T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Al-Fe-Si ALAŞIMLARINDA SOĞUMA HIZININ Fe İNTERMETALİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ

Sefa ALPER

DANIŞMAN
Doç. Dr. Sebahattin KIRTAY

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Programı

İSTANBUL-2019

Bu çalışma 22.07.2019 Tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Programı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

TEZ JÜRİSİ

Doç. Dr. Sebahattin KIRTAY (Danışman)
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

Doç. Dr. Kerem Altuğ GÜLER
Yıldız Teknik Üniversitesi
Kimya Metalurji Fakültesi

Doç. Dr. İlven MUTLU
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
MühendislikFakülte

20.04.2016 tarihli Resmi Gazete'de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa'nın abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

ÖNSÖZ

Lisan ve yüksek lisans süreçlerimde yanımda olan Doç. Dr. Derya DIŞPINAR'a, tez yazım aşamasında tecrübesini esirgemeyen sayın danışmanım Doç. Dr. Sebahattin KIRTAY'a,

Bölümümüz imkanlarını bizlere sağladığı için Prof. Dr. İbrahim YUSUFOĞLU ve Prof. Dr. Gökhan ORHAN, Doç. Dr. İlven MUTLU, Dr. Öğretim Üyesi Nuray BEKÖZ ÜLLEN,

Laboratuvar çalışmalarında ve analizlerimde bana her zaman ekip olduğumuzu hissettiren çalışma arkadaşlarım Metalurji ve Malzeme Mühendisi Erdem Nuri BAŞ, İlkay YAVAŞ, İnal Kaan DUYGUN ve İbrahim Göksel HIZLI'ya,

Tüm eğitim öğretim hayatım boyunca maddi manevi desteklerini esirgemeyen aileme ve her zaman yanımda olan çok sevdiğim kız arkadaşım Zeynep TOPÇU'ya

Sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Haziran 2019 Sefa ALPER

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ ..... **iv**
İÇİNDEKİLER ..... **v**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **vi**
TABLO LİSTESİ ..... **viii**
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ ..... **ix**
ÖZET ..... **x**
SUMMARY ..... **xi**
1. GİRİŞ **1**
2. GENEL KISIMLAR **2**
2.1 ALÜMİNYUM ÖZELLİKLERİ 2
2.2 DÖKÜM VE DÖKÜM HATALARI 2
2.2.1. Döküm Yöntemi ve Avantajları 2
2.2.2 Döküm Kalitesini Etkileyen Parametreler 4
2.3 SEKONDER ALAŞIM ÜRETİMİ 6
2.4 KUM KALIPLAMA TEKNİĞİ İLE DÖKÜM 8
2.5 ALÜMİNYUM DEMİR İNTERMETALİK BİLEŞİKLERİ VE ÖZELLİKLERİ 11
3. MALZEME VE YÖNTEM **14**
4. BULGULAR **21**
4.1 KİMYASAL BİLEŞİM ÖLÇÜMÜ 21
4.2 MİKROYAPI GÖRÜNTÜLERİ 22
4.3 SERTLİK ÖLÇÜM SONUÇLARI 26
4.4 RPT ANALİZ BULGULARI 27
4.5 SEM İNCELEMESİ VE EDS ANALİZLERİ 30
5. TARTIŞMA VE SONUÇ **37**
KAYNAKLAR **40**
ÖZGEÇMİŞ **43**

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1: Sıvı metalin hareketiyle yüzeyindeki oksitlerin katlanarak çift oksit yapıyı oluşturması. 7

Şekil 2.2: (a) Bifilm içeriği yüksek, (b) Bifilm içeriği düşük, (c) Bifilm içermeyen sıvı alüminyumun kalıp dolumunda ilerleyişi [22]. 8

Şekil 2.3: Kum kalıba döküm gösterimi [14]. 9

Şekil 2.4: Fe-Al faz diyagramı [30]. 12

Şekil 3.1: Rezistans fırın ve F9 pota içerisinde külçe ergitme işlemi. 155

Şekil 3.2: Demir tozunu sıkıştırmak için kullanılan dikey pres 155

Şekil 3.3: Pres ile sıkıştırılarak elde edilen demir pelet 166

Şekil 3.4: Negatif kalıptan çıkan hazır kum kalıplar ve geometrisi. 177

Şekil 3.5: Kum kalıp hazırlanmasında kullanılan reçine ve sertleştirici oranları. 188

Şekil 3.6: Kalıp kumu hazırlamada kullanılan mekanik karıştırıcı. 188

Şekil 3.7: RPT- Vakum altında katılaştırma cihazı. 19

Şekil 3.8: Vakum altında katılaştırma cihazının kullanılışı. 200

Şekil 4.1: Tutma süresine bağlı olarak çamur faktörü değişimi. 211

Şekil 4.2: 1 saat tutma süresi sonunda dökülen numunenin mikroyapısı. 222

Şekil 4.3: 2 saat tutma süresi sonunda dökülen numunenin mikroyapısı. 233

Şekil 4.4: 3 saat tutma süresi sonunda dökülen numunenin mikroyapısı. 233

Şekil 4.5: 4 saat tutma süresi sonunda dökülen numunenin mikroyapısı. 244

Şekil 4.6: 5 saat tutma süresi sonunda dökülen numunenin mikroyapısı. 244

Şekil 4.7: Soğuma hızına bağlı olarak SDAS-İkincil dendrit kolları mesafe ölçümü 255

Şekil 4.8: Farklı soğuma hızlarında sertlik değerlerinin değişimi. 266

Şekil 4.9: Demir içeriği bulunmayan sekonder alaşımın RPT döküm ara yüzeyi. 277

Şekil 4.10: 1 saat demir toz peleti ile bekletilen potanın RPT döküm ara yüzeyi. 277

Şekil 4.11: 2 saat demir toz peleti ile bekletilen potanın RPT döküm ara yüzeyi. 288

Şekil 4.12: 3 saat demir toz peleti ile bekletilen potanın RPT döküm ara yüzeyi. 288

Şekil 4.13: 4 saat demir toz peleti ile bekletilen potanın RPT döküm ara yüzeyi. 288

Şekil 4.14: 5 saat demir toz peleti ile bekletilen potanın RPT döküm ara yüzeyi. 29

Şekil 4.15: Bifilm İndeksin tutma süresine göre değişimi. 29

Şekil 4.16: Tutma süresine bağlı olarak ağırlıkça yüzde demir ve bifilm indeks değişimi. 300

Şekil 4.17: 1 saat tutma süreli RPT numunesindeki poroziteler kenarındaki intermetalikler.....311

Şekil 4.18: 1 saat tutma süreli RPT numunesinde işaretli bölgenin EDS analiz pikleri. 311

Şekil 4.19: 2 saat tutma süreli RPT numunesinin matriksinde dağılmış intermetalikler. 322

Şekil 4.20: 2 saat tutma süreli RPT numunesinde işaretli bölgenin EDS analiz pikleri. 322

Şekil 4.21: 3 saat tutma süreli RPT numunesinin matriksinde dağılmış intermetalikler. 333

Şekil 4.22: 3 saat tutma süreli RPT numunesinde işaretli bölgenin EDS analiz pikleri. 333

Şekil 4.23: 4 saat tutma süreli RPT numunesinin matriksinde dağılmış intermetalikler. 344

Şekil 4.24: 4 saat tutma süreli RPT numunesinde işaretli bölgenin EDS analiz pikleri. 344

Şekil 4.25: 5 saat tutma süreli RPT numunesinin matriksinde dağılmış intermetalikler. 355

Şekil 4.26: 5 saat tutma süreli RPT numunesinde işaretli bölgenin EDS analiz pikleri. 355

Şekil 4.27: 5 saat tutma süreli RPT numunesinde porozite içerisindeki intermetalik görüntüsü. 366

Şekil 4.28: Bekletme sonrası pota içerisindeki pelet görüntüsü. 366

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 3.1: Deneyde kullanılan alaşımın yüzde elemet içeriği.....14

Tablo 3.2: Fe kaynağı olarak kullanılan Fe tozunun yüzde element içeriği 14

Tablo 4.1: Tutma süresine göre yapılan dökümlerin kimyasal bileşimi.....211

Tablo 4.2: 1 saat tutma süreli RPT numunesinde işaretli bölgenin EDS analiz sonucu.....311

Tablo 4.3: 2 saat tutma süreli RPT numunesinde işaretli bölgenin EDS analiz sonucu.....322

Tablo 4.4: 3 saat tutma süreli RPT numunesinde işaretli bölgenin EDS analiz sonucu.....333

Tablo 4.5: 4 saat tutma süreli RPT numunesinde işaretli bölgenin EDS analiz sonucu.....344

Tablo 4.6: 5 saat tutma süreli RPT numunesinde işaretli bölgenin EDS analiz sonucu.....355

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Kısaltmalar	Açıklama
SEM	: Scanning Electron Microscope
EDX	: Energy-dispersive X-ray spectroscopy
BI	: Bifilm İndeks
SDAS	:Secondary Dendrite Arm Space, Dendritlerin ikincil kolları arası mesafe

ÖZET

Al-Fe-Si ALAŞIMLARINDA SOĞUMA HIZININ Fe İNTERMETALİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SEFA ALPER

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Sebahattin KIRTAY

Al – Si alaşımları günümüz sanayisinde önemi ve kullanım alanı gün geçtikçe artmaktadır. Sanayi içinde ise özellikle otomotiv sektöründe mekanik ve fiziksel özellikleri nedeniyle tercih sebebidir. Al alaşımlarının kullanım alanları belirlenirken en önemli parametrelerin başında mukavemet gelir. Mukavemete etki eden faktörlerin biride Fe intermetalikleridir. Kompleks geometride olan bu fazlar çentik etkisi ile malzemenin direncini düşürür.

Bu çalışmada ergitilen A360 alaşımının içerisine Fe tozlarından oluşan pelet atılmıştır.Belirlenen bekletme sürelerin sonunda basamak kum kalıba ve vakum altında katılaşma yöntemi ile dökümler alınarak soğuma hızına ve bekletme sürelerine bağlı olarak Fe intermetaliklerinin mikroyapı, mekanik özellikler ve sıvı metal kalitesi üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Haziran 2019, ... sayfa.

Anahtar kelimeler: Alüminyum, soğuma hızı, demir intermetalik

SUMMARY

EFFECT OF COOLING RATE ON Fe INTERMETALLICS IN Al-Fe-Si ALLOYS

M.Sc. THESIS

SEFA ALPER

Istanbul University-Cerrahpasa

Institute of Graduate Studies

Department of Metallurgical and Materials Engineering

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Sebahattin KIRTAY

Al - Si alloys are becoming more and more important in today 's industry. Within the industry, especially in the automotive sector, it is preferred due to its mechanical and physical properties. The strength of Al alloys is one of the most important parameters when determining the application area. One of the factors affecting the strength is Fe intermetallics. These phases in complex geometry reduce the resistance by notching effect.

In this study, pellets of iron powders were thrown into the melted A360 alloy. The effect of iron intermetallics on the microstructure, mechanical properties, and liquid metal quality was investigated at the end of the determined waiting times by casting the step sand mold and solidification under vacuum method.

June 2019, ... pages.

Keywords: Aluminum, cooling rate, iron intermetallics

1. GİRİŞ

Alüminyum alaşımları, günümüzde pek çok alanda sahip olduğu dövülebilirlik, dökülebilirlik, düşük yoğunluk- yüksek mukavemet (spesifik mukavemet), yüksek korozyon direnci vb. özellikleri sayesinde tercih edilmektedir. Alaşımlandırma ve çeşitli mukavemet arttırma işlemleri yapılarak çok geniş bir kullanım alanına sahiptir. Alüminyum dökümü ise rafinasyon prosesi olan Hall-Herault yönteminin geliştirilmesi ile ekonomik olarak mümkün hale gelmiştir. 20. yy başlarına kadar alüminyum dökümünün uygulama alanları sadece dekoratif ürünler ve mutfak gereçleri ile sınırlı olmuştur. Ancak, 2. Dünya savaşından sonra tüm metalurjik araştırmalarda olduğu gibi alüminyum döküm endüstrisi de ivmelenerek gelişmeye başlamıştır. Bu sebeple gerekli ticari ve teknik mühendislik seviyesindeki yapısal ihtiyaçları karşılamak üzere yeni kompozisyonlarla birlikte yeni döküm yöntemleri geliştirilmeye başlanmıştır. Ayrıca, son yıllarda dünya genelindeki enerji seferberliği bu mucize metalin geri dönüşebilirliğini ve sahip olduğu mekanik özellikleri sayesinde bisikletten uçaklara ulaşım sektöründe, inşaat sektöründe ve potansiyel ihtiyacı olan tüm sektörlerin tercihi olmuş ve olacaktır [1-4].

Alüminyumun üretiminin ekonomik yöntemlerle yapılabilmesi yani geri dönüştürülebilir olması ekonomik açıdan vazgeçilmez olmasını sağlamaktadır. Döküm ve dövme yoluyla şekillendirilmiş bir son ürün potalarda tekrar ergitilerek ve ihtiyaç duyulan kimyasal bileşimi element katkılarıyla sağlanarak yeniden dökülebilir. Yeniden ergitme işlemleri sırasında parçaların künyesinin bilinmesi önemlidir.Hurda veya fire olarak alınan parçaların hangi hattan çıktıklarını bilmek, içerdikleri hatalara ışık tutar.Boyandıktan sonra üretim firesi olarak ayrılan bir parçanın yeniden ergitilmesi işlemi için baca filtreleri uygun tesis gerekmektedir [5]. Yüksek basınçlı dökümle üretilen motor kapaklarında demir burç kullanılıyorsa yeniden ergitilmeden önce kesinlikle çıkarılmaları gerekir. Aksi takdirde ergitme işlemi boyunca çözünerek sıvı metalin bileşimini değiştirirler. Bu ve benzeri durumlarda sıvı metalin kalitesinin ve bileşiminin nasıl değiştiğini anlamak üzere çalışmalar yapılmaktadır [6-13].

Bu çalışmada kum kalıp yöntemiyle üretilen parçanın dökületeceği sekonder alaşım hazırlanırken demir kaynağı içermesinin sıvı metal kalitesi ve parçanın mekanik özelliklerine etkisi tutma süresine bağlı olarak incelenmiştir.

2. GENEL KISIMLAR

2.1 ALÜMİNYUM ÖZELLİKLERİ

Alüminyum havayla temasından ötürü yüzeyinde ince-koruyucu bir oksit tabakası oluşturmasından dolayı gümüşümsü renkte bir elementtir. Al_2O_3 formülüne sahip bu koruyucu tabaka sayesinde korozyon direnci yüksektir. Oluşan oksit tabakası, malzemenin geri kalanının oksitlenmesini engeller. Üretimi sırasında herhangi bir zehirli gaz emisyonu yoktur. Alüminyumun yoğunluğu çeliğin yoğunluğunun yaklaşık üçte biri (Fe: 7,8 g/cm^3, Al: 2,7 g/cm^3) olmasından dolayı çoğu süs eşyalarında ve ağırlığın dezavantaj olduğu kullanım alanlarında uygun alaşımlama ile tercih edilir. Saf iken 49 MPa olan çekme dayanımı alaşımlandırmayla birlikte 700 MPa değerlerine çıkabilmektedir. Alaşımlandırmadaki temel amaç hafiflik, süneklik, korozyon direnci gibi avantajlarını koruyarak mukavemetini kullanım alanına göre arttırmaktır. Hafifliği ve mukavemeti sayesinde uçak, otomotiv ve inşaat sanayi gibi önemli sektörlerde tercih sebebidir. Alüminyum alaşımlarının mekanik, fiziksel ve kimyasal özellikleri alaşım elementlerine ve mikroyapısına bağlı olarak değişir. İyi yansıtma, elektrik ve termal iletkenlik gibi özellikleri saflığa bağlı olarak değişmektedir. Hooper üçlü elektroliz ve Zone rafinasyonu sayesinde saflığa çok yakın içerikte (% 99,99995) alüminyum üretilmektedir. Geri dönüşebilirlik özelliği sayesinde kullanım ömrünü tamamlayan, üretimde fireye ayrılan veya hurdaya çıkan alaşım parça yeniden ergitilip şekil verilerek yeni kullanım alanlarına hizmet verebilir [1-3].

2.2 DÖKÜM VE DÖKÜM HATALARI

2.2.1. Döküm Yöntemi ve Avantajları

Metal ve metal alaşımlarına şekil vermenin birçok yöntemi vardır. Bunlar;

- Döküm
- Mekanik Şekillendirme: Dövme, Haddeleme, Ekstrüzyon, Tel çekme, Sac şekillendirme
- Talaşlı İmalat
- Toz Metalurjisi

- Kaynak olarak sıralanabilir.

Üretilmek istenilen ürünün üretim şeklini seçerken birçok parametre etkilidir. Bu konuda üretmek istenilen parçanın cinsi, şekli, geometrisi, miktarı, mekanik özellikleri (mukavemet, dayanım, korozyon vb.) ve maliyeti göz önüne alınarak kullanılması gereken şekil verme yöntemine karar verilir. Şekillendirme yöntemlerinden olan döküm; ergitilmiş metal ve metal alaşımlarının istenilen geometrinin negatifi olan bir boşluğa dökülüp katılaştırma suretiyle istenilen geometriyi elde etme yöntemidir.

Metal veya alaşımı sıvı duruma getirme, oluşturulan kalıp içerisindeki boşluğa dökme, tamamen katılaşmasını bekleme, kalıp içerisindeki parçayı çıkarma aşamalarıyla döküm gerçekleşmiş olur.

Döküm yolu ile şekil vermenin farklı yöntemleri vardır. Bunlar;

Harcanan Kalıp Kullanılarak Yapılan Döküm Yöntemleri;

1. Kum Kalıba Döküm: Yaş kum kalıba döküm, Kuru kum kalıba döküm, CO_2 yöntemiyle hazırlanmış kum kalıba döküm, Çukur kalıba döküm, Maça kalıbına döküm, Vakumlu kalıba döküm
2. Seramik Kalıba Döküm
3. Hassas Döküm
4. Alçı Kalıba Döküm
5. Kaybolan Köpükle Döküm
6. Kabuk Kalıba Döküm

Kalıcı Kalıp Kullanılarak Yapılan Döküm Yöntemleri;

1. Metal (Kokil) Kalıba Döküm
2. Basınçlı Döküm
3. Savurma (Santrifüj) Döküm
4. Sürekli Döküm

Döküm ile parça üretiminin avantajları;

- İçten ve dıştan çok karmaşık şekilli parçalar için uygundur. Böylece, bazı imal usulleri azaltılabilir veya tamamen kaldırılabilir.
- Bazı metaller metalurjik özelliklerinden dolayı sıcak işleme tabi tutulamayıp sadece dökülebilir.
- Yapı basitleştirilebilir.
- Parçalar tek seferde dökülebilir.
- Çok sayıda ve hızlı döküm yapılabilir.
- Diğer yöntemlerle yapımı zor ve ekonomik bakımdan uygun olmayan büyük ve ağır parçalar dökülebilir.
- Ekonomik açıdan üstündür.

-Dökme demirde işlenebilme ve titreşim sönümleme yüksektir.
-Aşınmaya karşı daha iyi özellikler elde edilebilir.

Döküm yolu ile üretimin dezavantajları;

- Yüzey özellikleri seçilen döküm yöntemine göre değişkendir.
- Çok ince kesitli parçalar döküm yöntemi ile üretilemez.
- Ergimiş durumdaki sıvı metal yüksek sıcaklıktadır ve çalışanlar için tehlike arz eder.
- Bazı döküm yöntemleri çevreye zararlıdır.

2.2.2 Döküm Kalitesini Etkileyen Parametreler

Başlangıç sıvı metalinin temizliği: Sıvı metal ne kadar temiz olursa, döküm işlemi sırasında karşılaşılan hatalar da o kadar azalır. Azot ve argon gazı üflenerek, olası bifilm oluşumu engellenerek, sıvı metal temizlenir ve döküm kalitesi de aynı oranda artar.

Katılaşma Hızı: Katılaşma hızı arttıkça, yapıda segregasyon oluşumu görülme ihtimali artar. Yapıda hata oluşumunu engelleyecek ve ekonomik açıdan da üretimi olumsuz yönde etkilemeyecek, optimum katılaşma hızında çalışılarak, istenilen kalitede döküm parçası elde edilebilir.

Katılaşma Süresi: Uygun bir döküm işleminde, kalıptan birim mesafede uzaklaştırılan ısı ile kalıp arayüzeyinden metal tarafından uzaklaştırılan ısı birbirine eşit olmalıdır. Bu durum, optimum katılaşma süresinde gerçekleşmeli ki, döküm kalitesi de istenilen seviyeye ulaşsın.

Akışkanlık: Sıvı metalin, katılaşmadan önce kalıp içerisinde alabildiği mesafedir. Bu mesafe; Vakum testi ve Spiral test yöntemleri ile belirlenir. Daha ince taneler olduğunda, akışkanlık artacağı için; eş eksenli yapı oluşumu sağlanmalıdır.

Ergiyik Sıcaklığı: Katılaşma hızı ve katılaşma süresini etkileyeceğinden, döküm kalitesini de aynı şekilde etkilemektedir.

Döküm Sıcaklığı: Sıcaklık arttığında, akışkanlık artacağı için, optimum koşullar sağlandıktan sonra sıcaklık sabit tutulur.

Yolluk ve Kalıp Tasarımı: Optimum koşullarda uygun tasarım yapıldığında, olası döküm hatalarının görülme ihtimali azalır ve yüksek kalitede döküm yapılması sağlanır.

Tüm bu bilgiler ışığında kusursuz bir döküm için izlenmesi gereken adımlar şu şekilde özetlenebilir;

a) Başlangıç sıvı metalinin temizliği için sisteme azot veya argon gazları üflenir. Böylece, oluşan kabarcıklar yukarıya çıkarken, bifilmleri de beraberinde götürürler. Bunun için üç optimizasyon yapılır. Bunlar; dönme hızı, kabarcık boyutu ve süredir.

Azot ve argon gazları yetersiz kaldığında, flux kullanılır fakat tavsiye edilmez. Çünkü; döküme zarar verir, maliyeti yükseltir ve curuf ayrımı için kullanılırken, kinetik hesapta bu durumu karşılamaz.

b) Gaz giderme işleminden sonra, türbülansın engellenmesi için bekletme fırını tasarlanır. Böylece ara işlemler burada yapılır ve bir sonraki işlem için şarj hazır olur.

c) Yüzey oksidinin laminer girişinin engellenmesi için kontrollü döküm yapılmalıdır. Böylece çatlak, oksit yüzeyini oluşturur.

d) Kabarcık oluşumunun engellenmesi için; tasarım ve yolluk hataları minimize edilmelidir.

e) Maçalarda kullanılan bağlayıcı çok kuvvetli olduğundan, maçalardan gaz çıkışını engellemek için; maçaya delik açılmalı ya da çelik çubuk konulmalıdır. Böylece içindeki gazı bu bölgeye iletir. Aksi bir durumda gaz, sıvıya iletilir ve döküm kalitesini olumsuz etkiler.

f) Kalıp tasarımında parça, çok farklı kesitlerde geometriye sahip ise; sıvı metal yolluktan gelirken, katılaşan soğuk bölge ile sıcak sıvı metal arasında konveksiyon oluşur. Konveksiyon oluşumunu engellemek için; sıvı metalin kalıba girdiği kısma besleyici yerleştirilir ve döküm işlemi bitince kalıp ters çevrilir.

g) Segregasyonu azaltmak için; kontrollü soğutma yapılmalı ya da alaşımın bileşimi değiştirilmelidir.

h) Oluşan gerilimleri gidermek için; su verme sıcaklığı değiştirilmelidir ya da alaşımın bileşimi değiştirilmelidir.

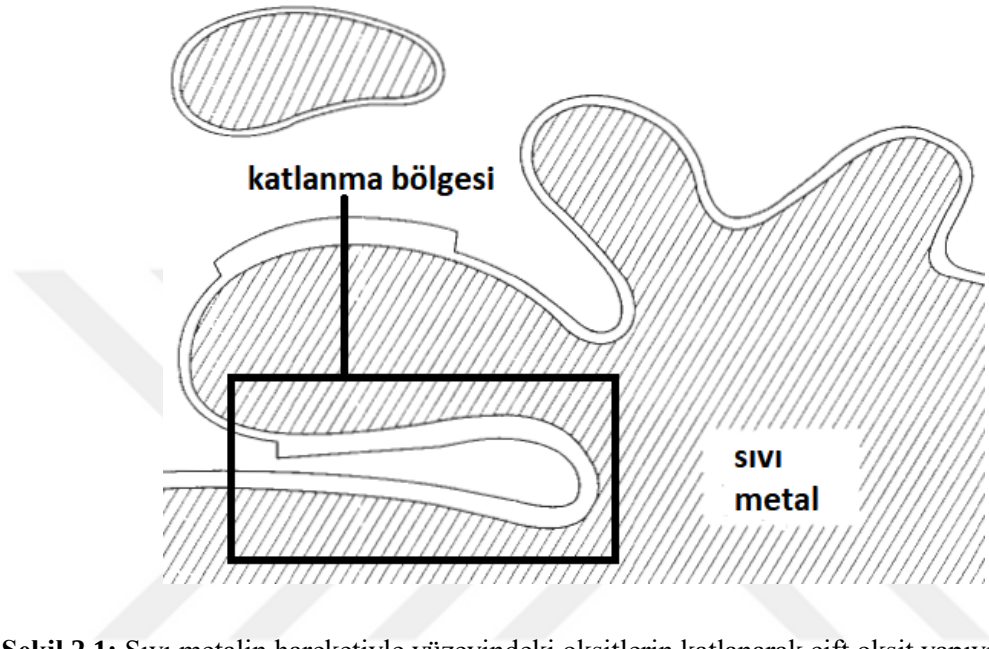
ı) Dökümde homojenliği sağlamak ve kalıp içerisindeki sıcaklık farkını düşük tutmak için, uygun kalıp seçimi yapılmalıdır. (Homojenlik açısından kum kalıp daha uygundur)

i) Çekilme boşluğunun nedeni, katı metal ile sıvı metal arasındaki yoğunluk farkıdır. Kütle değişmeyeceği için, hacimdeki değişimi minimize ederek çekilme boşluğu engellenmelidir [1-3,14].

2.3 SEKONDER ALAŞIM ÜRETİMİ

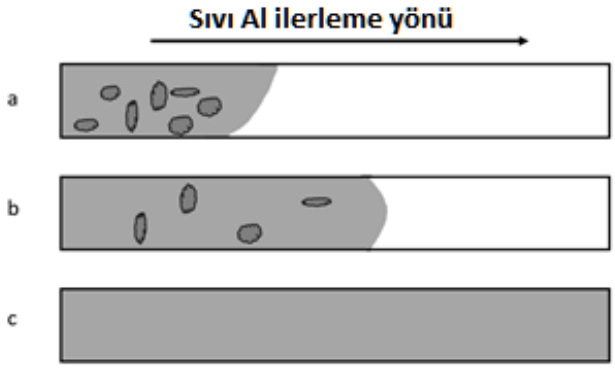
Sekonder alaşım üretimi birincil alüminyum üretimine kıyasla ekonomik ve kolaydır. Üretim için gerekli olan unsurlar uygun alaşımlı hurda, gerekli alaşım materyalleri ve ergitme sıcaklığına çıkabilecek bir pota olarak sayılabilir. İstenen alaşımda hurda bulunamadığı takdirde ağırlıkça yüzde element değerleri daha düşük olan bir hurda kaynağı veya külçe temin edilerek alaşım katkılarıyla kimyasal bileşimi ayarlanabilir. Düşük alaşım elementi içeriğine sahip külçe kullanılan durumlarda alaşım elementlerinin doğru yüzdelerle sıvı metale eklenmesi istenilen alaşımı sağlamaya yeterli olacaktır. Alüminyum kaynağı olarak hurdalar kullanılacaksa birkaç ek işlem daha gerekmektedir. Bu yüzden kullanılan hurdaların nereden geldiği, hangi üretim aşamasında fireye ayrıldığını bilmek önem kazanmaktadır. Hurda içerisindeki burç, civata, somun gibi demir kaynağı olan parçaların fark edilmeden sıvı metalde uzun zaman geçirmesi sonucu yapısındaki demiri çözerek sıvı metalin demir içeriğini belli oranda arttırabilir. Bunun yanında sıvı metale geçen demir, alüminyum ile hızlı bir şekilde alüminyum – demir (Al-Fe veya Fe intermetalikleri) oluşturur. Sıvı metalde artan demir içeriğini gidermenin yolu ekonomik olarak mümkün değildir. Bu sebepten dolayı demir sıvı metale geçmeden engellenmelidir. Sekonder alaşımların üretimi her bir dökümhanenin

kendi imkanlarıyla olabileceği gibi sadece bu iş için ayrılan galeri tipi fırınlarda da yüksek miktarda alüminyum hurdasının eritilerek yapılması da mümkündür. Her iki türlü sekonder alaşım üretim yönteminde de hurdanın ve/veya külçelerin temin edildiği aşamalar önemlidir. Bu süreçte sıvı metal kalitesinin belirlenmesi gerekmektedir [16].



Şekil 2.1: Sıvı metalin hareketiyle yüzeyindeki oksitlerin katlanarak çift oksit yapıyı oluşturması.

Sıvı metal kalitesi, ergimiş metal içerisindeki bifilmlerin miktarı ve büyüklüğü ile ters orantılı olarak açıklanmaktadır. Bifilm miktarı ne kadar az ise alüminyum ergiyiği o kadar temizdir ve kalitelidir. Bunun ölçümü için geliştirilen yöntemler vardır. Bifilmler ismini ikiye katlanan oksit filmlerden almıştır. Bi ise iki demektir. İki katlı oksit filmin oluşturduğu yapıya bifilm denir. Şekil 2.1' de sıvı metalin hareketiyle yüzeyindeki oksitlerin katlanarak çift oksit yapıyı oluşturması görülmektedir. Bifilmler yapı itibariyle alümina kadar serttirler. Alümina doğadaki en sert ikinci malzeme olduğu için alüminyum parça içinde bulunması parçaya olumsuz özellik kazandırmaktadır. Çünkü parçaların dökümü sonrası yüzey işlem, torna, CNC gibi işlemler gerektiğinde yüzeye yakın bifilmler kendini belli eder [10]. Bu aşamaları geçse dahi bifilm içeren parçalar boyama aşamasında yüzeyde blister oluşumuna yol açarlar. Dolayısıyla fire oranları yükselmektedir. Yüzeye yakın olmayan daha iç kısımlarda bulunan bifilmler ise yüzey işleme aşamasında ortaya çıkmaz, fakat mekanik olarak incelendiklerinde porozite olarak davrandıklarından düşük mukavemete sebebiyet verirler [17-23].



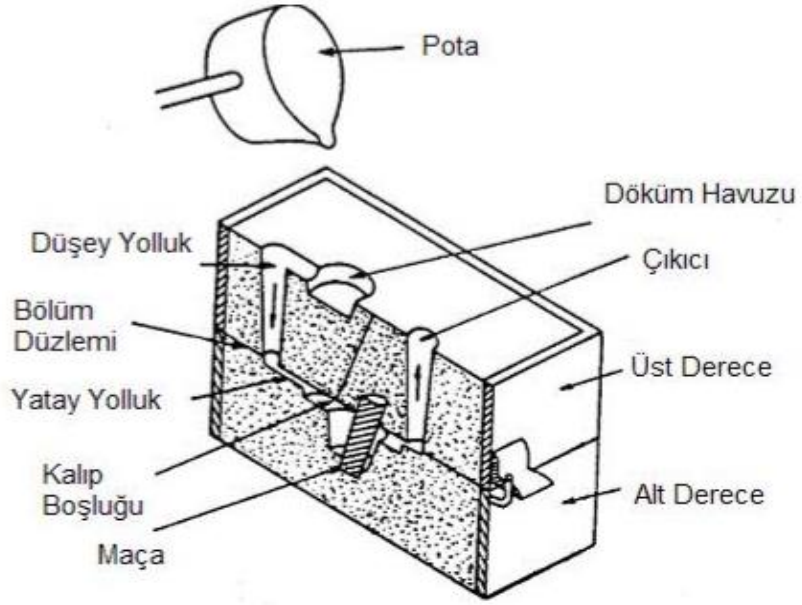
Şekil 2.2: (a) Bifilm içeriği yüksek, (b) Bifilm içeriği düşük, (c) Bifilm içermeyen sıvı alüminyumun kalıp dolumunda ilerleyişi [22].

Bifilm içeren alüminyum ergiyiklerinin akışkanlıkları da içermeyen ergiyiklere kıyasla % 25 daha azdır [22]. Şekil 2.2'de görüldüğü üzere bifilmlerin bulunduğu sıvının ilerlemesinde bifilmler sıvı metalin ilerlemesini engellemektedir (a). Bifilm miktarı daha az olan sıvı daha uzun mesafe yol alır (b). Bifilm bulunmayan sıvı metal ise kalıbı tamamiyle doldurabilmektedir.

2.4 KUM KALIPLAMA TEKNİĞİ İLE DÖKÜM

Demir esaslı ve demir dışı metallerin dökümünde ucuz ve refrakter özelliğe sahip kum esaslı kalıp malzemeleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Kum kalıba döküm bir harcanan kalıp yöntemidir, yani katılaşma sonrasında kalıp bozularak parça çıkarılır ve her dökülecek parça için ayrı bir kalıp hazırlamak gerekir. Kalıplama, kum esaslı malzemenin bir model etrafına sıkıştırılması ve daha sonra modelin kalıptan çıkarılmasıyla yapılır. Genellikle iki parça olan kalıpta yolluk sistemi ve besleme amaçlı çıkıcılar gibi diğer kalıplama elemanları da bulunur.

İç boşlukların elde edilmesi için gerektiğinde maçalardan yararlanılır. Şekil 2.3'de kum kalıba dökümün kesiti görülmektedir.



Şekil 2.3: Kum kalıba döküm gösterimi [14].

Kalıp kumları elde edilişlerine göre iki türlü sınıflandırılır:

1) Tabii Kum: Deniz veya göl kenarlarında veya ocaklardan çıkartılan kumdur. Kil miktarı ocaktan çıktığı anda ne kadarsa o kadarı muhafaza edilir. Getirildikten sonra gerektiği kadar su ilavesi yapılır. Bu kumların avantajlı tarafları ucuz olmaları ve kolay hazırlanmalıdır. Dezavantajları ise özelliklerini çabuk kaybetmeleridir.

2) Sentetik Kum: Tabii kumun yıkanması ve kil oranın düşürülmesi ile elde edilen kumdur.Tabii kuma silis tozu, demir oksidi, mısır unu, odun talaşı, grafit gibi maddelerin katılmasıyla bazı özellikleri arttırılabilir. Bu kumun tabii kuma göre avantajı daha düzgün tane boyutlu oluşu, daha az su ve daha az kil ilave isteği göstermesidir. Tabii kumda % 6-8 nem bulunurken sentetik kumda bu oran % 3 kadardır.

Kalıp yapımında kullanılan kalıp malzemesi kumlardır. Kalıp kumu, silis + kil + rutubet ten oluşur. Kalıp malzemesi olan kumun esas görevi sıvı metal dökülüp de katılaşıncaya kadar boşluğu bozulmadan muhafaza etmektir. Bu nedenle kalıp kumu aşağıdaki isteklerimizi yerine getirmek zorundadır.

1. Mukavemet: Kalıbın dökümü esnasında sıvı metalin basıncı ile bozulup bozulmadığını temsil eder. 3 çeşit mukavemet vardır.

a) Yaş Mukavemet: Kalıbın içine sıvı metal dökülür dökülmez kalıp kumunda henüz nem varken kalıbın şeklini muhafaza edebilmesine kumun yaş mukavemeti denir.

b) Kuru Mukavemet: Erimiş metal kalıba dökülünce kumun rutubeti gider. Kum kalıbın kil ve silisle birlikte bu haldeyken sıvı metalin basıncına dayanmasına kuru mukavemet denir.

c) Sıcak Mukavemet: Erimiş metal kalıp içerisinde uzun süre kaldıktan sonra kumun sıcaklığı, erimiş metal sıcaklığına eşit olduğu anda sıvı metalin basıncına dayanmasına sıcak mukavemet denir.

2. Ateşe Dayanıklılık: Kalıp kumları ateşe dayanıklı değillerse taneler birbirine yapışır ve topak bir hale dönüşürler. Böyle bir durumda sıcak metal kalıbı parçalar ve dışarı çıkar. Döküm sıcaklığında kalıbın bozulmasına kumların topaklanmasına ateşe dayanıklılık denir. Dökme demir için bu sıcaklık 1300 °C civarındadır.

3. Gaz Geçirgenliği: Sıvı metal kalıbın içine döküldüğünde kalıp içinde var olan veya tam döküm esnasında reaksiyonla yeni oluşan gazların geçebilmesine izin verebilecek kabiliyette olmasına kumun gaz geçirgenliği olarak adlandırılır. Gaz geçirgenliği yetersiz ise ürünün yüzeyi kabarcıklı ve gözenekli olur.

4. Akıcılık: Kumun kalıbın şeklini alabilmesi için kil ve rutubet ile takviyeli şekilde belirli bir akıcılığa sahip olması gerekir. Aksi takdirde kalıbın şekli olan negatif boşluk temin edilemez.

5. Düzgün Yüzey: Döküm parçalarının yüzeylerinin düzgün olması, ancak ince taneli kumların modelin kalıplanması esnasında yüzeye dökülmesiyle gerçekleşir.

6. Yeniden Kullanma: Eritilmiş metal kalıbın içine döküldüğünde ilk temas eden kum taneleri aşırı bir şekilde çatlayıp parçalanmadan ve topaklanma olmadan kalabilmelidir. Çünkü sonraki dökümlerde yeni kalıp hazırlanırken bu kumların yeniden kullanılması gerekecektir.

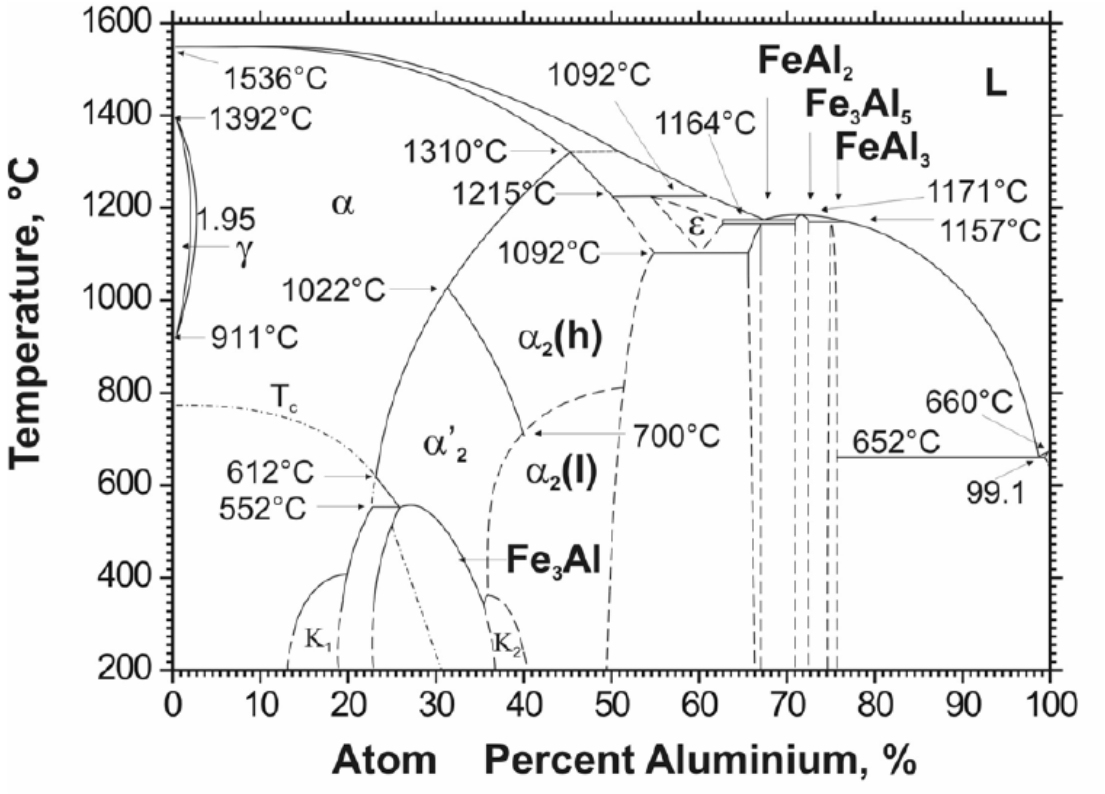
7. Süneklilik: Bu terim kalıp kumlarının yüksek sıcaklıklarda fazla sertleşmeden kalabilmeyi ifade eder.

8. Plastiklik: Kalıp kumlarının kalıbın şeklini alabilmesi için plastik yapıda olması gerekir bu da ancak kil ve rutubetin desteğiyle sağlanır.

Bu çalışmada son dönemde yüzey özelliklerinin kokil kalıba döküm kadar iyi olması ve yeniden kullanılabilirliğinin yüksek olması sayesinde reçineli kum kalıba döküm yapılmıştır. Bu tip kalıbın hazırlanmasında gerekenler silis kumu, reçine ve sertleştiricidir. Her birinin oranı standartlarla markalara göre sabit olup kullanılan kum kilogramına göre değişmektedir [14,24].

2.5 ALÜMİNYUM DEMİR İNTERMETALİK BİLEŞİKLERİ VE ÖZELLİKLERİ

Alüminyum – Demir (Al – Fe veya Fe – İntermetalikleri) her intermetalik bileşiminde olduğu gibi kimyasal olarak birbirinden farklı iki metalin belirli bir kimyasal bileşimde oluşturdukları, basit oranlı bileşiklerdir. İki metal arasında intermetalik bir bileşik oluşma ihtimali ilgili faz diyagramındaki dikey çizgiler ile anlaşılabilmektedir. Tek bir dikey çizgi ile gösterilen intermetalikler stokiyometrik, 2 tane yamuk çizginin sınırları belirdiği bir bölge ile gösterilen intermetalikler stokiyometrik olmayan bileşikler olarak adlandırılmaktadır. Stokiyometrik intermetaliklerin üretimi; kimyasal bileşimi her bir molde sağlanamayacağından zordur. Elektro-kimyasal, boyut faktörleri ve elektron bazlı bileşikler oluşturulabilir. Bu bileşiklerin ergime sıcaklıkları, kendisini oluşturan her iki elementin ergime sıcaklığından yüksek olabilir. Böyle durumlarda bu bileşiklerin döküm işlemleri sırasında çözeltiye sıvı olarak geçmeleri ve temizlenmeleri mümkün değildir. Spesifik olarak intermetalik bileşikler yüksek sıcaklıkta bozulmadan kalabildikleri için; yüksek sıcaklık kimyasal ve mekanik kararlılık gerektiren alanlarda kullanılabilmektedir [26-29].



Şekil 2.4: Fe-Al faz diyagramı [30].

Al – Fe intermetalikleri Şekil 2.4'deki faz diyagramında görülmektedir. Fe_3Al, FeAl, Fe_2Al_5 ve $FeAl_3$ intermetalikler faz diyagramı üzerinden incelenebilecek olanlardır. Demirce zengin bölgede bulunan FeAl ve Fe_3Al en kararlı intermetaliklerdir. Kararlı olmaları sayesinde fiziksel, termal ve mekanik olarak dayanımları yüksektir. Sertliklerinin yüksek olması, malzeme yoğunluklarının demire göre düşüklüğü, korozyon ve oksidasyona karşı mukavemetlerinin yüksek olması sayesinde ilgili alanlarda ilk sıradan tercih edilirler. Faz diyagramından da görüldüğü üzere en çok karşılaşılan intermetalikleri ergime sıcaklıkları alüminyumun ergime sıcaklığının neredeyse iki katı meretebededir. Bu nedenle ergimiş alüminyum içerisindeki intermetalikler sıvıdaki varlıklarını sürdürmeye devam ederler. Bu intermetalikleri içeren parçaların dökümü sonrasında oda sıcaklığında süneklik ve kırılma tokluğu değerleri düşmektedir. Süneklik değerlerinin düşük olması bu parçaları gevrek yapmaktadır. İntermetaliklerin bilinen en büyük dezavantajı olan gevreklikleri, intermetalik içeren parçalarda da bulunmaya devam eder. İntermetalik içeriği yüksek olan parçaların gevreklikleri de yüksektir. Bu dezavantaj aynı zamanda sürünme özelliklerindeki düşüşü de birlikte getirmektedir ki böyle bir durumda yüksek sıcaklıkta çalışması muhtemel parçalar için

olumsuz bir durum oluşmaktadır. İntermetaliklerin oluşmasında temel etkenlerden birisi uygun kimyasal bileşimin oluşması iken bir diğeri ise soğuma hızıdır. Uygun kimyasal bileşim sağlandığında zararlı intermetalikler meydana gelir. Aynı zamanda uygun elementlerin katkısı ile (ör: Mangan) intermetaliklerin daha az zararlı morfolojilere sahip olması sağlanmaktadır. Diğer bir durumda ise soğuma hızının düşük olması intermetaliklerin oluşması için gerekli zamanı tanımaktadır. İntermetalik oluşmaması için yapının olabildiğinde hızlı soğuması gerekebilir. Ancak bu durum parça geometrisine göre kalıntı gerilim veya çekilmeler oluşturabileceğinden optimum soğuma hızıyla katılaşma sağlanmalıdır [30-35].

Demir içeriği yüksek bileşikler α-Al dendritlerinden daha yüksek sıcaklıkta çekirdeklenebilir ve büyüyebilir. Fe bakımından zengin bu birincil fazlar çamur – sludge olarak adlandırılır. Tutma süresi boyunca çamur fazının potanın dibine inme eğilimi vardır. Bu nedenle çamur oluşumu sıvı metalin kimyasal bileşimini değiştirir. Ayrıca bu parçacıklar alaşımın akışkanlığının düşürür. Sert olmalarından dolayı kalıp yüzeylerini tahrip edebilir, kesici takım ömrünü kısaltabilir ve kullanılan makinelere uzun servis ömrü boyunca mekanik – fiziksel zarar verebilirler. Elde edilen kimyasal bileşim sonuçlarından elementlerin çamur oluşturma eğilimleri çamur faktörü – sludge factor (SF)olarak değerlendirilir [28]. Aşağıda (1) gösterilen ampirik formülle hesaplanabilir.

$$SF = \text{ağ. \% Fe} + 2x \text{ ağ. \% Mn} \quad (1)$$

3. MALZEME VE YÖNTEM

Tablo 3.1'de kimyasal bileşimi verilen alaşım, külçelerden kesildikten sonra F9 potaların içerisine konularak Şekil 3.1'de gösterilen ergitme fırınında 750 °C'de ergitilmiştir. Bu esnada atomizasyon yöntemi ile üretilmiş düzensiz morfolojiye sahip Tablo 3.2'de yüzde elemet içeriği verilen Fe tozları Şekil 3.2'de gösterilen pres makinası ile preslenerek 2 cm çapında pelet haline getirilmiştir (Şekil 3.3). Ergime sağlandıktan sonra şekilde de gösterilen Fe tozu preslenmiş pelet ergimiş metalin içerisine atılarak difüzyon için sırasıyla 1, 2, 3, 4 ve 5 saat süreler ile beklenmiştir. Sonrasında kum basamak ve RPT kalıplara döküm işlemi yapılmıştır. Her saat için bu işlem 3'er kez yapılmıştır.

Tablo 3.1: Deneylerde kullanılan alaşımın yüzde element içeriği.

Element	**% Ağ.**
Al	89,4
Si	9,1
Fe	0,4
Cu	0,07
Mn	0,45
Mg	0,50

Tablo 3.2: Fe kaynağı olarak kullanılan Fe tozunun yüzde element içeriği.

Element	**% Ağ.**
Fe	99.5
C	0.5



Şekil 3.1: Rezistans fırın ve F9 pota içerisinde külçe ergitme işlemi.



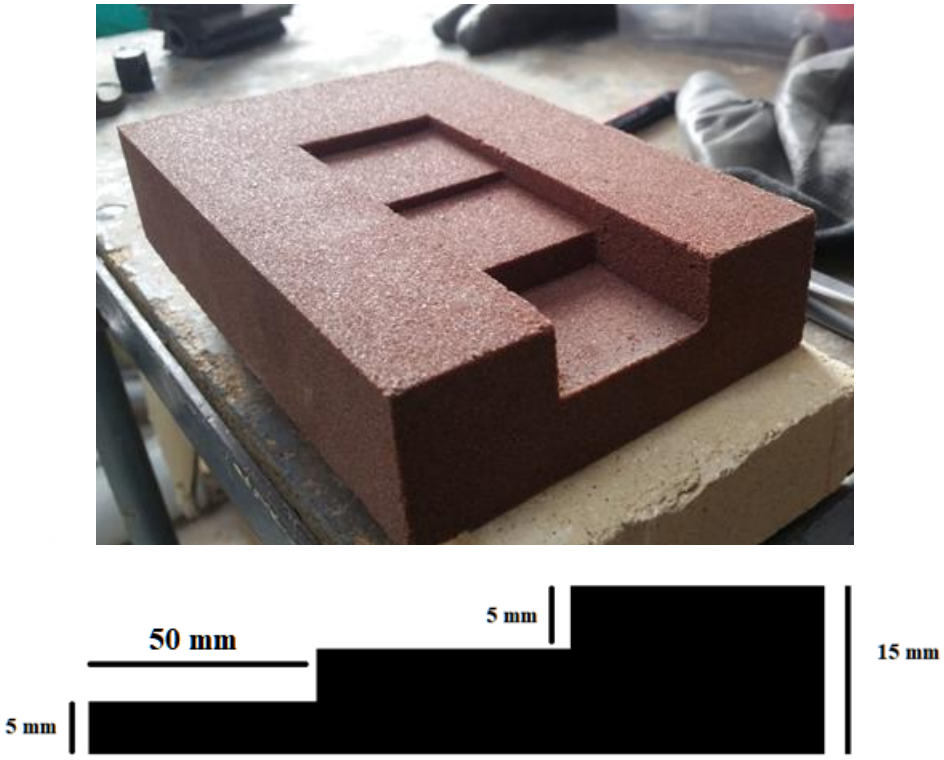
Şekil 3.2: Demir tozunu sıkıştırmak için kullanılan dikey pres



Şekil 3.3: Pres ile sıkıştırılarak elde edilen demir pelet

Deneylerde kullanılan, soğuma hızına bağlı parametrelerin ölçüldüğü kum basamak kalıp Şekil 3.4'de gösterildiği gibi 50 x 120 ebatlarında ve 5, 10, 20 mm kalınlıklarında basamak şeklinde geometriye sahiptir.

Kum kalıplar için uygun karışım hazırlanacağında 3000 gr Silis kumunun içerisine Şekil 3.5'deki üretici firmanın kataloğu uyarınca 60 gr reçine ve 15 gr sertleştirici ilave edilerek Şekil 3.6'da gösterilen Inoksan marka mikser ile homojen bir karışım sağlanana kadar karıştırma işlemi yapılmıştır. Hazırlanan homojen karışımdan kum kalıplar yapılmıştır.



Şekil 3.4: Negatif kalıptan çıkan hazır kum kalıplar ve geometrisi.



Şekil 3.5: Kum kalıp hazırlanmasında kullanılan reçine ve sertleştirici oranları.



Şekil 3.6: Kalıp kumu hazırlamada kullanılan mekanik karıştırıcı.



Şekil 3.7: RPT- Vakum altında katılaştırma cihazı.

RPT döküm için öncelikle RPT cihazının kokil haznesi ani katılaşmaların engellemesi amacıyla ön ısıtma işlemine tabi tutulmuştur ve sıcak olarak vakum haznesine yerleştirilmiştir. Bekleme süresine göre fırın içerisinden alınan ergitilmiş metal Şekil 3.8'de görüldüğü gibi dökülmüştür. Döküm işlemi sonrası, cihazın vakum kapağı bekletilmeden kapatılıp çalıştırılarak numunenin vakum altında katılaşması sağlanmıştır. Ergitilmiş metal içerisinde bulunan bifilmler uygulanan vakum ile genişletilmiş ve ölçülebilecek seviyeye gelmiştir. Uygulanan vakum süreleri her numune için eşit ve 5 dakika olarak seçilmiştir.



Şekil 3.8: Vakum altında katılaştırma cihazının kullanılışı.

Elde edilen numuneler kesilerek zımpara cihazında P80'den başlanarak P1200 'e kadar zımparalama işlemi yapılmıştır. Zımparalama işleminin ardından parlatma işlemi uygulanmıştır. Parlatılan yüzeylerin optik mikroskopta mikroyapı görüntüleri alınarak SDAS incelenmiştir. Bu incelemelerde oluşan porozitelerin maksimum uzunlukları dikkate alınarak toplam bifilm uzunluğu hesaplanmıştır. Bu sonuç bifilm indeksi olarak tanımlanmaktadır.

Bekletme sürelerine bağlı olarak kimyasal yapıdaki değişimi görmek amacıyla parlatılmış yüzeylerinden spektral analiz yapılmıştır. Analizler, Algiss Metal Teknolojileri A.Ş.'de bulunan Foundry Master marka spektral analiz cihazında yapılmıştır. Numunelerin sertlikleri Vickers sertlik ölçüm yöntemiyle yapılmıştır.

RPT numunelerinde büyütülen porozitelerin yüzeylerindeki intermetalik yapıları belirleyebilmek amacı ile Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) analizi yapılmıştır. Bunun için RPT numuneleri poroziteli yüzeylerinden kesilerek metalografik zımparalama ve parlatma işlemi yapılarak ultrasonik banyoda temizlenmiştir. Temizlenen numuneler kurutularak SEM incelemesi yapılmıştır.

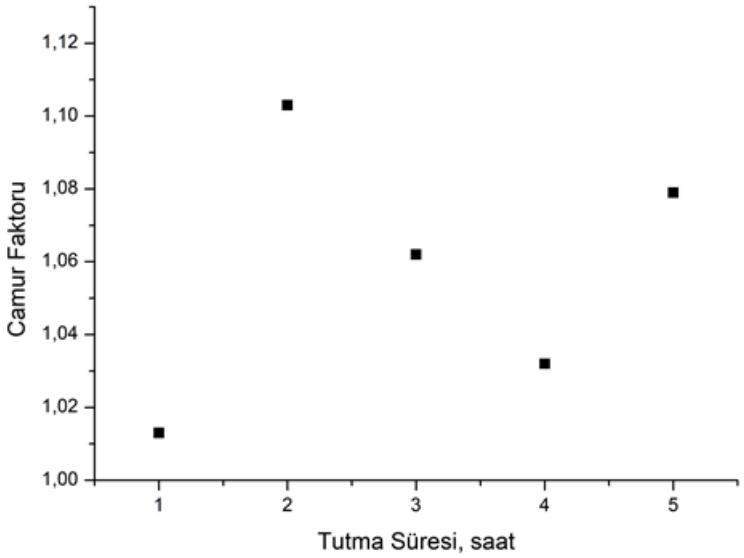
4. BULGULAR

4.1 KİMYASAL BİLEŞİM ÖLÇÜMÜ

Her bir tutma süresinde dökülen numunelerden alınan spektral analiz sonuçları Tablo 4.1'de gösterilmektedir. Elde edilen sonuçlardan Tablo 4.2 ve Şekil 4.1'de verilen Çamur Faktörü hesaplanmıştır. Tutma süresine bağlı olarak ağ. % Fe miktarı ilk 2 saat artmıştır.

Tablo 4.1: Tutma süresine göre yapılan dökümlerin kimyasal bileşimi

KUM	**Katkısız**	**1 saat**	**2 saat**	**3 saat**	**4 saat**	**5 saat**
Al	88,8	90,2	90,3	90,4	90,6	89,6
Si	9,48	8,3	8,18	8,22	7,88	9,13
Fe	0,282	0,397	0,465	0,394	0,396	0,445
Cu	0,0094	0,0575	0,0563	0,0429	0,0515	0,0252
Mn	0,37	0,308	0,319	0,334	0,318	0,317
Mg	0,231	0,488	0,464	0,391	0,429	0,287

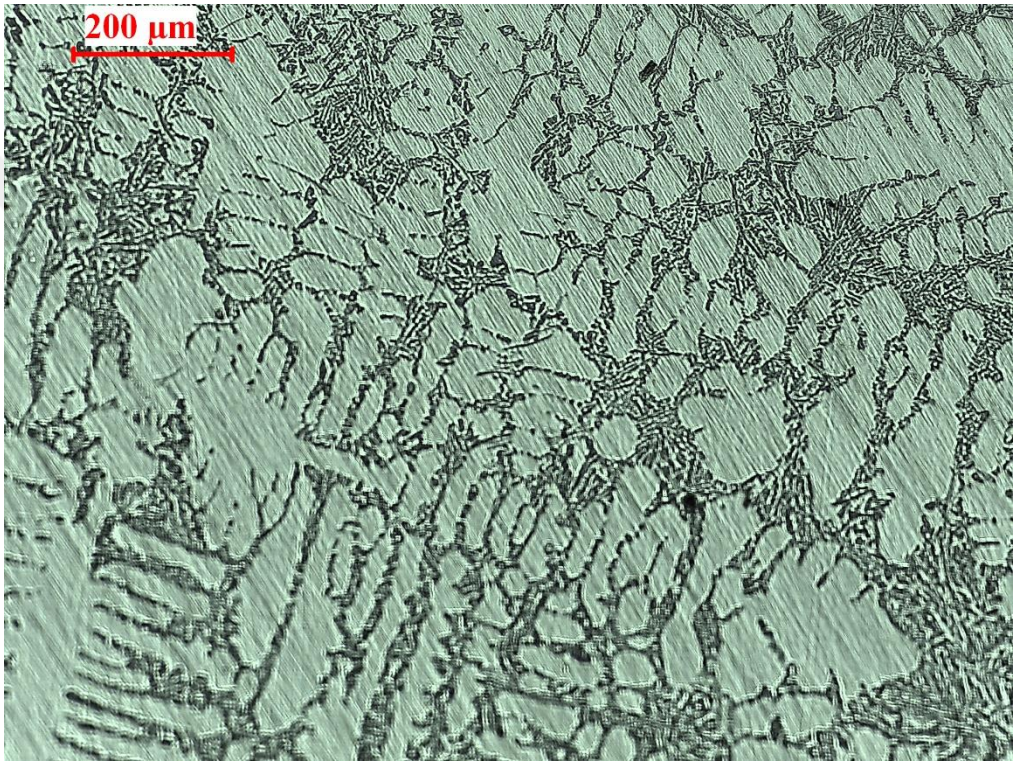


Şekil 4.1: Tutma süresine bağlı olarak çamur faktörü değişimi.

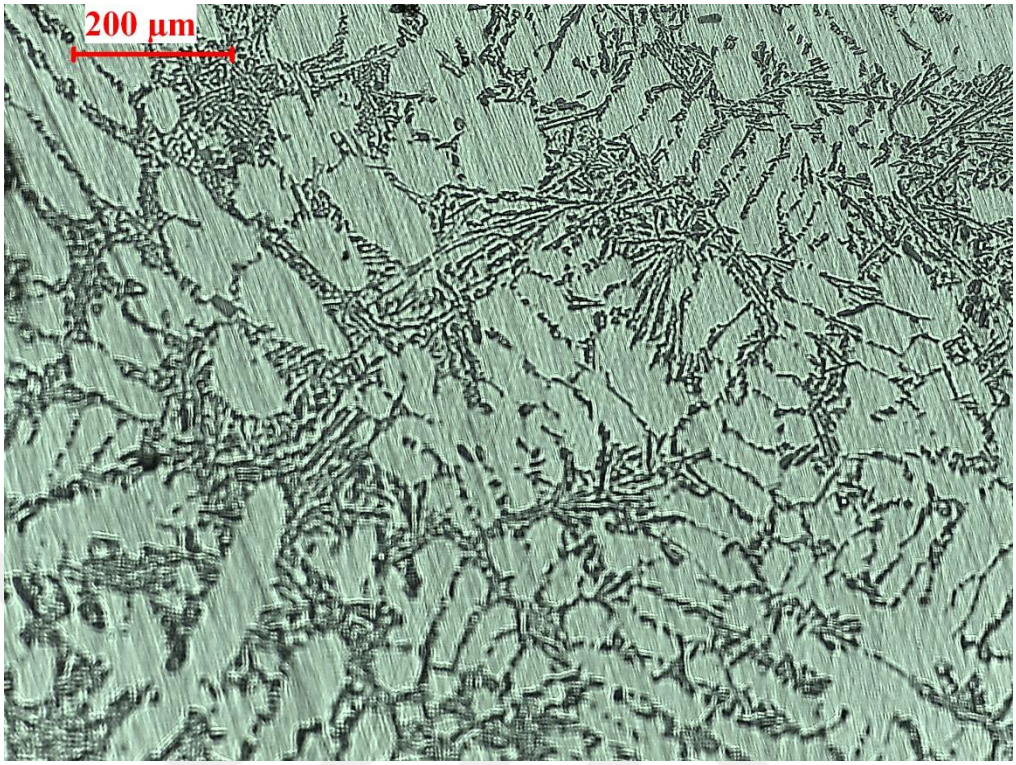
Çamur faktörü her bir tutma süresinde değişse de Şekil 4.1'de görüldüğü üzere birbirine yakın değer göstermiştir. Çamur oluşum ihtimali 2. Saatte en yüksek çıkmıştır.

4.2 MİKROYAPI GÖRÜNTÜLERİ

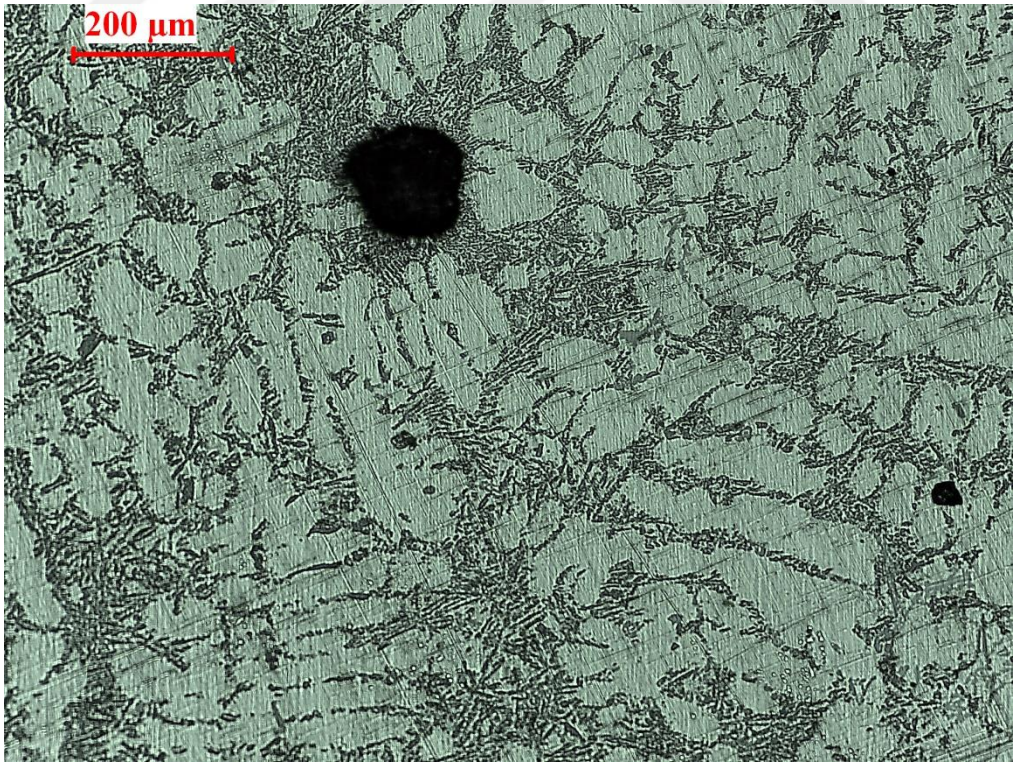
1, 2, 3, 4 ve 5 saat boyunca F9 potanın dibinde bekletilen demir peletleri sıvı metal içerinde demir içeriğini arttırmıştır. Numune mikroyapılarının örnekleri Şekil 4.2-4.6 aralığında gösterilmiştir. Numunelerden 5'er görüntü alınıp dendritlerin ikincil kolları arasındaki mesafeler ve dendrit uzunluğu ölçümü yapılmıştır.



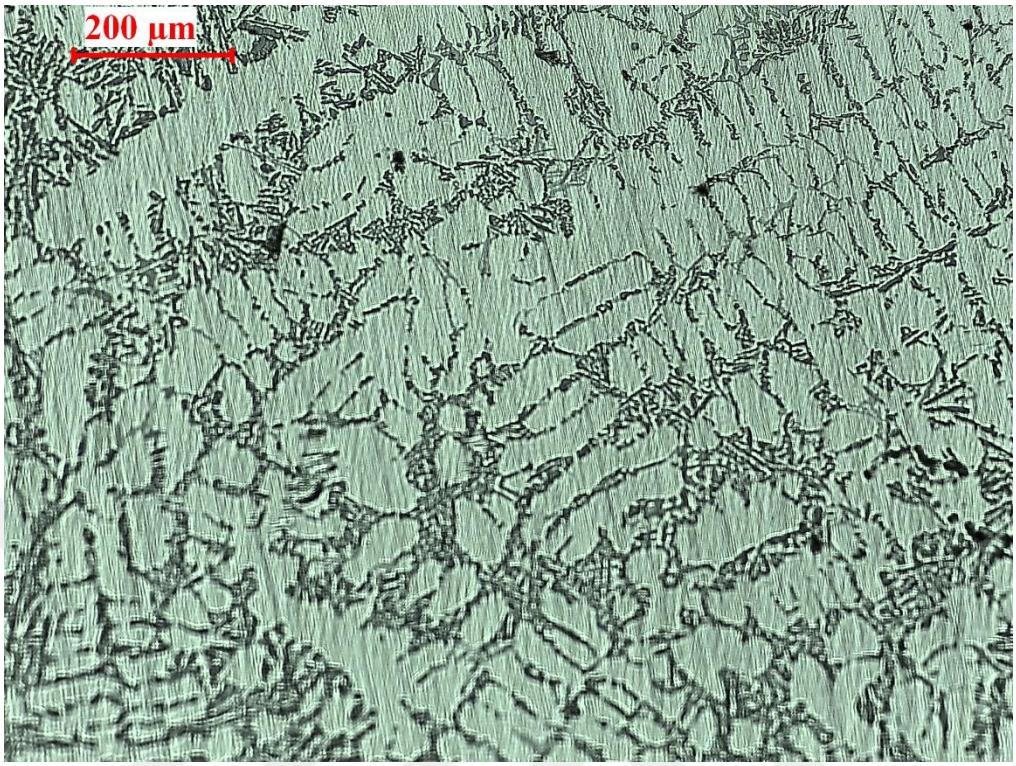
Şekil 4.2: 1 saat tutma süresi sonunda dökülen numunenin mikroyapısı.



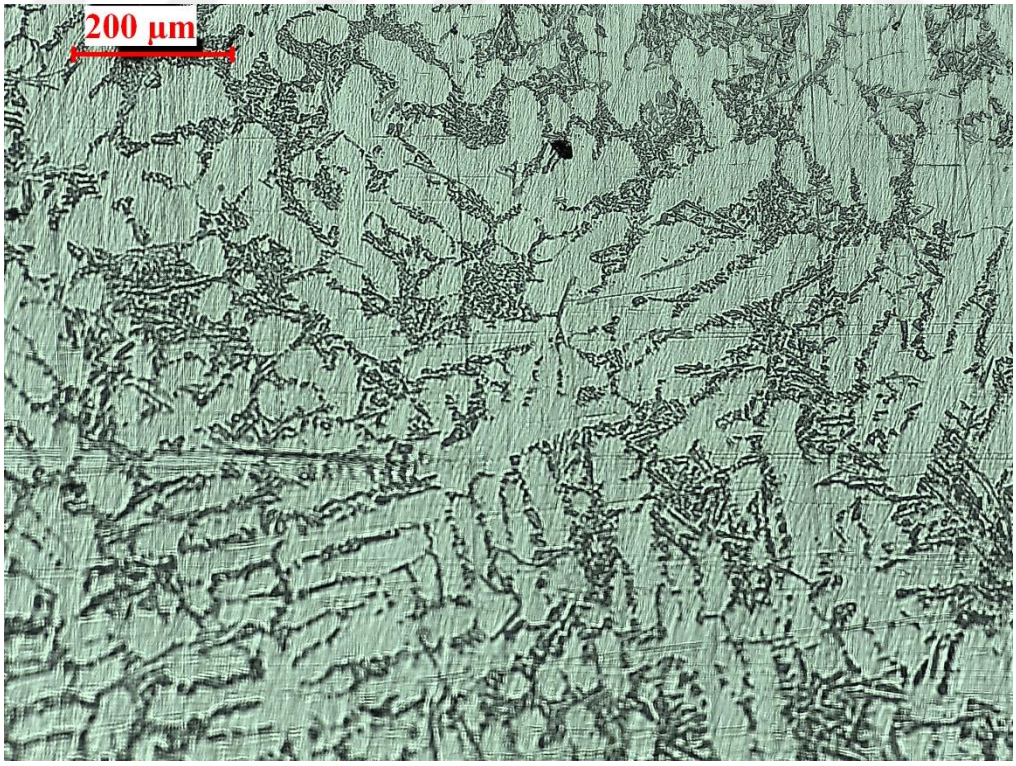
Şekil 4.3: 2 saat tutma süresi sonunda dökülen numunenin mikroyapısı.



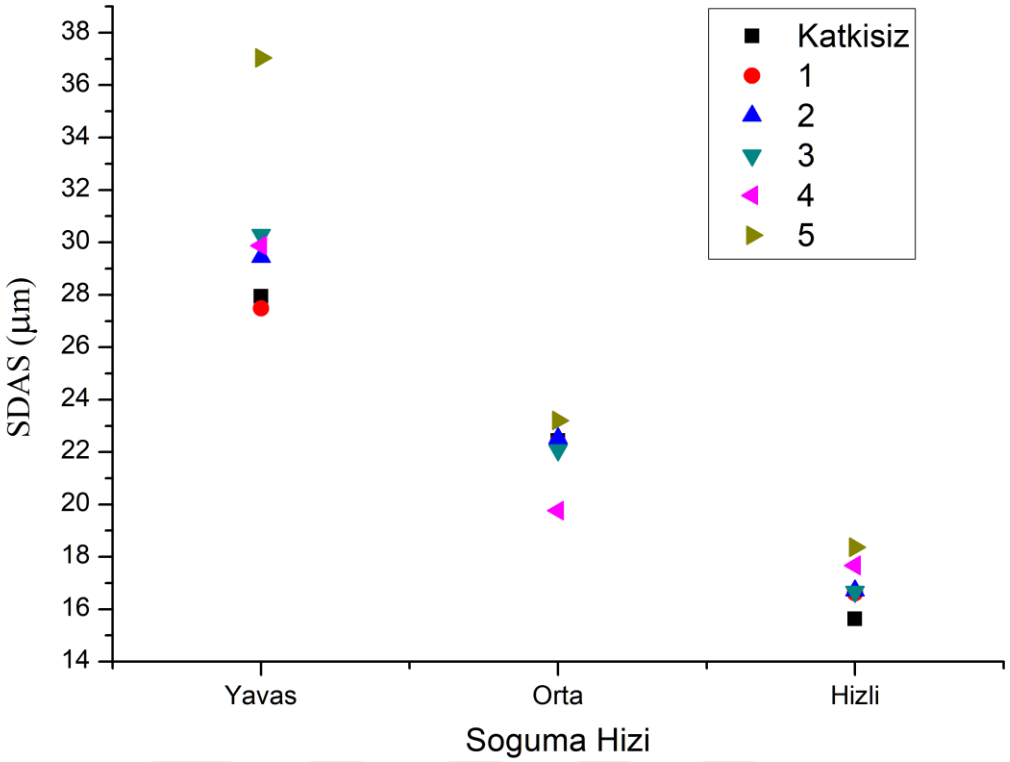
Şekil 4.4: 3 saat tutma süresi sonunda dökülen numunenin mikroyapısı.



Şekil 4.5: 4 saat tutma süresi sonunda dökülen numunenin mikroyapısı.



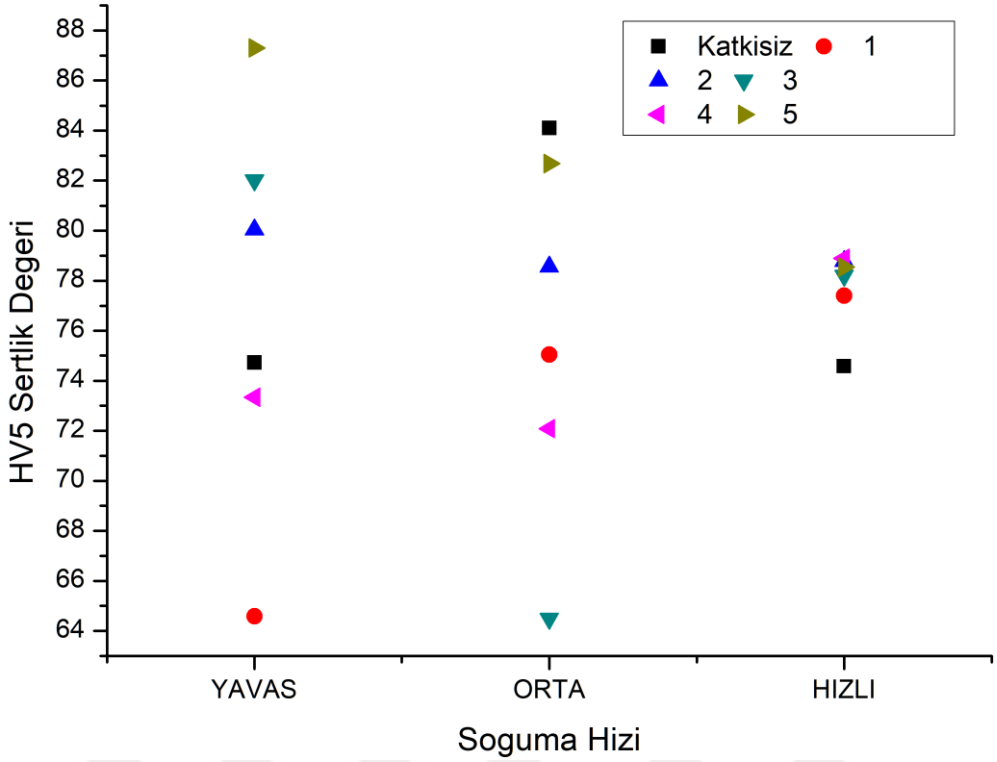
Şekil 4.6: 5 saat tutma süresi sonunda dökülen numunenin mikroyapısı.



Şekil 4.7: Soğuma hızına bağlı olarak SDAS-İkincil dendrit kolları mesafe ölçümü

Soğuma hızına bağlı olarak dendritlerin ikincil kolları arasındaki mesafe değişimi 1, 2, 3, 4 ve 5 tutma saatlerine göre Şekil 4.7'de gösterilmiştir. Soğumanın hızlı gerçekleştiği ince kesitli ve yavaş gerçekleşen kalın kesitli numunelerde SDAS en yüksek 5 saatlik tutma süresine sahip olan numunede ölçülmüştür. Soğuma hızının ince numuneye kıyasla daha yavaş gerçekleştiği orta kalınlıktaki kesitte SDAS değeri 4 saatte en düşük ölçülmüştür.

4.3 SERTLİK ÖLÇÜM SONUÇLARI



Şekil 4.8: Farklı soğuma hızlarında sertlik değerlerinin değişimi.

Basamak tipi numunede elde edilen numunelerin kalınlıkları dolayısıyla soğuma hızları da farklı olduğundan yapı içerisinde oluşan intermetaliklerin miktarı da değişiklik göstermektedir. Bu durum intermetaliklerin dağılımına göre sertlik özelliğini etkileyebilir. Şekil 4.8'de her bir tutma süresine bağlı soğuma hızına ait numunelerin sertlik değerleri görülmektedir. Yavaş soğuyan numunede 1 saat bekleme süresinde sertlik değeri en düşük olduğu gözlemlenmiştir. En yüksek sertlik değeri ise 5 saat pelet bekletilen ve yavaş soğuyan kalın kesitli numuneye aittir.

4.4 RPT ANALİZ BULGULARI

Sıvı metal kalitesini ölçmek amacıyla, her bir şartta 3'er adet hazırlanan, vakum altında katılaştırarak dökülen numuneler ortadan ikiye bölünerek metalografik numune hazırlama işlemine tabii tutulmuştur. Dijital ortama aktarılan görseller üzerinden görsel işleme programları yardımıyla her bir bifilmin içine sığabilecek en uzun doğrunun uzunluğu saptanmış ve toplanmıştır. Bifilm sayısı, toplam bifilm uzunluğu (bifilm indeks) ve ortalama bifilm sayısı bu şekilde hesaplanmıştır.



Şekil 4.9: Demir içeriği bulunmayan sekonder alaşımın RPT döküm arayüzeyi.



Şekil 4.10: 1 saat demir toz peleti ile bekletilen potanın RPT döküm arayüzeyi.



Şekil 4.11: 2 saat demir toz peleti ile bekletilen potanın RPT döküm arayüzeyi.



Şekil 4.12: 3 saat demir toz peleti ile bekletilen potanın RPT döküm arayüzeyi.

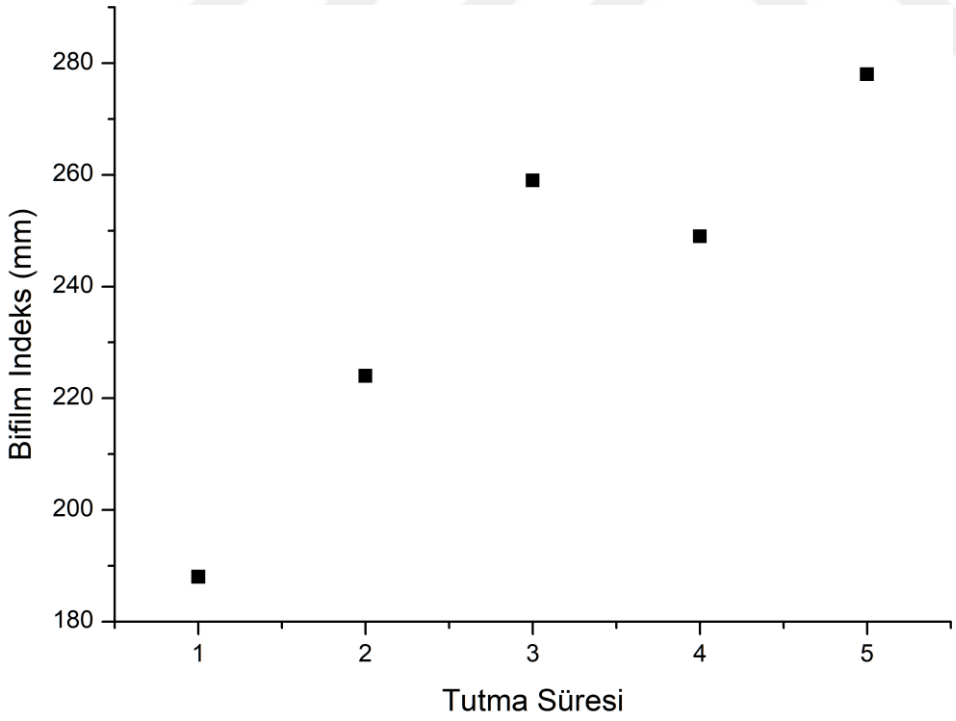


Şekil 4.13: 4 saat demir toz peleti ile bekletilen potanın RPT döküm arayüzeyi.

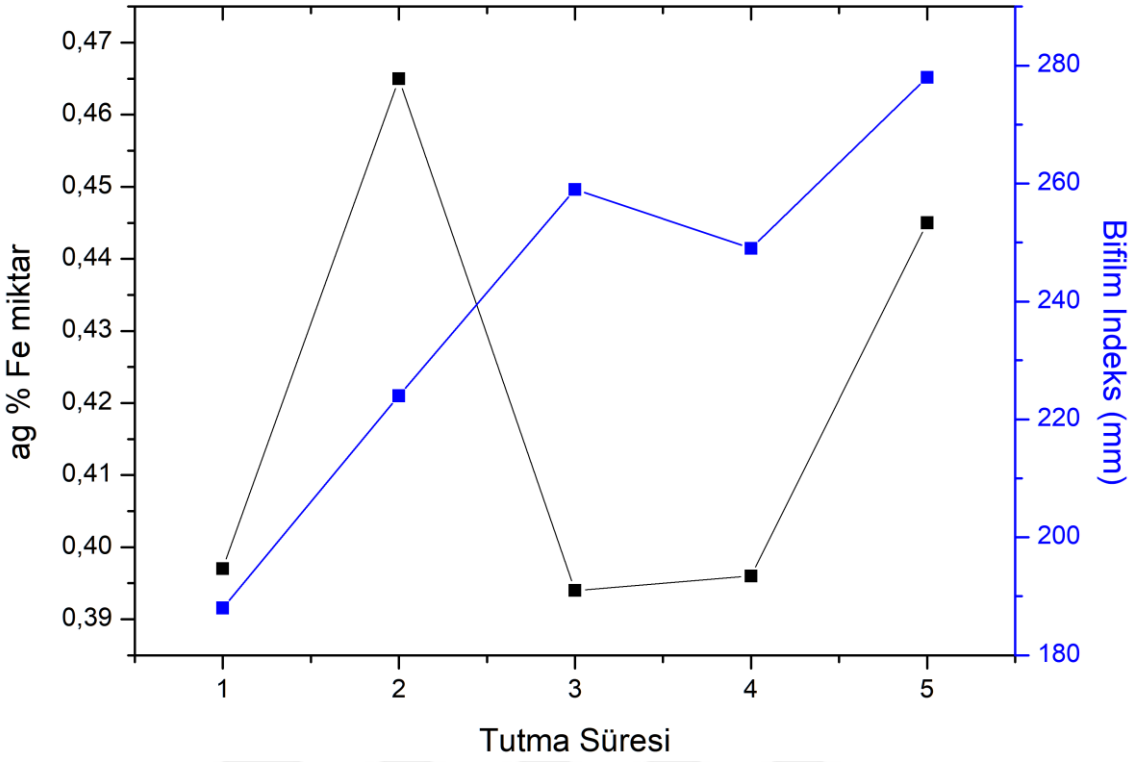


Şekil 4.14: 5 saat demir toz peleti ile bekletilen potanın RPT döküm arayüzeyi.

Demir tozu peletleri içermeyen F9 potadan yapılan RPT dökümünde elde edilen arayüzey Şekil 4.9'da gösterilmiştir. Şekil 4.10-4.14 ise 1, 2, 3, 4 ve 5 saat demir tozu peleti içeren potalardan yapılan RPT dökümün arayüzeyine aittir. Şekil 4.15'de tutma süresine bağlı olarak bifilm indeks değişimi görülmektedir. Tutma süresi arttıkça bifilm indeks değeri de artmaktadır.



Şekil 4.15: Bifilm İndeksin tutma süresine göre değişimi.



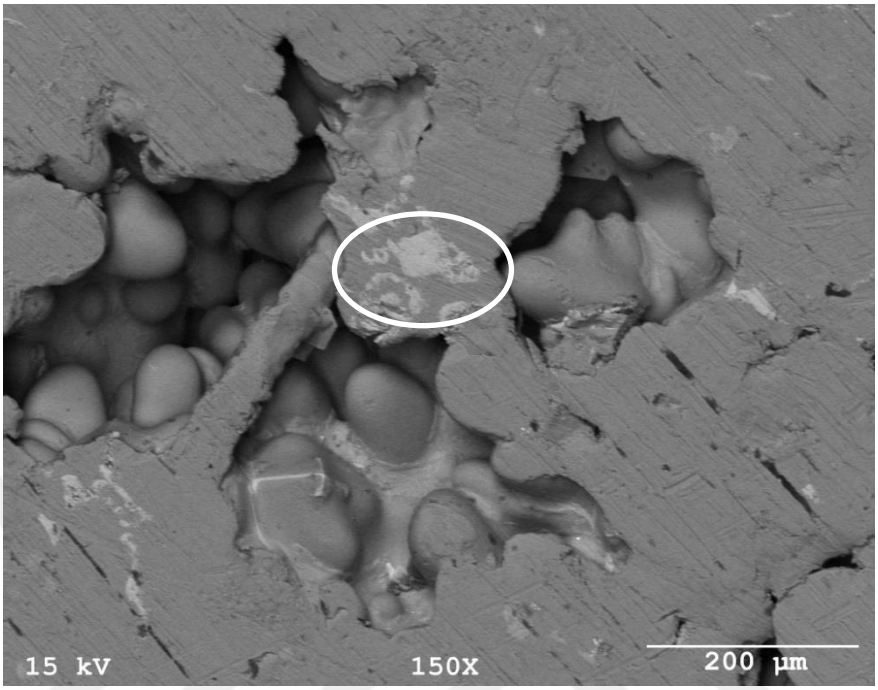
Şekil 4.16: Tutma süresine bağlı olarak ağırlıkça yüzde demir ve bifilm indeks değişimi.

Tutma süresiyle birlikte ağırlıkça yüzde demir miktarı artmıştır. Bu artış, bifilm indeks artışıyla benzerlikler göstermektedir. Süreye göre bifilm – ağ. % Fe ilişkisi göz önünde bulundurulduğunda yeni bir matematiksel ifade türetilirse her iki değerden birisi veya basit bir hesaplama yoluyla sıvı metal kalitesi daha doğru olarak hesaplanabilir. Zaman bağlı olarak bifilm miktarının artmasından anlaşılmaktadır ki kaliteli parça dökümü için, dökümhanede kullanılan hurdaların durumu, araç-gereçlerin bileşimi göz önünde bulundurulduğunda, ergimeden sonra fazla zaman kaybetmemek gerekmektedir. Aksi takdirde demir miktarı artarak parçanın bileşiminde standardın dışına çıkabilmektedir.

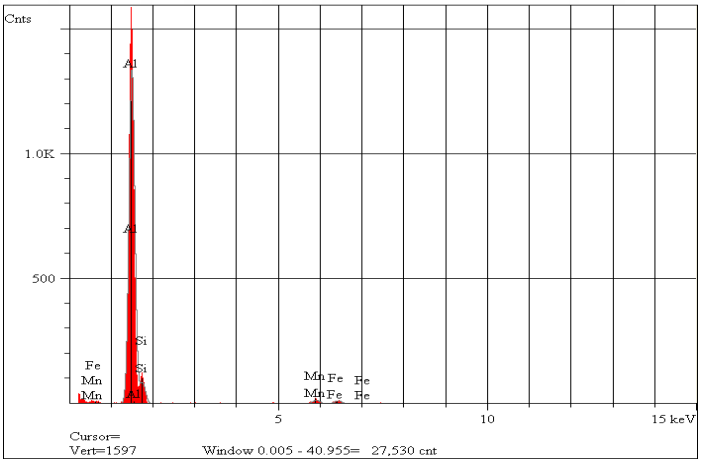
4.5 SEM İNCELEMESİ VE EDS ANALİZLERİ

İntermetalik bileşiklerin matriks içerisindeki dağılımının anlaşılabilmesi için her bir tutma süresi numunesinden BS görüntüler kaydedilmiştir. Ayrıca EDS analizinin yapıldığını kısımlar şekilde belirtilmiştir. Şekil 4.17, Şekil 4.19, Şekil 4.21, Şekil 4.23 ve Şekil 4.25'de

görüldüğü üzere intermetaliklerin yüzey alanında kapladığı alan zamana bağlı olarak artmaktadır.



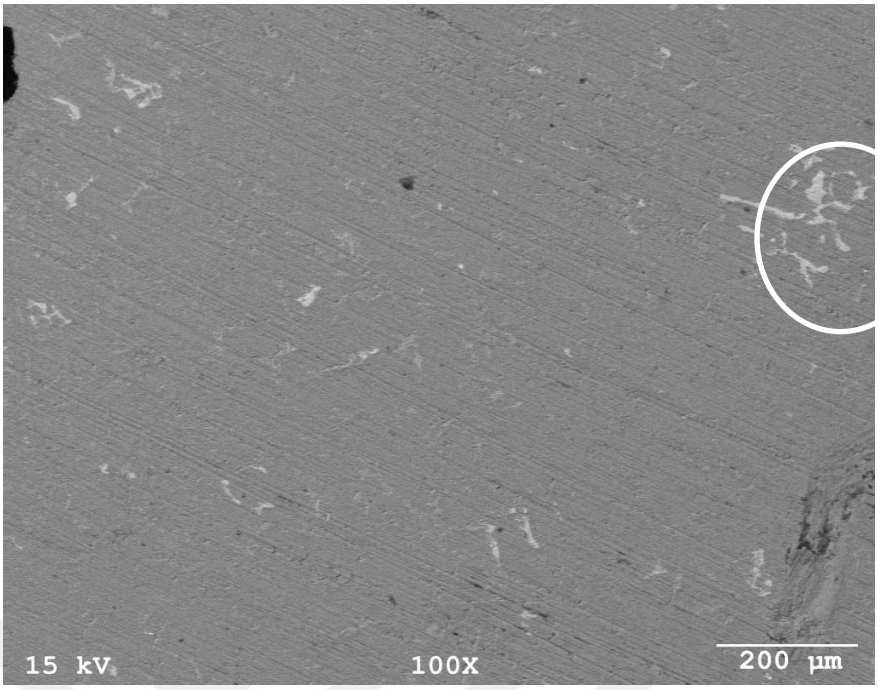
Şekil 4.17: 1 saat tutma süreli RPT numunesindeki poroziteler kenarındaki intermetalikler.



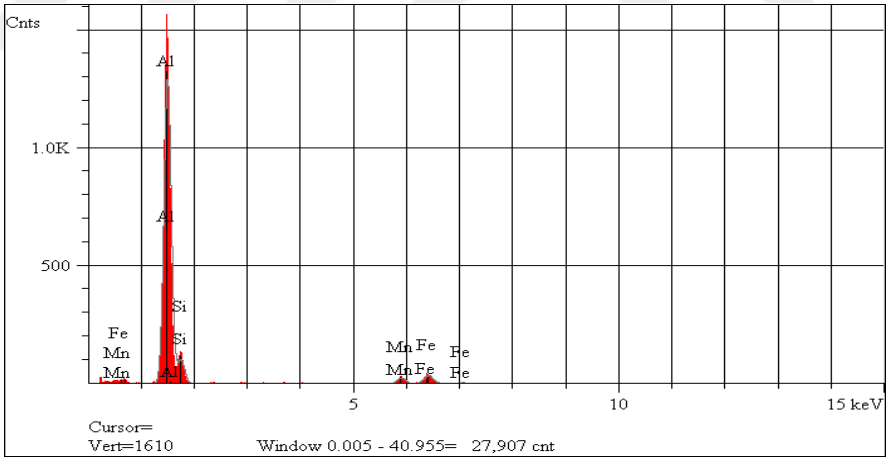
Şekil 4.18: 1 saat tutma süreli RPT numunesinde işaretli bölgenin EDS analiz pikleri.

Tablo 4.2: 1 saat tutma süreli RPT numunesinde işaretli bölgenin EDS analiz sonucu.

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Atomic %	Conc	Units
Al	Ka	993.36	82.337	74.774	wt.%
Si	Ka	52.84	8.389	7.930	wt.%
Mn	Ka	29.25	4.486	8.295	wt.%
Fe	Ka	26.49	4.789	9.001	wt.%
			100.000	100.000	wt.%



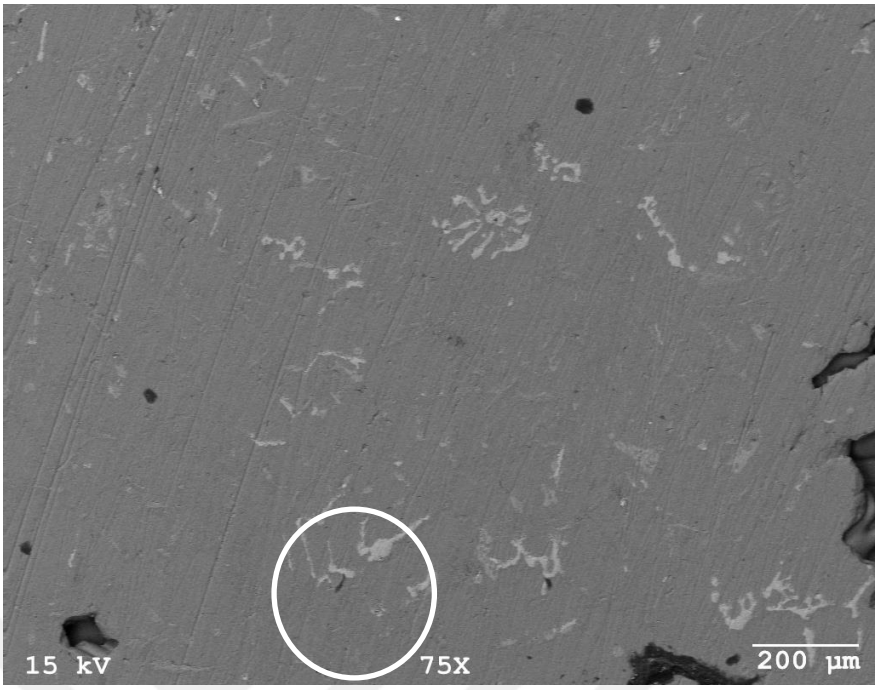
Şekil 4.19: 2 saat tutma süreli RPT numunesinin matriksinde dağılmış intermetalikler.



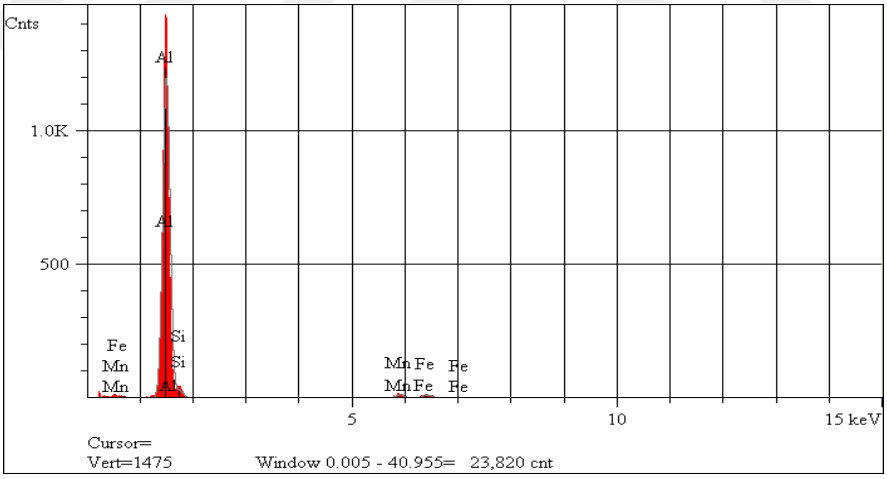
Şekil 4.20: 2 saat tutma süreli RPT numunesinde işaretli bölgenin EDS analiz pikleri.

Tablo 4.3: 2 saat tutma süreli RPT numunesinde işaretli bölgenin EDS analiz sonucu.

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Atomic %	Conc	Units
Al	Ka	1,273.75	89.437	84.179	wt.%
Si	Ka	31.83	4.823	4.726	wt.%
Mn	Ka	19.47	2.724	5.220	wt.%
Fe	Ka	18.30	3.016	5.876	wt.%
			100.000	100.000	wt.%



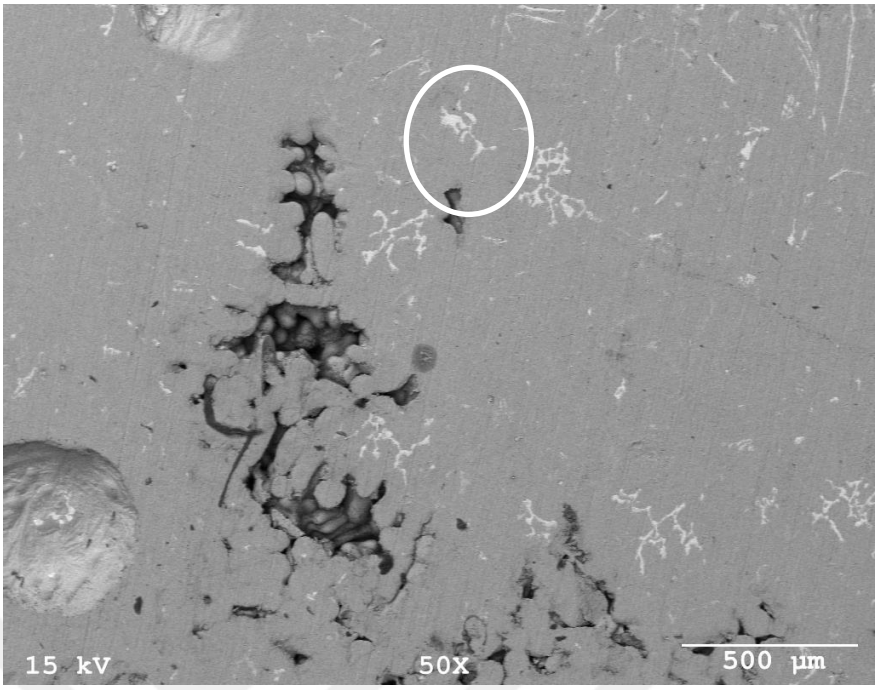
Şekil 4.21: 3 saat tutma süreli RPT numunesinin matriksinde dağılmış intermetalikler.



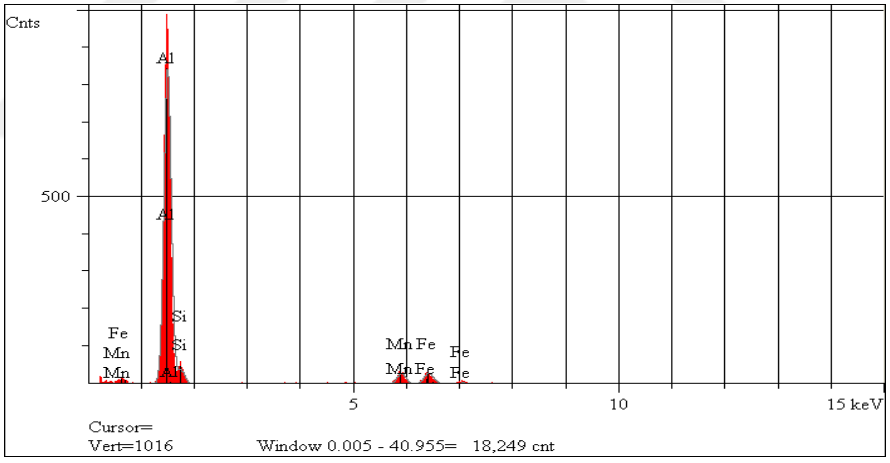
Şekil 4.22: 3 saat tutma süreli RPT numunesinde işaretli bölgenin EDS analiz pikleri.

Tablo 4.4: 3 saat tutma süreli RPT numunesinde işaretli bölgenin EDS analiz sonucu.

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Atomic %	Conc	Units
Al	Ka	1,031.95	90.279	85.716	wt.%
Si	Ka	25.07	4.853	4.797	wt.%
Mn	Ka	13.98	2.487	4.809	wt.%
Fe	Ka	11.36	2.381	4.679	wt.%
			100.000	100.000	wt.%



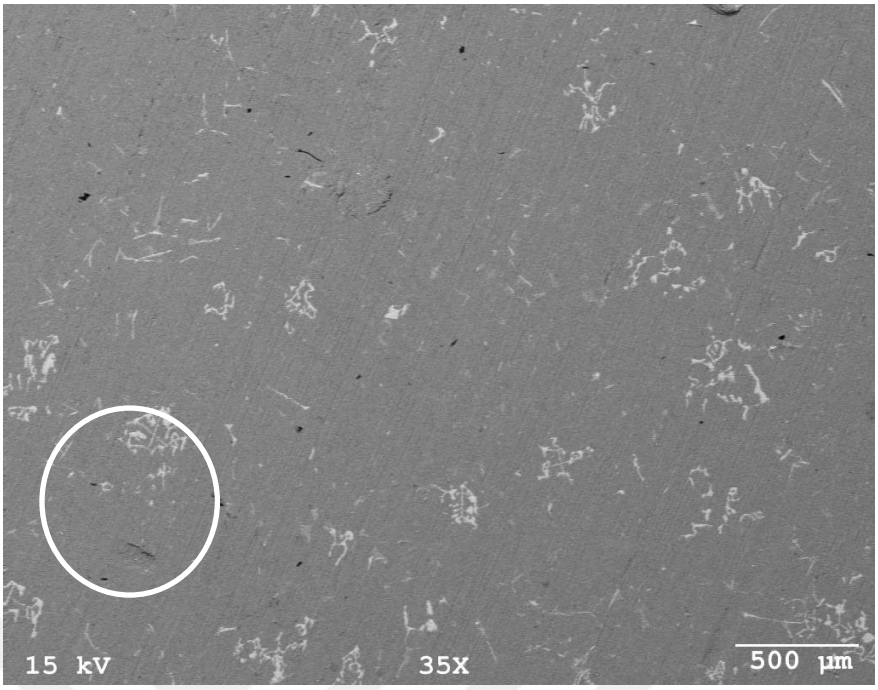
Şekil 4.23: 4 saat tutma süreli RPT numunesinin matriksinde dağılmış intermetalikler.



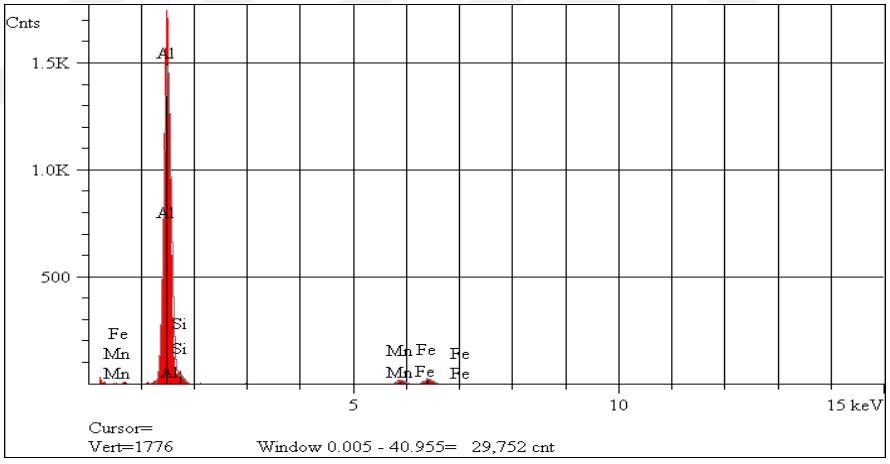
Şekil 4.24: 4 saat tutma süreli RPT numunesinde işaretli bölgenin EDS analiz pikleri.

Tablo 4.5: 4 saat tutma süreli RPT numunesinde işaretli bölgenin EDS analiz sonucu.

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Atomic %	Conc	Units
Al	Ka	724.71	81.464	72.159	wt.%
Si	Ka	32.03	6.554	6.043	wt.%
Mn	Ka	28.56	5.641	10.175	wt.%
Fe	Ka	27.19	6.340	11.624	wt.%
			100.000	100.000	wt.%



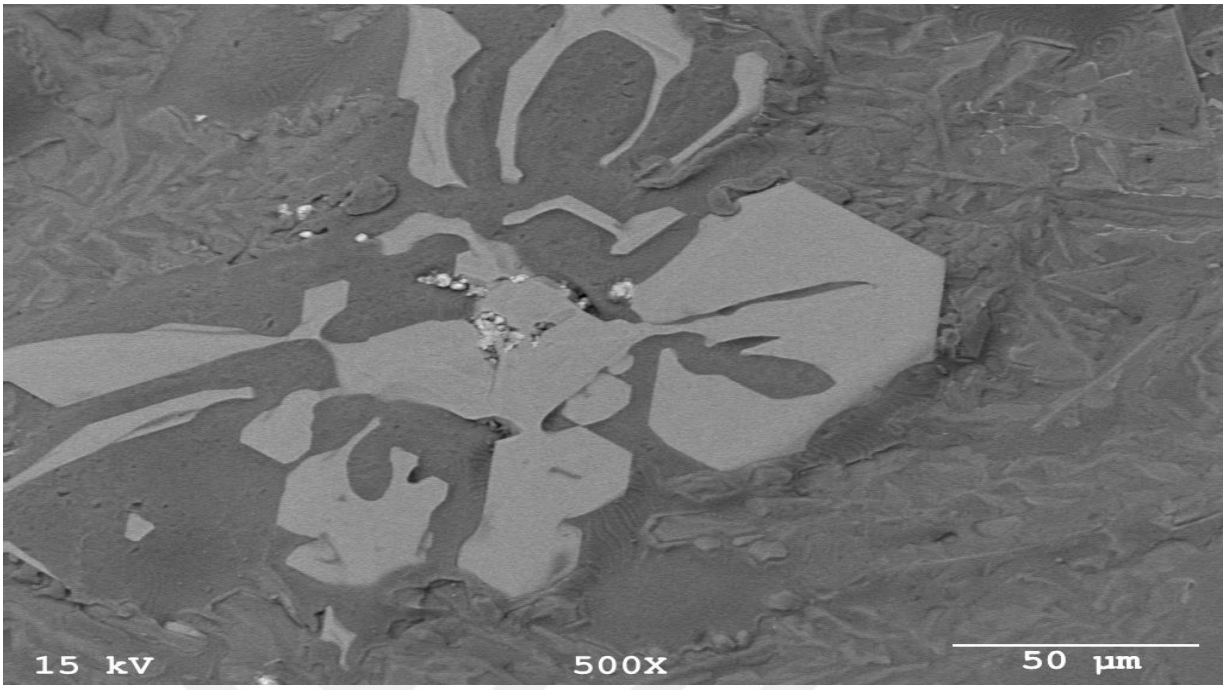
Şekil 4.25: 5 saat tutma süreli RPT numunesinin matriksinde dağılmış intermetalikler.



Şekil 4.26: 5 saat tutma süreli RPT numunesinde işaretli bölgenin EDS analiz pikleri.

Tablo 4.6: 5 saat tutma süreli RPT numunesinde işaretli bölgenin EDS analiz sonucu.

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Atomic %	Conc	Units
Al	Ka	1,282.01	88.370	82.427	wt.%
Si	Ka	34.49	4.993	4.848	wt.%
Mn	Ka	20.53	2.759	5.240	wt.%
Fe	Ka	24.47	3.877	7.485	wt.%
			100.000	100.000	wt.%



Şekil 4.27: 5 saat tutma süreli RPT numunesinde porozite içerisindeki intermetalik görüntüsü.

Şekil 4.27'de görüldüğü üzere demir intermetalikleri simetrik bir yapıda gözlemlenmektedirler. Bu simetride oluşacak geometrinin yapısına göre mekanik özellikler değişiklik gösterebilmektedir.

Ayrıca Yaptığımız deney socunda Şekil 4.28'de görüldüğü üzere pota içerisinde peletlerin tam çözülmeği görülmüştür.



Şekil 4.28: Bekletme sonrası pota içerisinde kalan pelet görüntüsü

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Al-Fe intermetaliklerinin alüminyum metali içerisindeki davranışları sıvı metal kalitesini ve malzemenin mekanik özelliklerini etkilemektedir. Demir içeriği olarak kullanılan parçaların sıvı metal içerisindeki çözünmeleri – difüzyonu birçok araştırmaya konu olmuştur [11-13]. Bu çalışmada diğerlerinden farklı olarak kum kalıba dökülen parçaların, yapıdaki intermetaliklerden mikroyapı, sıvı metal kalitesi ve mekanik olarak etkilendikleri durumlar göz önüne alınmıştır.

Tablo 3.1'de verilen yüzde ağırlıkça bileşime sahip alüminyum alaşımı, Şekil 3.1'de gösterilen rezistanslı fırında F-9 pota ile ergitilmiş aynı zamanda demir tozlar pres ile pelet haline getirilerek 1, 2, 3, 4, ve 5 saat boyunca aynı pota içerisinde bekletilmiştir. Tutma süresi tamamlanan potalardan her bir şarttan 3'er RPT ve basamak kalıp numunesi alınmıştır (Şekil 3.8). Şekil 3.4'de gösterilen basamak kalıp numuneleri kum, reçine ve sertleştirici içermektedir. Deneylerde kullanılan kalıp kumu karışımı sanayide de pürüzsüz yüzey elde edilmek istenen parçaların imalatında kullanılmaktadır. Kalıbın yüzde bileşim reçetesi Şekil 3.5'de görüldüğü gibi üretici şirket tarafından verilmektedir. Şekil 3.6'daki karıştırıcı kullanılarak kum hazırlama işlemleri tamamlanmış, şekli verilmek istenen model kalıba kum sıkıştırılarak sertleşmesi beklenmiştir. İçerisinde nem ve çeşitli gazlar bulunması ihtimaline karşılık kalıplar hazırlandıktan sonra 24 saat bekletildikten sonra döküm yapılmıştır.Ancak attığımız peletler tam olarak çözünmeyerek potanın dibinde pelet olarak görülmüştür.

Her bir tutma süresi şartındaki numunelerin yüzde ağırlıkça element içeriği Foundry Master marka analiz cihazıyla incelenmiştir. Tablo 4.1'de bu analizin özeti görülmektedir. Zamana bağlı olarak sıvı metale geçen demir sayısında artış görülmektedir. Aynı şekilde Si miktarı da beklemeye bağlı olarak azalmıştır. Muhtemel bir intermetalik oluşumu ve silisyumların son katılaşan orta kısımlara hareketi buna sebebiyet verebilir. Şekil 4.1'de görüldüğü üzere elde edilen kimyasal bileşim bilgileriyle çamur faktörü – sludge factor hesaplanmıştır [28]. Bu değer numunenin Fe, Mn ve Cr içeriğinin hesaplanmasıyla elde edilir ve potadaki alüminyum dışı metallerin çamur oluşturmasında ne derece etkili olduğunu gösterir. Deneyde kullanılan alaşımda Cr içeriği bulunmadığı için hesaplamaya dahil edilmemiştir.

Her bir saatte alınan numuneler klasik metalografi numune hazırlama işlemlerinden geçirilerek optik mikroskopta incelenmiş ve sayısal veri toplayabilmek amacıyla görüntüler kaydedilmiştir. Soğumanın hızlı gerçekleştiği ince kesit numunelerinde 5 saat süre sonunda en yüksek SDAS değerine ulaşılmıştır. Bu süre demir kaynağı peletlerden ergimiş alüminyum içerisine demir difüzyonun gerçekleşmesi için yeterlidir. Ancak, intermetaliklerin oluşarak yapıda varlıklarını devam ettirmeleri için yeterli soğuma hızı mevcut değildir. Yavaş soğuyan 5 saat tutma süreli numunede SDAS değeri en yüksek çıkmıştır. Yavaş soğuma gerçekleşen kalın numunede en küçük SDAS değer 1 saatlik tutma süresine sahip numunededir. Bunun nedeni yapıda yüzde olarak fazlaca intermetalik oluşması ve alfa alüminyumun katılaşması sırasında dendrit kolları arasındaki mesafenin artmasından dolayı olduğu gözlenmiştir. Ancak 1 saatlik numunede sıvı metal içerisine Fe geçişi için yeterli zaman olmadığından SDAS artamamıştır.

Basamak tipi numunede her bir basamağın kalınlığı soğuma hızları ile ters orantılı olarak değişmektedir. Soğuma hızı intermetalik oluşumu ile doğrudan etkili olduğundan, mekanik özelliklere etkisi direkt olarak görülmektedir. Soğuma hızlı gerçekleştiğinde intermetalik oluşumu birim zamanda yavaş gerçekleşeceğinden, birim alandaki intermetalik miktarı azalmaktadır. Elde edilen sonuç Şekil 4.8'de incelendiğinde sertlik değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir. Soğuma hızı arttıkça elde edilen sertlik skalası da genişlemektedir. Yavaş soğuma gerçekleştiğinde demir peletin sıvı metalde daha çok süre geçirdiği 5 saatlik numunede sertlik değeri en yüksek çıkmıştır. 1 saat tutma süresi olan numunede ise sertlik değer en düşüktür. Yapıya geçen demir miktarı zamanla arttığı, intermetalik oluşumu için potansiyel demir miktarının bulunduğu göz önünde bulundurulursa yavaş katılaşan numunede sertlik artış sebebinin tutma süresi ve soğuma hızı kaynaklı olduğu gözlenmektedir. Demir kaynağı içeriği bulunmayan ince kesitli numunede sertlik değeri demir içerenlere göre daha düşük çıkmıştır. Bu da intermetalik oluşumu için gerekli zaman tanınmadığında ve demir içeriği de bulunmadığında sertliğin artmadığının göstergesidir [26-29]. Kalkan'ın çalışmasında anlatılan intermetalik ve bifilm içeren parçaların sertliği yüzünden takım uçlarının ömürlerinin kısa olması bu nedenlerle açıklanmaktadır [10].

Şekil 4.9'da demir içeriği olmayan sıvı metalde poroziteler demir içeriği olanlara kıyasla daha homojen ve küçüktür. Bekleme süresi arttıkça porozite sayısı azalmış fakat boyutlar artmıştır. Şekil 4.15'de tutma süresine bağlı olarak bifilm indeks değişimi görülmektedir. Şekil 4.16'da

görüldüğü üzere 1 saat sonunda sıvı metaldeki demir ve bifilm içeriği % 10 oranında artış göstermiştir. Diğer bekleme aralarındaki lineer ilişki aynı seviyede olmasa da 5 saat sonundaki numunelerde de % 10 oranında artış gözlemlenmiştir. Tutma süresi toplamda bifilm içeriğini arttırmaktadır. Demir içeriği de tutma süresiyle artmaktadır fakat belirli bir süre sonunda difüzyon sınırlanmıştır. Bunun sebebi elde edilen numunelerde sıvı metal süresince veya katılaşma esnasında oluşan intermetaliklerin yapıdaki demiri toplamış olması ve katılaşma esnasında konsantrasyon farklılığından dolayı hacimce orta noktada en son katılaşmalarıdır. Bu katılaşma davranışından dolayı demir içeriği parçada iç kısımlarda daha yüksek görülecektir.

SEM görüntülerinde alansal olarak yapılan EDS analiz bölgeleri Şekil 4.17, Şekil 4.19, Şekil 4.21, Şekil 4.23 ve Şekil 4.25'de gösterilmiştir. İntermetalik miktarı matriks içerisinde artış göstermiştir. Özellikle 5 saat tutma süresine sahip numunede intermetalik sayısı en yüksek seviyeye ulaşmıştır. Bu sebepten dolayı bu numunelerde sertlik değerinin yüksek ve malzemenin gevrek olması beklenir. Şekil 4.27'de simetrik bir intermetalik görüntüsü görülmektedir. İntermetalik ortasındaki beyaz tanecikler demir oksit tozları olarak düşünülmektedir. Porozite içerisinde oluşundan dolayı ilgili bölgeden count-sayım alınamadığı için EDS analizi yapılamamıştır.

İntermetalikler alüminyum alaşım içerisindeki etkileri literatür ile uyumluluk göstermektedir. Bu çalışmanın özgün yanı olarak demir kaynağı olarak toz peletler kullanılması ve kum kalıptaki katılaşma hızına bağlı olarak incelenmiş olmasından dolayı literatürde yer alacaktır.

KAYNAKLAR

[1]. Habashi, F., 1997, *Handbook of Extractive Metallurgy, Volume 2* ,Wiley VCH, Germany

[2]. Brown, J., 1999, *Foseco non-ferrous foundryman's handbook*.: Butterworth-Heinemann

[3]. Kaufman J. G., Rooy E.L., 2004, *Aluminium Alloy Castings: Properties, Processes, and Applications,* USA, ISBN 0-87170-803-5.

[4]. Gruzleski J.E., Closset B.M., 1990, *The Treatment of Liquid Aluminium-Silicon Alloys*, American Foundrymen's Society Inc., Illionis, USA, ISBN:0-87433-121-81-9.

[5]. Günay Y., Alüminyum Dökümde Enerji Verimliliği, Tüdöksad Akademi Seminer No: 3, 2016 Kocaeli, Gebze.

[6]. Taylor J, A., 2012, Iron-containing intermetallic phases in Al-Si based casting alloys, *Procedia Materials Science* 1, 19 – 33.

[7]. Taylor J.A., Schaffer G.B., and St. JOHN, D.H., 1999, Iron Intermetallic Phases in the Al Corner of the Al-Si-Fe System The Role of Iron in the Formation of Porosity in Al-Si-Cu–Based Casting Alloys: Part I. Initial Experimental Observations *Metallurgical and Materials Transactions B,* Volume 30A, 1643-1650.

[8]. Taylor J.A., Schaffer G.B., and St. JOHN, D.H., 1999, 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,* Volume 30A, 1651-1655

[9]. Taylor J.A., Schaffer G.B., and St. JOHN, D.H., 1999, The Role of Iron in the Formation of Porosity in Al-Si-Cu–Based Casting Alloys: Part III. A Microstructural Model *Metallurgical and Materials Transactions A,* Volume 30A, 1657-1662

[10]. Kalkan, İ, H., 2015, Al-Si Yüksek Basınçlı Döküm Alaşımlarında Fe İntermetaliklerinin Kalıp Ömrüne Etkisi, Yüksek Lisans, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

[11]. Muşdal E, 2018, Alüminyum-Silisyum Alaşımlarında Demir İntermetaliklerinin Etkisi, Yüksek Lisans, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

[12]. Yavaş İ., 2019, AlSi10Mg Alaşımında Demir Difüzyonunun Mikroyapı Üzerine Etkileri, Yüksek Lisans, İstanbul Üniversitesi – Cerrahpaşa Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.

[13]. Baş E N., 2019, A360 Alaşımında İntermetaliklerin ve Bekleme Süresinin Sıvı Metal Kalitesine Etkisi, Yüksek Lisans, İstanbul Üniversitesi – Cerrahpaşa Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

[14]. Aran A., Döküm Teknolojisi, İmal Usulleri Ders Notları, İTÜ Makine Fakültesi

[15]. ASM Handbook, 1992, Volume 3: Alloy Phase Diagrams

[16]. Dispinar, D., Akhtar, S., Nordmark, A., Sabatino, M. D., Arnberg, L. 2010. "Degassing, Hydrogen and Porosity Phenomena in A356," *Materials Science and Engineering A*, vol. 527, p. 3719-3725

[17]. Dispinar D., Campbell J., 2011, Porosity, hydrogen and bifilm content in Al alloy castings, *Materials Science and Engineering A*, 528, 3860–3865.

[18]. Dispinar D., Campbell J., 2006, Use of bifilm index as an assessment of liquid metal quality, *International Journal of Cast Metals Research* , Volume:19 NO:1, 5-13.

[19]. Campbell J., 2014, *Casting Practices:10 Rules of Casting*, Longman, United Kingdom, ISBN: 9780750647915

[20]. Campbell J., 2006, Entrainment defects, *Materials Science and Technology*, 22 (2), 127- 145.

[21]. Campbell J., 2003, *Casting*, United Kingdom, Butterworth-Heinemann

[22]. Hizli İ G., Salkir M., Kalkan İ H., Dispinar D., 2019, Influence of Melt Quality on the Fluidity of AlSi12Fe, TMS 2019, Shape Casting: 7th International Symposium Celebrating Prof. John Campbell's 80th Birthday.

[23]. Tunçay, T., 2012, A356 Alüminyum Sıvı Metal Hareketinin Mikroyapı ve Mekanik Özellikleri Üzerinde Etkisinin İncelenmesi. Doktora Tezi. Gazi Üniversitesi, Ankara.

[24]. Çetin, A., 2017, Dökümcünün El Kitabı Serisi - 04 Alüminyum Döküm Alaşımları, 13-15.

[25]. Davis, J.R., 2001, *Light Metals amd Alloys, Alloying: Understanding the Basics*, ASM International, ISBN: 978-0-87170-744-4, 351-367.

[26]. Khalifa, W., Samuel, F.H., and Gruzleski, J.E., 2003, Iron intermetallic phases in the Al corner of the Al-Si-Fe system, *Metallurgical and Materials Transactions A*, 34A, 807-825.

[27]. Ferraro S., Timelli G., 2015, Influence of Sludge Particles on the Tensile Properties of Die-Cast Secondary Aluminum Alloys, *Metallurgical and Materials Transactions B*, Volume 46B, 1022-1034.

[28]. Shabestari S.G., 2004, The effect of iron and manganese on the formation of intermetallic compounds in aluminum–silicon alloys *Materials Science and Engineering A, 383, 289–298*

[29]. M.A. Moustafa, 2009, Effect of iron content on the formation of -Al5FeSi and porosity in Al–Si eutectic alloys, *Journal of Materials Processing Technology*, 209, 605–610.

[30]. Agudo L., Study of Microstructure and Residual Stresses in dissimilar Al/Steels welds produced by Cold Metal Transfer.

[31]. W. Khalifa, F.H. Samuel, and J.E. Gruzleski, 2003, Iron Intermetallic Phases in the Al Corner of the Al-Si-Fe System, *Metallurgical and Materials Transactions A, 34A*, 807-825

[32]. I, Miki, Kosuge, H., and Nagahama, K., 1975, Supersaturation and decomposition of Al-Fe alloys during solidification, *Journal of Japan Institute of Light Metals*, 25, 1-9.

[33]. Hamasaiid, A. and Davidson, C.J., 2007, Effect of Mold Coating Materials and Thickness on Heat Transfer in Permanent Mold Casting of Aluminum Alloys, *Metallurgical and Materials Transactions A*, 38, 1303-1316.

[34]. Flores, A., Sukiennik, M., Castillejos, A.H., Acosta, F.A. and Escobedo, J.C., 1998, A kinetic study on the nucleation and growth of the Al8FeMnSi2 intermetallic compound for aluminum scrap purification, *Intermetallics*, 6, 217-227.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	SEFA ALPER
Doğum Yeri	Osmangazi/BURSA
Doğum Tarihi	05.04.1993
Uyruğu	☑ T.C. ❒ Diğer:
Telefon	+90 5383941283
E-Posta Adresi	sfalpr@gmail.com
Web Adresi	-



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Fakülte	Mühendislik Fakültesi
Bölümü	Metalurji ve Malzeme Mühendisliği
Mezuniyet Yılı	2015

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Enstitü Adı	Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Anabilim Dalı	Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı
Programı	Program Adı

Makale ve Bildiriler