T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ALÜMİNYUM METAL KALİTELERİNE GÖRE GAZ ALMA SÜREÇLERİNİN OPTİMİZASYONU

İLKAY DOĞAN CENGİZ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GEBZE
2018

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ALÜMİNYUM METAL KALİTELERİNE GÖRE GAZ ALMA SÜREÇLERİNİN OPTİMİZASYONU

İLKAY DOĞAN CENGİZ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN
PROF. DR. METİN USTA

GEBZE
2018

T.R.

GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

OPTIMIZATION OF DEGASSING PROCESSES ACCORDING TO ALUMINUM METAL QUALITY

İLKAY DOĞAN CENGİZ

A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE

DEPARTMENT OF MATERIAL SCIENCE AND ENGINEERING

THESIS SUPERVISOR

PROF. DR. METİN USTA

GEBZE

2018

GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ	**YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU**

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 27/06/2018 tarih ve 2018/33 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 03/07/2018 tarihinde tez savunma sınavı yapılan İlkay Doğan Cengiz'ın tez çalışması Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE
(TEZ DANIŞMANI) : Prof. Dr. Metin USTA

ÜYE : Doç. Dr. Kemal KORKMAZ

ÜYE : Doç. Dr. Derya Dışpınar

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
...../...../..... tarih ve ...../..... sayılı kararı.

ÖZET

Son yıllarda, alüminyum ve alüminyum alaşımları, endüstrinin tüm alanlarında, özellikle de otomotiv endüstrisinde mühendislik malzemeleri olarak giderek önem kazanmıştır. Alüminyum döküm uygulamaları genişledikçe, kalite gereksinimleri de artmıştır. Sıvı metal kalitesi döküm özellikleri üzerinde büyük bir etkiye sahiptir ve bu nedenle sıvı metal uygulamalarının bitmiş ürünün kalitesi üzerinde önemli bir etkisi vardır.

Alüminyum alaşımlarının kalitesinin belirlenmesindeki en önemli kriterlerden birisi döküm parçasında oluşabilecek porozitelerdir. Porozitenin temel kaynaklarından birisi de ergitme sırasında ortamda bulunabilecek olan rutubet ile reaksiyona giren sıvı alüminyumun yüzeyinde oluşan oksit ve sıvıda çözünen hidrojendir. Yüzey oksiti sıvı içerisine karışırsa, katlanma mekanizması ile iki oksit yüzeyi arasında bir miktar hava kapacak şekilde sıvı alüminyum içerisinde bifilm adı verilen yapılar yer alabilir.

Dökümhanelerde, argon veya azot gibi inert gazlarla sıvı alüminyum içerisindeki hidrojen içeriğini azaltmak için genellikle şablon ve standart olarak bir gaz giderme işlemi uygulanmaktadır. Ancak, sıvı metalin kirlilik seviyesine bağlı olarak bu oksitlerin giderilmesi için optimum parametrelerin belirlenmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, sıvı alüminyumda, döner gaz giderme sistemi ile, farklı süre, beslenen gaz debisi ve rotor dönme hızının(rpm) etkisiyle ne kadar temizlenebildiği gözlemlenmiştir. Gaz giderme sonrası numuneler ile istatistiksel olarak bifilm indeks değişimi, havada ve vakum altında soğutulan numuneler ile yoğunluk indeks değişimi incelenmiştir. Tekrarlanabilirlik ve seçilen herhangi bir sıvı metal işleminin hidrojen ve oksit inklüzyon kontrolüyle kararlı temizlik seviyelerine ulaşılması hedeflenmiştir. Birçok kalite yönetim sistemi de üretim verilerinin %100 ü kayıt altına alınması istenir ve standardın oluşması istenir. Yapılan denemeler sonucu alınan numunelerin analizleri karşılaştırıldığında, gaz giderme hızındaki artış sıvı metal temizliğinde olumlu sonuç verirken gaz giderme sürelerindeki artışın etkisi sıvı metal temizliğinde tek başına bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir. İnert gaz akış debisindeki artış oksitlerin temizlenmesine pozitif etki etmektedir.

Anahtar kelimeler: Sıvı alüminyum gaz giderme, bifilm indeksi, yoğunluk indeksi, döner sistem gaz giderme, gaz giderme optimizasyonu.

SUMMARY

In recent years, aluminum alloys have become increasingly important as engineering materials in all areas of the industry, particularly in the automotive industry. As aluminum casting applications have expanded, quality requirements have increased. The melt quality has a great influence on the casting properties and therefore the melt applications have a significant effect on the quality of the finished product.

One of the most important criteria for determining the quality of aluminum alloys is the porosity that can form in the casting. One of the main sources of porosity is that the hydrogen dissolved in liquid aluminum. Aluminum reacts with the moisture that can be found in the environment during melting. Oxide film formed on the liquid aluminum surface. If the surface oxides mix inside molten aluminium, they may involve structures that are called bifilm in molten aluminum with the form of a folding mechanism to trap some air between the two oxide surfaces.

Foundries usually use an inert gas such as argon or nitrogen in order to reduce the content of hydrogen in the molten aluminum, as a template and a standard, within degassing period. However, depending on the level of contamination of the metal, the optimum process must be provided to remove these oxides.

In this thesis, the effect of different the gas flow rate, rotor rotation speed and degassing time were studied how much can be cleaned by the rotary degassing system within the samples from melt after degassing. Bifilm and density index changes with the samples that cooled under air and vacuum were investigated. According to the results, the degassing mechanism has reached an optimum process. It is aimed to achieve reproducibility and stable cleaning levels with hydrogen control of any selected melt processing. In many quality management systems, 100% of production data are required to be recorded and a standard is designed. According to the samples, increasing the degassing rate gave a positive effect on the cleaning of the liquid metal, besides the degassing time increasing has not effect on the cleaning of the liquid metal directly. When the inert gas flow rate increases, there is a positive effect on the removal of oxides and decreasing hydrogen level.

Key words: Degassing of molten aluminium, bifilm index, density index, rotary degassing, degassing optimization.

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasında ve tamamlanmasında yol gösteren danışmanım Sayın Prof. Dr. Metin Usta'ya ve yönlendirmelerini, bir arkadaş gibi desteklerini esirgemeyen, bu çalışmanın oluşmasının yolunu açan hocam Sayın Doç. Dr. Derya Dışpınar'a en derin teşekkürlerimi iletiyorum. Bu çalışmada kendi işiniz yanında sürekli olarak fikir vermeniz ve her aşamada verdiğiniz bilgiler bu tezi savunmamda bana yardımcı olmuştur.

Bu çalışmanın paydaşı olan başta Sayın Naci Ekmen olmak üzere Arpek Arkan Parça Alüminyum Enjeksiyon ve Kalıp San. Ve Tic. A.Ş çalışanlarına ve kariyerimde önemli bir yeri olan Foseco Vesuvius İstanbul Refrakter A.Ş'ye teşekkürlerimi borç bilirim.

Tüm eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi tüm desteklerini her zaman yanımda hissettiren aileme sonsuz şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
TABLOLAR DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMA	4
2.1. Alüminyum Alaşımlama	4
2.1.1. Dövme Alaşımları	5
2.1.2. Dökme Alaşımları	6
2.2. Alüminyum Döküm	6
2.3. Sıvı Metal Kalitesi	7
2.3.1. Hidrojenin Sıvı Metal İçerisinde Çözünmesi	9
2.3.2. Oksit Film Oluşumu	14
2.3.3. Bifilm Oluşumu	21
2.3.4. Porozite Oluşumu	23
2.3.4.1. Çekirdeklenme ve Büyüme	25
2.4. Gaz Giderme	27
2.5. Flaks	31
2.6. Sıvı Metal Kalite Ölçümü	32
2.6.1. İndirgenmiş Basınç Testi (RPT – Reduced Pressure Test)	33
3. TEZİN AMACI, KATKISI VE İÇERİĞİ	36
4. DENEYSEL ÇALIŞMA	37
4.1. Kullanılan Malzemeler ve Ekipmanlar	37
4.1.1. Ergitme ve Taşıma	37
4.1.2. Alaşımlar	39
4.1.3. Gaz Giderme Cihazı	39

4.1.4. İndirgenmiş Basınç Test (RPT) Cihazı 41
4.2. Çalışmanın Adımları ve Numune Alımı 43
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA 46

KAYNAKLAR 57
ÖZGEÇMİŞ 61

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler ve Kısaltmalar		**Açıklamalar**
^{o}C	:	Santigrat
υ	:	Hız
γ	:	Yüzey gerilimi
r	:	Yarıçap
g	:	Yerçekim ivmesi
σ	:	Yoğunluk
ABD	:	Amerika Birleşik Devletleri
ATM	:	Atmosfer
BCC	:	Kütle Merkezlik Kübik - Body Centered Cubic
FCC	:	Yüzey Merkezlik Kübik - Face Centered Cubic
G	:	Gram
GTÜ	:	Gebze Teknik Üniversitesi
Hz	:	Hertz
K	:	Boltzman sabiti
KG	:	Kilogram
kPa	:	Kilo-Pascal
kW	:	Kilowatt
M	:	Metal
m	:	Metre
MBar	:	Milibar
Ml	:	Mililitre
MM	:	Milimetre
MPa	:	Mega-Pascal
NM	:	Nanometre
P	:	Basınç
PC	:	Bilgisayar – Personal Computer
PPM	:	Milyonda Bir Birim - Parts Per Million
RH	:	Bağıl Nem – Relative Humidity
RPM	:	Dönme hızı – Round Per Minute

RPT	:	İndirgenmiş Basınç Testi – Reduced Pressure Test
S	:	Saniye
TA	:	Termal Analiz

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No:		Sayfa
2.1:	Yüzey türbülansı; bifilmin sıvı metal içine sürüklenme mekanizması.	9
2.2:	Sıcaklığa bağlı hidrojen çözünürlüğü.	10
2.3:	Alüminyum FCC kafes yapısı içindeki oktahedral bölgelerinde bulunan H protonları.	11
2.4:	Al su buharı ile reaksiyonu; sıvı metal yüzeyinin oksidasyonu.	12
2.5:	Sıvı Al'in H içeriği zamanla çevre ile dengeye gelmesi.	14
2.6:	Kuru O_2'de Al'nin oksidasyonu.	15
2.7:	750 ^oC'de kuru ve nemli havada alüminyum oksidasyonu.	17
2.8:	Oksijen kısmi basıncı ve oksit yapısı.	18
2.9:	Al içine ve dışarı gaz emilimi ve desorpsiyonu.	19
2.10:	Nemli havanın 550 ^oC'de bir Al - % 2.2 Mg alaşımının hidrojen içeriği üzerindeki etkisi.	20
2.11:	Oksit Film ve MgO optik mikroskop görüntüsü.	20
2.12:	Karışık bifilm ve bifilmin bir kısmının büyütülmesi.	22
2.13:	Ortalama H içeriği ve ortalama porozite arasındaki ilişki.	24
2.14:	Tüm basınçların şematik görüntüsü.	26
2.15:	a) gaz akışı ve b) ergimiş alüminyumda döner gaz ile giderme.	28
2.16:	Farklı tipte gaz gidericiler (su içerisinde hava verimiyle gösterilmiştir) kabarcık büyüklüğü ve dağılımı a)lans, b)döner gaz giderici c)gaz giderme tapası.	28
2.17:	Ar gaz kabarcıklarında hidrojen gideriminin görseli.	29
2.18:	a)Vakum altında katılaşan test numune kesiti ve b)bifilm taraması.	34
2.19:	Atmosferik basınç altında katılaşan ve vakum altında katılaşan test numuneleri.	34
4.1:	a) Strikowestofen alüminyum ergitme ocağı b) Devirmeli alüminyum ergitme ocağı.	37
4.2:	Birincil alüminyum külçesi.	38
4.3:	İkincil alüminyum – Üretim geri dönüşüm malzemesi.	38
4.4:	Taşıma potası.	38

Şekil No: **Sayfa**

4.5: Farklı sistemler tarafından üretilen inert gaz kabarcık boyutunun karşılaştırılması. 40

4.6: Çalışmada kullanılan grafit rotor. 41

4.7: a) Rotor pompalama hareketi b) Kullanılan Rotor-Şaft-Dalga kıran. 41

4.8: RPT cihazı. 42

4.9: a) Vakum altında katılaşan b) havada katılaşan yoğunluk indeks numuneleri. 42

4.10: Vakum altında katılaşan bifilm numunesi. 43

4.11: AlSi9Cu3 sıvı metalin gaz giderme sonrası alınan numunelerin kesit yüzeyi bifilmlerin görünümü. 44

4.12: AlSi10Mg sıvı metalin gaz giderme sonrası alınan numunelerin kesit yüzeyi bifilmlerin görünümü. 45

4.13: AlSi12Cu1 sıvı metalin gaz giderme sonrası alınan numunelerin kesit yüzeyi bifilmlerin görünümü. 45

5.1: Al9Si3Cu alaşımının değişen parametrelere göre bifilm-yoğunluk indeks dağılımı a) süre b) vorteks c) inert gaz akış basıncı d) gaz giderme hızı. 46

5.2: AlSi10Mg alaşımının değişen parametrelere göre bifilm-yoğunluk indeks dağılımı a) süre b) vorteks c) inert gaz akış basıncı d) gaz giderme hızı. 48

5.3: AlSi12Cu1 alaşımının değişen parametrelere göre bifilm-yoğunluk indeks dağılımı a) süre b) vorteks c) inert gaz akış basıncı d) gaz giderme hızı. 50

5.4: AlSi9Cu3 alaşımındaki %Mg‘nin yoğunluk a) ve bifilm b) indeksine etkisi. 52

5.5: AlSi10Mg alaşımındaki %Mg‘nin yoğunluk a) ve bifilm b) indeksine etkisi. 52

5.6: AlSi12Cu1 alaşımındaki %Mg‘nin yoğunluk a) ve bifilm b) indeksine etkisi. 53

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo No:		Sayfa
4.1:	Si bazlı alaşımlarının kimyasal kompozisyonları (ağırlıkça %).	39
4.2:	Kullanılan alaşımlarının kimyasal kompozisyonları (ağırlıkça %).	39
4.3:	Gaz giderme parametreleri ve denemeler.	44

1. GİRİŞ

Alüminyum, yüksek mukavemet, yüksek esneklik, hafiflik, iyi termal ve elektriksel iletkenlik, kolay şekillendirelebilirlik, yüksek korozyon direnci, geri dönüştürülebilirlik gibi özelliklerinden dolayı pek çok alanda tercih edilen mühendislik malzemesi haline gelmiştir. Bu sebeple alüminyum ve alaşımlarının kullanımı yıllar boyunca birçok uygulamada günden güne artış göstermektedir. Alüminyum döküm ürünlerinin kullanıldığı en büyük pazar otomotiv endüstrisidir. Alüminyum, havacılık, deniz motorları ve yapılar gibi diğer mühendislik uygulamalarında da yaygın olarak kullanılmaktadır. Küçük ev aletleri, el aletleri ve diğer makinelerin parçaları olarak binlerce farklı alüminyum döküm parçaları kullanır. Alüminyum döküm ürünlerinin kullanıldığı büyüyen ve geniş bir sektörde alüminyum ve alaşımlarının geri dönüşümü de büyük endüstriye sahiptir. İkincil alüminyum rafinasyon veya yeniden ergitme ile geri dönüştürülmektedir. Alüminyumun geri dönüşümünde en önemli faktörlerden biri, yeniden ergitme işleminin birincil ürünü üretmek için gereken enerjinin %95'ine kadar tasarruf etmesidir. Diğer bir önemli faktör ise, kullanılan alüminyumun çoğunluğunun geri dönüştürülebilmesidir. Günümüzde geri dönüştürülmüş alüminyum, dünya çapında küresel alüminyum tüketiminin üçte birini oluşturmaktadır. Döküm endüstrisinin daha sonra yeniden ergitilmesi için genellikle çubuk veya külçelere dökülen geri dönüştürülmüş alüminyum, yeterli dökümler yapabilmek için belirli ve geçerli bir kalite standardına sahip olmalıdır. Yeniden döküm – geri dönüşüm endüstrisinin fabrikadan fabrikaya farklı kalitede külçeler çıkardığı ve kalitenin tek bir sıvı metalden sıvı metal esasına kadar değişebileceği dökümcüler tarafından iyi bilinmektedir [1,2].

Bir ürünün kalitesi sıvı metal metalürjisi, döküm tekniği, katılaşma modu ve mikro yapıdan etkilenir. Bununla birlikte, ergitme, yeniden ergitme aşamasında ve sıvı metallerin dökümü işlemi sırasında oluşan birçok kusur vardır. Bütün bu süreçler katılaşma aşamasından önce gerçekleşir. Kuşkusuz, ergitme aşamasındaki mevcut veya yaratılan herhangi bir kusur, herhangi bir katılaşma kusuruna ilave olarak, nihai mikro yapıya taşınabilir ve bu durum ürün performansını etkileyecektir. Bu nedenle, ürünün kalite kontrolünün sıvı metal kalitesinin kontrolü ile başladığı açıktır. Bu kalite performansına etken kusurlar, hidrojen ve sürüklenen alüminyum oksitin (bifilm oluşumu), karbürlerin ve intermetalik bileşiklerin çözünmesidir. Endüstri büyümeye

ve performansı arttırmaya yönelik yeni yollar aradıkça uygulamalar önem gösteriyor. Bununla birlikte, ürünlerin kalite ve güvenilirliğinin sağlanması kritik bir öneme sahiptir. Bu nedenle, gelişmeler alüminyumun özelliklerini etkileyen kalite faktörlerine odaklanmıştır [1,2].

Dökümden önce ergimiş metali temizlemek için kullanılan çeşitli işlemler vardır. Filtrasyon, elektromanyetik ayırma ve döner sistem gaz giderme, katı partiküllerin temizlenmesinde başarıyla kullanılmıştır. Benzer şekilde, çözünmüş gazların uzaklaştırılması için, vakumlu gaz giderme ve / veya kabarcık (gaz üfleme) gaz giderme kullanılmıştır. Bu çalışma temel olarak hem katı parçacıkları hem de çözünmüş hidrojeni ergimiş alüminyum alaşımlarından uzaklaştırmak için odaklanılan bir işlem olarak görülmektedir [3].

Gaz giderme işleminde, reaktif veya inert bir gaz veya her iki gaz türünün bir kombinasyonu, dönen bir rotor, dönmeyen daldırılmış bir lans veya alttan gözenekli bir sistem vasıtasıyla sıvı metale üflenmektedir. Bu çalışmada döner sistem gaz giderme işlemiyle gaz giderme yapılarak, katı parçacıkların dönen bir flotasyon sisteminde ergimiş alaşımlardan ayrılması ve dönen rotor tarafından oluşturulan türbülans nedeniyle, bu parçacıklar birbiriyle çarpışır ve kümeler oluşturur [3]. Bu kümeler, zayıf Van der Waals'ın katı parçacıklar arasındaki çekim güçleri nedeniyle oluşur. Bir kere oluşturulduktan sonra, bu kümeler, sıvı metal ile arasındaki yoğunluk farkından dolayı tutma fırınının/potanın tabanına yerleşirler veya yükselen gaz kabarcıkları tarafından yakalanırlar ve sıvı metalin üst yüzeyine taşınırlar [2]. Cüruf olarak sıvı metal üzerinden alınırlar. Bu süreç, büyük ölçüde, rotor ve temizleme gazı akışı tarafından oluşturulan sıvı metalin içindeki akış alanına bağlıdır. Rotorun yarattığı türbülans, parçacıkların çarpışma hızını ve dolayısıyla kümelerin oluşum hızını etkiler ve bu da sistemin katı parçacıkları gidermek için verimini etkiler.

Hidrojen giderme mekanizması, metal ile gaz ara yüzü boyunca hidrojenin difüzyonu ile gerçekleşir. Sonuç olarak, alaşım tipi, sıvı metal sıcaklığı, başlangıç alaşımın hidrojen içeriği, gazın türü ve akış oranı, gaz ile metal temas süresi, ekipman verimliliği ve çevre nemi gibi harici çevre koşulları dahil olmak üzere hidrojen giderme etkinliğini etkileyen birçok faktör vardır.

Standart indirgenmiş basınç testi (RPT), metal kalitesinin bir göstergesini sağlayabiliyor gibi görünmektedir, fakat şimdiye kadar karşılaştırmalı bir değerlendirme olarak kullanılmıştır. Biri atmosferik basınçta, diğerini ise kısmi bir vakum altında katılaşan iki numunenin yoğunluklarının karşılaştırması, sıvı metal

kalitesinin sayısal bir göstergesini vermek için kullanılır. Bu yaklaşım güvenilir olmaması yanı sıra porozite (parça boşluğu) hakkında bilgi verdiğinden genel takip mekanizmasını fabrikalar için oluşturur. Fakat RPT hidrojen içeriği ve metal temizliği arasında ayrım yapamaz. Hidrojen porozitesinin bifilmlerin varlığı olmadan çekirdeklenemeyeceğini kabul etmesi nedeniyle bu konuyu ayrıca ele almak önemlidir. İlk çalışmalar, hidrojenin her zaman zorluk çekmeden katılaşacağını varsaymış ve böylece bir numunenin yoğunluğu ve hidrojen içeriği arasında doğrusal bir ilişki olacaktır. Bu nedenle, bir işlemin herhangi bir aşamasında yoğunluğun ölçülmesiyle, hidrojen içeriğinin bir göstergesi olacaktır. Bununla birlikte, durumun gerçekliği, bifilmlerin başlatıcı olması ve hidrojenin yalnızca porozite oluşumuna katkıda bulunmasıdır [2].

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMA

Alüminyum bugün dünyada en çok kullanılan ikinci metaldir. Oksijen için güçlü bir afiniteye sahip, hafif, iletken, korozyona dayanıklı bir metaldir. Bu özellik kombinasyonu, havacılık, mimari yapı ve denizcilik endüstrilerindeki uygulamaların yanı sıra birçok evsel kullanımla yaygın olarak kullanılan bir malzeme haline getirmiştir. Alüminyum, metalik formunda doğada bulunmaz. Boksit, alüminyum oksit, demir oksit ve kil karışımı olarak ortaya çıkar.

Alüminyum, modern toplumların kullandığı en önemli metallerden biridir. Alüminyum, fiziksel özelliklerin bir araya gelmesiyle, birçoğu modern yaşamda vazgeçilmez olan çok çeşitli ürünlerde kullanılmasına yol açar. Alüminyumun gücü, hafifliği ve işlenebilirliği, hafif araçların, vagonların ve uçakların yakıt tüketimini azaltma çalışmaları dahil olmak üzere ulaşım sistemlerinde daha fazla rol oynamasına yol açmıştır. Daha düşük üretim maliyeti ve daha yüksek mukavemet / ağırlık oranları, azaltılmış kirlilik, artırılmış yakıt verimliliği ve daha yüksek performans gibi taleplerle birlikte pek çok otomotiv uygulamasında demir bazlı alaşımların yerini almasına yardımcı olmuştur. Alüminyumun mükemmel termal özellikleri ve korozyona karşı direnci, klima, soğutma ve ısı değişim sistemlerinde kullanılmasını sağlamıştır. İşlenebilirliği, çeşitli ambalajlarda kullanılan çok ince tabakalar haline getirilmesi ve şekillendirilmesi mümkündür.

Bu benzersiz özellik kombinasyonu sayesinde, alüminyumun çeşitli uygulamaları artmaya devam ediyor. Bugün, her yıl birleştirilmiş diğer tüm demir dışı metallerden daha fazla alüminyum üretilmektedir. Alüminyum ve alaşımlarında döküm sırasında oluşan kusurları anlamak ve kontrol etmek için büyük çaba sarf edilmiştir. Bu çabalar, başlangıçtan (alaşım imalatı) üretim sonuna kadar sıvı metal kalitesine odaklanmaktır. Bazı laboratuvar ölçekli çalışmaların sonuçları, ticari ikincil yeniden ergitme işleminde gerçekleştirilen bir dizi testlerle ile birlikte gösterilmektedir [2,4].

2.1. Alüminyum Alaşımlama

Alüminyum alaşımlarında, özelliklerin iyileştirilmesi için diğer elementler bilinçli olarak eklenmiştir. Pek çok alaşım geliştirilmiş olup, buradaki amaç

alüminyumun istenen özelliklerini korurken mukavemetini, özellikle de hafifliğini ve korozyon direncini arttırmaktır. Genel olarak, bir alaşım elementinin eklenmesi mukavemeti arttırırken, korozyona karşı direnci azaltır ve gerekli özelliklerden taviz verir. Bunun olası bir istisnası, deniz ortamlarında korozyon direncinin daha iyi olduğu magnezyum alaşımlarıdır. Alüminyum-bakır alaşımları korozyona karşı çok zayıf bir direnç gösterirler ve tabakalar genellikle sandviç formda, dış tarafa ince bir şekilde korozyona dayanıklı alüminyum ince tabakalar ile üretilir [4,5,12,16,17].

Alüminyuma eklenen ana alaşım bileşenleri bakır, magnezyum, silikon, manganez, nikel ve çinkodur. Bunların tamamı saf alüminyumun mukavemetini arttırmak için kullanılır. İki sınıf alaşım düşünülebilir. Bunlardan birincisi, istenen formlara doğrudan dökülen döküm alaşımları, diğer bir sınıf ise dövme alaşımlarıdır. Külçe veya biyet içinde ve sıcak ve soğuk mekanik olarak ekstrüzyon, dövme, levha, folyo, boru ve tel haline getirilmiştir.

Dökme ve dövme alaşımları için tanımlama sistemi geliştirilmiştir [4,5,12,16,17].

2.1.1. Dövme Alaşımları

1xxx: Öncelikle elektrik ve kimya endüstrilerinde kullanılan kontrollü (saf) bileşim

2xxx: Bakırın ana alaşım elementi olduğu alaşımlar, diğer element içeriği olarak magnezyum belirtilebilir. 2xxx serisi alaşımları, yüksek mukavemetinin (455 MPa kadar yüksek akma dayanımları) değerlendiği hava taşıtlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. (Al-Cu alaşımları)

3xxx: Mimari uygulamalar ve çeşitli ürünler için genel amaçlı alaşımlar olarak kullanıldığı Manganezin ana alaşım elementi olduğu alaşımlar. (Al-Mn alaşımları)

4xxx: Kaynak çubuklarında ve lehim tabakasında kullanılan Silikonun ana alaşım elementi olduğu alaşımlar. (Al-Si alaşımları)

5xxx: Tekne gövdelerinde ve deniz ortamlarına maruz kalan diğer ürünlerde kullanılan magnezyumun ana alaşım elementi olduğu alaşımlar. (Al -Mg alaşımları)

6xxx: Mimari ekstrüzyonlar ve otomotiv bileşenleri için yaygın olarak kullanılan Magnezyum ve silikonun ana alaşım elementleri olduğu alaşımlar. (Al-Mg-Si alaşımları)

7xxx: Çinkonun ana alaşım elementi olduğu alaşımlar (bakır, magnezyum, krom ve zirkonyum gibi diğer elementler belirtilse de), uçak yapısal bileşenlerinde ve diğer yüksek mukavemetli uygulamalarda kullanılır. 7xxx serisi en güçlü alüminyum alaşımlardır ve akma dayanımları ≥500 MPa olabilir. (Al-Zn-Mg alaşımları)

8xxx: Çeşitli kompozisyonları karakterize eden alaşımlar. 8xxx serisi alaşımlar kayda değer miktarda lityum ve / veya demir içerebilir.

9xxx: Gelecekte kullanım için ayrılmıştır.

2.1.2. Dökme Alaşımları

1xx.x: Özellikle rotor üretimi için kontrollü alaşımsız (saf) bileşimler

2xx.x: Bakırın ana alaşım elementi olduğu alaşımlar. Diğer alaşım elementleri belirtilebilir.

3xx.x: Silikonun ana alaşım elementi olduğu alaşımlar. Bakır ve magnezyum gibi diğer alaşım elementleri belirtilmiştir. 3xx.x serisi, üretilen tüm şekilli dökümlerin yaklaşık %90'ını oluşturur.

4xx.x: Silikonun ana alaşım elementi olduğu alaşımlar.

5xx.x: Magnezyumun ana alaşım elementi olduğu alaşımlar.

6xx.x: Kullanılmayan

7xx.x: Çinkonun ana alaşım elementi olduğu alaşımlar. Bakır ve magnezyum gibi diğer alaşım elementleri belirtilebilir.

8xx.x: Kalay'ın ana alaşım elementi olduğu alaşımlar.

9xx.x: Diğer alaşım elementleri içeren alaşımlar.

2.2. Alüminyum Döküm

Alüminyum, ortak döküm metallerinin en çok yönlü ürünlerinden biridir ve dünya ortalama olarak bu metalin yaklaşık %20'sini tüketmektedir. Alüminyum alaşımların dökümler için, hafiflik, nispeten düşük ergime sıcaklıkları, hidrojen dışındaki tüm gazlar için ihmal edilebilir çözünürlük ve genellikle nihai ürünlerle elde edilen iyi yüzey kalitesi gibi özel avantajları vardır. Mukavemet, sertlik ve diğer özellikleri alaşımlama ve / veya ısıl işlem ile büyük ölçüde değiştirerek çok çeşitli mekanik özellikler sergilenebilir. Alüminyum dökümler ile ilgili önemli bir problem,

katılaştırma sırasında ortaya çıkan % 3.5 ile % 8.5 arasındaki nispeten yüksek büzülme olmasıdır. Diğer olumsuz özellikler arasında ergimiş halde hidrojen için yüksek çözünürlüğü, aşınmaya karşı direncinin olmaması, demirli alaşımlarda olduğu gibi yüksek mukavemet, sertlik ve sertlik kombinasyonunu geliştirememe, bakır ve paslanmaz çeliğe kıyasla aşırı korozyona karşı direnç eksikliği vardır [2].

Alüminyum alaşımlı dökümler ilk olarak diğer metaller için tarihi kullanımda olan süreçler kullanılarak üretildi. Demir veya çelik kalıplar 17. yüzyılda kurşun bazlı alaşımlarda döküm tipinde kullanılmıştır. Demir kalıplarda, kalaylı döküm için sömürge zamanlarında kullanılmıştır. Alüminyum dökümde demir ve çelik kalıpları kullanmaya yönelik yoğun çabalar, 20. yüzyılın ilk on yılı boyunca ticari "kalıcı kalıp" operasyonları ile sonuçlanmıştır [6].

Basınçlı döküm, metal kalıp (kokil), kil / su bağlı kum kalıp, kimyasal olarak bağlanmış kum kalıp, alçı kalıp ve hassas döküm de dahil olmak üzere, esas olarak mevcut tüm süreçler ile alüminyum dökülebilir. Önemli varyasyonlar arasında köpük kalıp, kabuk ve V-kalıp, düşük basınçlı kokil kalıp, vakum altı kalıp ve rheocasting / thixocasting prensiplerine dayanan yarı katı oluşturma gibi işlem türevleri de yer alır.

Birçok alüminyum alaşımlı döküm, mevcut yöntemlerden herhangi biri ile üretilebilir. Çoğu durumda, boyutlar, tasarım özellikleri ve malzeme özellik gereksinimleri, tercih süreçlerinin aralığını sınırlar. En uygun maliyetli sürecin kullanımını kolaylaştırmak için belirli kriterlerde çalışmalar yapılır.

2.3. Sıvı Metal Kalitesi

Alüminyum reaktif bir metaldir, bu yüzden cevherden eldesi enerji tüketimi yoğun ve pahalıdır. Tamamen birincil Al kullanılan bileşenler üretmek ekonomik bir seçenek değildir. Bu nedenle, üreticilerin mümkün olduğunca daha çok geri dönüşüm yoluyla ikincil Al'yi kullanmaları için bir itici güç vardır. Çünkü alüminyumu yeniden ergitmek için gereken enerji miktarı, elektrolizi kullanarak Al_2O_3'ten birincil alüminyum üretmek için gerekli olanın sadece %5'i dir. Fakat ikincil alüminyumun en azından bir kez daha ergitilip işleneceği ve her kullanım döngüsünde artan miktarda kirletici ve istenmeyen alaşım elementleri (örneğin Fe, Si) içerebileceği dezavantajı vardır. Bu kirletici maddeler daha sonra bir sonraki dökümlerin kimyasını, işlenmesini veya mekanik özelliklerini etkileyebilir ve akışkanlık gibi tekniklerle giderilemez [7].

Tutarlı bir döküm kalitesi elde etmek ve mekanik özellikleri yeniden üretebilmek dökümhaneler için birincil zorluktur.

Sıvı metal kalitesi döküm kalitesini etkileyen en önemli faktörlerden biridir ve sıvı kalitesi üç faktörle kontrol edilir:

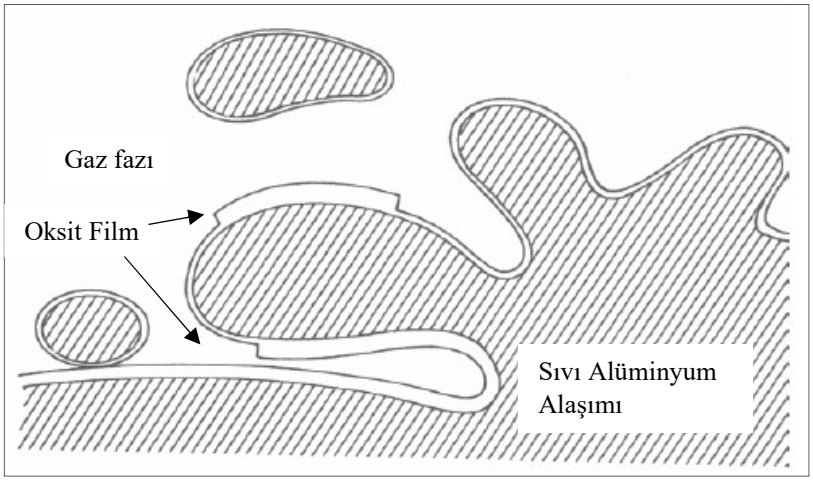
- Ergimiş metal içerisindeki çözünmüş hidrojen seviyeleri ve daha sonra dökümde oluşan porozite.
- Öncelikle oksitler olmak üzere sıvı metalde bulunan metalik olmayan inklüzyonların konsantrasyonu.
- Metal içinde çözünmüş eser elementlerin konsantrasyonu.

Bu tez çalışmasında, bu üç faktörün ergimiş metal kalitesi üzerindeki etkisi incelenecek ve daha sonra hidrojen gaz içeriği ve inklüzyonlar izlenerek bunların sıvı metalden giderme sırasında farklı gaz giderme süresi, sıvıya beslenen gaz debisi ve rotor dönme hızı (rpm) etkisi farklı alüminyum alaşımlarına göre irdelenecektir.

Ergime sırasında, bir sıvı alüminyum ve çevresi arasında meydana gelen önemli etkileşimler sonrası hidrojen emilimi ve oksit filmlerinin oluşumu gerçekleşir. Oksit parçacıkları ve filmler, genellikle sıvı alüminyum içinde gözlenen en yaygın inklüzyonlardır. Oksitler ergime başlangıcından itibaren sıvı metale ulaşır. Bu sebeple sıvı yoğunluk farkından dolayı ergitilecek malzemenin yüzeyinde oksit filmi olarak bulunurlar. Bir pota fırında veya sıvı metal banyosunda yeniden ergitildiğinde, her bir katı şarj parçası batırıldığında ve sıvı faza geçtiğinden, yüzey oksidi serbest olarak yüzer ve sıvı metal içinde süspanse olur. Bu tür filmler nihai bitmiş dökümlerde tam, masif, film benzeri veya cüruf benzeri inklüzyonlar olarak bulunur. Alüminyum alaşımındaki inklüzyonlar, mukavemet düşürücüler olarak işlev görür ve bir bileşenin erken bozulmasına neden olabilir [2].

Alümina formasyonunun serbest enerjisi, açıkta kalan sıvı alüminyum yüzeylerde oksit oluşmasını önlemesi mümkün değildir. Aslında, alümina filmi ergitme işleminin önemli bir parçasıdır, çünkü metali daha fazla oksidasyondan korur, hatta ergimiş magnezyum gibi yanmayı karşı da korumaktadır. Bununla birlikte problem, bir oksit filmin sıvı metal içine karıştığında başlar. Bu durum, şekil 2.1'de görüldüğü gibi ıslatmayan iki yüzey filminin aralarında sıkışan gazla temas edeceği yüzeyde katlanma eylemindedir [8]. Bu, sıvıdaki bir çatlak gibi davranacak ve "çift oksit filmi" kusuru veya "bifilm" olarak bilinen bir kusur oluşturacaktır. Sonuç olarak,

kusurları alüminyum dökümlerde oluşturma potansiyeli, sıvı metal içine hidrojen gazı ve oksit filmlerinin dahil edildiği ergitme evresinde başlar [1,2].



Şekil 2.1: Yüzey türbülansı; bifilmin sıvı metal içine sürüklenme mekanizması: yüzeyler arasında gazı tutulması.

Hidrojen, sıvı alüminyum içinde kolayca çözülür, ancak sıvı metalin katılaşmasıyla çözünme hızı azalır ve bu nedenle katılaşma sırasında arta kalan hidrojen porozite oluşturabilir.

Döküm tanımındaki anlamlı ifade, doğrudan nesnenin şeklini vermek üzere sıvı metalin kullanılması olduğundan, birincil kalite faktörü sıvı metalin kontrolü ile başlar.

Bu kusurların yanı sıra katılaşma sırasında oluşan gaz veya büzülme, alüminyum dökümlerin, özellikle süneklik ve yorulma özellikleri gibi mekanik özelliklerini önemli ölçüde etkileyebilir.

2.3.1. Hidrojenin Sıvı Metal İçerisinde Çözünmesi

Ergimiş durumdaki hafif metallerin ve alaşımlarının çoğu, gazların önemli miktarda emilimine meyillidir. Metalin yüzeyi tarafından emilen gazlar, atomik durumda metalin içine yayılabilir. Oksijen, azot ve diğer gazlar, sıvı metalin yüzeyinde kimyasal bileşikler oluşturur, ancak hidrojen, sıvı içinde ana gaz olarak görünür [2].

Hidrojen, atomunun küçük hacmi nedeniyle, sıvı metallerdeki diğer gazlardan daha hızlı yayılır. İncelemeler, bir alümina filmi boyunca difüzyonun aşağıdaki aşamalarda gerçekleştirildiğini gösterir [2]:

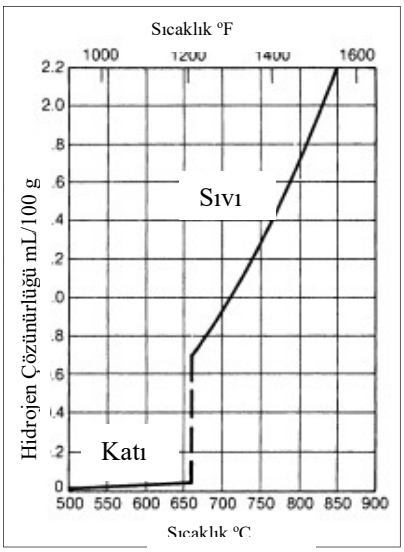
- Moleküler hidrojenin ayrışması
- Oksit yüzeyinde aktif emilim gelişimi
- Emilen tabakadan gelen hidrojenin serbest bırakılması ve ana çözeltiye geçişi
- Çözülmüş hidrojenin kristal kafes boyunca hareketi
- Hidrojenin, filmin karşı tarafında bulunan emici tabakaya geçmesi
- Hidrojen atomlarının yeniden salınımı
- Dökme sıvıların taşınması ile taşıma.

Hidrojenin ana kaynağı su buharının ayrışmasından kaynaklanır. Akışkanlar, potalar, refrakterler ve şarj maddeleri, genellikle sıvı metale hidrojen katacak bir miktar nem içerir. Su buharı atmosferde, özellikle sıcak ve nemli günlerde kolayca bulunabilir. İlgili reaksiyonlar [2]:

$$2Al + 3H_2O \rightarrow Al_2O_3 + 3H_2 \tag{2.1}$$

$$^1/_2\, H_{2(gaz} \rightarrow H_{Al} \tag{2.2}$$

Hidrojenin saf alüminyumda çözünürlüğü, şekil 2.2'de görüldüğü gibi azalan sıcaklıkla azalır [6]. Bu, katı fazda hidrojenin çözünürlüğünün azalması, poroziteye neden olabilen hidrojen gazının çökmesine neden olabilir. Bununla birlikte, bu tür çökelmeler uygun koşullar gerektirir, aksi takdirde hidrojen aşırı doymuş bir halde çözelti içinde kalmaya zorlanır [2].

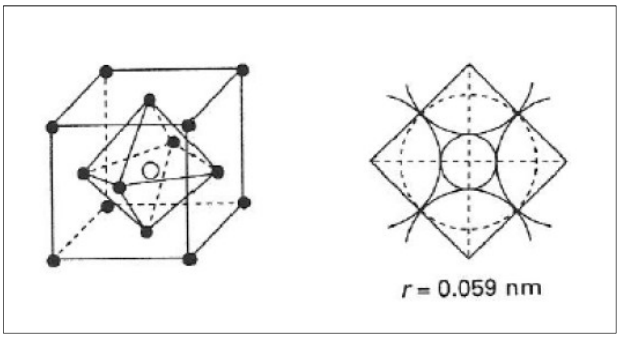


Şekil 2.2: Sıcaklığa bağlı hidrojen çözünürlüğü.

Hidrojenin alüminyum içindeki çözünürlüğü, doğrudan sıcaklık ve basıncın kareköküyle değişir. Çözünürlük, sıvılaşmanın üstündeki artan sıcaklıkla hızla artar. Sıvı halindeki katılaşma, katı halde olduğundan çok daha büyüktür. Saf alüminyumda katılaşma eğrisin hemen altındaki ve üstündeki gerçek sıvı ve katı çözünürlükler 0.69 ve 0.04 ppm'dir. Bu değerler çoğu döküm alaşımları için sadece biraz değişir [6].

Alüminyumda hidrojen için çözünürlük eğrisi tipik olarak denge koşullarını açıklar. Belirtilenden daha fazla hidrojen, herhangi bir sıcaklıkta çözünemez. Ergime koşulları ve sıvı metal kontrolü, büyük ölçüde azaltılmış çözünmüş hidrojen seviyelerine yol açabilir [2,6].

Hidrojen, atomik durumda Al'ye difüze edebilir. Katı metalde çözünen hidrojen, alüminyumun FCC yapısı içinde uygun boşluklara uymalıdır. Oktahedral (en büyük) bölgelerin katı fazda 0.059 nm'lik etkin bir yarıçapı vardır ve hidrojen bir diatomik molekül H_2 olarak 0,074 nm'lik yer işgal eder, bu yüzden alüminyum kafes içine sığmaz. Şekil 2.3'te gösterilmektedir [7]. Monatomik atom veya proton (H^+), 0.053 nm'lik bir yarıçapa sahiptir ve oktahedral pozisyona oturabilir, bu yüzden katı çözelti içine giren tüm hidrojen bu formda olacaktır. Ergime üzerindeki hacim artışı bu deliklerin boyutunu yaklaşık 0.060 nm'ye çıkarır [7].

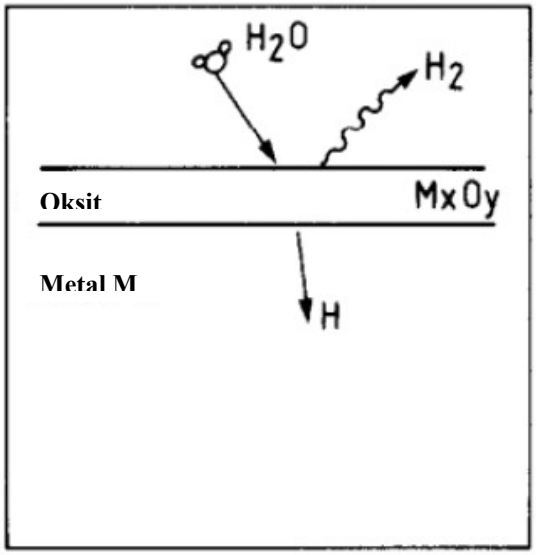


Şekil 2.3: Alüminyum FCC kafes yapısı içindeki oktahedral bölgelerinde bulunan H protonları.

Hidrojen, ergime ve (genellikle higroskopik olan) nemli refrakterler, sıvı metal ilaveleri veya yüksek hidrojen seviyeleri içeren yeniden ergitilen malzeme ve havadaki su buharı gibi çeşitli hidrojen kaynaklarıyla reaksiyona girerek metale girer. Ek olarak, türbülans, ergime işleminde veya dökme işleminde, atmosferik nemden gelen hidrojenin emildiği ve hidrojen giderme için etkili bir işlemden sonra sıvı metal kalitesinin bozulmasından tesadüfen sorumlu olduğu hızı hızla hızlandırabilir. Herhangi bir zamanda sıvı metalin koruyucu oksit yüzeyi bozulur, hidrojen içeriğinde

bir artış beklenebilir. O_2 ve N_2 gibi diğer gazlar, sıvı metal yüzeyi ile reaksiyona girdikten sonra ya da bifilm olarak bileşikler formunda metal içerisine girebilir [2,7].

Esasen, sıvı metal oksitlenir ve denklem 2.3'te verilen reaksiyon ya çevreye yayılır ya da metalin içine girerek serbest olan H_2'yi serbest bırakır. Şekil 2.4'te temsili olarak gösterilmiştir [7]. Oksidasyon reaksiyonu ekzotermiktir ve bu nedenle son derece elverişlidir ve metal ile temas eden tüm su izleri hidrojene dönüştürülür.



Şekil 2.4: Al su buharı ile reaksiyonu; sıvı metal yüzeyinin oksidasyonu. Yüzeyde bir oksit tabakası meydana getirir. Reaksiyonun iki ürünü olan H_2, ya çevreye kaybolur ya da bir proton olarak sıvının içine emilir.

$$3H_2O + 2Al \rightarrow Al_2O_3 + 6H \tag{2.3}$$

Su buharının üretim ortamlarında her zaman mevcut olması nedeniyle, hidrojeni sıvı metaldeki çözeltiden uzaklaştırmak neredeyse imkansızdır. Gerçekte su buharı o kadar bol miktardadır ki, sadece reaksiyon kinetikleri ve metalin gazı alma kapasitesi emme emilimini etkiler.

Sıvı metal çözelti içindeki hidrojen konsantrasyonu ile dengede hidrojenin kısmi basıncını tahmin eden denklem Sieverts yasası ile verilir [7]:

$$[H]^2 = kP_{H_2} \approx kP_{H_2O} \tag{2.4}$$

Bir diatomik gaz ve basıncı arasındaki karesel ilişkiyi açıklar. Sabit k belirlenir ve alaşım elementi eklemeleri ve metal sıcaklığı tarafından etkilenir [7].

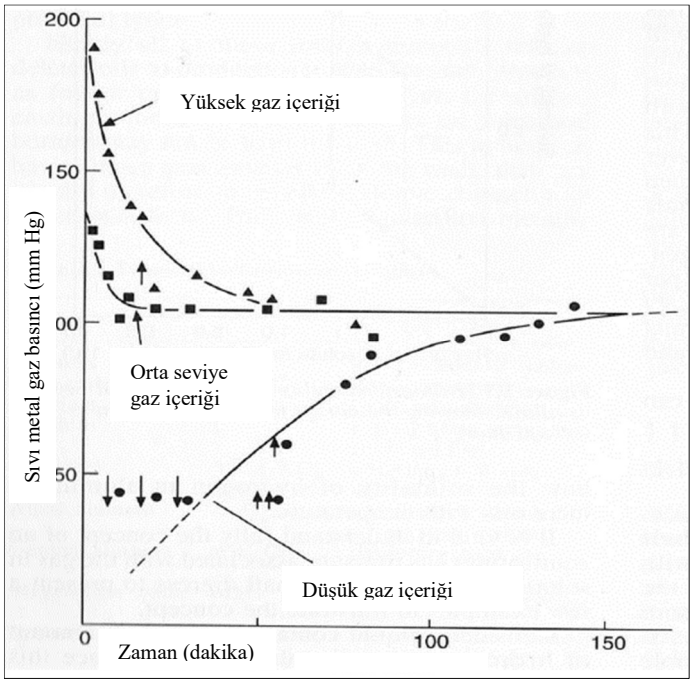
Hidrojenin sıcaklığa göre çözünürlüğündeki değişiklik yaklaşık olarak doğrusaldır, metalin hidrojen içeriği, ergime noktasının üzerinde sabit bir basınçta ve sıcaklıktaki her 110 °C'lik artışla kabaca ikiye katlanır. Al içerisindeki hidrojen içeriğinin ifade edilmesi için kullanılan birimler, 100 g metal başına standart sıcaklık ve basınca göre düzeltilmiş milyon başına parça (ppm) ve milimetre veya hidrojen kübik santimetredir [7]. İkisi arasındaki ilişki 1 ppm = 1.12 ml / 100g

Çözünürlük seviyelerini bağlama koymak için, saf Al'de hidrojenin hesaplanan maksimum çözünürlüğü, 700°C'de 0.88 ml / 100 g'dir, ancak çözelti içindeki gerçek hidrojen içeriği, suyun atmosferik buhar basıncına (çevre bağıl nem, RH) bağlıdır. Örneğin, 10 ° C'de ve %50 RH havasında, saf Al içinde yaklaşık olarak sadece 0.06 ml / 100 g bir denge hidrojen içeriğine karşılık gelen % 0.6 su (0.006 atmosfer) bulunur [7].

Metal, atmosfere karşı dengeye ulaşıncaya kadar hidrojeni kolaylıkla emecektir ve bu noktada hidrojen içeriğinin yükseltilmesi doğal bir gaz giderme işlemine yol açacaktır. Benzer şekilde, hidrojen içeriğinin denge seviyelerinin altına çekilmesi, zaman içinde hidrojen içeriğinde net bir artışa yol açacaktır. Şekil 2.5'te Sıvı Al'nin H içeriği zamanla çevre ile dengeye gelmesi gösterilmektedir. Metalin hidrojen içeriğinin yüksek veya alçak seviyelere ulaşması zordur, örneğin 700°C'de saf (%99.8) Al'nin hidrojen içeriğinin maksimum çözünürlüğüne ulaşması, uzun bir süre boyunca sıvı metal içine çözünmüş H içeriğini bu değere yükseltmek için doğrudan doğruya buhar enjeksiyonunun yapılmasını gerektirir [6,7].

Hidrokarbon yakıt kullanan fırınlar, alevin sıvı metal yüzeyine yönlendirildiği ve yanma yoluyla denklem 2.5'te gösterilen reaksiyon ile su buharının üretilmesinden dolayı 800 – 1000 °C arasında sıcak ve nemli ortamlar yaratır, bu da metalin atmosferik koşullar üzerindeki hidrojen içeriğinin önemli ölçüde artmasına neden olur. Gerçekte, 700°C civarında alevle çalışan bir fırından çıkan 0,3 - 0,4 ml / 100 g aralığında metal hidrojen içeriği değerlerini görmeyi bekleyebiliriz [7].

$$CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O \tag{2.5}$$



Şekil 2.5: Sıvı Al'nin H içeriği zamanla çevre ile dengeye gelmesi.

Alaşım elementlerinin ergimiş haldeki çözünürlüğü hidrojen üzerinde bir etkisi olacaktır, çünkü bunlar sıvı metalin ortalama atom büyüklüğünü değiştirirler ve hidrojenin yerleşik olduğu ara yüzeylerin büyüklüğünü etkiler. Alaşım elementleri, belirli element ve mevcut miktara bağlı olarak çözünürlüğü arttıracak veya azaltacaktır. Si, Fe ve Cu'nun sıvı metaldeki hidrojen çözünürlüğünü azalttığı, Mg ve Li'nin ise çözünürlüğü artırdığı belirlenmiştir. Zn ve Ti'nin sadece küçük etkileri vardır. Çözünebilirlikteki değişim, alaşım elementlerinin sıvı metalin içine sokulduğu zaman ortalama atom büyüklüğünün değişmesidir, bu da atomlar arası aralığın boyutunu etkiler veya hidrojen protonlarının bulunduğu sayı alanlarını arttırır veya azaltır [6,7].

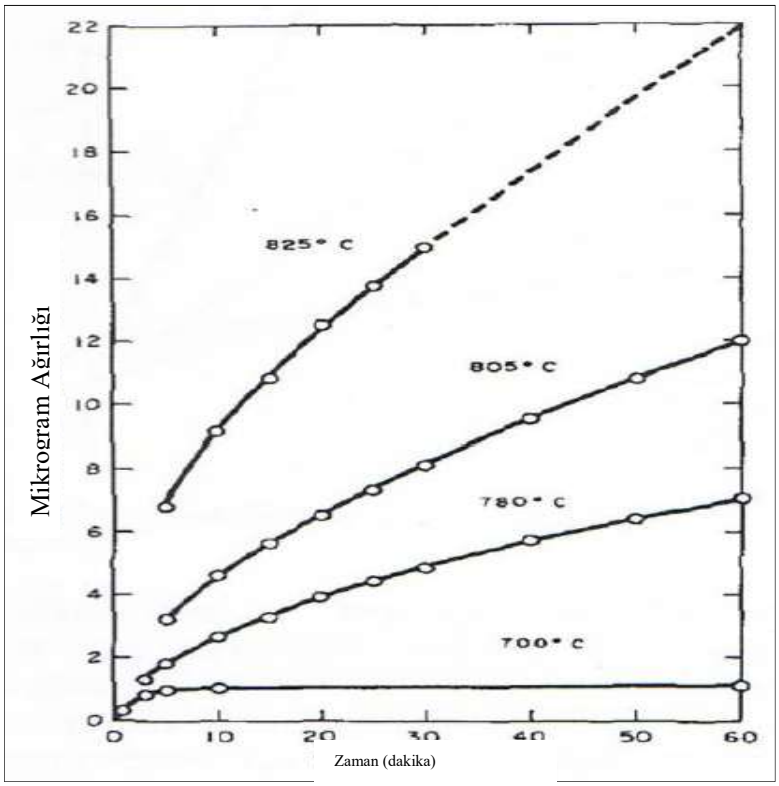
2.3.2. Oksit Film Oluşumu

Saf altın hariç, saf metal ve hiçbir alaşım oda sıcaklığında havada stabil değildir. Tüm metaller ve alaşımlar oksit ve / veya nitrürler oluşturmak için hava ile reaksiyona girme eğilimindedir. Sıcaklık arttıkça, oksidasyon veya nitrasyon oranı artar (Ag hariç) [2].

Ergimiş halde, birçok metal ve alaşım katı bir yüzey oksit filmi sergilediğinden, çeşitli ortamlarda sıvı metalin oksidasyonu ergime ve döküm işlemlerinde önemli bir

rol oynar. Bu operasyonlarda ortaya çıkan sorunların birçoğu oksidasyondan kaynaklanmaktadır [2].

Yeni oluşan bir alüminyum metal yüzey atmosfere maruz kaldığında hemen anlık olarak O_2 ile reaksiyona girer, sadece birkaç nanometre kalınlığında amorf bir oksit film tabakası oluşturur ve bu oksit film hasar gördüğünde yeniden oluşur. Bu oksit filmin önemli ve faydalı bir özelliği, moleküler hacminin oksidasyonda kullanılan metalin 1,5 katı kadar stokiyometrik olmasıdır [5]. Bu oksit tabakası hızlı bir şekilde (birkaç dakika içinde), oksit-metal ara yüzeyindeki amorf tabakanın altında nükleasyon yapan ve metale dönüşen, ancak tabakayı etkilemeden baskın olarak düzenlenmiş bir γ-Al_20_3 kristal yapısına dönüşür. γ-Al_20_3 tabakasının stabil olduğu bilinir ve sıcaklıklar 700 ^oC'nin üzerine çıkmadığı sürece yüzeyi daha da fazla oksidasyona karşı pasifleştirir. Yaklaşık 750 ^oC'nin üzerinde, oksit film parabolik bir oranla büyür. İlgili grafik şekil 2.6'da gösterilmiştir. γ-Al_20_3, metal katyonların ve oksijen anyonlarının poroziteli olmayan oksit yoluyla difüzyon ve göç yoluyla büyür, bu da sıcaklık arttıkça hızlanır [7].



Şekil 2.6: Kuru O_2'de Al'nin oksidasyonu.

Bu daha sonra oksit filminin basınç altında olduğu anlamına gelir ve sadece sürekli olarak metalleri kaplamakla kalmaz, aynı zamanda yırtılma olmaksızın belirli miktarda substrat deformasyonu ile başa çıkabilir. Katı metaller için, metal üzerinde meydana gelen oksit filmler onu daha fazla oksidasyondan koruyabilir ve aynı zamanda hidrojenin çözünmesini ve salınmasını da etkileyebilir.

Sürekli koruyucu bir filmin oluşumunda, oksidasyon oranı, film boyunca oksijen atomlarının difüzyonu ile sınırlıdır ve bir parabolik yasaya göre zamanla azalacaktır. Süreksiz filmlerde, oksijen difüzyonla değil, esas olarak filmdeki kırılmalarla nüfuz eder ve doğrusal bir yasaya göre oksidasyon oranının artması muhtemeldir [2].

Saf alüminyum için, oksijen ile çok reaktif olduğu için, oksidasyon, filmin alüminyum iyonlarının dışarı doğru difüzyonu ile büyüdüğü milisaniyeler içinde bir amorf alümina tabakasının hızlı oluşumuyla başlar. Bu amorf oksit film, alüminyum ve oksijen iyonlarının difüzyonuna karşı yüksek sızdırmazlığa sahiptir. Böylece film sıvı alüminyum üzerinde koruyucu bir tabaka oluşturur [7]. Hızlı bir şekilde sürüklendikleri ve büyümek için çok az zaman aldığı için, amorf filmlere "genç oksitler" denir [2]. Genellikle onlarca nanometre ile ölçülen aşırı incelme ile karakterizedirler.

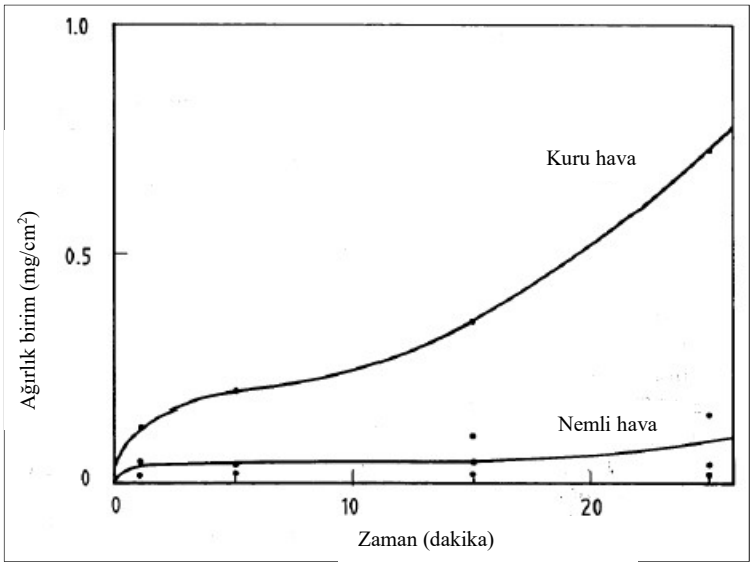
Bir inkübasyon süresinden sonra, amorf oksit tabakası süreksiz bir yapı değişikliği geçirir. γ-Al_20_3 bir kristalli seramik olan ve daha uygun termodinamik olan α-Al_20_3 'e (korundum) dönüşür. Oksit-metal ara yüzeyinden hızlı bir oksijen geçişi, oksit morfolojisindeki yaklaşık % 24'lük ilgili hacim değişimi ile sonuçlanan yüksek sıcaklıkta meydana gelir. α-Al_20_3, γ-Al_20_3 'den daha yoğundur ve hem oksit tabakasında hem de metalde strese neden olur. Bu oksit tabakasında çatlakların oluşmasına yol açar. Bu transformasyon için inkübasyon normalde 750 ºC'de 5 ila 10 dakika arasındadır ve sıvı metalde artan sıcaklık ve artan inklüzyon içeriği ile azalır. Bu süre zarfında filmlerin kalınlaşması, mikrometre ve hatta milimetre kalınlığında olma zamanı vardır. Eski oksitler olarak adlandırılan bu daha kalın oksit filmler, kristal formları ile karakterize edilir [2].

Bu filmlerin ergimenin tutulduğu sıcaklıklara sürekli olarak maruz kalması, γ'dan bir α-Al_20_3'e nihai bir dönüşüme neden olur. Bu dönüşüm, su buharının, hidroksil iyonu giderimin, sıvı metalin içine hidrojenin emilmesiyle ilerlediği sıvı metal ile reaksiyonu ile doğal olarak meydana gelir. Kristalizasyondan sonra, film, kristalin oksit tabakasından oksijen yayılmasıyla içeri doğru büyür. Ortamdaki su buharı basıncını düşürmek, dönüşümün daha da kolaylaşmasını sağlar ve γ-Al_20_3 'ün

bir α-Al_20_3'e daha hızlı bir şekilde dönüşmesine neden olur. Bu dönüşüm sırasında oksidin hacmindeki %24'lük azalma (kübik spinel γ-Al_20_3'den rhombohedral α-Al_20_3'e oksit yapı ve morfoloji değişiminden kaynaklanır) oksidin kırılmasına yol açar ve bu da kopma oksidasyonuna yol açar [2,5,7].

Nemli havaya maruz kaldığı ilk 20 dakika süresince, saf sıvı alüminyumun hidrojeni hızla emdiğini gösterilmiştir. Bu, hidroksit iyonlarının sıvı metal yüzeyindeki amorf oksit tabakasından geçebildiğinden ve emilmesi için bir hidrojen kaynağı sağladığından ortaya çıktı. Sıvı metalin hidrojen içeriği, bu zamandan sonra, sıvı metal ile amorf tabaka arasındaki ara yüzde büyüyen kristalli γ-Al_20_3 tabakasından dolayı artmaya devam etmemiştir. Büyüyen bu film, sıvı metal yüzeyi boyunca sürekli olarak hidrojen emilimi sınırlamıştır [5,7].

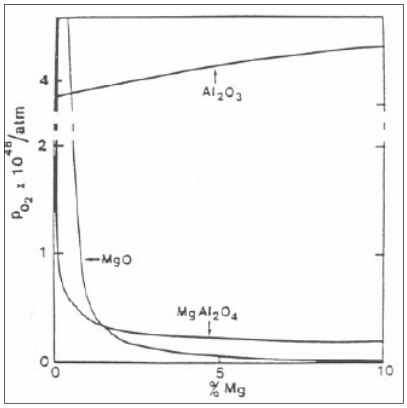
Kuru havada, oksidasyonun hızla gerçekleştiğini, sıvı metal yüzeyinin nemli havada uzun süre korunduğunu gösterilmiştir (tam nem seviyeleri rapor edilmemiş olsa da). Bunun nedeni, hidroksit iyonlarının γ-Al_20_3 stabilize etmesi ve uzun bir süre için α-Al_20_3 'e dönüşmesini önlemesidir. Bu nedenle, nemli bir atmosferin muhafaza edilmesi, alüminyum yüzey oksidasyonuna karşı korunmada gerçekten faydalı olacaktır. Şekil 2.7'de nemli ve kuru havadaki sıvı alüminyumun oksidasyonu verilmiştir [7].



Şekil 2.7: 750°C'de kuru ve nemli havada alüminyum oksidasyonu. Kuru hava, hızlı bir şekilde oksidasyona izin verirken, hidroksit iyonlarının varlığı koruyucu oksit filmi daha uzun süre stabilize eder.

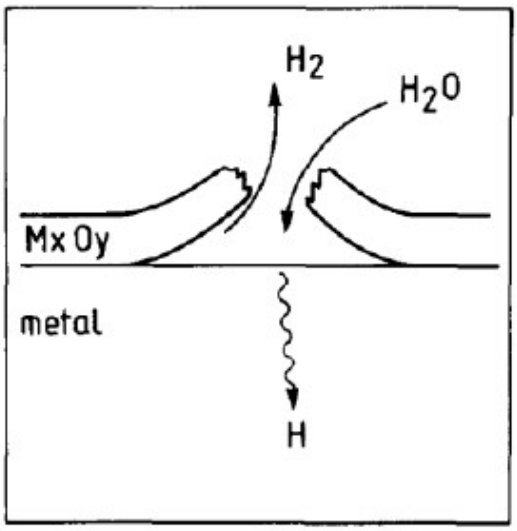
Alaşımlar durumunda, oluşan oksitlerin doğası, sıvı metal bileşimine bağlıdır. Demir, bakır, çinko ve manganez gibi alaşım elementlerinin bu oksidasyon süreci üzerinde çok az etkisi vardır [7]. Oksit film içine dahil edilen ana alaşım elementi magnezyumdur. 340 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda, magnezyum alaşımın kütlesinden yayılır ve hatta 50 ppm magnezyumdan daha düşük seviyelerde bile, dışarıya doğru magnezyum difüzyonu ve içeriye doğru oksijen difüzyonu arasında bir rekabetçi oksidasyon reaksiyonu vardır [5]. Yüzey oksit, spinel olarak da bilinen karışık oksit $MgO.Al_20_3$'dür Alaşımın magnezyum içeriği yaklaşık %2'nin üzerine çıkarıldığında (% 4'e kadar) metale yakın bir çift yönlü alüminyum oksit ve bir MgO dış tabakası oluşur [5]. Oksit filmin termodinamik tahminlerden saf magnezya, MgO olması beklenir. Yüksek Mg içerikli Al alaşımları, alaşım içindeki hidrojenin çözünürlüğü de arttıkça özellikle yüksek hidrojen içeriğine sahip olabilir [7].

Birkaç çalışma, ilk amorf Al_20_3 yüzeyinin, tamamen MgO veya hem MgO hem de $MgAl_20_4$'den oluşan daha az koruyucu bir oksit filme bu hızlı bozulmasının, iki olası mekanizma ile açıklandığını göstermiştir. Birinci mekanizma, birbirinden farklı iki tabakanın gözlemlenmesiyle açıklanmaktadır: bir dış MgO tabakası ve küçük miktarlarda magnezyum katkılı bir Al_20_3 katmanı. Hem magnezyum hem de alüminyumun oksijene karşı yüksek afiniteleri olmasına rağmen, oksit tabakasının oluşumu sadece termodinamik ile kontrol edilmez. Büyüme, zamana bağlıdır ve oksit katmanı boyunca metal katyonları ve / veya oksit anyonlarının difüzyon hızı gibi kinetik faktörlerle ilgilidir. Bu nedenle, bir dış MgO tabakasının varlığı, amorf Al_20_3 tabakasının ilk kalınlaşması sırasında, Mg^{+2} iyonlarının amorf Al_20_3 tabakasından Al^{+3} iyonlarından daha hızlı yayıldığını kuvvetli bir şekilde göstermektedir [2,5]. Şekil 2.8'de oksijen kısmi basıncının oksit yapısına göre değişimini göstermektedir [2].

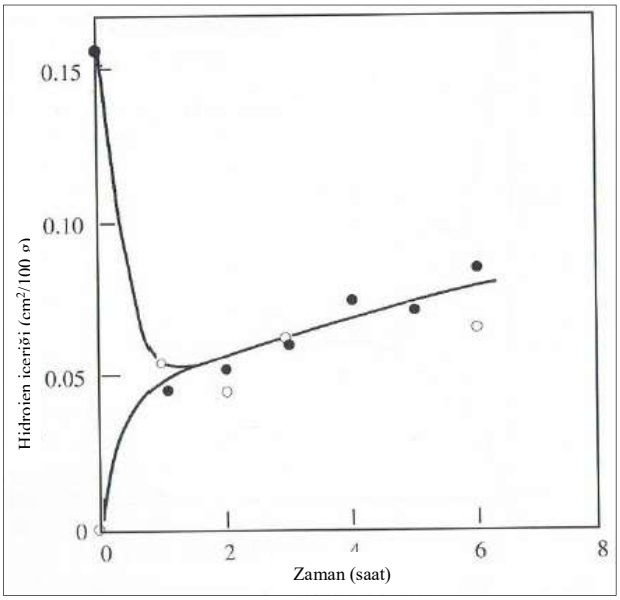


Şekil 2.8: Oksijen kısmi basıncı ve oksit yapısı.

Oksit tabakasındaki boşluklar, Şekil 2.9'da gösterildiği gibi çevre ve sıvı metal yüzeyi ile sürekli reaksiyona izin verir [7]. Şekil 2.10'da %2.2'lik bir Mg alaşımı üzerinde oluşturulan poroziteli oksit (MgO), hidrojenin hem sıvı metal hem de sıvı metalden lokal çevreye emilimini ve desorpsiyonunu sağlar [7]. Yüksek hidrojen seviyelerinin hızlı bir şekilde düştüğü (siyah noktalar) görülürken, düşük hidrojen seviyeleri (beyaz noktalar) hızla artar, böylece sıvı metal çevre ile dengede olur. Zamanla, hidrojen içeriğinin, hidrojenin sürekli olarak su buharı ile reaksiyona girmesiyle artması gözlenir. Daha düşük bir Mg içeriğine sahip bir sıvı metal, yüzeyde mevcut olan Al_20_3 ve MgO'nun oranına bağlı olarak, muhtemelen daha yavaş bir hızda hidrojen kazanır veya kaybeder. Herhangi bir koruyucu filmden bağımsız olarak, sıvı metal yüzeyini bozmak (örneğin bir gaz yakıtlı fırında doğrudan alev çarpması nedeniyle metal sıçraması veya kopması gibi), oksit filminin kopmasına neden olacaktır. Yüzey bozulmasına neden olan artan sıvı türbülansı, koruyucu oksit tabakası bozulduğu için hidrojen emiliminin hızını artıracaktır, bu nedenle daha fazla su buharı, yeni maruz kalan Al yüzeyi ile reaksiyona girebilir [7].

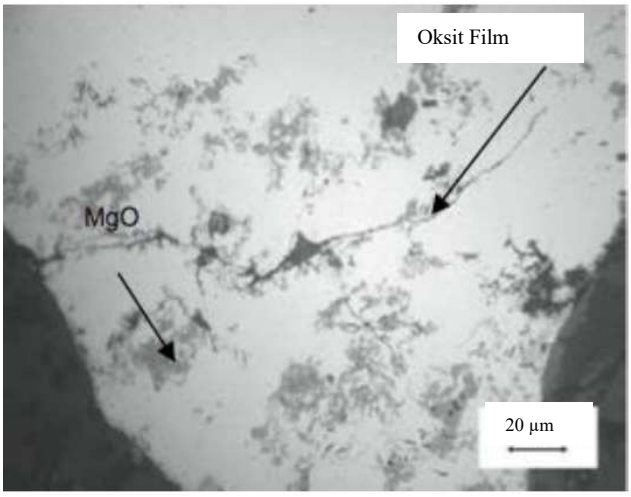


Şekil 2.9: Al içine ve dışarı gaz emilimi ve desorpsiyonu.



Şekil 2.10: Nemli havanın 550 ºC'de bir Al - % 2.2 Mg alaşımının hidrojen içeriği üzerindeki etkisi. Oksidasyon devam eder ve Mg içeriğinin koruyucu olmadığı için zamanla hidrojen içeriğinde artış gözlenir.

İkinci mekanizma Mg Al_20_4'ün çekirdeklenmesi ile tarif edilir [2]. Mg oksidasyon kinetikleri oksit tabakası kusurları boyunca Mg difüzyonu ile kontrol edilir [5]. Açıkça, yüksek buhar basıncından dolayı magnezyum sürekli filmi buharlaştırır ve kopararak korumasını değiştirir. Bu nedenle, oksijenin kanallar boyunca taşındığı lokal yollar ve koparma oksidasyon yolları meydana gelir. Sıvı metal oksit ara yüzeyindeki magnezyum konsantrasyonu kritik bir seviyenin altına düştüğünde, lokalize çekirdeklenme ve Mg.Al_20_4 oluşumu tercihli koparma oksidasyonu tarafından tercih edilir [2].



Şekil 2.11: Oksit Film ve MgO optik mikroskop görüntüsü.

Kısacası herhangi bir koruyucu filmden bağımsız olarak, sıvı metal yüzeyini bozmak (örneğin bir gaz yakıtlı fırında doğrudan alev çarpması nedeniyle metal sıçraması veya kopması gibi), oksit filminin kopmasına neden olacaktır. Yüzey bozulmasına neden olan artan sıvı metal türbülansı, koruyucu oksit tabakası bozulduğu için hidrojen emiliminin hızını arttıracaktır, bu nedenle daha fazla su buharı, yeni maruz kalan alüminyum yüzeyi ile reaksiyona girebilir.

2.3.3. Bifilm Oluşumu

Yüzeyde oluşan alüminanın-oksit filmin koruyucu yapısı nedeniyle, oksidasyon sıvı metalde içeriye doğru daha fazla devam edemez. Bu nedenle, oksitin filminin sıvı içerisine girmeye başladığında sorun oluşturmaktadır. Bu işlem sırasında, tek bir oksit sıvının içerisine tek başına daldırılamaz. Yüzey türbülansı ile oksit filmi sıvı metalin içerisine doğru katlanarak sürüklenir ve alüminyum oksit ağları oluşur. Bu oksit ağlarını hava içeren çift oksit arayüzleri oluşturur. Alüminanın yüksek sinterleme sıcaklığından dolayı, bu çift oksit arayüzleri bağlanmamıştır [12]. Bu bağlanmamış arayüzler, sıvı içinde süspansiyon içinde kalabilen çatlaklar olarak işlev görür. Bu oksit kusurlarına 'bifilm' denilmektedir.

Bifilmler sürüklenme kusurlarıdır. Birçok sıvı metal için bifilmler sıvı içinde yüzerler çünkü sıvı metale göre yoğunluğu düşüktür. Bununla birlikte, sıvı alüminyum alaşımları için bifilm neredeyse nötr yüzdürme özelliğine sahiptir ve bu yüzden saatlerce sıvı içerisinde süspanse olabilirler. Böylece oksit bifilmleri alüminyum alaşımlarının dökümünde özel bir problemdir. Geçmişte metallerde bifilm çatlaklarının varlığı fark edilmemiştir, çünkü bunlar genellikle sadece birkaç molekül kalınlığındadır, dolayısıyla görünmez kalır ya da tespit edilmesi zordur.

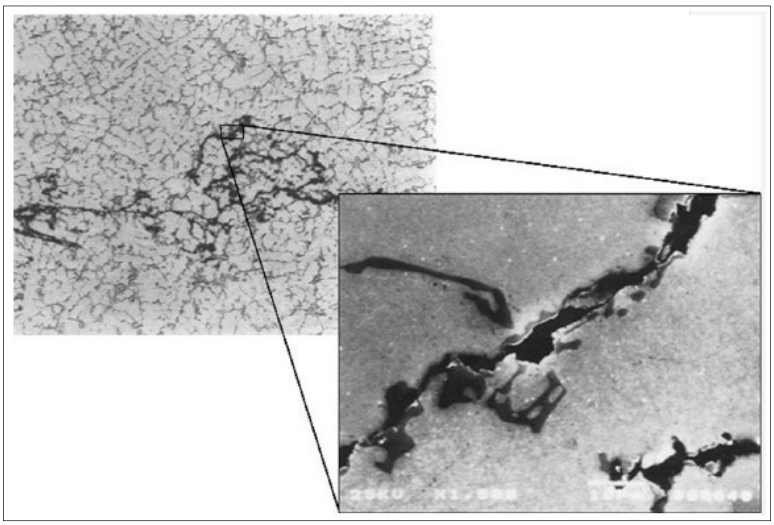
Campbell, sıvının hızı kritik bir değeri aştığında bu yüzey sürüklenmesinin gerçekleştiğini göstermiştir. Kritik değer, metalin bir ses damlasının yüksekliğine ulaşabileceği hıza karşılık gelir [12].

$$V_{critical} = 3{,}5\left(\frac{\gamma}{r}\right)^{1/4} \tag{2.8}$$

γ yüzey gerilimi ve r yoğunluğudur. Bu kritik değer, hem teorik hem de deneysel olarak sıvı alüminyum için yaklaşık 0,5 m / s olarak gösterilmiştir [12].

Ergimiş bir alüminyum alaşımının temizliği, mevcut bifilmlerin tipinin ve miktarının bir fonksiyonudur. Bu bifilmlerin dökümlere dahil edilebileceği çeşitli mekanizmalar vardır.

Örneğin, yüklü metalin oksit filmi ergime sırasında otomatik olarak eklenir. Sıvı metalin taşınması veya aktarılması sırasında, sıvının yüzeyi yüzey türbülansı nedeniyle kırılabilir. Döküm sırasında, yüksek hızlarda, oksitler, sürüklenen hava ile birlikte yüzey altında taşınır. Alüminyum dökümü sırasında ortaya çıkan yüksek dolum hızı, kalıpta, yüzey ve iç türbülans oluşturur. Yüzey türbülansı, alüminyum oksit filmini sürüklerken, filmin üzerinde ihmal edilebilir, çeşitli yönlerde hareket eden kuvvetler, katlanmasına, karışmasına ve bazen iç türbülanslı kuvvetler tarafından küçük parçalara ayrılmasına neden olabilir [9]. Çift oksit tabakası içindeki hava, oksijen ve nitrojen gibi gazlarla reaksiyona girerek, Al_2O_3 ve AlN'yi oluşturur ve iç gaz basıncının düşmesine ve filmleri bir araya getirmesine neden olur. Filmin, oksidasyon yoluyla çökelmesine karşı koyan unsur, bifilmin genişlemesini sağlayabilen sıvıdaki hidrojenin çökelmesidir. Böylece, bir kez oluştuğunda, bifilm kusurlarının niteliği veya karakteristikleri sıvı metal içinde değişmeye veya evrimleşmeye devam edebilir. Bu durum, sıkışan gazın, mukavemet kusurlarına maruz kalması olabilir. Bununla birlikte, oksit filmler batırılabilir, çünkü oksidasyon reaksiyonu atmosferi tüketir. Böyle bir genişleme ve daralma, zayıf bir şekilde anlaşılmakta ve büyük bir doğrulukla modellenememektedir. Bu nedenle, bifilmlerin pozisyonlarının bir dökümde tahmin edilmesi zordur [8]. Şekil 2.12'de örnek olarak bifilm yapısı gösterilmektedir [8].



Şekil 2.12: Karışık bifilm ve bifilmin bir kısmının büyütülmesi.

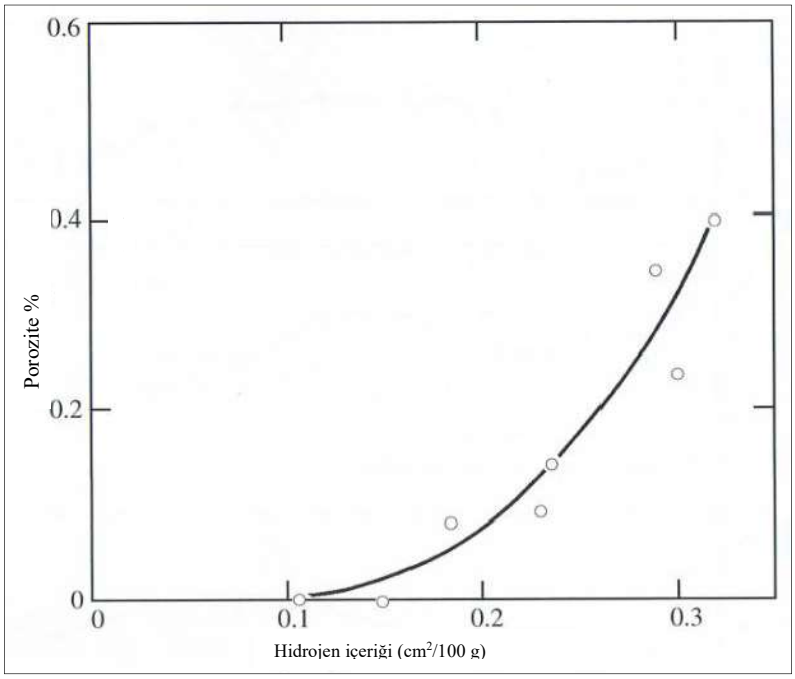
Bifilmler sıvı metalde oluşturulan iç türbülansla küçük ve kompakt özelliklere sahip olabilirler. Bu nedenle boyutları, orijinal boyutlarından yaklaşık 10 kat azaltılabilir. Bu formda nispeten zararsız olabilirler. Ancak, katılaşma sırasında, düzlemsel bir çatlak oluşturmak için orijinal başlangıç şekillerine geri dönebilirler. Bu tür bir eyleme yardımcı olabilecek olası mekanizmalar şu şekilde özetlenebilir [2,8,10,11]:

- Filmler arasındaki hava tabakasında hidrojen çökelmesi,
- Büzülme, filmler üzerinde etkili olan basıncın azaltılması,
- Beta fazları şeklinde demir çöktürme,
- Geniş tane büyüklüğü, dendritlerin geniş çaplı yığınlarının doğruca film oluşturmasını inklüzyonların teşvik etmesi.

Hidrojen porozitesi, büzülme, demir seviyeleri ve büyük tane büyüklüğü nedeniyle gözlenen süneklik kaybı, daha çok kompakt kıvrımlı bifilmlerin açılmasındaki etkinin bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır [2].

2.3.4. Porozite Oluşumu

Farklı kesit kalınlıkları olan karmaşık geometrik şekillerde katılaşma, iç porozitesinin oluşabileceği koşulları yaratır. İç porozitesinin özelliklere olan etkisi, etkili alandaki porozite hacim fraksiyonu ile azalma ve zamansız oluşan hatalara neden olan boşluklardaki stres konsantrasyonları ortaya çıkmasıdır. Alüminyumdaki porozite, hidrojenin sıvı fazdan katılaşması sırasında büzülmesinden ve daha genel olarak bu etkilerin bir kombinasyonu ile meydana gelir. Hidrojen içeriği ve ortalama porozite arasındaki ilişki şekil 2.15'de verilmiştir. Kalıp reaksiyonları, yüksek sıcaklık oksidasyonu, hava delikleri ve hapsedilmiş gaz, mekanik özellikleri ve fiziksel kabul edilebilirliği olumsuz şekilde etkileyen kusurlarla sonuçlanır. Katılaşmadan önce metalik olmayan inklüzyonlar porozite oluşumunu ve mekanik özellikleri etkiler.



Şekil 2.13: Ortalama H içeriği ve ortalama porozite arasındaki ilişki (örnek bir alaşım 4.5% Cu, 0.4% Mg, 0.8% Mn, 0.7% Si).

Alüminyum alaşımlarında porozite oluşumu aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

- Boyutuna göre:
  - makroporozite
  - mikroporozite
- Nedenine göre:
  - büzülme
  - gaz
    i) katılaşma sırasında bifilm çözeltisinden çökelen
    ii) yüzey türbülansı ile mekanik olarak sürüklenen
    iii) mekanik olarak sıvı metal içine üflenen (bir çekirdek darbesi için).

Bifilmleri giderilmiş bir dökümde çekirdeklenme mümkün olmadığından, porozite oluşumu için geriye kalan bir mekanizma yoktur. Bifilmlerin varlığı durumunda, porozitelerin büyümesi iki mekanizma ile kontrol edilebilir [10].

Besleme ile: eğer kabarcığın etrafındaki çevre basıncındaki herhangi bir azalma, metalostatik basınca kıyasla göz ardı edilebilecek kadar yeterli besleme varsa, o zaman oran sadece bifilmlere gaz biriktirme oranı ile kontrol edilir [2].

Beslenme olmadan: ortalama büyüme oranı, büzülme oranı (katılaşma oranı ile kontrol edilir) ve hidrojen birikimi dahilinde kontrol edilir [2].

Gaz biriktirme oranı bir difüzyon işlemi ile kontrol edilir, bu nedenle donma hızının arttırılması, mevcut süreyi azaltır ve böylece toplam gaz porozitesini azaltır. Porozitesiz bir dökümün, bifilm içermeyen bir döküm anlamına gelmediği akılda tutulmalıdır.

2.3.4.1. Çekirdeklenme ve Büyüme

Geleneksel olarak, alüminyum alaşımlı dökümlerde porozite çekirdeklenmesi, termodinamik olarak kararlı olan ve porozite büyümesini başlatabilen gaz moleküllerinin kümelerinin çöktürülmesini ifade eder. Ya hidrojen içeriği ya yerel basınçta sıvı metal içindeki hidrojen çözünürlüğünü aştığında ya da yerel basınç sıvı metalin buhar basıncının altına düştüğünde çökelme meydana gelir. Dirençli deneysel gözlemler yapma zorluğu nedeniyle mikroporozite çekirdeği bir sorun olmaya devam etmektedir [7,10,11].

Dökümlerdeki porozite miktarı, sıvı metalin hidrojen içeriğinden etkilenir, ancak sıvı metalin içindeki gaz fazının çekirdeklenmesi için kesin mekanizma bir tartışma kaynağı olmuştur [6].

Geleneksel teori, katılaşma sırasında hacimsel büzülme ve hidrojen çözünürlüklerindeki değişimin poroziteye neden olmasıdır. Katılaşma büzülmesini beslemek için dendritlere doğru akması gereken sıvı, peltemsi bölge ve sıvı boyunca bir basınç düşüşüne neden olur. Metal katılaştıkça hidrojen, hidrojen bakımından giderek zenginleşen sıvıda reddedilir. Çözünmüş hidrojen bir basınç uygular (Sievert yasası tarafından verildiği gibi) ve sıvı metaldeki hidrojen indüklenmiş basınç atmosferik, metalostatik ve yüzey gerilimi basınçlarının toplamına eşit olduğunda Laplace denklemine uygun olarak bir porozite oluşur [7].

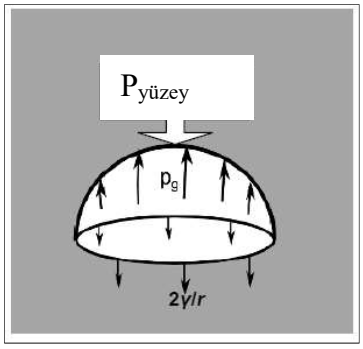
$$P_{H_2} = P_{ext} + P_m + P_s + \frac{2y_1/g}{r} \ldots \quad (2.9)$$

P_{H2}, porozite içindeki gaz halindeki hidrojenin basıncı olduğunda, P_{ext} harici veya atmosferik basınçtır, P_m, metal / gaz ara yüzeyinde (sıvı metalin yüzey gerilimi) metalik gerilimdir. r ise porozite yarıçapıdır. Sıvı içinde gaz fazının bulunması için,

porozitelerin büyüme fazı öncesinde oluşması için iyi anlaşılmayan bir çekirdeklenme olayı olmalıdır [7]. Katılaşma sırasında, düşük katı çözünürlüğü aşan çözünmüş atomik hidrojen, embriyonik porozite mevcutsa, kabarcıklar oluşturuyorsa moleküler duruma bağlanma eğiliminde olabilir. Porozitelerin oluşacağı atomik hidrojen içeriği "eşik hidrojen içeriği" olarak bilinir. Bu sadece denge hidrojen basıncı yeterince yüksek olduğunda meydana gelir [2]:

$$P_g + P_s > P_a + P_m + P_{st} \tag{2.10}$$

Burada, sıvı metal içinde çözünmüş gazın denge basıncı olan P_g, porozite oluşumuna yardımcı olan büzülme nedeniyle basınç düşüşü, P_a atmosferik basınç sistemidir, P_m, metalostatik kafaya bağlı basınçtır. P_{st} 2γ / r yüzey gerilimi kaynaklı basınçtır şematik görüntüsü şekil 2.14'te verilmiştir [2,11].



Şekil 2.14: Tüm basınçların şematik görüntüsü, yığın sıvı içinde denge içinde izole bir porozite üzerine uygulanır.

Bu homojen veya heterojen çekirdekli gaz balonunun içindeki basınç, denklem 2.10'da ki değişkenlerin toplamından daha büyük olduğunda, bir porozitenin büyümesi tercih edilir. Başka bir deyişle, embriyonik kabarcık yüzeyindeki basınç farkı, içindeki hidrojen gazı ile pozitif basınç ve dışarıdaki büzülme ile yaratılan negatif basınç, yüzey gerilimi nedeniyle kısıtlayıcı basıncı aşarsa porozite artar [2]. Bununla birlikte, hayal edilebilecek en uygun durumda bile, bir kabarcığın çekirdeklenmesi ve büyümesinin, homojen veya heterojen olsun, olası çekirdekleşmenin büyük zorluğu nedeniyle olmaması: embriyonik balonun küçük boyutu, ilgili basınçların muazzam olduğu anlamına gelir. Bu nedenle, hidrojenin

süpersaturasyonlarının veya çekilmeden kaynaklanan gerilme gerilmelerinin çekirdekleşme koşulunun başarılması için yeterli olamayacağı muhtemeldir [10-13].

Homojen çekirdeklenme çok zordur ve tipik olarak önemli derecede düşük soğutma gerektirir (metallerin katılaşması göz önüne alındığında) ve muhtemelen sadece laboratuvar koşullarında meydana gelir. Örneğin, çekirdeklenme sahalarının yokluğunda, süper saf sıvıların katılaşma sıcaklığının çok altında soğutulması mümkündür, çünkü katı fazın büyümesi için uygun çekirdeklenme alanları yoktur. Homojen porozite çekirdeklenmesi hidrojenin difüzyonu ile, bir seferde birkaç atomun çoğalmasını sağlayacak mikroskobik kabarcıkların oluşumunu gerektirir. Bu kabarcıklar çok küçük olacaktır, sadece birkaç atomun karşısındadır ve yüzey gerilimi basıncı (porozite büyüklüğüyle ters orantılıdır) yüksek olacaktır. Campbell, bir sıvı Al'de bir porozite içindeki iç basıncın yaklaşık 30.000 atm olacağını hesaplamıştır. Bu basınçların büyüklüğü, porozite homojen çekirdeğinin zorluğunu gösterir ve homojen çekirdeklenmenin meydana gelme olasılığının düşük olduğu düşünülmektedir [7,11].

Porozite çekirdeklenme problemi, refrakter parçacıklar, oksit filmler, inklüzyonlar veya kalıp duvarı gibi dış kökenli ıslatılmamış substratta heterojen çekirdeklenme meydana gelirse, büyük ölçüde basitleştirilebilir. Katı yüzeylerdeki gazların nükleasyonu, temas açısı 65°'yi geçene kadar elverişli hale gelmez, bu ıslatma derecesi, gerekli iç porozite basıncını yaklaşık 30.000 atm'den 1500 atm'ye düşürür ve bir çatlak içinde kabarcıklar oluştuğunda gerekli basınçlar daha da muhtemelen sıfıra azaltılabilir [7,11].

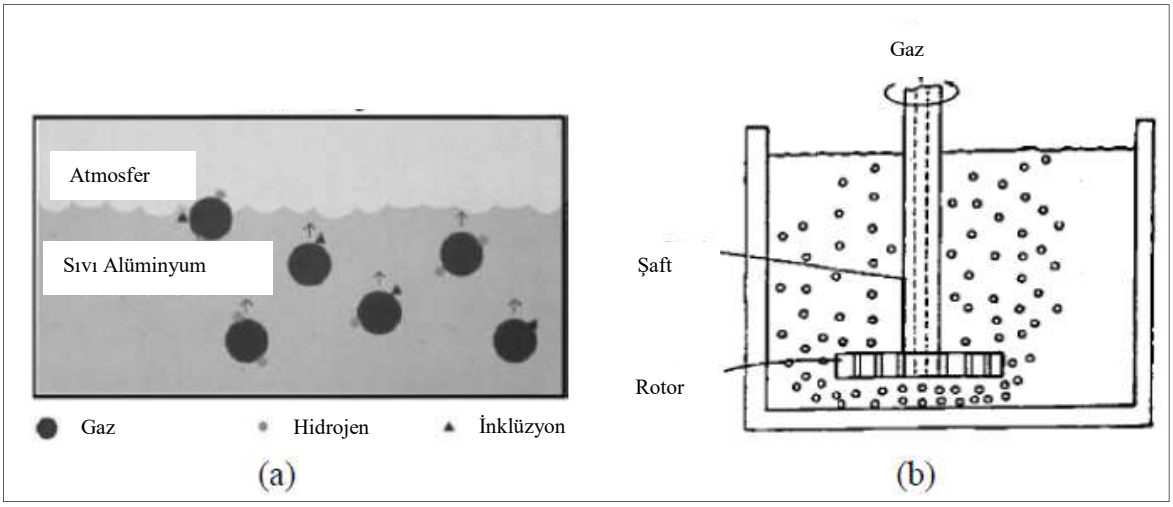
2.4. Gaz Giderme

Dökümhaneler, hidrojen düzeylerini ve ergimiş alüminyumdaki inklüzyonları kontrol etmek için çeşitli yöntemler kullanır. Bunlar tipik olarak gazları doğrudan sıvı metale, lanslara, gaz giderme tapalara veya difüzörlere ya da en etkili sıralı döner gaz giderici birimlere enjekte etmeyi içerir.

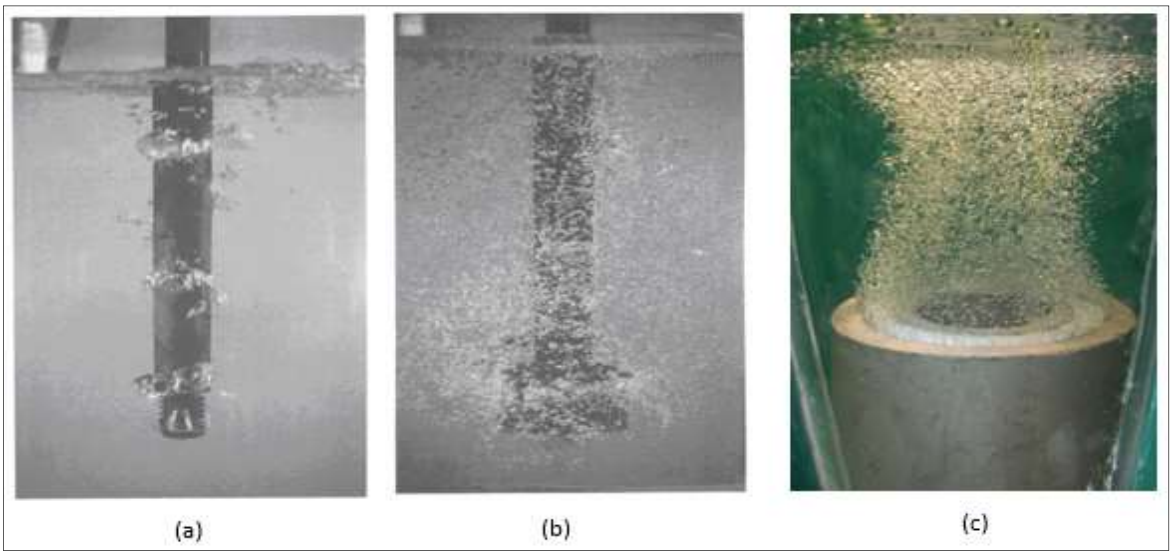
Alüminyumun ergimesi ve hazırlanması sırasında atmosferik nem, tane incelticiler, flaks, hurda ve yanma ürünleri gibi birçok hidrojen kaynağı vardır. Bu faktörler normal atmosferik oksijen ile birlikte, aynı zamanda oksitlerin ve inklüzyonların oluşumuna da katkıda bulunurlar.

Inert bir gazın kabarcıklanması sıvı alüminyumdan istenmeyen hidrojen miktarını azaltır. Sıvı metal ve gaz arasındaki kısmi basınç farkının bir sonucu olarak hidrojen, gaz giderme kabarcıklarına şekil 2.15.(a)'da gösterildiği gibi difüzyonla sıvı metalden uzaklaştırılır. Pratikte olan 3 gaz giderme yöntemi vardır. Bütün bu işlemler potalarda gerçekleştirilir.

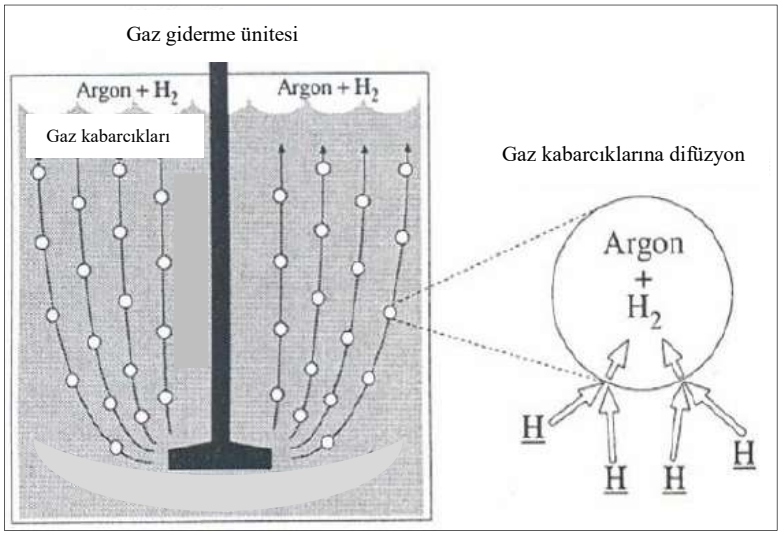
i) Daldırma ile gaz üfleme gazı giderme lansı (Şekil 2.16.(a)'da gösterilmiştir.)
ii) Döner sistem gaz giderme (Şekil 2.16.(b)'de gösterilmiştir.)
iii) Pota üfleme gaz giderme tapası (Şekil 2.16.(c)'de gösterilmiştir.)



Şekil 2.15: a) Gaz akışı ve b) ergimiş alüminyumda döner gaz ile giderme.



Şekil 2.16: Farklı tipte gaz gidericiler (su içerisinde hava verimiyle gösterilmiştir) kabarcık büyüklüğü ve dağılımı a) lans, b) döner gaz giderici c) gaz giderme tapası.



Şekil 2.17: Ar gaz kabarcıklarında hidrojen gideriminin görseli. Çözünmüş hidrojen, kabarcıklara nüfuz edecek ve yüzeydeki metalden çıkacaktır.

Sıvı alüminyumda hidrojen, moleküler hidrojen (H_2) olarak değil, atomik formda bulunur. Gidermek için hidrojen atomları hidrojen gaz molekülleri oluşturmak üzere birleşmelidir, ancak bu çok zor bir mekanizmadır. Sıvı içinde gaz kabarcıkları oluşumu problemini çözmek için, inert gazların (genellikle argon veya nitrojen) hidrojen içermeyen kabarcıklar sıvı metal içinde, bir difüzör kafası kullanılarak veya heksakloroetan (C_2CI_6) yerleştirilerek basınç altında verilir [7,11,13,14]. Bu kabarcıklar yoğunluk ve kısmı basınç dengesiyle büyüyerek sıvı metal yüzeyine doğru hareket eder. Sıvı metal içerisindeki hidrojen atomları daha sonra bu kabarcıklara şekil 2.17'de görüldüğü gibi bağlanabilir ve kabarcıklar sıvı metal yüzeyine yükseldiğinde atmosfere hidrojen gazı kolayca ilerleyebilir. Şekil 2.15'de gösterildiği gibi sıvı metalde dağınık halde süspanse olmuş oksit inklüzyonları bu kabarcıklara tutunarak metal yüzeyine sürüklenirler. Bu süreç gaz giderme işleminin prensibini oluşturmaktadır.

Kabarcık – sıvı metal yüzey alanı difüzyonun gerçekleşmesi için önem kazanmaktadır. Kabarcık boyutunun azaltılması, gaz kabarcığı / sıvı metal etkileşim alanı arttığından, gaz giderme etkinliğini önemli ölçüde artıracaktır. Gaz kabarcıklarının çapı <5 mm olduğunda yüksek gaz alma verimliliği (>% 80) oluşur. Bunun nedeni, kabarcık boyutu yarı yarıya azaldığında, yüzey alanı dört kat artar, azalan kabarcık boyutu ile gaz giderme oranını arttırır [7,11,13,14].

Kabarcık boyutu yaklaşık 15-20 mm'nin üzerine çıkarsa, kabarcık ideal bir küresel balondan daha az etkili bir elipsoidal veya küresel kapaklı şekle dönüşür. Bu

nedenle gaz enjeksiyon teknolojisinin seçimi çok önemli hale geliyor. Örneğin lanslar kaba bir tasarıma sahiptir. Lansların, inklüzyonları gidermek için % 1 - 20 kadar etkili olduğu ve hidrojenin bu işlem tarafından üretilen büyük kabarcıklar nedeniyle oluştuğu bildirilmektedir [7,11,13,14].

Gaz giderme tapaları, yaklaşık % 40–50'lik bir performans göstererek tasarımda bir iyileştirmedir, ancak en iyi seçenek, çözünmüş hidrojenin % 50 – 80'ini, kısa bir süre içinde nispeten kısa bir sürede giderebilen döner gaz giderici üniteler kullanmaktır. Bir rotor kullanarak metal yüzeyin altından doğrudan metali içine gaz enjekte eden in-line gaz gidericiler kavramı, ilk olarak 1974 yılında Union Carbide tarafından dökümhanelere tanıtıldı. Metal üniteye girer (hava ile etkileşerek metal yüzeyin oksitlenmesini önlemek için inert bir gaz kullanılır.) ve gaz karışımı rotor dağıtıcısının ucundan çıkar ve gaz karışımı rotorların döner kanatları arasından geçer ve gazlar ince ayrık kabarcıklara ayrılır [7,11,13,14].

Bu tip bir gaz giderme ünitesi, hidrojen ve inklüzyon gidericinin etkinliğini arttırır, bunun sebepleri aşağıdaki gibidir [7];

- Artan sıvı metal türbülansı ve karıştırma seviyesi, hem partikül - partikül hem de kabarcık - partikül çarpışmalarını arttırmaktadır.
- Rotorlar, gaz akımını, reaktör boyunca muntazam bir şekilde, kabarcıkların daha verimli bir 'bulut' içinde yayılan ince bir kabarcık dispersiyonuna ayırır.
- İnce kabarcıklar, ergimiş metalde daha düşük bir yüzdürme gücüne sahiptir, yani sıvıdan daha yavaş yükselecek ve metal ile etkileşime girecek daha uzun zamana sahip olacaktır.
- Daha küçük kabarcıklar, yüzey kontrollü reaksiyonların oranını (örneğin inklüzyonlar) ve kabarcıkların hidrojen içine difüzyonunu arttıracak daha büyük bir yüzey alanına sahiptir.

Hidrojenin gaz giderici kabarcıklara difüzyonunu etkileyen faktörler şunlardır: i) gaz ve sıvı metal arasındaki temas yüzeyi ve ii) gaz ve sıvı metal arasındaki temas süresi. Bu amaçla farklı tipte gaz gidericiler kullanılır [7].

Örneğin, seramik difüzörler, daha küçük işlem hacmi ve sonuç olarak meydana getirilen kabarcık yüzeyinin daha büyük olmasından ötürü, açık uçlu tüplere kıyasla, daha az işlem süresi içinde, dahil edilen hidrojenin verimli bir şekilde ortadan

kaldırılmasını teşvik etmektedir. Buna ek olarak, termal şoka karşı mükemmel direnç, grafitten daha uzun ömür, ıslatma, cüruf birikimini en aza indirme, eşdeğer gaz giderimi için grafit difüzörlerden daha düşük akış hızı gibi avantajlara sahiptir [7].

Gaz giderme işlemi aynı zamanda metalik olmayan inklüzyonları da azaltır, çünkü bunlar genellikle yükselen kabarcıklara bağlanır (yüzey enerjileri elverişli ise) ve daha sonra yüzeyden çekilir. Asal gaz (argon ve / veya azot) kabarcıklar, sıvı metal sıcaklığını ve kimyasal bileşimini homojen hale getirmeye yardımcı olan mükemmel karıştırma sağlar [2,7,11,13,14].

2.5. Flaks

Alüminyum alaşımlarını ergitirken ve tutarken, dökümhaneler, cüruf, metal olmayan inklüzyonlar ve oksit birikimiyle mücadele etmektedir. Alüminyum alaşım talaşı ve hafif hurda malzemenin yeniden ergitilmesindeki zorluğu, bu malzemelerin ısıtma sırasında daha da oksitlenebilen geniş bir aktif yüzey alanına sahip olmasındandır.

Bu problemlerin üstesinden gelmek için süreç flakslara dayanır. Flaks, metal yüzeyine yükselen ve yüzeyden sıyırma ile giderilebilen bir cüruf oluşturmak için safsızlıklarla birleşen ergimiş metale eklenen bir malzemedir (çoğunlukla bir klorür veya florid). Flaks, temiz metal elde etmek, aşırı oksit oluşumunu önlemek, sıvı metalden metalik olmayan kalıntıları gidermek ve fırın duvarlarındaki oksit oluşumunu gidermek için yararlı bir yardımcı malzemedir.

İnklüzyonları gidermek için kullanılan flakslar genellikle KCl-NaCl ve $MgCl_2$-KCl'ye dayanır ve düşük sıcaklıklı ötektikleri oluştururlar. Bu flakslar diğer alkali metallerle reaksiyona girer ve aynı zamanda metalin yüzeyini ince bir sıvı koruyucu tabaka ile kaplar ve yüksek Mg ergiyiklerinin aşırı oksidasyon ve hidrojen emiliminden korunmasında yararlı olabilir. Katı flaksın ek bir yararı, $MgCI_2$'nin flaksın bir parçası olarak sıvı metale eklenmesi ve bu nedenle Cl'ye kıyasla işlem sırasında alaşımdan minimum Mg kaybı olacaktır.

Bazı bileşikler, karbon dioksit ve Cl gibi Al yüzey salan gazların altında reaksiyona girecek veya ayrışacaktır. Bu gibi bileşikler, çözünmüş hidrojen, alkali metalleri ve inklüzyonları çıkarmak için yararlı olan metal yüzeyin altında oluşan kabarcıklar oluşturur. Sıvı metal içinde bulunan hidrojen, daha sonra metalden

süzülecek olan kabarcıklara yayılır. En önemli gaz açığa çıkaran bileşik, C_2 ve gaz halindeki $AlCl_3$'ü üreten C_2CI_6'dır.

Flakslar genel olarak pasif veya aktif olarak kategorize edilebilir. Pasif flakslar sıvı metal banyonun yüzeyini oksidasyondan korurlar ve sıvı metal tarafından hidrojen alımını önlerler. Aktif flakslar, alüminyum oksitle kimyasal olarak reaksiyona girer ve sıvı metali etkili bir şekilde temizler [2, 14,16].

2.6. Sıvı Metal Kalite Ölçümü

Hidrojen gazının sıvı alüminyumda çözülmesinin, yüksek kaliteli dökümlerin üretimi için önemli bir sorun olduğu varsayılmıştır. Açıkça, sıvı metal içerisindeki hidrojen içeriğinin güvenilir bir şekilde ölçülmesinin gerekli olduğu görülmüştür. Bu, birçok tekniğin gelişmesine yol açmıştır.

Hidrojen içeriğini belirleme çalışmaları 1950'lerde başladı. İndirgenmiş basınç altında katılaşmaya dayanan çeşitli teknikler denenmiştir. Burada vakum altında katılaşan küçük numunelerin yoğunlukları ölçülmüş ve teorik yoğunluk ile karşılaştırarak, evirilen hidrojen miktarıyla ilişkili bulunmuştur. Bu teknik son derece kaba ve düşük maliyetliydi, fakat herhangi bir doğruluk ve güvenilirlik derecesinde çözeltideki gazın nicel değerlendirmesi net değildir.

1950'lerde yapılan denemeler sonrası ortaya çıkan hidrojen içeriğini belirlemek için en yaygın RPT (Reduced Pressure Test – İndirgenmiş Basınç Testi), NOTORP, Alscan, Hyscan, Telegas gibi yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin çoğunun prensibi temel olarak, bir gaz (N_2 veya Ar) bir prob ile sıvıda dolaştırılır. Hidrojen, taşıyıcı gaz ile dengeye geldiğinde, hidrojen içeriği veren hidrojenin kısmi basıncı veya aktivitesi ölçülür. Bu temel teknik karmaşık, hassas, pahalı ve yavaştır.

Yıllar geçtikçe, sıvı alüminyumda inklüzyon tespiti için bir dizi test metodu geliştirilmiştir, ancak döküm endüstrisindeki genel deneysel yaklaşım, bunların genellikle dökümde kullanım için uygun olmayan, karmaşık ve / veya pahalı olduğu şeklindedir [2,7,10].

2.6.1. İndirgenmiş Basınç Testi (RPT – Reduced Pressure Test)

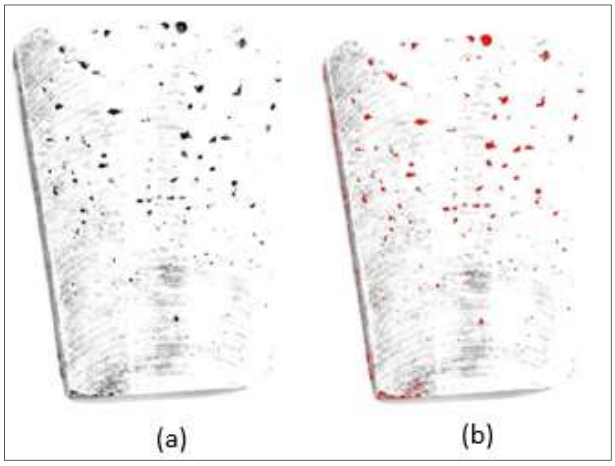
İndirgenmiş basınç testi (RPT) sıvı metal içindeki bifilmlerin büyüklüğünün değerlendirilmesi için değerli bir tekniktir. Sıvı alüminyum alaşımlarının kalite değerlendirmesi tekniklerinin bu eleştirisini gerçekleştiren diğer kalite değerlendirme tekniklerinin aksine RPT geliştirme için en iyi potansiyele sahip olarak kabul edildi. Basit ve sağlamdır ve hem gaz hem de inklüzyon içeriğine, özellikle de bifilmlere karşı hassastır.

Bir grup ergimiş alüminyumun temizliğini kalitatif olarak değerlendirerek, düzeltici eylemin izlenmesini sağlar. Bu tekniğin ana prensibi, sıvı alüminyumun indirgenmiş basınç altında numunenin katılaşması sırasında metal üzerindeki basıncın azaltılması, oksit filmlerin arasındaki kuru alanda hapsedilmiş kalıntı hava veya gaz arayüzünün genişletmesi üzerine dayanmaktadır. Yani basınçtaki azalma, çözünmüş gazın bifilmlerin açılmasına ve büyümesine neden olur.

Örneğin, basınç atmosferin 1 / 100'üne düşürülürse, filmler arasındaki artık hava tabakasının yaklaşık 100 kat genişleyeceği ve böylece esas olarak görünmez bir kusurun, üretilen bir görüntü üzerinde görülebilen bir taneye dönüştürülmesi beklenir. Bu koşullar altında katılaşan numuneler ya katılaşma sırasında kabarcık oluşumu için görsel gözlemle ya da katılaşmış numunenin yoğunluğunu belirleyerek değerlendirilir [1,2]. Kesitli numunenin görsel değerlendirmesi genellikle sonucu standart bir grafikle karşılaştırarak yapılır.

Filmler birbirinden ayrıldıkça bifilm açık bir çatlak olarak görünür hale gelir (filmler birbirine yakın olduğunda neredeyse görünmez olabilir). Kalıba döküldükten hemen sonra, bifilmler türbülansla artar. İçindeki gazın genişlemesi, bifilmin dışa doğru çıkmasını teşvik eder. Böylece bifilmin tam boyutu, azaltılmış basıncın uygulanmasıyla daha açık bir şekilde görülmektedir. Numune yüzeyinde gözlenen çatlağın uzunluğu daha sonra uzunluk olarak alınabilir. Bifilmin tam alana açılması birkaç dakika sürer. Yani alınan numune çok hızlı bir şekilde katılaştırılmamalıdır, aksi takdirde bifilmlerin tam boyutu belirlenemeyecektir. Metal içerisinde bir miktar hidrojen gazı varsa, gaz, çatlağı küresel bir kabarcık veya gözenek halinde genişletebilir. Testin basit bir şekilde çalıştırılması açısından bakıldığında, gözenek çapı kaynaklanan bifilmin boyutuna kabaca eşdeğer olarak alınır. Numunenin uygun bir şekilde işlenmesini sağlamak için, numune testere ile dikey eksenli merkezinden

kesilir, daha sonra pürüzsüz, yüzey elde etmek için arka arkaya daha ince SiC zımparalardan geçirilir. Hazırlanan yüzeyde ortaya çıkan kusurları ölçmek için değerlendirme otomatik olarak tarayıcı ve uygun bir yazılımla yapılabilir. Şekil 2.18'de hazırlanan örnek bir kesit yüzeyi ve bifilm taraması verilmektedir.



Şekil 2.18: Vakum altında katılaşan test a) numune kesiti ve b) bifilm taraması.

Bu test, gaz seviyesinin bir göstergesini de sağlamaktadır. Şekil 2.19'da görselleri verilen biri atmosferik basınçta, diğerinin ise kısmi bir vakum altında katılaşan iki numunenin yoğunluklarının bir karşılaştırması, gaz içeriğinin sayısal bir göstergesini vermek için kullanılır. RPT basit bir test olmasına rağmen, birçoğu kullanıcıya bağlı olabilecek hassas alanlara sahiptir.

Şekil 2.19: Atmosferik basınç altında katılaşan ve vakum altında katılaşan test numuneleri.

Örnekleme prosedürü çok basittir. İki ince cidarlı çelik potaya yaklaşık 200 g kadar sıvı alüminyum küçük bir miktar dökülür. Bir pota atmosfer basıncında katılaşmaya bırakılırken diğeri odaya oturtulur, burada basınç 80 mbar'a düşürülür ve sıvı metal tamamen katılaşana kadar sabit kalır. Katılaşmadan sonra, numuneler kalıplardan çıkarılır. Yoğunluk ölçümü ile poroziteyi gözlemlemek için numuneler ayrı ayrı yoğunlukları hesaplanarak değerlendirilir.

Yoğunluk indeksi (DI):

$$\mathrm{DI} = \frac{\sigma_A - \sigma_B}{\sigma_A} \times 100 \tag{2.11}$$

σA - atmosferik basınç altında katılaşan test örneğinin yoğunluğu

σB - düşük basınç altında katılaşan test örneğinin yoğunluğu

Bu test oldukça popüler ve dünya çapında yüzlerce dökümcü tarafından yaygın olarak kullanılmaktadır [2].

Şu anda endüstride yaygın olarak kullanılan RPT'nin popülaritesi, testin görece basit ve ucuz olmasından kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte, indirgenmiş basınç testinin cilalı bir kesiti üzerinde görülebilen son üründe oksitlerin, metalik olmayan inklüzyonların büyüklüğünü, şeklini, tipini ve dağılımını tanımlamak mümkün hale gelir [7,10,15].

3. TEZİN AMACI, KATKISI VE İÇERİĞİ

Alüminyum alaşımlarının kalitesinin belirlenmesindeki en önemli kriterlerden birisi döküm parçasında oluşabilecek porozitelerdir. Porozitenin temel kaynaklarından birisi de ergitme sırasında ortamda bulunabilecek olan rutubet ile reaksiyona giren sıvı alüminyumun yüzeyinde oluşan oksit ve sıvıda çözünen hidrojendir. Yüzey oksiti sıvı içerisine karışırsa, katlanma mekanizması ile iki oksit yüzeyi arasında bir miktar hava kapacak şekilde yer alabilir. Bu hatalara bifilm adı verilir. Bifilm hatalarının giderilmesi için, sıvı alüminyuma çeşitli işlemler yapılır. İlk olarak, argon veya azot gibi inert gazlar geçirilerek sıvının hidrojen içeriği azaltılır. Bifilm oksitleri ise flaks adı verilen çeşitli kimyasalların gaz giderme operasyonu sırasında taşıyıcı gazlar ile birlikte sıvıya beslenmesiyle temizlemeye tabi tutulurlar. Dökümhanelerde, genellikle şablon ve standart olarak bir gaz giderme süresi uygulanmaya çalışılır. Ancak, sıvı metalin kirlilik seviyesine bağlı olarak bu oksitlerin giderilmesi için optimum sürenin hesaplanması gerekmektedir. Sıvı metal oksit içeriği ise en basit olarak vakum altında katılaşma testi ile hesaplanabilir. Vakum altında katılaştırılan numunenin kesit alanı alınarak, görüntü analizi ile rakamsal olarak bifilm indeksi hesaplanır. Bu doğrultuda, bu çalışmada, birincil ve ikincil alaşımlardan ergitilmiş sıvı metalde, farklı oksit içerikleri olacağından, döner sistem gaz giderme ile farklı bifilm indeks içeriğindeki sıvıların hangi sürelerde, inert gaz debisi ve rotor dönüşü ile ne kadar temizlenebildiği araştırılacaktır. Gaz giderme sonrası alınacak olan vakum numunesi ile istatistiksel olarak bifilm indeks değişimi incelenecektir. Aynı zamanda, gaz giderme operasyonu sırasında döner sistem gaz giderme süresi, sıvıya beslenen gaz debisi ve rotor dönme hızı (rpm) etkisi farklı alüminyum alaşımlarına göre irdelenecektir. Böylelikle endüstride kullanımı günden güne artan alüminyum parçalarının üretiminde kalite problemlerinin temelini oluşturan hidrojen seviyesinin azaltılması ve oksitlerin temizlenmesi için yapılan temizleme proseslerinin etkinliği belirlenecektir. Bu da üretim esnasında ekipman verimliliğini göz önünde bulundurarak kalite maliyet endeksine katkısı olacaktır.

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

Yapılan bu çalışmada, alüminyum alaşımlarının ergitme işlemi ve sonrasında sıvı metal içerisinde sürüklenen oksit ve inklüzyonların ve hava ile teması sonrası parça içerisinde ki yükselmesi muhtemel hidrojen değerinin azaltılması için yapılan gaz giderme işlemlerinin sonrası yoğunluk indeksi ve bifilm indeks analizleri yapılarak sıvı metal kalitesindeki değişim gözlenmiştir. Bu çalışmada döner sistem gaz giderme uygulanarak gaz giderme yapılmıştır. Sıvı kalitesinde ki değişimler ile gaz gidermede işleminde döner sistem gaz giderme süresi, sıvıya beslenen gaz debisi ve rotor dönme hızı (rpm) optimize parametreleri belirlenecektir.

4.1. Kullanılan Malzemeler ve Ekipmanlar

4.1.1. Ergitme ve taşıma

Bu çalışmada 1 ton ergitme ve 2 ton bekletme kapasiteli 825 kW gücünde, 50 Hz frekanslı, 3x400 Volt ve 70-100 mbar basınçlı Strikowestofen ergitme ocağı (şekil 4.1.a) ve 800 kg ergitme kapasiteli devirmeli ergitme ocağından (şekil 4.1.b) gelen sıvı metallerle çalışılmıştır. AlSi9Cu3 ve AlSi10Mg Strikowestofen ergitme ocağında ergitilirken AlSi12Cu1 devirmeli ergitme ocağında ergitilmektedir. Alüminyum ergitme şarjında kullanılan malzemeler %50 birincil alüminyum külçesi (şekil 4.2) ve %50 ikincil alüminyumdur. İkincil alüminyum üretimden gelen şekil 4.3'te görülen geri dönüşüm malzemeleridir.

Şekil 4.1: a) Strikowestofen alüminyum ergitme ocağı b) Devirmeli alüminyum ergitme ocağı.

Şekil 4.2: Birincil alüminyum külçesi.

Şekil 4.3: İkincil alüminyum – Üretim geri dönüşüm malzemesi.

Ergitme ocaklarından alınan sıvı metaller 300 kg kapasiteli (şekil 4.4) taşıma potalarına alınarak işlem için gaz giderme cihazına götürülmüştür. Gaz giderme işlemi bu taşıma potalarının içerisinde döner sistem gaz giderme işlemi uygulanarak yapılmıştır.

Şekil 4.4: Taşıma potası.

4.1.2. Alaşımlar

Bu çalışmada, ticari olarak temin edilebilen Al-Si bazlı alaşımlar kullanılmıştır. Genellikle otomotiv parçalarında yaygın olarak kullanılan ve sıvı metal akışkanlığı dolayısıyla kalıp doldurma kolaylığını nispeten arttıran kimyasal kompozisyonu Tablo 4.1'de verilen yüksek miktarda Si içeren döküm alaşımlarıdır. Bu alaşımlar, yeterli mukavemet, yeterli yorulma performansı ve korozyon direncine sahiptir. Bu çalışmada kullanılan Si bazlı alaşımların kimyasal kompozisyonu Tablo 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.1: Si bazlı alaşımlarının kimyasal kompozisyonları (ağırlıkça %).

Alaşım	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Pb	Sn	Ti	Diğer	Al
AlSi9Cu3	8,0 - 11,0	≤ 1,3	2,0 - 4,0	≤ 0,55	0,15 - 0,55	≤ 0,15	≤ 0,55	≤ 1,2	≤ 0,35	≤ 0,25	≤ 0,25	≤ 0,05	Kalan
AlSi12Cu1	10,5 - 13,5	≤ 0,8	≤ 1,0	≤ 0,55	≤ 0,35	≤ 0,1	≤ 0,3	≤ 0,55	≤ 0,20	≤ 0,1	≤ 0,20	≤ 0,05	Kalan
AlSi10Mg	9,0 - 11,0	≤ 0,55	≤ 0,05	≤ 0,45	0,2 - 0,45	-	≤ 0,05	≤ 0,1	≤ 0,05	≤ 0,05	≤ 0,15	≤ 0,05	Kalan

Tablo 4.2: Kullanılan alaşımlarının kimyasal kompozisyonları (ağırlıkça %).

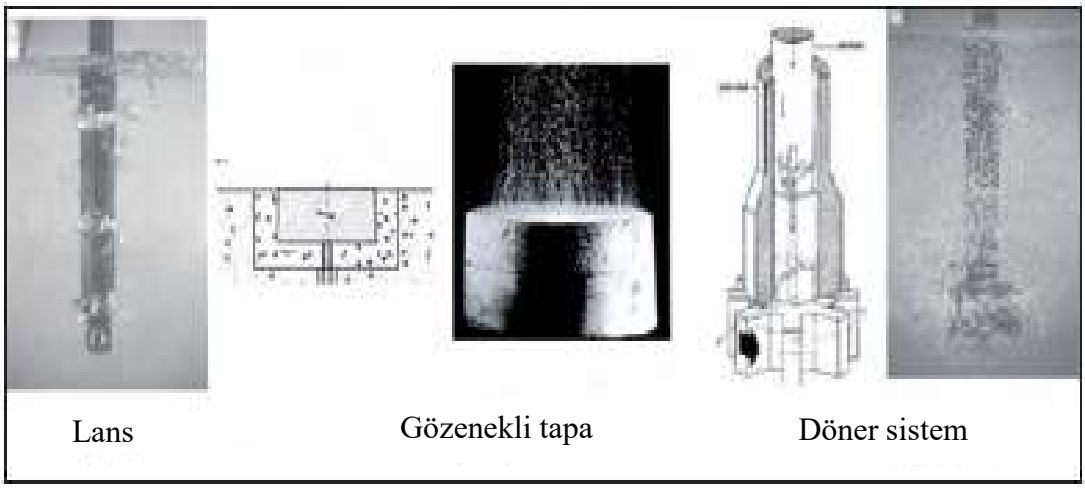
Alaşım	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Pb	Sn	Ti	Diğer	Al
AlSi9Cu3	9,95	0,88	2,55	0,17	0,21	0,02	0,07	0,84	0,07	0,04	0,04	0,03	85,16
AlSi12Cu1	10,67	0,85	0,91	0,19	0,22	0,02	0,04	0,48	0,04	0,03	0,03	0,03	86,52
AlSi10Mg	9,70	0,57	0,05	0,33	0,37	0,01	0,01	0,06	0,03	0,00	0,06	0,02	88,79

4.1.3. Gaz Giderme Cihazı

Hidrojen giderme, ergitilmiş alüminyumdan çözünmüş hidrojen seviyesini azaltmak, gaz giderme ünitesinin birincil işlevidir. Bu, bir inert gazın sıvı metalden geçişi ile gerçekleştirilir. Çözünmüş hidrojen, başlangıçta hidrojeni serbest bırakan gaz kabarcıkları ile dengelenerek, yüzeyden çıkan ve sistemden hidrojen taşıyan hidrojen kabarcıklarını dengelemeyi amaçlamaktadır.

Pratikte 3 farklı çeşit gaz giderme metodu bulunmaktadır. Her bir metotta kullanılan iner gaz sıvı içerisinde kabarcık oluşumuna neden olur. Şekil 4.5'te farklı gaz giderme sistemlerinin gaz kabarcıklarının oluşumu ve yayılımı gösterilmiştir. Oluşan gaz kabarcıkları ne kadar ince olursa, yüzey alanı o kadar büyük olur ve kalma süresi de o kadar uzun olur. Daha uzun kalma süresiyle hidrojeni sistemden difüzyon

ile uzaklaştırmak daha mümkün olacaktır. Hidrojen difüzyonu ile kabarcıkların büyümesi gerçekleşir ve oluşan basınç farkıyla metal yüzeyine doğru hareketi başlar. Aynı zamanda sıvı metal içerisinde inklüzyonlar daha çok kabarcıkla buluşarak metal yüzeyine sürüklenmesi muhtemeldir. Bu dağılımı en rahat sağlayan sistem ise şekil 4.5'te görüldüğü gibi döner sistem gaz giderme metodudur. Bu sebeple bu çalışmada döner sistem gaz giderme metodu tercih edilmiş ve azot inert gazı kullanılmıştır.

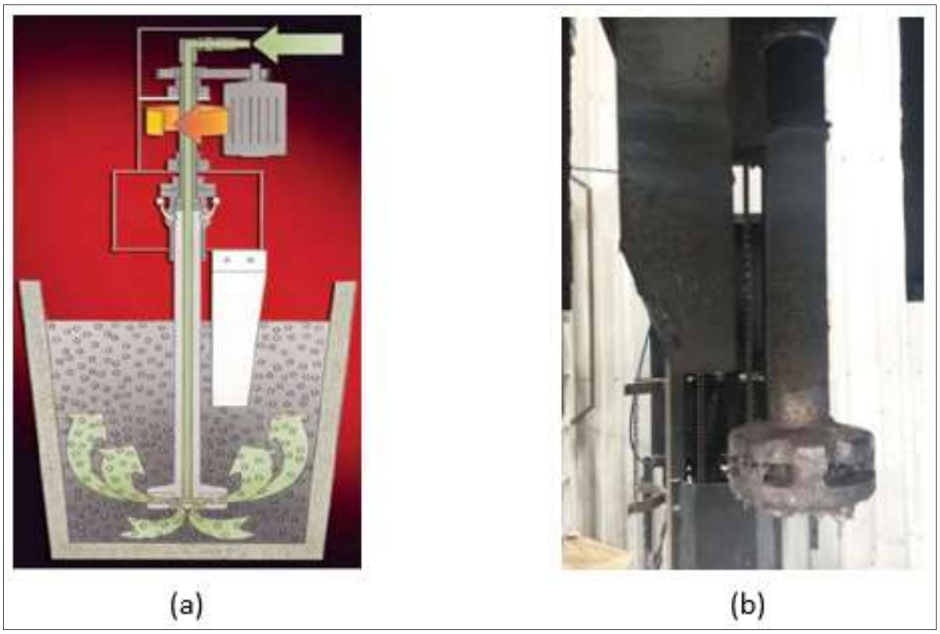


Şekil 4.5: Farklı sistemler tarafından üretilen inert gaz kabarcık boyutunun karşılaştırılması.

Gaz gidericiler ayrıca sıvı alüminyumu temizlemek için de kullanılır. Alüminyum genellikle dökümlerin özelliklerine zararlı olabilen çeşitli metalik olmayan katı katkı maddelerine sahiptir. Günümüzde flaksların eklenmesi inklüzyon giderimini desteklemektedir. Flakslar tipik olarak granülerdir ve örneğin bir vorteks oluşturarak ve yüzeye veya vorteks içine akıtarak, sıvı metal içinde sürüklenir. Flaks sıvı metalin her tarafına dağılır. Flakslar oksitleri reaksiyon sonucu bağlar ve karıştırma durduğunda yüzeye taşınır.

Bu çalışmada daha basit ve daha az etkili kabarcık kesicilerin aksine, bir pompalama eylemi sunan şekil 4.6'da görseli bulunan grafit rotor kullanılmıştır. Bu güçlü rotorların pompalama hareketi metali aşağıdan çeker ve inert gazın ve sıvı metalin yoğun bir şekilde karışmasını sağlar.

Şekil 4.6: Çalışmada kullanılan grafit rotor.



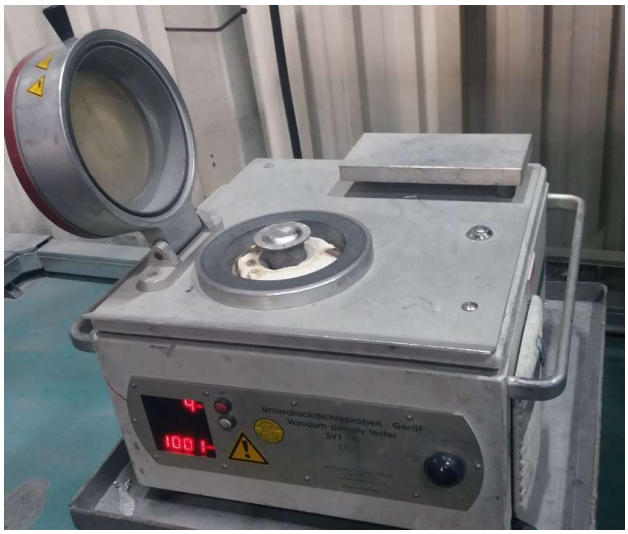
Şekil 4.7: a) Rotor pompalama hareketi b) Kullanılan Rotor-Şaft-Dalga kıran.

Şekil 4.7'de görüldüğü gibi grafit şaft ve rotora yakın dalga kıran adı verilen bir plakası yerleştirilir ve işlem sırasında yumuşak bir sıvı metal yüzeyi oluşturması beklenir. Kullanılan bu dalga kıran sıvı metal içerisine verilen flaksın ve gaz kabarcıkların metal içerisinde dağılımını sağlar. Bu çalışmada dalga kıranın metal temizliğine etkisi de ayrıca gözlenmiştir.

4.1.4. İndirgenmiş Basınç Test(RPT) Cihazı

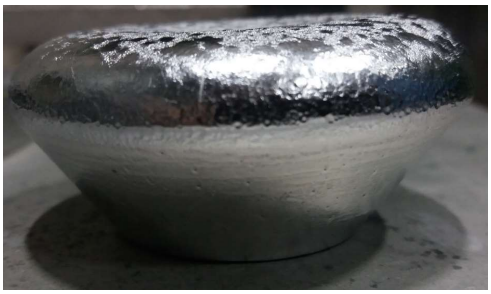
İndirgenmiş basınç (RPT – şekil 4.8) testi olası bir çift katlı oksit filmi yani bifilmlerin açılmasına yardım olması amacıyla vakum uygulanarak katılaşma sırasında açılması sağlamaktadır. Elde edilen numeneler kesilip, metalografik olarak kesit alanındaki olası gözeneklerin hesaplanmasına yardımcı olmaktadır. RPT testinde alüminyum alaşımlarında muhtemel gözeneklerin ortaya çıkmasını sağlamak için 4

dakika boyunca en yüksek basınç 80 mbar uygulanmıştır. Yoğunluk indeksi bu cihaz kullanarak hem vakum altında katılaşma numunesi (şekil 4.9.a) hem hava basıncı altında katılaşan numunesi (şekil 4.9.b) ile karşılaştırması yapılmıştır. Bifilm analizinde havada katılaşan numuneye gerek yoktur. Vakum altında katılaşan numunenin kesit alanının daha büyük olması tercih edilir çünkü katılaşmanın daha geç sağlanması bifilmlerin açılmasıyla daha net görseller elde edilmesi muhtemeldir. Bifilm analiz numuneleri RPT cihazı ile yine aynı basınç ve sürede alınmıştır. Şekil 4.10'da bifilm numune kalıbı ve vakum sonrası katılaşan bifilm numunesinin bir görseli verilmiştir.



Şekil 4.8: RPT cihazı.

Şekil 4.9: a) Vakum altında katılaşan b) havada katılaşan yoğunluk indeks numuneleri.



Şekil 4.10: Vakum altında katılaşan bifilm numunesi.

4.2. Çalışmanın Adımları ve Numune Alımı

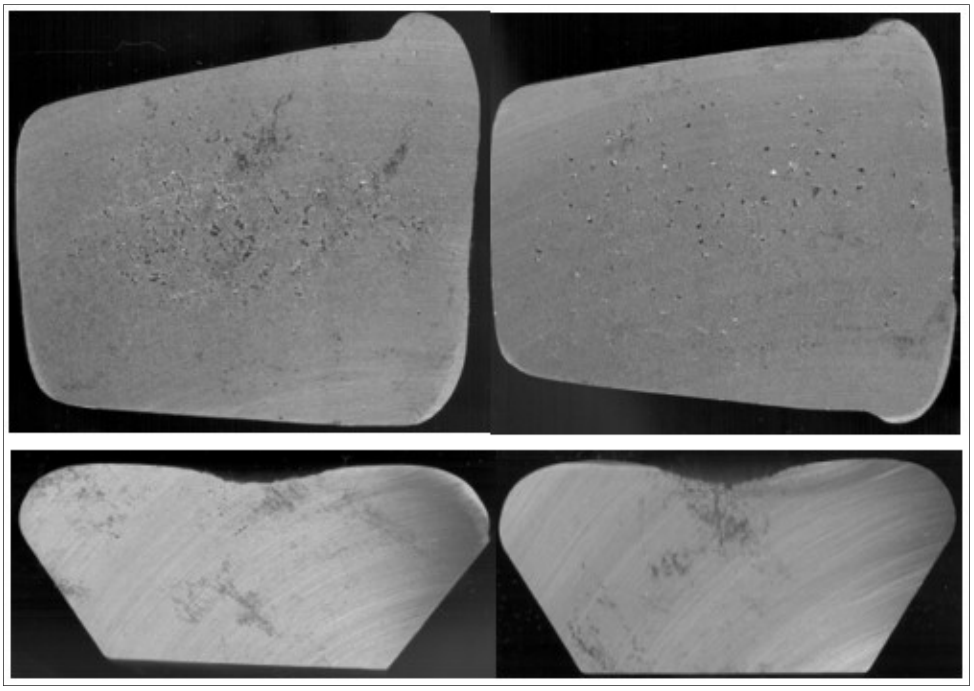
Standart gaz giderme, hedefe ulaşmak için verilen işlem süresi ile gaz ve ömür ile optimizasyon prosedürüne başlar ve mantıklı bir sonuç arar.

3 farklı alaşım için ergitme prosedürünün belirlenmesinde bu çalışmanın paydaşı olan Arpek Arkan Parça Alüminyum Enjeksiyon ve Kalıp San. ve Tic. A.Ş firmasındaki ergitme şartları da göz önüne alınmıştır. Çalışmada alaşımların geçerliliği spektrometre analizi onaylanmıştır. Her bir ergitme ocağından gelen farklı alaşımlar gaz giderme öncesi sıcaklık göz önünde bulundurularak gaz giderme aşamasına geçilmiştir. Ergitme ocaklarından alınan sıvı metalin ortalama sıcaklık aralığı 740 - 750 ^{o}C'dir. Çalışmada öncelik yoğunluk indeksine verilmiş olup kabul edilebilir değer firmanın prosedürüne göre belirlenmiştir. Gaz giderme sonrası alınan katılaşma numunelerinin yoğunluk indeksine göre gaz giderme parametreleri belirlenmiştir. Her bir alaşım için aynı parametreler uygulanmış olup her bir parametre değişikliği yine her bir alaşıma etkisi gözlenmiştir. Bu sebeple her bir parametre değişikliği ile numune alımları metalin yoğunluk indeksine göre devam edilmiştir. Yoğunluk indekslerinde standart oluşturulduktan sonra gaz giderme sonrası bifilm indeks numuneleri alınarak yoğunluk indeksine göre bifilm indeks etkisi farklı alaşımlara göre incelenmiştir. Gaz giderme parametreleri Tablo 4.3'te verilmiştir.

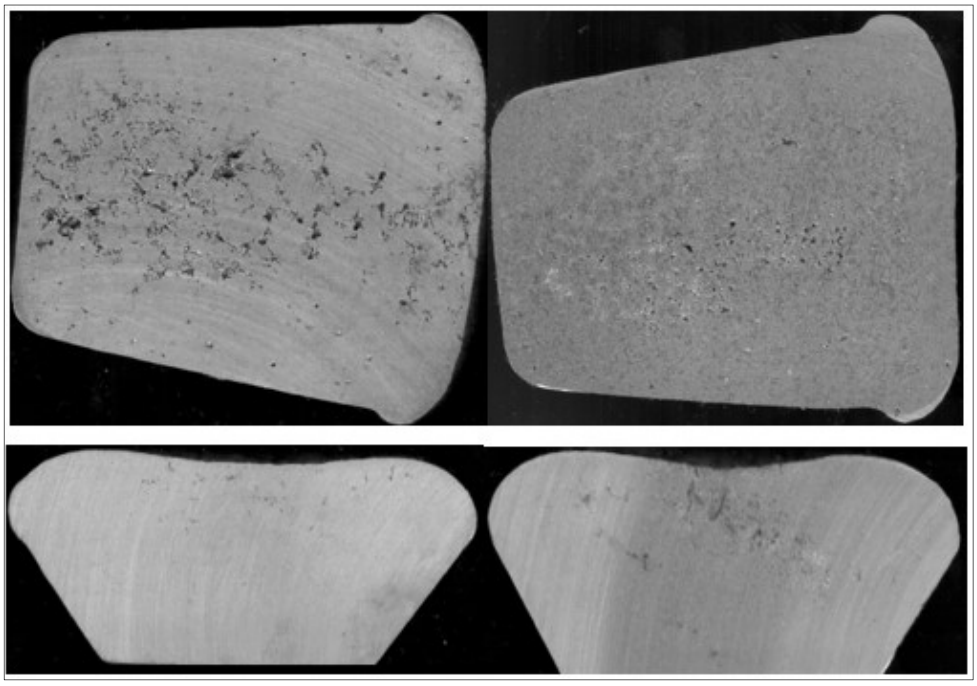
Her bir parametreye göre 3 farklı tip alaşımdan alınan yoğunluk indeks ve bifilm numuneleri, oksitlerin değerlendirilmesini yapabilmek adına ortadan y-eksininde kesilerek metalografik ortamda 180 – 240 – 400 – 600 mesh zımpara ile zımparalanarak analiz numuneleri hazırlanmıştır. Hazırlanan RPT numunelerinin kesit yüzeyleri şekil 4.11 – 4.13'te görüldüğü üzere 600 dpi ile taranıp JPG formatında kaydedildikten sonra Sigma Scan Pro 5 görüntü analizi yazılımı ile şekil 2.18'deki gibi bifilmler saptanarak bifilm indeks değerleri ölçülmüştür.

Tablo 4.3: Gaz giderme parametreleri ve denemeler.

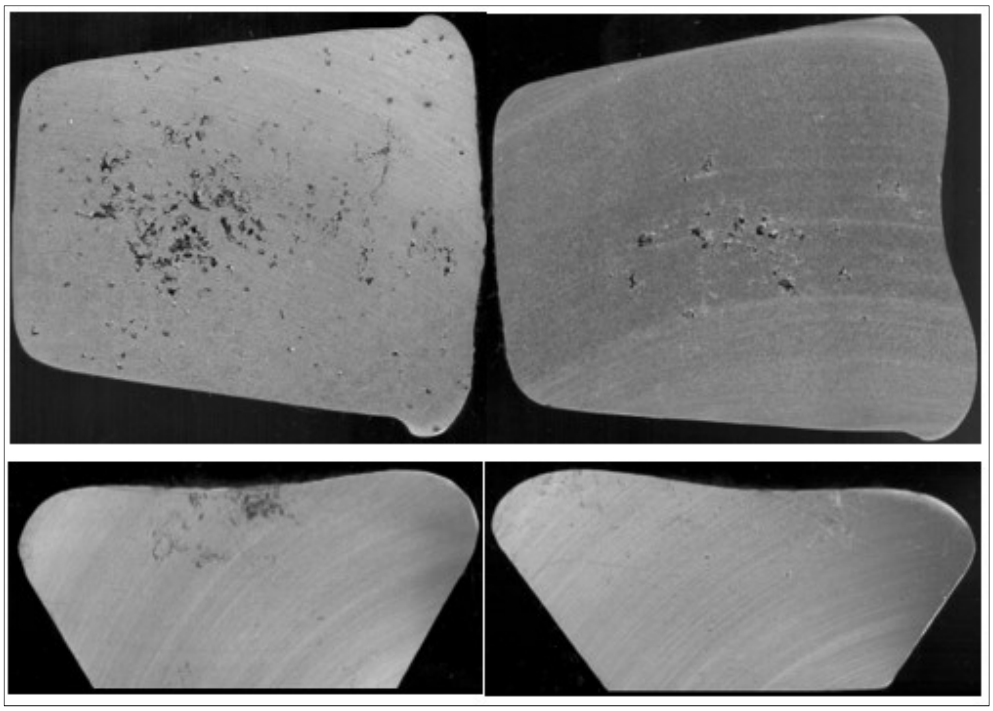
Parametreler	Deneme 1	Deneme 2	Deneme 3	Deneme 4	Deneme 5	Deneme 6
Gaz Basıncı (bar)	1,8	1,8	1,8	1,8	2,8	3
Gaz Debisi (lt/dk)	18	18	18	18	23	25
Vortex (rpm)	600	600	600	650	650	650
Gaz Giderme (rpm)	550	500	500	550	550	550
Flaks (rpm)	10	10	10	10	10	10
Flaks Süresi (sn)	8	8	8	8	8	8
Flaks Miktarı (gr)	95 - 100	95 - 100	95 - 100	95 - 100	95 - 100	95 - 100
Gaz Giderme Süresi (sn)	220	205	220	220	220	205
Başlangıç süresi- Dalga Kıran (sn)	20	10	10	15	15	15
Gecikme süresi - Flaks (sn)	20	20	20	20	20	20
Toplam süre (sn)	268	243	258	263	263	248



Şekil 4.11: AlSi9Cu3 sıvı metalin gaz giderme sonrası alınan numunelerin kesit yüzeyi bifilmlerin görünümü.



Şekil 4.12: AlSi10Mg sıvı metalin gaz giderme sonrası alınan numunelerin kesit yüzeyi bifilmlerin görünümü.



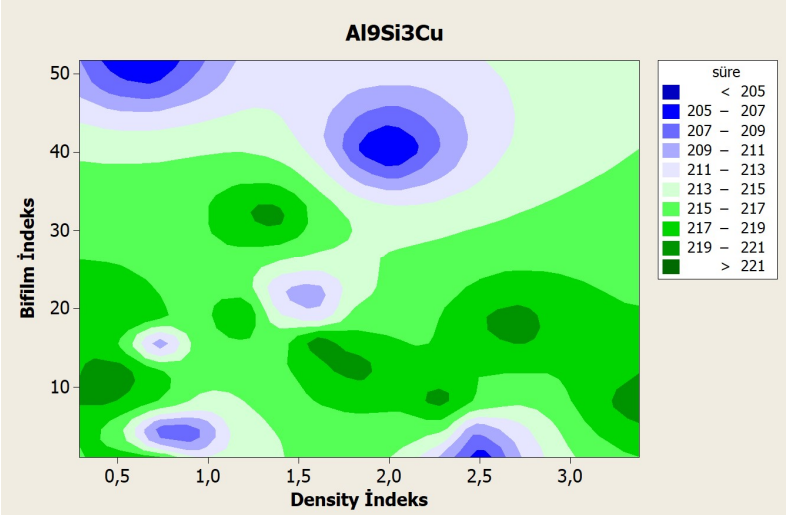
Şekil 4.13: AlSi12Cu1 sıvı metalin gaz giderme sonrası alınan numunelerin kesit yüzeyi bifilmlerin görünümü.

Numuneler 1:1 ölçekte taranmış olup kesitlerde bifilmler, oksit inklüzyonları ve hidrojen poroziteleri gözle rahatça görülmektedir.

5. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

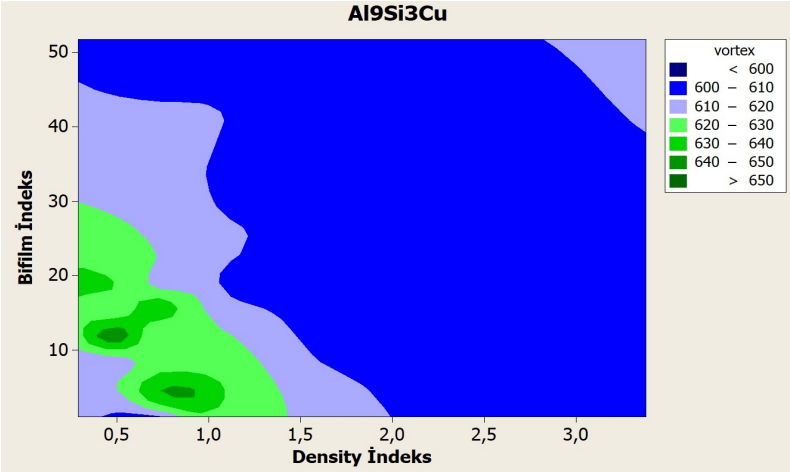
Gaz giderme cihazı bir işlemde farklı dönme hızı ve inert gaz akış debisi ve süresi ile çalışabilmektedir. Her bir değişken sıvı metal kalitesinde hidrojen oranı, oksit inklüzyon ve bifilm miktarına direk etki etmektedir. Yapılan bu çalışmada belirlenen parametrelere göre yoğunluk ve bifilm indekslerine etkileri görülmüştür. Sıvı metal kalitesine gaz giderme işlemi sonrası alınan numunelerden denklem 2.11'de verilen yoğunluk indeksi ve bifilm taraması ile oksitlerin boyutsal ölçüsü belirlenerek bifilm indeks analizleri yapılmıştır.

Her gaz giderme sonrası sıvı metal kalitesine direk etki eden 4 ana parametrenin verileri her bir numune üzerinde analizi yapılan bifilm ve yoğunluk indeks dağılımları şematik olarak verilmiştir. X ekseni analizler sonrası hesaplanan yoğunluk indeks değerleri ve y ekseni yine aynı numunelerin kesitleri üzerinde tarama sonrası belirlenen bifilm indeks değerlerini göstermektedir. Her bir numune analizinde yoğunluk indeksine karşılık gelen bifilm indeks değeri şemalarda görülmektedir. Bu şematik görseller üzerinden Tablo 4.3'te verilen her bir denemeye ait parametrelerin karşılaştırmalı olarak sıvı metal üzerinde etkisi belirlenebilmektedir.

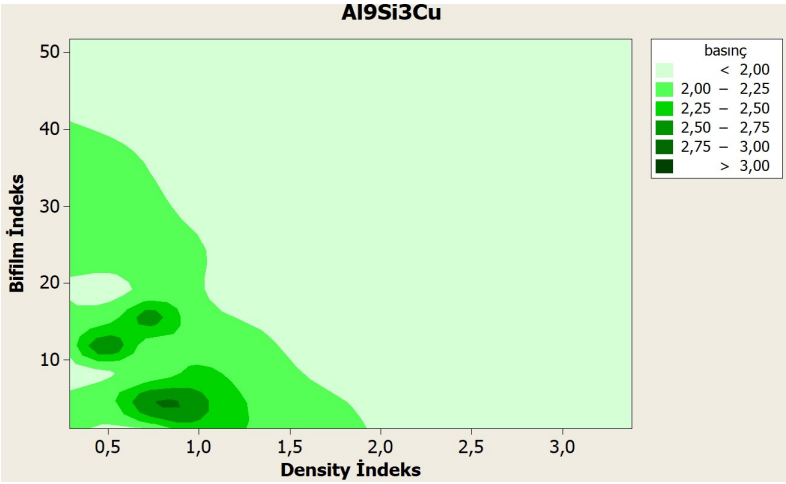


(a)

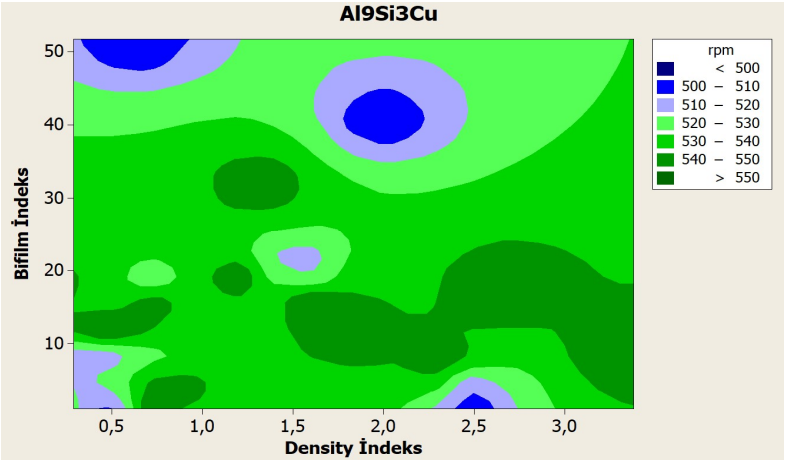
Şekil 5.1: Al9Si3Cu alaşımının değişen parametrelere göre bifilm-yoğunluk indeks dağılımı a) süre b) vorteks c) inert gaz akış basıncı d) gaz giderme hızı.



(b)



(c)



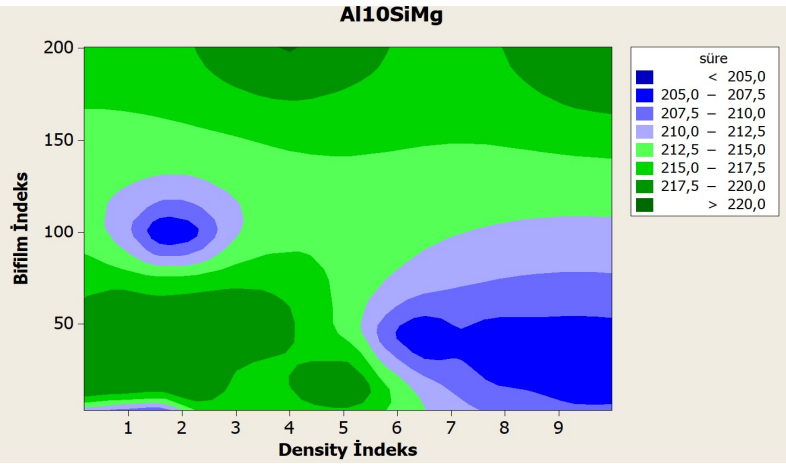
(d)

Şekil 5.1: Devam.

Her bir parametredeki değişkenlik renk skalasına göre şemalarda verilmiş olup o parametre değerine ait analiz değerleri koyu renk skalasıyla şemalarda gösterilmiştir.

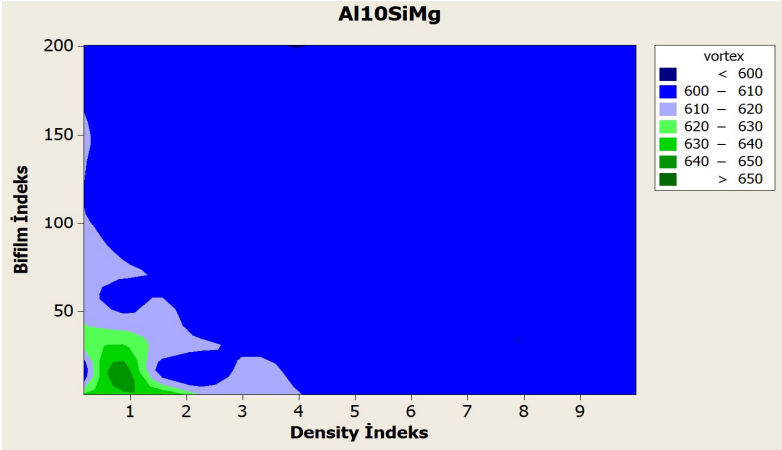
Odaklanılması gereken şematik görsellerde Tablo 4.3'te görüldüğü üzere gaz giderme süre aralığı 205 – 220 sn, vorteks aralığı 600 – 650 rpm, gaz giderme hızı aralığı 500 – 550 rpm ve inert gaz akış basınç aralığı 1,8 – 3 mbar olarak incelenmiştir.

AlSi9Cu3 alaşımında gaz giderme süresinin etkisine bakıldığında (şekil 5.1.a) oldukça karmaşık bir görüntü gözlemlenmektedir. Bifilm indeks ve yoğunluk indeksinin süreye bağlı olmadığı görülmektedir. Gaz giderme süresi arttığında bifilm indeksinde olumlu bir değişim gözlensede yoğunluk indeksinde bu durum tersini göstermektedir. Ancak vorteks etkisine bakıldığında (şekil 5.1.b), artan hız ile hem yoğunluk indeksi hem bifilm indeksi azalmaktadır. Benzer şekilde şekil 5.1.c'de inert gaz akış basıncın etkisi incelendiğinde, artan basınç ile hem bifilm indeksi hem de yoğunluk indeksi düşmektedir. Değişen parametreler göz önünde bulundurulduğunda ise inert gaz akış basıncı ile süre ters orantı ile etkisi görülmektedir. Gaz giderme hızının artışıyla sıvı metal temizliğinde süreyle benzer bir şekilde bifilm indeksine pozitif etki ettiği gözlenirken bu durum yoğunluk indeksi için söylenememektedir. Bu deneysel çalışma şartlarında AlSi9Cu3 alaşımında sıvı metal temizliğine en etkin parametrenin inert gaz akış basıncı ve vorteks olduğu tespit edilmiştir.

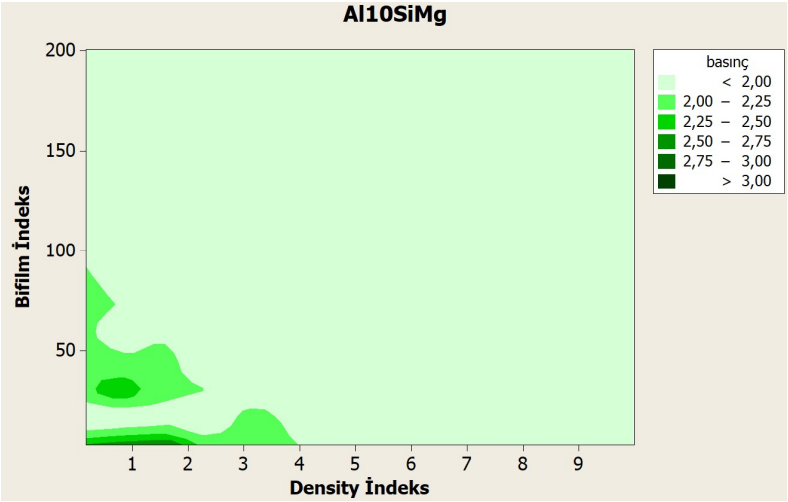


(a)

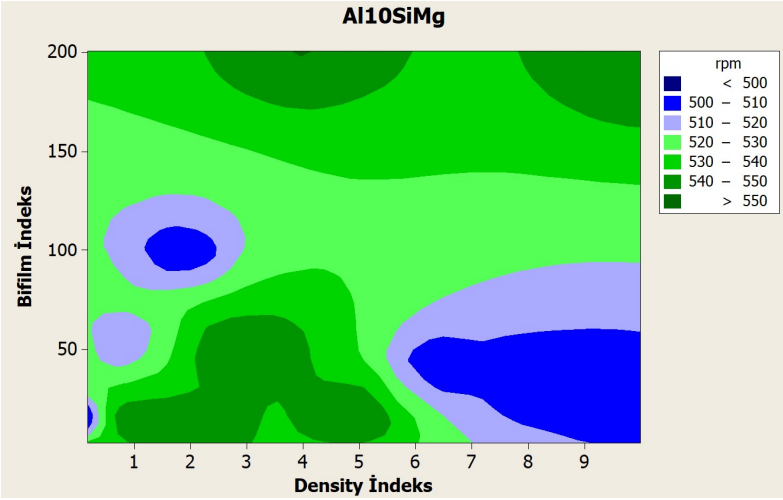
Şekil 5.2: AlSi10Mg alaşımının değişen parametrelere göre bifilm-yoğunluk indeks dağılımı a) süre b) vorteks c) inert gaz akış basıncı d) gaz giderme hızı.



(b)



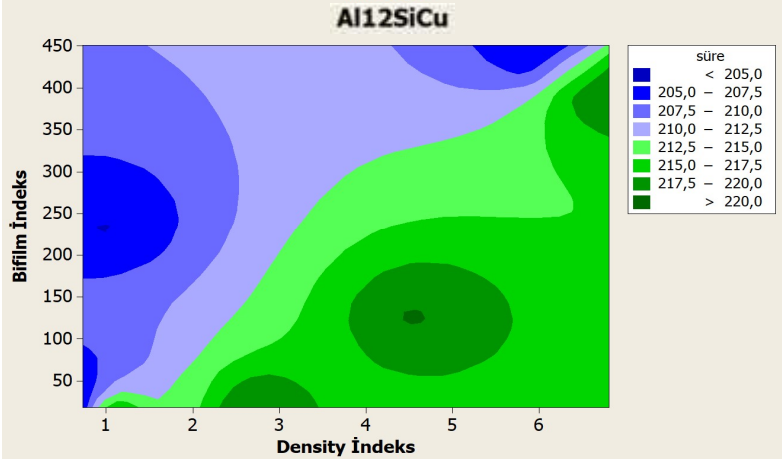
(c)



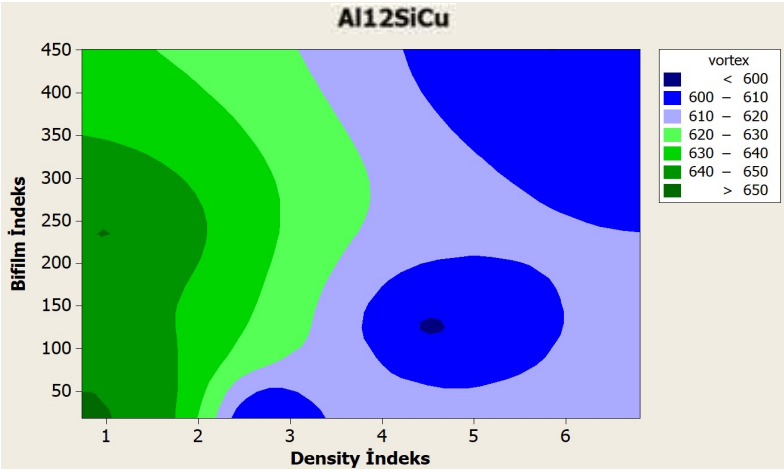
(d)

Şekil 5.2: Devam.

AlSi10Mg alaşımında ise vorteks ve inert gaz akış basıncı etkisi belirgin bir şekilde şekil 5.2'de göze çarparken, gaz giderme süresinin tek başına etkisi olmadığı tespit edilmiştir. Gaz giderme süresindeki artış yoğunluk indeksi göz önünde bulundurulduğunda olumlu bir etkisi varken bifilmde ise bu değişken etki göstermektedir. Yine gaz giderme süresine benzer etkiye göre gaz giderme hızındaki artış yoğunluk indeksine etkisi olumluyken oksit inklüzyonlarının temizliğinde değişken sonuçlar göstermektedir. Bu sebeple en etkin parametreler en düşük bifilm indeksi ve yoğunluk indeksinin saptandığı 2.5 mbar üzerinde basınç ve 620 rpm üzerinde seçilecek olan vorteks ile elde edilebilmektedir.

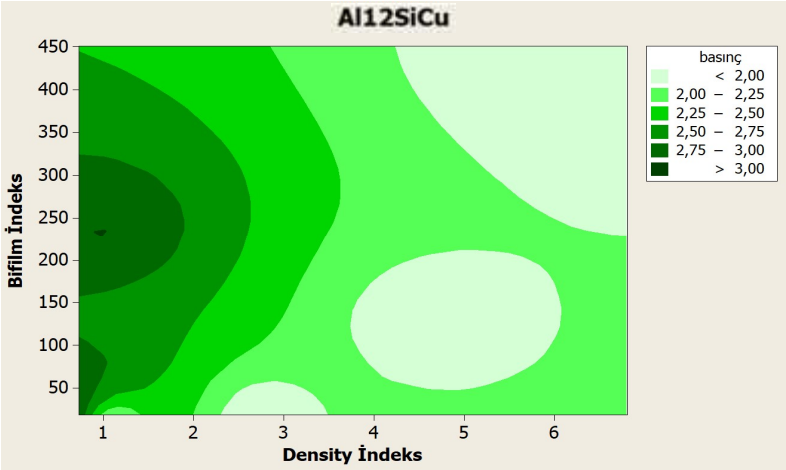


(a)

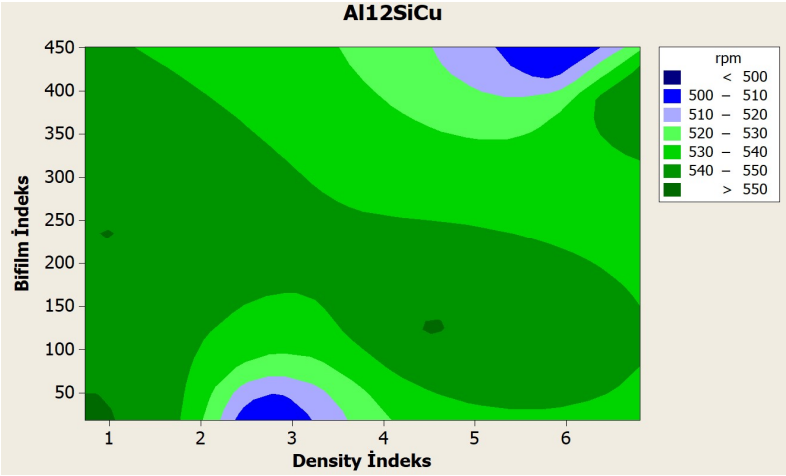


(b)

Şekil 5.3: AlSi12Cu1 alaşımının değişen parametrelere göre bifilm-yoğunluk indeks dağılımı a) süre b) vorteks c) inert gaz akış basıncı d) gaz giderme hızı.



(c)



(d)

Şekil 5.3: Devam.

AlSi12Cu1 alaşımında düşük bifilm indeksi ve yoğunluk indeksi elde edilebilmesi için inert gaz akış basınç değerlerinin 2.5 mbar'dan daha yüksek olması gerektiği şekil 5.3'te göze çarpmaktadır. Gaz giderme süresi arttıkça bifilm indeksin arttığı, diğer bir deyişle sıvı metalin kirlenmeye başladığı görülmektedir. İyi bir temizlik için ise vorteksin 640 rpm üzerinde gaz giderme hızının ise 540 rpm üzerinde olması gerekmektedir.

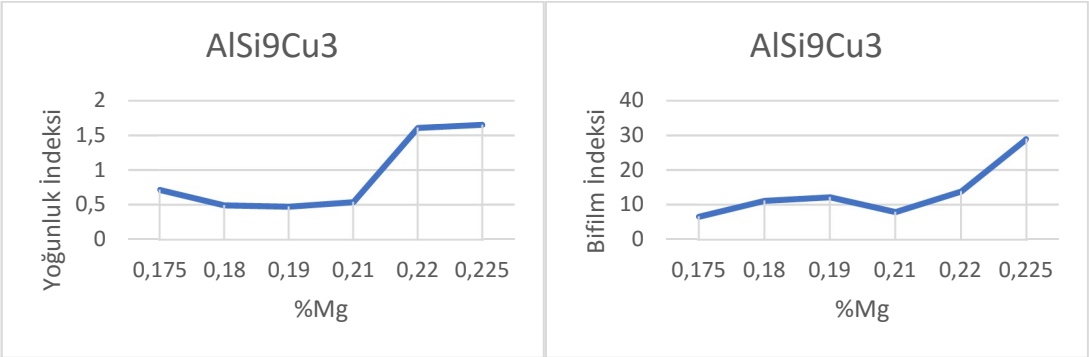
Bir tretmanda çok yüksek dönme hızı ve inert gaz akış basıncı çok fazla türbülans yaratacaktır veya aşırı uç durumlarda rotorun hava çekmesi gaz giderme performansının tamamen azalmasına yol açabilir.

Görsellerde gözlemlenen bifilm ve yoğunluk indeks trendlerin farklılık göstermesinin nedeni ise alınan RPT numunelerinin katılaşma sırasında soğuma eğrileri ile oluşturduğu geometrik şekillerinin farklı olmasıyla açıklanabilir. Yani

aslında yoğunluk indeksinin iyi sonuç verdiğini düşünerek sıvı metal kalitesinin iyi olduğunu belirlememiz güç olmaktadır.

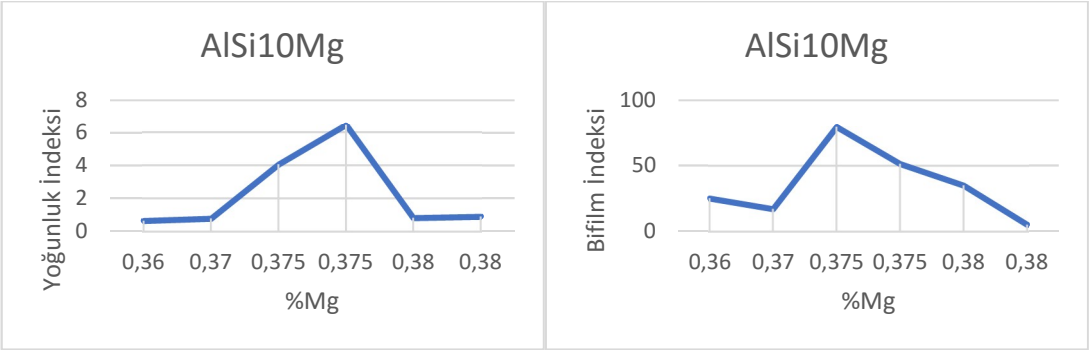
İlgili %Mg grafikleri (şekil 5.4 – 5.6) denemeler öncesi alaşımın uygunluğunu belirlemek yani çalışmaya başlamadan önce alınan spektral analizlerinde saptanan ağırlığınca %Mg içeriğinin yoğunluk indeks ve bifilm indeksine etkisini göstermektedir.

İncelenen görsellere göre alaşımların oksit inklüzyonları ve porozite (%H) değerlerinin farklılık göstermesi ergitmenin yapıldığı fırın ve Mg, Si ve Cu içeriklerinin etkisi olarak açıklanabilir. Alaşım kompozisyonunun gaz giderme performansına büyük etkisi vardır.



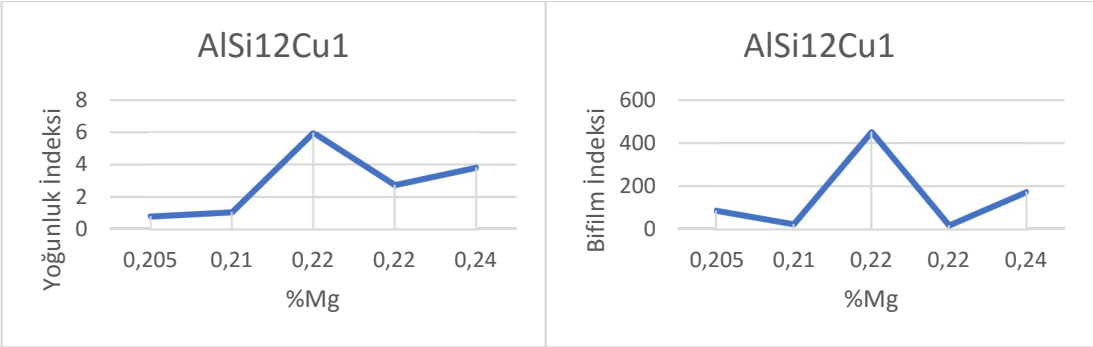
(a) **(b)**

Şekil 5.4: AlSi9Cu3 alaşımındaki %Mg'nin yoğunluk a) ve bifilm b) indeksine etkisi.



(a) **(b)**

Şekil 5.5: AlSi10Mg alaşımındaki %Mg'nin yoğunluk a) ve bifilm b) indeksine etkisi.



(a) **(b)**

Şekil 5.6: AlSi12Cu1 alaşımındaki %Mg‘un yoğunluk a) ve bifilm b) indeksine etkisi.

Magnezyum gibi elementler hidrojen çözünürlüğünü artırmakla beraber Silisyum veya Bakır gibi elementler düşürür. Şekil 5.4’de verilen grafiksel değer %Mg içeriği arttıkça sıvı metalin oksijenle etkisini ortaya açıkça koymaktadır. Şekil 5.5’te %Mg miktarının etkisi sonucu yoğunluk ve bifilm indeksindeki değişim MgO ve Al_2O_3 tabakalarının şekil 2.8’de grafiksel değişimle tanımlanabilmektedir. Oluşan oksit tabaksının Mg ve Al nin oksijenle olan etkileşim değişimden dolayı yüzey gerilimin oluşması ve yırtılan oksit tabakasından metal içerisine hidrojen emilimiyle açıklanabilir. Sıvı metal kirliliği oksit oluşumuyla hidrojen emilimi değişim gösterir bu durum bifilm ve yoğunluk indeksine doğrudan etki göstermektedir. Sıvı metal sıcaklığı atmosfer ile oluşturulan dengeye etki eder; yüksek sıcaklıktaki sıvı metal içerisinde daha çok hidrojen çözer. AlSi12Cu1 alaşımı devirmeli ocak ile ergitilmiş olup açık atmosferde çalışılmaktadır. Atmosfer ile sıvı metal reaksiyonu ile oksit tabakası oluşmaktadır. Yüzey türbülansı nedeniyle oksit tabakaları yırtılarak açık atmosferden sıvı metal kolayca hidrojen emilimi gerçekleşmektedir. Yırtılan oksit tabakaları ise ara yüzüne hava ile katlanarak sıvı metal içerisine sürüklenir bu durum sıvı metal kirliliğine neden olmaktadır. Her yırtılma sonrası oksit tabakası kendisini yenilemektedir. Şekil 5.6’daki değişim ise bu sebeple açıklanabilir. AlSi9Cu3 ve AlSi10Mg ise kapalı atmosferde ergitilmektedir.

Yapılan bu çalışmada hazırlanan numuneler üzerinde yapılan analizlere göre her bir parametrenin yoğunluk indeks ve bifilm indeksleri üzerine performansı görülmüştür ve her bir alaşım için farklı parametrelerin uygunlanması daha iyi sıvı metal temizliğine ulaşılacağını göstermiştir.

Alüminyumun göstermiş olduğu hidrojene karşı ilgisi ve oksit oluşum eğilimi göz önünde bulundurulduğunda sıvı metalinin temizliğinde gaz giderme

optimizasyonun yapılması oldukça güçtür. Bu optimizasyon ancak sıvı metal kalitesine etki eden gaz giderme parametrelerinin negatif ya da pozitif yönde etkisiyle yapılabilmektedir.

Sıvı metal kalitesinin nicelleştirilmesi bir sorundur. Bugüne kadar elde edilen tüm sonuçları tüm farklı koşullardan ve alaşımlardan toplamak ve bifilmlerin karmaşık davranışlarını göz önünde bulundurarak bir nicelleme çalışması yapılmış ve çeşitli kalite indeksleri değerlendirilmiştir. Yoğunluk ve hidrojen arasındaki doğrusal bir ilişki varsayılmıştır. Yoğunluğun yüksek olduğu yani yoğunluk indesinin düşük olduğu sürece, metal kalitesinin "temiz" olduğu öne sürüldü. Ancak, doğrudan bu yaklaşımın başarılı olmadığı ve sıvı metal kalitesinde diğer bir etken olan bifilm indeksinin, sıvı metal hidrojen içeriğinin ölçülmesinden bağımsız olduğu D.Dışpınar ve J.Campbell ortak çalışmalarında [18] ortaya çıkmıştır. Bifilmler açılmazsa, bifilm açısından yoğun olsa bile yoğunluğu yüksek olacağı düşünülebilir yani yoğunluk indeksi düşük olacaktır. Sadece mevcut herhangi bir bifilmin içine nüfuz etmek için hidrojen varsa, bifilm açılmaya, genişlemeye ve bir gözeneğe dönüşmeye başlayacak ve böylece yoğunlukta ölçülebilir bir azalmaya neden olacaktır.

Eğer sıvı metal içerisinde düşük gaz içeriği var ise bifilmler açılmaz dolayısıyla çatlak benzeri kılcal hatalar şeklinde görülebilirler. Gaz kusurları yapıdaki inklüzyonlar ile ilişkilidir, bu sebeple doğrudan döküm kusurlarını teşkil edemezler.

Böylece bifilm indeksinin ölçümü, hidrojen ölçümlerinden kaynaklanabilecek hatalardan etkilenmez. Sonuç olarak, RPT testi ve bifilm indeksi, hidrojen seviyesinin ölçümünden bağımsız olarak dökümlerin özelliklerini bozabilecek potansiyel kusurların doğrudan ölçümü olarak düşünülmektedir. Bu çalışmada yürütülen sıvı alüminyumdaki hidrojen ölçümünün güvenilirliği konusunu gündeme getirmektedir.

Farklı yüksekliklerden dökülen sıvı metallerde kaliteye etkisi görülmüş olup bu konuda yapılan çalışmalarda tartışılmıştır. Bifilmlerin yanı sıra havanın sıvı metale sürüklendiği üstten döküm sistemininde, alttan doldurulan bir sisteme göre daha düşük bir kaliteye sahip olduğu gösterilmiştir. Bu daha önce yapılan kalite indeksi çalışmalarının çoğu, bu sonucu çeşitli verilere dayanarak doğrulamıştır. Çalışmalarda, metal akışının musluk noktasından (yavaşça ve cüruf oluşumu olmadan) düzenli olarak kontrol edildiği ve dökümün döküm için minimum bir yüksekliğe indirildiği zaman, kalitenin önemli ölçüde arttığı görülmüştür.

Diğer taraftan, tutma sıcaklığının 720 °C üzerine yükseltilmesinin, sıvı alüminyum ile kabarcık içindeki oksijen ve azot arasındaki reaksiyonu hızlandırdığı

bulunmuştur. Ayrıca, sıvı metal sıcaklığı 720 °C üzerine arttırıldığında, kabarcık içindeki H içeriğinin önemli ölçüde artışı gözlemlenmiştir. Bu mekanizma Şekil 2.2'de anlaşılabilmektedir. Yüksek sıcaklıklarda çalışmak sıvı kalitesini etkileyen bir unsurdur.

Bu çalışmada gaz giderme hızının arttırılması sıvı metal kalitesine olumlu etki göstermiş olsada gaz gidermede daha yüksek hızlara çıkılması kabarcık içindeki oksijen miktarını azalttığı ve içine difüze edilen hidrojen miktarını arttırdığı gösterilmiştir. Bu, oksijen ve nitrojen tüketim oranını ve hidrojen difüzyonu oranını arttıran kabarcık ve sıvı metal arasındaki ara yüzey oluşturan oksit tabakasının maruz kaldığı kırılma hızındaki artıştan kaynaklanabilir.

Bir diğer çalışma konusu ise oksit inklüzyonlarını tutmada yardımcı malzeme olan flaksın sıvı metal temizliğine etkisidir. Flaks tam olarak sıvı metal içerisine denetimli bir şekilde verilmelidir. Döner gaz giderme sistemindeki gibi eğer oluşturulan vorteks içerisine doğru bir şekilde girmesi sağlanamaz ise askıda kalan inklüzyonlar ile flaksın buluşma ihtimali de düşmüş olmaktadır. Bu ihtimalin arttırılması küçük tane boyutlu flaks ve uygun gaz giderme sistemiyle çalışan dalga kıranın kullanılmasıdır.

Flaks ilave edilmesinin inklüzyonları giderme verimi üzerine büyük etkisi vardır. Bilindiği üzere tablet-flaks, lans, döner gaz giderme, vs. gibi yöntemlerin birbirleri arasında olumlu ve olumsuz etkileri mevcuttur. Gaz giderme sonrası aynı bifilm indeksi değerine sahip olduğu halde numunelerdeki dayanım farklılıkları olabilmektedir. Bunun da sebebi olası bifilmlerin konumlarıdır. Bifilmler uygulanan kuvvetlere dik, yatay veya çapraz olarak konumlanmış olması bile mekanik özellikler üzerinde ciddi etkilere sahiptirler. Kırılma yüzeylerinin incelenmesi bu farklılık hakkında detaylı bilgi verebilmektedir.

Bir oksitin ve daha geçirgen bir yüzey filminin ya da çevresel nemlilik ile arttırılmış reaktivitenin bir sonucu olarak yükselen bir hidrojen içeriğinin sünekliği azaltan daha açık bifilmlere katkıda bulunabileceği düşünülmektedir.

Alüminyumun oksijene karşı ilgisinden dolayı sıvı metal yüzeyinde sürekli olarak oksit tabakası oluşacaktır. Her ne kadar da temiz bir sıvı metal hazırlanmış olsa dahi döküm sırasında yanlış metal transferi, yüksek döküm hızı, yanlış yolluk tasarımı, yanlış kalıplama, vs. gibi unsurlar neticesinde meydana gelebilen türbülanstan dolayı yeni oksit filmlerinin oluşumu ile döküm parçasının mekanik özellikleri düşebilmektedir.

Daha önce yapılan çalışmalarda hem düşük hem de yüksek oksit içeriğinin mekanik test sonuçlarında, yüksek Mg dökümleri daha yüksek mukavemet göstermiştir. Bu, herhangi bir ısıl işlem yapılmasa bile, Mg_2Si çökeltmesi ile alaşımı güçlendirmek için Mg etkisinden beklenecektir. Bununla birlikte, yüksek Mg dökümleri için uzama sonuçlarının düşük olduğu belirlenmiştir. Bunun yanı sıra alaşım kompozisyonunun gaz giderme performansına etkisinin olduğunu özellikle magnezyumun hidrojen çözünürlüğünü arttırdığı bu çalışmada sıvı metal temizliği ile ilişkisiyle belirlenmiştir. Bu sebeple alaşım kompozisyonu gaz giderme parametre belirlemesinde en verimli sonuç elde etmede etkin rol oynamaktadır.

KAYNAKLAR

[1] Brůna M., Sládek A., (2011), "Hydrogen Analysis and Effect of Filtration on Final Quality of Castings from Aluminium Alloy AlSi7Mg0.3", Archives of Foundry Engineering, ISSN (1897-3310) 11 Special Issue 1/2011, 5-10.

[2] Dıspınar D., (2005), "Determination of Metal Quality of Aluminium and Its Alloys", Thesis for The Degree of Doctor of Phılosophy, School of Metallurgy and Materials The University of Birmingham.

[3] Virendra S. Warke, (2003), "Removal of Hydrogen and Solid Particles from Molten Aluminum Alloys in The Rotating Impeller Degasser: Mathematical Models and Computer Simulations", Thesis for The Degree of Master of Science, Worcester Polytechnıc Institute.

[4] María J. F. Gándara, (2013), "Aluminium: The Metal of Choice", Review article, ISSN (1580-2949) MTAEC9, Materials and Technology 47 (2013) 3, 261-265.

[5] Sheasby P.G. and Pinner R., (2001), "Aluminium, Its Properties, Alloys and Finishes", 6th Edition, The Surface Treatment and Finishing of Aluminum and Its Alloys, ASM International.

[6] Gilbert Kaufman J., Elwin L. Rooy, (2004), "Aluminum Alloy Castings Properties, Processes, and Applications", American Foundry Society International Materials.

[7] Gerrard A. J., (2014), "Inclusions and Hydrogen and Their Effects on the Quality of Direct Chill Cast and Flat Rolled Aluminium Alloys for Aerospace Applications", Thesis For the degree of Doctor of Engineering, School of Metallurgy and Materials College of Engineering and Physical Sciences University of Birmingham.

[8] Park J. Mo, (2009), "Behaviours of Bifilms in A356 Alloy during Solidification: Developing Observation Techniques with 3-D Micro X-ray Tomography", Thesis for The Degree of Masters of Research, School of Metallurgy and Materials College of Engineering, The University of Birmingham.

[9] Schwam D., (2012), "Melting Efficiency in Die Casting Operations", Final Technical Report, Department of Materials Science and Engineering, CASE Western Reserve University, Cleveland, OH.

[10] Gnesotto, (2013), "Integrated Methodlogy for Quality Evaluation of Molten Metal in Al Foundry", Thesis for Master Degree in Industrial Engineering, University of Padova.

[11] Yao L, (2011), "Experimental Investigation And Numerical Modeling Of Microporosity Formation in Aluminium Alloy A356", Thesis for The Degree of Doctor Of Philosophy, The University of British Columbia.

[12] Campbell J., (2003), “The New Metallurgy of Cast Metals”, Castings Second Edition, Butterworth-Heinemann.

[13] Felberbaum M., (2010), “Porosity in Aluminum Alloys: Visualization, Characterization, and Modeling”, Thesis for The Degree of Doctor Of Science, École Polytechnique Fédérale De Lausanne.

[14] BCRIA Group Company, “Degassing and fluxing practice for aluminium alloys”, Broadsheet 322.

[15] Mile B. Djurdjević, Odanović Z., Pavlović-Krstić J., (2010), “Melt Qualıty Control at Aluminum Castıng Plants”, MJoM 16 (1), 63-67.

[16] Lumley R., (2011), “Fundamentals of Aluminium Metallurgy, Production, Processing and Applications”, First Published, Woodhead Publishing Limited The Aluminum Association, Inc.

[17] Davis J.R., (2001), “Aluminium and Aluminium Alloys”, ASM International, Alloying: Understanding the Basics 351-416.

[18] Dispinar D., Campbell J., (2006) “Effect of Casting Conditions on Aluminium Metal Quality”, Journal of Materials Processing Technology, 182, 405-410.

[19] Kendrick R., Muneratti G., Consoli S., Voltazza F., Barison S., (2012), “The Use of Metal Treatment to Control The Quality of an Aluminium Casting Produced by The High Pressure Diecasting Process”, 30-2, Metallurgical Science and Technology.

[20] Liu C., Hu Z., Zeng J., (2012), “Removal of Impurities in Aluminum by Use of Fluxes”, Advanced Materials Research 509, 152-155.

[21] Ulanovskiy I.B., (2015), “Hydrogen Diffusion and Porosity Formation in Aluminium”, Ministry of Education and Science of The Russian Federation National University of Science and Technology.

[22] Cobden R., Alcan, Banbury, (1994), “Aluminium: Physical Properties, Characteristics and Alloys”, TALAT 1501, European Aluminium Association.

[23] “The Aluminium Automative Manual”, (2002), Version 2002 © European Aluminium Association.

[24] Amit M Joshi, “Aluminium Foundry Practice”, Indian Institute of Technology, Bombay.

[25] Gürsoy Ö., (2017), “Al-Si Alaşımlarında Ti İlavesinin Sıvı Metal Temizliğine Etkisi”, Y.Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi.

[26] MK Industry GmbH, “Quality Oriented Melt Testing in the Aluminium Foundry”.

[27] Tan E., Tarakcılar A. R., Dışpınar D., Çolak M., Kayıkcı R., (2011), "Reproducibility of Reduced Pressure Test Results in Testing of Liquid Aluminum Gas Levels", 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), 321-324, Elazığ, 16-18 May 2011.

[28] Sinha N., Sahoo K. L, "Meltıng And Castıng Of Non-Ferrous Metals And Alloys", National Metallurgical Laboratory, Jamshedpur, 110-116.

[29] Berdowski J., Van der Most P., Mulder W., Bloos J. P., Pacyna J. M., Rentz O., Oertel D., Woodfield M., Pulles T., Appelman W., (2009), "Aluminium Production", EMEP/EEA Emission Inventory Guidebook 2009.

[30] Sigworth G. K., (2011), "Understanding Quality in Aluminum Castings", American Foundry Society, 1-17, Foseco, Cleveland, OH.

[31] Scamans G., Hu-Tian L., Fan Z., (2012), "Melt Conditioned Casting Of Aluminium Alloys", 13th International Conference on Aluminum Alloys (ICAA13), 1395-1400, Brunel Centre for Advanced Solidification Technology, Brunel University, Uxbridge, Middlesex, 2012.

[32] Bonner S. J., Phil M., (2015), "A Microstructural and Kinetic Study of Molten Aluminium Oxidation in Relation to Dross Formation", Thesis for the Degree of Doctor of Philosophy, School of Mechanical and Mining Engineering, The University of Queensland.

[33] Aluminium Federation, "Aluminium Castings", UK Aluminium Industry Fact Sheet 4.

[34] El-Sayed M. A., Hassanin H., Essa K., (2016), "Bifilm defects and porosity in Al cast alloys", Int J Adv Manuf Technol (2016) 86, 1173–1179

[35] Shih T., Wen K., (2004), "Effects of Degassing and Fluxing on the Quality of Al-7%Si and A356.2 Alloys", Materials Transactions, 46, No. 2 (2005), 263-271.

[36] Liping W., Guojian C., Erjun G., Guojun W., Xinyu L. (2013), "Influences of Different Degassing Processes on Refining Effect and Properties of 4004 Al Alloy", Chına Foundry Research & Development, 10 No.2, 104-107

[37] Puga H., Barbosa J., Seabra E., Ribeiro S., Prokic M., (2009), "New Trends in Aluminium Degassing –A Comparative Study", Fourth International Conference on Advances and Trends in Engineering Materials and Their Applications, Hamburg, AES – ATEMA' 2009

[38] Tiryakioğlu M., Campbell J., (2014), "Quality Index for Aluminum Alloy Castings", AFS Transactions, (paper no: 13-1525), International Journal of Metalcasting, 217- 222.

[39] El-Sayed M. A., (2016), “The Behaviour of Bifilm Defects in Cast Al-7Si-Mg Alloy”, Department of Industrial and Management Engineering, Arab Academy for Science, Technology and Maritime Transport Abu Qir, Alexandria, 1-15.

[40] Phetchcrai S., Luankosolchaı S., Samit W., Kajornchaıyakul J., (2010) “Evaluation of Hydrogen in Liquid Aluminium by Means of Thermal Analysıs”, Roznov pod Radhostem Metal 2010, 18-20.

ÖZGEÇMİŞ

İlkay Doğan CENGİZ 1988 yılında Ankara'da doğdu. 2006 yılında başladığı Marmara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümünü 2011 – 2012 yılı güz döneminde başarıyla tamamlayarak, 2013 – 2014 yılı Bahar döneminde yüksek lisans eğitimine Gebze Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı'nda başladı. Lisans mezuniyetinden bu yana sektörde çalışmakta olup, 2015 yılı Ağustos ayı itibariyle Foseco-Vesuvius İstanbul Refrakter A.Ş firmasında proje mühendisi olarak çalışmaktadır.