPT numuneleri ve cüruftan elde edilen numuneler çeşitli sıcaklıklarda ve konsantrasyonlarda H₂SO₄, HNO₃, NaOH, NaCl çözeltileri ile derin dağlanmıştır. Ek olarak, ısıtma işlem fırınında numune yüzeyinde 500 °C'de alüminyum oksit tabakası oluşturulmuştur ve bir yarısı zımparalanmıştır. Diğer yarısı eski oksit şeklinde kalmıştır. Bu sayede derin dağlama çözeltilerinin oluşan yeni ve eski oksitleri nasıl etkilediği karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Al-Si Alaşımları, Derin Dağlama, Mikroyapı, Sıvı Metal Kalitesi, Porozite

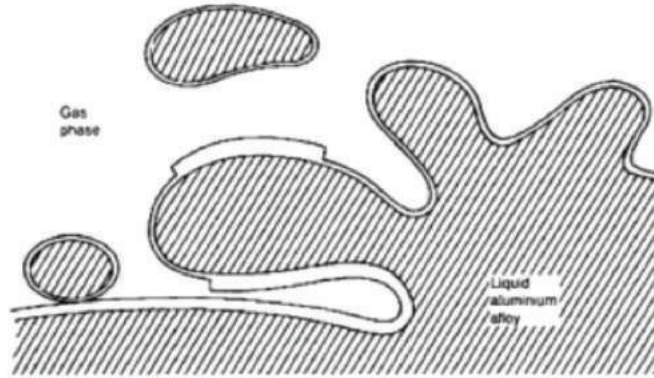
ABSTRACT

In this study, the mechanism of formation of bifilms by using the method of deep etching of Al-Si casting alloys was tried to be understood. Therefore, it was not want for the bifilms to react with the applied solutions. Instead, it is aimed to react and dissolve aluminum. In the experiment, tensile bar samples from AlSi10Mg alloy, previously poured RPT samples and samples obtained from slag were deeply etched with H₂SO₄, HNO₃, NaOH, NaCl solutions at various temperatures and concentrations. Additionally, an aluminum oxide layer was formed at 500 °C on the sample surface using a heat treatment furnace and one half was sanded. The other half remained in the form of the old oxide. In this way, the effect of deep etching solutions on the new and old oxides were compared.

Key words: Al-Si alloys, Deep etching, Microstructure, Melt quality, Porosity

1.GİRİŞ

Al-Si alaşımları, iyi döküm özellikleri, ısıl işlem uygunluğu, yüksek mekanik özellikler, düşük yoğunluklu ve yüksek korozyon direnci nedeniyle, başta otomotiv olmak üzere birçok endüstri alanında yaygın olarak kullanılmaktadır[1].Bu nedenle mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkileyen bifilm hatalarının önlenmesi gerekmektedir. Araştırmacılar, derin dağlama yöntemini çeşitli amaçlar için kullanmaktadırlar. Bu yöntemin temel amacı, metalin yüzeyden çıkarılmasıyla yapının içini görünür hale getirmektir. Yüzeyden metal uzaklaştırılması için farklı bileşimde çeşitli asit ve bazlar kullanılabilir. Louvis E. ve diğ. A6061 alaşımı için ağırlıkça % 40 NaOH kullanıldığında oksit tabakalarının oluştuğunu iddia etmiştir [2]. Alexander ve Greer bu yöntemi Al₆(Fe, Mn) fazının a-Al-(Fe, Mn)-Si [3] 'e dönüşüm derecesini belirlemek için kullandı. Makhlouf ve Guthy, Al-Si ötektik reaksiyonunun mekanizmalarını ve kristalografisini tanımlamak için bu yöntemi kullandı [4]. Ghomashchi R. %10 NaOH kullanarak derin dağlama yaptı ve AlTiSi intermetalini ortaya çıkarmaya çalıştı [5]. Başka bir çalışmada, Nafisi ve Ghomashchi, Alüminyum alaşımlarına Stronsiyum'u ekleyerek ve %10 HF kullanarak silikon modifikasyonunu incelediler [6]. Bunlarla birlikte literatürde derin dağlama yönteminin bifilmli incelemek için kullanıldığı görülmemiştir. Yüzeyde oluşan oksit, Şekil 1'de gösterildiği gibi türbülansla sıvı alüminyumun içine sürüklenirse, oksidin kuru ve ıslak yüzleri birbiriyle çarpışır ve birbirlerini üzerine katlanırken içerdeki havayı hapseder. Oluşan çift katlı oksit ise bifilm olarak bilinir.



Şekil 1. Bifilmin oluşum mekanizması[7]

Bifilm, sıvıdaki bir çatlak gibi davranarak, seramik-seramik bağlanmamış arayüzey oluşturur ve döküm parçasının başarısız olmasına neden olur. Katılma sırasındaki sabit koşullar, katlanmış bifilmli yeniden şekillenmesine ve düz bir çatlak şeklinde açılmasına sebebiyet verir.

Bu eylemle bifilmli zararlı etkilerini 10 kat arttırmaktadırlar. Campbell [8], bu mekanizmayı bir katlanma/açılma ve sarılma/çözünme olarak tanımlar.

Bu tip çatlaklar sıvı alüminyumda uzun süre askıda kalabilir. Bunun nedeni, alüminyum oksidin yoğunluğunun, sıvı alüminyum yoğunluğuna yakın olmasıdır. Bifilmli sıvı metalde asılı kalırsa, mekanik özellikleri olumsuz yönde etkilerler. Bu nedenle, metal kalitesini arttırmak için hidrojen gazı ve bifilmli kontrol altında tutmak gerekir.

Dışpınar, iyi bir döküm prosesinin sağlanabilmesi için bifilm indeksinin 0-70 mm arasında olduğunu belirtmektedir. Kötü bir dökümde bu indeks 70-350 mm arasında değişmektedir [9].

2.DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Al-Si alaşımlarına derin dağlama işleminin uygulanabilmesi için 1. deneyde öncelikle 2M HNO₃ çözeltisi balon jodede hazırlandı. Daha sonra 725°C 'de dökülen AlSi10Mg (EN-AC43000) alaşımından elde edilen çekme çubuğu numunesi 7 adet parçaya bölündü. Bu 7 adet numune sırasıyla 240-320-400-800 grit zımparalandı. 4 adet numune oda sıcaklığında sırasıyla 1,6,24

ve 48 saat süreyle 2M HNO₃ çözeltisinde derin dağlandı. Diğer 3 numune ise 50°C 'de çeker ocakta sırasıyla 1,4 ve 6 saat süreyle 2M HNO₃ çözeltisinde derin dağlandı ve bir sonraki adımda numuneler aseton kullanılarak 5 dakika boyunca ultrasonik temizleme yapılarak yüzeylerindeki fiziksel ve kimyasal kirliliklerden arındırılıp SEM cihazında incelenebilir hale getirildi.

2. deneyde ise HNO₃ konsantrasyonu 1M ' a düşürülmüş ve nitrik aside ek olarak 1M H₂SO₄ ve 1M NaOH çözeltileri kullanılmıştır. 2. deneyde toplam 6 adet numune kullanılmış ve bu numuneler Al₁₂Si alaşımının RPT numunesinden elde edilmiştir. Daha sonra 50°C 'de her çözeltiliye 2 adet numune konulmuştur. Bu 2 adet numune sırasıyla 1 ve 2 saat süreyle çözeltilerde derin dağlanmıştır. Daha sonra numuneler asetonla temizlenerek 5 dakika boyunca ultrasonik temizleme işlemi yapıldı.

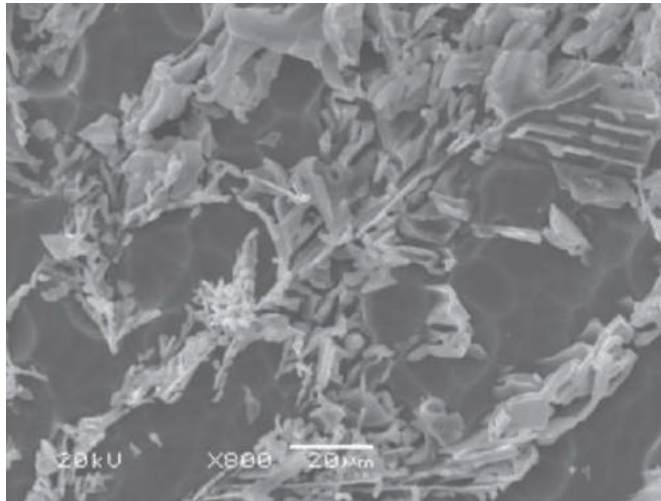
3. deneyde Al₁₂Si alaşımının RPT numunesinden 9 adet numune kesilmiştir. Elde edilen 9 adet numune her çözeltilerde 3 adet numune olacak şekilde 50°C 'de 1M NaCl, 1M H₂SO₄ ve 1M HNO₃ çözeltilerinde 5,15 ve 30 dakika süreyle derin dağlanmıştır. Buna ek olarak cüruftaki oksidin nasıl bir tepki vereceğini ölçmek adına %6 Cu , %0.5 Sn içeren alüminyum alaşımının cürufundan elde edilen 6 numune ise her çözeltilerde 2 adet olacak şekilde 15 ve 30 dakika süreyle derin dağlanmıştır.

4. deneyde ise 1.nci deneyde kullanılan çekme çubuğundan elde edilen 4 adet numune kullanılmıştır. Bu 4 adet numune yüzeylerinin bir yarısı 600 grit zımparalanmış şekilde diğer yarısı ise LENTON ısıtma fırınında 500°C sıcaklıkta 8 saat süreyle tutularak yüzeyinde eski oksit film tabakası oluşturulmaya çalışılmış ve 600 grit zımparalanarak genç oksit oluşturulan kısım eski oksit oluşturulan kısmın çözeltilere nasıl tepki vereceği anlaşılmaya çalışılmıştır. Numuneler 50°C'de 1M H₂SO₄ ve 1M HNO₃ çözeltilerinde 5 ve 10 dakika boyunca derin dağlanmıştır.

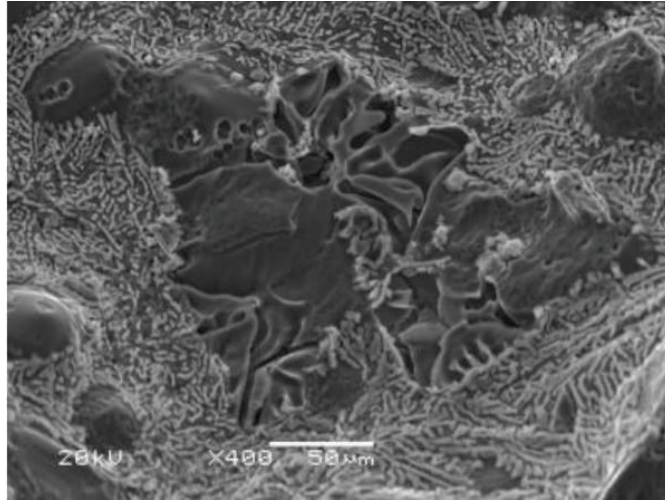
3.BULGULAR VE TARTIŞMA

Yapılan deneyler sonucunda aşığıdaki bulgulara ulaşılmıştır.

Şekil 2'de 2M HNO₃ çözeltisi içerisinde alüminyumun çözünmesiyle ortaya çıkan silisyumlar gözükmemektedir. Bifilme bu derin dağlama şartlarında çözündüğü için görülememektedir. Bunun yüksek konsantrasyon ve çözelti içerisinde uzun tutma süresinden kaynaklandığı düşünöldü. Bu nedenle sıcaklık arttırılıp tutma süresi ve konsantrasyon düşüröldü.

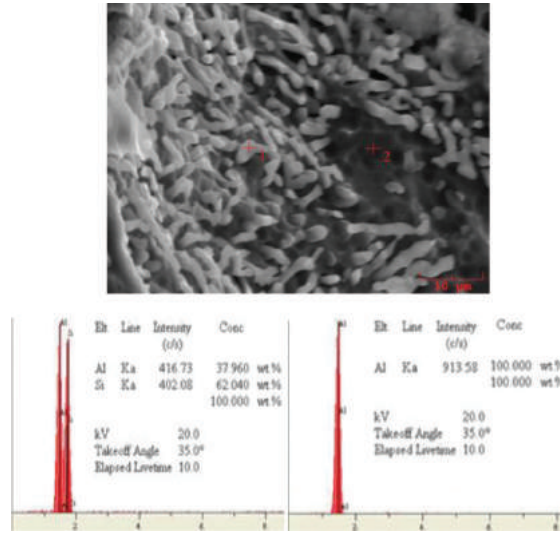


Şekil 2. SEM fotoğrafı, 2M HNO₃, 25°C, 48 saat.



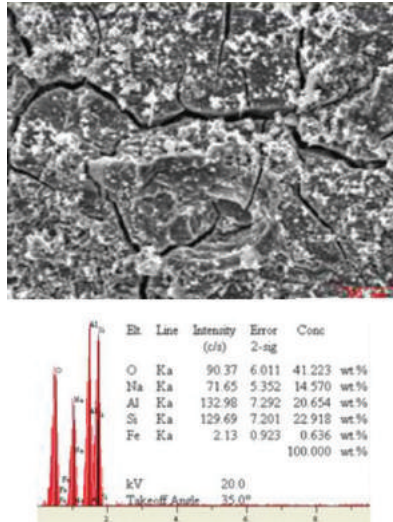
Şekil 3. SEM fotoğrafı, 1M H²SO₄ ,50°C, 2 saat.

Şekil 3'te 1M sülfirik asit içerisinde demir intermetalığının çözünmesi görülmektedir.



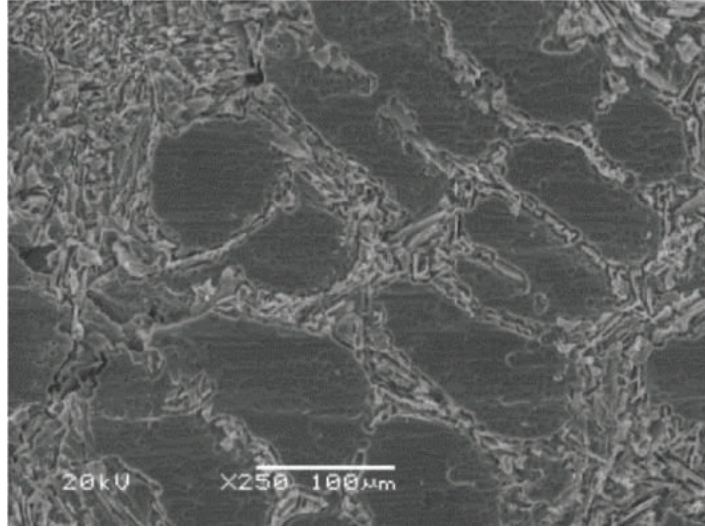
Şekil 4. 1 M H²SO₄ EDS analizi 50°C, 2 saat x2000

Şekil 4'te Silisyumun modifikasyonu net bir şekilde görülebilir.

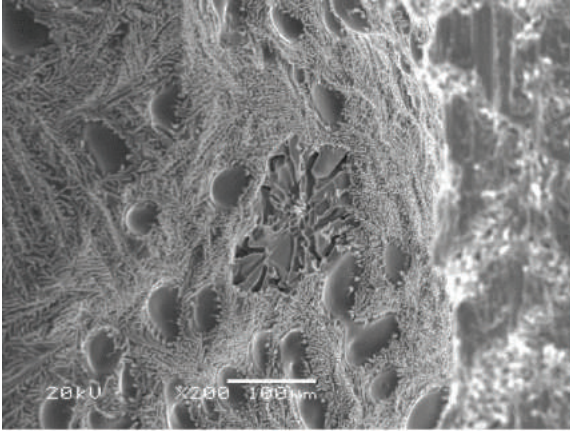


Şekil 5. EDS analizi 1M NaOH, 50°C, 2saat x350.

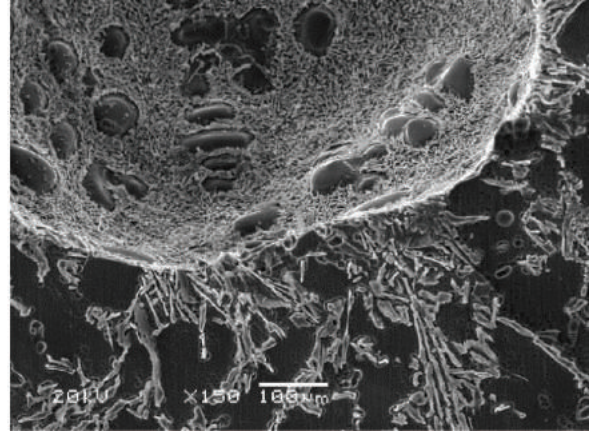
Şekil 5' te, sodyum alüminat bileşiğinin alüminyum yüzey üzerinde biriktiği görülebilir. Bu nedenle bifilmli yapılar gözlemlenmemiştir.



Şekil 6. SEM fotoğrafı, 1M HNO₃, 50°C, 1 saat.

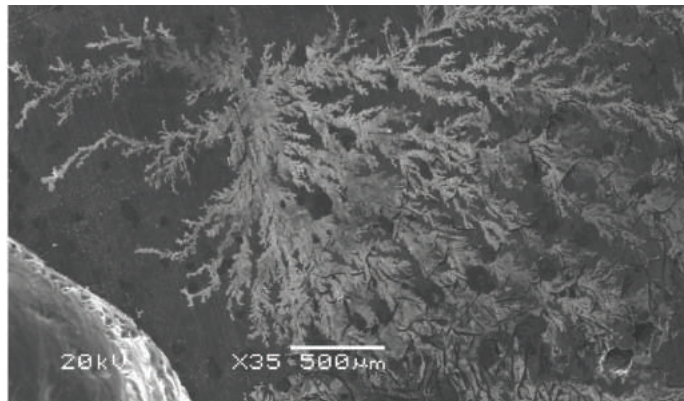


Şekil 7. SEM foto.1M H₂SO₄, 50°C, 2 saat



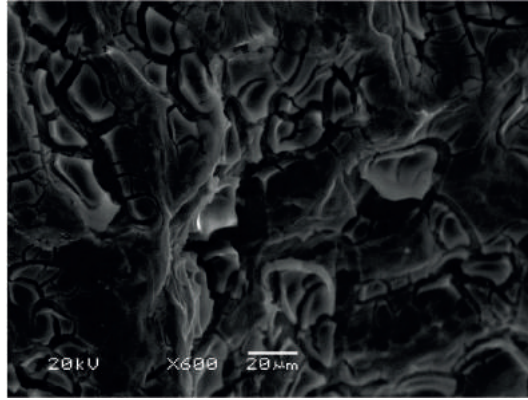
Şekil 8. SEM foto.1M HNO₃ 50°C, 30 dk.

Silikon modifikasyonu, Şekil 6'da 1 saat boyunca nitrik asitle derin dağlanmış numunelerde dendrit kolları arasında tespit edilmiştir. Şekil 7 ve 8 'de porozitenin iç ve dış kısımları arasındaki modifikasyonların farklı tepkileri oldukça ilgi çekicidir. Bunun sebebinin bifilm olduğu açıktır. Bifilmli yapılar arasında kalan sıvı metal hızlı katılaşma ile de modifiye olurlar. Dışınar[10] yaptığı çalışmada benzer bulguları göstermiştir. Derin dağlama sonrasında bifilmli yapılar çözündüğü için görsel olarak yapıda yer almamaktadır.



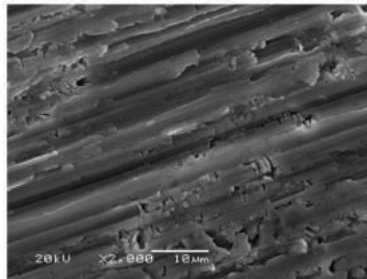
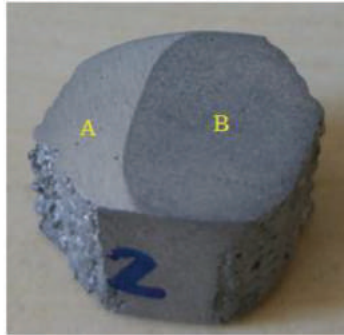
Şekil 9. SEM fotoğrafı, 1M NaCl, 50°C, 30 dakika.

Şekil 9'da NaCl ile derin dağlama uygulandığında dendritlerde üzerinde korozif etkiden dolayı farklı fazlarda bileşik oluşumları görülmüştür.

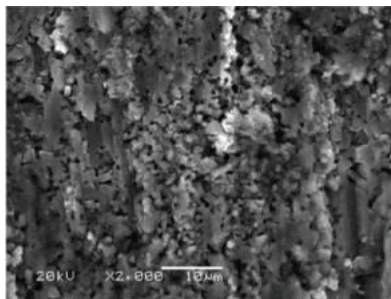


Şekil 10. Cüruf numunesi 1M HNO₃, 50°C, 30 dakika.

Şekil 10' da cüruf numunesindeki oksit tabakasının 30 dakika sonrasında parçalanmaya başladığı görülmüştür.



A) H²SO₄, 50°C, 10 dakika zımparalanmış kısım



B) H²SO₄, 50°C, 10 dakika Okside edilmiş kısım

Şekil 11. SEM fotoğrafı, 1M H²SO₄, 50°C, 10 dakika.

Şekil 11'da zımparalanmış kısmın oksitlenmiş kısma göre daha az çözüldüğü tespit edilmiştir.

4.SONUÇ

Bu çalışmada kullanılan parametrelere göre, oksitler ve bifilmelerin oda sıcaklığında ve 50°C'de devamlı olarak çözüldüğü tespit edilmiştir.

SEM fotoğraflarına bakıldığında, gözenekliliğin iç kısımlarının ve dış kısımlarının arasında silisyum modifikasyonu bakımından farklılıklar olduğu görülmüştür.

Zımparalanmış kısmın, oksitlenmiş kısımdan daha az çözüldüğü tespit edilmiştir.

Bununla birlikte, silisyumun modifikasyonu için çok faydalı bir yöntem olabileceğine inanılmaktadır.

REFERANSLAR

1. Ö. Gürsoy , E. Erzi , D. Dispınar , Ç. Yüksel , “The Time Dependent Effect of Adding Al-5Ti-1 B Grain Refiner on A356 Aluminium Casting Alloy” ,7th Aluminium Symposium, , 2015 , İstanbul, Türkiye.
2. E. Louvis , Fox P. , Sutcliffe C.J. , “Selective laser melting of aluminium components”, Journal of Materials Processing Technology, Vol 211, 2011, p.275–284
3. Alexander D.T.L., Greer A.L., “Solid-state intermetallic phase transformations in 3XXX aluminium alloys”, *Acta Materialia*, Vol 50, 2002, p.2571–258
4. Makhlof M.M., Guthy H.V., “The aluminum–silicon eutectic reaction: mechanisms and crystallography”, *Journal of Light Metals*, Vol 1, 2001, p.199–218
5. Ghomashchi R., “The evolution of AlTiSi intermetallic phases in Ti-added A356 Al–Si alloy”, *Journal of Alloys and Compounds*, Vol 537, 2012, p.255–260
6. Nafisi S., Ghomashchi R., “Effects of modification during conventional and semi-solid metal processing of A356 Al–Si alloy”, *Materials Science and Engineering A*, Vol 415, 2006, p.273–285
7. Dispınar D, Campbell J, “Critical assessment of reduced pressure test. Part 1: Porosity phenomena” *International Journal of Cast Metals Research*, Vol 17(5), 2004, p.280-286
8. Dispınar D., S. Akhtar, A. Nordmarka, M. Di Sabatinoa, L. Arnberg, “Degassing, hydrogen and porosity phenomena in A356 , *Materials Science and Engineering A*”, Vol 527, 2010, p.3719-3725
9. Dispınar D., Campbell J., “Use of bifilm index as an assessment of liquid metal quality” , *International Journal of Cast Metals Research*, Vol 19, 2006, p.5-17
10. Dispınar and Campbell, Supercooling of metal in fine filters, *J Mater Sci*, Vol 42, 2007, p.10296–10298

DÖKÜM YÖNTEMİYLE BOŞLUK YAPICILAR KULLANILARAK A356 KÖPÜK ÜRETİMİ

Hayai ŞAHİN*, Özen GÜRSOY*, Serkan EMİK**, Derya DIŞPINAR*

**İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fakültesi Maslak, İstanbul, Türkiye*

***İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği, Avcılar, İstanbul, Türkiye*

ÖZET

Soğutma sistemlerinde ısı iletim için etken parametre olan yüzey/hacim oranına sahip alüminyum heatsink parçalar kullanılmaktadır. Yüzey alanı artışı ile ısı iletim kabiliyetinde artım amaçlanarak alüminyum köpük üretilmiştir. A356 dökümünde boşluk yapıcı olarak kaya tuzları (NaCl) kullanılmıştır. Strafor köpük üzerine boşluk yapıcı kaya tuzları yerleştirilerek kum kalıba döküm yapılmıştır. Boşluk yapıcı kaya tuzları su içerisinde çözünerek alüminyum parçadan uzaklaştırılarak döküm yoluyla gözenekli, köpük alüminyum üretilmiştir. Elde edilen köpük alüminyum ürünler baskı altında mekanik teste tabi tutulmuştur.

Anahtar Kelimeler: alüminyum, A356, köpük, döküm

ABSTRACT

Aluminium heatsink parts with surface-to-volume ratio are used as the effective parameters for thermal transmission in cooling systems. Aluminium foam was produced by increasing the surface area and increasing the heat conductivity. Rock salts (NaCl) were used as the space holder in the A356 casting. Space holder salts were placed on Styrofoam. This Styrofoam was cast in the sand mould. Space holder salts were removed inside of water. Open cell aluminium foam was produced by casting in outdoor atmosphere. Mechanical test was applied produced open cell foam aluminium under pressure.

Keywords; aluminium, A356, foam, casting

1. GİRİŞ

Metalik köpükler dayanım-yoğunluk oranının yüksek olması, enerji emme yeteneği, yüksek ısı iletkenlikleri nedeniyle otomotiv, havacılık, deniz sektörleri ve implant sektörlerinde uygulama alanları bulmaya başlamıştır [1-6].

Alüminyum, demir, nikel, kurşun, çinko ve titanyum metalik köpük üretiminde kullanılan metallerdir. Ancak alüminyum düşük yoğunluğu, korozyon direnci ve düşük ergime sıcaklığı gibi özellikleri nedeniyle, metalik köpük üretiminde en çok tercih edilen metaldir [7].

Köpük metal üretimi 1960'lı yıllarda çalışılmaya başlanmıştır. Alüminyum köpük %(80-95) oranında boşluk ve %(05-20) oranında metal malzeme ihtiva etmektedir. Açık hücreli ve kapalı hücreli olmak üzere iki şekilde üretilir. Gözenekler birbirine bağlantılı halde bulunuyorsa, "açık hücreli" (open cell), hücrelerin içerisinde gaz hapsedilmiş ve gözeneklerin birbirine bağlantıları yok ise "kapalı hücreli" (close cell) alüminyum köpükler olarak adlandırılır. Kullanım amacına uygun olarak açık veya kapalı gözenekli köpükler seçilir[8].

Alüminyum Metal Köpük Üretim Yöntemleri

Gaz enjekte ederek köpük üretimi, ergimiş alüminyum içerisine argon, azot, hava gibi gazlar üflenir. Yoğunluk farkından gazlar yukarı çıkarken bünyelerinde bir miktar alüminyum alır. Sıvı metalin soğuması sırasında bünyede oluşan boşluklarla alüminyum köpük elde edilir. Bu yöntemin ucuz ve sürekli oluşu avantaj sağlarken, hücre boyutunun kontrol edilememesi dezavantajdır [9].

Köpük yapıcı ajan ile köpük üretimi, alüminyum eriyiği içine gaz üflemek yerine köpük yapıcı ajan eklenerek gaz çıkışı gerçekleştirilir. Köpük yapıcı metal olarak genellikle titanyum hidrid (TiH₂) kullanılır. Katkı malzemelerinin pahalı oluşu bir dezavantaj olsada, boşluk boyutunu kontrol edebilir oluşu bir avantajdır [9].

Kompakt toz ergitme tekniği, toz metal ve köpük yapıcı madde karıştırıldıktan sonra, presleme, ekstrüzyon ve haddeleme gibi metal şekillendirme yöntemleri ile yarı ürün elde edilir. Dezavantajı yüksek toz maliyeti ve büyük parçaların üretilmemesidir. Avantajı ise son ürüne yakın ürün elde edilmesidir[9].

Polimer köpükler ile hassas döküm, polimer esaslı malzeme ısı dirence sahip malzemelerle doldurulur. Polimer malzeme bünyeden uzaklaştırıldıktan sonra oluşan boşluklar sıvı alüminyum dökülür. Kalıp malzemesi bünyeden uzaklaştırılarak köpük alüminyum elde edilmiş olur [9].

Lakshmi J. Vendra ve Afsaneh Rabiei çalışmalarında Alüminyum-Çelik Kompozit köpük metali açık atmosferde dökümü ile üretilmiştir. 700oC en uygun işlem sıcaklığıdır. Üretilen kopolit köpük monolitik sıkıştırma testine tabii tutulmuştur. Alüminyum-çelik kompozit köpükler, diğer alüminyum köpük ve çelik içi boş küre köpüklere kıyasla daha iyi sıkıştırma ve enerji emici özeller ortaya koymuştur. [10].

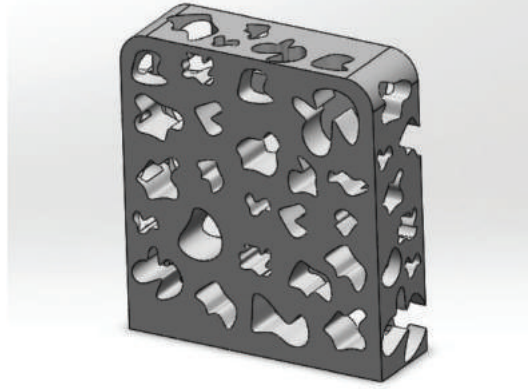
R. Surace, L.A.C. De Filippis, A.D. Ludovico ve G. Boghetich toz metalurjisi tekniği ile boşluk yapıcı olarak sofru tuzu kullanılarak alüminyum köpük üretilmiştir. DOE teknikleri ve ANOVA analizleri ile basınç, sinterleme zamanı ve Al fraksiyonu incelenmiştir. Optimum parametreler: Sıkıştırma basıncı p= 550 MPa, sinterleme süresi t=2 saat ve Al fraksiyonu fAl=%40. Al fraksiyonu göreceli yoğunluğu ve basınç stresini etkileyen en önemli parametredir[11].

B. Jiang, N.Q. Zhao ve C.S. Shi, J.J. Li yaptıkları çalışmada boşluk yapıcı olarak küresel ve şerit

şekilli üre kullanarak ürettikleri açık hücreli alüminyumun mekanik özelliklere etkisini incelemişlerdir. Küresel porlara sahip köpüklerin basma dayanımı şerit porlara göre daha iyidir[12].

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada boşluk yapıcı olarak kaya tuzu (NaCl) kullanılmış, açık gözenekli köpük alüminyum, açık atmosfer basıncında, farklı döküm yöntemleri kullanılarak üretmeyi amaçlanmıştır.

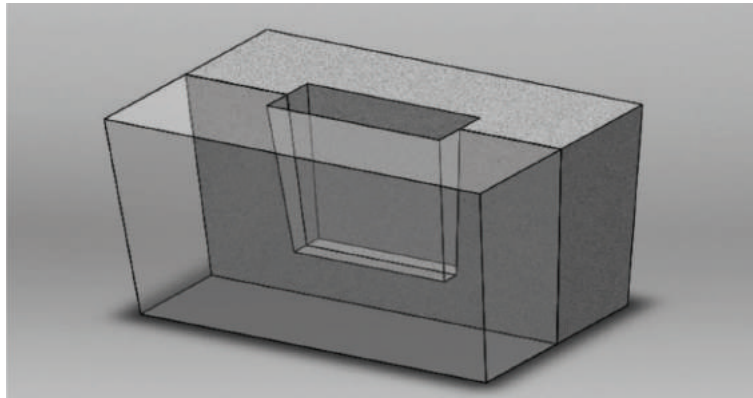


Şekil 1 : Üretilmek istenen açık gözenekli alüminyum köpüğün şematik gösterimi

Elekten geçirilen ortalama boyutu 2-2.5 mm çapındaki 6 g kaya tuzları grafit pota içerisine yerleştirildi. 21,5 g A356 700oC'ye fırında 1 saat sürede ergitildi. Sıvı Alüminyum oda sıcaklığında ve 450oC'ye ısıtılmış grafit potaya döküldü. Fırın dışında oda sıcaklığında katılaştırıldıktan sonra potadan çıkarıldı.

Ortalama boyutu 2-2.5 mm çapındaki 10 g tuz, 2 g A356 talaşı, 10,6 g ortama 2 mm boyutunda A356 parçaları karıştırılarak grafit pota içerisine dolduruldu. Karışımın üzerine 17,5 g A356 parça eklenerek fırın ile birlikte 750oC'ye bir buçuk saatte ısıtıldı ve bu sıcaklıkta bir saat beklendi. Oda sıcaklığında fırın dışında soğutuldu.

10 g 2-2,5 mm ve 10 g 1-1,5 mm çapındaki tuzlar Şekil 2'deki kum kalıp içerisine yerleştirildi. 315 g A356 750oC fırında ergitildikten sonra kum kalıplara açık atmosferde döküldü.



Şekil 2 : Kum kalıp şematik gösterimi

2-2,5 mm boyutundaki 7,5 g tuz tek tek strafor köpük üzerine cımbız ile yerleştirildi. Üzerine tuz yerleştirilmiş strafor kum kalıba gömüldü. 180g A356 750oC'de ergitilerek kum kalıba döküldü ve oda sıcaklığında soğutuldu. Alüminyum oda sıcaklığındaki su içerisinde 1 saat bekletilerek boşluk yapıcı tuzlar sistem içerisinden uzaklaştırıldı.

60 g ortalama 1 mm çapındaki tuz, 10 g poliol ve 7 g izosiyonat karışımında köpük tuz karışımı üretildi. İstenen boyutlarda kesilen tuzlu strafor kum kalıba yerleştirildi. 180 g A356 750oC ergitildi ve kum içerisine döküldü. Oda sıcaklığında fırın dışında soğutuldu.

9 ml reçine 1'e 2 oranında epoksi ve 60 g ortalama 1 mm çapındaki tuz ile karıştırılarak elde edilen strafor kum kalıp içerisine yerleştirildi. 180g A356 750oC'de bir buçuk saatte ergitildi ve kum kalıp içerisine döküldü.

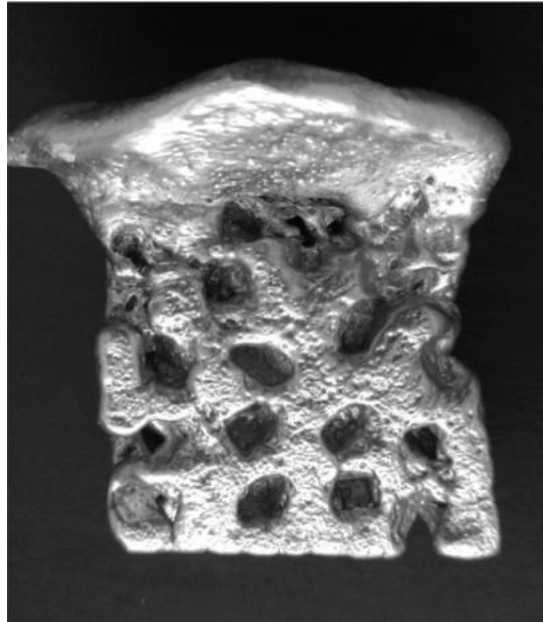
3. SONUÇ VE TARTIŞMA

Grafit kalıp içerisine yerleştirilen 2 mm ortalama çaplı tuz üzerine dökülen ergimiş A356 tuzların üst yüzeyini sarmıştır. Önceden 450oC ısıtılan ve oda sıcaklığında olan her iki potadaki tuzlardan sıvı alüminyum sızması gerçekleşmemiştir.

2 mm ortalama çaplı tuzlar A356 talaşı ve olan karışım üzerine eklenen A356 sonucu kısmi sızma gerçekleşmesine rağmen parça bir bütün olarak elde edilememiştir.

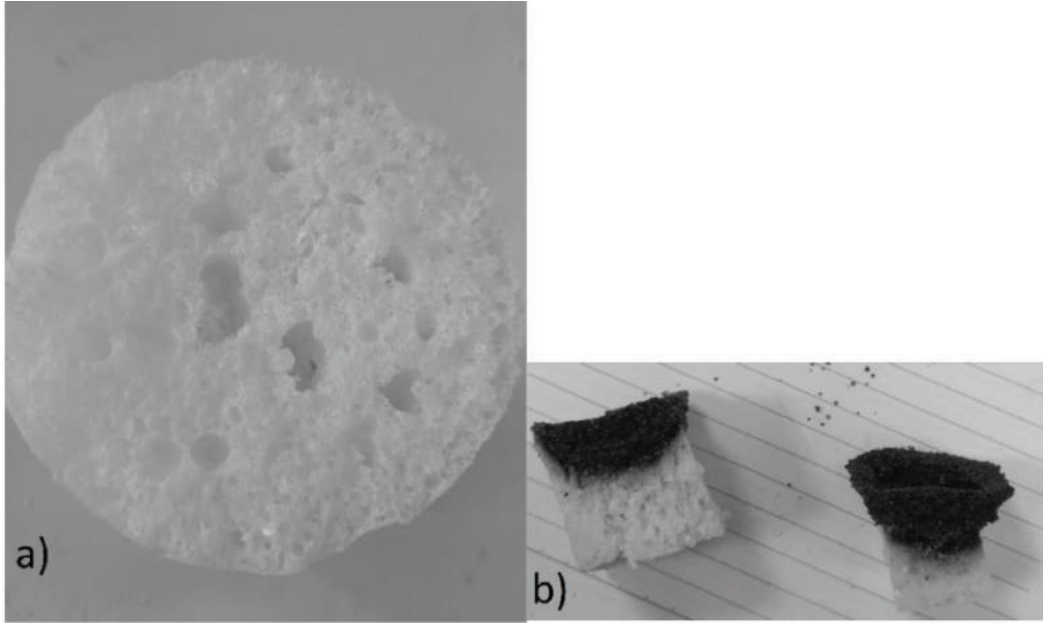
Şekil 2'deki kum kalıp içerisinde ince ve kalın tuzlar yerleştirildi döküm sonucu üstte bulunan tuzların yüzeylerini sarmasına rağmen içeriye sızma gerçekleşmedi.

Strafor üzerine yerleştirilen tuzlar kum kalıba açık atmosferde döküldü. Sıvı alüminyum tuzların etrafından sızmıştır. Boşluk yapıcı tuzların su içerisinde bekletilerek sistem içinden uzaklaştırılmıştır. Açık gözenekli alüminyum köpük elde edilmiştir.



Şekil 3 : Strafor üzerine yerleştirilen tuzlar ile elde edilen açık gözenekli alüminyum köpük.

Kitlesel üretim için içerisinde tuz içeren strafor üretilmesi amaçlanmıştır. Üretilen köpüklere açık atmosferde döküm yapılmış ve alüminyum köpüğün yüksek yoğunluğu sebebi ile yanmıştır.



Şekil 4 : a) İçerisinde tuz barındıran köpük, b) Yüksek yoğunluğu neticesinde yanan köpük

Daha düşük yoğunluklu tuzlu köpük üretilmiştir. Üretilen tuzlu köpük kum kalıp içerisine yerleştirilerek açık atmosferde döküm işlemi yapılmış oda sıcaklığında soğutulmuştur. Su içerisinde bekletilerek içerisindeki tuz giderilmiş ve köpük alüminyum elde edilmiştir.



Şekil 5 : Tuzlu köpük karışımı ile üretilmiş köpük alüminyum

4. SONUÇ

Boşluk yapıcı olarak kaya tuzları kullanılarak açık atmosferde birçok farklı döküm yöntemi ile açık gözenekli köpük üretimi denenmiştir. Üzerine tuz yerleştirilen straforun açık atmosferde kum kalıpta yapılan dökümü ile açık gözenekli alüminyum köpük elde edilmiştir(Şekil 3).

Kitlesel üretim göz önünde bulundurularak tuz içeren köpük üretilmiştir. Elde edilen tuzlu straforun açık atmosferde kum kalıpta dökülmüştür. Kısmen gözenekli alüminyum köpük elde edilmiştir (Şekil 5).

5. TEŞEKKÜR

Tuz içeren köpüklerin üretiminde yardımını esirgemeyen Doç. Dr. Serkan Emik'e, makaleyi yazmamda yardımcı olan Özen Gürsoy'a, bu çalışmayı gerçekleştirilmemde her türlü desteği gösteren ve hayatımdaki etkisi yadsınamayan bir gerçek olan değerli hocam Doç. Dr. Derya Dışınar'a sonsuz teşekkürleri borç bilirim.

6. REFERANSLAR

- 1) Guden, M., Celik, E., Akar, E. and Cetiner, S., 2005. Compression testing of a sintered Ti6Al4V powder compact for biomedical applications. *Materials Characterization*, 54(4-5), pp.399-408.
- 2) Babcsán, N., Leitmeier, D. and Banhart, J., 2005. Metal foams—high temperature colloids: Part I. Ex situ analysis of metal foams. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 261(1-3), pp.123-130.
- 3) Banhart, J., 2000. Manufacturing routes for metallic foams. *Jom*, 52(12), pp.22-27.
- 4) Tzeng, S.C. and Ma, W.P., 2006. A novel approach to manufacturing and experimental investigation of closed-cell Al foams. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 28(11-12), pp.1122-1128..
- 5) Fuganti, A., Lorenzi, L., Grønsund, A. and Langseth, M., 2000. Aluminum foam for automotive applications. *Advanced Engineering Materials*, 2(4), pp.200-204.
- 6) Seeliger, H.W., 2004. Aluminium foam sandwich (AFS) ready for market introduction. *Advanced Engineering Materials*, 6(6), pp.448-451.
- 7) A. A. Sertkaya, Alüminyum Köpüğün Isı Değiştiricisi Olarak Tasarımı ve Isı Trasferi Modeli, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, 2008, Konya, Türkiye.
- 8) Ş. D. Sezer, Kompakt Toz Ergitme Tekniği ile Alüminyum Köpük Üretimi, Y. Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2009, İstanbul, Türkiye.
- 9) Banhart, J., 2001. Manufacture, characterisation and application of cellular metals and metal foams. *Progress in materials science*, 46(6), pp.559-632.
- 10) Vendra, L.J. and Rabiei, A., 2007. A study on aluminum-steel composite metal foam processed by casting. *Materials Science and Engineering: A*, 465(1-2), pp.59-67.
- 11) Surace, R., De Filippis, L.A.C., Ludovico, A.D. and Boghetich, G., 2009. Influence of processing parameters on aluminium foam produced by space holder technique. *Materials & Design*, 30(6), pp.1878-1885.
- 12) Jiang, B., Zhao, N.Q., Shi, C.S. and Li, J.J., 2005. Processing of open cell aluminum foams with tailored porous morphology. *Scripta Materialia*, 53(6), pp.781-785.

A356 ALAŞIMINDA BOR İLE TANE İNCELTME

Uğur A. ESER¹, Özen GÜRSOY³, Eray ERZİ⁴,
Derya DIŞPINAR³, Mustafa ÇİĞDEM²

¹FERRO DÖKÜM A.Ş., GEBZE, KOCAELİ

²Yıldız Teknik Üniversitesi, Metalurji Ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul – Türkiye

³İstanbul Teknik Üniversitesi, Metalurji Ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul – Türkiye

⁴İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Metalurji Ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul – Türkiye

ÖZET

Otomotiv ve havacılık sektöründe hafifletme çalışmaları kapsamında mekanik özellikleri arttırmak günümüzün en yaygın çalışma alanıdır. Alüminyum alaşımlarında tane inceltme işlemi mekanik özellikleri arttırmaktadır. Bu çalışmada Al-B ve Al-Ti-B tane inceltici master alaşımlarının mikroyapı özellikleri, çekme testi ve sıvı metal kalitesi üzerine etkileri araştırılarak karşılaştırmaları yapılmıştır. Al-B ve Al-Ti-B tane inceltici master alaşımlarının birbirleri üzerinde çeşitli üstünlükleri bulunmaktadır. Bu çalışmada ayrıca kalıp dolumunun ve başlangıç bifilm seviyesinin önemi gözler önüne serilmiştir.

Anahtar kelimeler: A356, tane inceltme, AIB, AlTiB

ABSTRACT

Increasing mechanical properties within the scope of lightening studies in the automotive and aerospace sectors is the most common field of work today. In aluminum alloys, grain refinement increases mechanical properties. In this study, the effects of Al-3B and Al- 5Ti-1B grain refiner master alloys on microstructure properties, tensile test and liquid metal quality were investigated and compared. Al-3B and Al-5Ti-1B grain refiner master alloys have several advantages over each other, but there is no significant difference between them. The most important result of this study is that the process of filling process and liquid metal quality significantly affect the mechanical and fluidity properties of the final product.

Keywords: A356, grain refinement, AIB, AlTiB

1. GİRİŞ

Alüminyum alaşımları mukavemet/yoğunluk oranının yüksek olmasından dolayı otomotiv ve havacılık sektöründe sıklıkla kullanılmaktadır. Bu parçalar kritik kullanım alanına sahip olduğundan porozitesiz, hata içermeyen mikro yapı ve yüksek mukavemet önem kazanmaktadır [1,2].

A356 alaşımı özellikle otomotiv sektöründe yüksek oranda kullanılan bir alaşımdır. Alaşımın mekanik özellikleri ve kalıp dolum kabiliyeti silisyum modifikasyonu ve tane inceltme işlemleri ile geliştirilebilmektedir [3,4].

Tane inceltme işleminde Al-Ti-B mastır alaşımı en çok tercih edilen tane inceltici olmasına rağmen titanyum elementinin negatif etkileri oldukça fazladır. Zamanla dibe çökmesi, heterojen dentrit kolları oluşturması gibi bilinen bazı negatif özellikleri vardır. Alternatif olarak Al-B ile yapılan tane inceltme işlemi sayesinde tekrarlanabilir daha yüksek mekanik özellikler elde etmek amaçlanmıştır. Ti varlığı nedeniyle elimine olacak hatalar sayesinde verim yükselmektedir. Ayrıca, Al-Ti-B mastır alaşımına kıyasla daha az kullanılan Al-B mastır alaşımının mali yönden de faydası bulunmaktadır [5-6].

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, Al-Ti-B ve Al-B tane inceltici mastır alaşımlarının A356 alüminyum alaşımında mikroyapı, mekanik özellikler ve sıvı metal kalitesi üzerindeki etkisini incelemek amacıyla mikroyapı görüntüleri üzerinden SDAS ölçümü, çekme testi ve bifilm indeks analizi yapılmıştır. Ayrıca SDAS ölçümlerinin ve çekme testi sonuçlarının weibull analizi yapılmıştır. Dökümlerde Al-Sr15 modifikatör ve gaz giderme işlemi dahil edilmiştir. Her deney için indüksiyon ocağında 15 kg A356 ergitilmiştir ve A356 alaşımının kimyasal analizi Çizelge 1'deki gibidir. Dökümlerde kullanılan deneysel tasarım ve döküm şarjları Çizelge 2'de verilmiştir.

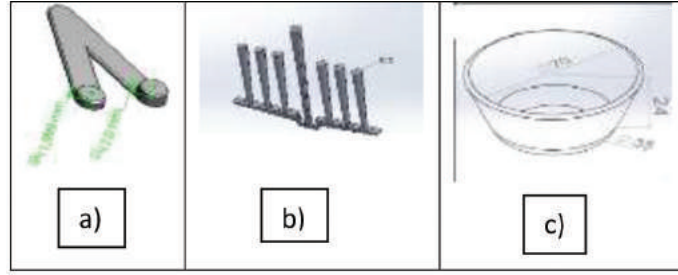
| Si | Fe | Cu | Mg | Ti | Al |
|------|-------|-------|------|------|-----------|
| 6,65 | 0,064 | 0,014 | 0,32 | 0,05 | remainder |

Çizelge 1 : A356 alaşımının kimyasal analizi (% ağı.)

| | A356 (kg) | AlB (g) | AlTiB (g) | AlSr (g) | Gaz Alma |
|-------|-----------|---------|-----------|----------|----------|
| base | 15 | --- | --- | --- | EVET |
| AlB | 14,9 | 500 | --- | --- | EVET |
| AlTiB | 15,7 | --- | 320 | --- | EVET |

Çizelge 2 Deneysel Tasarım

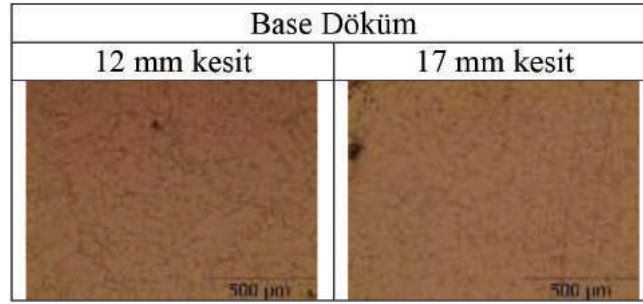
Yapılan deneylerde A356 alaşımına ilave edilen Al-Ti-B ve Al-B tane incelticilerin yanı etkileri araştırılmıştır. Master alaşımlarının ilavesinden hemen sonra 10 dakika boyunca argon ile gaz giderme uygulanmıştır. Döküm 750 °C'de kum kalıplara yapılmıştır. Çalışmada mikroyapı incelemesi için ördek ayağı, mekanik testler için 6'lı çekme çubuğu ve vakum altında katılaştırma testi için RPT numuneleri dökülmüştür. Çalışmada kullanılan modeller Şekil 1'deki gibidir. A356 alaşımının SDAS değerleri, ortalama tane boyutu, çekme özellikleri ve sıvı metal kalitesi mastır alaşımlarına bağlı olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 1 Çalışmada kullanılan modeller a) Ördek ayağı b) Çekme çubuğu c) RPT numunesi

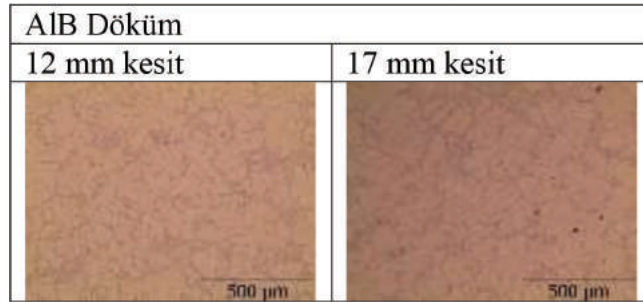
3. BULGULAR

Hazırlanan kum kalıplara yukarıda belirtilen ilave ve miktarlar ile yapılan dökümlerde ördek ayağı, çekme çubuğu ve RPT numuneleri elde edilmiştir. Ördek ayağı numunelerinden alınan 12 mm ve 17 mm kesitteki mikroyapı görüntüleri Şekil 2, Şekil 3 ve Şekil 4'te gösterilmiştir.



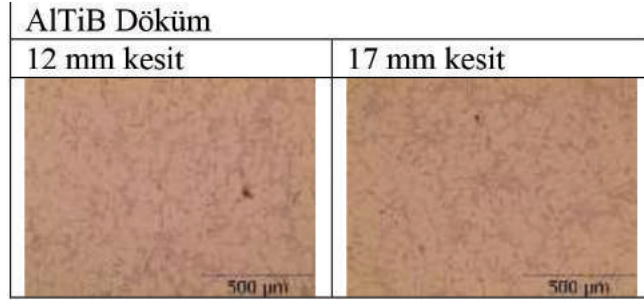
Şekil 2 2B kodlu döküm numunelerinin mikroyapıları

Hiçbir ilave yapılmayan ve gaz giderme işlemi yapılan dökümde modifikasyonun gerçekleşmediği ve görece büyük tanelerden oluştuğu görülmektedir.



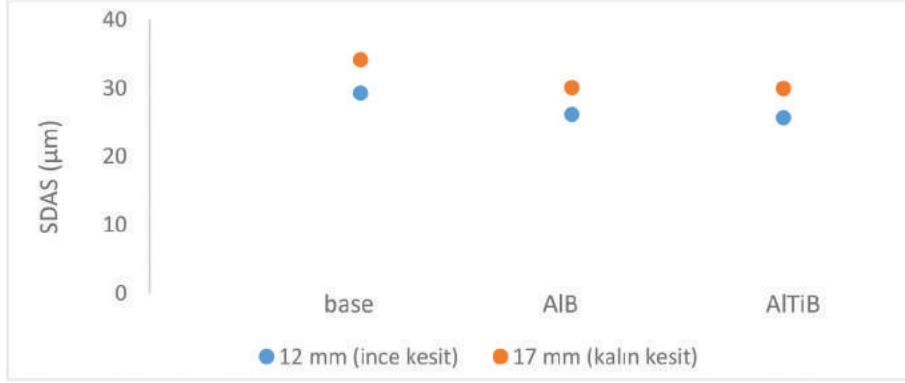
Şekil 3 3A kodlu döküm numunelerinin mikroyapıları

Sadece Al-B ilavesi ve gaz giderme işlemi yapılan dökümde modifikasyon gerçekleşmediği ve tanelerin yuvarlaklaştığı, görece küçük dentritlerin oluştuğu görülmektedir.



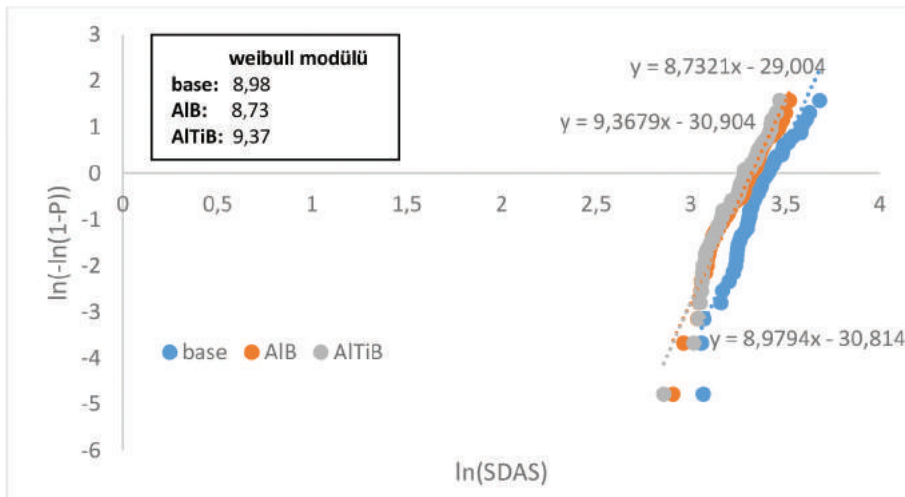
Şekil 4 3B kodlu döküm numunelerinin mikroyapıları

Sadece Al-Ti-B ilavesi ve gaz giderme işlemi yapılan dökümde modifikasyon gerçekleşmediği ve görece kısa dentritlerin oluştuğu görülmektedir. Her numunenin çekilen 3 mikroyapı görüntüsünden ve her görüntüden yapılan 10 adet ölçüm sonucunda elde edilen 30 ölçümün ortalamasının alınmasıyla SDAS analizi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 5'te verilmiştir. SDAS değerlerinden yapılan Weibull analizi Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 5 Mikroyapı görüntülerinden elde edilen SDAS değerleri (ortalama)

Şekil 5'te görüldüğü gibi tane inceltici ilavesi SDAS değerlerini düşürmüştür.



Şekil 6 SDAS değerlerinin Weibull analizi

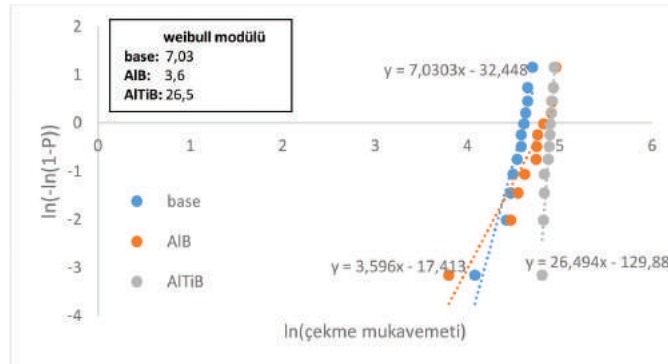
Şekil 6'daki Weibull analizinde görüldüğü gibi AIB ve AlTiB tane inceltici ilaveli dökümlerin SDAS değerlerinin tutarlılığı birbirine çok yakındır. Dökülen çekme çubuklarının talaşlı imalatının ardından çekme testi sonuçları Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 7 Çekme testi sonuçları

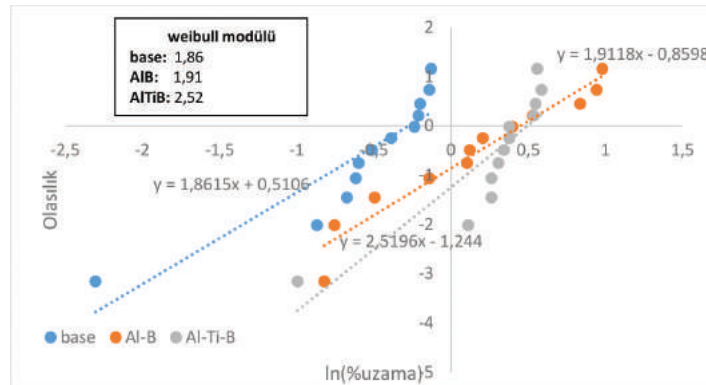
Şekil 7'deki çekme testi sonuçlarına bakıldığında tane incelticilerin olumlu katkısı olmuştur. AlTiB ilavesinin çekme mukavemetini arttırmada daha etkili olduğu görülmektedir. Ortalama %uzama bakıldığında ise iki farklı tane inceltici ilavesinin de benzer sonuçlar verdiği görülmektedir. Çekme testi sonuçları her iki tane inceltici ilaveli dökümler için düşüktür.

Çekme testi sonuçlarından yapılan Weibull analizleri Şekil 8 ve Şekil 9'da gösterilmiştir.



Şekil 8 Çekme mukavemetleri için Weibull analizi

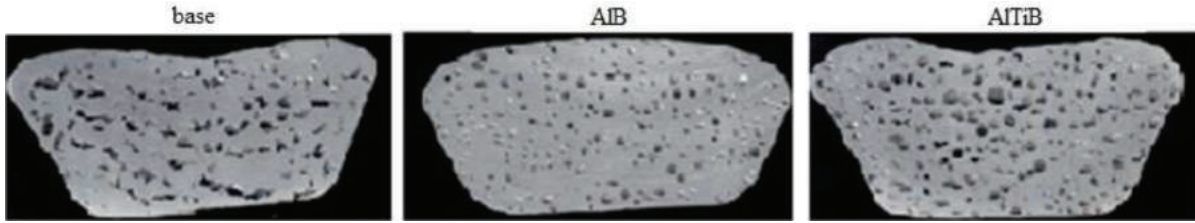
Şekil 8'deki grafiğe bakıldığında AlTiB ilaveli dökümün daha istikrarlı çekme mukavemeti sonuçları verdiği görülmektedir. Alb ilaveli dökümün çekme mukavemet değerleri tutarsız ve düşüktür.



Şekil 9 % uzama değerleri için Weibull analizi

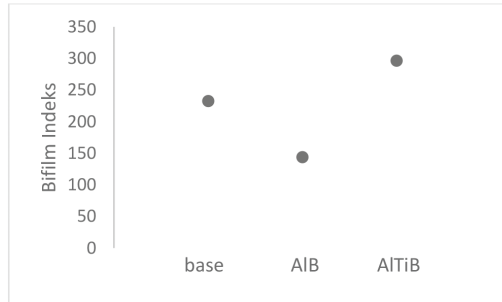
Şekil 9'daki grafiğe bakıldığında tüm dökümlerin uzama değerlerinin oldukça tutarsız ve birbirine benzer olduğu görülmektedir.

Yapılan dökümler sırasında sıvı metal kalitesini görmek amacıyla vakum altında katılaştırma testi (RPT) yapılmıştır. Elde edilen numuneler ortadan iki kesilerek bifilm index değerleri (BI) hesaplanmıştır. Elde edilen kesit yüzeyleri Şekil 10'de, bifilm index değerleri ise Şekil 11'de verilmiştir.



Şekil 10 RPT numunelerinin kesit yüzeyleri

Şekil 10'daki RPT numunelerinin kesit yüzeylerine bakıldığında tüm numunelerde oldukça fazla porozite gözükmektedir.



Şekil 11 Bifilm indeks değerleri

Şekil 11'de bulunan bifilm indeks değerleri beklenenin çok üzerindedir. Bu da sıvı metal kalitesinin kötü olduğunu göstermektedir. Gaz alma işleminin etkili yapılmaması ve türbülanslı döküm sıvı metal kalitesini düşürmüştür.

4. SONUÇLAR

1. Kalıp dolmuş prosesi ve sıvı metal kalitesi son ürünün mekanik ve akışkanlık özelliklerini önemli derecede etkilemektedir.

Referanslar

- [1] G. E. Totten and D. S. MacKenzie, "Handbook of Aluminium. Physical Metallurgy and Processes, Vol. 1," CRC, New York, p. 212, 2003.
- [2] M. Çolak ve R. Kayıkçı, "Alüminyum Dökümlerinde Tane İnceltme", Sakarya University Journal of Science, vol.13, pp. 11-17, 1899.
- [3] T. A. Association. (11 Nisan 2018). History of Aluminum. <http://www.aluminum.org/aluminum-advantage/history-aluminum>
- [4] H. Yıldırım, "Alüminyum Malzemenin Otomotiv Sektöründeki Uygulamaları," Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2006.
- [5] (14 Nisan 2018). Material Property Data. <http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=0cd1edf33ac145ee93a0aa6fc666c0e0&ckck=1>
- [6] E. Aluminium. (14 Nisan 2018). The Aluminium Effect. <https://www.europeanaluminium.eu/about-aluminium/the-aluminium-effect>

DÖKÜM ÇALIŞMALARINDA KIRICI MAÇA UYGULAMALARI

İbrahim Hayri KESER*,***, Haydar KAHRAMAN*,***,
Özge AKSIN ARTOK*, Ümit CÖCEN**

* Çukurova Kimya Endüstrisi A.Ş., Ar-Ge Merkezi, Manisa/Türkiye

** Dokuz Eylül Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, İzmir/Türkiye

*** Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir/Türkiye

ÖZET

Döküm yöntemi metalik malzemelerin üretiminde yüzyıllardır yaygın olarak tercih edilmektedir. Metalik parçanın özellikleri mikroyapıya bağlı olarak değişmektedir. Mikroyapı kontrolü için kalıp tasarımı iyi bir şekilde yapılması gerekmektedir. Kalıp tasarımında yönlü katılaşmayı ve ek sıvı metal sağlamak amacıyla besleyici gömlekler yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca döküm işleminin tamamlanmasından sonra besleyicilerin kesme ve temizleme işlemlerini kolaylaştırmak amacıyla kalıp tasarımında besleyici gömlekler ile birlikte kırıcı maçalar kullanılmaktadır. Kırıcı maçanın şekli, dayanımı, geçirgenliği ve tane boyutu gibi özelliklerinin farklı olması katılaşmaya doğrudan etki edecektir. Bu kapsamda yapılan çalışmada farklı özelliklerde kırıcı maça kullanımının katılaşmaya ve besleyici altı hatalara etkisi incelenmiştir. Farklı özelliklere sahip kırıcı maça kullanılarak deneme dökümleri yapılmıştır ve döküm parçasının yüzey pürüzlülükleri karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Çelik, dökme demir, besleyici gömlek, kırıcı maça

ABSTRACT

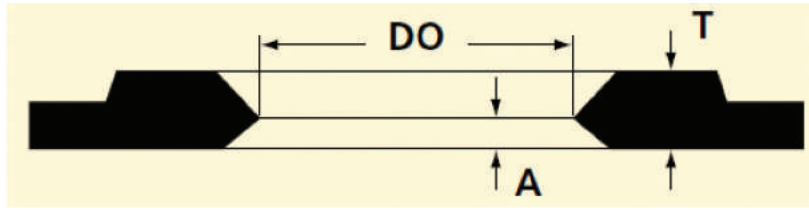
The casting method is widely used in the production of metallic materials for centuries. The properties of the metallic materials change depending on the microstructure. The mold design needs to be done well for microstructure control. Feeder sleeves are commonly used to provide directional solidification and additional liquid metal in the mold design. In addition, breaker cores are used together with the feeder sleeve in order to facilitate the cutting and cleaning operations of the feeders after the casting process. The different properties of breaker core such as shape, strength, permeability and grain size will directly affect solidification. Therefore; in this study, the different properties of breaker core effect on solidification and under the feeder defects were investigated. Experimental castings were made using different properties of breaker core, and the surface roughness of casting parts compared.

Keywords: Steel, cast iron, feeder sleeve, breaker core

1. GİRİŞ

Dökümhaneler düşük maliyetlerle verimli ve sağlam dökümler yapmayı hedeflemektedir. Bu amaç doğrultusunda yapılan çalışmalar verimi arttırmaya ve döküm proseslerinin maliyetini azaltmaya yöneliktir. Döküm çalışmalarında yapılan optimum yolluk ve besleyici tasarımları ile verim artışları sağlanmaktadır. Döküm sonrası en büyük maliyetlerden birisi sıvı metali besleme amacıyla kullanılan besleyicilerin kesme ve temizleme işlemleridir[1]. Özellikle sert malzemelerde besleyiciyi döküm parçasından ayırma işlemi uzun sürelerde tamamlanmaktadır[2]. Besleyici metalini kolay bir şekilde, kısa sürede ve düşük maliyetle döküm metalinden ayırmak amacıyla kırıcı maçalar kullanılır. Döküm çalışmalarında kırıcı maça kullanılması sonucunda besleyici ile döküm parçası arasındaki temas eden bölgenin (besleyici boyun bölgesi) yüzey alanı azalır ve kısa sürelerde kesme işlemi tamamlanır [2].

1908 yılında Edwin C. Washburn, besleyiciyi metalden ayırma ve besleyici-metal arasındaki temas alanını temizleme ile ilgili maliyetleri azaltmaya yönelik önemli bir çalışma yapmıştır. Besleyici ve döküm parçası arasındaki temas alanını azaltan ve döküm sonrası besleyici metalinin döküm parçasından kolay bir şekilde ayrılmasını sağlayan kırıcı maça kullanımı C. Washburn tarafından patenti alınmıştır. Washburn'un bu buluşu sayesinde döküm sonrası besleyicileri kesmek yerine çekiçle döküm parçasından ayrılabilir hale gelmiştir. "Washburn kırıcısı" yaygın olarak kırıcı maça olarak bilinmektedir[1]. Şekil 1'de Washburn kırıcı maça formülasyonu gösterilmektedir. DO besleyici boyun bölgesi mesafesi, T maksimum kırıcı maça kalınlığı, Mc döküm parçasının geometrik modülü, A yüksekliktir[3].



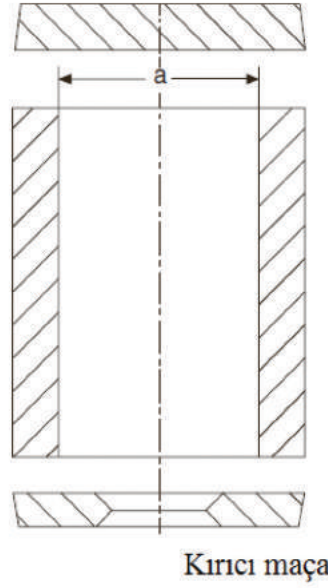
$$DO = 2,34 \cdot Mc$$

$$T = 0,56 \cdot Mc$$

$$A = T + 2,75$$

Şekil 1 Washburn kırıcı maça formülasyonu[3]

Kırıcı maçalar organik veya inorganik bağlayıcılar ile kum kullanılarak üretilmektedir ve ergimiş metalin basıncına dayanabilmesi için yüksek kuru mukavemete ve ısıtma sırasında düşük gaz salınım oranına sahip olması gerekmektedir[4,5,6]. Dökme demir, düşük karbonlu çelik ve östenitik mangan çeliği alaşımların kalıp tasarımında kullanılabilir. İnorganik bağlayıcıların kırıcı maça üretiminde kullanılmasıyla boyutsal doğruluk artar ve daha iyi bir çentik etkisi görülür. Bunun sonucunda döküm sonrası besleyici ayırma işlemleri için gerekli olan kuvvet azalır ve kolay bir şekilde besleyici döküm parçasından ayrılır. Şekil 2'de şematik olarak kırıcı maçanın konumu, Tablo 1'de genel olarak kullanılan kırıcı maça malzemesi-döküm alaşımı ve besleyici boyutları gösterilmektedir[2].



Şekil 2 Kırıcı maçalı besleyici gömlek[2]

| Kırıcı maça malzemesi | Döküm metali | Besleyici çapı(mm) |
|-----------------------|---|--------------------|
| Silis kumu | Çelik | 35-120 |
| Silis kumu | Gri dökme demir ve küresel grafitli dökme demir, demir ve demir dışı metaller | 35-300 |
| Seramik | Gri dökme demir ve küresel grafitli dökme demir, demir ve demir dışı metaller | 40-120 |
| Kromit kumu | Çelik | 80-500 |
| Kromit kumu | Gri dökme demir ve küresel grafitli dökme demir ve metaller | 200-500 |

Tablo 1. Kırıcı maça uygulamaları[2]

Kırıcı maçalar çeşitli şekil ve boyutlarda olup standart kırıcı maçalarda alaşıma bağlı olarak besleyici çapının %40,%50 ve %70 oranında dairesel açıklıklar bulunur. Kalıp ve besleyici tasarımına göre kırıcı maça açıklığı oval ve yıldız şeklinde olabilmektedir [1,3,8].

Döküm uygulamalarında yaygın olarak silindirik ve oval besleyiciler ile besleyici gömlekler tercih edilmektedir. Silindirik besleyiciler yaygın olarak kalın kesit içeren döküm parçaların üretiminde kalıp tasarımında kullanılmakla birlikte oval besleyiciler ise daha çok ince kesitli çalışmalarda tercih edilmektedir. Döküm parçasının kalınlığına ve besleyici hesaplamalarına göre besleyici şekline karar verilir[9]. Besleyiciler döküm parçasının sağlam olarak hatasız bir şekilde üretilmesini sağlamak amacıyla kullanılır. Döküm parçası ile temas halinde olan besleyici şekli döküm sonrası işlemler açısından oldukça önemlidir. Besleyici boyun bölgesinin küçük olması durumunda döküm sonrası döküm parçası üzerindeki temas yüzeyi iyileşir ve sonuçta çalışma zamanı azalır. Kırıcı maça kullanarak döküm tasarımı yapan dökümhaneler daha güvenli bir çalışma ortamına, daha kısa üretim süresine ve daha az işçilik maliyetine sahip olacaktır [1,8].

Döküm parçasını sağlam üretmek amacıyla kırıcı maça tasarımı emniyet faktörü olarak değerlendirilir. Emniyetin ötesinde başarılı bir kırıcı maça tasarımı verimli bir döküm tasarımının

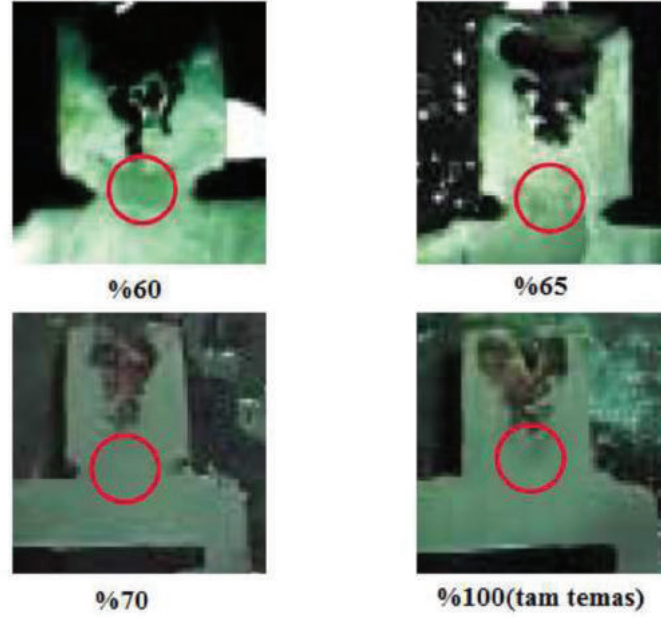
gerçekliğini belirleyebilir. Kırıcı maça açıklığı besleyici gömleğin tam merkezine hassas bir şekilde yerleştirilmesi döküm parçasında oluşabilecek hataları azaltacaktır. Kırıcı maça açıklığının besleyici gömleğin merkezinde olmaması durumunda kalıplama işlemlerinde problem oluşabilir. Ek olarak katılma sırasında besleyici gömleğin etkinliği azalabilir ve döküm parçasında hatalar oluşabilir [1].

Besleyici gömlek ve döküm parçası arasındaki temas alanının büyüklüğünü değiştirmek çeşitli avantajlar sağlar. Kırıcı maça açıklığının dar olması durumunda besleyici boyun bölgesi daha hızlı katılır. Özellikle küresel grafitli dökme demirlerde grafit genişlemesinden dolayı besleyici boyun bölgesin dar olması istenir. Uzun katılma aralığı olan gri dökme demirlerin katılma aralığı yalıtım esaslı besleyici gömleklerin kullanılması ile daha da artmaktadır. Bu durum besleyici altında kaba tane yapısının gelişmesine yol açmaktadır [4]. Kaba taneli yapının oluşumunu engellemek amacıyla kırıcı maçalar kullanılabilir. Kırıcı maçanın kullanılması sonucunda besleyici boyun bölgesi daralır [4,10,11]. Besleyici boyun bölgesinde yer alan kırıcı maça kalınlığının artması erken katılmayı engeller ve besleme yolunun açık kalmasını sağlar[4]. Çelik alaşımlı dökümlerde ise besleyici metalinin döküm parçasına sıvı metal akışını sağlamak amacıyla besleyici boyun bölgesinin geniş olması istenir. Ancak döküm sonrası besleyicinin döküm parçasından kesilmesi ve döküm parçasının temizlenmesi dikkate alındığında besleyici boyun bölgesi genişliği önemli bir etkiye sahiptir. Bundan dolayı besleyici şekli oldukça önemlidir. Besleyici boyutunun artması sonucunda besleyici ile döküm parçası arasındaki temas alanı artacaktır ve kesme, işleme gibi maliyetler artacaktır. Döküm sonrası maliyetleri azaltmak amacıyla optimum besleyici ve kırıcı maça boyutlarının belirlenmesi oldukça önemlidir[1].

Son zamanlarda yapılan çalışmalar kırıcı maçaların önemli avantajlarını ortaya koymuştur. Farklı şekillerde kırıcı maça tasarımları ile döküm sonrası kırılma kolay bir şekilde yapılabilir ve döküm parçasında segregasyon oluşumunu engellenebilir. Kırıcı maça tasarımının farklılaşması ile besleyici gömlek metalinin döküm parçasından ayrılması için daha az enerji harcandığı tespit edilmiştir[7]. Kum esaslı kırıcı maçaların açıklığı, açıklığın oluşturulma şekli ve kalınlığı genel performansı etkileyecektir. Kırıcı maça şeklinin döküm parçasında segregasyon oluşumunu engellemede oldukça etkili olduğu, kesme ve temizleme işlemlerinin süresini ve maliyetini azalttığı anlaşılmıştır[1].

Yapılan bir çalışmada döküm parçasındaki segregasyon oluşumunun kırıcı maça açıklığı ile ilişkisi araştırılmıştır. Deneysel çalışmalarda karbon çeliği kullanılmış olup küp dökümler gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalar yapılmadan önce segregasyon oluşumunu engellemek amacıyla döküm benzeşim programı kullanılarak en uygun kırıcı maça açıklığı belirlenmiştir. Yapılan benzeşim çalışmalarında kırıcı maça açıklığı besleyici çapının farklı oranları (%50-%60-%65-%70-%100) olacak şekilde yapılmıştır. %65 ve %70 oranlarında yapılan benzeşim çalışmalarında besleyici altı segregasyonların azaldığı tespit edilmiştir. Benzeşim çalışmalarının ardından döküm çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Deneme dökümleri sonucunda %70 oranında açıklığa sahip kırıcı maçanın optimum sonuçları verdiği belirlenmiştir[3].

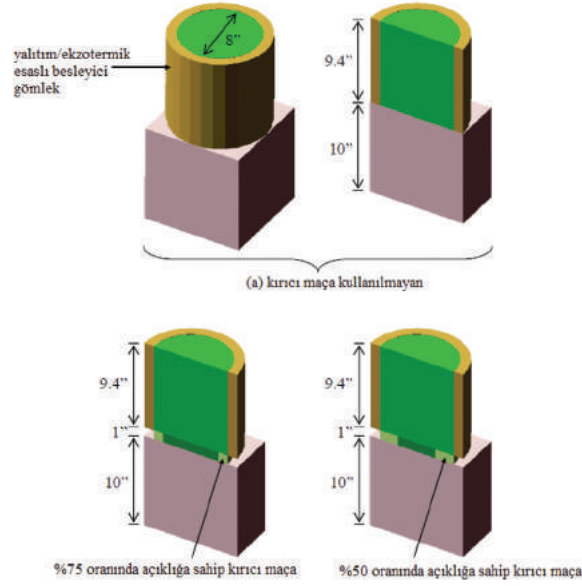
Şekil 3'te görüldüğü gibi tam temas durumunda ve %70 kırıcı maça açıklığının olduğu durumda segregasyon hatalarının besleyici altında görülmüş olup döküm parçasında hata görülmemektedir. Döküm sonrası besleyici metalini ayırma işlemi tam temas durumuna göre %70 oranında kırıcı maça açıklığına sahip deneme dökümde daha kısa sürede ve kolay bir şekilde yapılacaktır. Bundan dolayı optimum kırıcı maça açıklığı %70 olarak belirlenmiştir[3].



Şekil 3 Deneme dökümlerindeki segregasyonun hatasının görünümü[3]

Döküm parçasında segregasyon oluşumu yetersiz beslemeye göre daha zararlı olabilmektedir. Yetersiz besleme sonucunda döküm parçasında çıplak gözle boşluklar görülebilir veya penetran testi ile bu boşluklar görünür hale gelir. Segregasyon hatası çıplak gözle görünmez ve tespit edilebilmesi için dağlama yapılması gerekmektedir. Pratikte besleyici altında çatlak oluşması durumunda segregasyon hatasının olduğu ön görülmektedir[3]. Segregasyon hatası dökümün bir bölgesinin diğer bölgelerine göre alaşım elementlerinin konsantrasyonlarındaki büyük farklılıklar ile ilişkilidir ve aynı zamanda makro segregasyon olarak da adlandırılır [3, 12, 13, 14]. Ergimiş metaldeki karbon ve alaşım elementlerinin konsantrasyonunun artmasıyla segregasyon hatasının derecesi artmaktadır [3, 12, 13]. Segregasyon hatasını engellemek için döküm sıcaklığı arttırılır. Ancak döküm sıcaklığının arttırılması sonucunda enerji maliyetinde artış olacaktır ve büyük parçaların dökümünde daha büyük besleyiciler gerekmektedir. Besleyici metali hacminin artması sonucunda verim azalır. Ek olarak besleyicinin döküm parçasından ayrılması uzun süreler almakla birlikte maliyetli işlemlerdir. Maliyetli işlemlerden ve segregasyon hatasının oluşmasını önlemek amacıyla kırıcı maça optimizasyonu oldukça önemlidir[3].

Carlson ve Beckerman 2010 yılında Şekil 4'te gösterildiği gibi farklı oranlardaki kırıcı maça açıklığının segregasyona etkisini incelemişlerdir. Deneme dökümleri ve benzeşim çalışmaları yapılmıştır. Döküm alaşımı AISI 1035 çelik alaşımı seçilmiştir. Deneme dökümlerinin yapılmasının ardından döküm parçasının farklı kesitlerinden karbon ölçümü yapılmıştır. Sonuç olarak kırıcı maça açıklığının azalmasıyla döküm parçasındaki segregasyon oluşumu artmaktadır [12].

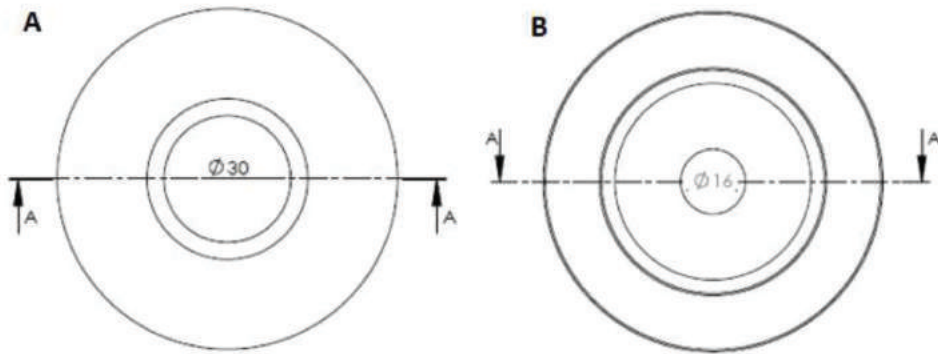


Şekil 4 Deneme dökümlerinin şematik gösterimi[12]

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

DeneySEL çalışmalar kapsamında karakterizasyon çalışmaları ve deneme dökümleri yapılmıştır. Karakterizasyon çalışmaları kapsamında kırıcı maçaların gaz ve dayanım değeri ölçülerek karşılaştırılmıştır. Deneme dökümlerinde farklı özelliklerde ve boyutlarda kırıcı maça kullanılarak döküm parçasının yüzeyindeki pürüzlülük görünümü incelenmiştir.

Besleyici gömlekle birlikte kullanılan şelkum esaslı kırıcı maçaların elek dağılımı, gaz değeri ölçümü ve dayanım testleri Çukurova Kimya Endüstrisi A.Ş. Ar-Ge Merkezi'nde yapılmıştır. Kırıcı maçaların görünümü Şekil 5'te verilmiş olup çalışmada 8 farklı kırıcı maça kullanılarak deneme dökümleri yapılmıştır. Kırıcı maçaların çapları farklı olmakla birlikte sinter düşürücü bileşen katkılı ve katkısız olacak şekilde birbirinden ayrılmaktadır. Yapılan çalışmada ϕ 350 ve ϕ 245 olacak şekilde sırasıyla ince ve kalın kum olacak şekilde şelkum kullanılmıştır. Tablo 2'de deneysel çalışmalarda kullanılan kırıcı maçaların sınıflandırılması gösterilmektedir.



Şekil 5 Kırıcı şematik görünümü a) büyük çaplı, b) küçük çaplı

| Kırıcı maça no | Kum | Kırıcı Maça Çapı | Katkılı/Katkısız |
|----------------|-------|------------------|------------------|
| 1 | Ş 350 | Büyük çap | Katkılı |
| 2 | | Küçük çap | |
| 3 | | Büyük çap | Katkısız |
| 4 | | Küçük çap | |
| 5 | Ş 245 | Büyük çap | Katkılı |
| 6 | | Küçük çap | |
| 7 | | Büyük çap | Katkısız |
| 8 | | Küçük çap | |

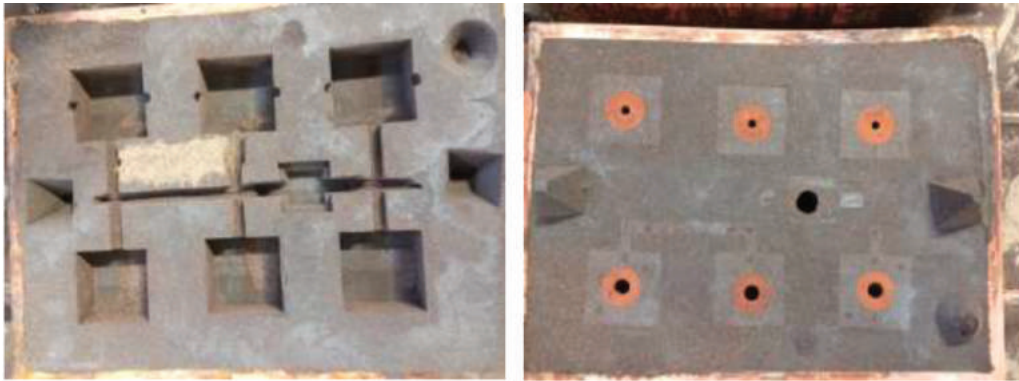
Tablo 2. Kırıcı maçaların sınıflandırılması

Deneme dökümleri küresel grafitli dökme demir alaşımı seçilerek Şahin Döküm Sanayi ve Ticaret Ltd.Şti.'de yapılmıştır. Döküm sıcaklığı 1530 °C olup küp parça dökümü gerçekleştirilmiştir. Küresel grafitli dökme demirin kimyasal kompozisyonu Tablo 3'te gösterilmektedir. Deneme dökümlerindeki kalıp görünümü Şekil 6'da gösterilmektedir.

| Alaşım | Ağırlık (%) | | | | | | | | |
|--------|-------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | C | Si | Mn | Cr | Mg | Ni | Al | S | P |
| GGG 40 | 3.67 | 2.43 | 0.236 | 0.052 | 0.042 | 0.018 | 0.013 | 0.013 | 0.031 |

Tablo 3 Küresel grafitli dökme demirin kimyasal kompozisyonu

3. BULGULAR



Şekil 6 Kalıp görünümü

Kırıcı maçaların karakterizasyon çalışmaları kapsamında tüm kırıcı maçalar için üç adet ölçüm yapılarak Tablo 4'te gösterilen dayanım, gaz ve yanma kaybı değerleri belirlenmiştir. Tablo 4'te ortalama değerler gösterilmektedir. Dayanım değerleri için kesme maçası hazırlanmış olup ısıya tabi tutularak reçinenin kurlaşması sağlanmıştır. Gaz değerinin belirlenmesinde aynı boyutlarda kırıcı maça hazırlanarak ölçümler gerçekleştirilmiştir.

| Kırıcı maça no | Kum | Kırıcı Maça Çapı | Katkılı/katkısız | Dayanım (N/cm ²) | Gaz (cm ³ /gr) | Yanma Kaybı (%) |
|----------------|-------|------------------|------------------|------------------------------|---------------------------|-----------------|
| 1 | Ş 350 | Büyük çap | Katkılı | 441 | 38 | 4,56 |
| 2 | | Küçük çap | Katkılı | 451 | 40 | 4,59 |
| 3 | | Büyük çap | Katkısız | 659 | 43 | 4,01 |
| 4 | | Küçük çap | Katkısız | 661 | 44 | 4,03 |
| 5 | Ş 245 | Büyük çap | Katkılı | 468 | 36 | 4,69 |
| 6 | | Küçük çap | Katkılı | 478 | 38 | 4,72 |
| 7 | | Büyük çap | Katkısız | 749 | 41 | 4,82 |
| 8 | | Küçük çap | Katkısız | 756 | 44 | 4,86 |

Tablo 4 Kırıcı maçaların test sonuçları

Kırıcı maçaların karakterizasyon çalışmaları incelendiğinde kumun tane boyutunun ve sinter düşürücü bileşen ilavesinin gaz ve dayanım değerlerine etki ettiği görülmektedir.(Tablo 4) Kırıcı maçaya sinter düşürücü bileşen ilavesi ile besleyici gömleğin döküm parçasına temas eden yüzeylerde aşırı ısınmadan dolayı yapılarda bozulmalar meydana gelmektedir. Bunun sonucunda döküm parçasında segregasyonlar ve hatalar görülmektedir. Segregasyonları ve hataları elemine etmek amacıyla döküm çalışmalarında kalıp yardımcı malzemesi olarak kullanılan kırıcı maçaların tasarımı ve bileşimi değiştirilebilir. Bu kapsamda sinter düşürücü bileşen ilavesi ile döküm parçasında lokal olarak aşırı ısınan bölgeler azaltılarak olası hataların engellenmesi mümkündür. Sinter düşürücü bileşen ilavesinin döküm parçasının kalitesini arttırmakla birlikte kırıcı maçanın spesifik özelliklerini değiştirmektedir. Dökümhane uygulamalarında kırıcı maça kullanımının mümkün olabilmesi için dayanım değerlerinin yeterli olması gerekmektedir. Ayrıca olası gaz hatalarına neden olmamak için içerdikleri gaz miktarının düşük olması istenmektedir.

Ş 350 kumu kullanılarak yapılan testler incelendiğinde katkılı ve katkısız kırıcı maçaların dayanım değerleri arasında yaklaşık 200 N/cm² kadar farkın olduğu tespit edilmiştir. Ş 245 kumu için aradaki farkın yaklaşık olarak 300 N/cm²'dir. Farklı tane boyutuna sahip sinter düşürücü bileşen katkılı ve katkısız kırıcı maçaların dayanım testleri sonucunda sinter düşürücü bileşen katkısının kırıcı maçanın dayanım değerini düşürdüğü tespit edilmiştir.

Ş 350 ve Ş 245 kumu kullanılarak yapılan ve katkılı kırıcı maçaların dayanım değerleri karşılaştırıldığında kalın taneli kumdan (Ş 245) yapılan kırıcı maçanın ince taneli kumdan yapılan kırıcı maçaya göre dayanım değerinin 20 N/cm² olduğu tespit edilmiştir. Genel olarak kırıcı maçanın dayanım değerleri incelendiğinde bu farkın ihmal edilebilir seviyede olduğu düşünülmektedir.

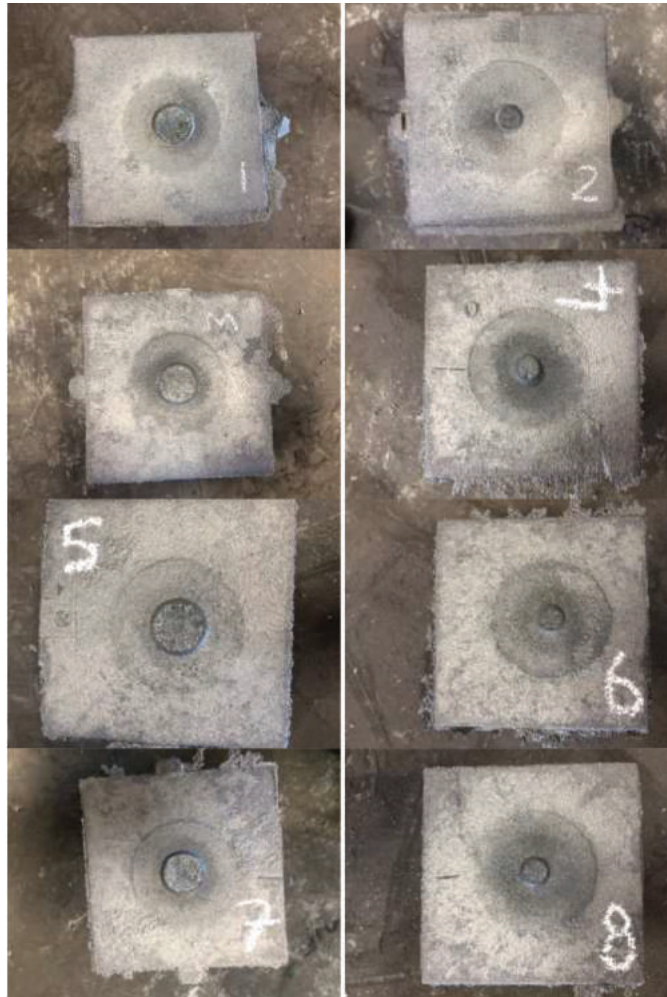
Gaz değerleri incelendiğinde tüm kırıcı maçaların ölçüm sonuçlarının birbirine yakın olduğu tespit edilmiştir. Gaz değerinin kırıcı maça yapısında bulunan organik bağlayıcı ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Ayrıca yanma kaybı değerlerinin farklı boyutlarda kumdan yapılan kırıcı maçalarda birbirine yakın olduğu tespit edilmiştir.

Deneme dökümlerinin ardından besleyici gömlek metalinin kırılması sonucunda döküm

parçasının yüzeyleri görünümü Şekil 7’de gösterilmektedir. Kırıcı maçanın kullanım amaçlarından bir tanesi döküm sonrası besleyici metalinin kolayca ayrılmasını sağlamasıdır. Besleyici gömlek çapına oranla kırıcı maça açıklığı daha küçük olmakla birlikte az yükte kısa zamanda besleyici gömlek metali döküm parçasından ayrılması sağlanabilir. Şekil 7 incelendiğinde büyük ve küçük çaplı kırıcı maça kullanılması sonucunda yüzey pürüzlülüklerin görünümünün birbirine yakın olduğu tespit edilmiştir. Büyük ve küçük çaplı kırıcı maçaların kullanımı sonucunda döküm parçasının yüzeyinde büyük çaplı kırıcı maçanın kullanılarak yapılan çalışma yüzey alanının daha fazla olduğu görülmektedir.(Şekil 7)

Kırıcı maça kullanımının katılaşmaya etkisini incelemek amacıyla döküm parçaları kesilerek kesit görüntüleri incelenmiştir. (Şekil 8) Şekil 8 incelendiğinde makro açıdan farklılık bulunmadığı tespit edilmiştir. Ancak literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde kırıcı maça açıklığının dar olması durumunda katılaşma yolunun kapanarak alaşımında mikro segregasyonlara sebep olabileceği belirtilmektedir [3].

Şekil 8’de görüldüğü gibi büyük çaplı kırıcı maça kullanılarak yapılan deneme dökümlerinden elde edilen döküm parçaların yüzey pürüzlülük değerinin küçük çaplı kırıcı kullanılan deneme dökümlerine göre daha düşük olduğu görülmektedir. Ayrıca küçük çaplı kırıcı maça kullanılan çalışmalarda besleyici gömlek metalinin daha kolay bir şekilde döküm parçasından ayrıldığı tespit edilmiştir. Besleyici tasarımları dikkate alınarak yapılacak olan çalışmalarda döküm parçasından besleyiciye doğru katılaşma yolunun açık olması önem arz etmektedir. Bu kapsamda besleyici gömlekler ile kullanılan kırıcı maça boyutları belirlenmesi önemlidir.



Şekil 7 Döküm sonrası döküm parçalarının yüzey görünümü



Şekil 8 Kesme sonrası döküm parçasının kesit görünümü

4. SONUÇ

Döküm sonrası besleyici gömlek metalinin döküm parçasından kolay bir şekilde ayırmak için kırıcı maça kullanılır. Kırıcı maça kullanılması ile döküm parçası ve besleyici gömlek arasında bulunan boyun bölgesinde daralma meydana gelir ve bunun sonucunda kesme, ayırma işlemlerinde kolaylık sağlanır.

Günümüz teknolojisinde otomatik kalıplama sistemlerinde metal tasarımlara yönelme olmasına rağmen geleneksel olarak şelkumdan yapılan kırıcı maçaların kullanımın çok olduğu göz ardı edilmemelidir. Kırıcı maça kullanılması ile kırıcı maça açıklığına ve özelliklerine bağlı olarak optimum tasarımların yapılması sonucunda iş gücü ve zamandan tasarruf edilerek döküm parçası sağlam bir şekilde üretilebilir.

Bu çalışma göstermektedir ki geleneksel yöntemle şelkum kullanılarak üretilen kırıcı maçaların özellikleri sinter düşürücü bileşen katkılı kırıcı maça özelliklerine göre farklılık göstermektedir. Sinter düşürücü bileşen ilavesinin yüzeyde meydana gelen kısmı sinterlenme ile birlikte kırıcı maça yüzeyinin daha pürüzsüz hale getirmektedir. Açıklığın küçük olması durumunda erken katılma sonucunda döküm parçasında hataların oluşma olasılığını arttırmaktadır. Bundan dolayı yapılacak olan çalışmalarda kırıcı maça bileşiminin yanı sıra kırıcı maça boyutları da önem arz etmektedir.

Genel olarak kırıcı maçanın kullanılması sonucunda;

- Besleyici sayısı ve hacminde azalma sağlanır,
- Zaman tasarrufu sağlanır ve kesme maliyetleri azalır,
- Döküm parçasında segregasyon oluşumu engellenir
- Döküm parçasının yüzey temizleme işlemleri kolaylaşır

5. TEŞEKKÜR

Döküm denemesi çalışmalarında bizlere kapılarını sonuna kadar açan ve desteklerini esirgemeyen Şahin Döküm Sanayi ve Ticaret Ltd.Şti. ailesine sonsuz teşekkürlerimizi borç biliriz.

6. KAYNAKÇA

- 1) Aufderheide, R. (2010). "Optimizing Riser Design and Functionality". Foundry Manage-

- ment&Technology. <https://www.foundrymag.com/feature/optimizing-riser-design-and-functionality> , 4 Eylül 2018.
- 2) Brown, J.R. "Foseco Ferrous Foundryman's Handbook". (2000), Butterworth-Heinemann.
 - 3) "Effect of breaker core opening on carbon segregation", Foseco Internal Technical Report, July 1999.
 - 4) T. A. Burns. "The Foseco Foundryman's Handbook Facts, Figures and Formulae". (1986), Ninth Edition, Tamworth, Staffordshire.
 - 5) Hitchings, J., Porter, A. ve Richardson A. (1999). "Use Fabric Breaker Cores to Cut Ductile Iron Finishing Cost", Modern Casting.
 - 6) Prasad, G.M.R., A PRIMER ON FERROUS FOUNDRY PRACTICE & METALLURGY.https://www.researchgate.net/profile/Rajendra_Prasad_Gulyam/publication/235952126_Useful_to_Practicing_Ferrous_Foundrymen/data/00463514afa567c845000000/A-PRIMER-ON-FERROUS-FOUNDRY-PRACTICE-METALLURGY.pdf. 05.09.2018.
 - 7) Brieger, G. (16.06.2015- Dienstag/Tuesday). "New Trends in Feeder Technology". 13th International Foundry Trade Fair With Technical Forum, 16-20 June, Düsseldorf/Germany.
 - 8) Aufderheide, R. C., Showman, R. E. and Jain, N. (2010). "Breaker Core Optimization". AFS Transactions, Paper 10-017, Page 1-9.
 - 9) Jagdishwar, M. (2012). "Casting Feeder Design Optimization Based on Feed Path and Temperature Analysis". Master of Technology, Department of Mechanical Engineering, Indian Institute of Technology Bombay.
 - 10) Foseco International Limited. (1999). Patent No. EP 0 934 785 A1. Swindon, Wiltshire SN3 1 RE (GB).
 - 11) Miki, M. ve Mitakashi, N. (1994). Patent No. 5, 299, 625. Tokyo, Japan.
 - 12) Carlson, K.D. ve Beckermann, C. (2013). Prediction of Riser Carbon Macrosegregation due to Shrinkage Flow in Steel Casting, Proceedings of the 64th SFSA Technical and Operating Conference, Steel Founders' Society of America, paper no:3.2, Chicago.
 - 13) Murphy, K. W. (1986). "Under Riser Segregation". SFSA Research Journal, Çeviri, Şevkat Koç. "Besleyici Altı Segregasyonu".
 - 14) Beckermann, C. "Macroseggregation", 2008, ASM Handbook, Volume 15: Casting, p 348-352.

DOLUKALIP (FULLMOULD) DÖKÜM YÖNTEMİ VE KULLANILAN REFRAKTER KAPLAMALAR

Eymen AKŞENER*, Özge AKSIN ARTOK*

* Çukurova Kimya Endüstrisi A.Ş., Ar-Ge Merkezi, Manisa/Türkiye

Özet

Döküm endüstrisinde kullanılan refrakter boyalar (kaplamalar) uygulandıkları yüzeyleri anlık olarak dökülen metalin yüksek sıcaklığından muhafaza ederek mümkün olan en düzgün döküm yüzeyi almak için uygulanmaktadır.

Özel bir döküm yöntemi olan Dolu Kalıp uygulaması için kullanılacak olan boyaların da bazı özel gereksinimleri vardır. En genel anlamda strafora uygulandığında yüzeye iyi yapışıp belirli bir kalınlıkta tutunma kabiliyeti olan boyanın, kurutulduktan sonra da esnekliğini koruması beklenmektedir. Ayrıca döküm esnasında kum-metal ara yüzeyinde bariyer oluşturma görevini iyi yerine getirip, gaz geçirgenliği uygun değerde olmalıdır.

Anahtar kelimeler: Dolu kalıp döküm, döküm boyası

Abstract

Refractory coatings, which are using in the casting industry, applied to obtain possible smoothest surface by high temperature of the poured metal.

Paints to be used for the application of a special casting method, Full Mould, also have some special requirements. In the most general sense, when applied to styrofoam, it is expected that the paint, which adheres well to the surface and retains a certain thickness, will retain its flexibility even after drying. Furthermore, the gas-permeability of the sand-metal interface should be at an optimum level during the casting process. In line with these expectations, newly developed styrofoam paints allow for smooth surface casting.

Keywords: Full mould casting, foundry coatings.

BÖLÜM 1. DOLU KALIP YÖNTEMİNİN TARİHİ VE PROSESİN GELİŞİMİ

1.1 Dolu Kalıp Yöntemi

Dolu kalıba döküm yöntemini en sade şekilde tanımlayacak olursak; yanarak gaz haline geçen köpük modellerin (polistiren) kullanıldığı bir kalıplama tekniğidir. Bu model malzemesi testere, bıçak veya sıcak tel ile kesilerek model biçimlendirilir. Büyük modeller birçok parçanın birbirine yapıştırılması ile de oluşturulabilir. Kalıplama sonrasında köpük model kalıp içinde bırakılır (dolu kalıp) ve erimiş metal kalıba dökülünce model yanarak gaz halinde kalıbı terk eder. Böylece erimiş metalin köpük modelin yerini almasıyla parça biçimlenir.

1.2 Dolu Kalıp Yönteminin Tarihsel Gelişimi

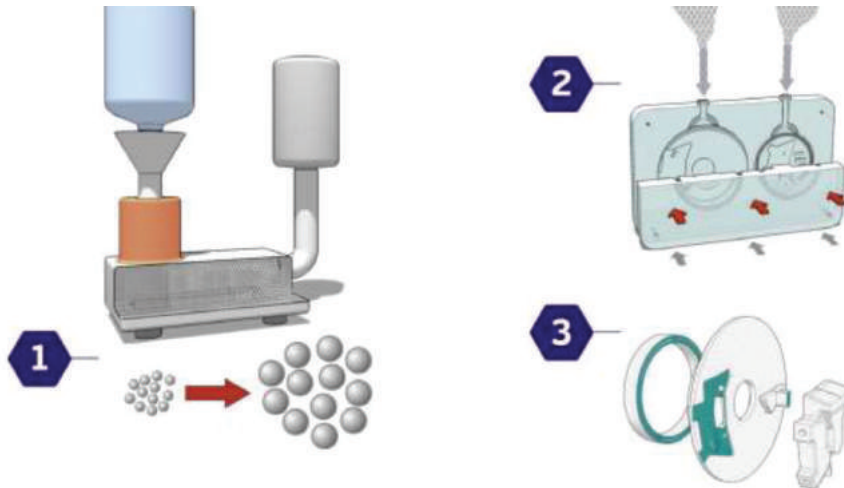
Lost Foam döküm prosesi, 1950'li yıllardan beri Amerika'da bilinen dolu kalıp yönteminin gelişmiş bir uygulamasıdır. Dolu kalıp döküm tekli parçaların üretimine imkan sağlamakla birlikte bir takım dezavantajları da beraberinde getirmekteydi: Seri üretime uygun olmayışı en büyük handikabı olarak kabul edilmekteydi [1]. Ancak döküm tekniklerindeki gelişmelere müteakiben lost foam presesiyle birlikte büyük ölçekli seri üretimler gerçekleştirilebilir hale gelmiştir. Bahsi geçen gelişmelerden en önemlisi ise 60'lı yıllarda öne çıkan bağlayıcı olmadan kum kullanılması olmuştur. Bu gelişmeyle birlikte günümüzde Dolu kalıp prosesinde bağlayıcılı kum kullanımı ve lost foam prosesinde bağlayıcısız kum kullanımı tartışılabilen temel kriterlerden biri olmuştur. Lost foam döküm prosesi diğer döküm yöntemleriyle elde edilmesi güç, komplike şekilli parçaların nispeten kolaylıkla yapılabileceği kum kalıpların kullanıldığı bir döküm yöntemidir. Bu yöntemle tek parçalık prototip üretimlerden, hem küçük hem de büyük ölçekli seri üretim parçalara kadar döküm alınabilir. Çelikten dökme demire, alüminyumdan bakıra kadar birçok farklı dökümde de kullanılabilir.

2. Dolu Kalıp Yönteminin Uygulama Prosesi

En önemli avantajlarından bir tanesi, dizayn edilecek parçaların kalıpları hazırlanırken parça tasarımında dökümcülere özgürlük sunmasıdır. Köpük kalıp hazırlamanın doğasından gelen özelliklerle, istenen griftlikte parçalar kolaylıkla hazırlanarak üretime alınabilmektedir. Kalıp hazırlanmasından, döküm parçasının kalıptan çıkarılmasına kadar olan prosesler aşağıda kısaca özetlenmiştir:

1. Polimer köpüğün hazırlanması
2. Köpük modelin boyanması
3. Döküm sonucu parçanın kalıptan alınması

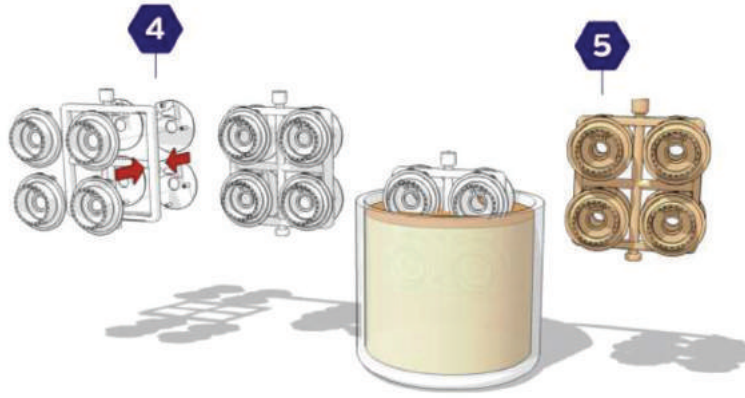
1. Polimer Köpüğün Hazırlanması



Şekil-1 : Polimer köpüğün prosese hazırlanma süreci [1]

Kalıp hazırlamanın ilk adımı olan ön genişletme prosesinde (1) orijinal boyutunun yaklaşık 30 katına kadar genişleme kabiliyetine sahip olan malzemelerden faydalanılır. Böylelikle köpük yoğunluğu yaklaşık 18-25 g/l'ye düşürülmüş olur. Bu düşük yoğunluk döküm işlemi sırasında erimiş metalin kalıba boşaltılmasında tamamen ve hatasız bir şekilde köpük modelin yerine geçmesini sağlamak için gerekli olmaktadır.

Kalıplama adımında (2) özel olarak hazırlanmış modelin son hali verilir. Bu alüminyumdan mamül eritme kalıbı içine ön genişletmeye tabii tutulmuş polistiren boncukları ilave edilir ve kalıp ısıtılır. Sonuç olarak birbirine yapışarak kaynayan polistiren model oluşturulmuş olur. Bağımsız modellerin birleştirilerek kolayca tek bir model haline getirilebilmesi (3) Lost Foam yönteminin en büyük avantajlarından biridir, böylece ince cidarlı karmaşık geometriye sahip ürünlerin düzgün yüzey yapısıyla elde edilmesi sağlanabilmektedir.

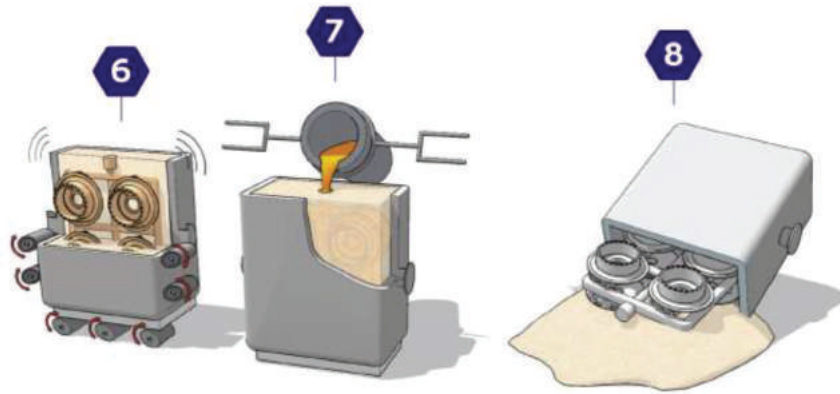


Şekil-2: Köpük modelin boyanması [1]

Bir diğer avantaj ise, salkım halinde (4) öbeklenmiş birden çok parçanın aynı hassasiyetle döküme hazırlanabilmesidir.

2. Köpük Modelin Boyanması

Kümelenmiş Modellerin boyanması için en pratik uygulama daldırma yöntemidir (5). Böylece zamandan tasarruf sağlanarak üretim hattının efektif kullanımı sağlanmış olur. Ancak büyük ve komplike modellerde, sprej ve fırça uygulamalarının birlikte kullanımı yüzey kalitesini arttıran önemli bir faktördür.



Şekil-3: Köpük modelin kalıplanması [1]

Kalıplama aşamasında (6) kümelenmiş köpük modeller bağlayıcı içermeyen kalıplama kumuna (çoğunlukla kuartz kumu) kumuna gömülerek kalıplanırlar. Kalıplama esnasında kumun iyi sıkışarak kalıbı tamamen sarabilmesi için kalıp yatağı dışardan sarsılır. Ardından döküme geçilir (7). Bu aşamada sıvı metal kalıba dökülür dökülmez strafor model yanarak gaz haline geçer ve yerini metale bırakmış olur. Böylece en küçük ayrıntısına kadar detaylı bir parça edilir. Ardından kalıp bozulur (8) ve parça alınır. Lost Foam yönteminin bir diğer avantajı da kalıp bozulmasının nispeten daha kolay ve kısa sürede gerçekleştirilebilmesidir.

3. Strafor Boyalarının Genel Özellikleri ve Dökümdeki Önemi

Köpük model üzerine uygulanan boya katmanlarının yüksek kaliteli döküm alınmasında çok önemli etkileri vardır [2]. Lost Foam prosesi için geliştirilen boyalarda temelde beklenen özellikler, hem erimiş metalin modelle buluşmasından önce kalıp içinde kumun ağırlığına dayanabilmesi hem de erimiş metal ile temas anında yüksek sıcaklığa direnç gösterebilmesidir. Aynı zamanda kullanılan boyanın erimiş metalin aşırı ısı kaybetmesini önlemeye yönelik bir izolasyon bariyeri oluşturarak erken katılaşmayı önlediği de anlaşılmıştır [3-6]. Aynı zamanda uygulanan boyanın, köpüğün yanması sonucu oluşan sıvı ve gazların da atılımını kolaylaştırmalıdır. Yapılan son bilimsel çalışmalarda uygulanan boya katmanının, metalin akışkanlığının iyileşmesi üzerinde pozitif etkisi olan, sıvı metal-kum arasındaki ısı transfer katsayısını düşürdüğü de görülmüştür [7].

İyi bir kaplamanın, uygulanacak döküme göre bileşimini en önemli parametrelerden birini oluşturmaktadır. Günümüzde zirkon, talk ve alümina silikatlar ve bunların harmanları refrakter malzeme olarak kullanılmaktadır [8-11]. Ancak tek başına bir anlam ifade etmeyen refrakter bileşenler, uygulama kalınlığı ve uygulama yöntemi de göz önüne alınarak boya bileşeni tasarlanmalıdır.

İdeal uygulama kalınlığı her işletmenin kendi dinamikleri ve parça yapısı göz önüne alınarak belirlenmeli ve tecrübe edilmelidir. Ancak dikkat edilmesi gereken hususlardan bir tanesi, özellikle büyük modellerde, boyanın uygulandıktan sonra esnekliğini muhafaza edebiliyor olmasıdır ki modelin kalıba taşınması ve kum baskısı altında kaplama boyanın çatlayıp ezilmemesidir. Bunların dışında hem daldırma hem sprey ve fırça uygulamalarında boyanın yüzeye tutunma kabiliyetinin ve boya hazırlanma aşamasında içeriğinin homojen şekilde dağılmış olmasının döküm yüzeyi üzerindeki etkileri göz ardı edilmemelidir.

3.Sonuç

Günümüz metal endüstrisindeki gelişmeler göz önüne alındığında, döküm ve döküm sanayindeki teknik ilerlemenin önemi anlaşılmaktadır. Yeni nesil döküm teknikleriyle birlikte hassas ve zor şekilli parçaların elde edilmesine imkan veren lost foam tekniğinde kaliteyi artıran en önemli faktörlerden bir tanesi de yüzey kaplamaları yani döküm boyasıdır. Bundan dolayı seçilecek boya döküm içeriğine göre dizayn edilmeli ve son kullanıcıların ihtiyaçları dahilinde en iyi sonucu alacak şekilde hazırlanmalıdır.

Kaynaklar:

1. Lost Foam Council e.V, internet sayfası. <https://lostfoamcouncil.de/the-process.html>. 21.08.2019
2. Effect of pattern coating thickness on characteristics of lost foam Al-Si-Cu alloy casting. Transactions of Nonferrous Metals Society of China 22(9):2092-2097
3. Majid KARIMIAN1, Ali OURDJINI, Mohd HASBULLAH IDRIS, Hassan JAFARI
4. GULER K A, KISASOZ A, KARAASLAN A. A novel method for Al/SiC composite fabrication: lost foam casting. International Journal of Materials Research, 2011, 3: 304-308.

5. LIU Zi-li, PAN Qing-lin, CHEN Zhao-feng, LIU Xi-qin, TAO Jie. Heat transfer characteristics of lost foam casting process of magnesium alloy. Transactions of Nonferrous Metals Society China, 2006, 16: 445–451.
6. CAULK D A. A foam melting model for lost foam casting of aluminum [J]. International Journal of Heat and Mass Transfer, 2006, 49: 2124–2136.
7. LIU X J, BHAVNANI S H, OVERFELT R A. Simulation of EPS foam decomposition in the lost foam casting process. Journal of Materials Processing Technology, 2007, 182: 333–342.
8. AKBARZADEH Y, REZAEI M, BABALUO B, CHARCHI C, AZIMI H, AHLULI Y. Microstructure, permeability and rheological behavior of lost foam refractory coatings [J]. Surface and Coatings Technology, 2002, 202: 4636–4643.
9. BAKHTIYAROV S L, OVERFELT R A. Rheology of refractory coating materials used in lost foam casting process. Journal of Elastomers & Plastics, 2008, 32: 73–85.
10. KUMAR S, KUMAR P, SHAN H S. Effect of filler material in zircon flour coating used in evaporative pattern casting process. Indian Foundry Journal, 2004, 50: 34–40.
11. GRIFFITHS W D, DAVIES P J. The permeability of lost foam pattern coatings for Al alloy castings. Journal of Materials Science, 2009, 43: 5441–5447

%8 KROMLU SOĞUK İŞ TAKIM ÇELİĞİNİN KATILAŞMA HIZININ BİRİNCİL KARBÜR YAPISINA ETKİSİ

İsmail Seçkin ÇARDAKLI*, Ali KALKANLI*

**Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, Türkiye*

ÖZET

Bu çalışmada %8 kromlu soğuk iş takım çeliği farklı katılma hızları elde edilerek interdendritik birincil karbür boyutlarının inceltmesi için kama şeklinde bakır ve kum kalıba dökülmüştür. Elde edilen numunelerin kesitleri taramalı elektron mikroskobu yardımıyla incelenmiş ve taramalı elektron mikroskobu görüntülerinden her kesitteki ikincil dendrit kol aralığı ölçülmüştür. Her kesitin yaklaşık katılma hızları, literatürdeki ampirik ilişki kullanılarak ikincil kol aralığı verilerinden hesaplanmıştır. Deney sonuçları bakır kama numunesinin uç bölgesinde katılma hızının 4830 °C/s olduğunu ve bu bölgede birincil karbür boyutunun yaklaşık 7 - 8 mikron olduğunu göstermiştir. En büyük karbür boyutu kum kama kalıbına dökülmüş numunenin en kalın bölgesinde yaklaşık 250 - 270 mikron olarak ölçülmüştür.

Anahtar Kelimeler: kama şeklinde bakır ve kum kalıp, hızlı katılma, %8 kromlu soğuk iş takım çeliği.

ABSTRACT

In this study, 8% chromium cold work tool steel has been cast into copper and sand wedge shaped molds by obtaining different solidification rates, to refine interdendritic primary carbide structure. Sections of the obtained samples were examined by scanning electron microscope and secondary dendrite arm spacing was measured from scanning electron microscopy images in each section. The approximate solidification rates of each section were calculated from the secondary arm spacing data using the empirical relationship in the literature. Experimental results showed that the solidification rate of the copper wedge sample at the tip region was 4830 °C/s and the primary carbide size in this region was about 7-8 microns. The largest carbide size was measured to be about 250 - 270 microns in the thickest part of the sample poured into the sand wedge mold.

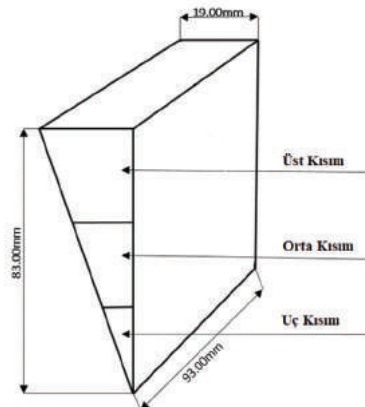
Keywords: copper and sand wedge-shaped mold, high solidification rate, 8% Cr cold work tool steel.

1.GİRİŞ

Yüksek kromlu soğuk iş takım çelikleri, 200 °C'den daha düşük sıcaklıklarda yüzey işleme ve zımbalama gibi çalışma uygulamaları için kullanılır [1]. Bu sıcaklık aralığında çelikler yüksek sertlik, yüksek aşınma direnci, tokluğa ve yüksek boyutsal stabiliteye sahip olmalıdır. Soğuk iş takım çeliklerinin kalın kesit dökümünü içeren geleneksel üretim yöntemleri düşük katılaşma hızlarına sebebiyet verir. Düşük katılaşma hızları, alaşım elementlerinin segregasyonuna ve katılaşma sonrası büyük ve kaba interdendritik birincil karbür yapılarla sonuçlanır. Bu çeliklerin en büyük dezavantajı, katılaşma sırasında alaşım elementlerinin yüksek düzeyde segregasyonundan dolayı homojen olmayan mikro yapıdır [2]. Segregasyonlu bir mikro yapı sonraki ısıl işleme (östenitleme ve temperleme) karşı çok dirençlidir ve çeliklerde segregasyonlu mikroyapı gevrek kırılmayı ve anizotropik özellikleri tetikler [3]. Birincil karbürlerin, takım çelik matrisine ısıl işlem uygulanarak çözülmesi zordur. Külçe döküm ve hadde ve dövme gibi geleneksel takım çeliği üretim teknikleri, birincil karbürlerin çözünmesi ve rafine edilmesi için uygulanmaktadır. Ancak, hızlı katılaşma hızlarına sahip işlemlerle birincil karbürlerin oluşumlarını önlemek daha uygundur. Düzensiz şekillere sahip kaba karbürler, yükleme esnasında matris / karbür arayüzündeki stres konsantrasyonunu artırır. Karbür kümeleri, soğuk iş çeliklerinde mikro çatlaklara neden olur. Bu mikro çatlakların birleşmesi ve büyümesi, bu malzemelerin yüklenmesi ile gevrek bir kırılma görülür. Takım çeliklerinin bu tür kırılmalarını önlemek için, birincil M7C3 (M = Cr, Mo, V) karbürlerin rafine edilmesi ve matriste homojen bir şekilde dağıtılması gerekir [4]. Böylece çeliğin tokluğu iyileştirilebilir. Bu artan tokluğa ulaşmak için, katılaşma hızının artırılmasıyla elementel segregasyon azaltılmalıdır. Literatürde yüksek kromlu soğuk iş takım çeliklerinin hızlı katılaşmasına ilişkin bazı çalışmalar vardır [5-7]. Hızlı katılaşma, katılaşma sırasında segregasyonu büyük ölçüde azaltarak ultra ince bir mikro yapı sağlar [8,9]. Böyle bir olgu, bu çeliklerin dökümü sırasında katılaşma hızının mikroyapı üzerindeki etkisini incelemeyi önemli kılar. Bu çalışmanın amacı, yeni bir soğuk iş takım çeliği türü olan AISI DC 53'ün [10] farklı katılaşma hızlarının mikroyapıda ki birincil karbür büyüklüğü üzerindeki etkisini analiz etmektir. Bu amaçla, AISI DC 53 takım çeliği alaşımları eritildi ve kum ve bakır kama şeklindeki kalıplara döküldü.

2.DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deney alaşımı olarak kullanılan takım çeliğinin kimyasal kompozisyonu Çizelge 1'de verilmiştir. Takım çeliği eriyiği bir indüksiyon ocağı kullanılarak hazırlanmıştır. Daha sonra eriyik, 1550 °C'de bakır kama şeklindeki bir kalıba döküldü. Kalıp boşluğunu tamamen doldurmak ve dökme sırasında erken katılaşmayı önlemek için, bakır kama şeklindeki kalıp 200 °C'ye kadar ısıtıldı. Karşılaştırma için, eriyik, aynı koşullar altında kama şeklindeki boşluğa sahip bir kum kalıba döküldü. Kama numuneleri, Şekil 1'de gösterildiği gibi üst, orta ve uç bölgeler için üç enine kesit numunesi elde etmek üzere kesildi. Mikroyapısal incelemeler, ikincil dendrit kol aralığı ve karbürleri incelemek için taramalı elektron mikroskopisi (SEM) kullanıldı. Karbür boyutunu ölçmek için takım çeliği % 37 saflıkta HCl asit içerisinde liç edilerek karbür çıkarma işlemi gerçekleştirildi. Karbür büyüklüğü SEM analiz teknikleriyle de ölçüldü.



Şekil 1. Döküm örneğinin şematik diyagramı

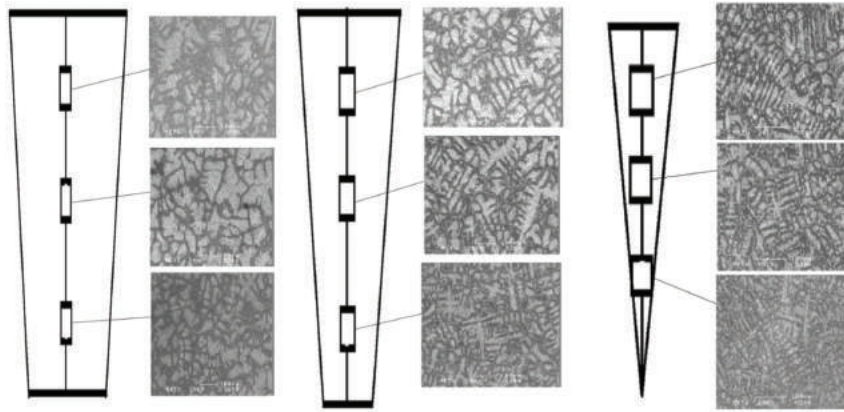
| C | Cr | Mn | Si | Mo | V | Fe |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| 0.9 | 7.8 | 0.5 | 0.9 | 2.5 | 0.5 | Bal. |

Çizelge 1. Deneylerde kullanılan çeliğin kimyasal kompozisyonu (kütle%)

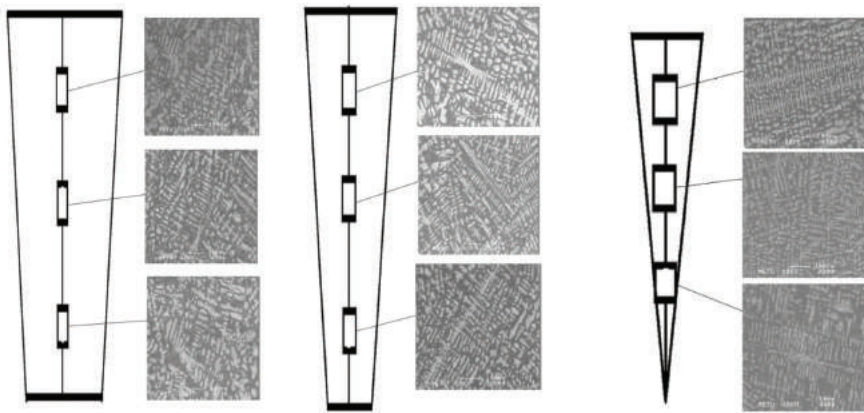
3.BULGULAR

3.1.İkincil Dendrit Kol Aralığı ve Katılaşma Hızı

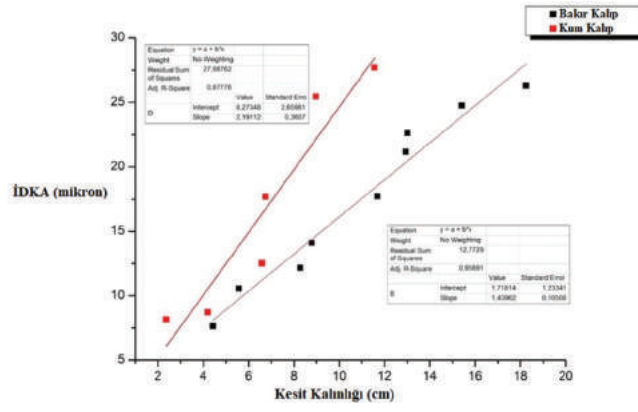
Kum ve bakır kama kalıplarında katılaştırılmış takım çeliğinin SEM mikro yapıları, sırasıyla Şekil 2 ve 3'de verilmiştir. Dendritik açık gri faz martensittir ve karanlık bölgeler kalıntı östenittir. Takım çeliğinin ikincil dendrit kolu aralığı, SEM görüntüleri kullanılarak ölçülmüştür. En büyük ikincil dendrit kol aralığı, kum döküm kama numunesinin (32.94 μm) orta bölümünün (üst bölüme yakın) ve en küçük ikincil dendrit kol aralığı bakır dökümün uç bölümünde bulunmuştur (7.64 μm). Kum döküm kama numunesinin üst bölümünde, eş eksenli dendritik mikroyapıda görülebilir. Kum ve bakır kama numunelerinin ikincil dendrit kolu aralığı (İDKA), Şekil 4'de gösterildiği gibi, kesit kalınlığına göre yaklaşık olarak doğrusal bir ilişki göstermiştir. İDKA'nın kesit kalınlığı eğrisine göre, bakır kalıp kama numunesinin eğimi için (1.44×10^{-4}), kum kalıp kama numunesinin (2.19×10^{-4}) eğiminden daha düşüktür.



Şekil 2. Kuma dökülmüş kama numunesinin üç farklı bölümünden alınan dendritik mikro yapılar (a-üst, b- orta ve c- uç kısım)



Şekil 3. Bakıra dökülmüş kama numunesinin üç farklı bölümünden alınan dendritik mikro yapılar (a-üst, b- orta ve c- uç kısım)



Şekil 4. İDKA ve kesit kalınlıkları arasındaki ilişki

İDKA-kesit kalınlığı ilişkisi aşağıdaki gibi belirlenmiştir: a- Kum kalıp dökümü İDKA = 8.27 + 2.19 KK b- Bakır kalıp dökümü İDKA = 1.72 + 1.44 KK burada KK = kesit kalınlığı.

Eğimler arasındaki farkın asıl nedeni, kumun bakıra göre düşük ısı iletkenliğidir. Kum kalıba dökülen kama şekilli takım çelik numunesinin İDKA'nın, saf bakırdan daha düşük ısı iletkenliği nedeniyle, aynı kalınlıkta bakır kalıba dökülen kama şekilli numunenin İDKA'ndan daha büyük olduğu bulunmuştur.

Ek olarak, kumda ve bakır kalıplarda katılmış kama örneklerinin farklı bölümlerinin soğuma hızları, Ref. [11] soğuma hızı (SH) ve çelik karbon içeriğinde (W [C]) bağıntısından :

$$\text{İDKA} = 143.9 \cdot \text{SH} - 0.3616 \cdot W [C] \quad (0.5501-1,996W [C]) \quad W [C] > 0.15$$

Kum ve bakır kama numunelerinin soğuma hızları, Şekil 5'de gösterildiği gibi, kesit kalınlığına göre yaklaşık ikinci dereceden üssel bir ilişki göstermiştir. Soğuma hızı - kesit kalınlığı ilişkisi aşağıdaki gibi belirlenmiştir:

a- Kum kalıp dökümü

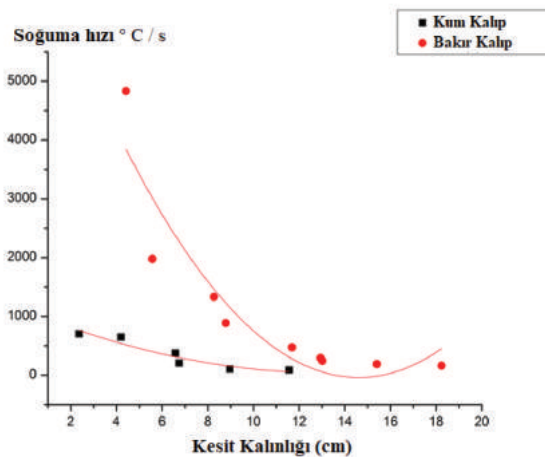
$$\text{SH} = 1107.96 - 161.10 \text{ KK} + 6.06 \text{ KK}^2$$

b- Bakır kalıp dökümü

$$\text{SH} = 7940.12 - 1092.59 \text{ KK} + 37.39 \text{ KK}^2$$

SH,soğumadır.

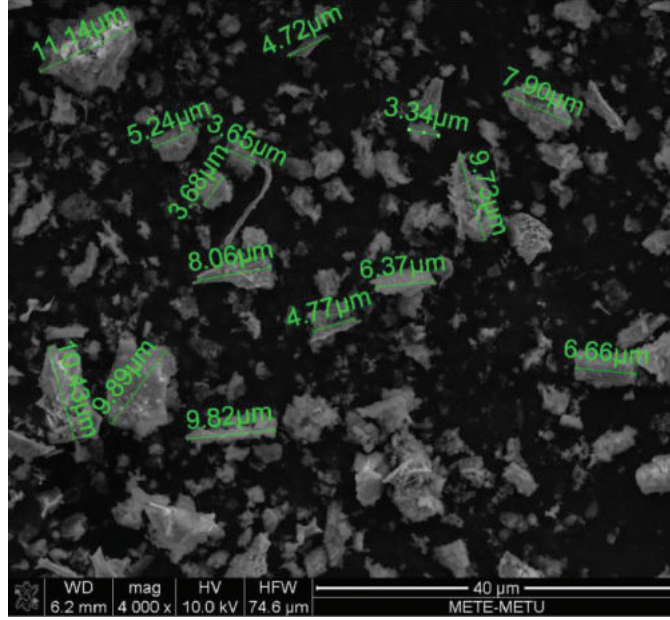
En düşük soğuma hızı, kum döküm kama numunesinin (yaklaşık 85 ° C / s) orta bölümünde (üst bölüme yakın) bulundu ve en yüksek soğuma hızı bakır dökümünün uç bölgesinde bulundu (yaklaşık 4380 ° C / s).



Şekil 5. Soğuma hızındaki değişiklik, kum ve bakır kalıplarda katıştırılmış döküm çeliğinin kesit kalınlığına göre

3.2.Karbür Boyutu

Karbür boyutu, bakır ve kum kama çelik numunelerinin her bir bölgesinin% 37 HCl asidi yardımıyla çıkarılan karbürlerin SEM görüntüleri ile belirlendi. Bakır kama çelik numunesi için uç bölgesinde ve orta bölgedeki karbür boyutu sırasıyla sırasıyla 7.13 μm ve 44.02 μm 'dir ve üst bölgede 97.72 μm 'ye yükselir. Kum kama çelik numunesi için uç ve orta bölgelerdeki karbür büyüklüğü sırasıyla yaklaşık 32,16 μm ve 102,43 μm 'dir ve üst bölgede 262,70 μm 'ye yükselir. Şekil 6, HCl asit süzme işleminden sonra bakır kalıp numunesinin uç kısmından çıkarılmış karbürlerin SEM görüntüsünü göstermektedir.



Şekil 6. Bakır kalıba dökülmüş çelik numunenin uç kısmından çıkan karbürler. Uç bölgesinin ortalama karbür boyutu 7-8 μm 'dir.

Yüksek katılma hızlarında, karbürlerin çekirdeklenmesi artar ve birincil karbürler rafine edilir. Çizelge 2'de gösterildiği gibi, kama şeklindeki döküm numunelerin belirli bir bölümün katılma hızının artmasıyla aynı bölgedeki karbür boyutunun azaldığı görülebilir.

| Bakır Kama Kalıbı | |
|------------------------|------------------------|
| Kesit Kalınlığı | Ortalama Karbür Boyutu |
| 4.42 – 8.27 mm (uç) | 7.13 μm |
| 8.79 – 13.02 mm (orta) | 44.02 μm |
| 13.54 – 18.24 mm (üst) | 97.72 μm |
| Kum Kama Kalıbı | |
| Kesit Kalınlığı | Ortalama Karbür Boyutu |
| 2.37 – 6.58 mm (uç) | 32.16 μm |
| 6.75 – 11.56 mm (orta) | 102.43 μm |
| 11.73 – 16.07 mm (üst) | 262.70 μm |

Çizelge 2. Karbür çıkarma işleminden sonra hem kum hem de bakır kalıp dökümü ile üretilen kama örneklerinde kesit kalınlığına karşı karbür boyut dağılımı

4.SONUÇ

AISI DC 53 soğuk iş takım çeliği farklı katılma hızları elde etmek için bakır ve kum kama kalıpları kullanılmıştır. Bu katılma hızları altında ikincil dendrit kol aralığı ve karbürlerin boyut dağılımı SEM ile çalışılmıştır.

Aşağıdaki sonuçlara varılmıştır:

- (1) Kum ve bakır kama çelik numunelerin ikincil dendrit kolu aralığı, kesit kalınlığı ile yaklaşık olarak doğrusal bir ilişki göstermiştir.
- (2) Kum ve bakır kama numunelerinin soğuma hızları, kesit kalınlığı ile yaklaşık ikinci dereceden üssel bir ilişki göstermiştir.
- (3) Yüksek katılma hızları, birincil karbürlerin fazla miktarda çekirdeklenmesine neden olur. Ayrıca bu hızlarda mevcut katı fazlar büyümek için yeterli zamana sahip değildirler. Birincil karbür ebadı, artan katılma hızı ile azalır

5.KAYNAKÇA

- [1] C. Berger, H. Scheerer, and J. Ellermeier, Modern materials for forming and cutting tools - Overview. *Materials Science and Materials Engineering*, 41(1), 2010, 5-17.
- [2] G.A. Roberts., G. Krauss, R. Kennedy, *Tool Steels*, 5th edition, American Society for Metals, Metals Park, Ohio, 1998.
- [3] K. Fukaura, Y. Yokoyama, D. Yokoi, N. Tsujii, and K. Ono, Fatigue of cold-work tool steels: Effect of heat treatment and carbide morphology on fatigue crack formation, life, and fracture surface observations, *Metall. Mater. Trans. a-Physical Metall. Mater. Sci.*, vol. 35A, no. 4, 2004, 1289-1300
- [4] J. Blaha, , C. Kremaszky, E.A. Werner, Carbide distribution effects in cold work tool steels. *Proc. of 6th International Tooling Conference*, Karlstad University, Sweden (September 2002), 289-298
- [5] P. Grgac, R. Moravcik, M. Kusy, I. Toth, M. Miglierini, and E. Illekova,. Thermal stability of metastable austenite in rapidly solidified chromium-molybdenum-vanadium tool steel powder. *Materials Science and Engineering A*, 375-377(1-2 SPEC. ISS.), 2004,581-584.
- [6] P. Delshad Khatibi, A. Ilbagi, and H. Henein, Microstructural Investigation of D2 Tool Steel during Rapid Solidification using Impulse Atomization, in *The Minerals, Metals & Materials Society (TMS)*, 2011, pp. 531-538.
- [7] J. G. Zhang, H. S. Shi, and D. S. Sun, Research in spray forming technology and its applications in metallurgy, in *Journal of Materials Processing Technology*, , vol. 138, no. 1-3, 2003, 357-360.
- [8] J. G. Zhang, H. Bin Xu, H. S. Shi, J. S. Wu, and D. S. Sun, Microstructure and properties of spray formed Cr12MoV steel for rolls, *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 111, no. 1-3, 2001, 79-84.
- [9] Y. Lin, K. M. McHugh, Y. Zhou, and E. J. Lavernia, Microstructure and hardness of spray-formed chromium-containing steel tooling, *Scr. Mater.*, vol. 55, no. 7, 2006, 581-584
- [10] S. Li, Y. Xie, and X. Wu, Hardness and toughness investigations of deep cryogenic treated cold work die steel, *Cryogenics.*, vol. 50, no. 2, 2010, 89-92
- [11] W. GUO and M. yong ZHU, Characteristic Parameters for Dendritic Microstructure of Solidification During Slab Continuous Casting, *J. Iron Steel Res. Int.*, vol. 16, no. 1, 2009, 17-21

YENİ NESİL İLERİ YÜKSEK MUKAVEMETLİ ÇELİKLERDE BOR İLAVESİ VE ETKİSİ

Sevcan ARSLAN*, Talha ÇAKMAK*, Dilek DEMİR*,
Çetin BAĞLAN**, Ali Arslan KAYA*

*MSKU, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Muğla, Türkiye

**MATİL A.Ş. İstanbul, Türkiye

ÖZET

Bu çalışma son yıllarda otomotiv ve çelik sektöründe dikkat çeken ileri yüksek mukavemetli çeliklerdeki (AHSS) bor etkisini kapsamaktadır. Hazırlanan Fe-16Mn-3Al-0.3C yüksek manganlı çelik kompozisyonuna üç farklı bor ilavesi (yaklaşık 30, 60, 100 ppm) yapılmıştır. Ayrıca farklı mukavemet/deformasyon kapasitesi kombinasyonları verebilecek 'interkritik' (ferrit+ostenit bölgesi) tavlama işlemleri yapılmıştır. Bor ilavesinin ostenit fazının stabilitesi üzerindeki etkisi ve bu etki üzerinden yaratacağı mekanik özellikler ve mikro yapısal değişiklikler incelenmiştir. Yapılan HB-HV sertlik ölçümleri değerleri kullanılarak mukavemet değerleri hesaplanmış ve döküm yapısında 1000-1200 MPa değerleri bulunmuştur. Karakterizasyon yöntemleri olarak ışık ve elektron mikroskopisi SEM, EDS analizleri, sertlik değerleri ve XRD yöntemleri kullanılmıştır. Bor ilavesinin, ϵ -martenzit oluşumunda etkisi olduğu ve oda sıcaklığında %10'luk bir deformasyonla ϵ -martenzit plakalarının α -martenzite dönüştüğü gözlemlenmiştir. Bor, genel olarak ostenit adalarının toplam yüzdesini boyut ve dağılımını etkilemiş ve stabilitesini arttırmıştır. Farklı faz dönüşümlerinin doğmasına katkıda bulunarak, toplam deformasyon kapasitesinin de aynı zamanda arttırmasını sağlamıştır.

ABSTRACT

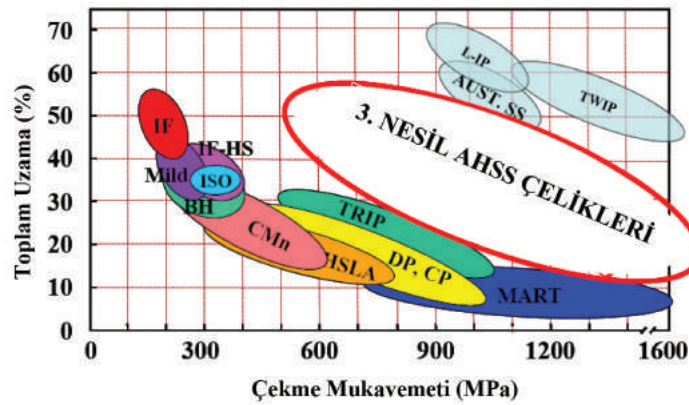
This work focusses on the effects of boron addition to a high manganese advanced high strength steel (AHSS). A steel with a nominal composition of Fe-16Mn-3Al-0.3C with 30, 60 and 100 ppm boron additions were prepared via melting. Intercritical annealing treatments were employed towards tailoring the properties. The critical question of this study was the changes incurred by addition of boron on the stability of austenite and the accompanying changes in microstructure and mechanical properties. Empirically calculated strength levels were around 1000-1200 MPa. HB and HV hardness measurements, light microscopy, XRD, SEM and EDS examinations were undertaken. It was observed that ϵ -martensite and its transformation to α -martensite became possible. Our qualitative observations also revealed that the deformation capacity improved due to this transformation during room temperature forging

Keywords: AHSS, SFE, Partitioning, Retained Austenite, Crashworthiness

1. GİRİŞ

Gelişen teknolojiyle beraber otomotiv sektörünün istekleri de değişmekte ve malzemelerden daha yüksek özellikler ve performans beklenmektedir. Yeni jenerasyon ileri yüksek mukavemetli çelikleri, (AHSS) özellikle otomotiv sektörünün ağırlık tasarrufu amacı ile günümüzde çok ilgi gösterdiği metalik malzeme grubudur. 1970'li yıllarda çift fazlı çelikler (dual-phase steels) ile otomotiv ve çelik sektöründe yer almaya başlamıştır[1],[2]. Halen 4ncü nesil tabir edilen grup da dahil olmak üzere çok sayıda araştırmaya konu olan bu çeliklerin pek çok türü mevcuttur.

Geleneksel çeliklerden en büyük farkı ise bu çeliklerin mikroyapısıdır[3]. Bu ayrım Şekil 1'de çekme mukavemeti-deformasyon kapasitesi diyagramında gösterilmiştir. Bu mikroyapısal çeşitlilik ile, yüksek deformasyon kabiliyeti ve yüksek mukavemetin (2000-3000 MPa seviyeleri gündemdedir) bir arada sağlanması mümkün olabilmektedir. Nihai mikroyapıyı belirleyen parametreler ise bu çeliğe uygulanan termomekanik işlemler ve kimyasal kompozisyonudur[4]. Mikroyapıda bulunan her fazın miktarı, boyut ve dağılımları, fazların stabilitesi bu parametrelerle kontrol edilebilmektedir[5]. Ayrıca farklı kimyasal kompozisyonlar oluşturularak düşük yoğunluklar elde edilmektedir. Bu yoğunluk değerleri 6.8-6.5 g/cm³'lere kadar düşebilmektedir[6]. İleri yüksek mukavemetli çeliklerin (AHSS) ağırlık tasarrufu potansiyelleri sayesinde yakıt verimliliği ve araç güvenliği de bu çeliklerin otomotiv ve çelik endüstrisinde öne çıkmasını sağlayan en önemli özellikleridir[7].

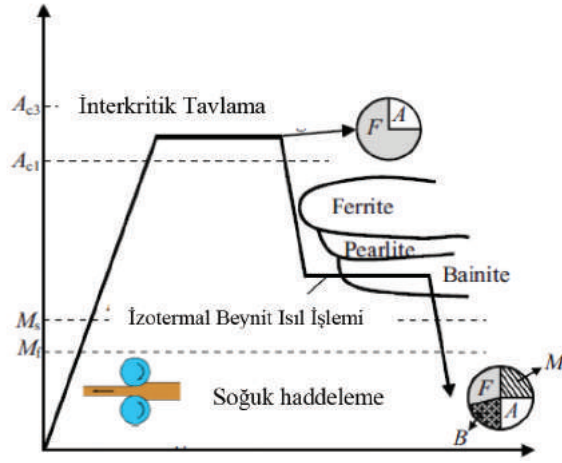


Şekil 1. Geleneksel çelikler ile AHSS çeliklerini toplam uzama ve çekme mukavemeti yönünden karşılaştıran muz grafiği[6].

İlk olarak birinci nesil olarak tabir edilen ferritik bazlı çelikler ortaya çıkmıştır. Bunlar; çift fazlı çelikler (DP steels), martenzitik çelikler (MART steels), bileşik fazlı çelikler (CP steels) TRIP(transformation induced plasticity) çelikleridir[6]. Ortaya çıkan her yeni nesilde olduğu gibi birinci nesil AHSS'de bulunan çok fazlı mikroyapı ile mukavemet değerleri 1000 MPa'a kadar çıkabiliyorken, toplam deformasyon kapasitesi de % 10-30 arasında değişmektedir[8],[9]. Bu mukavemet ve toplam deformasyon kapasitesi kombinasyonunu geliştirebilmek için birçok yeni nesil AHSS çelikleri halen günümüzde ortaya çıkmaktadır. Araştırmacılar ve otomobil üreticileri bir önceki nesilde ortaya çıkan çeliklerin mekanik özelliklerini daha düşük maliyetler ile geliştirebilmek için birçok termomekanik işlem rotası deneyerek ve farklı kimyasal kompozisyonlar oluşturularak ideal mukavemet/deformasyon kapasitesi kombinasyonuna ulaşabilmek için çalışmaktadır.

TWIP(twinned induced plasticity), L-IP(light induced plasticity) and S-IP(shear band formation induced plasticity) çelikleri, ikinci nesil AHSS çeliklerinde yer alan, birinci nesil AHSS çeliklerinin süneklik ve şekillendirebilirlik özelliklerini geliştirebilmek için ortaya çıkmıştır[10]. Ostenitik bazlı bu çeliklerin toplam uzama değerleri % 50'e kadar çıkabilmektedir[11].

Üçüncü ve dördüncü nesil AHSS olarak tabir edilen quenching& partitioning (Q&P) çeliklerin temelinde yer alan ve tüm AHSS çeliklerini de kapsayan en önemli kavram ise, mikroyapıda kalıntı ostenitin elde edilmesi ve bu ostenitik bölgelerin bileşimlerinin farklı ısıl ve/veya termomekanik işlemlerle kontrol edilerek istif hatası enerjilerinin (SFE-stacking fault energy) ayarlanmasıdır[5]. Ostenit adaları, karbon ve ostenit yapıcı elementler açısından, kendilerine has bileşimleri nedeniyle birbirlerinden farklı dönüşüm ve mekanik davranış karakteristikleri sergilerler. Böylelikle kalıntı ostenit bölgelerinin gerek imalat sırasındaki gerekse otomobil kazası esnasındaki deformasyon kabiliyetinin, deformasyon sertleşmesinin ve malzemenin genel mukavemetinin yüksek olması hedeflenmektedir. Ostenitik bölgelerin SFE değerlerine bağlı olarak, mekanik ikizlenme göstermeleri, ϵ -martenzit veya α' -martenzite dönüşmeleri veya tamamen stabil kalması sağlanabilmektedir[4]. Sonuç itibarıyla nihai mekanik özellikleri, deformasyon sırasında farklı davranış çeşitlilikleri gösteren ostenitik bölgelerin toplam miktarı, dağılımı ve tane boyutlarına bağlı olmaktadır[12],[13]. Örnek bir proses akışı oda sıcaklığında yapılan bir deformasyon ve akabinde uygulanan bir ısıl işlem prosedürü için Şekil 2'de şematik olarak gösterilmiştir. Bu örnekteki prosedür literatürde mevcut gerçekten pek çok sayıdaki termal veya termomekanik prosedürden sadece bir tanesidir.



Şekil 2. Bir AHSS örneğinde oda sıcaklığı deformasyonu ve ardından uygulanacak kritik sıcaklıklar arası tavlama müteakiben TTT'de farklı soğutma prosedürleri ile elde edilebilecek mikroyapısal çeşitliliği gösteren diyagram[14].

1.1. Elementel Paylaşım

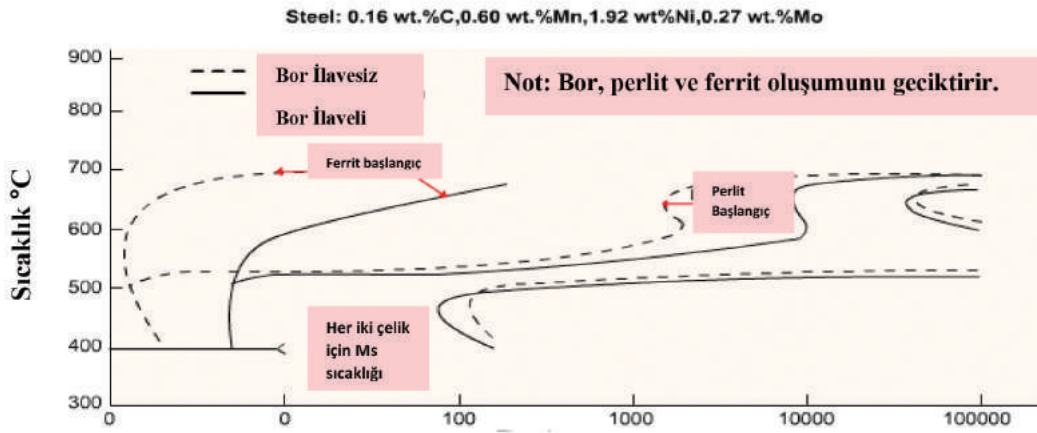
Temel kavram, çok fazlı mikroyapıdaki ostenitik fazda, termal veya mekanik işlemlerle martenzite veya beynite dönüşerek veya ikizlenme (Twinning) göstererek karşılık verecek kritik stabilite seviyeleri yakalamaktır. Ostenitin stabilite seviyesini belirleyecek olan anahtar temel mekanizma, ferrit ve ostenit arasındaki alaşım elementi paylaşımı kavramıdır. Bunun bir sonucu olarak ortaya çıkan faz oranları ise bu çeliklerde mukavemet, deformasyon kapasitesi ve çok önemli bir kavram olarak deformasyon sertleşmesi davranışını belirler. Esasen daha köktenci bir açıklamaya gidilirse, ostenitin stabilitesi istif hatası enerjisine (SFE- Stacking Fault Energy) bağlıdır[15]. Literatürde ostenit adalarının SFE seviyesi 12-35 mJ/m² olduğunda mekanik ikizlenme gösterdikleri, 18mJ/m² değerinin altında ise martenzite dönüşüm gerçekleştiği ve diğer bir deyişle SFE 12-18 mJ/m² arasında olduğunda her iki olayın da gerçekleşeceği belirtilmektedir[15],[16],[17]. Bu durumda yapılabilecek çok önemli bir çıkarım söz konusudur. Demek ki herhangi bir termal veya termomekanik işlem sonrası ikizlenme veya deformasyonla martenzite dönüşme gözleniyor ise bu dönüşümleri gösteren ve göstermeyen ostenit adalarının sayısı ile oynanabiliyor ise mukavemet ve deformasyon kapasiteleri ayarlanabilecektir. Çünkü mekanik özellikler mikroyapıdaki ostenit adalarının davranışına bağlıdır. Yeni nesil çeliklerdeki yaklaşım da işte bunun üzerine kuruludur.

Anlaşılabildiği üzere, çalışılacak olan çeliklerde yaratılacak olan ostenit adalarının toplam yüzdesi, boyutları ve dağılımı çok kritik bir husustur. Buna ilaveten, bu çelikler esasen ostenit adalarının kompozisyonlarının özdeş olmayacağı prensibine dayanır. Yani ostenit adaları, gerek karbon ve gerekse ostenit yapıcı elementler açısından, kendilerine has bileşimleri nedeniyle birbirlerinden farklı dönüşüm ve deformasyon karakteristikleri sergilerler. Bu ostenitler, maruz kalacakları sıcaklıklar ve akabindeki soğuma hızlarına bağlı olarak ve gerilmelere (örneğin bir darbe esnasında) bağlı olarak, boyut ve bileşimlerinin de bir fonksiyonu olmak kaydı ile, perlitik dönüşümden beyritik dönüşüme veya mekanik ikizlenmeden, martenzit oluşumuna kadar çok geniş bir yelpazede cevap verirler. Sonuçta ortaya çıkan mikroyapısal durum ise çok geniş bir aralıkta değiştirilebilen mukavemet ve deformasyon kapasitesi anlamına gelmektedir. Yapılan bu çalışma ise yüksek manganlı ileri yüksek mukavemetli çeliklerde borun etkisi incelemek amaçlanmıştır.

1.2. Bor Etkisi

Borlu çelikler bilindiği üzere bir konvansiyonel çelik olup, birçok endüstriyel alanda kullanımı mevcuttur. Ancak AHSS grubu çeliklerde bor etkisi halen araştırma konusu bir alandır. Sadece ppm seviyesinde bor ilavesi birçok maliyeti yüksek alaşımlandırma elementinin yerini tutabilir. Bunun yanı sıra borun geleneksel çelikler üzerinde birçok olumlu etkisi vardır:

- Martenzit başlangıç sıcaklığını düşürmeden, ferrit ve perlit oluşumunu geciktirerek, sertleşebilirlik kabiliyeti artar. Borun zaman sıcaklık dönüşüm (TTT) diyagramına etkisi Şekil 3'te gösterilmiştir[18].
- Tane sınırlarında çökelti oluşturarak daha küçük taneli yapı elde edilmesini sağlar[18].
- Sıcak şekillendirebilirlik kabiliyetini artar[19].
- Kaynaklanabilirlik kabiliyetini artar[20].



Şekil 3. Borun TTT diyagramına etkisi[23].

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

- Ergitme işlemi, 50kg'lık 5M-50kW markalı indüksiyon ocağında gerçekleştirilmiştir. Yüksek manganlı ileri yüksek mukavemetli bir çelik hazırlandı ve 3 farklı bor ilavesi yapılarak (30, 60 ve 100 ppm) 200x100x20 mm boyutlarında kum kalıba döküm işlemi gerçekleştirildi. ARL-iSPARK 8860 Optik emisyon spektrometre (OES) cihazı kullanılarak kimyasal analizleri yapıldı. Döküm işlemleri Şekil 4'te kimyasal analiz sonuçları ise Tablo 1'de gösterilmiştir.

- Argon atmosferi altında 1100°C'de 17 saat MSE Furnace M_1500_25 kamara fırın içerisinde homojenizasyon işlemi yapıldı.
- Nikon H600L ışık mikroskobunda, görüntüleme için tüm numunelere standart metalografi işlemi yapıldı.

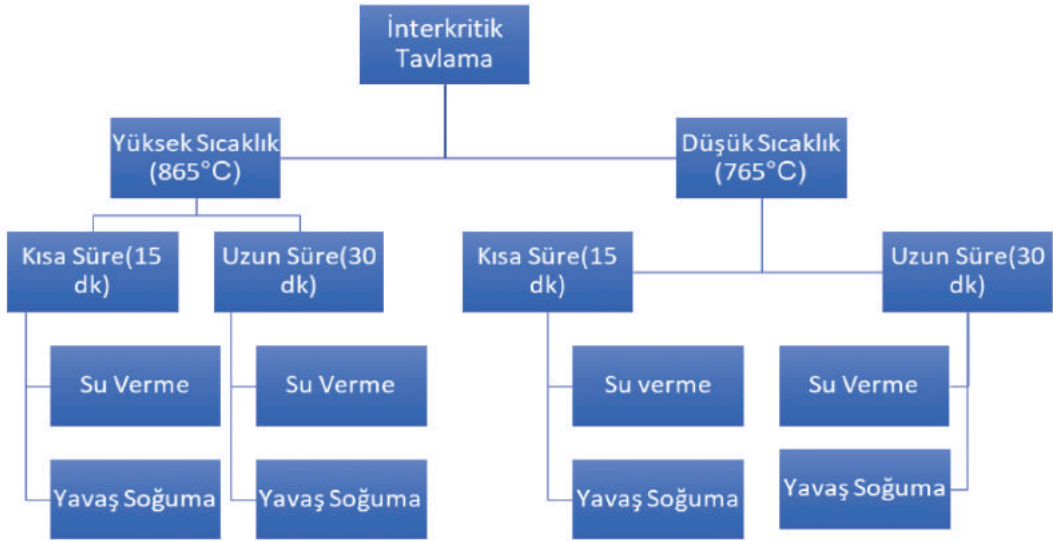
- Mikroyapısal farklılık elde edebilmek için tüm numunelere sekiz farklı interkritik kritik tavlama işlemi uygulandı. Uygulanan tavlama işlemleri Şekil 5'te gösterilmiştir.
- Deformasyon sırasındaki davranışını gözlemlmek için homojen yapıdaki numunelere oda sıcaklığında yaklaşık %10'luk bir deformasyon işlemi uygulandı.
- FEI-Nove/NanoSEM650 markalı, FESEM (Alan Emisyonlu Taramalı Elektron Mikroskopisi)-EDS kullanılarak elektron mikroskopisi ile görüntüleme ve homojemize olmuş farklı bor ilaveli numunelere elementel analiz yapıldı.
- Mikroyapıdaki fazları belirlemek için ise Empryean-Malvern Paanalytical marka XRD (X-Ray Diffraction) cihazı kullanıldı.



Şekil 4. Döküm işlemleri

| Elementler (%) | C | Mn | Si | S | P | Cu |
|----------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| 30 ppm Bor İlaveli Numune | 0,3167 | 14,0875 | 1,9556 | 0,0087 | 0,0163 | 0,1498 |
| 60 ppm Bor İlaveli Numune | 0,3808 | 13,0826 | 2,0783 | 0,0129 | 0,0161 | 0,1063 |
| 100 ppm Bor İlaveli Numune | 0,4481 | 16,4607 | 2,7079 | 0,0146 | 0,0165 | 0,097 |
| | B | N | Al | Ti | W | As |
| 30 ppm Bor İlaveli Numune | 0,00616 | 0,0107 | 6,6136 | 0,0028 | 0,0001 | 0,0093 |
| 60 ppm Bor İlaveli Numune | 0,00695 | 0,0183 | 5,2229 | 0,0045 | 0,0001 | 0,0077 |
| 100 ppm Bor İlaveli Numune | 0,0136 | 0,0403 | 3,9615 | 0,009 | 0,0001 | 0,0069 |
| | Bi | Ca | Mg | Te | Zn | Ce |
| 30 ppm Bor İlaveli Numune | 0,0009 | 0,0058 | 0,0001 | 0,0001 | 0,0018 | 0,0001 |
| 60 ppm Bor İlaveli Numune | 0,001 | 0,0057 | 0,0001 | 0,0001 | 0,002 | 0,0001 |
| 100 ppm Bor İlaveli Numune | 0,0002 | 0,0097 | 0,0001 | 0,0001 | 0,0024 | 0,0001 |
| | Ni | Mo | Cr | V | Co | O |
| 30 ppm Bor İlaveli Numune | 0,0683 | 0,072 | 0,0788 | 0,0137 | 0,0121 | 0,0001 |
| 60 ppm Bor İlaveli Numune | 0,0564 | 0,0638 | 0,0739 | 0,0148 | 0,0115 | 0,0005 |
| 100 ppm Bor İlaveli Numune | 0,0551 | 0,0614 | 0,0666 | 0,0117 | 0,0108 | 0,0507 |
| | Sn | Pb | Sb | Ta | Zr | Fe% |
| 30 ppm Bor İlaveli Numune | 0,0228 | 0,0001 | 0,0178 | 0,1276 | 0,0087 | 76,5918 |
| 60 ppm Bor İlaveli Numune | 0,0201 | 0,0001 | 0,0149 | 0,1283 | 0,0097 | 78,7965 |
| 100 ppm Bor İlaveli Numune | 0,0205 | 0,0001 | 0,0116 | 0,1437 | 0,0138 | 75,9251 |
| | La | Nb | | | | |
| 30 ppm Bor İlaveli Numune | 0,0012 | 0,008 | | | | |
| 60 ppm Bor İlaveli Numune | 0,0012 | 0,0079 | | | | |
| 100 ppm Bor İlaveli Numune | 0,0015 | 0,0081 | | | | |

Tablo 1. Farklı bor ilaveli numunelerin kimyasal analiz sonuçları.

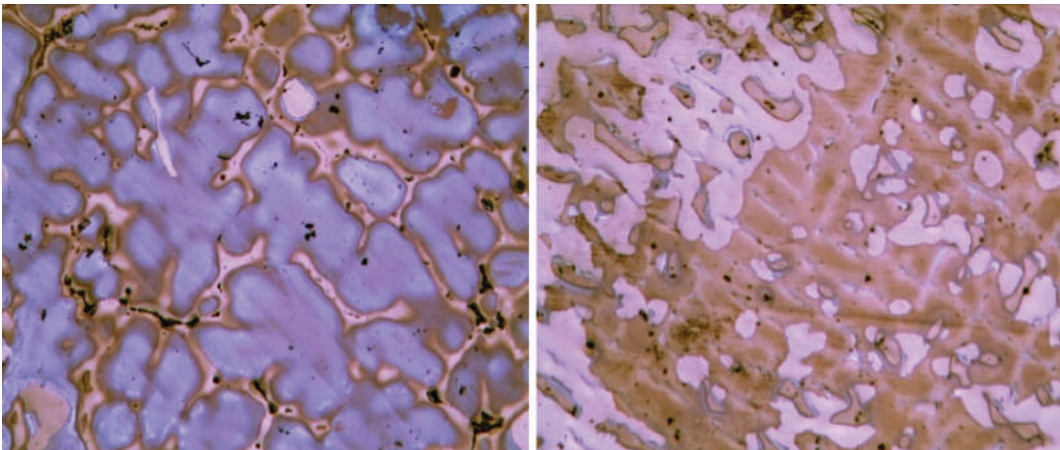


Şekil 5. İnterkritik tavlama işlem parametreleri. İki farklı sıcaklık, iki farklı bekleme süresi ve iki farklı soğuma hızları belirlenerek 8 farklı interkritik tavlama işlemi uygulandı.

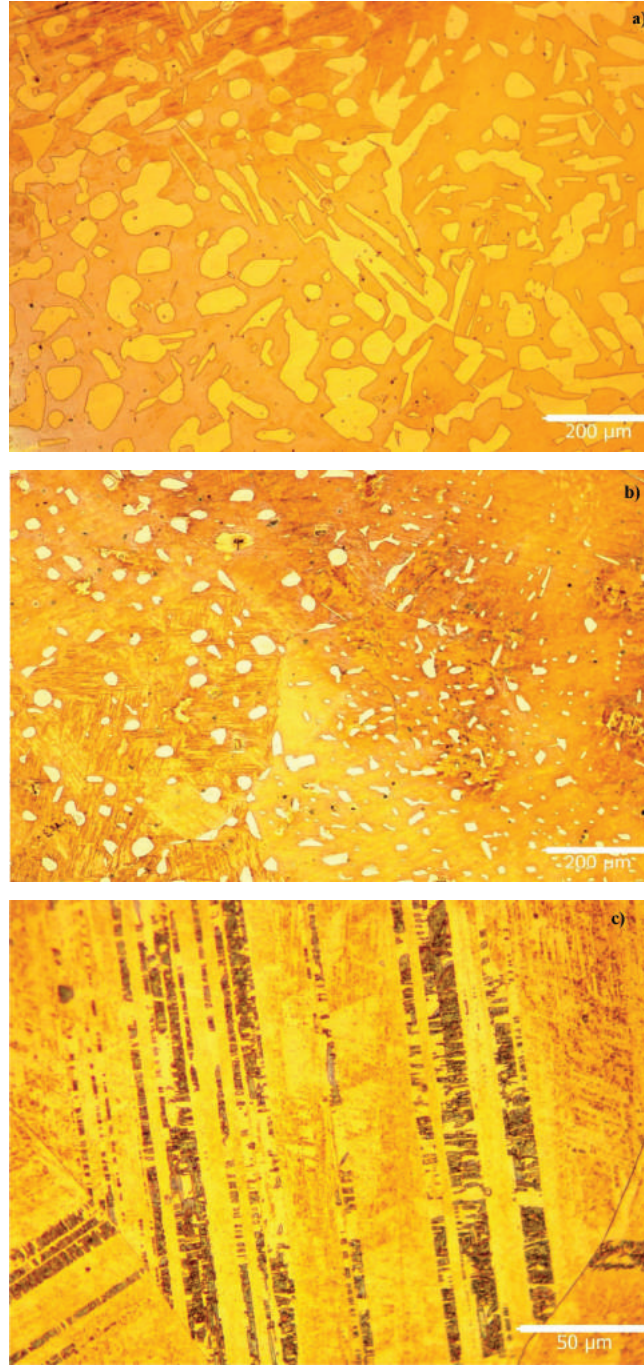
3. BULGULAR

3.1. Işık Mikroskopisi İncelemeleri

Yapılan homojenizasyon işlemleri sonrasında, her numunede oluşan mikro segregasyon giderilmiştir. Homojenize olmamış mikroyapı görüntüleri Şekil 6'da gösterilmiştir. Homojenizasyon sonrası her numune için birçok ışık mikroskobu görüntüsü alınmış ve farklı bor ilaveleri içeren numunelerde, mikroyapısal olarak birçok farklılık gözlemlenmiştir. Bu farklılıklar Şekil 7'de açıkça görülmektedir. Şekil 7'de görüldüğü gibi farklı bor ilaveleri oluşan fazları ve bu fazların morfolojisini büyük ölçüde etkilemiştir. Şekil 7(a), 30 ppm bor ilaveli numuneyi temsil etmektedir. Mikroyapı üç farklı fazdan oluşmuş ve mikroyapının δ -ferrit adaları, ostenit matris ve martenzit fazlarından oluştuğu öngörülmüştür. δ -ferrit kaba taneli bir yapıda ve homojen olarak mikroyapıda dağılmıştır. Şekil 7(b) ise 60 ppm bor ilaveli numuneyi temsil etmektedir. Bu mikroyapıda bor ilavesiyle δ -ferrit adalarının miktarlarının azaldığı ve tane boyutunun küçüldüğü açıkça gözlemlenmektedir. 100 ppm bor ilaveli numunede ise, farklı bir faz ortaya çıkmış olup, δ -ferrit adalarının tamamen mikroyapıda kaybolduğu Şekil 7(c)'de görülmektedir. Bunlara ek olarak, ikizlenmiş ostenit taneleri her numunede mevcut olup, oluşturulan kimyasal kompozisyonla ve farklı bor ilaveleriyle çok fazlı mikroyapı elde edilmiştir. Ostenit stabitesi bor ilavesiyle artmış, matrisimizin ostenit olması oluşturulan özgün kimyasal kompozisyonlarla sağlanmıştır.



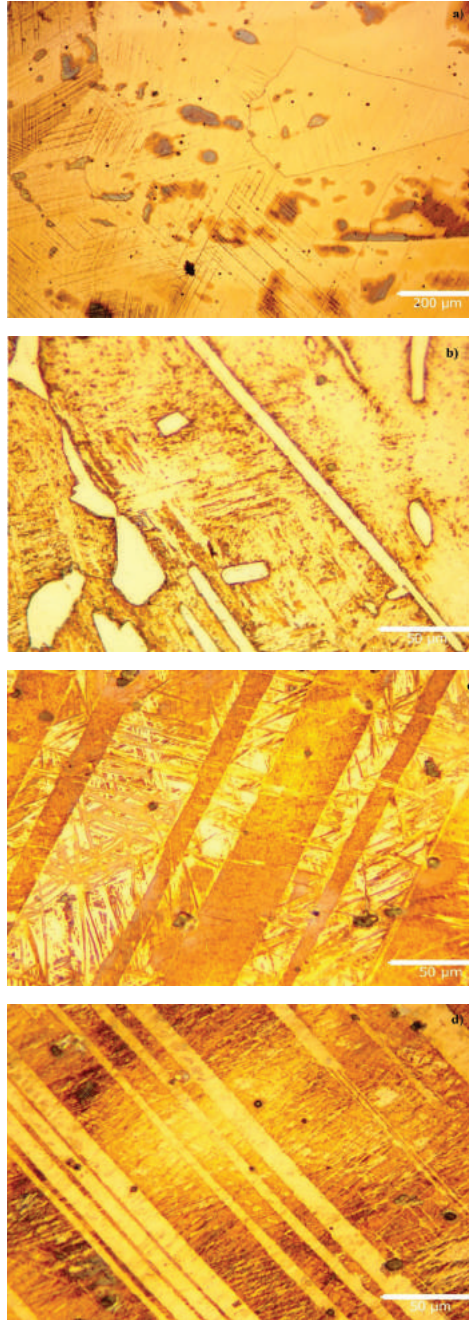
Şekil 6. Homojenizasyon öncesi ışık mikroskobu görüntüleri.



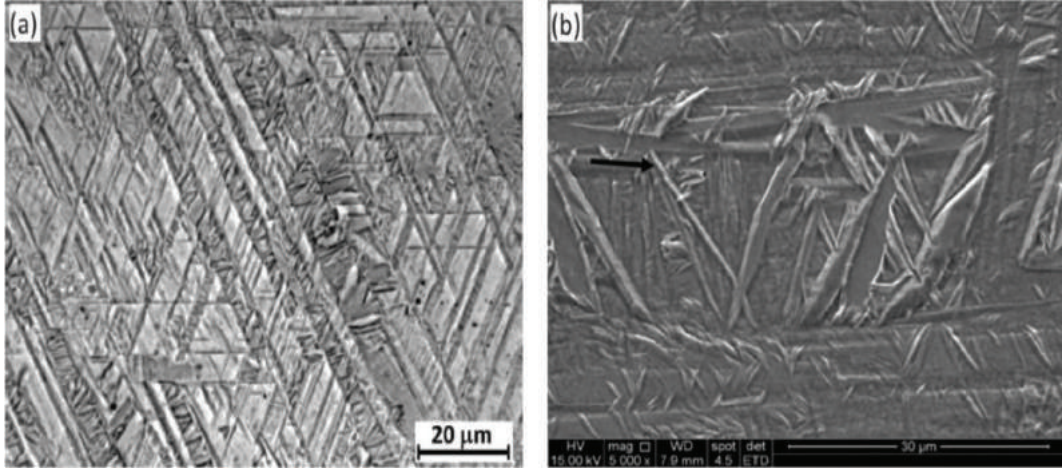
Şekil 7. Homojenizasyon sonrası ışık mikroskobisi görüntüleri. (a) 30 ppm bor ilavesi at 10x (b) 60 ppm bor ilavesi at 10x (c) 100 ppm bor ilavesi at 50x.

Homojenizasyon işlemi yapılmış numunelere, oda sıcaklığında yaklaşık %10'luk bir deformasyon işlemi uygulanmıştır. Böylece her numunenin bir deformasyon altında göstereceği davranış gözlemlenmiştir. Yapılan deformasyon işlemi sonrasında birçok ışık mikroskobu görüntüleri alınmıştır. Şekil 8 farklı bor ilaveleri içeren ve deforme olmuş numuneleri temsil etmektedir. Farklı bor ilaveleri içeren her numune, aynı miktardaki deformasyona farklı tepkiler göstermiştir. Bu sayede, her ostenit adasının kimyasal kompozisyonuna yani istif hatası enerjisine bağlı olarak, deformasyon altında farklı davranışlar gösterdiği bir kez daha kanıtlanmıştır. Şekil 9 literatürden alınan ϵ -martenzit fazının SEM ve ışık mikroskobu görüntülerini temsil etmektedir. Şekil 8(a)'da görüldüğü gibi 30 ppm bor ilavesi içeren numunede deformasyon ile ostenit adalarının bazıları ikizlenme gösterirken, farklı kimyasal kompozisyona sahip olan ostenit adaları ise, ϵ -martenzit fazına dönüşmüştür. 60 ppm bor ilavesi içeren numunede ise, martenzit fazı miktarı artmıştır. Yani bazı ostenit adalarımız martenzit fazına dönüştüğü Şekil 8(b)'de görülmektedir. Şekil 8(c),

100 ppm bor ilaveli numuneyi temsil etmektedir. Bu numunede deformasyon ile ϵ -martenzit plakalarının, ikizlenmiş α' -martenzite dönüştüğü gözlemlenmiştir. ϵ -martenzit, hekzagonal sıkı paket(HCP) kristal yapısına sahip olup istif hatası enerjisinin(SFE) 13 kJ/m²'den daha düşük olduğu zaman görüldüğü literatürde mevcuttur[21]. ϵ -martenzit plakaları, α' -martenzit için bir çekirdeklenme yeri olarak rol aldığı, α' -martenzitin plaka sınırlarında oluşup, plaka içine doğru büyüdüğü hem SEM görüntülemelerinde hem de Şekil 8(c)'de açıkça gözlemlenmektedir. Bu faz dönüşümleri veya ikizlenmeler ostenit adalarının özgün kimyasal kompozisyonlarına bağlı olmaktadır. Bu dönüşümler, bir çarpışma anında, oluşan kinetik enerjiyi faz dönüşümleri veya ikizlenmeler için kullanarak, araç güvenliğine katkıda bulunmaktadır. Ayrıca bazı ostenit adaları bir deformasyon anında stabil kalarak, toplam deformasyon kapasitesine de katkıda bulunmaktadır.

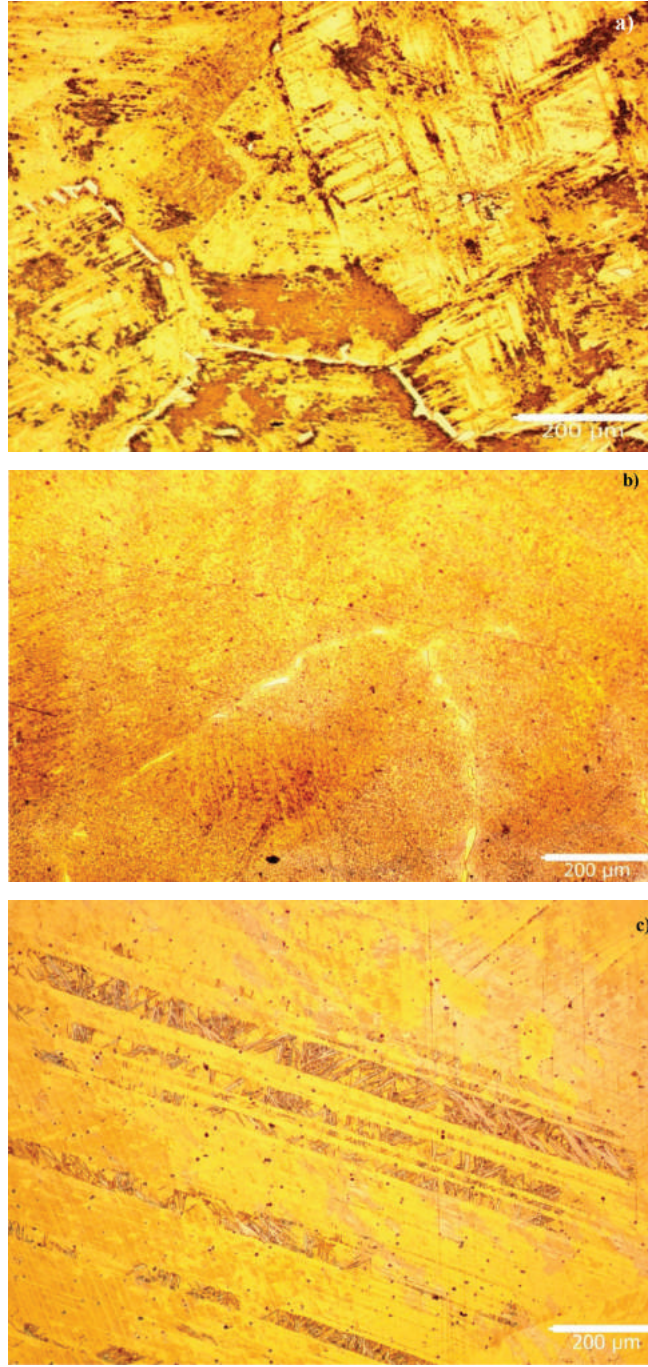


Şekil 8. Oda sıcaklığında %10 deformasyon görmüş numunelerin ışık mikroskopisi görüntüleri. a) 30 ppm bor ilavesi at 10x (b) 60 ppm bor ilavesi at 50x (c)100 ppm bor ilavesi at 50x (d) 100 ppm bor ilavesi at 50x.



Şekil 9. Literatürden alınan ϵ -martenzit görüntüleri.
a) Işık mikroskopisi görüntüsü. b) SEM görüntüsü[21].

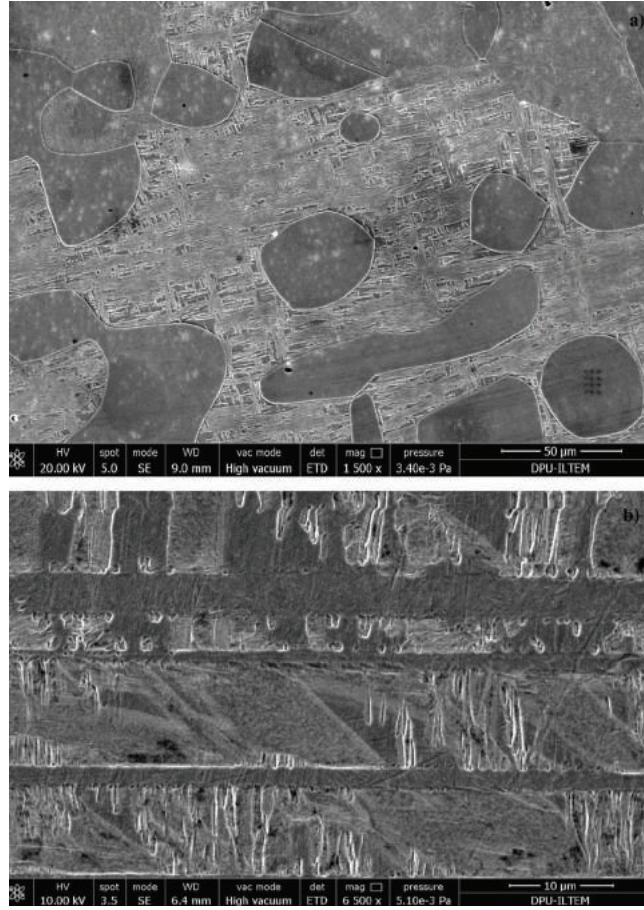
Ayrıca, mikroyapıda bulunan ostenit fazının stabilitesi arttırmak, mikroyapıdaki boyut ve dağılımlarını kontrol edebilmek için sekiz farklı interkritik tavlama işlemi yapılmıştır. Burada interkritik bölgede, ostenit fazının, ferrit fazı tarafından zenginleştirilmesi (partitioning concept) amaçlanmıştır. Uyguladığımız interkritik tavlama işlemiyle, iki farklı sıcaklık, iki farklı bekleme süresi ve farklı soğuma hızları belirlenmesiyle mikroyapıda bulunan fazların boyut, miktar ve dağılımlarını geniş bir spektrumda incelememize katkıda bulunmuştur. Şekil 10'da yapılan bir ısıtma işlemde mikroyapıların nasıl değiştiğini açıkça görülmektedir. Seçilen sıcaklık bekleme süresine bağlı olarak 30 ppm ve 60 ppm bor ilaveli numunelerde δ -ferrit fazımızın azaldığı, ikizlenmiş ostenit tanelerinin arttığı gözlemlenmiştir. Fakat her ostenit tanesinin boyutu, komşu ferrit adalarının sayısı aynı olmadığı gibi, zenginleşme miktarı da aynı olmayacaktır. Bu sayede farklı kimyasal kompozisyona sahip ostenit grupları deformasyon altında (bir çarpışma anında) farklı davranarak, mukavemet-deformasyon kapasitesi kombinasyonu geliştirecektir. Yapılan ısıtma işlemlerinin sıcaklık bekleme süresi ve soğuma hızına bağlı olarak mikroyapıda bulunan fazların miktar, boyut ve dağılımları kontrol edilmiştir.



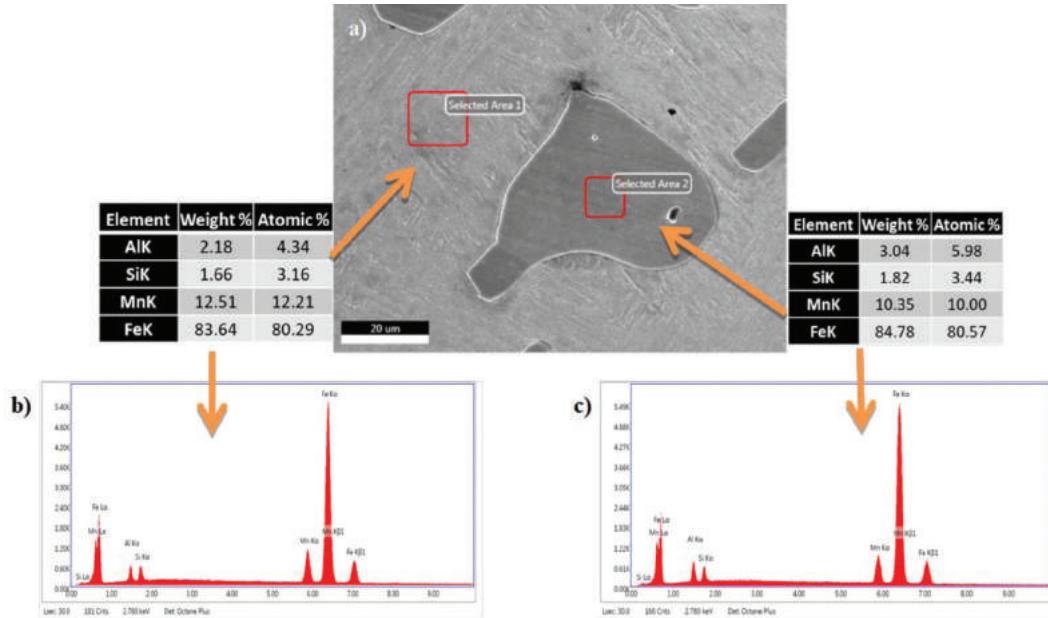
Şekil 10. Yüksek sıcaklıkta (865°C) kısa süre bekleme (15 dk) ve su verme işlemiyle soğutulan numunelerin ışık mikroskopisi görüntüleri. a) 30 ppm bor ilaveli numune at 10x (b) 60 ppm bor ilaveli numune at 10x (c)100 ppm bor ilaveli numune at 10x.

3.2. SEM-EDS İncelemeleri

Homojenize olmuş üç farklı bor ilaveli numunelerin taramalı elektron mikroskobu görüntüleri alınmıştır. Şekil 11(b)'de, ϵ -martenzit α' -martenzit faz dönüşümü, yüksek ayırım gücünde incelenmiş, literatürde bulunan görüntülerle de karşılaştırma yapılmıştır. δ -ferrit olarak öngörülen mikroyapıda bulunan adaların matristen farklı bir morfolojiye sahip olduğu elektron mikroskobu görüntülerinde Şekil 11(a)'da açıkça görülmektedir. Ayrıca energy dispersive spectroscopy (EDS) ile yapılan elementel analiz sonuçları da bu yaklaşımı kanıtlar niteliktedir. Şekil 12 ise adalardan ve matristen alınan kimyasal analiz verilerini temsil etmektedir.



Şekil 11. Taramalı elektron mikroskobu görüntüleri. a) 30 ppm bor ilaveli numune b) 100 ppm bor ilaveli numune.



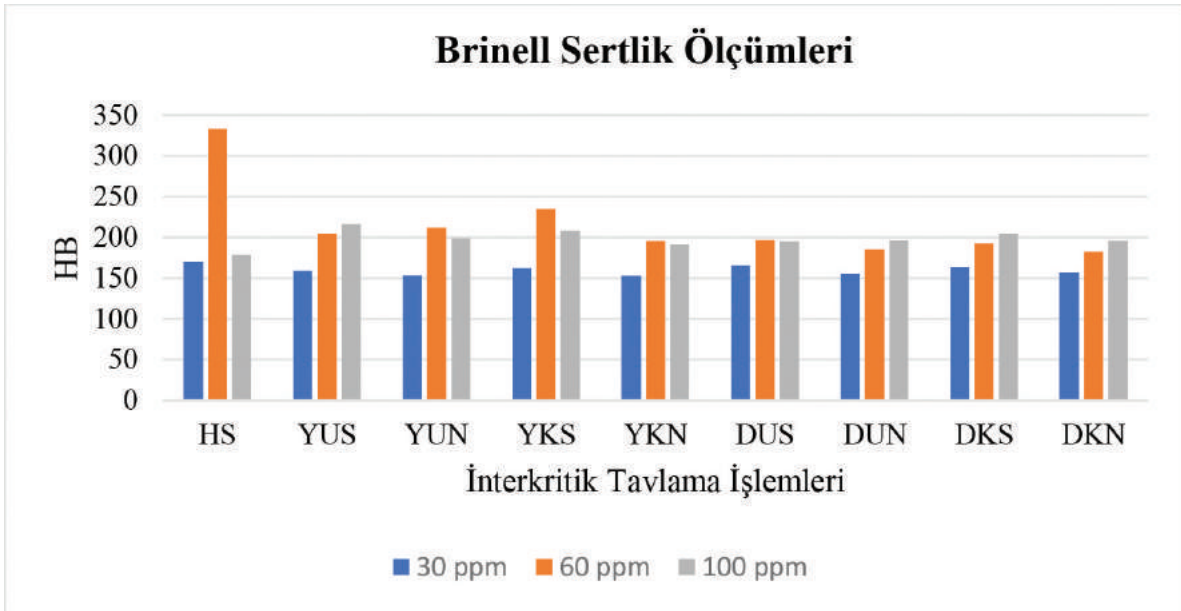
Şekil 11. Homojenize olmuş 60ppm bor ilaveli numunenin EDS sonuçları. a) Mikroyapı fotoğrafında bulunan selected area 1 matristen, selected area 2 ferrit adasından alınmıştır. b) ve c) Matrise ve ferrit adasından alınan elementel analizlerin spektrum sinyallerini temsil etmektedir.

3.3. Sertlik Ölçümleri

Homojenize olmuş ve ısıtılmış tüm numunelere vickers ve brinell sertlik ölçümleri yapılmış olup, her numune için 7 farklı noktadan brinell sertlik ölçümleri yapılmış ve her numune için hesaplanan ortalama değerler Şekil 12’de gösterilmiştir. Uygulanan her ısıtılmanın ayrıntıları ise Tablo 2’de açıklanmıştır. Literatürdeki ampirik formüller kullanılarak sertlik değerleri mukavemet değerlerine çevrilmiş, yapılan işlemler doğrultusunda, herhangi termomekanik işlem uygulamadan, mukavemet değerlerimiz 1200 MPa’a kadar ulaşmıştır. Ulaşılan sertlik değerleri 153-333 HB arasında değişmekte olup bu değerlerin mikroyapıya bağlı olduğu bir kez daha kanıtlanmıştır. Çünkü uygulanan interkritik tavlama işlemleri incelemeleri sonucunda mikroyapıda bulunan fazların miktar boyut ve dağılımlarının değiştiği açıkça gözlemlenmiş ve bu değişimin sertlik ve mukavemet değerlerine de yansımıştır. Bu sayede mukavemet/deformasyon kapasitesi kombinasyonu uygulanan proses ile kontrol edilebilirliği bir kez daha görülmüştür.

| | |
|------------|---|
| HS | Homojenize olmuş numuneler |
| DS | Deforme olmuş numuneler |
| YUS | Yüksek sıcaklık, uzun süre bekleme ve su verme işlemi |
| YUN | Yüksek sıcaklık, uzun süre bekleme ve yavaş soğuma işlemi |
| YKS | Yüksek sıcaklık, kısa süre bekleme ve su verme işlemi |
| YKN | Yüksek sıcaklık, kısa süre bekleme ve yavaş soğuma işlemi |
| DUS | Düşük sıcaklık, uzun süre bekleme ve su verme işlemi |
| DUN | Düşük sıcaklık uzun süre bekleme ve yavaş soğuma işlemi |
| DKS | Düşük sıcaklık, kısa süre bekleme ve su verme işlemi |
| DKN | Düşük sıcaklık, kısa süre bekleme ve yavaş soğuma işlemi |

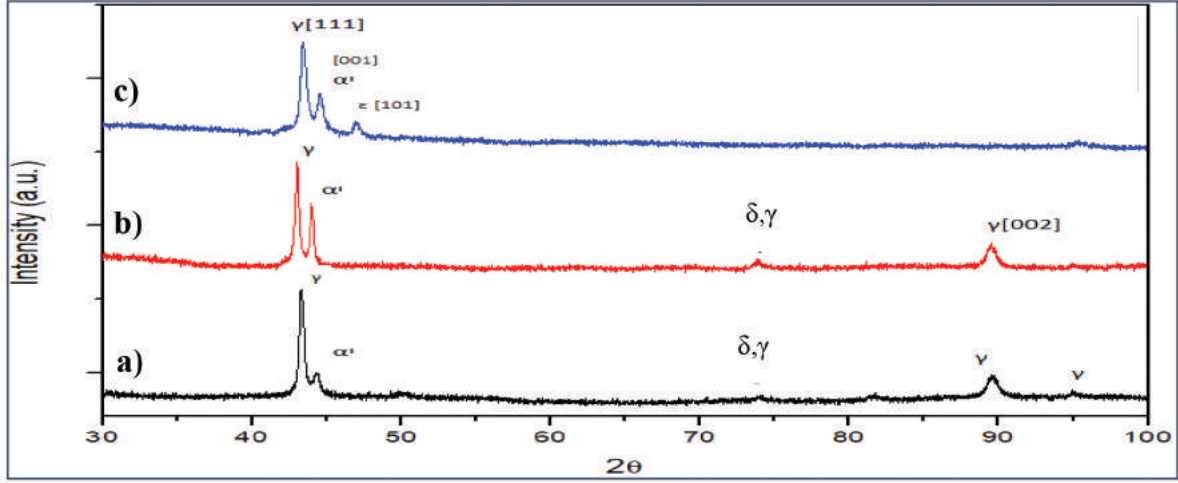
Tablo 2. Yapılan interkritik tavlama işlemleri ve açıklamaları



Şekil 12. Brinell sertlik ölçümleri grafiği.

3.4. XRD Sonuçları

Mikroyapıda bulunan fazları tanımlamak için X-Ray difraksiyon yönteminden yararlanılmıştır. Bragg kuralı($n\lambda=2d\sin\theta$) kullanılarak d mesafeleri hesaplanmış, yapılan hesaplamalar ve literatürdeki değerlerle karşılaştırmaların sonucunda, homojenize olmuş numunelerde ve farklı miktarlarda δ -ferrit, ϵ -martenzit, α' -martenzit ve ostenit fazları mikroyapılarımızda tespit edilmiştir. XRD sonuçları ise bor ilavesinin ϵ martenzit fazının oluşumunda etkisi olduğunu göstermektedir. Çünkü tespit edilen ϵ martenzit fazı sadece 100 ppm bor ilaveli numunede (mavi spektrum) ortaya çıkmıştır. Tüm numunelerin XRD sonuçları Şekil 12'de gösterilmiştir.



Şekil 12. Farklı bor ilaveli numunelerin XRD spektrumları. a) 30 ppm bor ilaveli numune. b) 60 ppm bor ilaveli numune c) 100 ppm bor ilaveli numune

4. SONUÇLAR

Yapılan deneysel çalışmalar ve literatür araştırmasıyla aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Mikroyapıyı oluşturan ana yapı ostenit fazıdır. Mikroyapı farklı bor ilaveleriyle değişmiştir. Mikroyapı δ -ferrit, ϵ -martenzit ve α' -martenzit ve ostenit fazlarından oluşur. Bu fazların mikroyapıdaki miktarı, boyut ve dağılımları bor miktarı ve yapılan interkritik tavlama işlemine bağlı olarak da değişmiştir.
- Nadir görülen bir martenzit türü olan ϵ -martenzit gözlemlenmiştir. ϵ -martenzit, HSP kristal yapıya sahiptir ve düşük SFE değerlerinde oluştuğu hakkında literatürde bir çok çalışma vardır. Bu SFE değeri 13 kJ/m²'dir.[21]
- İncelenen numunelerdeki ϵ -martenzit, konvansiyonel çeliklerdekinin aksine, kaba plaka morfolojisine sahiptir. Yapılan SEM incelemelerinde, deforme olmuş numunelerdeki bazı ϵ -martenzit plakalarının ikizlenmiş α' -martenzit fazına dönüşmüş olduğu gözlemlenmiştir. α' -martenzit fazı, ϵ -martenzit plaka sınırlarında çekirdeklenmiş ve ϵ -martenzit plakalarının içine doğru ilerlemiştir. Bu gözlem literatürde bulunan çalışmalarla da desteklenmiştir[22].
- Tüm numuneler için, alınan sertlik değerleri literatürde bulunan bir ampirik formül kullanılarak mukavemet değerlerine dönüştürülmüştür. Elde edilen mukavemet değerleri, mikroyapıda bulunan fazların miktarına bağlı olarak 850-1200 MPa arasında değişmektedir.
- Mikroyapıda bulunan her ostenit adası ϵ -martenzite dönüşmediği gibi her ϵ -martenzit plakası da ikizlenmiş α' -martenzite dönüşmemiştir. Bu dönüşümler ise her ostenit adasının özgün bir kimyasal kompozisyona sahip olmasıyla açıklanabilir. Böylece mikroyapıda bulunan ostenit adalarının deformasyon ya da ısıl işlem altında gösterdiği davranış da değişmektedir. Bor elementinin, ostenit fazının SFE değerini düşürmüş olduğu anlaşılmaktadır. Böylece ostenit adaları, SFE değerlerine bağlı olarak farklı martenzit formlarına dönüşmüş ya da ikizlenme göstermiştir. Ostenit adalarının farklı martenzit fazlarına dönüşmesi yada ikizlenme göstermesi için gereken istif hatası enerjisi değerleri şöyle sıralanabilir: SFE (ikizlenme) (>20 mJ/m²)> α' mar-

tenzite (15-20 mJ/m² > ε-martenzite (<13 mJ/m²) [15],[22],[21].

- Sonuç olarak, mikroyapıda bulunan ostenit fazının bir deformasyon altında gösterdiği transformasyonlar ile enerji absorbe ederek veya stabil kalarak, bir çarpışma anında mukavemet/deformasyon kapasitesi kombinasyonunu geliştirmesi, araçtaki güvenlik seviyesini arttırmaktadır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma için numune dökümlerimizi yapan ve MATİL A.Ş'e, SEM-EDS ve XRD cihazlarını kullanma imkanı veren DPÜ İLTEM'e, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Bölümü öğretim üyelerine, Sayın danışman hocamız Prof. Dr. Ali Arslan Kaya'ya emeği geçen tüm arkadaşlarımıza çok teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- [1] C. Gair, "A Report From the Good Ship SROI," Roberts Enterp. Devlopment Fund, vol. 15, no. 1, pp. 1-15, 2001.
- [2] W. Bleck and K. Phiu-On, "Microalloying of Cold-Formable Multi Phase Steel Grades," Mater. Sci. Forum, vol. 500-501, pp. 97-114, 2005.
- [3] H. Qu, "ADVANCED HIGH STRENGTH STEEL THROUGH PARAEQUILIBRIUM CARBON PARTITIONING AND AUSTENITE STABILIZATION by Submitted in partial fulfillment of the requirements For the degree of Doctor of Philosophy Department of Materials Science and Engineering CASE WESTER," no. January, p. 253, 2013.
- [4] T. H. Lee, H. Y. Ha, B. Hwang, S. J. Kim, and E. Shin, "Effect of carbon fraction on stacking fault energy of austenitic stainless steels," Metall. Mater. Trans. A Phys. Metall. Mater. Sci., vol. 43, no. 12, pp. 4455-4459, 2012.
- [5] S. Lee and B. C. De Cooman, "Annealing Temperature Dependence of the Tensile Behavior of 10 pct Mn Multi-phase TWIP-TRIP Steel," Metall. Mater. Trans. A Phys. Metall. Mater. Sci., vol. 45, no. 13, pp. 6039-6052, 2014.
- [6] S. Singh and T. Nanda, "A review: production of third generation advance high strength steels," Int. J. Sci. Res. Dev., vol. 2, no. 09, pp. 388-392, 2014.
- [7] S. H. Kim, H. Kim, and N. J. Kim, "Brittle intermetallic compound makes ultrastrong low-density steel with large ductility," Nature, vol. 518, no. 7537, pp. 77-79, 2015.
- [8] V. Singh, T. Nanda, S. Sharma, A. Chakraborty, and V. Singh, "Third generation of advanced high-strength steels: Processing routes and properties," Proc. Inst. Mech. Eng. Part L J. Mater. Des. Appl., vol. 233, no. 2, pp. 209-238, 2016.
- [9] M. DZIEDZIC and S. TURCZYN, "Experimental and numerical investigation of strip rolling from dual phase steel," Arch. Civ. Mech. Eng., vol. 10, no. 4, pp. 21-30, 2012.
- [10] J. Bian and J. Patel, "Niobium Metallurgy in Advanced High Strength Steels for Automotive Light-Weighting Jian Bian and Jitendra Patel Development of AHSS Based on Low," 2018.
- [11] B. Hu, H. Luo, F. Yang, and H. Dong, "Recent progress in medium-Mn steels made with new designing strategies, a review," J. Mater. Sci. Technol., vol. 33, no. 12, pp. 1457-1464, 2017.
- [12] Z. C. Li, H. Ding, and Z. H. Cai, "Mechanical properties and austenite stability in hot-rolled 0.2C-1.6/3.2Al-6Mn-Fe TRIP steel," Mater. Sci. Eng. A, vol. 639, pp. 559-566, 2015.
- [13] Y. Kim, T. H. Ahn, D. W. Suh, and H. N. Han, "Variant selection during mechanically induced martensitic transformation of metastable austenite by nanoindentation," Scr. Mater., vol. 104, pp. 13-16, 2015.
- [14] J. Zhao and Z. Jiang, "Thermomechanical processing of advanced high strength steels," Prog. Mater. Sci., vol. 94, no. January, pp. 174-242, 2018.
- [15] D. Raabe, C. C. Tasan, H. Springer, and M. Bausch, "From high-entropy alloys to high-entropy steels," Steel Res. Int., vol. 86, no. 10, pp. 1127-1138, 2015.
- [16] I. Gutierrez-Urrutia, S. Zaefferer, and D. Raabe, "The effect of grain size and grain orienta-

- tion on deformation twinning in a Fe-22wt.% Mn-0.6wt.% C TWIP steel,” *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 527, no. 15, pp. 3552–3560, 2010.
- [17] O. Grässel, G. Frommeyer, C. Derder, and H. Hofmann, “Phase Transformations and Mechanical Properties of Fe-Mn-Si-Al TRIP-Steels,” *Le J. Phys. IV*, vol. 07, no. C5, pp. C5-383-C5-388, 1997.
- [18] X. M. Wang and X. L. He, “Effect of Boron Addition on Structure and Properties of Low Carbon Bainitic Steels,” *ISIJ Int.*, vol. 42, no. Suppl, pp. S38–S46, 2002.
- [19] C. Line, “Copyright Line Mater. Res. Soc. Symp. Proc. Vol. 1243 © 2010 Materials Research Society,” vol. 1243, 2010.
- [20] M. Askari-Paykani, H. R. Shahverdi, and R. Miresmaeili, “Effect of Boron Addition on Microstructural Evolution and Room-Temperature Mechanical Properties of Novel Fe66–xCrNiBxSi (x = 0, 0.25, 0.50 and 0.75 Wt Pct) Advanced High-Strength Steels,” *Metall. Mater. Trans. A Phys. Metall. Mater. Sci.*, vol. 47, no. 11, pp. 5423–5437, 2016.
- [21] S. S. F. de Dafé, F. L. Sicupira, F. C. S. Matos, N. S. Cruz, D. R. Moreira, and D. B. Santos, “Effect of cooling rate on (ϵ , α') martensite formation in twinning/transformation-induced plasticity Fe-17Mn-0.06C steel,” *Mater. Res.*, vol. 16, no. 6, pp. 1229–1236, 2013.
- [22] J. Kim, S. J. Lee, and B. C. De Cooman, “Effect of Al on the stacking fault energy of Fe-18Mn-0.6C twinning-induced plasticity,” *Scr. Mater.*, vol. 65, no. 4, pp. 363–366, 2011.
- [23] G. Haywood (Bergsman UK), D. Naylor (Steel University, Iron & Steel Institute) <http://www.steeluniversity.org/content/html/eng/default.asp?catid=163&pageid=2081271726>

YAPAY YAŞLANDIRMA ŞARTLARININ JANTIN DARBE ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Onur ÖZAYDIN*, Elvan ARMAKAN*, A. Yiğit KAYA*, Aytaç GÖREN**

*Cevher Jant Sanayii A.Ş., İzmir, Türkiye

**Dokuz Eylül Üniversitesi, Makine Mühendisliği, İzmir, Türkiye

ÖZET

Alüminyum alaşımlı jantlar görsel bir otomotiv bileşeni olma yanında, kritik seviyede emniyet parçası olarak kabul edilir. Bu emniyet gereklilikleri müşteri şartnamelerinde tanımlanan dinamik ve statik yükler ile test edilir. Jant üzerine uygulanan dinamik yük testlerinden en önemlilerinden biri ISO 7141 standardında 13° darbe testi olarak tanımlanmıştır. Bu test tasarım aşamasında sonlu elemanlar yöntemi ile sayısal olarak simüle edildikten sonra doğrulama aşamasında fiziksel test gerçekleştirilir.

Bu çalışmada, aynı döküm parametrelerinden elde edilen alüminyum alaşımlı jantlara uygulanan ısı işlem esnasında aynı çözeltiye alma ve su verme şartları uygulanırken farklı yapay yaşlandırma şartları uygulanmıştır.

Öncelikle, ANSYS yazılımının LS-DYNA modülü kullanılarak 13° darbe testinin sayısal olarak gerçekleştirilmesi sonucu oluşan riskli bölgeler belirlenmiştir. Bu riskli bölgelerden alınan numunelere Charpy V-Çentik testi yapılarak numunelerin Charpy darbe enerjileri ölçülmüştür. Aynı gruptaki jantlara 13° darbe testinin deneysel olarak da gerçekleştirilmesi ile farklı yapay yaşlandırma şartlarının darbe özelliklerine etkisi incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: 13° Darbe Testi, 13° Darbe Simülasyonu, Alüminyum Alaşımlı Jant, Charpy V-Çentik Testi

ABSTRACT

Aluminum alloy wheels are safety critical automotive components in addition to their visually enhancing effect. These safety requirements are verified by customer defined static and dynamic load tests. One of the most important dynamic tests for light alloy wheels is 13° impact test as defined in ISO 7141 standard. This test is simulated with a numerical model using FEA methodology during design stage and an actual test is conducted during verification phase.

In this study, various artificial ageing conditions were applied on wheels produced with the same casting parameters and same solutionizing and quenching parameters.

Using ANSYS - LS-DYNA commercial software the critical locations on a wheel model under 13° impact loading is determined. Charpy impact test specimens were extracted from these highly stressed zones of wheel to measure the impact energy. Simultaneously, 13° impact tests were applied on wheels to see the effect of artificial ageing treatment on impact properties.

Keywords: 13° Impact Test, 13° Impact Simulation, Aluminum Alloy Wheels, Charpy V-Notched Test

1. GİRİŞ

Otomotiv ve diğer mühendislik uygulamalarında alüminyum alaşımları düşük yoğunluk, iyi dökülebilirlik, uygun mekanik özellik ve korozyon dayanımı sağlaması sebebiyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu bağlamda jantlarda da alüminyum alaşımları geniş olarak tercih edilmektedir. Jantlar aynı zamanda otomobillerin emniyeti ve konforu için önemli birer mühendislik parçasıdır. Alüminyum alaşımlı jantların geleneksel sac jantlara oranla düşük ağırlıkta oluşu yakıt tasarrufu ve düşük emisyon değerleri açısından da tercih edilme sebebidir [1]. Son UDC (Urban Driving Cycle) koşullarında yapılan test sonuçlarında hafif alaşımlı bir jantın otomobilin kütle bileşenlerine oranla 8-10 kat daha fazla enerji tasarrufu etkisi olduğu gözlenmiştir [2]. Emisyonu azaltma, enerji tasarrufu ve yakıt tasarrufu sağlaması olumlu nitelikler olsa da piyasada alüminyum alaşımlarından bunlardan çok daha fazlası beklenmektedir. Bu beklenti kullanıldığı mühendislik uygulamalarının emniyet gerekliliğinden ve hafif malzeme kullanma isteğinden ileri gelmektedir. Alüminyum alaşım, jantlarda düşük ağırlık sağlarken, istenen çekme mukavemeti, darbe direnci, yorulma direnci gibi sayısal sınırlara bağlı özellikleri de sağlamak durumundadır. Özellikle düşük kırılma tokluğu alüminyum alaşımlarının daha geniş alanlarda kullanılmasını engelleyen bir kısıtlayıcıdır [5]. Darbe testleri kırılma için gerekli enerji miktarının tespit edilmesinde kullanılmaktadır. Jantlardan istenen mekanik özellikler de seri üretim koşullarında standartlaşmış testlerle kontrol edilmektedir. Bunlar: Radyal yorulma testi, 13° darbe testi, eğilme yorulma testi gibi testlerdir. Minimum mekanik gereksinimleri belirleyen bu testlerden 13° darbe testi, jantın darbe direncini değerlendirmek ve onaylamak adına kullanılır. Otomobile montajlı durumda olan jantta stil yüzeyinden gelen (kaldırım vb.) darbelerin etkisinin simüle edildiği bu testte jant, uygun lastik takıldıktan sonra test cihazına bağlanmaktadır. Böylece koç başı indiğinde janta gelen darbeyi önce lastik karşılayarak gerçek yol koşulları simüle edilmiş olmaktadır. Bu test ISO 7141 standardına göre yapılmaktadır. Kullanılan 13° darbe testinde “deneme-yanılma” geliştirme döngüsü zaman alıcı ve maliyetli olduğundan, sayısal simülasyon yöntemini kullanarak bir iyileştirme hem gerekli hem de anlamlı olmaktadır [2]. Bu sebeple 13° darbe testi uygulanacak jantlara daha önceden ANSYS yazılımının LS-DYNA modülü kullanılarak sayısal bir analiz yapılmaktadır. Bu yazılımla darbe anında stil yüzeyindeki darbe profili çıkarılabilmekte, hangi bölgede daha çok gerilmenin olduğu gözlemlenebilmektedir.

Özellikle alçak basınçlı dökümdeki jant üretiminde, A356 (AlSi7Mg0.3) alaşımı gibi, ısıtma işlemi belirli düzeyde mekanik özellikleri artırılabilen alüminyum alaşımları sıklıkla kullanılmaktadır. Isıtma işlemi uygulanırken çözültüye alma ve yaşlandırma aşamalarında uygun sıcaklık ve zaman parametreleri de sağlanırsa, daha iyi mekanik özellik elde edilmektedir [3]. T6 ısıtma işlemi ötektik silisyum morfolojisini değiştirebildiği için malzemenin kırılma davranışı üzerinde de etkisi vardır. Bu davranış, Shabestari ve Elahi'nin [5] çalışmasında T6 ısıtma işleminin tüm numunelerin kırılma tokluğunu arttırdığı sonucuna ulaşmasıyla desteklenmiştir. Aynı zamanda yapay yaşlandırma şartlarının da (zaman ve sıcaklık) kırılma tokluğunu etkilediği görülmüş, 4 saat 140 °C'de yapay yaşlandırma işlemi tavsiye edilmiştir [7]. Fakat yine de mekanik özellikler alçak basınçlı döküm yöntemiyle üretim yapılan koşullarda büyük oranda döküm kusurları ve mikroyapı kaynaklıdır. Çekme, porozite, oksit inklüzyonlar ve bazı intermetaliklerin varlığı kırılma tokluğu üzerinde etkili olmaktadır. A356 alaşımında da mekanik özellikler büyük oranda ikincil dendrit kolu uzunluğu ve ötektik silisyum morfolojisiyle kontrol edilebilir [4]. Bu yapılar seri üretim şartlarında kullanılan modifiye edici master alaşımlarla kontrol edilmeye çalışılmaktadır.

Darbe testlerinin genelde laboratuvar ortamında kullanılan, basit düzenekler şeklinde de yapılması mümkündür. Bu darbe testlerinden biri olan Charpy darbe testi de darbe tokluğunu ölçen bir cihazdır. Numuneleri ISO 148-1:2009 standardına göre hazırlanan Charpy darbe testi 20. yüzyılda raylı sistem malzemeleri için kullanılmaya başlanmıştır [8]. Charpy Darbe testi gibi

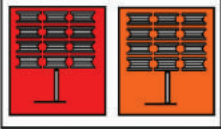
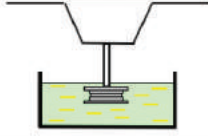

testlerde sonuç değerleri test tekniğine, hazırlanan numunenin boyuna ve şekline bağlıdır. Bu değişkenler testlerin sayısal sonuçlarında ciddi anlamda farklılıklar yaratabilmektedir [6]. Bunun sebebi kırılğan malzemelerin kırılma tokluğunun çok düşük olmasıdır. Bu kırılma tokluğu numune hazırlarken bir çentik açılmasıyla %50'den fazla düşebilmektedir. Bu duruma örnek olarak Paray, Kulunk, Gruzleski çalışmalarında U çentikli, V çentikli ve çentiksiz numuneler oluşturup darbe enerjilerine bakmışlardır. Darbe enerjisi V çentikli numunede 5.10 J/cm², U çentikli numunede 7.26 J/cm² ve çentiksiz numunede 22.16 J/cm² ölçülmüştür [7].10

Bu çalışmada yapay yaşlandırma koşullarının jantların darbe özelliklerine etkisi incelenmiştir. Bu inceleme hem sanayi şartlarında darbe simülasyonu ve 13° darbe testiyle hem de laboratuvar ölçekli Charpy darbe testiyle yapılmıştır. Böylece Charpy ve 13° darbe testi arasında bir bağlantı kurulmaya çalışılmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

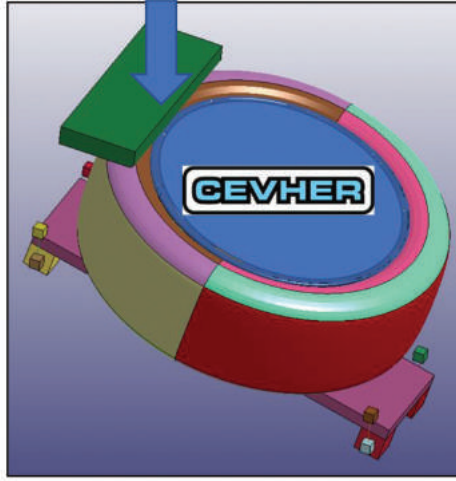
Deneyisel çalışmalar, AlSi7Mg0.3 malzemeli jantların alçak basınçlı döküm yöntemi ile dökülmesi ile başlamıştır. Bilindiği üzere, AlSi7Mg0.3 malzemeli jantlar ısıl işlem yapılabilir jantlar olup mekanik özellikleri artırma amacıyla T6 ısıl işlemi uygulanmaktadır. T6 ısıl işlemi üç ana adımdan oluşmaktadır. Bu adımlar; çözeltiye alma, su verme ve yapay yaşlandırma adımlarıdır.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, AlSi7Mg0.3 malzemesine uygulanan T6 ısıl işlem adımlarından çözeltiye alma sıcaklıklarının 520 °C - 550 °C'de 1-3 saat aralığında, su verme sıcaklıklarının 20 °C - 70 °C aralığında, yapay yaşlandırma sıcaklıklarının da 150 °C - 180 °C'de 1-8 saat aralığında olduğu görülmektedir. [9,10,11,12]. Bu çalışmada, literatüre uygun çözelti sıcaklığı ve zamanı, su verme sıcaklığı ve yapay yaşlandırma sıcaklığı ve zamanı belirlenmiştir. Diğer sıcaklık ve zaman parametreleri aynı olmak koşuluyla farklı yapay yaşlandırma sıcaklık ve süreleri belirlenerek, yapay yaşlandırma şartlarının 13° Darbe testi ve V-Çentik Charpy darbe testi sonuçlarına etkisi araştırılmıştır.

| |  | |  | |  | |
|----------------|---|--------------|---|--------------|---|--------------|
| | Çözeltiye Alma | | Su Verme | | Yapay Yaşlandırma | |
| | Sıcaklık [°C] | Zaman [h] | Sıcaklık [°C] | Zaman [h] | Sıcaklık [°C] | Zaman [h] |
| Grup #1 | 535 ± 10 | 3.5 | 65 ± 10 | - | 150 ± 5 | 1 |
| Grup #2 | 535 ± 10 | 3.5 | 65 ± 10 | - | 180 ± 5 | 1 |
| Grup #3 | 535 ± 10 | 3.5 | 65 ± 10 | - | 180 ± 5 | 8 |
| Grup #4 | 535 ± 10 | 3.5 | 65 ± 10 | - | 150 ± 5 | 8 |

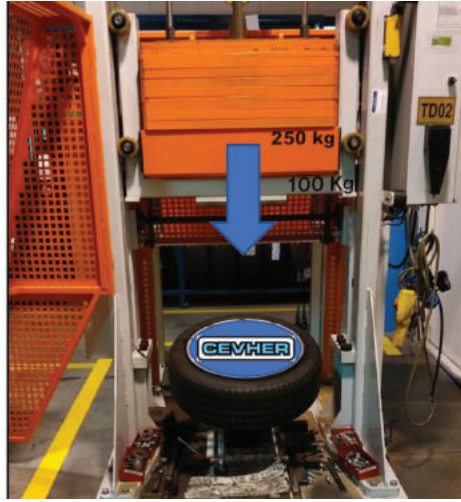
Tablo 1. Isıl işlem şartları

Bu çalışma kapsamında, 13° Darbe testi hem sayısal hem de deneysel olarak test edilmiştir. İlk adımda, 13° Darbe testi deney düzeneği (Şekil 1.) ANSYS LS-Dyna programında kurgulanarak üzerine tanımlı darbe yükü simüle edilerek jantın gerilmeleri incelenmiştir.



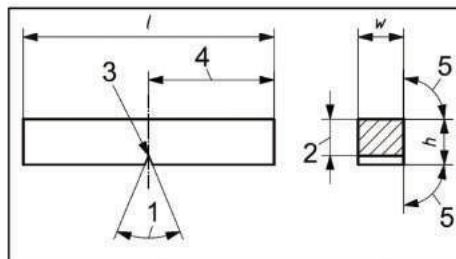
Şekil 1. 13° Darbe Test Simülasyon Düzeneği

Düzenekte tanımlanan koç başı, belirli yükseklikte jant üzerine bırakılarak jantın kritik bölgelerinde oluşan gerilmeler ölçülebilir. Simülasyonda oluşturulan deney düzeneğinin gerçek durumu ve deneysel testte kullanıldığı test cihazı ise Şekil 2.'de gösterilmiştir. İlgili test cihazında ISO 7141 Standartlarına uygun olarak 13° Darbe testi yapılmaktadır.



Şekil 2. 13° Darbe Test Cihazı

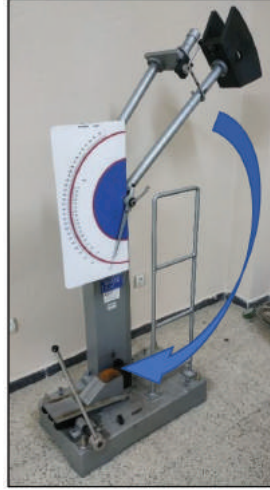
13° Darbe testinin deneysel testi sonrası, jant kollarından alınan örneklerden ISO 148 – 1: 2009 (E) standardında verilen V-Çentik geometrisine göre hazırlanmış olan numuneler (Şekil 3.) Charpy darbe cihazında (Şekil 4.) test edilerek ortalama (Her biri için en az 3 numune olacak şekilde) enerjileri hesaplanmıştır.



Şekil 3. V-Çentik geometrisine göre hazırlanmış olan numune

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | l | w | h |
|-----|------|---------|---------|-----|-------|-------|-------|
| 45° | 8 mm | 0,25 mm | 27,5 mm | 90° | 55 mm | 10 mm | 10 mm |

Tablo 2. V-Çentik geometrisine göre hazırlanmış olan numune boyutları



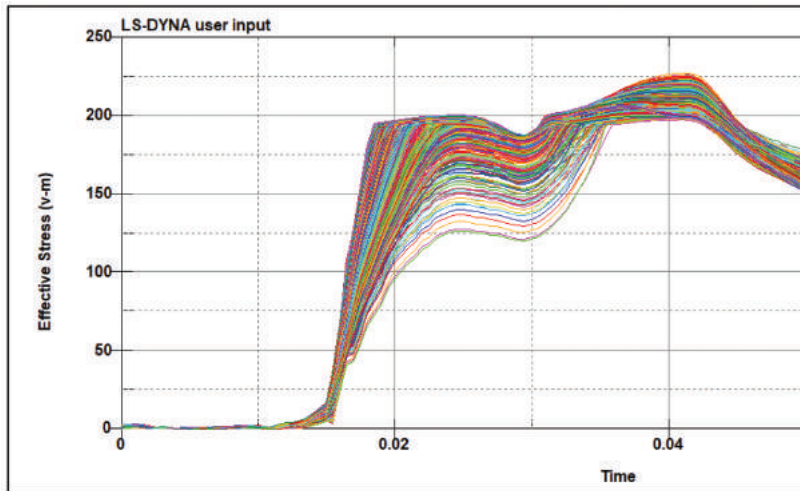
Şekil 4. Charpy test cihazı

3. BULGULAR

Bu bölümde, deneysel çalışmalar esnasında uygulanan simülasyon ve testlerin sonuçları değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme sırasıyla 13° darbe test simülasyonu, 13° darbe test deneyleri ve Charpy darbe test deneylerinde elde edilen bulgulara göre yapılmıştır.

13° Darbe test simülasyonu bulguları:

13° Darbe test simülasyonunda, ANSYS LS-DYNA yazılımına tanımlanan set-up'ın çalıştırılmasında sonra ilk adımda jant üzerinde von Mises gerilmelerin en yüksek olduğu bölgenin feder kolu olarak adlandırılan jant kollarının olduğu görülmüştür. Bu bölgede yüksek gerilme riski olan ağ yapısındaki bölgeler seçilerek efektif gerilme değerleri tablo halinde çizdirilmiştir.



Tablo 3. 13° Darbe test simülasyonu bulguları

Bu gerilmenin 250 MPa altında olması, jantın 13° darbe testi için tanımlı yükünde emniyetli olduğunun göstergesi olarak kabul edilmektedir. Tablo 3.'deki sonuçlara göre ilgili jantın tanımlı yükünde emniyetli olduğu sonucuna varılabilir.

13° Darbe deneysel test bulguları:

İlgili jantlar yapay yaşlandırma şartlarına göre 4 farklı grupta incelenmiştir. Elde edilen bulgular Tablo 4.'te verilmiştir.

| Grup | Numuneler | Yapay Yaşlandırma Şartları | Darbe Bölgesi | Darbe Yüğü (kg) | Durum |
|---------|-----------|----------------------------|---------------|-----------------|-------|
| Grup #1 | A | 1 h @ 150 °C | Feder Üstü | 805 | NOK |
| | B | | | 755 | OK |
| Grup #2 | A | 1 h @ 180 °C | Feder Üstü | 805 | NOK |
| | B | | | 755 | OK |
| Grup #3 | A | 8 h @ 180 °C | Feder Üstü | 805 | NOK |
| | B | | | 755 | NOK |
| | C | | | 705 | NOK |
| | D | | | 655 | OK |
| Grup #4 | A | 8 h @ 150 °C | Feder Üstü | 805 | NOK |
| | B | | | 755 | NOK |
| | C | | | 705 | OK |

Tablo 4. 13° Darbe test bulguları

Charpy deneysel test bulguları:

Charpy deneysel çalışmasında elde edilen bulgular Tablo 5.'te verilmiştir. Bu bulgular, 13° Darbe testi ile paralellik göstermektedir. 13° Darbe testine göre en iyi sonuçları veren Grup #1 ve #2 numuneleri, Charpy darbe testinde de benzer sonuçlar vererek en yüksek darbe enerjisi değerlerini vermiştir. Yine paralel olarak, 13° Darbe testine göre en kötü sonuçları veren Grup #3 numuneleri, Charpy darbe testinde de benzer sonuçlar vererek en düşük darbe enerjisi değerlerini vermiştir.

| Grup | Yapay Yaşlandırma Şartları | Darbe Bölgesi | Darbe Enerjisi (Joule) |
|---------|----------------------------|---------------|------------------------|
| Grup #1 | 1 h @ 150 °C | Feder Üstü | 4,041 |
| Grup #2 | 1 h @ 180 °C | Feder Üstü | 4,185 |
| Grup #3 | 8 h @ 180 °C | Feder Üstü | 3,76 |
| Grup #4 | 8 h @ 150 °C | Feder Üstü | 4,011 |

Tablo 5. Charpy darbe test bulguları

Bu durum, 13° Darbe test sonuçları ile Charpy darbe test sonuçları ile paralellik gösterdiğini sonucuna varılabilir.

4. SONUÇ

- Bu çalışmada, mekanik özelliklerin artırılması amacıyla T6 ısıtma işlemi uygulanan AlSi7Mg0.3 malzemeli jantlara farklı yapay yaşlandırma şartları uygulanarak, bu değişikliğin darbe değerlerine olan etkisi incelenmiştir.
- Öncelikle, 13° Darbe testinin simülasyonunda kendi tanımlı yükünde (555 Kg.) uygun olduğu görünen jantların kendi yükü üzerinde test edilmesiyle OK ve NOK yükler belirlenmiştir.
- OK ve NOK limitlerin belirlenmesiyle, yapay yaşlandırma şartlarınının 13° Darbe testine etkisi ortaya konmuştur. Bu sonuçlara göre: Aynı düşük yapay yaşlandırma uygulama (1h) süresinde, uygulama sıcaklığı artarken benzer darbe sonuçları elde edilmiştir. Aynı yüksek yapay yaşlandırma uygulama (8h) süresinde ise uygulama sıcaklığının artması sadece düşük yüklerde uygunluk vererek jant darbe dayanımını düşürmüştür.

- Aynı yüksek yapay yaşlandırma sıcaklığında (180°C) yüksek yapay yaşlandırma sürelerinde jantların daha düşük yüklerde uygun olduğu ve jantın darbe dayanımının düştüğü tespit edilmiştir. Bu durum yüksek sıcaklık ve yüksek sürelerde aşırı yaşlanma riski olabileceğini ortaya koymuştur. Bunun yanında aynı düşük yapay yaşlandırma sıcaklığında (150°C) ise düşük uygulama süreleri jantların daha iyi darbe dayanımı vermesini sağlamıştır.

5. TEŞEKKÜR

Yazarlar olarak, bu çalışmanın yürütülmesinde değerli destekleri olan; Dr. Öğr. Üyesi E. Dokumacı, Dr. Öğr. Üyesi Bahadır Uyulgan, S. Ören, Ö. Yıldırım ve 'Cevher Jant'taki tüm iş arkadaşlarımıza teşekkür ederiz.

KAYNAKÇA

- [1] Tebaldini M., Petrogalli C., Donzella G, La Vecchia G. M.; Estimation of Fatigue Limit of a A356-T6 Automotive Wheel in Presence of Defects; Procedia Structural Integrity 7 (2017) pp. 521-529
- [2] Xiaofei W, Xiandong L, Yingchun S, Er J. Haiwen Y.; Numerical and Experimental Investigation on The Effect of Tire on the 13° Impact Test of Automotive Wheel; Advances in Engineering Software 133 (2019) pp. 20-27
- [3] Toccia M Polaa A., Angellab G, Donninib R, La Vecchiaa G. M., Dispersion Hardening of An AlSi3mg Alloy with Cr And Mn Addition; Materials Today: Proceedings 10 (2019) pp. 319-326
- [4] Apelian D., Shivkumar S., and. Sigworth G; Fundamental Aspects of Heat Treatment of Cast Al-Si-Mg Alloys; AFS Trans., Vo1 97 (1989), p 727-742
- [5] Amne Elahi M., Shabestari S. G.; Effect of Various Melt and Heat Treatment Conditions on Impact Toughness of A356 Aluminum Alloy; Trans. Nonferrous Met. Soc. China 26(2016) pp. 956-965
- [6] Tsukuda M, Koike S. and Hurada,M.; The Heat Treatment of Al-7%Si-0.3%Mg Alloy J.Jpn. Inst. Light Metals, 1978, Vol. 28, 1, pp. 8-14.
- [7] Paray F., Kulunk B. and Gruzleskit J.E.; Impact properties of Al-Si foundry Alloys; International Journal of Cast Metals Research (2000), 13:1, pp. 17-37
- [8] Alexopoulos N.D, Stylianos A.; Impact Mechanical Behaviour of Al-7Si-Mg (A357) Cast Aluminum Alloy. The Effect of Artificial Aging; Materials Science and Engineering A 528 (2011) pp. 6303-6312
- [9] Peng J., Tang X., He J., Xu D., "Effect of heat treatment on microstructure and tensile properties of A356 alloys", Trans. Nonferrous Met. Soc. China 21 (2011) 1950 - 1956.
- [10] J. Pezda, A. Jarco, "Effect of t& Heat Treatment Parametres on Technological Quality of the AlSi7Mg Alloy", Archives of Foundry Engineering. Volume 169 Issue 4/2016 pp.95-100
- [11] X.J. Yua, Y.L. Lub, F.X. Zhuc, X.C. Lid, "Effect of Heat Treatment on Microstructures and Mechanical Properties of A356 Alloy by Low Pressure Casting" Advanced Materials Research, 2015, ISSN: 1662-8985, Vol. 1096, pp 319-324
- [12] X. Zhang, K. Ahmmed, M. Wang and H. Hu, "Influence of Aging Temperatures and Times on Mechanical Properties of Vacuum High Pressure Die Cast Aluminum Alloy A356", Advanced Materials Research, 2012, ISSN: 1662-8985, Vol. 445, pp 277-282

DÖKÜM ÖNCESİ VE SONRASI YÖNTEMLERLE DÖKÜM PARÇASI BARKODLAMA VE TAKİBİ

CAST PART MARKING WITH 2D MATRIX CODES USING PRE AND POST PROCESSING METHODS

Tekin UYAN, Kalle JALAVA, Juhani ORKAS, Kevin OTTO
Aalto University, School of Engineering, Otaniemi, Finland.

ÖZET

Döküm parçası tedarik zincirindeki döküm kimliklendirilmesini çevreleyen ihtiyaç ve faydaları belirlemek için Dökümhane sahipleri ve müşterileri ile görüşmeler yapıldı. Akıllı Dökümhane konsepti için sistematik veri toplanmasını ve bu verilerin görselleştirilmesini kapsayan önemli bir ihtiyaç ortaya çıkarıldı. Bu ihtiyacın sağlanması durumunda ortaya çıkan temel faydalar; dökümhane tedarik zinciri kalitesinin iyileştirilmesi, daha sürdürülebilir metal işleme ve gelişmiş müşteri parça takip sistemi olarak belirlendi. Akıllı Dökümcülüğe katkıda bulunabilecek alternatif dijital nesne tanımlama tekniklerini araştırılırken, temel alternatifler döküm öncesi veya sonrası markalama; dökümün son aşamasında- örneğin taşlama sonrası lazerle aşındırma yoluyla sarj numarası oluşturulması veya henüz kalıplama sırasında kullanılan yöntemlerle markalanmasının farkları üzerine yoğunlaşıldı. Farklı ürün ve döküm tekniklerine sahip Fin ve Türk dökümhaneleriyle görüşmeler yapıldı. Genel olarak, döküm öncesi doğrudan parça işaretleme sağlamlık ve, veri girişi ve parça izlemenin dökümhane operasyonlarının ilk aşamasından itibaren yapılabilirliği açısından önemli faydalar sağladığı bulunmuştur.

ABSTRACT

Interviews were conducted with Foundry owners and customers to determine needs and benefits surrounding part marking in the cast part supply chain. A significant need was uncovered for automated data gathering and visualization of these data, the Smart Foundry concept. Benefits of this include improved foundry supply chain quality, more sustainable metal processing, and improved customer part tracking. In investigating alternative digital object identification techniques that would contribute to the Smart Foundry, the basic alternatives include whether to create markings before or after casting, through as-cast markings or through post processing marking methods such as laser etching. Interviews were held with Finnish and Turkish foundries of various casting techniques and product types. Generally, it was found that pre-cast direct part markings offer added benefits of robustness and extension of tracking back into earlier foundry operations.

Keywords: Direct part marking, Smart foundry, Digitalization, Smart castings, Sustainable metals processing.

1. INTRODUCTION

To fulfill the opportunity of industrial digital transformation in the cast part industry, the industrial Internet of Things (IoT) concepts need development. In the metal casting industry, a 'Smart Foundry' would be enabled with new technologies including IoT sensors, part marking systems, automated manufacturing controls and process data analytics[1]. A key element of Industry 4.0 includes the fundamental task of object identification and tracking [2].

Investment and sand casting foundries were surveyed in order to understand the current level and need for object identification and traceability, and problems preventing adoption of part marking systems. Questions included current means for identification and tracking, feasibility of direct part marking techniques, and benefits or issues with pre- or post-casting techniques. Casting traceability is an ongoing problem for foundries. Usually, each casting has an identification number including date and logos, cast into part. However, the manufacturing process of castings includes pre-part steps such as pattern preparation and molding, which make it hard to trace individual castings issues these very early pre-part life phases. This is one example of the blocks preventing IoT traceability in foundries. In the metal casting industry, large amounts of time, energy and money currently being spent on the process of uniquely identifying each casting and back tracking issues to particular process steps or equipment.

Today, most of the cast marking is made by identifiers on the pattern plate or by mold inserts. To accomplish this identification procedure, usually marking patterns must be adjusted for each of the castings. In order to maximum utilization of data collection during processes and process management, parts have to be marked at the earliest stage of the production [3]. In this way, the cast product can link to the process phases and data processing to make process control more effective. The method of permanently labeling parts complete with serial numbers and other necessary information is called direct part marking (DPM). To create a Smart Foundry digital environment, a smart object should at least carry a unique identification, given by barcodes or 2D part codes etc.[4].

We discuss here the challenges that occur during part marking, tracking and associating these with process steps and data of casting activities inside foundries, and outside of the foundries when castings reach the customers. We use this to clarify requirements of part marking methods.

2. BENEFITS OF DIRECT PART MARKING

Identification of each cast component is becoming important to the industry because it enables selection and individual handling of the castings. The most advanced part marking systems are tending to use RFID tags [5] and 2D matrix codes directly on the metals to digitize the ID numbers into the castings. These methods create benefits over traditional alphanumeric part marking methods. A laser direct part marking with compact 2D matrix code enable fast marking during the production and identifying the parts via DPM readers while enabling digital environment for castings [6]. The cast part have less space for its ID numbers while traditional alphanumeric numbering requires a larger space to carry letters and numbers. Additionally, the 2D matrix codes avoid casting defective Part IDs which often cause identification and tracking problems inside the foundry as well as at the foundry's customer. The technologies used for creating digital DPMs enable the automated ID dedication, by other means dedicating ID numbers through ERP systems. This decrease the human error risk and confusions between the departments of the Foundry.

On the other hand, the difficulties in adopting direct part markings include potential for failure

of new complex marking systems within the harsh foundry environment. For instance, laser marking the castings by carrying the big and heavy parts inside the foundry is not suitable for laser marking rooms; therefore, portable devices are being used to mark parts on the field. However, this creates laser safety issues to be considered the foundries.

3. PRE AND POST CAST DIRECT PART MARKING

Post casting methods are most mature including pin and laser. However, they also are less robust. For example, a scratch or crack on the surface is enough to degrade barcode readability. Additionally, the post cast DPMs are generated after the final process of a casting, which is usually painting or fettling. This creates lack of tracking all through the beginning and sub processes of the cast parts.

While pre-casting methods are not as advanced as post-casting methods, its simplicity potentially generates advantages. There are several types of methods which allow labeling on the early stages of the casting operation, the beginning of the lifecycle of the cast product. The traditional numbering methods stick or adjust the letters on the patterns or dies, which can cause trouble and time loss. Therefore, new technologies are being considered which implement 2D matrix code systems directly onto the metal castings. A concept “reconfigurable pin-type tooling for sand molding” enables direct part markings in green sand permanent molding machines. A pin tool inserted inside the mold can create a DPM code Data Matrix symbol patterns via an electrical printed circuit board for individual cell activation. By this method, a unique DPM can be given to each casting by processing molding machines [7]. However, studies indicate the embossed sand markings do not easily survive in small sizes, the Data Matrix patterns are fragile structures.

Pre-casting methods also has the advantage that it creates DPMs that remain for the lifetime of a casting. Contrary to ink, laser etching or burning technologies used as post-casting marking techniques, the DPMs are physically shaped into barcodes as features on the cast product itself. The pre-casting have to be made in the molding process of the cast part and this creates the opportunity to trace the parts in the beginning of their lifecycle phase

4.METHODOLOGY

Investment and sand casting foundries were surveyed in order to get a perspective about the current level of object identification and traceability from an industry point of view. Survey is made for problems preventing adoption of part marking systems include potential for failure of the complex marking systems within the harsh foundry environment. The surveys also lead to discussions with experts about general problems on identification techniques and aspects for digitalization.

Several questions were directed under two main topics:

- 1- Identification and Tracing Methods of Castings
 - 2- Assessment of feasibility on pre or post cast DPM techniques in foundry
- Identification and Tracing Methods of Castings

A complication with casting arises when batch casting methods are used, casting several parts and pieces with same molten metal component. In batch castings, the foundry uses a Batch ID number for different shapes and tens of pieces under same ID number. On the other hand, the foundries casting mainly high-value parts in industry such as torque arms of wind turbines or vehicle engine blocks or cylinder heads use Part ID's which are assigned uniquely for the part. These Batch or Part ID numbers are labeled either manual or automated ways. Manual labeling involves the operators manually change the numbers and dating in the molds or patterns via

permanent or wax labels. Automated labeling involves an automation system such as laser tagging or dot peening systems, which enables quick marking and accurately connection to the digital environment.

In today’s current foundry production, if a casting must be traced by a foundrymen, it is usually made via rooting papers. These include process information in detail such as temperature, process time, and production line. This approach is named as Manual tracking. If the same work is done digitally using barcode or other identification technology, it is called Digital tracking. Table 1 includes current state of the foundries on mentioned parameters according to the survey results.

| | Foundry 1 | Foundry 2 | Foundry 3 | Foundry 4 |
|--------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Batch ID | x | x | x | - |
| Part ID | - | - | - | x |
| Manual Labeling | x | x | x | x |
| Automated Labeling | - | - | x | - |
| Manual Tracking | x | x | x | x |
| Digital Tracking | x | - | - | - |

Table 1. Foundries’ methods on object identification and tracking [8].

5. DISCUSSIONS

What are the main challenges?

1. Batch Identification of castings has limitations on uniquely identifying each casting.

Case example: If tens of parts are labeled with the same identification number with batch ID, there are vacancies in tracing each part in the foundry and that complicates many things. Such as, the information flow between departments, sorting single part in a batch and interference with the complaints from quality department. There is foundry customer’s side of the same type of challenge, in case customers need to identify separately the multiple parts they purchased from foundry.

2. Part Identification has its own challenges especially where the production speed is important and Foundry casts hundreds of parts daily. There is time lost in the molding process with changing labeling numbers if each parts has to have its own Part-ID. This complicates the communication between departments over a particular cast as well.

3. Manual labeling

Part-IDs are usually shaped by plastic or wax tags (letters, numbers) by sticking them on the patterns. This process is completed by molding operators. This can be prone to operator mistakes such as sticking on wrong numbers or misalignment of the labels. While the occurrence of such mistakes are rare, usually 1%, these can compound as a chain of failures between the departments of a foundry. In such cases, there are time losses from sorting parts and correcting the Part-IDs. The stamping method is used for corrections of this type of failure, however, most of the customers complain about that method since none of them would like to have extra scratches on their parts. The plastic labels used in sand moldings usually need added steps to remove them from the molds for reuse; otherwise, the tag would be destroyed during casting and requires a constant order of the marking labels. This work can be tedious if the Part-ID is long and labels are small and require extra care.

4. Automated Labeling

Given the technological challenges and limitations of laser marking or dot peening of mold-

ings, these technologies remain infeasible for many foundries. Amongst the foundries surveyed, these approaches are still in trials only in only one foundry surveyed. The main benefit of the laser marking technology is fast marking e.g. labeling time could even be as low as three seconds per part. In addition, the automated setup of workflows by Part IDs could be beneficial for more automated foundry operations.

5. Manual Tracking

Manual tracking is the traditional way to trace part in foundries by route papers and visual checking. The challenges are several. For example, after the shakeout process, the Part ID is spread over a big area on the casting surface and could have partial sand-metal penetration defects on the ID numberings. This sometimes makes the ID impossible to read. In such cases, it also creates extra challenges for the fettling and cleaning post-casting processes. After the product is ready to send to the customer, the large number of letters generates more opportunities for failures. Some surveyed foundries mentioned customers taking photos parts and asking the foundry to translate or identify the part and its ID number.

6. Digital Tracking

Digital tracking is very efficient and saves time and effort during internal part tracking. When the digital tracking techniques such as barcode reading is used together with manual tracking methods like route papers, the part identification and tracking becomes easier compared to manual tracking foundries.

5. CONCLUSION

In the castings industry, there is a need for part markings to trace parts through their production and life cycle. All of the foundries tend to reach the ultimate level of digital identification and tracking of their castings. Depending on the result of the interviews mixture with observations in foundry industry, the challenges are defined. Foundry surveys indicates the post-production part marking methods have challenges. There is a need for an In-cast part marking for sand and investment casting industry.

6. ACKNOWLEDGEMENTS

This work was made possible with support from the Academy of Finland, Project Number 310252.

7. REFERENCES

1. Ravi, B. "SMART Foundry 2020." *IEEE Potentials* 35, no. 4 (2016): 29-32.
2. Zhong, Ray Y., Xun Xu, Eberhard Klotz, and Stephen T. Newman. "Intelligent manufacturing in the context of industry 4.0: a review." *Engineering* 3, no. 5 (2017): 616-630.
3. Främling, Kary, et al. "Sustainable PLM through intelligent products." *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 26.2 (2013): 789-799.
4. Meyer, Gerben G., Kary Främling, and Jan Holmström. "Intelligent products: A survey." *Computers in industry* 60.3 (2009): 137-148.
5. Hribernik, Karl A., et al. "Autonomous control of intelligent products in beginning of life processes." *International Conference on Product Lifecycle Management*. 2010.
6. Li, Xia-Shuang, et al. "Laser direct marking applied to rasterizing miniature Data Matrix Code on aluminum alloy." *Optics & Laser Technology* 77 (2016): 31-39.
7. Vedel-Smith, Nikolaj Kjelgaard, and Torben Anker Lenau. "Casting traceability with direct part marking using reconfigurable pin-type tooling based on paraffin-graphite actuators." *Journal of Manufacturing Systems* 31.2 (2012): 113-120.
8. Uyan, Tekin. "Object identification in smart foundries." (2018).

FARKLI TANE KÜÇÜLTÜCÜ ELEMENTLERİN ALÜMİNYUM BRONZLARI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

¹Aleattin KULAKLI, ²Tuba ÖZEREN, ³Talip ÇİTRAK,
⁴Fikri Erdem ŞEŞEN

Ar-Ge Merkezi, Sağlam Metal San.ve Tic. A.Ş., Kocaeli-Türkiye

ÖZET

Bu çalışmada, %0.2 gibi küçük oranlarda tane küçültücü olarak katılan kobalt (Co) ve zirkonyumun (Zr) dökülmüş ve dövülmüş durumdaki nikel içerikli alüminyum bronzunun (CuAl10Ni5Fe3Mn alaşımı) özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Alaşımlar, metal hurdasının laboratuvar ölçeğindeki bir indüksiyon ocağında ergitilmesi, ergimiş metalin dökme demirden yapılmış bir kalıba boşaltılması ve sıcak dövme süreçleriyle üretilmiştir. Dökülmüş durumdaki alaşımların tane boyutlarının belirlenmesi amacıyla tüm ürünlerin makro yapıları makro ölçekte dağlama yoluyla incelenmiştir. Tane küçültücülerin alaşımların faz yapısına etkisini incelemek amacıyla da mikro yapı incelemeleri yapılmıştır. Mikro sertlik ve mekanik özellikler ilgili test cihazları kullanılarak ölçülmüştür. Dövülmüş alaşımların korozyon hızının belirlenebilmesi için nötr bir NaCl çözeltisi içerisinde potentiodynamik korozyon testleri yapılmıştır. Kobaltın tane küçültme konusunda etkili bir element olduğu, CuAl10Ni5Fe3Mn alaşımının mekanik özelliklerinin ve korozyon dayanımının iyileşmesine yol açtığı, ancak zirkonyumun tane küçültücü olarak belirgin bir etkisinin gözlemlenmediği, genel sonuçlardan ortaya çıkmıştır.

Anahtar sözcükler: Alüminyum bronzu, tane küçültücü element, makro ölçekte kimyasal dağlama, mekanik güçlendirme, potentiodynamik korozyon testi.

ABSTRACT

In this study, effects of cobalt (Co) and zirconium (Zr) additions (in a small quantity of 0.2%) as a grain refiner on the properties of an as-cast and forged nickel aluminum bronze (CuAl10Ni5Fe3Mn alloy) were investigated. The alloys were produced by melting of metal scrap in a laboratory scale induction furnace, pouring of the melt into a cast iron mould and hot forging. Macrostructure of all the products were obtained to evaluate the grain size of the as-cast alloys. Microstructural investigations of the samples were performed to estimate the effect of grain refiners on the phase structure of the alloys. Micro hardness and tensile properties were measured by utilizing the related testing machines. Potentiodynamic corrosion tests were conducted to determine the corrosion rates of the forged alloys in a neutral NaCl solution. Overall results revealed that Co was an effective element for grain refining, leading to an improvement in mechanical properties and corrosion resistance of CuAl10Ni5Fe3Mn while Zr was found to possess no remarkable effect as a grain refining element.

Keywords: Aluminum bronze, grain refining element, macro-scale chemical etching, mechanical strengthening, potentiodynamic corrosion test.

1.GİRİŞ

Nikel içeren alüminyum bronzları, diğer bakır alaşımları ile karşılaştırıldığında, yüksek sertlik, dikkate değer mekanik dayanım ve mükemmel korozyon dayanımına sahip olmalarından dolayı, son yıllarda giderek artan bir ilgi görmektedir[1]. Alüminyum ana alaşım elementi olmakla birlikte, nikel içeren alüminyum bronzları genellikle nikel, demir, manganez ya da silisyum içerir[2].

Nikel içeren alüminyum bronzları karmaşık bir yapıdadır. Dökülmüş durumdaki tipik mikro yapı, bakırca zengin yumuşak α (alfa) fazı, sert kalmış martenzitik β (beta) fazı ve pek çok sert intermetalik (κ) fazından (K_I , K_{II} , K_{III} ve K_{IV}) oluşur[3]. Nikel içeren alüminyum bronzlarının korozyon davranışı ve mekanik özellikleri büyük ölçüde kimyasal bileşimine ve üretim geçmişine, yani mikro yapısına bağlıdır[4]. Yumuşak α fazının hacimce oranı azaldıkça ve sert K fazlarının hacimce oranı arttıkça sertlik ve çekme dayanımı artar, ancak yüzde uzama azalma eğilimine girer[5]. Korozyon dayanımı açısından irdelendiğinde, K_I , K_{II} ve K_{IV} pek etkili olmaz, ama K_{III} , özellikle kesintisiz bir ağ oluşturması durumunda, çok etki edebilir. Kalıntı β fazını $\alpha+\beta$ karışımına dönüştürmek ve K_{III} fazını küresele yakın bir şekle getirmek, böylece deniz suyundaki korozyon dayanımını en uygun duruma getirmek amacıyla ısıtma işlem süreçleri geliştirilmiştir[6].

Nikel içeren alüminyum bronzlarının mekanik dayanımını ve korozyon dayanımını artırmak amacıyla harcanmış farklı çabalar literatürde rapor edilmiştir. Bu yaklaşımlardan biri, metalik malzemelerin pek çok fiziksel özelliğini etkileyen tane boyutunun küçültülmesidir. Daha ince taneler genellikle sertliği, mekanik özellikleri ve aşınma dayanımını olumlu yönde değiştirir. Ayrıca, tane boyutu küçülmesinin elektriksel/ısıtma iletkenliğe ve korozyon dayanımına olan etkisine ilişkin bazı çalışmalar yapılmıştır[7]. Tane boyutunun küçülmesini sağlamak amacıyla ani katılaştırma, yüksek hızda plastik şekil verme ve ultrasonik işlemler gibi pek çok yöntem uygulanabilir[8,9]. Bu amaca ulaştıran bir diğer yöntem de eriyiğe tane küçültme özelliği bulunan element/alaşım/bileşik katılmasıdır. Küçük miktarlarda katılan pek çok element, alaşımın katılma hızı, sıcaklığı ve doğrultusunun değişmesine sebep olurken bir yandan da tane boyutunu küçültür[10]. Tane küçültücü elementlerin alüminyum ve titanyum alaşımlarının özelliklerine etkisi üzerine pek çok çalışma yapılmış iken herhangi bir tane küçültücü element/alaşım/bileşimin bakır alaşımlarının özelliklerine etkisini irdeleyen çok az çalışma mevcuttur[11,12].

Sağlam Metal'in Ar-Ge biriminde, nikel içerikli alüminyum bronzlarına farklı elementlerin tane küçültücü olarak katılmasının etkisinin araştırıldığı bir proje yakın zamanda başlatılmıştır. Bu çalışma ise % 0.2 gibi küçük oranlarda tane küçültücü olarak katılan kobaltın ve zirkonyumun dökülmüş ve dövülmüş durumda $CuAl_{10}Ni_5Fe_3Mn$ alaşımının özelliklerine etkisinin araştırıldığı kısmı kapsamaktadır. Alaşımlar, metal hurdasının laboratuvar ölçeğindeki bir indüksiyon ocaklarında ergitilmesi, eriyiğin dökme demirden yapılmış bir kalıba dökülmesi ve ardından sıcak dövülmesi yoluyla üretilmiştir. Dökülmüş durumdaki alaşımların tane boyutunun belirlenmesi amacıyla tüm ürünlerin makro yapısı elde edilmiştir. Tane küçültücülerin, alaşımların faz yapısına etkisini gözlemlemek amacıyla numunelerin mikro yapısı incelenmiştir. Sertlik ve mekanik özellikler ilgili test cihazlarının kullanılması suretiyle ölçülmüştür. Dövülmüş alaşımların korozyon dayanımını belirlemek amacıyla da nötr bir NaCl çözeltisinde potensiyodinamik korozyon testi yapılmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

Çalışılmış alüminyum bronz dökümlerinin kimyasal bileşim analizi Çizelge 1'de verilmiştir. Standart bir $CuAl_{10}Ni_5Fe_3Mn$ alaşımı (C63000) referans malzeme olarak kullanılmıştır. Referans malzemeye tane küçültücü olarak ağırlıkça yaklaşık % 0.2 oranında kobalt ya da zirkonyum katılmıştır.

| Malzeme | Kimyasal Kompozisyon (wt %) | | | | | | |
|----------|-----------------------------|-------|------|------|------|------|------|
| | Cu | Al | Ni | Fe | Mn | Co | Zr |
| Alaşım 1 | 81.00 | 9.89 | 5.10 | 3.00 | 0.87 | - | - |
| Alaşım 2 | 80.60 | 10.08 | 5.07 | 2.99 | 0.88 | 0.22 | - |
| Alaşım 3 | 80.80 | 10.10 | 5.07 | 3.01 | 0.87 | - | 0.26 |

Çizelge 1. Dökülmüş alüminyum bronzlarının kimyasal bileşimi

Her biri 10 kg ağırlığındaki şarjlar 15 kg kapasiteli bir açık atmosfer indüksiyon ocağında ergitilmiş ve dökme demirden yapılmış silindirik bir kalıba dökülmüştür. Tüm ingotların kesitinden alınan dairesel dilimler katılma ve tane boyutuna ilişkin bir fikir vermesi amacıyla % 10'luk HNO₃ çözeltisinde tutulmak suretiyle makro ölçekte dağlanmıştır.

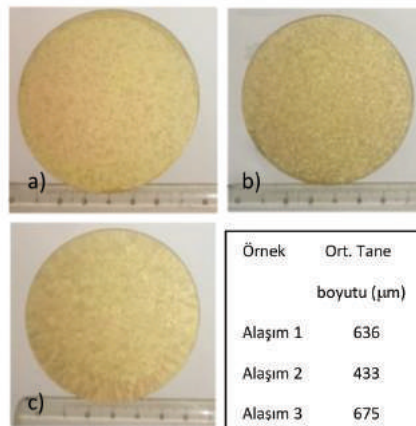
İngotların ana kütlesi 875 °C sıcaklıkta 1 saat tavlama fırında bekletildikten sonra 16 mm x 16 mm kesitinde çubuk durumuna gelecek şekilde sıcak dövme tabii tutulmuştur.

Dökülmüş durumdaki ve dövülmüş durumdaki tüm numunelerin mikro sertlik değerleri (Vickers) ölçülmüştür. Sertlik ölçümü Future-Tech FM800E mikro sertlik ölçüm cihazı kullanılarak 1000 gf'luk yükün 10 saniye boyunca uygulanmasıyla gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, dökülmüş ve dövülmüş durumdaki malzemelerin mikro yapı incelemeleri ve bunlara ilişkin fazların hacimce oranının ölçümü, numunelerin parlatılması ve kimyasal olarak dağlanmasının ardından, Nikon Eclipse MA100 marka bir ışık mikroskobu kullanılarak yapılmıştır. Numunelerin mikro ölçekte kimyasal olarak dağlanması 50 ml HCl, 10 ml HNO₃ ve 10 g FeCl₃ içeren 100 ml saf su içerisine daldırma yoluyla yapılmıştır.

Dövülmüş numunelere potentiodynamik korozyon testi uygulanmıştır. Referans elektrot olarak Ag/AgCl kullanılırken karşı elektrot olarak da bir çift grafit çubuk kullanılmıştır. 33mm x 18mm x 10mm boyutlarındaki numuneler, elektrotlar ile birlikte, saf suya % 3.5 oranında NaCl katılmasıyla oluşturulan korozif ortama daldırılmış ve bu çözeltide oda sıcaklığında 1800 saniye boyunca bekletilmiştir. Numunelerin korozyon hızları ağırlık kaybı değerlerinden yola çıkılarak ASTM G 102-89'a göre hesaplanmıştır[13].

3. DENEYSEL SONUÇLAR

3.1. Makro ve mikro yapısal incelemeler: Dökülmüş durumdaki alaşımların kesitinden alınan makro ölçekte dağlanmış, tane küçültücü içermeyen, kobalt içeren ve zirkonyum içeren, numunelerin fotoğrafları sırasıyla Şekil 1(a), 1(b) ve 1(c)'de verilmiştir.



Şekil 1. Dökülmüş durumdaki Alaşım 1 (referans malzeme), Alaşım 2 (kobalt içerikli) ve Alaşım 3 (zirkonyum içerikli) malzemelerinin kesitinin makro ölçekte dağlama yapıldıktan sonraki fotoğrafları ve ortalama tane boyutu değerleri

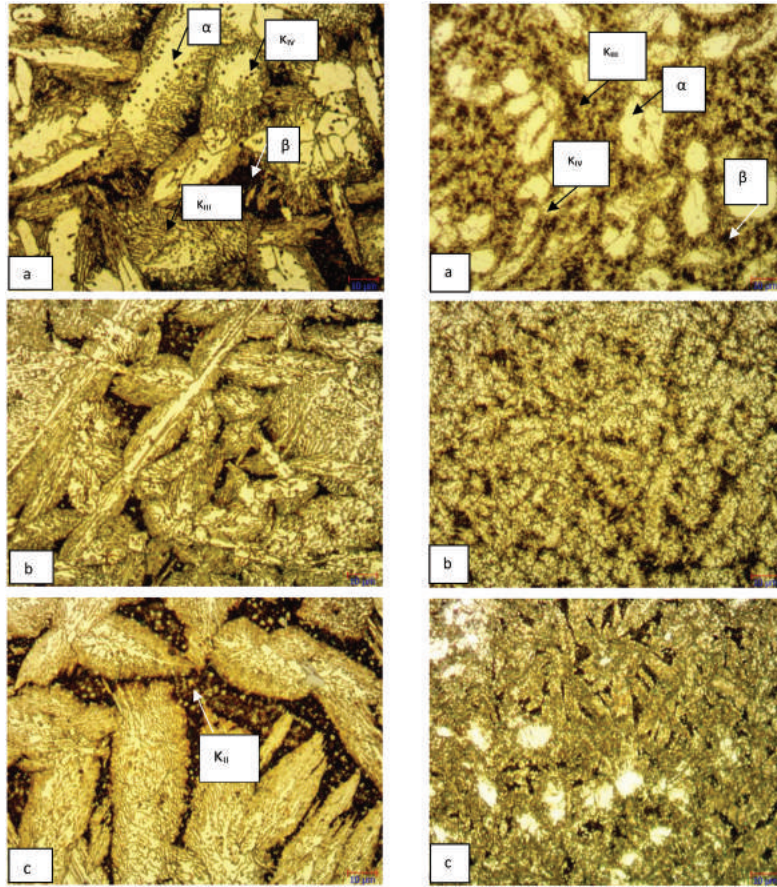
433 μm 'lik en küçük tane boyutu değeri %0.2 kobalt içeren alaşımın kesitinde elde edilmiştir. Kobaltın CuAlNiFeMn içerikli bronzların tane küçülmesinde etkili olduğu, ancak zirkonyumun hiçbir belirgin tane küçültme etkisinin olmadığı ölçümlerden anlaşılmıştır.

Bir elementin eklenmesi ile ilişkili tane küçültme mekanizmalarından bir tanesi tanenin çekirdeklenme hızının artışının ardından tane çekirdeklerinin sayısının artışıdır. Çekirdeklenme noktaları sıklaştıkça daha küçük taneler oluşur[14]. Kobalt eklenmesinin tane küçültme etkisi daha küçük tanelerin oluşmasına yol açacak şekilde daha çok sayıda çekirdeklenme noktasının oluşmasından kaynaklanmaktadır.

Dökülmüş ve dövülmüş durumda çalışılan alaşımların mikro yapı fotoğrafları sırasıyla Şekil 2'de ve Şekil 3'te verilmiştir. Alaşım 1'in, fotoğrafı Şekil 2(a)'da verilen döküm mikro yapısı, nikel içeren bir alüminyum bronzunun pek çok çalışmada tarif edilen tipik mikro yapısını temsil etmektedir[15]. Bakırca zengin alfa (α) karışık kristal fazı, martenzitik beta (β) fazı ve bazı intermetalik kappa (K) fazları (ince K_{III} , siyah yuvarlak K_{IV}) Şekil 4'te verilen şemanın yardımıyla tanımlanmıştır[15].

Her üç alaşımda dökülmüş ve dövülmüş durumda gözlemlenen fazların hacim oranı hesaplaması sonuçları sırasıyla Çizelge 2'de ve Çizelge 3'te verilmiştir. Alaşım 1'e % 0.2 oranında kobalt eklenmesi dendirit kollarının incelmeye, içerisindeki β fazının ve martenzitik α fazının miktarı azalırken bazı tipteki K fazlarının (K_{III} tipinin ince ve çokça küresel biçimleri) miktarının artmasına, ancak K_{IV} fazının yok olmasına sebep olmuştur (Şekil 2(b) ve Çizelge 2). Zirkonyum eklenmesi durumunda (Alaşım 3), α fazının miktarı daha fazla azalmış ancak martenzitik β fazının miktarı kobalt eklenmesi durumunda ki kadar keskin azalmamış (Çizelge 2) ve K_{III} fazının miktarı kobalt eklendiği durum ile yaklaşık olarak aynı olmuştur. Ek olarak, martenzitik β fazı üzerinde belirgin miktarda K_{II} fazı çökeltileri gözlemlenmiştir. Ne var ki, kobalt eklendiği durumun tersine, zirkonyum eklenmesi sonucunda dendirit kolları, Şekil 2(c)'de görüldüğü üzere, daha da kabalaşmıştır.

Nikel içeren bir alüminyum bronzunun mikro yapısı sıcaklık ve soğuma hızı gibi sıcak işleme parametrelerinin optimize edilmesi ile iyileştirilebileceği gibi kimyasal bileşiminin değiştirilmesi ile de iyileştirilebilir. Dövme işlemi sonucunda Alaşım 1 dışındaki alaşımların döküm yapıları incelirken bu iki alaşımda bulunan ayrı ayrı fazların hacim oranları değişmiştir (Şekil 3(a-c) ve Çizelge 3). Dövülmüş Alaşım 1 dökülmüş durumu ile aynı α , β ve K fazlarını içermektedir ve bunların hacim oranları da dökülmüş durumdakinden farklı değildir. Ne var ki, dövme işlemi sonucu dendirit kolları kopup neredeyse küresel şekle gelirken yeni bazı K_{IV} fazları çökelmiştir.



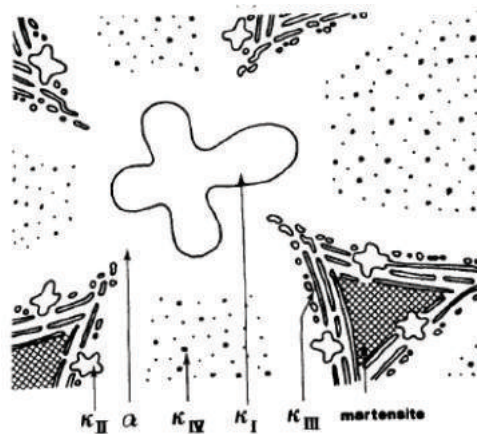
Şekil 2

Şekil 3

Şekil 2. a) Alaşım 1, b) Alaşım 2 ve c) Alaşım 3'ün dökülmüş durumunun ışık mikroskobu görüntüleri (Büyütme: 500x)
Şekil 3. a) Alaşım 1, b) Alaşım 2 ve c) Alaşım 3'ün dövülmüş durumunun ışık mikroskobu görüntüleri (Büyütme: 500x)

Sıcak dövme işlemi Alaşım 2'nin yapısının çok daha incelmesine yol açmış ancak Çizelge 3'te görülen faz oranı ölçümleri α , β ve K fazlarının hacim oranlarının sıcak dövme işlemi sonucu çok az değişmiş olduğunu ortaya çıkarmıştır. Öte yandan, küresel biçimli K_{III} fazının miktarı artmış ve bu faz mikro yapı içerisinde daha homojen olarak dağılmıştır (Şekil 3(b)).

Dövme işlemi zirkonyum eklenmiş alaşımda (Alaşım 3) α ve β fazlarının içeriğinin düşmesine ve Çizelge 2 ile Çizelge 3'ün karşılaştırılması durumunda görüleceği üzere, K fazlarının içeriğinin belirgin derecede artmasına yol açmıştır. K Fazları dövülmüş yapı içerisinde daha çok K_{IV} tipinde olup bazı bölgelerde de K_{III} tipindedir (Şekil 3(c)).



Şekil 4. Nikel içeren bir alüminyum bronzunda bulunan fazların şematik olarak gösterimi

| Faz | Alaşım 1 | Alaşım 2 | Alaşım 3 |
|-------|----------|----------|----------|
| Beta | 25.6 | 12.8 | 20.5 |
| Kappa | 35.2 | 50.2 | 53.7 |
| Alfa | 39.1 | 36.8 | 25.8 |

Çizelge 2. Dökülmüş durumdaki alaşımların fazlarının hacimce oranı

| Faz | Alaşım 1 | Alaşım 2 | Alaşım 3 |
|-------|----------|----------|----------|
| Beta | 25.2 | 17.7 | 12.9 |
| Kappa | 34.7 | 50.6 | 63.3 |
| Alfa | 40.1 | 31.6 | 23.7 |

Çizelge 3. Dövülmüş durumdaki alaşımların fazlarının hacimce oranı

3.2. Sertlik ölçümü ve çekme deneyi: Her üç alaşımların dökülmüş ve dövülmüş durumdaki numunelerinin Vickers mikro sertlik ölçümlerinin sonuçları Çizelge 4'te verilmiştir.

| Örnek | Ortalama Sertlik (HV/1000 gf) | |
|----------|--------------------------------|-------|
| | Döküm | Dövme |
| Alaşım 1 | 199,8 | 256,1 |
| Alaşım 2 | 196,1 | 273,3 |
| Alaşım 3 | 230 | 270,6 |

Çizelge 4. Alaşımların dökülmüş ve dövülmüş numunelerinin Vickers sertlik ölçümü sonuçları

Alaşım 1 ve Alaşım 2'nin dökülmüş durumdaki sertlik değerlerinin birbirine çok yakın olduğu belirlenmiştir. Öte yandan, % 0.2 oranında zirkonyum içeren Alaşım 3'ün diğer ikisinden biraz daha sert olduğu anlaşılmıştır. Büyük bir olasılıkla, daha sert fazlar olan martenzitik β ve ince K α fazlarının miktarının artışı Alaşım 3'ün dökülmüş durumdaki sertliğinin artmasına sebep olmuştur.

Dövme işlemi her üç alaşımların sertliğini belirgin derecede arttırırken Alaşım 2 ile Alaşım 3'ün sertlik değerleri birbirine yakın ölçülmüş, ancak Alaşım 1'in bu ikisinden belirgin derecede yumuşak olduğu ortaya çıkmıştır. Daha yüksek sertlik değerlerine sahip olan Alaşım 2 ve Alaşım 3'te hacimce çok yüksek K fazı oranları (sırasıyla % 50.6 ve % 63.6) tespit edilmiş olmakla birlikte K fazının tipleri bu iki alaşımda farklı oranlarda dağılmıştır. Kappa fazları nikel içeren alüminyum bronzlarının mekanik özelliklerini iyileştirir. Kappa fazlarının hacimce oranının bu iki alaşımda Alaşım 1'e göre yüksek olması bu iki alaşımların daha sert olmasına sebep olmuştur.

Dökülmüş durumdaki ve dövülmüş durumdaki sertlik değerleri arasındaki fark değerlendirildiğinde, dövme işleminin en çok Alaşım 2'nin sertliğini arttırmış olduğu, sertlik değeri dövme işleminden en az etkilenen alaşımların ise Alaşım 3 olduğu görülmektedir. Bu sonuç dövme işlemi sırasında Alaşım 3'ün yapısındaki dendirit kollarının yeterince kırılmadığını ortaya çıkaran mikro yapı fotoğrafları ile desteklenmektedir. Dendirit kollarının yapı içerisinde uygun biçimde dağılmamış olduğu, yani dövme işleminin zirkonyum eklenmiş alaşımda diğer iki alaşıma göre az bir sertlik artışına sebep olabildiği ifade edilebilir.

| Örnek | Akma Mukavemeti (MPa) | Çekme Mukavemeti (MPa) | Uzama % |
|----------|-----------------------|------------------------|---------|
| Alaşım 1 | 619 | 893,8 | 16,9 |
| Alaşım 2 | 818,5 | 1005 | 10,9 |
| Alaşım 3 | 732,6 | 962,9 | 11,5 |

Çizelge 5. Alaşımların dövülmüş numunelerinin çekme deneyi sonuçları

Dövülmüş numunelerin çekme deneyi sonuçları Çizelge 5'te verilmiştir. Bu sonuçlar sertlik ölçümü sonuçları ile ilişkili değil, ancak birbiriyle uyumludur. Metalik malzemelerde çekme dayanımı ile akma dayanımı arasındaki fark ile yüzde uzama arasında doğrusal bir ilişki olduğu bilinmektedir ve Çizelge 5'teki değerler bu bilgi ile uyumludur.

3.3. Potentiodinamik Korozyon Testi: % 3.5 NaCl içeren nötr çözeltide yapılan potentiodinamik korozyon testi tamamlandığında, her üç alaşımın korozyon hızı değerleri Çizelge 6'da verilen şekilde ölçülmüştür. Her üç alaşımın dövülmüş numuneleri arasında, kobalt içeren Alaşım 2'nin korozyon hızı en düşük değerde çıkmış, Alaşım 1 ve Alaşım 3'ün numunelerinin korozyon hızları birbirine yakın olacak şekilde daha yüksek çıkmıştır.

Alaşım 2'nin korozyon dayanımının daha yüksek çıkması küresele yakın şekildeki K_{III} fazının miktarının artışı ile ilintili olabilir; dövme işlemi her ne kadar fazlarının hacimce toplam oranını değiştirmediyse de bunların çok önemli bir miktarının korozyon dayanımını arttıran küresele yakın K_{III} tipine çevrilmesi (Şekil 3(b)) bu durumu açıklayabilir.

| Örnek | Korozyon Hızı (mm/yıl) |
|---------------------|------------------------|
| Alaşım 1 (dövülmüş) | 2.46 |
| Alaşım 2 (dövülmüş) | 1.91 |
| Alaşım 3 (dövülmüş) | 2.62 |

Çizelge 6. Alaşımların dövülmüş numunelerinin ölçülmüş korozyon hızları

4. GENEL SONUÇLAR

Bu çalışmada nikel içeren bir alüminyum bronzuna (CuAl10Ni5Fe3Mn alaşımı) tane küçültücü element olarak kobalt ve zirkonyum eklenmesinin etkileri incelenmiştir.

Alüminyum bronzuna % 0.2 oranında eklenen kobalt gerek dökülmüş durumda gerek ise dövülmüş durumda tane küçülmesinde çok etkili olmuştur. Aynı oranda eklenen zirkonyumun ise alüminyum bronzunda etkili bir tane küçültücü olmadığı anlaşılmıştır.

Hem kobalt hem zirkonyum alüminyum bronzunun sertliğini ve mekanik değerlerini iyileştirirken en düşük korozyon hızı kobalt katılmış alüminyum bronzunda kaydedilmiştir.

Dökülmüş ve dövülmüş durumda çalışılan alaşımların mikro yapı fotoğrafları sırasıyla Şekil 2'de ve Şekil 3'te verilmiştir. Alaşım 1'in, fotoğrafı Şekil 2(a)'da verilen döküm mikro yapısı, nikel içeren bir alüminyum bronzunun pek çok çalışmada tarif edilen tipik mikro yapısını temsil etmektedir[15]. Bakırca zengin alfa (α) karışık kristal fazı, martenzitik beta (β) fazı ve bazı intermetalik kappa (K) fazları (ince K_{III}, siyah yuvarlak K_{IV}) Şekil 4'te verilen şemanın yardımıyla tanımlanmıştır[15].

KAYNAKÇA

- [1] H. Collini, Copper Alloys-Early Applications and Current Performance Enhancing Process, London, Copper Development Association, 2000.
- [2] H. Meigh, Cast and Wrought Aluminum Bronzes: Properties, Processes and Structure, Copper Development Association, 2002, Hanover, USA.
- [3] A. Jahanafrooz, F. Hasan, G.W. Lorimer and N. Ridley, "Micro Structural Development in Complex Nickel-Aluminum Bronze", Metall. Trans. A, vol. 14A, pp. 1951-1956, 1983.
- [4] Y. Lv, L. Wang, Y. Han, X. Xu and W. Lu, "Investigation of Microstructure and Mechanical Properties of Hot Worked NiAl Bronze Alloy with Different Deformation Degree", Mater. Sci. Eng. A, vol. 643, pp. 17-24, 2015.
- [5] P. Jain and P. K. Nigam, "Influence of Heat Treatment on Microstructure and Hardness of Nickel Aluminum Bronze (Cu-10Al-5Ni-5Fe)", J. Mech. Civil Eng., vol. 4, Is. 6, pp. 16-21, Jan.-Feb. 2013.
- [6] Aluminum Bronze Alloys Corrosion Resistance Guide, Copper Development Association, Publication No 80, 1981, Hanover, USA.
- [7] D. Chandrasekaran, "Grain Size and Solid Solution Strengthening in Metals: A Theoretical and Experimental Study," PhD Thesis, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 2003.
- [8] M. V. Chukin, D. G. Emaleeva, M. A. Polyakova and A. E. Gulina, "Status and Prospects of Deformational Methods for Refining the Microstructure of Bulk Materials," Metallurgist, vol. 60, pp. 299-305, July 2016.
- [9] M. Powell, K. Manjiraju and Q. Han, Ultrasonic Grain Refining of Continuous Cast Aluminum: Microstructure and Properties, E. Williams, Ed., Light Metals, pp. 737-740, TMS, 2016.
- [10] M.J. Birmingham, S.D. McDonald, D.H. StJohn and M.S. Dargusch, "Beryllium as a Grain Refiner in Titanium Alloys," J. All. Comp., vol. 481, pp. L20-L23, 2009.
- [11] T. Ü. Koçak, T. Özeren and C. F. Arısoy, "Effect of Ti Addition on Microstructure, Mechanical Properties and Wear Behavior of a Nickel Aluminum Bronze," in Proc. IMMC Istanbul 2018.
- [12] C. N. Nwambu, I. M. Anyaeche, G. C. Onwubiko and E. E. Nnuka, "Modification of Structure and Mechanical Properties of Aluminum Bronze (Cu-10%Al) Alloy with Zirconium and Titanium," Int. J. Sci. Eng. R., vol. 8, Is. 1, pp. 1048-1057, January 2017.
- [13] ASTM Standard, G102-89 (2015) e1, Standard Practice for Calculation of Corrosion Rate and Related Information from Electrochemical Measurements.
- [14] M.R. Daroonparvar, M. MazarAtabaki and A. Vakilipour, "Effect of Pre-Heat Treatment on Corrosion Behavior of Nickel-Aluminium Bronze Alloy", Metalurgija-MjOM, vol. 17, Is. 4, pp. 183-198, 2011.
- F. Hasan, A. Jahanafrooz, G.W. Lorimer and N. Ridley, "The Morphology, Crystallography, and Chemistry of Phases in As-cast Nickel-Aluminum Bronze", Metall. Trans. A, 13 A (1982) 1337-1345.

OTOMOTİV YALIN ÜRETİM UYGULAMALARININ DÖKÜM SEKTÖRÜ ÜZERİNDE UYGULAMALARI

Ümmet AYYILDIZ

Prometal Hafif Metal Döküm Sanayi, Bursa, Türkiye

1. DÖKÜM SEKTÖRÜNDE ÜRETİM SİSTEMİNİN İHTİYACI

Yapılan araştırmalarda yalın üretim teknikleri kavramı Toyota üretim sistemi ile yaygınlaşmış ve uygulamaların devreye alınmasıyla birlikte işletmelerin sistematik olarak daha verimli hale geldiği görülmüştür. Yalın üretim tekniklerin uygulandığı israflardan arındırılmış proseslerin oluşturulmasıyla rekabetçilikte avantaj sağlandığı görülmektedir. Bu kapsamda genelde fasonculuğun yaygın olduğu metal döküm faaliyetlerinde otomotiv dünyasında devreye alınmış ve devam eden aktivitelerden biri olan yalın üretim araçlarının kullanımı son birkaç yıl içerisinde hızla yaygınlaşmaya başlamıştır. Aslında bu ihtiyaç endüstri 4.0 öncesi yapılması öncelikli olan bir adım olarak gözükmektedir.

İşletmelerin çalışmalarında ilk olarak bunu gerçekleştirebilmeleri için 4M olarak adlandırılan (Man-İnsan, Machine-Makine, Method-Metod, Material-Malzeme) faktörlerin birbiriyle sistematik bir şekilde çalışması gerekmektedir. Bu uyum bir saatin dişli çarklarına benzetilmektedir ve saatin doğru çalışması için her bir çarkın büyük veya küçük olmasına bakılmaksızın üzerine düşen görevi yerine getirmesi amaçlanmıştır. İşte bütün verimlilik hedefleri aslında bu çarkların birbiriyle uyumunu sağlamak üzere planlanmakta ve devreye alınmaktadır. Bu uyumun bütününe ise sistem adı verilmektedir.

Prometal, bünyesinde 20 yılı aşan döküm tecrübesi barındırmaktadır. Bu tecrübeyi kalıp teknolojisi ve makine hakimiyeti olarak sağlayabiliyor ancak tedarik zincirinin tamamında aynı tecrübeyi sağlamakta zorlanmaktaydı. Aslında bu durumun sadece Prometal'e ait olmadığı sektörün ve işletmelerin ortak problemi olduğu iş insanlarınınca bilinmekte. Döküm sektöründe özellikle zamak ve alüminyum enjeksiyon üretiminde artan bir talep olduğu gibi geniş bir çalışma alanı bulunmaktadır. Makine ve malzeme konusunda yapılan yatırımlar Prometal'i kuruluşundan itibaren istikrarlı bir şekilde büyümesini sağladı. Her işletmede karşılaşılan bu büyüme sürecinde sistem adı verdiğimiz 4M 'in uyum içinde çalışması ise büyümeyle doğru orantılı olarak zorlaşıyor, büyüme esnasında ki mevcut sistemdeki eksiklikler ve bu eksikliklere bağlı tedarik zincirinin aksayan kısımlarının artması müşteri için ciddi sorunların ortaya çıkmasına neden olmaktaydı. Tabi bu esnada başta otomotiv sektörü olmak üzere yeni bir söylem dillere, vizyonlara ve tedarikçi şartnamelerinde daha gür söylenmeye kendini hissettirmeye başladı.

1.1.SIFIR HATA SIFIR KAZA

Döküm yapan firmalarda Makine, hammadde ve kalıp temini sermaye gücüyle kolayca yapılabilir. Döküm sektörüne giriş için öncelikli yapılması gereken bu üçlüyü bir araya getirmek olarak görülmektedir ve halen pek çok firmada da böyle görülmeye devam etmektedir. Aslında bu üçlü sermaye gücünüz varsa kolayca temin edilebilir ve proses kurmak için yeterli görülen cazip bir üçlüydü. Ancak üretimi gerçekleştirmeye başladığımızda ortaya pek çok sorun çıkmakta ve çıkması zaten beklenen bir beklentidir. Ama ortada çok ciddi bir risk bulunmaktadır! Müşteri kaybı ...

Makineyi kullanan operatörün sürekli değişmesi, operatörün makine ve kalıp üzerindeki atladığı, bilmediği operasyon veya operasyonlardan dolayı zamanında yetiştirilemeyen üretim adetleri ve bozulan üretim planı büyük kaosu oluşturmaktadır. Bu kaos ise biriken bakiye problemlerine ve sonucunda müşteri kaybına neden olmaktadır. Bu kayıp ise geri döndürülmesi çok zor bir kayıp olmakta çünkü müşteri portföyünde kötü performansla sahip fabrika durumuna düşmektedirler. Bu durum

her işletmede yaşanmakta ancak müşteri portföyünün büyüklüğüne göre riskleri artmaktadır. Tabii bu durumu ortadan kaldırmak için zamanında ürünü sevk etmek için organizasyonlar ve imkanlar daha çok lojistik yönüyle parça üretmeye odaklanmakta, verim göz ardı edilmekte ve fazla mesailer müşteri siparişleri artmamasına rağmen hızlıca artmaktadır. Bu durumu yaşamamak için bir yandan da operatör sayıları artacak ve endüstri 3.0 olan otomasyonlaşma süreci göz ardı edilecektir. Bu istenmeyen durumda teslim edilen parçalarda müşteriler kendi yapılarında 10-15 yılı alan sistem kurulumlarını tamamlayarak SIFIR HATA beklentisine girdiklerinden, kalite standartları artacak ve daha önceleri kabul edilen hatalar ret olarak tanımlanacaktır. Bu durumda da lojistik reytinglerine ilave kalite reytinglerinden de kötü puanlar gelmektedir. Bu durum yani systemsizlik artık sürdürülemez bir noktaya, müşteri kayıplarına neden olacağı kaçınılmaz bir durum olarak işletmelerin önüne gelecektir.

Prometal bünyesinde bu yaşananlar görülmüş ve pek çok şirket gibi bir sistem kurulumuna ihtiyaç olduğu üst yönetimce vurgulanmaya başlanmıştır. Bu sistem gerekliliği ve kurulu içinde şirket yönetimi 2018 yılını dönüşüm yılı olarak ilan etmiştir. Yalın üretim sisteminin otomotiv ve diğer sektörlerde olduğu gibi döküm sektöründe de kurulması gerektiği aşikardır. Prometal rekabet edebilirlik ve sürdürülebilirlik için hızlıca bu yönde adımları atmış ve güçlü makine parkuru, kalıp ve bilgi birikimini bir sistem dahilinde müşterilere sunmaya karar vermiştir.

2. YALIN ÜRETİMİN PROMETAL'DE UYGULANMASI

İlk olarak yalın sistemin dışarıdan hizmet alınarak, 1 yıl içinde yapılacak bir dönüşüm projesi olmadığı yalın dönüşümün bir kültür dönüşümü olduğu, uzun yıllar alacağı ve üst yönetimin desteğinin mutlak olduğu bir süreç olacağı vurgulandı. Bu nedenle ilk olarak doğru işe doğru insan politikasıyla bir lider atanarak başlanmıştır. Değişim çalışmaları hızla başlayarak ve uzun süren çalışmalar neticesinde ilk olarak kalite de gözle görülür iyileştirmeler olduğu saptanmıştır.

Bu başarılı devam eden dönüşümde onlarca araç ve davranışsal yönetim metodları kullanıldı ve bu metodlar artarak kullanılmaya devam edilmektedir. Bu dönüşüm araçlarından biri olan yani saatin dişli çarklarından biri olan işlem gereklilikleri tablosu kullanılmaya başlanması ilk başlangıç noktalarından biri olmuştur.

Sistemin doğru çalışabilmesi için doğru tanımlama, hızlı kontrol ve erişim bilgileri gerekli görülmüştür. Prosesin müşteri ihtiyaçlarını karşılayacak basit ancak etkili bir takip ve tanımlama formatı oluşturulmuştur. Bu form aynı zamanda tüm yalın üretim araçlarının birbirine bağlayan ana zincir halkası olarak belirlenmiştir. Bu halkanın adı ise İGT/İşlem Gereklilikleri tablosu olmuştur. Bu formu şirket bünyesine uygun döküm proseslerinde kullanacak şekilde düzenlenmiştir. Şirkette birden fazla insan ve iş yığını olduğundan dolayı bunları sistematik bir şekilde toparlanması gerekmektedir ve bu amaçla posta kavramı oluşturulması ön görülmüştür. Posta kavramı en temel çalışma istasyonu olarak tanımlanmıştır. Eğer bir insan varsa o insanın yaptığı işler ve bu işleri gerçekleştirdiği istasyonlara (makine, alan vs..) posta tanımını verilmiştir.

3.1.Güncelleme Tarihi :

Formun son olarak güncellendiği tarihi belirtmektedir. Standardizasyon o anın en iyi metodu olmasından dolayı posta dokümanları yaşayan dokümanlardır. Buradaki kasıt ise sürekli olarak güncelenebilir, içeriği değiştirilebilir. En sık görülen değişiklik nedenleri;

- Operasyon sayısı ve şeklindeki değişiklik
- Postada gerçekleştirilen bir kalite analizi sonrası yapılan değişiklikler
- Postanın iyileştirilmesine yönelik yapılan KAIZEN aktiviteleri nedeniyle yapılan değişiklikler
- Postada kullanılan aletlerde ki değişiklik

Kaynaklı işlem gereklilikleri tablosu sık olarak güncellenmektedir.

3.2.Posta No :

Postaların adreslemesi için kullanılmaktadır ve işletmenin isteğine göre sıradan numaralandırma yapılabilir.

Sık olarak görülen numaralandırma metodları ;

- 10 -20 -30 ... şeklinde
- 100 – 200 – 300 ... şeklinde

Ara postaların oluşması durumunda ara numaralandırma kullanılmaktadır.

- 10-15-20-25 ... şeklinde
- 100 – 150 – 200 ... şeklinde

3.3.Posta Adı : İş yapılan istasyona verilen tanımlamadır.

3.4.Makine ,Cihaz veya Otomatik Sistemler Tarafından Yapılan Operasyonlar:

Postada tanımlanan iş sadece makine tarafından veya sadece insan tarafından gerçekleştirilebilir veya insan – makine birlikte operasyonları gerçekleştirebilir. Bu bölümde her iki çalışma durumunda da makineye,cihaza veya otomatik sisteme düşen operasyonlar tanımlanmaktadır.

Bu bölümde makinenin birden fazla yaptığı iş varsa sırlanması avantaj sağlayacaktır. Gruplanarak makro bir ifade kullanılması işlerin zaman yönetimi evresinde dezavantaj sağlamaktadır. Dolayısıyla mümkün olduğu müddetçe ürün üzerindeki kalıcı şekil değişikliğine uğratan her evre bir operasyon olarak tanımlanmalıdır.

3.5. Posta Operatörü tarafından gerçekleştirilen operasyonlar (Seri işler, frekansiyel yapılan işler, PPS aktiviteleri ...)

Çalışma postasında var olan insan tarafından gerçekleştirilen tüm aktiviteler sıralı bir şekilde yazılmaktadır. Burada iki ana grup ele alınmaktadır.

- Akıştaki aktiviteler
- Akış dışı aktiviteler

Postaya atanmış kişi tarafından yapılan tüm aktiviteler ilk olarak takibe alınır. Bu takip süresince çalışandan tüm yaptığı işleri not alması istenmektedir. Bu not alınan her türlü iş sıralanır ve yerinde gözlemlenir. (1)

(1)ÖNEMLİ NOT :

Gerek makine tarafından gerekse insan tarafından gerçekleştirilen tüm işlemlerin nasıl yapılacağı ayrıca standardize edilmelidir. Prometal de bu çalışmayı standart operasyon föyü kullanarak gerçekleştirmekteyiz ve böylece işlem gereklilikleri tablosunun diğer yalın üretim araçlarıyla olan bağlantısını sağlamaktayız.

Tanımlanan tüm işler detaylı bir şekilde standart operasyon föyüyle (SOF) tanımlanırken o işin yapılması sırasında dikkat edilmesi gereken hususlar, müşteri özel istekleri, yapılmadığı takdirde kalite , maliyet , süre , çevre veya iş güvenliği üzerinde olumsuz etki yaratabilecek önemli anahtar noktalar

bir sonraki sütunda tanımlanmaktadır.

Burada genelde akıştaki aktiviteler yani ürün üzerinde doğrudan etkisi olan operasyonlar sıklıkla yazılmıştır. Ancak akış dışı dediğimiz ve daha çok sistemin işleyişine yönelik yapılan frekansiyel aktiviteler atlanmaktadır. Ancak şunu belirtmelidir ki akıştaki ürüne etki eden aktivitelerin performansı akış dışı faaliyetlerin doğru ve eksiksiz tanımlanmasıyla doğrudan ilişkilidir.

Akış dışı aktivitelere örnekler ;

- Her vardiya başında yağ varilinin doldurulması
- Her makine duruşunda kalıbın yağlanması
- Otonom bakım aktivitesi
- Makinenin temizlenmesi
- Anormallik bildirimini yapılması
- Posta dokümanının doldurulması
- Anormallik durumunda ilgililerin bildirilmesi
- Öneri formunun doldurulması

3.6. Ürün ve Proses, Müşteri ve İşletme Açısından Etki Edecek Anahtar Noktalar:

İGT üzerindeki ilk iki sütunda tanımlanan “Makine,Cihaz veya Otomatik Sistemler Tarafından Yapılan Operasyonlar” ve “Posta Operatörü tarafından gerçekleştirilen operasyonlar (Seri işler, frekansiyel yapılan işler, PPS aktiviteleri...)” operasyonlarından gelen ürün ve proses , müşteri ve işletme açısından etkili olan anahtar noktalar tanımlanmaktadır.

Anahtar nokta kavramını ise uyulmadığında işletmeye veya personele kalite, maliyet , süre, çevre veya iş güvenliği hususunda zarar veren hususlar olarak tanımlanmıştır.

Bu bölüm özellikle çalışanlara çok iyi öğretilmesi gereken, öğretilmediğinden emin olunması ve belli periyotlarla bilindiğinin doğrulanması için çok önemlidir.

Postada yeni başlayan bir personelin eğitimi sırasında üzerinde önemle durulması gereken sütundur.

3.7.Performans ve Kalite için Standart Şartlarımız:

Çalışma postalarının başta müşteri isteklerini karşılayabilmesi sonrasında ise israflardan arındırılması amacıyla temel proses özelliklerinin tanımlanması öngörülmüştür. Bu tanımlamanın eksik olması durumunda postadaki ekipmanları kontrol edilemez , yeni bir operatör ihtiyacında insan kaynakları biriminin sisteme olan bağlantısını sağlayamaz , görsel ve mali yönetim için 5S yapılmamaktadır.

Bu bölümün eksikliğinde süreç ve proseslerin standart yönetiminden çok kişilerin istek ve yetkinliklerine göre değişken ve kayıplı bir yönetim modeli devreye girmektedir.

Prosesin ve süreçlerin standart şartların belirlenmesi ise proje aşamasından yapılarak seriye geçiş daha sağlıklı yapılmalıdır. Bu amaçla Prometal de süreçlerin yönetiminde standart ortam şartları belirlenmeye başlanmıştır.

3.8. Kullanılan Aletler :

İşlem gereklilikleri tablosunda ilk iki aşamada makine ve insan tarafından yapılan operasyonları, aktiviteleri tanımlamıştır. İşlem gereklilikleri tablosunda ilk iki aşamada makine ve insan tarafından yapılan operasyonları, aktiviteleri tanımlanmıştır .

Bir postada operasyonların yapılması için gereken ekipmanları tanımlamadığınızda ilk olarak o operasyonun istenen zamanda istenen kalitede ve verimlilikte yapıldığından söz edilmemektedir. Böyle

bir durumda 5S aktivitesinin ilk adımı olan ayıklama faaliyetini doğru bir şekilde gerçekleştirilmemektedir. Postada gerekli olan ekipman ve malzemeyle gereksiz olanı ayırt etmek için karar verme mekanizması doğrudan kişinin kararına bırakılmış olmaktadır. Eksik olan bu tanımlama kaynaklı ciddi iş kazalarının yaşanma riskinin olduğu hatta yaşandığı ise bir gerçektir. Bu durum şöyle açıklanmaktadır. Üç vardiyalı düzende çalışan enjeksiyon makinesi başında operatör kalıba parça koyarken sıkı geçmeden dolayı ;

1. Vardiya operatörü parçayı kalıba ön yerleştirme yapıp metal çekiçle parça üzerine vurmak suretiyle enjeksiyon aktivitesini başlatmakta.

a. Metal çekiç tanımlı olmadığı için gereksiz ekipman kullanımı maliyeti arttırmakta ve iş güvenliği riski taşımaktadır.

b. Metale metal çekiçle vurarak kalıp üzerinde ki parçanın geometrik deformasyona uğrama riski artmakta.

c. Parçanın kalite hatası olarak müşteriye gitmesi ve geri çağırma riski bulunmakta

d. Çekici yanlışlıkla kalıp yüzeyine vurması halinde de kalıp üzerinde deformasyona neden olarak maliyet kaybı oluşturmaktadır.

e. Çekiç için tanımlı bir alan gerekmektedir.

2. Vardiya operatörü parçayı kalıba ön yerleştirme yapıp üzerine aynı parça yardımıyla vurarak yerleştirmekte. Bu durumda ise ;

a. Hem kalıptaki parçanın hem de vurmak amacıyla kullanılan parçanın deforme olma riski bulunmaktadır.

b. Parça çekiç olarak kullanılarak amacı dışında kullanılmış olmaktadır.

c. Çekiç olarak kullanıldığı sırada elde kesik olma riski nedeniyle iş kazası geçirme riski bulunmaktadır.

3. Vardiya operatörü ise parçayı kalıba ön yerleştirme yapıp üzerine sadece eliyle oturduğundan emin olmak için parmakla bastırmakta.

Bu aktiviteler İGT (işlem gereklilikleri tablosu) olmadığı dönemde bu şekilde yapılmaktadır. Ancak İGT sayesinde postada operatör tarafından yapılacak işlemler belirtilmiş ve bu işlemler için varsa kullanılması gereken ekipmanlar “kullanılan aletler” adımıyla tanımlanmış olmaktadır.

Bu sayede bir çalışma postasında bulunması gereken alet ve ekipmanı proje döneminde tanımlıyor ve izliyor hale geliyoruz. Bu tanımlama sayesinde iş güvenliği risk analizlerinde eksik alet ve ekipman kalmamış olduğu gibi 5S aktivitelerinin ilk adımını bu tanımlamaya göre yapmaktayız. Bu sütun sayesinde işlem gereklilikleri tablosu diğer yalın üretim araçlarının ihtiyaç duyduğu bilgi ve standardı sağlamış olmaktadır.

3.9. Gerekli Ortam Şartları:

Proseste işlemleri yaparken sıklıkla ihmal edilen konu ortam şartları olduğu görülmüştür. Kalite kontrol postalarımızda operatör görsel kontrol yapmaktadır. Bu gözle kontrolde operatör parça üzerinde sağlıklı bir kontrol yapabilmesi için ortamın ışık şiddeti önemli olduğu saptanmıştır. Gereğinden fazla ışık şiddeti operatörü yoracak yetersiz ışık ise kontrol kalitesini bozacaktır. Yalın dönüşüme başlarken bu standartlar yani ortam şartlarının nasıl olması gerektiği konusunda bir fikir oluşmamıştır.

İşlem gereklilikleri tablosu her posta için hazırlandığında o postanın ortam şartları belirlenmiştir. Ortam şartları olarak ;

- Aydınlatma
- Havalandırma
- Ses

- Ergonomik koşullar
- Temizlik

Tanımlamalar yapılmaktadır. Şekil 2 'de aydınlatmaya yönelik örnek formu görülmektedir. Bu tanımlama ile postanın iş güvenliği riskleri minimize edildiği gibi kalite standartlarına ve müşteri isteklerine cevap verecek risklerden arındırılmış proses oluşturma imkanı elde edilmiştir.

| | |
|--|--------------------------------|
|  <p>UZUN SÜRELİ DURUŞLARDA (YEMEK MOLASI, 15 DK ve ÜZERİ) AYDINLATMAYI KAPAT</p> | LUX ARALIĞI : 750 -1000 |
| | ÖLÇÜLEN DEĞER : |
| | ÖLÇÜLEN TARİH : |
| | GELECEK ÖLÇÜM TARİHİ : |
| | ÖLÇEN : |
| POSTA OPERATÖRÜ ENERJİDEN SORUMLU KİŞİDİR ! | |

Şekil 2 : Posta Aydınlatma Standardı

3.10. Proses Girdileri:

Temel olarak her bir proses “girdi – işleme – çıktı” mantığında oluşturulmaktadır.. İGT sayesinde girdileri tanımlayarak görsel yönetim aracı olan 5S ‘in daha etkin yapılmasını sağlandığı gibi ürün üzerinde ki kalite seviyesi arttırılmıştır. Bu durum şöyle açıklanmıştır.

CNC postasında işlenmiş parça zımpara yapılmaktadır. Ancak bu zımpara türü herhangi bir yerde tanımlı değildir. Bu nedenle zımpara kum derinliği değişebiliyor ve bu değişkenliğe bağlı olarak ürün üzerinde kalite problemleri yaşanmaktadır. Halbuki bu o posta için bir girdiydi ve tanımlanmış olması gerekmektedir. Ancak mevcut sistemde (yalın üretim sistemi öncesi) bunun tanımlandığı bir bölüm bulunmamaktadır.

İşlem gereklilikleri tablosunda proses girdileri bölümünde zımpara türü (600 kum çap 75) tanımlanarak kalite probleminin önüne geçildiği gibi stok takibi yapılır hale gelmiş bulunmaktadır.

Başka bir durum olarak ta posta girdisi olarak “insan” faktörü bulunmaktadır. Ancak bu insan o postada yapılan işin kalitesinden ve verimliliğinden doğrudan etkili olmasına rağmen pekçok organizasyonda tanımsızdır. İşlem gereklilikleri tablosunda tanımlanmış olan makine ve insan tarafından yapılacak aktiviteler ile kullanılacak ekipmanları yönetecek insan profilinden aranan temel özellikler bu kısımda tanımlanmaktadır. Örneğin ;

- 20-35 yaş aralığı
- Meslek lisesi mezunu
- Sadece kadın
- Boy uzunluğu 1,90 altı
- Kilosu maksimum 100 kg

Bu tanımlama sayesinde insan kaynaklarının işe uygun personel bulması , polivalanslık çalışmaların daha etkin yönetilmesi sağlanmış olmaktadır.

3.11. Postada Çalışma Esnasında Gerekli Uyarılar:

Postada operatör faaliyetlerini gerçekleştirdiği sırada gerek makine tarafından yapılan gerekse operatör tarafından yapılan işlemler esnasında müşteri ve verimlilik için dikkat edilmesi gereken hususlar tanımlanmaktadır. Böylece her bir operasyon için müşteri koruma aktiviteleri tanımlanmış , öğretilmeye hazır ve denetime açık hale getirilmiş olmaktadır.

Bu kısım için örnekler ;

- Molalarda parçalar dağınık bırakılmamalı
- Masa üzerinde parçalar karışmamalı
- Postada sadece plastik çekiç kullanılmalı
- Parça sıcaklığı minimum 25 derece olmalı

3.12. Operatörün Sahip Olması Gereken Temel Yetkinlikleri:

Proseste 4M olarak önemini açıklamıştır. Bu 4M içinde parayla satın alamadığımız en önemli iki konudan biri “insan”dır. Postada verimliliği sağlayacak, müşteri isteklerini yerine getirecek çalışanın işlem gereklilikleri tablosunda belirtilen aktiviteleri yapabilmesi, standart şartları gözlemleyip gereğini yerine getirecek çalışanın sahip olması gereken bilgilerin , eğitimlerin tanımlanması esastır. Bu tanımlama sayesinde bir postaya operatör yerleştirmeden önce verilmesi gereken eğitimler, kazandırılması gereken yetkinlikler tanımlanmış olmaktadır. Bu tanımlamayla birlikte insan kaynaklarının yıllık eğitim planlarında öncelikli olması gereken eğitimler belirlenmiştir. Aynı zamanda işletmenin 4857 ve 6331 sayılı kanunlar başta olmak üzere çalışana verilmesi gereken temel, zorunlu eğitimlerin takibi ve eğitimlerin verilmesi daha kolay izlenebilir hale getirilmektedir.

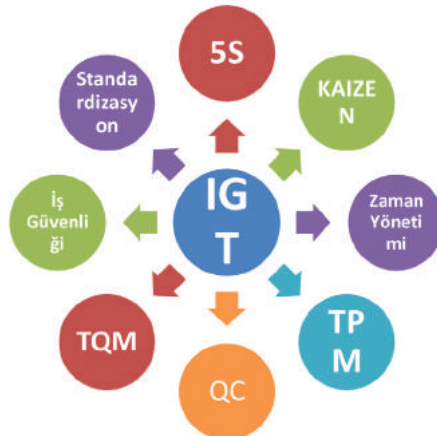
Operatörün sahip olması gereken temel yetkinlik örnekleri;

- Posta risk analizi
- Postada ergonomik faaliyetler
- Postada görsel yönetim 3S+2S
- İş yeri yönetmelikleri
- Posta başı eğitimi

3.13. İşlem Gereklilikleri Tablosunun Prometal Üretim Sistemi Araçlarıyla İlişkisi:

Prometal de verimlilik artışını sağlayarak rekabetçilik için ilk şartın sistem kurulumunun zorunluluğu olduğu konusunda üst yönetimin tam bir kararlılığı bulunmaktaydı. Bu çalışmalar büyük kurumsal işletmelerde 10 – 15 yıl içerisinde büyük yatırımlar ve organizasyonlar eşliğinde yapılmaktadır.

Bu çalışmaların bir bütün olarak ele alınmaması ise tek halkalı zinciri ortaya çıkarıp etkinliği zayıf olacaktır. Bu nedenle ilk olarak işlem gereklilikleri tablosu hazırlanarak diğer araçlarla olan entegrasyonu sağlanmıştır.



Şekil 3 : İşlem Gereklilikleri Tablosunun Prometal Üretim Sistemi Araçlarıyla İlişkisi

4.SONUÇ

İşletmede tüm bu maddeler uygulandığında kalite de gözle görülür iyileştirmeler yaşandığı görülmüştür. Kalite birimi azalan şikayetler sayesinde yaptıkları 8D analizlerinde ciddi azalmalar sayesinde stres azalmış motivasyon yükselmiştir. Kalitede ilk 7 ayda %50 iyileşme devreye alınan ve sürdürülen çalışmalar neticesinde 1 yıllık süreçte sıfır hata olarak devam etmektedir. Şirket bir yandan kalite de iyileştirme yaşayarak insan hayatı için büyük öneme sahip olan emniyet kemeri parçalarında ki kalite seviyesi müşteri tarafından taktir toplamı ve yeni yatırımların ve iş birliklerin önünü açmış bulunmaktadır. Sistemin gelişimi içerisinde devreye alınan araçlar ve sistemler sayesinde lojistik ve üretim süreçlerinde de ciddi iyileştirmeler yaşanarak bakiye problemi %200 lerden %0,0001 seviyelerine gerilemiştir.

Bu çalışmalar neticesinde gerçekleşen müşteri ziyaretlerinde müşterilerin memnuniyeti gözlemlenmiş olup yeni projeler öncesi gerçekleştirilen tedarikçi denetimlerinde yüksek (VDA...) puanların alınması sağlanarak iş hacminde büyümeler elde edilmiştir.

5.TEŞEKKÜR

Bu kadar yüksek rekabetçilik ortamında fason imalat faaliyetleri yerine müşterilerin beklediği yüksek kalite ve verimlilik için sistem kurulması kararını alarak PPS (Prometal Production System) Prometal Üretim Sisteminin kurulmasıyla işletmenin rekabet edebilirliğini güçlendiren, istihdamı koruyup arttırmayı sağlayan , sağlanan sürdürülebilirlik ile yeni müşterilerin kazanılmasıyla ciro ve ülkemize döviz girişini arttırmayı sağlayan başta Prometal Genel Müdürü Burak AZMAN'a ve yönetim kadrosuna sonsuz teşekkürler.

6.KAYNAKÇA

- Esinlenen ve Prometal'e özel olarak hazırlanan İşlem Gereklilikleri Tablosu Ümmet AYYILDIZ 'ın 13 yıllık Renault – Nissan Üretim Sistemi uzmanlığından faydalanarak hazırlanmıştır.

GRAFEN TAKVİYESİNİN A356 ALAŞIMININ MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Okan AYDIN*, Aziz KOCAVELİ**, Özen GÜRİSOY*, Eray ERZİ***,
Derya DIŞPINAR*

**İstanbul Teknik Üniversitesi, Metalurji Ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul – Türkiye*

***Vig Metal, Kütahya – Türkiye*

****İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Metalurji Ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul – Türkiye*

ÖZET

Bu çalışmada, grafenin yüksek dayanım özelliğini ve alüminyumun düşük yoğunluğu, kolay şekillendirilebilme özelliklerini birleştirerek alüminyum metal matrisli kompozit malzeme yapımı amaçlanmıştır. Deneysel süreçte dolu kalıba döküm, sıkıştırma döküm, kum kalıba döküm, gravite döküm yöntemleri denenmiştir. Yapılan denemeler sonucunda kum kalıba döküm yönteminde A356 alaşımına ağırlıkça %0.4'lük grafen ilavesinin yapılan mekanik test sonuçlarında olumlu yönde etkilediği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Alüminyum, Grafen, Kompozit, Döküm

ABSTRACT

In this study, it is aimed to produce aluminum metal matrix composite material by combining high strength of graphene and low density of aluminum and easy formability. In the experimental process, full mold casting, compression casting, sand mold casting, gravity casting methods were tried. As a result of the experiments, it was seen that the addition of 0.4 wt% graphene to the A356 alloy in the sand casting method had a positive effect on the mechanical test results.

Key words: Aluminum, Graphene, Composite, Casting

1. GİRİŞ

Kompozit, iki veya daha fazla sayıdaki aynı veya farklı gruptaki malzemelerin, en iyi özelliklerini bir araya toplamak ya da ortaya yeni bir özellik çıkarmak amacıyla, bu malzemelerin makro seviyede birleştirilmesiyle oluşan malzemelere “Kompozit Malzeme” denir. [1].

Alüminyum periyodik cetvelin III A gurubunda bulunan ve atom numarası 13, atom ağırlığı 26.89 olan +3 değerlikli, 20 °C'taki yoğunluğu 2,7 gr/cm³, ergime noktası 659,8°C, kaynama noktası 2450°C olan bir elementtir[2]. Alüminyum alaşımları bakır, çinko, silisyum, magnezyum, manganez, demir, nikel, titan vb. elementleri ilave edilerek oluşturulur. Özellikleri; hafif olmaları, ısı ve elektrik iletkenlikleri, ısı işlemlere elverişli olmaları ve bazı kimyasal etkilere karşı dayanıklı olmalarıdır. Alüminyum alaşımları döküme elverişlidir. Aynı zamanda, dövme, çekme ve haddeleme ile biçimlendirilen alüminyum alaşımları da hazırlanmaktadır. Korozyona dayanıklı ve zehirlenme tehlikesi yaratmadıklarından ilaç sanayinde ve gıda maddelerinde koruma maddesi olarak kullanılmaktadır[3].

Grafen; sp, sp², ve sp³ hibritleşmesi yapabilen karbon elementinin bir allotropu olan grafitin tek bir tabakasına verilen isimdir. İlk olarak 1994 yılında Boehm, Setton ve Stumpp tarafından grafen ismi literatüre kazandırılmıştır[4].

| Özellikler | Değer |
|---|----------------------|
| Hibrit Şekli | sp ² |
| Tabaka Sayısı | Tek Tabakalı |
| Kristal Yapısı | Hegzagonal |
| Boyut | İki |
| Saflik Derecesi (%) | 99 |
| Kütlesel (bulk) Yoğunluğu (g/cm ³) | ~0.3 |
| Gerçek Yoğunluk (g/cm ³) | 2.25 |
| Kalınlık (nm) | ~1-2 |
| Yüzey Alanı (m ² /g) | 2600 |
| Yüksek Sıcaklık Direnci | -75 +200 °C |
| Termal İletkenliği (WK ⁻¹ /m) | 4840 - 5300 |
| Elektron Hareketliliği (cm ² /(V.s)) | ~2.5x10 ⁵ |
| Elastik Modülü (TPa) | ~1 |

Tablo 1. Tek Tabakalı Grafenin Genel Özellikleri[4]

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Dolu kalıba döküm yönteminde boyutları 10x10x30 mm olan 3 köpük plaka arasına ağırlıkça %0.4 grafen tozu eklenmiştir. 750 °C'de 2 saat rezistans fırınında ergitilen alüminyum, kum içerisine yerleştirilen köpüğe dökümü yapılmıştır. Dökümü yapılan numuneye metalografi işlemleri yapıldıktan sonra ultrasonik temizleme yapılarak taramalı elektron mikroskobu (SEM)'nda EDS analizleri yapılmıştır. Dolu kalıba döküm yöntemi ile yapılan başka bi dökümde, 20x20x20 mm boyutlarında köpük katmanları arasına grafen yerleştirilmek için küp köpük içi oyularak toz grafen ile doldurulup döküm yapılmıştır.

Sıkıştırılmalı döküm yönteminde, 15 mm çapında 150 mm boyundaki A356 alaşımı çekme çubuğu

numunelerini 10'er mm olacak şekilde 3 silindir plaka kesilmiştir. Plakalar arasına ağırlıkça %0.4 grafen tozu eklendikten sonra fırında bekletilen numunelerde alüminyumun eriyip toz grafenin üstünü kaplaması amaçlanmıştır.

Bu yöntemde fırın içine yerleştirilen numuneler 700 °C'de 1,2 ve 3 saat olacak şekilde bekletildikten sonra fırından alınan numuneler 150 bar'lık basınç altında preslenmiştir. Presleme sonucunda numuneler kesilerek metalografi işlemleri, ultrasonik temizleme ve SEM incelemeleri yapılmıştır.

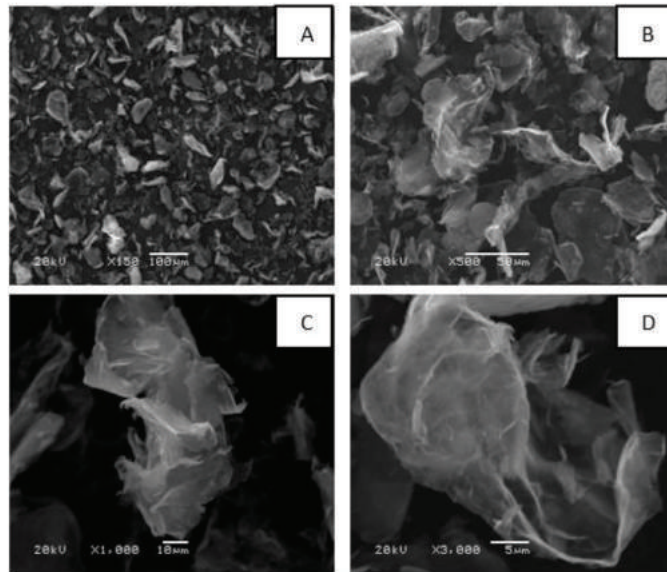
Kum kalıba döküm yönteminde, 750 °C'de 2 saat bekleyen alüminyum A356 alaşımı ile 20x20x120 mm boyutlarında kare prizma kalıbın yarısı doldurulduktan sonra toz grafen eklenmiş ve kalan boşluk tekrar alüminyum ile doldurulmuştur. Oda sıcaklığında soğutulan numuneler daha sonra rezistans fırınında 630 °C'de alüminyum yarı katı faza geçecek şekilde 20 dakika ısıtılmıştır. Fırında alınan numunelere 220 bar basınç altında presleme işlemi yapıldıktan sonra üç nokta eğme testi yapılmıştır.

Yapılan diğer kum kalıba döküm yönteminde, alüminyum folyo içine ağırlıkça %0.4 grafen tozu eklenerek yapılmıştır. Sıvı alüminyum kum kalıbın yarısı doldurulduktan sonra alüminyum folyo sıvı alüminyum yüzeyine yatırılmış ve kalan boşluk tekrar alüminyum ile doldurulmuştur. Numunenin oda sıcaklığında soğumasından sonra 630 °C'de alüminyum yarı katı faza geçinceye kadar fırında bekletilmiştir. Fırından alınan numune 220 bar basınç altında preslenmiş ve presleme işlemi görmüş numuneler üç nokta eğme testleri yapılmıştır.

Bu yöntemde folyoyu 3 farklı şekilde kalıbın içerisine yerleştirilerek denenmiştir. İlk dökümde içi toz grafen dolu alüminyum folyo alüminyumun ortasına, ikinci dökümde kalıp tabanına üçüncü dökümde ise kum kalıp ortasına folyoyu dik olarak yerleştirilerek yapılmıştır

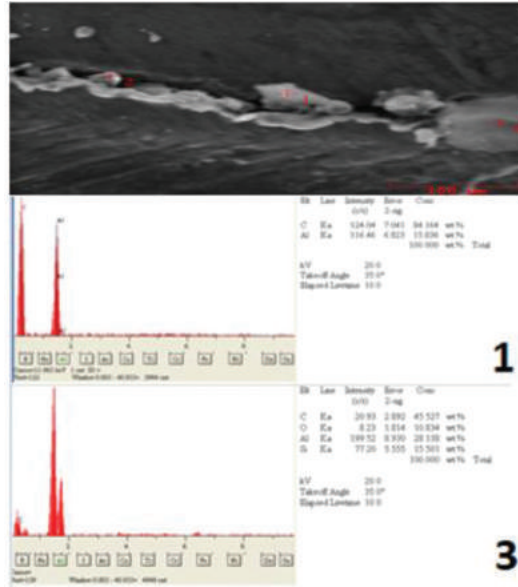
3. BULGULAR

Yapılan SEM incelemeleri sonuçlarında; dolu kalıba döküm yönteminde, toz grafenin alüminyumla (2,7 g/cm³) olan yoğunluk farkı ve grafenin ıslatmama özelliklerinden dolayı katmanlar arasında grafen ile alüminyumun homojen karışmayıp heterojen olarak toplandığı görülmüştür. Yapılan diğer dolu kalıba döküm yönteminde, küp köpük içi oyularak yapılan dökümlerin SEM incelemelerinde de ilk yapılan testlerle aynı sonuçları görülmüştür.



Şekil 1: Dolu Kalıba Döküm Yöntemi Sonucu SEM Görüntüleri (A:X150, B:X500, C:X1000, D:X3000)

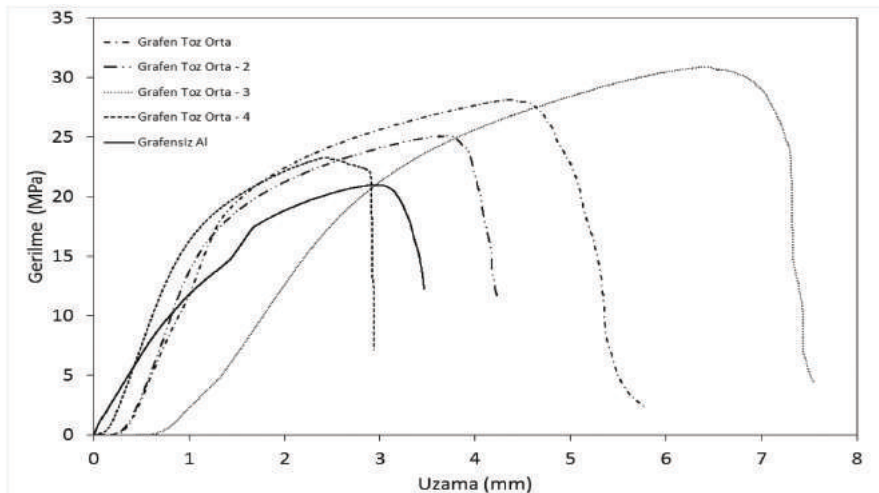
Sıkıştırılmalı döküm yönteminde, rezistans fırınında 1,2 ve 3 saat bekleyen numunelere yapılan SEM incelemelerinde; 1 saat sonunda alınan numunede, alüminyumun ergiyip katmanlar arasındaki grafeni kaplayamadığı için katmanlarda birleşim olmadığı görülmüştür. 2. saat sonunda alınan numunede, alüminyumda ergime gerçekleşip grafenin yüzeyini kapladığı ama metalografi işlemleri sırasında numunelerin katmanlarının dağıldığı görülmüştür. 3. saat sonunda alınan numunede, alüminyumun ergiyip grafenin yüzeyini kapladığı ve metalografi işlemleri sonrası yapılan SEM incelemelerinde katmanlar arasında grafenin homojen olarak değil heterojen olarak toplandığı ve karbon pikleri görülmüştür.



Şekil 2 : Sıkıştırma Döküm Sonucu SEM Görüntüleri

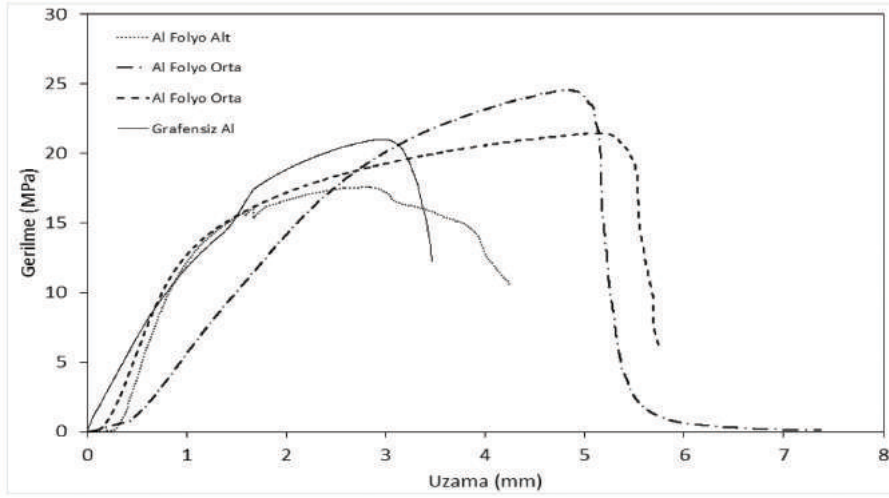
Sıkıştırılmalı döküm yöntemi sonucunda yapılan incelemelerde, grafenin alüminyum ile temas etmesi sonucu ıslatmama özelliği ve düşük yoğunluğundan dolayı homojen karışım olmayıp heterojen olarak katmanlar arasında toplandığı gözlemlenmiştir.

Kum kalıba döküm yöntemi sonucunda grafenin sıvı alüminyum içerisinde homojen olarak karışmayıp döküm yüzeyine çıktığı gözlemlenmiştir. Bu dökümler sonucunda alüminyum folyo içine grafen eklenip, kalıbın taban, orta ve dik şekilde yerleştirilerek yapılan dökümlerin üç nokta eğme testleri yapılmıştır. Üç nokta eğme testleri, mesh açıklığı 8 cm, eğme hızı dakikada 1 mm olarak yapılmıştır. Test sonuçları;



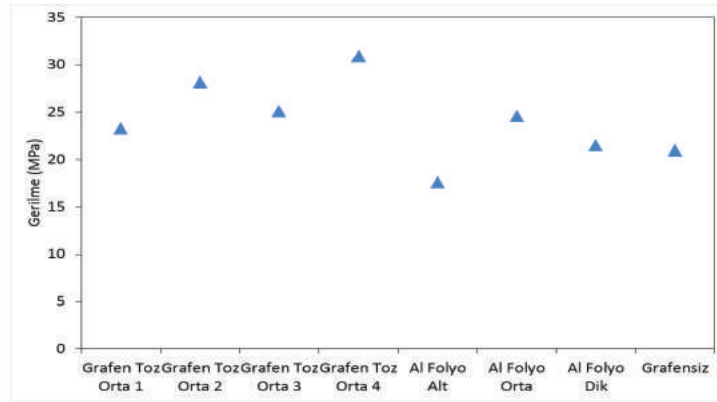
Şekil 3 : Grafen Toz Orta – Grafensiz Alüminyum Üç Nokta Eğme Test Sonuçları

Şekil 3’de grafen takviyesi olmadan A356 alüminyum alaşımının gerilimi 20 MPa’a kadar çıktığı görülürken ağırlıkça %0.4 grafenin döküm yüzeyinin ortasına eklenerek yapılan dökümlerden elde edilen numunelerin gerilim değerleri 25-30 MPa arasında olduğu görülmüştür.

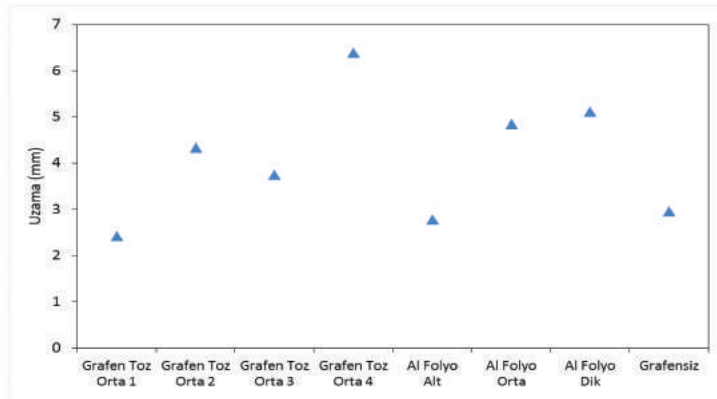


Şekil 4 : Alüminyum Folyo İçine Grafen Toz - Grafensiz Alüminyum Üç Nokta Eğme Test Sonuçları

Şekil 4’de grafen takviyesi olmayan A356 alüminyum alaşımının gerilimi 20 MPa’a kadar çıkarken, alüminyum folyo içine grafen eklenerek yapılan dökümlerin sonucundaki gerilim değerleri 20-25 MPa arasında değişmektedir.



Şekil 5 : Üç Nokta Eğme Test Sonuçlarına Göre Gerilme Değerleri



Şekil 6 : Üç Nokta Eğme Test Sonuçlarına Göre Uzama Değerleri

Kum kalıba döküm yönteminde, sıvı alüminyum ortasına grafen eklenerek elde edilen sonuçlar (Şekil 3), alüminyum folyo içine grafen eklenerek yapılan dökümlere (Şekil 4) göre daha yüksek gerilmelere dayandığı görülmüştür.

4. SONUÇ

Yapılan dökümler sonucunda A356 alüminyum alaşımının gerilim değeri 20 MPa'ken alüminyum içerisine ağırlıkça %0.4 grafen takviyesi yapılan dökümlerde gerilim değerleri 25-30 MPa değerlerine çıktığı gözlemlenmiştir. Bu çalışma sonucunda matris alüminyumlu grafen takviyeli kompozitlerin gerilme değerlerinde grafen takviyesi olmayan alüminyuma göre %25 - %50 arası artış olduğu gözlemlenmiştir.

KAYNAKÇA

- 1) Campbell, J., 2015. Complete casting handbook: metal casting processes, metallurgy, techniques and design. Butterworth-Heinemann.
- 2) Totten, G.E. and MacKenzie, D.S. eds., 2003. Handbook of Aluminum: Volume 2: Alloy Production and Materials Manufacturing (Vol. 2). CRC press.
- 3) Polmear, I., StJohn, D., Nie, J.F. and Qian, M., 2017. Light alloys: metallurgy of the light metals. Butterworth-Heinemann.
- 4) Aybarc, U., Yavuz, H., Dispınar, D. and Seydibeyoglu, M.O., 2019. The use of stirring methods for the production of SiC-reinforced aluminum matrix composite and validation via simulation studies. International Journal of Metalcasting, 13(1), pp.190-200.
- 5) Aybarc, U., Dispınar, D. and Seydibeyoglu, M.O., 2018. Aluminum metal matrix composites with SiC, Al₂O₃ and graphene-review. Archives of Foundry Engineering, 18.

ALÜMİNYUM-SİLİSYUM ALAŞIMLARINDA Fe-İNER-METALİKLERİNİN BİFİLMLERE ETKİSİ

Ertan MUŞDAL *, Özen GÜRİSOY **, Eray ERZİ *, Derya DIŞPINAR **,
**İstanbul Cerrahpaşa Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye*
***İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fakültesi, İstanbul, Türkiye*

ÖZET

Demir, alüminyum alaşımlarında yaygın bir empüredir ve diğer elementlerle bileşik oluşturmaya eğilimlidir. Zararlı etkisinin şiddeti, bu intermetalik bileşiklerin yapı içerisindeki baskın morfolojisine bağlı olarak değişmektedir. Demir intermetaliklerinin morfolojileri genelde çokyüzlü kristaller, α (Çin Harfi) ve β (iğnemi veya plaka) olmak üzere 3 gruba ayrılmaktadır. Bu çalışmada farklı kimyasal bileşimde ve soğutma oranlarında Fe-intermetaliklerinin oluşumu ve poroziteyle olan ilişkisi incelenmiştir. Çalışmada ticari saf ve A380 alaşımı kullanılmıştır. Numunelere SEM, sertlik, spektral analiz ve bifilm indeksi yöntemleri uygulanmıştır. Bilinenin aksine Fe oranındaki artış ile beraber bifilm inteksinin azaldığı tespit edilmiştir. Fe intermetalikleri bifilmelerin ıslak yüzeyleri üzerinde çekirdeklenerek potanın dibine doğru çökmüşlerdir.

Anahtar kelimeler: Fe, Bifilm, İntermetalik, Al

ABSTRACT

Iron is a common impurity in aluminum alloys and tends to form compounds with other elements. In aluminium casting. The intensity of the harmful effect varies depending on the dominant morphology of these intermetallic compounds in the structure. The morphology of iron intermetallics is generally divided into three groups as polyhedral crystals, α (Chinese script-like) and β (needle or plate-like). In this study, the formation of Fe-intermetallics in different chemical composition and cooling rates and their relationship with porosity were investigated. Commercially pure and A380 alloy were used in the study. SEM, hardness, spectral analysis and bifilm index methods were applied to the obtained samples. Contrary to common belief, it has been found that bifilm index decreases with increasing Fe ratio. The Fe-containing intermetallics nucleated on the wet surfaces of the bifilm and precipitated to the bottom of the pot due to the density difference.

Keywords: Fe, Bifilm, Intermetallic, Al

1. GİRİŞ

Demir, birincil ve ikincil alüminyum üretim proseslerinde kullanılan hammadde ve hurdalardan yapıya girer ve yapı içerisinde kalır. Sonraki bütün ileri eriyik aktiviteleri, sadece demir seviyesinin potansiyel olarak daha fazla artmasına neden olur.

Demirin, sanayide %80 gibi yüksek bir oranla tercih edilen Al-Si döküm alaşımlarında genellikle bir veya birden çok yolla zararlı etkilerinin olduğu bilinmektedir [1]. Özellikle, bu zararlı etkileşim; Al-Si alaşımlarının HPDC yöntemiyle dökümü esnasında daha büyük problem oluşturmaktadır. Enjeksiyon çeliği ve sıvı metal arasındaki etkileşim, zamanla, kalıp çeliğinden eriyik alaşıma doğru bir demir transferine neden olur. Bu geçiş, alaşım yapısında, zararlı Fe-intermetalik olarak sonuçlanırken kalıp çeliğindeki demir kaybı da kalıbın ömrünün kılmasına neden olur.

Alüminyumdaki demirin katı çözünürlüğü denge durumunda %0.05'ten az olduğu için, alüminyum alaşımlarındaki demirin hemen hemen hepsi ikinci faz parçacıklarını oluşturur [1]. Demir, tipi, boyutu, morfolojisi ve miktarı alaşım bileşimine, eriyik ısıl geçmişine, soğutma hızına ve döküm sonrası ısıl işlemlere bağlı olan demir içeren intermetaliklerin oluşumuna yol açar. Bu bileşikler, özellikle büyüklükleri ve morfolojileri, demirin dökülebilirlik ve mekanik özellikler üzerindeki önemli etkisinden sorumlu ana suçlulardır. Bu bileşiklerin bilinenleri, iğnemi/plaka tipi morfolojiye sahip β -Al₅FeSi, Çin Harfi tipi veya çok yüzlü morfolojiye sahip α -Al₈Fe₂Si ve ayrıca yine bir Çin Harfi tipi morfolojiye sahip ω -Al₈Mg₃FeSi₆'dır [2]. Si'nin yokluğunda, oluşan baskın fazlar Al₃Fe ve Al₆Fe'dir, fakat Si mevcut olduğunda baskın fazlar α -Al₈Fe₂Si ve β -Al₅FeSi'dir. Eğer Mg, Si ile mevcutsa, ω -fazı olarak adlandırılan alternatif bir ω -Al₈Mg₃FeSi₆ fazı oluşturabilir. Mn, Si ile mevcut olduğunda oluşan diğer bir ortak faz, α -fazı olarak bilinen Al₁₅(Fe,Mn)₃Si₂'dir [3]. Cu'nun varlığında ise oluşabilecek intermetalik fazlar Al₇FeCu₂ ve AlCu₂ dir [4].

Alaşım kompozisyonu ve soğutma oranı intermetalik fazların dengesini kontrol eder; düşük soğutma hızlarında ve yüksek bir Fe/Si oranında ikili Al-Fe fazları çoğunlukta olur; yüksek bir Si içeriğinde ve düşük soğutma hızında β -Al₅FeSi fazı baskındır; bu ikisinin arasında α -demir intermetalikleri (örn. α -Al₈Fe₂Si) bulunur; δ -demir Al₄FeSi₂ intermetalığı gibi Si'ce zengin üçlü fazlar yüksek soğutma oranlarında ve ağırlıkça %0,9'lu ve daha fazla Si içeriklerinde dengelenir [5].

β fazı (en zararlı faz) süneklik, kırılma tokluğu, darbe enerjisi, yorulma direnci ve belki de gerilme ve akma dayanımlarındaki düşüşün eşlik ettiği, sertlikte bir artışa neden olur [1] Ayrıca yüksek demir içeriklerinde gözenek oluşumunun, interdendritik akış kanallarını bloke eden kaba β plakamsıların çökertilmesinden kaynaklandığı öne sürülmüştür [6]. Sıvı metal; katılaşması sırasında çöken uzun dallanmış β plakaların arasındaki boşluğu besleyememesi nedeniyle büyük büzülme boşluklarının oluşmasına neden olur [7].

Fakat Cao ve Campbell [8], yaptıkları çalışmada Fe bakımından zengin fazların, çift oksit filmlerin ıslak yanlarında çekirdek oluşturabilirken, oksit filmlerinin kuru taraflarının boşluğu Fe bakımından zengin fazlarda ve alüminyum matriksinde yaygın olarak görülen çatlakları oluşturduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca Dışpınar ve Campbell [9], bifilmli çift doğası nedeniyle; birbiriyle bağlanmayan kuru yüzeylerin tersine, bifilmli ıslak dış yüzlerinin, birçok intermetalik ve ikinci fazın oluşumu ve büyümesi için mükemmel uygun substratlar oluşturduğunu belirtmişlerdir.

Bu çalışma, farklı soğutma hızlarının intermetalik morfoloji üzerindeki etkisini, intermetalik fazların alaşımın mekanik özellikleri üzerindeki etkisini ve demir içeriğinin bifilm indeksi üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla yapılmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

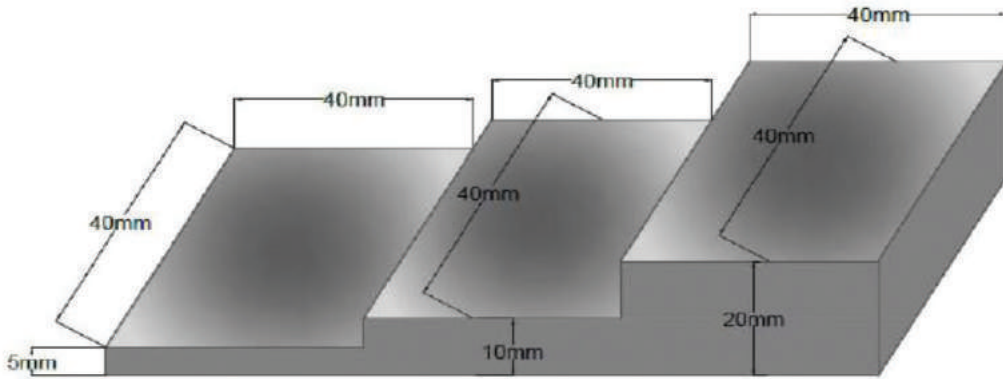
Çizelge 1’de spektral analiz sonuçları verilen 1050 ve A380 alaşımları SiC-A3 potalarda 500 g. ergitilmiştir

| % | Si | Fe | Cu | Mn | Mg | Zn | Sn | Al |
|-------------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| 1050 | 0,25 | 0,4 | 0,07 | 0,03 | 0,06 | 0,06 | - | Kalan |
| A380 | 8,31 | 0,47 | 3,14 | 0,32 | 0,11 | 0,92 | 0,14 | Kalan |

Çizelge 1. Alaşımların kimyasal bileşimleri.



Şekil 1. Sıvı metal ve Fe çubuk şematik gösterimi



Şekil 2. Basamak kum ve kokil kalıp ölçüleri.

Döküm işleminin yapıldığı kalıpların ölçüleri Şekil 2’de verilmiştir.

Bifilm indeksi tayini için RPT cihazında hazırlanan numuneler SigmaPlot programı yardımıyla hesaplanmıştır.

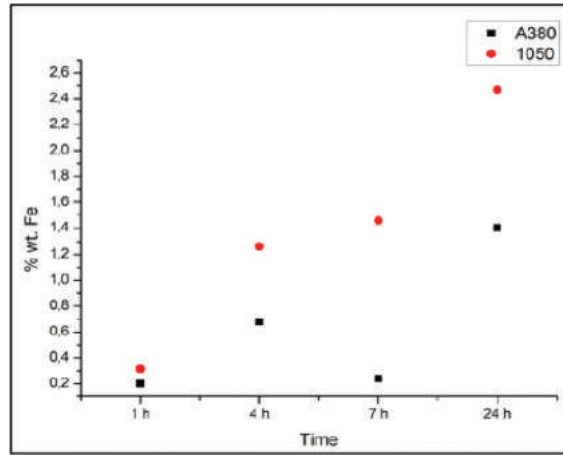
3. BULGULAR

Deney numunelerinin spektral analiz bulguları Çizelge 2’de verilmiştir.

| | A380 | | | | 1050 | | | |
|------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|
| saat | 1 sa. | 4 sa. | 7 sa. | 24 sa. | 1 sa. | 4 sa. | 7 sa. | 24 sa. |
| Fe | 0,201 | 0,682 | 0,239 | 1,4013 | 0,313 | 1,264 | 1,456 | 2,471 |
| Si | 6,561 | 6,283 | 6,306 | 6,1559 | 0,083 | 0,079 | 0,081 | 0,0763 |
| Cu | 2,306 | 3,959 | 2,047 | 3,4057 | 0,033 | 0,038 | 0,035 | 0,033 |
| Mn | 0,018 | 0,009 | 0,003 | 0,0115 | 0,002 | 0,009 | 0,021 | 0,0371 |

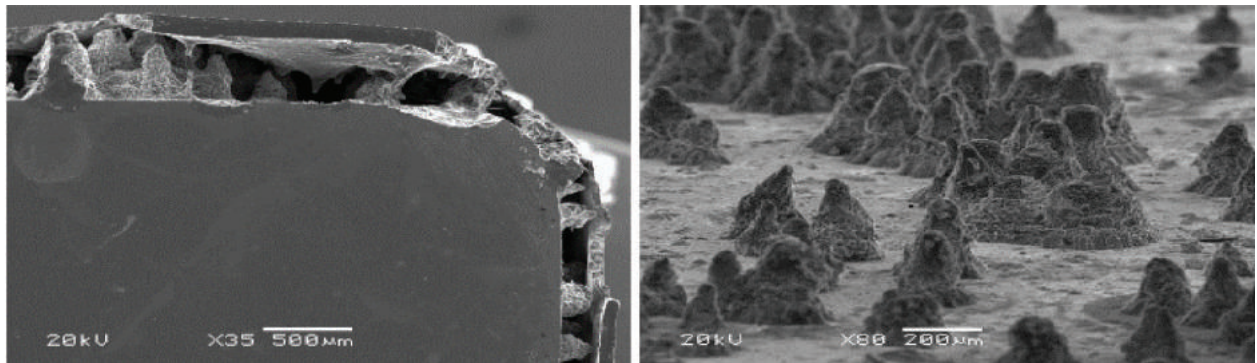
Çizelge 2. Deney numunelerinin spektral analiz sonuçları.

Çizelge 2'den alınan veriler ile Şekil 3'teki demir değişim grafiği çizilmiştir.



Şekil 3. Tutma zamanına bağlı demir içeriği değişimi.

Şekil 3'teki grafikte 1050 deki demir içeriğinin A380 e göre daha fazla arttığı görülmektedir. Demir ticari ticari saflıkta alaşımız alüminyuma daha rahat difuze olmuştur. 7 saat tutma süresine sahip alaşımda demir oranı başlangıç miktarıyla aynı çıkmıştır. Bu çalışmanın ilerisinde yapılacak çıkarım için gerekli bir veri olması nedeniyle deney tekrarlanmamış ve çalışmaya dahil edilmiştir.



Şekil 4. A380 alaşımında 1 saat tutulan demir çubuğun etrafının SEM görüntüleri.

Potada 1 saat bekletilen demir çubuğun etrafının SEM görüntüleri Şekil 4'te verilmiştir. Görüntüler yüksek basınçlı döküm yöntemiyle enjeksiyon çeliğin sıvı metal ile temas eden yüzeyinde zamanla meydana gelen kabarmalara çok benzemektedir. Tutma süresinin artmasıyla bu bacalar birleşip bir bütün olmuşlardır.



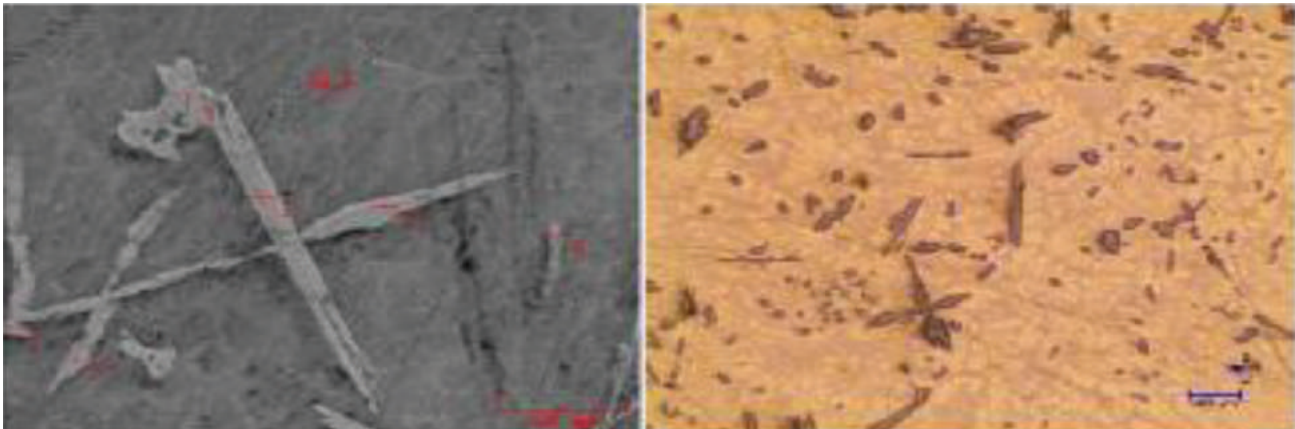
Şekil 5. 24 saat bekletilen A380 alaşımının kum kalıp orta basamak SEM görüntüleri

| a) | Al | Si | Cr | Mn | Fe | Cu |
|----|-------|-------|------|------|-------|----|
| 1 | 59,06 | 25,20 | 0,24 | 0,93 | 14,58 | - |
| 3 | 56,95 | 0,26 | 0,48 | 0,40 | 41,92 | - |
| 4 | 71,26 | 8,24 | 0,21 | 0,21 | 19,95 | - |

| b) | Al | Si | Cr | Mn | Fe | Cu |
|----|-------|-------|------|------|-------|------|
| 1 | 62,13 | 10,90 | 0,15 | 0,15 | 18,58 | 8,09 |
| 2 | 97,27 | 0,04 | 0,24 | 0,38 | 0,30 | 1,77 |
| 3 | 66,76 | 19,19 | 0,48 | 0,56 | 13,02 | - |
| 4 | 66,52 | 10,87 | - | 0,08 | 22,53 | - |

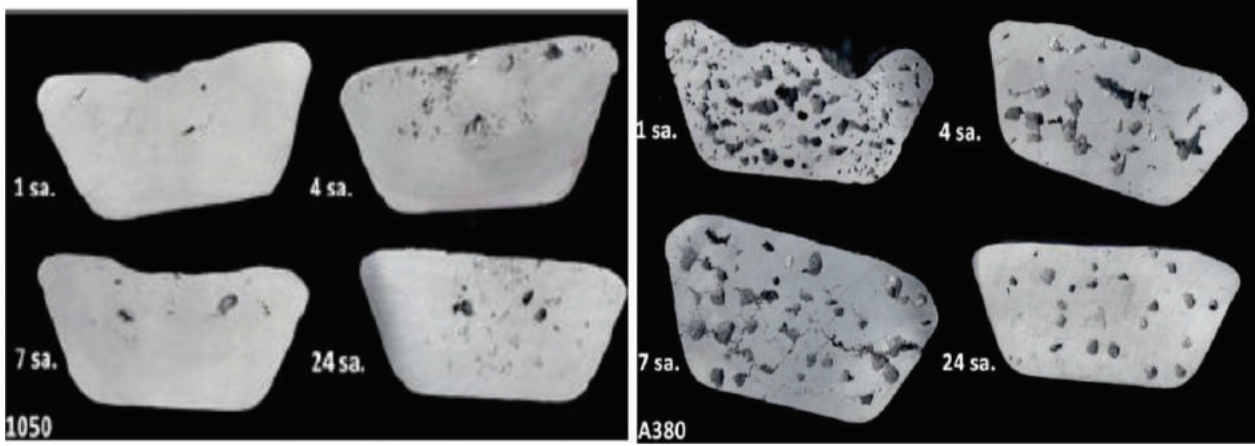
Çizelge 3. Şekilde 8'deki mikro yapıların EDS analizleri

Şekil 5'deki SEM görüntüleri ve Çizelge 3'teki EDS verileri β -intermetalitiği ve porozitenin yakından ilişkisini göstermektedir. β plakalarının arasında porozite görünmektedir. 24 saat tutma süresine sahip A380 alaşımıyla yapılan denemede bu şekildeki β -intermetalitiği ve porozite görüntülerine -ince basamak hariç- çok fazla rastlanmıştır.



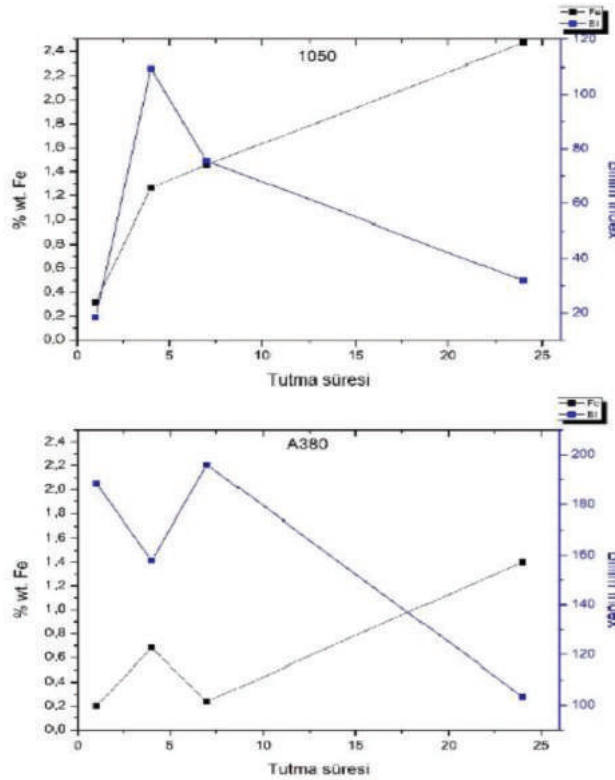
Şekil 6. 24 saat bekletilen 1050 alaşımının kum kalıp orta basamak SEM ve mikro yapı görüntüsü.

Şekil 6'da 1050 alaşımıyla yapılan dökümlerde demir içeriği daha fazla olmasına rağmen A380 alaşımındaki kadar poroziteye rastlanmamıştır.



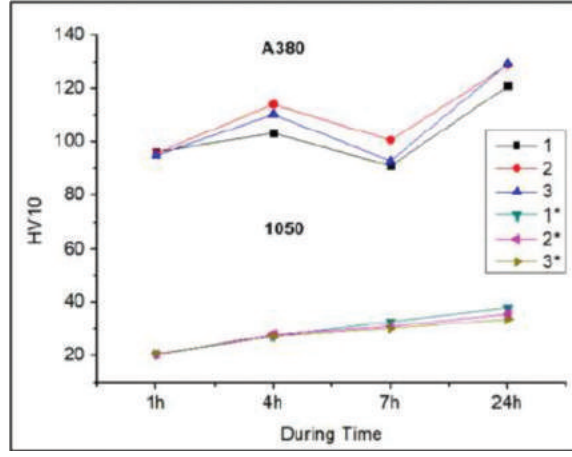
Şekil 7. Sırasıyla 1050 ve A380 alaşımı ile yapılan deneylerin bifilm analizi yapma-küzere hazırlanan RPT numuneleri

Şekil 7'de deneylerden elde edilen RPT numuneleri görülmektedir. Tutma süresinin yani demir oranının artmasıyla bifilm daha fazla azaldığı görsel olarak da görülmektedir.



Şekil 8. Sırasıyla 1050 ve A380 alaşımı numunelerinin Tutma süresine göre % ağırlık Fe - Bifilm İndeks grafiği

SigmaPlot programı yardımıyla elde edilen bifilm indeks değerine karşın demir içeriği Şekil 8'de verilmiştir. Alaşımdaki demir oranının artmasıyla bifilm indeks ters orantılı olarak hareket edip azalmıştır. Literatürde genel olarak kabul görmüş demir içeriğinin artmasıyla porozitenin de artacağı bilgisi, burada tam tersi işlemiştir. Bu veriler demir içeriği artışının bifilm üzerinde bir etkisi olduğunu göstermektedir.



Şekil 9. A380 ve 1050 alaşımının 1 (ince), 2 (orta) ve 3 (kalın) parçalarına uygulanan sertlik analiz sonuçları

Demir içeriğinin artışının her iki alaşım için de sertliği arttırdığı Şekil 9'de görülmektedir. Sertlik artışı, soğuma süresi olarak kıyaslandığında en yavaş soğuyan dolayısıyla da intermetalik oluşumuna en çok müsaade eden deney şartı kum kalıp olan numunelerde beklenir. İnce basamaklara doğru sertliğin daha da artması aynı zamanda yüksek soğuma hızından kaynaklı tane küçülmesidir.


4. SONUÇLAR


- Demir, bifilmelerin üzerinde çekirdekleşmiş ve yoğunluk farkıyla beraber tutmasüresinin de artmasıyla potanın altına doğru sürüklenmiştir. Bu koşullar altında tane inceltici ve mikroyapı arasında net bir ilişki tespit edilememiştir.
- A380 ile her şartta yapılan döküm işlemlerinde β intermetalige her şartta rastlanmışken α (Chinese script) intermetalige rastlanmamıştır.
- Her iki kalıbın ince basamaklarında poroziteye rastlanmamıştır.
- Demir içeriğinin ve soğutma hızının artışı her iki alaşım için de sertliği arttırmıştır.

5. KAYNAKÇA

- [1] W. Khalifa, F.H. Samuel, and J.E. Gruzleski, "Iron Intermetallic Phases in the Al Corner of the Al-Si-Fe System", Metallurgical and Materials Transactions A, V.34A, 2003, P. 807-825.
- [2] T. O. Mbuya, B. O. Odera, S. P. Ng'ang'a, "Influence of iron on castability and properties of aluminium silicon alloys: literature review", International Journal of Cast Metals Research, Vol.16, 2003, P. 451-465.
- [3] Taylor, J. A, "Iron-Containing Intermetallic Phases in Al-Si Based Casting Alloys". Procedia Materials Science, V.1, 2012, P. 19-33.
- [4] Lu L and. Dahle A.K, "Iron-Rich Intermetallic Phases and Their Role in Casting Defect Formation in Hypoeutectic Al-Si Alloys", Metallurgical and Materials Transactions A, V.36A, 2005, P. 819-835.
- [5] Moustafa, M.A. , "Effect of iron content on the formation of α -Al₅FeSi and porosity in Al-Si eutectic alloys", Journal of Materials Processing Technology, V.209, 2009, P.605-610.
- [6] X. Cao and J. Campbell "The Solidification Characteristics of Fe-Rich Intermetallics in Al-11.5Si-0.4Mg Cast Alloys", Metallurgical and Materials Transactions A, V.35A, 2003, P. 1425-1435.
- [7] D. Dispınar and J. Campbell, "Supercooling of metal in fine filters", J Mater Sci.,V.42, 2007, P. 10296-10298.



 /Tudoksad1976

 /Tüdöksad @TurkDokum

 /Türkiye Döküm Sanayicileri Derneği

 /Tüdöksad - Döküm Sanayicileri Derneği

 /Türkiye Döküm Sanayicileri Derneği