

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ SÜREKLİ DÖKÜMÜNDE KULLANILAN
HİDROJEN GAZ GİDERME SİSTEMİ PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU**

HAKAN ÖZER

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
İMAL USULLERİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. HÜSEYİN SÖNMEZ**

İSTANBUL , 2012

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ SÜREKLİ DÖKÜMÜNDE KULLANILAN
HİDROJEN GAZI GİDERME SİSTEMİ PARAMETRELERİNİN
OPTİMİZASYONU

Hakan ÖZER tarafından hazırlanan tez çalışması 06.02.2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Hüseyin SÖNMEZ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Hüseyin SÖNMEZ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Ayşegül AKDOĞAN EKER
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Adem BAKKALOĞLU
Yıldız Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Yaptığım bu teorik ve deneysel çalışmada bana daima destek olan, yapıcı eleştirileri ile yolumu aydınlatan değerli hocam Prof.Dr. Hüseyin Sönmez' e ve desteğini benden esirgemiyen değerli asistanı Y.Mak.Müh. Serdar Vanlı' ya şükranlarımı sunarım.

Assan Alüminyum Tuzla Tesislerinde yaptığım yüksek lisans tezi çalışmam süresince daima bana yardımcı olan Assan Alüminyum Döküm işletmesi Yöneticisi değerli meslektaşım Sn.Aziz Dursun' a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Şubat, 2012

Hakan ÖZER

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	6
KISALTMA LİSTESİ.....	7
ŞEKİL LİSTESİ.....	8
ÇİZELGE LİSTESİ	9
ÖZET	10
ABSTRACT.....	12
BÖLÜM 1 GİRİŞ.....	14
1.1 Literatür Özeti	144
1.2 Tezin Amacı	144
1.3 Hipotez	155
BÖLÜM 2 ALÜMİNYUM METALİ VE ÖZELLİKLERİ	16
2.1 Alüminyumun Genel Özellikleri	16
2.2 Alüminyumun Fiziko-Kimyasal Özellikleri	17
2.3 Alüminyumun Alaşımaları	19
BÖLÜM 3 ALÜMİNYUM ÜRETİMİNDE KULLANILAN SÜREKLİ DÖKÜM TEKNİKLERİ.....	20
3.1 Doğrudan Soğutma Döküm Teknolojisi	20
3.2 Bant Döküm.....	21
3.3 İkiz Merdane Döküm	22
BÖLÜM 4 ALÜMİNYUMUN SÜREKLİ DÖKÜMÜNDE KARŞILAŞILAN PROBLEMLER	27
4.1 İnklüzyon	27
4.2 Alkali Metaller	28

4.3	Diğer Metaller	28
4.4	Gaz Boşluğu	28
4.5	Sıvı metal içinde bulunan Hidrojen ve Hidrojen Kaynakları	28
4.5.1	Hidrojenden Korunma yöntemleri.....	30
BÖLÜM 5 ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ SÜREKLİ DÖKÜMÜNDE KULLANILAN GAZ GİDERME YÖNTEMLERİ		31
5.1	Metal Rafinasyonu	33
5.2	Ergitme Öncesinde ve Ergitme Sonrasında Alınan Önlemler	34
5.3	Flakslama ile gaz giderme	35
5.3.1	Katı Flakslar	35
5.3.1.1	Hegzakloretilen ile Gaz Giderme.....	37
5.3.2	Gaz Flakslar	38
5.4	Gaz Üfleme Yoluyla Gaz Giderme Yöntemleri.....	40
5.4.1	Klor ve Diğer Halojenik Uçucularla Gaz Giderme	40
5.4.2	Azot Üfleme ile Gaz Giderme	41
5.5	Gaz Kabarcığı Oluşumu ile Gazların Giderilmesi	43
5.6	Mekanik Gaz Giderme Sistemleri	45
5.6.1	Gözenekli Tıkaçla Gaz Giderme	45
5.6.2	Dönel Sistemle Gaz Giderme	46
5.6.2.1	Sniff Sistemi ile Gaz Giderme İşlemi	47
BÖLÜM 6 ASSAN ALÜMİNYUM' DA KULLANILAN DÖNEL GAZ GİDERME SİSTEMİ PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU DENEYİ.....		50
6.1	Deneyin Şartları	50
6.2	Deney Numuneleri	51
6.3	Deneyde Kullanılacak Cihazlar.....	51
6.4	Deneyin Yapılışı	53
6.5	Deneyin Değerlendirilmesi ve Uyarılar.....	56
BÖLÜM 7 DENEYSEL ÇALIŞMADAN ELDE EDİLEN SONUÇ VE ÖNERİLER		57
KAYNAKLAR		58
ÖZGEÇMİŞ		60

SİMGE LİSTESİ

<i>A °</i>	Amgstrom
<i>Cu</i>	Bakır
<i>Fe</i>	Demir
<i>Zn</i>	Çinko
<i>Mg</i>	Magnezyum
<i>Al</i>	Alüminyum
<i>Ti</i>	Titanyum
<i>V</i>	Vanadyum
<i>H</i>	Hidrojen
<i>K</i>	Potasyum
<i>Na</i>	Sodyum
<i>F</i>	Flor
<i>CO</i>	Karbonmonoksit

KISALTMA LİSTESİ

SNIF	İnört gaz ile gaz giderme sistemi
BHN	Brinel Sertlik Birimi
SDT	Sürekli Döküm Teknolojisi
DC	Sürekli Soğutmalı Döküm
ASA	Amerikan Standartlar Birliği

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 3.1 Doğrudan Soğutma Teknolojisi	21
Şekil 3.2 Doğrudan Soğutma ile Üretim	21
Şekil 3.3 Bant Döküm Teknolojisi	22
Şekil 3.4 İkiz merdane Teknolojisinde merdane ile seramik tipin yerleşimi	23
Şekil 3.5 İkiz merdane Teknolojisi döküm hattı şeması.....	23
Şekil 3.6 İkiz merdane Teknolojisinde kullanılan seramik tip ve baş kutu	24
Şekil 3.7 Assan Alüminyum 5.Döküm Hattında kullanılan seramik tip ve baş kutu	25
Şekil 3.8 Assan Alüminyum 5.Döküm hattında kullanılan merdane çiftleri	25
Şekil 3.9 İkiz merdane Teknolojisinde Döküm makinası ile Tutma Fırını arasındaki proses şeması.....	26
Şekil 3.10 Assan Alüminyum' un 5.Döküm Hattındaki Döküm makinası	26
Şekil 4.1 Hidrojenin alüminyum içerisindeki çözünürlüğünün sıcaklık ile değişimi	29
Şekil 5.1 Hidrojenin döner gaz giderme yönetmi kullanılarak sıvı metalden uzaklaştırılması.....	48
Şekil 5.2 Assan Alüminyum' da kullanılan SNİFF sisteminin şematik gösterimi.....	49
Şekil 6.1 FMA Hidrojen Analiz Ünitesi ve Ölçüm Probu	51
Şekil 6.2 Snif Gaz Alma ünitesinin Tutma Fırını ve Döküm Makinası arasındaki yeri.....	52
Şekil 6.3 Assan Alüminyum'daki Gaz Alma Ünitesi	52
Şekil 6.4 Gaz Alma Ünitesi Rotoru	52
Şekil 6.5 Tav prosesi sonrası alüminyum folyoda görülen hidrojen kaynaklı formasyon	53
Şekil 6.6 1050 Alüminyum Alaşımında deneysel olarak ölçülen hidrojen	54
Şekil 6.7 3003 Alüminyum Alaşımında deneysel olarak ölçülen hidrojen	54
Şekil 6.8 Hidrojen kaynaklı deformasyonun SEM görüntüleri	55

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1	Özgöl Ağırlıkça Metallerin Kıyaslanması (gr/cm^3) 17
Çizelge 2.2	Alüminyumun kompozisyona göre yoğunluk değişimi 18
Çizelge 2.3	Alüminyumun sıcaklığa göre yoğunluk değişimi 18
Çizelge 2.4	Alüminyumun saflıkla değişen ergime sıcaklıkları 18
Çizelge 2.5	Alüminyumun saflıkla değişen ısı iletkenliği..... 19
Çizelge 2.6	Alüminyumun alaşımları tablosu..... 19
Çizelge 5.1	Flaks Bileşimindeki Tuz Oranları..... 36
Çizelge 6.1	Ölçüm yapılan rotor hızı ve argon debileri..... 53
Çizelge 6.2	1050 Alaşım için değişik rotor hızı ve argon debilerinde ölçülen hidrojen konsantrasyonları..... 56
Çizelge 6.3	3003 Alaşım için değişik rotor hızı ve argon debilerinde ölçülen hidrojen konsantrasyonları..... 56

**ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ SÜREKLİ DÖKÜMÜNDE KULLANILAN
HİDROJEN GAZ GİDERME SİSTEMİ PARAMETRELERİNİN
OPTİMİZASYONU**

Hakan ÖZER

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Hüseyin SÖNMEZ

Alüminyum ve alaşımlarının sürekli dökümü sırasında en çok rastlanan problemlerden biri rutubet ile sıvı metalin reaksiyonu sonucu yüzeyde oksit oluşması ve açığa çıkan hidrojenin sıvı metalde çözülmesi olarak gösterilmiştir. Hidrojenin sıvı metaldeki çözünürlüğü yüksek iken azalan sıcaklık ile çözünürlüğü azalmaktadır. Bu nedenle katılma sırasında hidrojenin çözeltiden ayrılarak poroziteyi oluşturduğuna inanılmaktadır. Bu doğrultuda döküm öncesinde sıvı metale gaz giderme işlemi uygulanır ve sıvı metalin çözünmüş hidrojen içeriği azaltılmaya çalışılır. Böylelikle porozitenin de azalması beklenir.

Hidrojen, alüminyum ve alüminyum alaşımlarının içerisinde yüksek çözünürlüğü olan tek gazdır. Çözünürlük sıcaklıkla ve basıncın kara kökü ile doğru oranlıdır. Hidrojen sıvı metal içerisine çok çeşitli yollardan girebilir. Çok küçük bir kısmı atmosferde serbest halde bulunan hidrojenden, büyük bir çoğunluğu ise su buharının sıvı metal yüzeyinde parçalanması sonucunda açığa çıkan hidrojenden, sıvı metale ilave edilen her türlü katkı maddesinde (şarj) bulunan nemden, potadan ya da kullanılan diğer araçlardan girebilir. Eğer metal akışı ya da karıştırılması (özellikle SNIF sistemi içerisinde) çalkantılı /dalgalı bir şekilde yapılırsa, bu çalkantılardan dolayı sıvı metal içerisine hapsedilen hava hidrojenin oluşmasına sebep olacaktır.

Oldukça reaktif olan ve sıvı metal tarafından hızlı bir şekilde absorbe edilen atomik hidrojen su buharının sıvı alüminyum ile tepkimesinden ortaya çıkar. Sıvı alüminyum içerisine giren hidrojen uygun yöntemler kullanılarak uzaklaştırılabilir. Bu çalışmada hedef gaz giderme işleminin en etkili biçimde yapıldığı gaz debisi-motor devir hızı kombinasyonunu 1050 ve 3003 alaşımları için tespit etmektir. Bunun için dokuz ayrı gaz debisi-motor devir hızlarında çalıştırılan SNIF sistemi, SNIF sonrası sıvı metalin içerisindeki hidrojen miktarları ölçülerek test edilmiş ve maliyet ve ürün kalitesinde optimizasyon sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Hidrojen, sıvı metal, SNIF sistemi, optimizasyon

**AN OPTIMIZATION STUDY FOR AN EFFICIENT HYDROGEN REMOVAL
DURING CONTINUOUS CASTING OF ALUMINIUM ALLOYS**

Hakan ÖZER

Department of Mechanical Engineering
MSc. Thesis

Advisor: Prof. Dr. Hüseyin SÖNMEZ

Aluminum alloys can dissolve excessive amount of hydrogen gas in their molten state. Since its solubility decrease with decreasing temperature, gas bubbles are formed and entrapped within the solid structure during solidification. Existence of such imperfections can cause serious failure during manufacturing of sheet and foil products. There exist many methods to remove hydrogen gas from liquid aluminum. The efficiency of removal depends mainly on operational parameters. Inert gas flow rate and rotational speed of the rotor are among those for the systems employing injection and shearing of the gas bubbles for gas removal mechanism. In this study we aim at determining the optimum argon flow rate and the rotor speed for the SNIF system which will result in the most efficient hydrogen removal rate within the liquid metal.

The measurements were conducted during 1050 and 3003 aluminum alloy castings. Nine different gas flow rate-rotor speed combinations determined from Design of Experiments were applied during castings. A mathematical equation estimating the hydrogen content as a function of flow rate and rotor speed has been developed using a statistical software. The optimum flow rate/rotor speed combinations were determined for the most effective hydrogen gas removal and implemented in real scale production.

Key words: Rotor speed, hydrogen gas, flow rate, SNIF system, optimization

1.1 Literatür Özeti

Alüminyum ve alaşımlarının sürekli dökümü sırasında en çok rastlanan problemlerden biri rutubet ile sıvı metalin reaksiyonu sonucu yüzeyde oksit oluşması ve açığa çıkan hidrojenin sıvı metalde çözülmesi olarak gösterilmiştir. Hidrojenin sıvı metaldeki çözünürlüğü yüksek iken azalan sıcaklık ile çözünürlüğü azalmaktadır. Bu nedenle katılaşma sırasında hidrojenin çözeltiden ayrılarak poroziteyi oluşturduğuna inanılmaktadır. Bu doğrultuda döküm öncesinde sıvı metale gaz giderme işlemi uygulanır ve sıvı metalin çözünmüş hidrojen içeriği azaltılmaya çalışılır. Böylelikle porozitenin de azalması beklenir.

1.2 Tezin Amacı

Sıvı alüminyum içerisine giren hidrojen uygun yöntemler kullanılarak uzaklaştırılabilir. Bu çalışmada hedef gaz giderme işleminin en etkili biçimde yapıldığı gaz debisi-motor devir hızı kombinasyonunu 1050 ve 3003 alaşımları için tespit etmektir. Bunun için dokuz ayrı gaz debisi-motor devir hızlarında çalıştırılan SNIF sistemi, SNIF sonrası sıvı metalin içerisindeki hidrojen miktarları ölçülerek test etmek ve maliyet ve ürün kalitesinde optimizasyon sağlanmaktadır.

1.3 Hipotez

Sıvı alüminyum içerisine giren hidrojen uygun yöntemler kullanılarak gaz giderme işleminin en etkili biçimde yapıldığı gaz debisi-motor devir hızı kombinasyonunu 1050 ve 3003 alaşımları için sıvı metalin içerisindeki hidrojen miktarları ölçülerek test etmek ve maliyet ve ürün kalitesinde optimizasyonu sağlanmaktadır.

BÖLÜM 2

ALÜMİNYUM METALİ VE ÖZELLİKLERİ

Alüminyum, yeryüzünde oksijen ve silisyumdan sonra en çok bulunan üçüncü element olmasına rağmen, endüstriyel çapta üretimi 1886 yılında elektroliz yönteminin kullanılmaya başlanmasıyla gerçekleşmiştir.

Alüminyum, çok kullanılan metaller olan demir, kurşun ve kalay gibi doğada bileşikler halinde bulunur. Alüminyumu oksit halindeki bileşiğinden ilk ayıran ve elde eden kişi, 1807 yılında, Sir Humphrey Davy olmuştur. Daha sonra, Hans Cristian Oersted, Frederick Wöhler ve Henri Sainte-Clairre Deville alüminyum eldesinde yenilikler getirmişlerdir.

Alüminyumun endüstriyel çapta üretimi ise, 1886 yılında Charles Martin Hall ve Paul T. Herout'un birbirlerinden habersiz olarak yaptıkları elektroliz yöntemi ile başlamıştır. Bu günümüzde kullanılan yöntem olduğundan, 1886 yılı alüminyum endüstrisinin başlangıç yılı olarak kabul edilir. 1892 yılında K.J.Bayer'in, boksitten alümina eldesini sağlayan Bayer prosesini bulması ile alüminyumun endüstriyel çapta üretimi kolaylaşmış ve kullanımı yaygınlaşmıştır.

2.1 Alüminyumun Genel Özellikleri

Alüminyum, periyodik sistemin 3. grubundadır; atom numarası 13, atom çapı $1,43 \text{ Å}^\circ$, iyon çapı $0,86 \text{ Å}^\circ$ ve atom ağırlığı $26,97 \text{ g'dır}$.

Alüminyum iyonları, katılaşma sırasında birim küp yüzeylerinin köşelerini ve orta noktalarında bulunur. Böylece alüminyum Yüzey Merkezli Kübik (YMK) bir atom kafesine sahiptir. Alüminyum kafesinin bir birim küpünün kenar uzunluğu $a = 4,04 \text{ Å}$ dur.

Alüminyumun özgül ağırlığı katı halde 2.7 gr /cm^3 , sıvı halde (700 °C) 2.37 gr /cm^3 dür. Ergime sıcaklığı 660 °C ve kaynama sıcaklığı 2500 °C dir. Çizelge 2.1’de alüminyumun temel özellikleri diğer metaller ile karşılaştırılmıştır.

Çizelge 2.1 Özgül Ağırlıkça Metallerin Kıyaslanması (gr/cm^3)

Özellikler	Al	Cu	Fe	Zn	Mg
Özgül ağırlık	2,70	8,94	7,87	7,1	1,74
Elektrik direnci ($\text{ohm.mm}^2/\text{m}$)x 10^2	2,66	1,68	9,8	6.0	4,46
Isı iletkenliği ($\text{cal/cm}^2/\text{cmx}^\circ\text{Cxsaniye}$)	0.52	0.92	0.19	0.27	0.37
Isıl genleşme katsayısı ($\text{mm/mm}^\circ\text{C}$)x 10^{-6}	24.0	16,7	11,9	33.0	25,7
Ergime sıcaklığı ($^\circ\text{C}$)	660	1083	1535	420	651
Yanma ısısı (Kcal/kg)	6970	-	1600	1270	6000
Yansıtma = 0.6 (%)	90	70	58	70	73
Uzama (%)	43	50	48	-	-
Sertlik (BHN)	19	25	70	-	-

2.2 Alüminyumun fiziko-kimyasal özellikleri

Yoğunluk

Hem sıvı hem katı alüminyumun artan safiyet derecesi ile orantılı olarak yoğunluğu düşer.

Çizelge2.2 Alüminyumun kompozisyona göre yoğunluk değişimi

Al %	99,25	99,4	99,75
Yoğunluk (g /cm ³)	2,727	2,706	2,703

Çizelge 2.3 Alüminyumun sıcaklığa göre yoğunluk değişimi

Sıcaklık (°C)	Yoğunluk (g/cm ³)
658	2,38
700	2,37
800	2,34
900	2,31
950	2,3
1000	2,28
1100	2,26

Ergime sıcaklığı

Alüminyumun ergime noktası Tabloda görüldüğü gibi artan Al saflığı ile yükselir.

Çizelge 2.4 Alüminyumun saflıkla değişen ergime sıcaklıkları

Al , %	Sıcaklık , °C
99,2	657
99,5	658
99,6	658
99,97	659
99,99	660

Çizelge 2.5 Alüminyumun saflıkla değişen ısı iletkenliği

Al, %	Isı iletkenliği Cal/cm.s.°C
99,48 (2000C)	0,5
99,70 (2000C)	0,53
99,90 (2000C)	0,82

Isı iletkenliği

Alüminyumun ısı iletkenliği artan safiyet derecesi ile orantılı olarak büyür.

Elektrik iletkenliği

Alüminyumun iletkenliği yükselen safiyet ile artar. Elektrik iletkenliği sadece kimyasal bileşime bağlı değildir, ısı işlem durumu ve Fe:Si oranı ile de bağlantılıdır.

2.3 Alüminyum Alaşımları

Alüminyum işlem alaşımları için dünyada en yaygın olarak kullanılan simgeleme Amerikan Standartlar Birliği (ASA) tarafından belirlenmiştir. Bu sistem en yalın şekli ile dört rakamdan oluşur. Alüminyum işlem alaşımları Çizelge 2.6 gösterilmiştir.

Çizelge 2.6 Alüminyumun alaşımları tablosu

Simge	Temel alaşım elementi	Yapısı
1xxx	Saf alüminyum	Tek fazlı
2xxx	Bakır	İki fazlı
3xxx	Mangan	Tek fazlı
4xxx	Silis	İki fazlı
5xxx	Magnezyum	Tek fazlı
6xxx	Mg-Si	İki fazlı
7xxx	Çinko-Magnezyum	İki fazlı
8xxx	Demir-Silis	
9xxx	Kullanılmayan dizi	

ALÜMİNYUM ÜRETİMİNDE KULLANILAN SÜREKLİ DÖKÜM TEKNİKLERİ

Alüminyum yassı mamül üretiminde endüstride yaygın olarak doğrudan soğutma (Direct chill casting), bant (belt) ve ikiz merdane döküm yöntemleri kullanılmaktadır. İkiz merdane döküm tekniği ve bant döküm sürekli döküm tekniği olarak bilinmekte , doğrudan soğutma yöntemi ise yarı sürekli döküm tekniği olarak adlandırılmaktadır.

- Doğrudan Soğutma Döküm Teknolojisi
- Bant Döküm Teknolojisi
- İkiz Merdane Döküm Teknolojisi

3.1 Doğrudan Soğutma Döküm Teknolojisi

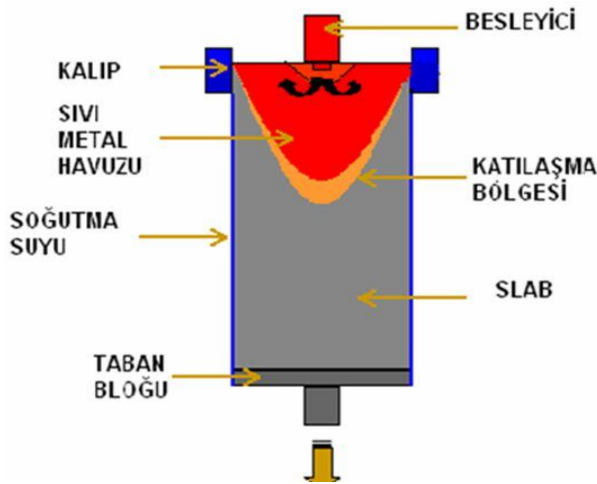
Doğrudan soğutma döküm teknolojisi 1930'lu yıllarda, yassı ürün üretimi için geliştirilmiş bir yöntemdir. Bu yöntem tek başına bir yassı ürün döküm yöntemi olmayıp ardından gelen sıcak haddeleme prosesi ile birlikte kabul edilmelidir. Bu nedenle çoğu zaman bu teknik yarı sürekli döküm tekniği olarakta adlandırılmaktadır.

Bu teknikte alaşımlandırılıp döküme hazırlanmış ergiyik metalin su ile doğrudan soğutulan kalıplara dökülüp katılaştırılması ile sağlanır. Proseste yüksek sıcaklıklara ısıtılmış sıvı metal refrakter kaplı dolu bir kalıbın içine akıtılır. Bu kalıbın ön kısmına açık

kenarlı bir kalıp eklenmiştir. Bu kalıp soğutma suyu ile soğutulmakta böylece kalıp ile temas eden sıvı metal soğuyarak, kalıbın şeklinde ince kabuk oluşturur.

Bu teknolojiye kullanılan döküm kalıpları metal malzemedan yapılmış olup tekrar kullanılabilirler. Yassı ürün üretimi için kullanılan söz konusu kalıplar genelde dikdörtgen kesitlidir. Dikdörtgen kesitli dökülen alaşımlar daha sonra değişik aşamalardan geçirilerek levha ve folyo ürünlerinin üretimi sağlanır. Şekil 3.1 ve 3.2' de dikey doğrudan soğutma teknolojisi şematik olarak gösterilmiştir.

Proses Adımları : Ergitme Fırını, Tutma Fırını, Döküm Makinası, Slab Bıçağı, Frezeleme, Isıtma-Homojenizasyon Fırını, Sıcak Hadde



Şekil 3.1 Doğrudan Soğutma Teknolojisi

Şekil 3.2 Doğrudan Soğutma ile Üretim

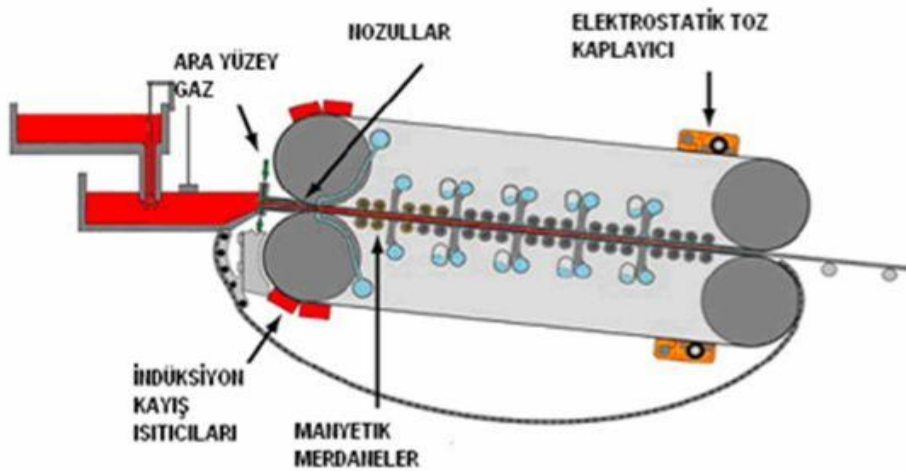
3.2 Bant Döküm

İlk ticari bant döküm teknolojisini ihtiva eden döküm makinası C.W. Hazelett tarafından 1929 yılında tasarlanmış ve işletilir hale getirilmiştir. Bu tasarımla birlikte döküm hattına bağlı zımbalama makinası ile otomobil aküleri için kurşun ızgaralar üretilmiştir. Hazelett ikiz bant döküm makinası alüminyum, bakır, çinko ve kurşun üreticileri tarafından kullanılmaktadır.

Günümüzde, bu döküm teknolojisi Hazelett ve Novelis ticari adları kullanılarak iki değişik tasarımda üretilmektedir.

Bu yöntemde, ergitilmiş sıvı metal yolluklar vasıtasıyla döküm makinesine transfer edilerek bir tandış veya nozül denilen bir kalıptan geçerek Şekil-3.3' deki döküm makinasına ulaşır. Kalıptan geçen sıvı metal su ile soğutulan ve sürekli olarak dönen karbon-çelik kayışların arasına girerek burada katılaşır ve yassı mamül levha şeklinde makineyi terk eder.

Proses Adımları: Ergitme Fırını, Tutma Fırını, Döküm Makinası, Sıcak Hadde

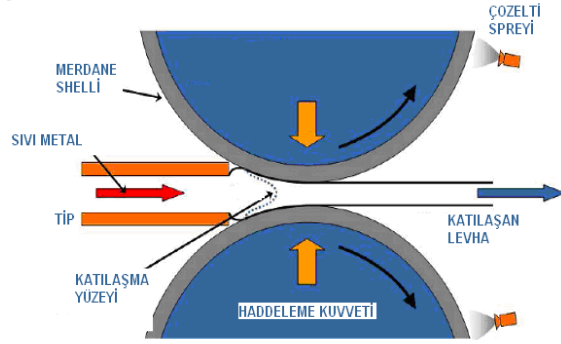


Şekil 3.3 Bant Döküm Teknolojisi

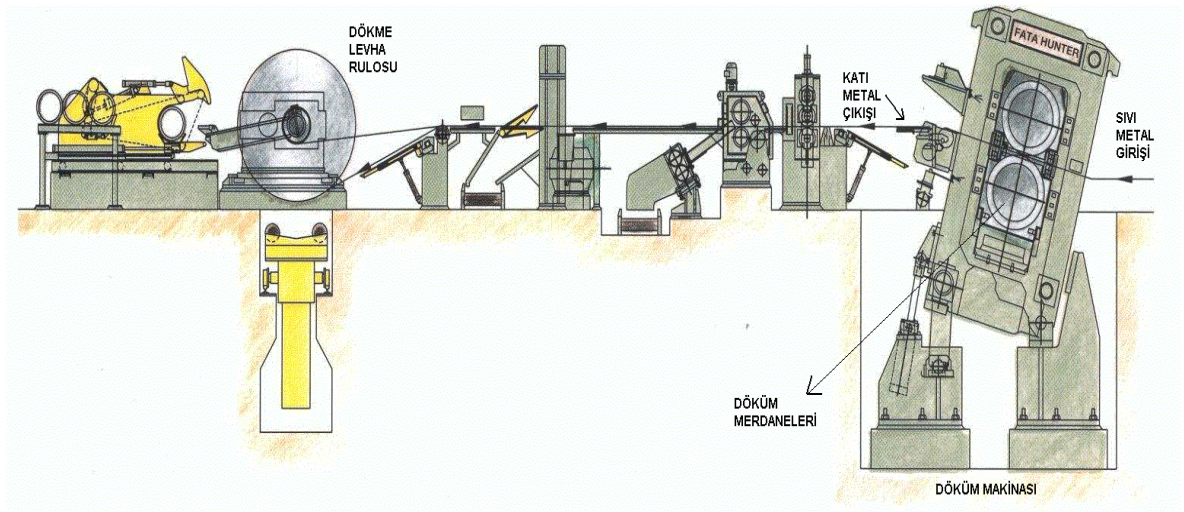
3.3 İkiz Merdane Döküm (Twin roll casting)

Bu döküm teknolojisinde, ergitme fırınında ergitilip alaşımlandırılan sıvı metal, tutma fırınına transfer edildikten sonra döküm makinesine yolluklar vasıtasıyla ulaşır. Tutma fırınından çıkan metal öncelikle besleme seviyesinin ayarının yapıldığı baş kutu olarak tabir edilen dikdörtgensel tasarıma sahip hazneye gelir. Sıvı metal buradan su ile soğutulan ve birbirine göre ters yönde dönen döküm merdanelerinin arasına özel bir seramik kalıptan (seramik tip) geçirilerek ulaşır. İkiz merdane arasındaki boşluğa akan sıvı metal merdanelere temas ederek katılaşır. Katılaşan metal levha şeklinde döküm makinesini terk eder. Ergimiş metalin merdane ile teması esnasında oluşacak yapışmayı engellemek için merdane yüzeylerine devamlı olarak grafit ajanı püskürtülür.

Proses Adımları: Ergitme Fırını, Tutma Fırını, Döküm Makinası,



Şekil 3.4 İkiz merdane Teknolojisinde merdane ile seramik tipin yerleşimi



Şekil 3.5 İkiz merdane Teknolojisi döküm hattı şeması

İkiz merdane döküm tekniği diğer döküm yöntemlerine göre sahip olduğu avantajlar nedeniyle günümüzde popüler hale gelmiştir. Bu döküm yönteminin makineleri Fata Hunter ve Pechiney (şimdiki ismi ile Novelis) firmalarıdır.

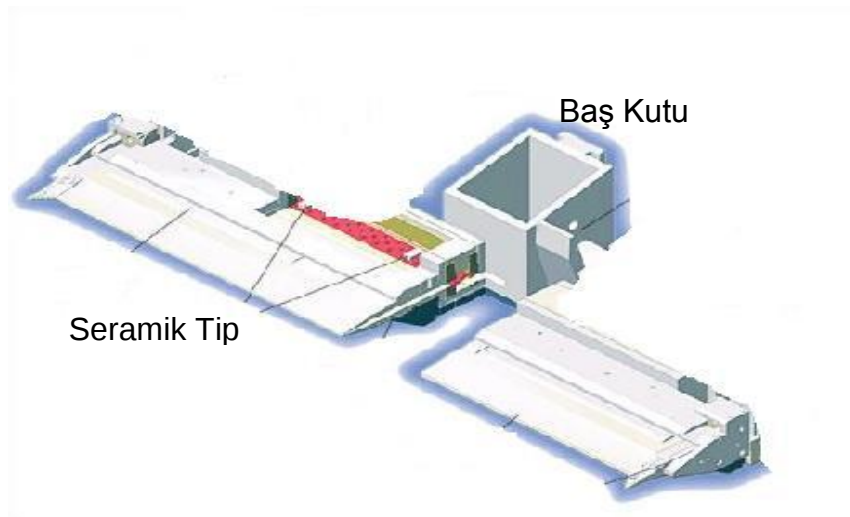
Bu döküm yönteminde üretilen levhanın kalınlıkları 2 ile 6 mm arasında değişmekte olup, genişliği ise 2400 mm'ye kadar çıkabilmektedir. Döküm makinasından çıkan yassı mamül ürün dökme rulo olup ağırlıkları 12 tona kadar çıkmaktadır. Dökülebilen alaşımlar ise 1xxx, 3xxx, 5xxx, 7xxx, 8xxx serisi alaşımlardır.

Alüminyum levha ve folyo üretiminde geleneksel yöntem su soğutmalı kalıplara ergimiş alüminyumun doğrudan dökülüp katılması sağlandıktan sonra sıcak haddelenmesidir. Bu yöneme alternatif olarak üretkenliğin artırılması ve maliyetin düşürülmesi amacıyla sürekli döküm metodları olarak anılan ve geniş bir aileden oluşan yeni

alternatif üretim yöntemleri geliştirilmiştir. Doğrudan soğutmalı döküm, frezeleme, ön ısıtma, sıcak haddeleme ve soğuk haddeleme rotasını takip etmektedir. Son 30-40 yılda ise ilk yatırım maliyeti oldukça düşük, soğuk haddelemeye kadar olan adımlara gerek duymayan, döküm ve soğuk haddelemeyle nihai ürün kalınlığına inerek daha düşük üretim maliyeti sunan ikiz merdane döküm tekniği gelişmeye başladı.

Sürekli döküm yöntemi kalitedeki gelişme üretim maliyetlerindeki düşüş ve enerji kazanımı ile büyük ölçüde önem kazanmaktadır. Sürekli döküm yönteminin bir diğer önemli avantajlardan biride büyük çaplı bobinlerin üretilmesi ile bir sonraki operasyon olan soğuk haddelemede proses zamanının ve haddelemenin azalması ile haddeleme verimliliğinin artmasına imkan sağlamaktadır

Bazı önemli detaylardaki farklılıkla birlikte ticari ikiz merdane döküm makinalarının dizayn ve operasyon ana prensipleri aynıdır. Sürekli döküm hattının ana bileşenleri Şekil.3.7 ve Şekil.3.8’ de verilmektedir. Sabit bir sıcaklık ve bileşimdeki sıvı alüminyum döküm makinasının baş kutusuna (tandisine) girmeden önce çözünmüş hidrojen gazından arındırıldığı üniteden geçer ve daha sonra seramik poröz bir filtreyle inklüzyonlarından temizlenir. Baş kutu sıvı metalin merdaneler arasına düzlemsel olarak yayılıp akmasını sağlayan “tip” (nozül) ile bağlantılıdır.



Şekil 3.6 İkiz merdane Teknolojisinde kullanılan seramik tip ve baş kutu



Şekil 3.7 Assan Alüminyum 5.Döküm Hattında kullanılan seramik tip ve baş kutu

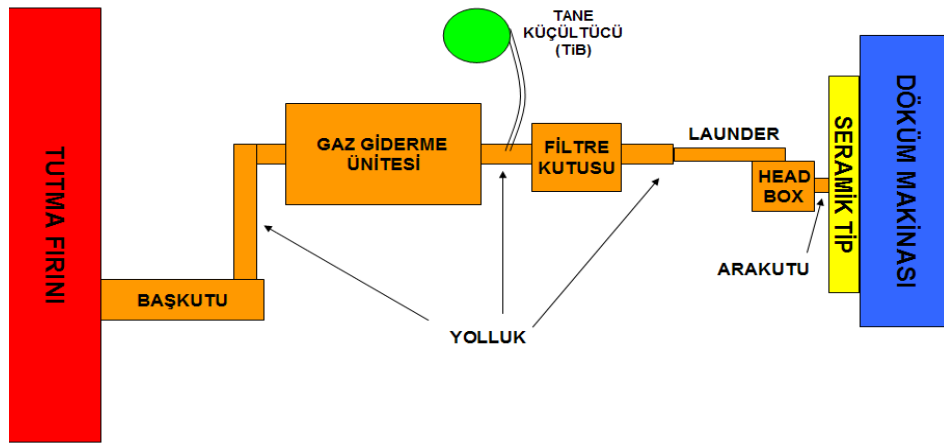


Şekil 3.8 Assan Alüminyum 5.Döküm hattında kullanılan merdane çiftleri

Döküm merdaneleri içten su ile soğutulurlar. Döküm merdanelerinin yüzeyi döküm esnasındaki yüklere karşı çatlamalara dayanıklı “shell” denilen silindirik bir çelik malzemeyle kaplıdır. İki merdane arasındaki mesafe hidrolik olarak sabit tutulur. Tip merdanelerin merkez hattının biraz gerisinde bulunur ve böylelikle döküm makinası

merdaneleri bu proste sıvı metali katılaştırıp sıcak haddeler. Tipin çıkışından merdanelerin merkez hattına kadar olan mesafeye “set back” denilir. Katılaştırmanın ve sıcak haddelemenin kombinasyonu merdaneleri birbirinden uzaklaştırmaya çalışan ayırma kuvvetini ortaya çıkarır. Merdane yüzeyleri döküm esnasında sıvı metalin yapışmasını engelleyen su-grafit süspansiyonuyla spreyleme yoluyla sürekli olarak kaplanır. Döküm makinasından çıkan ince dökme levha hattın sonunda rulo şeklinde sarılır.

TUTMA FIRINI-DÖKÜM MAKİNA



Şekil 3.9 İkiz merdane Teknolojisinde Döküm makinası ile Tutma Fırını arasındaki proses şeması



Şekil 3.10 Assan Alüminyum' un 5.Döküm Hattındaki Döküm makinası

ALÜMİNYUMUN SÜREKLİ DÖKÜMÜNDE KARŞILAŞILAN PROBLEMLER

Alüminyum ve alaşımları değişik yollar ile ergitilmektedir. Çekirdeksiz ve kanal indüksiyon fırınları, potalar ve reverber tipi fırınlarında doğal gazla, benzin, mazot ve elektrik enerjisi kullanılarak ergitme işlemi yapılabilir. Alüminyum ve alüminyum alaşımları temel olarak sıvı metal hazırlama sürecinde ergiyik içerisinde bulunan safsızlıklar temizlenerek döküme hazırlanır.

Optimum ergitme şartları altında ve tutma koşullarında dahi ergimiş alüminyum içindeki hidrojen miktarı ve oksitlenme artar, geçiş elementleri düşük buhar basınçları ve yüksek reaktivitelerinden dolayı azalır. Döküm yapılmadan önce değişik aşamalarda fiziksel ve kimyasal işlemler uygulanarak sıvı metal içerisinde bulunan safsızlıkların giderilmesi sağlanır. Sıvı alüminyumda bulunan safsızlıklar genel olarak hidrojen, inklüzyon ve alkali metaller olarak sıralanabilir. Bunlara ilave olarak yapışma, metal beslememe, kenar eğrilik, ripple enine çizgiler, sıcak delik, kaba tane yapısı, bant şeklinde tane yapısı (E bandı), döküm çizgileri, merdane çatlağı izleri, gaz boşluğu döküm kusurlarının belli başlılarıdır.

4.1 inklüzyon

Sıvı alüminyumda katı halde bulunan metalik olmayan partiküllerdir. Haddelenmiş veya

derin çekilmiş malzemelerde mekanik hatalara yolaçabilirler. Dökümde filitreleme işlemi ile giderilir.

4.2 Alkali metalller

Sıvı alüminyumda çözünmüş veya ayrıışmış sıvı olarak bulunurlar. Haddelenmiş üründe kenar çatlama olayının ana nedenlerinden biridir. Na, Mg, Ca, Li gibi toprak alkaliler primer metalden gelir, flakslamadan sonra çözülmemiş tuzlar olarak giderilirler.

4.3 Diğer Metaller

Alaşımama amacıyla ilave edilen metaller de kazandırılmak istenilen özellikleri olumsuz yönde etkileyebilirler. Fe , Si , Ti , Zn , V , Ga hammaddeden gelir.

4.4 Gaz boşluğu

Levha içerisinde gaz kalması sonucu yüzeyde ve yüzeyin hemen altında veya gözle görülemeyecek şekilde iç kısımda oluşan bir problemdir. Bazen bant halinde, bazen de küçük kabarcıklar halinde kendini gösterir. Levha yüzeyi sürekli gözlenerek hata tespit edilir. Gaz giderme işleminin etkili bir şekilde yapılması gaz boşluğu oluşmasını büyük oranda ortadan kaldırır.

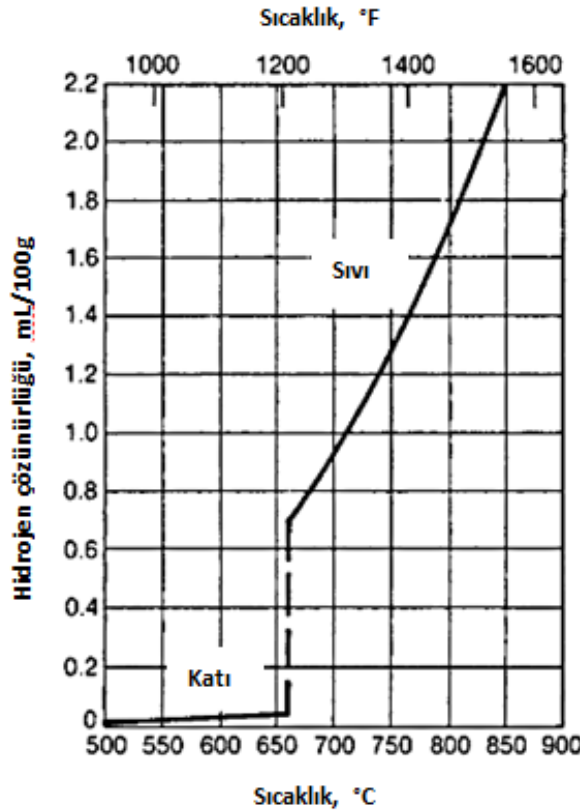
4.5 Sıvı Metal İçerisinde Bulunan Hidrojen ve Hidrojen Kaynakları:

Hidrojen, alüminyum ve alüminyum alaşımları içerisinde yüksek çözünürlüğü olan tek gazdır. [Çözünürlük; şekerin su içerisinde karıştırıldığında çözünmesi ile tasvir edilebilir]. Çözünürlük sıcaklıkla ve basıncın kara kökü ile doğru orantılıdır.

Şekil - 4.1' de hidrojenin alüminyum içerisindeki çözünürlüğünün sıcaklıkla değişimi gösterilmiştir. Hidrojenin çözünürlüğü sıvı alüminyum içerisinde 0.7 ml/100g Al iken katı hale geçildiğinde bu değer 0.02 ml/100g Al dır. Katılaşma sırasında sıvı metal içerisinde çözünmüş halde bulunan hidrojen katı tarafından red edilir. Reddedilen bu hidrojen daha sonra gaz haline dönüşerek katı alüminyumun içerisinde istenmeyen gaz boşluklarının oluşmasına yol açar

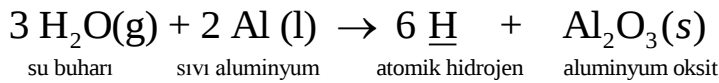
Hidrojen sıvı metal içerisine çok çeşitli yollardan girebilir. Çok küçük bir kısmı atmosferde serbest halde bulunan hidrojenden, büyük bir çoğunluğu ise su buharının

sıvı metal yüzeyinde parçalanması sonucunda açığa çıkan hidrojen den ya da sıvı metale ilave edilen her türlü katkı maddesinde (şarj) bulunan nemden, potadan ya da kullanılan diğer araçlardan girebilir. Eğer metal akışı ya da karıştırılması (özellikle SNIF sistemi içerisinde) çalkantılı/dalgalı bir şekilde yapılırsa, bu çalkantılardan dolayı sıvı metal içerisine hapsedilen hava hidrojenin oluşmasına sebep olacaktır.



Şekil - 4.1 Hidrojenin alüminyum içerisindeki çözünürlüğünün sıcaklık ile değişimi.

Oldukça reaktif olan ve sıvı metal tarafından hızlı bir şekilde absorbe edilen atomik hidrojen su buharının sıvı alüminyum ile tepkimesinden ortaya çıkar.



Bu reaksiyonun standart serbest enerji değişimi, sıvı alüminyumla temas halinde olan tüm su buharının hidrojen gazına dönüşmesine izin verecek kadar yüksektir. Bir yandan hidrojen gazı oluşurken diğer yandan da alüminyumun oksitlendiği görülmektedir. Su buharı, alüminyumun ergitilmesinde kullanılan şarj malzemesi ve maddelerinden, fırın

astarından ve atmosferden, sıvı alüminyumun transferinde kullanılan yolluk sistemleri ve bu sırada temas ettiği ortamdan gelebilir. Alüminyumla reaksiyona giren su buharı hidrojen gazını oluştururken, bu hidrojen gazı da sıvı alüminyumda ;

- $H_2 \rightarrow 2H \rightarrow H$: atomik hidrojen reaksiyonu ile önemli seviyelerde çözünür.
- Hidrojenin, sıvı-katı dönüşümünü içine alan geniş bir sıcaklık aralığında alüminyum metalindeki çözünürlüğü sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir. Çözünebilir hidrojen konsantrasyonu sıcaklık ile eksponansiyel bir şekilde artmaktadır.

Sıcaklıktaki her 100°C 'lik artış alüminyumun çözünmüş hidrojen içeriğinin iki katına çıkmasına neden olmaktadır.

Yukarıda bahsedilen yollardan sıvı alüminyum içerisine giren hidrojen uygun yöntemler kullanılarak uzaklaştırılabilir

4.5.1 Hidrojenden korunma yöntemleri

- Islak ve nemli malzemelerin fırına şarj edilmesinin önüne geçilmesi ilk adımdır. Şarj edilecek malzemeler özellikle yağmurlu ve karlı havalarda veya stok alanında uzun süre beklemiş ise, şarj edilmeden önce nem uzaklaştırmak için kurumaları sağlanmalıdır,
- Hurda şarjı yapılacak malzemelerin yağlı, boyalı, kirli olmamasına öncelikle bakılmalıdır,
- Şarj edilecek fırınların içerisine kağıt, tahta gibi yanıcı maddelerin atılması engellenmelidir,
- Fırın kapakları periyodik karıştırma, gaz giderme, cüruf çekme, alaşım elementi ilavesi, şarj işlemleri dışında açılmamalıdır,
- Sıvı metalin her türlü transferi sırasında oluşabilecek türbülans engellenmelidir.

Sıvı metal sıcaklıklarının aşırı dercede yükseltilmemeli, sıvı metal sıcaklığı 780°C'nin üstüne çıktığında hidrojen girişi logaritmik olarak hızlanmaktadır.

ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ SÜREKLİ DÖKÜMÜNDE KULLANILAN GAZ GİDERME YÖNTEMLERİ

Alüminyum ve alaşımlarında çözülebilen tek gaz hidrojendir. Sıcaklık 680 °C 'nin üzerinde olduğunda çözünürlük ani bir şekilde yükselir. Hidrojenin katı alüminyumdaki çözünürlüğü çok düşük olduğundan katılaşma sırasında yeniden gaz haline geçmeye başlar ve yapı içerisinde porozite oluşumuna sebep olur. İlk katılaşmada gaz haline geçemediğinde ise müteakip olarak yapılacak ısıtma proseslerinde malzemeye zarar verecektir. Özellikle yüzeye yakın olan yerlerdeki hidrojen gelişmesi çatlama ve kabarmalar şeklinde kendini gösterecektir.

Ergimiş durumdaki alüminyum alaşımları kolayca gaz absorbe ederler. Metal banyosunun temas halinde olduğu gazlardan oksijen ve su buharı, alüminyum oksitleri oluştururken, CO, CO₂ ve SO₂ gibi gazlar ise alüminyum ile reaksiyona girerek hem oksitlerin hem de diğer katı oluşumların metal bünyesinde zenginleşmesine neden olurlar.

Hidrojen sıvı alüminyum içerisinde homojen dağılım gösterir. Dolayısı ile yapılacak ölçümler tüm metalin hidrojen durumunu rahatlıkla yansıtır. Alüminyum dökümünde

müsade edilen hidrojen miktarı 0.2 cc/100 gr (0.2 ppm) dır. Folyo üretimi yapan tesislerde hidrojen konsantrasyonu max 0.15 ppm seviyesine kadar olması tercih edilir.

Alüminyum alaşım döküm aşamalarındaki bazı işlemler ve olaylar gaz problemlerine neden olur. Bu nedenle gazların önlenmesi ve giderilmesi için yapılan çalışmalara tek bir aşamada değil birçok aşamada yapılmaktadır. Genellikle bu işlemler, ergitmeden önce, ergitme sırasında, dökümden hemen önce ve döküm sırasında yapılır. Ayrıca, modeller, kalıplar, maçalar ve parça dizaynı ile ilgili çalışmalarda gaz problemlerini belli miktarlarda önlemektedir.

Alüminyumdan gaz gidermek için birkaç yöntem mevcut bulunmaktadır. En basit yöntem; metalin daha düşük sıcaklıklarda belli bir zaman boyunca bekletilerek, hidrojen çözünürlüğünün daha düşük olduğu bu sıcaklıkta doğal olarak gaz gidermenin sağlanmasıdır. Döküm koşullarının da, katılaşma esnasında hidrojenin kendiliğinden eriyikten dışarı edilmesini sağlayacak tarzdan olması, arzu edilen bir durumdur. Fakat ne var ki, bu sayılanların hiçbirini sürekli olarak yapmak mümkün değildir.

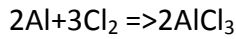
Temkinli bir gaz giderme yaparak başarıya ulaşabilmek için şu yollar kullanılabilir;

- Gaz tasfiyesi veya gaz fışkırtılmasıyla
- Tablet eritken kullanımıyla
- Mekanik karıştırıcıyla

Hidrojen ergiyik alüminyumda, ergiyik bakırdakinden çok daha az erimesine rağmen çok daha fazla gaz boşlukları meydana getirmektedir. Bunun sebebi, hidrojenin büyük bir kısmının katılaşma noktasında serbest kalmasıdır. Mevcut hidrojen metal katılaşmadan önce, metalden alınmazsa toplu iğne başı şeklindeki yaygın gaz boşlukları meydana gelir. Oksijenle ilgisinin fazla olması ve oldukça sağlam bir oksidasyon zarının meydana gelmesi sebebiyle, metalin hidrojen kapmasını önlemek için alüminyum alaşımlarında oksidasyon flaksları kullanılmaz. Bu sebeptendir ki, ergiyik metali cüruftan ayıran, özel bir şekilde gaz alma ve giderme usulüyle, erimiş hidrojeni de gideren “koruyucu flaks altında ergitme usulü” tatbik edilmektedir. Bu husus, azot veya klor gazıyla veya ergiyik metaldeki uçucu ergimiş organik bileşimlerden meydana gelen

klorla temin edilir. Bu sebeble, ergiyik metal içine organik klor bileşikleri daldırılır. Bu şekilde yaratılan klor gazı arzu edilmeyen diğer gazları da kovalayarak ergiyik metalden dışarıya atar.

Ergiyik metalden “azot ve klor gazının geçirilmesi” suretiyle arzu edilmeyen gazların temizlenmesinin bazı mahsurları vardır. Bu da bu işlemin yapılmasında bazı alet, boru ve ısıya dayanıklı malzeme ihtiyacını ortaya çıkarır. Bundan başka azotun bir miktar rutubet meydana getirmesi ihtimalleri de vardır. Klor gazı da hem zehirli hem de korozyon meydana getirici bir elemandır. Klor veya organik klor bileşenleri kullanılıncaya aktif gaz alma maddesi alüminyum klorürdür. Bu madde alüminyumun ergiyik vaziyetteki sıcaklık derecesinde gaz halindedir.



Bu usulde alüminyum gaz şeklindeki klorür olarak, kaçıp gider ve alüminyum kaybına sebebiyet verir. Klor gazı yerine uçucu organik klorür bileşimleri kullanılacak olursa alüminyum kaybını önlemiş olacaktır. Organik gaz alıcı maddelerin verimli olmaları nedeniyle 3 ila 4 kilo organik gaz alıcı 6 ila 8 kiloluk klor gazının gaz alma tesirini yapar. Ayrıca gaz giderme süresi organik gaz alıcı maddelerde çok daha kısadır. Giderilmesi istenen gazları sürüklemek üzere ergiyik metalin bir boru yardımıyla sevkinde meydana gelen gaz kabarcıkları büyük olduğundan, bu işlemin “gaz haline gelen tabletler” yardımıyla temini daha verimli ve iyi sonuç verir. (Özdemir,1980)

5.1 Metal Rafinasyonu

Alüminyum curufları (dross), metalik alüminyum ve oksit filmiyle kaplanmış alüminyumun yanında diğer bazı halojenler, nitridler, karbidler gibi bileşikler içeren bir karışımdır. Curuf daima sonuçta parçalanmış gaz habbecikleri içerir ve metal yüzeyinden sıyrılarak alınır. İşletmedeki curufun % 30-40 metal, % 3 AlN, geri kalanının Al_2O_3 ’ den oluştuğu söylenebilir.

Flaks’ın amacı sıvı metal içindeki curuf fazına geçemeyen elementleri curuf fazına çekmektir. Ayrıca flaks, curuf ile egzotermik reaksiyon yaparak oksitlenmiş haldeki alüminyumun bir kısmını geri kazandırır. Flakslar sıvı metal içine enjekte edilerek uygulanır. Sistem, bir lance yardımıyla fırının tabanından flux ve inert gaz verilmesine

dayanmaktadır. Gaz genellikle azot olup flaksın banyo içinde dağılmasını ve gaz gidermeyi gerçekleştirmesinde kullanılır. Havadan veya çevreden hammaddelere karışan rutubetten ötürü sıvı metalde H_2 gazı oluşmaktadır. Hidrojen, üretim sürecinde duruşlara ve verim düşüklüğüne yol açtığı için istenmez. Levha yapısına oldukça düzgün dağılan bu boşlukların, özellikle hidrojen gaz basıncı yüksek olanlarını haddeleme işlemi ile gidermek olanaksızdır. Haddeleme sırasında gaz boşlukları haddeleme yönünde uzar fakat kapanmaz ve levhanın mekanik özelliklerini olumsuz etkiler. N_2 gazı, H_2 habbeciklerini banyo yüzeyine taşır. Bu işleme gaz giderme (banyo yıkaması) denir. N_2 gazı ayrıca; şekil, boyut ve yoğunluk gibi sebeplerden banyo yüzeyine çıkıp curuf oluşturamayan inklüzyonun yüzeye taşınması işlemini de gerçekleştirir.

5.2 Ergitme Öncesinde ve Ergitme Sırasında Alınan Önlemler

Gazlı akımlar (azot, helyum, argon, klorür) ergiyiklerin hidrojenini temizlemek için kullanılır. Bu gazlar ergiyik içinde kabarcıklaşır, hidrojen de bu kabarcıklara difuze olur. Neticede yüzeye çıkarak ergiyik metalden ayrılırlar. Diğer taraftan hegzaklorür alüminyum klorür, susuz magnezyum klorür de aynı amaçla kullanılır. Magnezyum klorür reaksiyonu kuvvetli ekzotermik olduğundan, fazla ısınmayı önleyici tedbirler alınmalıdır. Klor gazı $700 - 770 ^\circ C$ de sıvı alaşımdan geçirilir. Bunun neticesinde $AlCl_3$ teşekkül eder.

Yukarıda sayılan gazlardan başka bor- klorür, fosfor –pentaklorür ve bilhassa titantetraklorür gibi maddelerde geçirilir. Aynı amaçla alkali klorat gibi oksitleyici maddeler ihtiva eden toz kullanarak alaşımdaki gazlar giderilebilir.

Oksitleyici olmayan tozlarda karıştırılarak ergimiş metalin gazlarını çıkarmak mümkündür.

Ergitme sırasında gaz girmesini önlemek için:

- a) Ergime süresi uzatılmalı,
- b) Döküm esnasında alaşımlar az boşaltılmalı, banyo karıştırılırken hava girmesi önlenmeli, pota sarsılmamalıdır,
- c) Yakıtın sıvı alaşım ile doğrudan doğruya temasından kaçınılmalı,

- d) Yakıtta ve şarjda rutubet olmamalıdır,
- e) Fırınları , potaları iyi kurutmalı,
- f) Metalle temasta bulunan gazlı ve kok cürufleştiriciler kullanılmalı,
- g) Nemden ayrılmış gazlı ve kok cürufleştiriciler kullanılmalı,
- h) Banyoda türbülans olmamalıdır.
- i) Yağlı hurdaların yağları ön ısıtma ile yakılmalıdır,
- j) Alüminyum sıvı halde gereğinden fazla bekletilmemelidir,
- k) Flakslama için gerekli olanın dışında cüruf çekme bir kez yapılmamalıdır,
- l) Ergiyik yüzeyi altına hidrojen oluşturan gazların girişi önlenmelidir,

Porozitenin büyüklüğü ve dağılışı şunlara bağlıdır:

- a) Alaşım katılaşma derecesine,
- b) Katılaşma hızına,
- c) Ergiyikteki hidrojen konsantrasyonuna,
- d) Metal besleme sistemine bağlıdır.

5.3 Flakslama ile Gaz Giderme

5.3.1 Katı Flakslar

Katı flakslar daha çok açık kalp tipi reverber fırınlarda ergiyik yüzeyini battaniyeleme fonksiyonunu yerine getirmeleri amacıyla kullanılırlar. Flaks ilave edilmeden önce şarj ergitilir ve $675 - 760^{\circ}\text{C}$ sıcaklığa ulaştırılır. Ancak hurda ergimesi veya magnezyum ihtiva eden alaşımların ergitilmesinde şarj fırına yüklendikten sonra ergitme sürecinde koruma sağlanması amacıyla flaks yüzeye serpilir.

Gerekli flaks miktarı flaksın ergiyik ile yaptığı reaksiyona bakılarak tayin edilir. Dros içerisine flaksın karıştırılması ile dros tozumsu veya granüler hale gelmeli ve sıyrılması kolay olmalıdır. Flaks ilavesi, dros yukarıda izah edilen şekle dönüşüncüye kadar devam etmelidir. Uygun bir katı flaks tarafından yüzeyde oluşturulan dros uygun (gözenekli) bir gelberi ile çekilir.

Susuz alüminyum klorür veya susuz hegzakloreten gazları oluşturan katı flakslar ergiyiğe banyonun tabanında ters kapatılmış ve delikli bir kap vasıtasıyla ilave edilir. Bu tip flaksların buharlaşmaları gaz flakslara benzer şekilde işlev görmelerini sağlar. Flaksların banyoya ilavelerinden önce kuru olmaları için gerekli önlemler alınmalıdır. Çünkü bu maddeler aşırı derecede higroskopiktir ve havadan nem kaparlar, ergiyikten gaz uzaklaştırma yerine gaz emilmesine neden olabilirler. Flakslama işlemi 730⁰C civarında daha başarılı olur.

Gaz giderme flaksları ergiyikten hidrojen ve inklüzyonu almak amacı ile kullanılmaktadır (Cochran, 1992). Flakslama ile gaz giderme işleminde, flaks bileşiminde mevcut bulunan metal klorürler ve florürler ergimiş metalin inklüzyon ve gaz giderme yani rafinasyon işlemini yaparlar (Yıldırım, 1997).

Sıvı metalde çözünmüş halde bulunan hidrojen rafinasyon flaksları yardımı ile alınabilmektedir. Tüm flakslardan istendiği gibi bu flaksların da ergime derecesinin düşük olması istenir. Birçok flaks bileşiminde KCl ve NaCl mevcuttur. Bu iki tuz %44 ve %56 bileşiminde ötektik oluşturduğundan karışımın ergime dercesi hayli düşük olacaktır. Bileşimde genel olarak alkali klorürler bulunmaktadır. Bu bileşikler flaksın ergime derecesini düşürürler. Aşağıdaki tabloda en çok kullanılan rafinasyon flakslarında birisinin bileşimine örnekler verilmiştir.

Çizelge 5.1 Flaks Bileşimindeki Tuz Oranları

KCl	%45
NaCl	%45
AlF ₃ , 3 NaF	%10

Rafinasyon flaksları ergiyiğe bir besleyici yardımı ile verildiğinde gaz gidermenin verimliliği son derece artmaktadır. (Cochran 1992). Besleyici ile verilirken flaks toz formundadır. Taşıyıcı gaz gaz olarak inert gaz kullanılmaktadır.

Enjeksiyon yönetimi ile flaksın ergiyikle teması hızlandırılır, temas yüzeyi artırılır. Toz formunda beslenen flaksın etkinliği dikkate değer şekilde artmaktadır (Crepeau,1992).

Ancak flaksla temizle hiç bir zaman gazla temizleme işlemi kadar etkin olmayacaktır. Çünkü gaz etkin ve hızlı temizleme yapar ve gazla tüm ergiyiğin süpürülerek hidrojeninden arındırılması mümkündür.

Flakslar, yapışkan ve viskoz fırın cürufları, kum, toprak, yakıt külleri ve metal oksitlerle birleşebilen ve bunları kolayca akabilen cüruf şeklinde dönüştürülerek banyo yüzeyine çıkaran ve takiben kolayca sıyrılabilen bir karakter kazandıran düşük ergime noktalı malzemelerdir. Başka bir deyimle flakslar örtüleme , cüruf yapma, yıkama, deoksidasyon, gaz giderme ve rafinasyon amacıyla kullanılır.

5.3.1.1 Hegzakloretilen ile Gaz Giderme

Dökümhanelerde başvuru olan gaz giderme yöntemlerinden en sık kullanılanı hegzakloretilen (C_2Cl_6) tabletlerinin kullanımı olduğu düşünülmektedir. Tablet eriyik içerisine girdiğinde ayrılarak gaz halindeki $AlCl_3$ 'ü meydana getirmektedir. $AlCl_3$, bir yandan eriyik içerisinde yukarı doğru olan yükseliş hareketini devam ettirirken bir yandan da hidrojen gazlarını toplamakta ve eriyik yüzeyine ulaştırarak atmosfere serbest bırakmaktadır. Bu tabletler ayrıca tuz eritkeni de içermektedir. Tuz eritkenler, eriyik içerisindeki ıslak oksit katışımlarla ilişkili olan hidrojenlerinde arıtılmasına yardımcı olmaktadır.

Tam anlamıyla yararlı olabilmesi için, tabletlerin tamamen kuru olarak saklanması ve temiz ve kuru olan bir alet ile eiyiğin içine daldırılması gerekmektedir. Daldırma işlemi eriyiğin en dibine kadar yapılmalı ve ergiyik yüzeydeki kabarcıklardan dolayı oluşan hareketlilik durulana kadar en dipte tutulma vaziyeti korunmalıdır. Bu işlem belirtildiği şekilde yapılmazsa, daha az yoğunluğa sahip olan tablet, ergiyik yüzeyine çıkacak ve bu seviyede yüzecektir. Böyle bir durum hasıl olduğunda, az miktarda veya hiç bir şekilde gaz giderimi yapılmış olmayacaktır.

Dökümcülükte kullanılan bu tabletlerin, daha çok küçük ölçekli fırınlarda ve daha küçük kepçelerle kullanılacağı düşünülse de, bu tabletlerin herhangi bir büyüklükteki eriyiğe uygun ebatlarda bulunmakta olmasıdır. Doğru kullanıldıklarında, C_2Cl_6 oldukça verimli bir gaz giderme işlemi gerçekleştirmektedir. Ancak, özellikle uygunsuz kullanımdan kaynaklanan, nemli tabletlerin zehirli koku oluşturmaları ve daha fazla zararlı atık

oluşturması nedeniyle, çevreyle olan etkileri dökümhanelerin bu tabletleri sürekli kullanamamasına sebebiyet vermektedir.

5.3.2 Gaz Flakslar

Klorür en yaygın kullanılan gaz flaksı olup, katı ve gaz flakslar içinde en etkilisi ve ucuzudur. Azot gazı bazen kullanılır fakat gaz gidermede etkili olabilmesi için kısmi gaz basıncı düşük veya çok kuru olmalıdır. Tüplerde veya tanklarda depolanan gaz flakslar ergiyiğe, banyoya daldırılmış gözenekli refrakter seramik tüplere verilir. Bu işlemde önce tüpler ön ısıtmaya tabi tutulurlar.

İnert gaz kabarcıkları ergiyik yüzeyine doğru çıkarken hem mekanik karıştırmayı sağlar, hem de yüzeylerine banyoda çözünmüş halde bulunan gazları alarak uzaklaştırılmalarını sağlarlar. Fırın ortamındaki gazların boşaltılması için uygun donanım veya şartların sağlanması gerekir. Aksi halde gaz basıncı yüksek ortamdan banyoya gaz emişi çok hızlı bir şekilde gerçekleşerek başlangıç noktasına geri dönebilir. Burada hatırlatılmasında fayda görülen bir noktada şudur ; banyoların modülleri (modül =banyonun hacmi / banyonun atmosferle temas halindeki yüzey alanı) çok düşük olduğundan bu ortamda atmosferden gaz emişi ve oksidasyon hızı fırından kalıba metal transfer hattına göre 40 – 50 kat düşüktür. Modülleri çok düşük olan sevk hattından gerekli önlemlerin alınmaması halinde 1 dakika gibi sürelerde ergiyiğin hidrojen ve oksit içeriği aşırı derece yükselebilir. Klorürler hem mekanik karıştırmayı sağlarlar hemde absorbe edilen hidrojenle reaksiyona girerek hidrojen klorürleri oluştururlar. Gaz kabarcıklarının yüzeye yüzeye doğru hareketi sırasında ergiyiği karıştırırlar ve sıvı metalde oksitleri (koloidal süspansiyon şeklinde) yüzeydeki denge pozisyonlarına yüzdürürler. Gaz akış hızı yüzeyde türbülans kabarcıklanmasına sebep olmayacak şekilde ayarlanmalıdır.

Ergimiş alüminyum alaşımlardan gaz gidermenin en kolay yolu, bir tüp veya boru içerisinden tasfiye gazının veya gaz karışımının eriyik içine itilmesidir. Kullanılan tüpler; seramik kaplı döküm demir veya çelik boru, veya daha sıkça kullanılan grafitten ibarettirler.

Tasfiye gazı, hidrojenin daha düşük olan kısmi basıncından faydalanarak, eriyik içerisinde kendi kabarcığına hidrojeni katmaktadır. Bu kabarcık büyüyerek eriyik içerisinde yükselmekte ve atmosfere açılarak eriyikten ayrılmaktadır.

Tasfiye gazları, soygaz (argon veya nitrojen) veya tepkin gazlardan (klorin veya freon 12) biri olabilmektedir. Tepkin gazlar %10'dan düşük konsantrasyonlarda soygazlar ile birlikte kullanılırlar. Bu tepkin gazlar, eriyik ile bir reaksiyona uğrarlar. Klorin, ergimiş alüminyum ile tepkimeye girerek daha sonradan tasfiye gazı görevini üstlenecek olan gaz halindeki $AlCl_3$ 'ü oluşturur. Freon'un kullanımı halinde ise; florin, eriyik ile tepkimeye girerek AlF_3 'ü oluşturur.

Klorin ve florinin her ikisi de, kabarcık yüzey gerilimi üzerinde ve eriyikten katışkıların ıslatılarak ayrılmasını sağlamada oldukça olumlu etkiye sahiptir. Bu nedenle, bu iki elementin kullanımı ile sağlanan tasfiye gazı sisteminin kullanımı ile gaz giderme sistemlerinde daha çok verim elde edilmesi umulur.

Klorinin kullanımı oldukça verimli olmasına rağmen, çevreye zararlı fabrika atıkları oluşumuna neden olmaktadır. Bu yüzden sürekli olarak bir soygaz ile kullanılmaktadır.

Nitrojen, klorin ve karbonmonoksit (CO) karışımı ile gerçekleştirilen gaz giderme işlemleri oldukça iyi sonuçlar vermektedir. Bu üç gaz karışımını veya freonun kullanımı ile, klorinin tek başına kullanılmasına nazaran veya klorin ve bir soygazın beraber kullanılmasına nazaran, daha az gaz emilimi yaptığı görülmektedir.

Sonuç olarak; klorin veya klorin ihtiva eden gaz karışımının kullanılması bu tip bir gaz gidermede daha yararlı olacaktır.

Gazlarla hidrojen giderme işlemi diğer yöntemler nazaran etkinlik açısından çok iyi durumdadır. İşlemin esası sıvı metalde çözünmüş bulunan gazın süpürücü gazdaki kısmi basıncının düşük olması sebebiyle süpürücü gaza geçmesidir. Tamamı ile fiziksel esaslı bir prosestir. Ergiyik içerisine gönderilen gaz kabarcığı ergiyik içerisinde yükselirken kabarcığın içindeki düşük olan sıvı metaldeki ergimiş gaz konsantrasyonu gittikçe artar yüzeye çıktığında ise gaz kabarcığından fırın atmosferine salıverilir (Biol, 1989).

Gazla temizleme işleminde beslenen gazın hızı, kabarcık boyutu işlemin etkinliğine doğrudan etki eden parametrelerdir. Gazın debisi yüksek olduğundan etkinlik

düşmektedir. Buna göre gazın debisini fazla arttırmanın hiç bir iyi etkisi yoktur. Gaz kabarcıklarının boyutu mümkün olduğunca küçük olmalıdır. Böylelikle gaz kabarcıkları küçülüp ergiyikle temas alanı artacağından dolayı daha fazla gazın giderilmesi mümkün hale gelecektir.

5.4 Gaz Üfleme Yolu ile Gaz Giderme Yöntemleri

Bu usül dökümde çok kullanılır.

1. Metal yüzeyinde süspansiyon halindeki empüritelerin gaz kabarcıkları ile mekanik veya fizikokimyasal muamelesi.
2. Gaz kabarcıklarının çözünmüş bazı empülütelerle reaksiyonu (Na,Ca,Mg).
3. Gaz kabarcıkları ile metal arasındaki hidrojen kısmı basıncı farklarından dolayı banyoda çözünmüş hidrojeni gaz kabarcıklarından ayırması.

5.4.1 Klor ve Diğer Halojenik Uçucularla Gaz Giderme

Kullanma sıcaklığında C_2Cl_4 , C_2Cl_6 , $AlCl_3$, $MnCl_2$ gibi klorürler gaz halindedirler ve hem fiziksel hemde fiziko kimyasal etki yaparlar. İçlerinde en faydalısı mutemelen klordur. Klor kolayca kuru ve temiz olarak elde edilebilir.Ancak zehirli olduğundan kullanılması mahsurludur. Daha çok klor bileşikleri kullanılır. (örneğin,çinko klorür gibi). Bu gazla metale grafit borularla üflenir.

C_2Cl_4 ve C_2Cl_6 tipi halojenik bileşikler faydalıdır. Yalnız iyice temizlenmiş olmaları ve metal içine yavaş ve düzenli yayılmaları gerekir. C_2Cl_4 çok az kullanılır, çünkü normal sıcaklıklarda sıvı olduğundan üflemede bazı zorluklar yaratır. Normal sıcaklıkta katı halde olan C_2Cl_6 ise klasik tuzla yıkama maddeleri ile karıştırılarak kullanılır. Bu karışım sıvı metal içine dalan bir çan tertibatı ile verilir.

$AlCl_3$, $MnCl_2$ ve $ZnCl_2$ ise en ufak bir nem miktarında dahi gaz giderici olarak kullanılamazlar. Kuvvetli higroskopik olduklarından tamamen kurutulmaları da olanaksızdır. C_2Cl_4 gibi oda sıcaklığında katı halledirler ve metal içine dalıcı bir çanla verilirler. Klor ve metalik klorürler bazen döküm yapısını genişletme eğilimindedirler.

Bu gaz giderici maddelerin kullanışı sırasında çok sıkı emniyet tedbirleri almak gerekir. Çünkü zehirli ve korozyif dumanlar yayarlar. Çinko klorürün kullanılması daha az

tehlikelidir. Ancak bunun kullanılması sırasında daha sonra izah edilecek olan bazı şartların çok iyi tespit edilmesi gerekir (Erdaş, 1974)

5.4.2 Azot Üfleme ile Gaz Giderme

Alüminyumda en çok kullanılan yöntem azot yüklemidir. Azot üfleme alüminyum alaşımlarında çözünmüş gaz ve oksitleri temizlemede kullanılır

Azot , 750⁰C altında pratik olarak nötr olup yalnızca fiziksel yoldan etki eder. Yararlılığı çoğunlukla saflık derecesine ve metal içine verilmiş şekline bağlıdır. Oksijenden arınmış olmalıdır. Çünkü , gaz kabarcıklarının etrafında alümin teşekkül ederek çözünmüş hidrojenin metalde yayılmasını önler.

Azot , klor veya klasik tuzlu yıkama maddeleri ile beraber kullanılır ki , üfleme sırasında oluşan AlCl₃ yüzeyde metalce zengin empüriteleri çözer. Azot – klor karışımları klordan daha az zehirli ve azottan daha faydalıdır.

Azot ancak 760⁰C 'nin üzerinde teşekkül eden alüminyum nitrürün bilhassa tane sınırlarında iki çeşit etkiye sahip olabilir:

- a) Nitrür , gren büyümesini önleyebilir ve küçük taneli bir yapıya sebep olur.
- b) Büyük miktarlarda ise alüminyum nitrür çökeleği tane sınırı çatlamasına yol açabilir. Bu ikinci şık bilhassa dökme çelikler içindir.

Yüzeydeki oksit filmi metali atmosferden ve daha fazla hidrojen emmeden korur. Oksit filminin bu görevine metal yüzeyinden çıkıp yayılan ve yüzeyi bir örtü gibi örten atıl gazda yardım eder. Burada en çok dikkat edilecek husulardan biri de kuru azot kullanmaktadır. Çünkü nem, eriyiğinin hidrojen miktarını daha da artırır. Gaz temizleme işlemi fırında veya döküm sırasında yapılabilir. Fakat, döküm anına daha yakın olup eriyiğin tekrar hidrojen emebilme zamanını azaltacağı için gaz temizleme işlemi döküm potasında tercih edilir.

Gaz temizleme işlemi için gerekli teçhizat şunlardır: kuru azot tüpü, regülatör, debi sayacı, grafit flakslama tüpü,

Grafit flakslama tüpünün ucuna gözenekli bir grafit yerleştirme veya değişebilen delikler açmak gerekir. Ucuna gözenekli grafit yerleştirilen tüp bir çok hallerde tercih

edilir. Çünkü, bu şekilde gaz çok küçük kabarcıklar halinde verilip, etkin temas yüzeyi fazlalaştırılır. Hem de bu sayede etrafa sıçratma olmadan daha yüksek gaz akımı sağlamak mümkündür. Grafit tüpünü eriyiğe sokmadan evvel iyice ısıtıp nemini kaçırmak ve sonrada eritme potasının dibine temas edinceye kadar daldırmak lazımdır.

Mümkün olsa, gaz temizleme işlemini potadaki metal erir erimez az miktarda azot vererek başlamak tercih edilir. Gaz temizleme işlemini ateşleme devam ederken yapmak pratik olmuyorsa bu işlemi pota fırının içindeyken yapmalıdır. Şu da hatırlanmalıdır ki, bir çok fırında; fırın duvarlarından gelen ısı, alüminyum bazlı alaşımların sıcaklığını arttırmaya yeterlidir. Bu bakımdan gaz alma işlemine istenen döküm sıcaklığının daha altında başlamak gerekir.

Azot enjeksiyon oranı esas olarak kullanılan tüpün tipine, metal derinliğine, sıcaklığına ve bileşimine bağlıdır. Genel olarak, istenilen gaz hacmini metal içinde minimum zamanında geçirmek için sıçramaya sebep olmayacak maksimum enjeksiyon oranı uygulanmalıdır. Yüzeyde oksit filmini aşağıya taşımak için yüzeyde sadece çok hafif yuvarlama hareketi görülmelidir.

Azot ile gaz alma işlemi çözünmüş gazlardan dolayı olan gaz boşluklarını giderir. Bu işlem alüminyum bazlı bütün alaşımlar için geçerlidir. Yalnız muhtemelen Ca ve Mg ihtiva edenler için bu işlemin etkinliği kesinlikle söylenemez.

Gaz alma işlemi için klor ve azot gazlarının mukayesesinde esas noktalar aşağıda özetlenmiştir.

1. Klor paslandırıcı, aşındırıcı ve zehirlidir. Bununla beraber uygun tedbirler alarak bu dezavantajlar, ucuzluk ve kimyasal aktifliği gibi avantajlar sayesinde minimuma indirilebilir.
2. Klorun tane yapısının büyüklüğüne dair iddialar mevcuttur. Halbuki azot tane yapısını etkilemez. Bununla beraber gren büyüklüğü bor, titanyum ve zirkonyum gibi maddelerle kontrol edilebilir.
3. Klor gazı kullananlar, bu gazın oksitlerle reaksiyona girerek ve bunları yüzeye çıkararak daha temiz eriyik temin ettiğini iddia etmektedir. Azot atıl bir gaz olmasına rağmen o da oksitleri mekanik bir işlemle yüzeye çıkarır.

4. Klor gazı alüminyum klorür teşekkül etmesine yol açar ve klorun azottan daha ağır olması bir avantaj sayılmaktadır. Çünkü metal yüzeyini böylelikle daha etken bir şekilde örtüp hidrojen emmesini ödenmiş olur fakat bu avantaj, azotla birlikte metal yüzeyinde uygun bir örtü maddesi kullanıldığında, ortadan kaybolur.

5. Bazı durumlarda azotla nitrür teşekkülü ihtimali vardır. Fakat bu bileşimlerin eriyiğin sıcaklığındaki çözünürlükleri sıfırdır ve yüzeye taşınırlar.

6. Klor, özellikle alüminyum ile magnezyum alaşımlarında istenmeyen Ca ve Na gibi yabancı maddeleri kimyasal olarak temizler. Azot tek başına bu işi yapamaz. Fakat bir katkı maddesi ile beraber kullanıldığında aynı derecede etkili olabilir.

5.5 Gaz Kabarcığı Oluşumu ile Gazların Giderilmesi

Sıvı metallerde erimiş gaz miktarını azaltmak için ticari olarak değişik teknik yöntemler kullanılmaktadır. Bunların hepsi, bir gazın erime miktarı o gazın kısmi basıncının azalmasıyla azalır prensibine dayanır. Vakumda ergitme, vakum altında gaz giderme ve asal gazlarla gaz giderme gibi birçok yöntem, yukardaki prensibe dayanan eriyikteki gaz miktarını azaltma yöntemleridir. Bunlardan farklı bir teknik ise gaz meydana getiren elemanı başka bir elemanla birleştirerek gayri safiyet halinde çökertmektedir.

Vakumda ergitme ve vakum altında gaz giderme, metal içindeki gazları ortadan kaldırmada hızlı ve etkili yöntemlerdir. Vakum altında gaz gidermenin vakumda ergitmeden tek farklı, metalin açıkta ergitmesinden sonra vakuma maruz bırakılmasıdır. Verimin en iyi bir şekilde olması için, gazın sadece eriyik yüzeyinden dışarı yayılması değil, aynı zamanda sıvı eriyik içinde oluşması istenir.

Bu gaz kabarcıklarının, oluşumu için metal üzerindeki sıvı metal yüksekliğini azaltmak önemli bir konudur. Bu durum, dökerek gaz giderme yoluyla (metali vakum altında dökme), büyük bir sıvı metal banyosundan az miktarda bir metal alıp vakuma maruz bırakmak ve bu yöntemi tekrarlamakla ve eriyiği kuvvetle çalkalamakla gerçekleştirilebilir.

Erimiş olarak gaz bulunduran bir sıvı metal vakuma maruz bırakılırsa, kabarcık içindeki gaz basıncının dış kuvvetleri dengeleyecek kadar yeter derecede yüksek olması halinde

kararlı olacaktır. Bu dış kuvvetler sıvı- gaz yüzey enerjisi, sıvı yüksekliği ve ortam basıncıdır. Böylece, kararlı bir kabarcık için,

$$P_g = P_0 + \rho_L g_r h + \frac{2\sigma_{gL}}{r} \text{ ' dir.}$$

P_g : Kabarcık içindeki toplam gaz basıncı

P_0 : Ortam basıncı

$\rho_L g_r h$: Sıvı metalin yüksekliğinden gelen basınç

σ_{gL} : Kabarcık içinde kabarcık – sıvı eriyik ara yüzey enerjisinden ileri gelen basınçtır.

Kabarcık içinde gazın tek elemandan meydana geldiği ve etrafındaki metal içinde bulunan gazlarla dengede olduğu kabul edilirse, P_g termodinamik bağlantılara göre hesaplanmış gaz basıncını verir. Kabarcıkların birkaç mikronda büyük olması halinde yüzey enerjisi terimi ihmal edilebilir. Özellikle çelik gibi ağır metallerde metal yüksekliğinden doğan basınç, kabarcık oluşumunu önleyen önemli bir faktör olarak görünür.

Küçük kabarcıklar için son derece yüksek basınçlara ihtiyaç vardır. Dolayısıyla, sıvıda katının çekirdeklenmesinde olduğu gibi, bir kabarcık çekirdeklenmesi problemi vardır. Saf su ve diğer sıvılar üzerinde yapılan laboratuvar deneyleri, heterojen çekirdeklerin tesirli bir şekilde olmaması halinde kabarcık oluşumuna karşı çok büyük bir engelin mevcut olduğunu göstermiştir. Sıvı haldeki metallerde aşırı gaz doymasının olduğuna dair geniş kanıtlar bulunmaktadır. Oksit ve diğer kalıntıları kaldırmak amacıyla filtre edilmiş alüminyum alaşımlarında, katılaştırma esnasında büyük miktarda hidrojen aşırı doyması bulunmuştur. Fakat kalıntıların bulunması halinde aşırı doymanın çok daha az olduğu saptanmıştır.

Metallerin gazını gidermede kabarcık çekirdeklenmesinden kaçınmak için bir yöntem sıvı içinden asal bir gaz geçirmektir. Bu yöntem çoğunlukla havada ergitilen demir olmayan alaşımlar ve bir dereceye kadar demir ve bakır alaşımlar için kullanılır.

Bir çok farklı metalde araştırmacıların bulduğu sonuçlar, gaz giderme hızının bazen sıvı içindeki veya metal – kabarcık ara yüzeyindeki gaz nakil hızıyla sınırlı olduğu göstermektedir. Alüminyumda, asal gazlar içinde bulunan su buharı gaz giderme hızını önemli miktarda yavaşlatır. Buna sebep kabarcık etrafında oluşan oksit filmidir. Asal

gazlara yapılan klor ilavesi gazın giderilme hızını arttırır ; klor gazı muhtemelen oksit filmini kırar veya eritir (Chen, 1995)

5.6 Mekanik Gaz Giderme Sistemleri

Döngüsel gaz enjeksiyon pompaları da gaz giderme maksatlı olarak kullanılabilir. 600 ila 1100 devir/dakika'lık pervane hızları, gaz kabarcıklarını bölerek daha ince olmalarını sağlamaktadır. Bu yöntem kullanılarak, büyük ergitme ocaklarında, eriyik daha ocağın içerisinde iken tahliye gazları enjekte edilebilmekte ve böylece fırın ertesinde ek bir donatıma ihtiyaç kalmamaktadır. Bu tarz bir çalışma ile, daha etkin gaz giderme ve daha az enerji sarfiyatı mümkündür. Büyük ergiyik miktarlarında (45-50 ton) dahi, hidrojen miktarı 0.15 mL/100g seviyelerine çekilebilmektedir.

5.6.1 Gözenekli Tıkaçla Gaz Giderme

İnce taneli tasfiye gazı kabarcığı oluşturarak hidrojeni eriyikten uzaklaştırmanın diğer bir yolu ise, eritken tüpünün sonuna gözenekli tıkaç koymaktır. Bu gözenekli tıkaçlar grafitten veya seramikten yapılmış ince gözenekli bir yapıya sahiptir. Bu tıkaçlar döküm kepçelerinin dibine, fırınlara veya yardımcı işlem kaplarına montaj edilebilirler. Tıkaç yapısındaki gözeneklerin küçük tutulması sayesinde daha küçük tahliye gazı kabarcıklarının oluşmasına olanak verilmiş olunur.

Bu sistemdeki gaz giderme verimi; tahliye gazı kabarcıklarının eriyik içerisinde kalma sürelerine, gaz akış hızına, eriyik derinliğine ve kap ebatlarına bağlıdır.

Gözenekli tıkaç metodu dönel sistemle gaz giderme yöntemine göre çok daha ekonomiktir. Çünkü dönel sistemle gaz gidermede kullanılan rotor ve diğer ekipmanlar belli periyotlarla yenileri ile değiştirilmesi icap etmektedir.

Gözenekli tıkaç, çubuğa göre çok daha verimli bir çalışma sergilemektedir ve arzu edilen gaz gidermeyi ayarlamak için kap ebatları, gaz akışı ve eriyik içerisindeki ikamet süreleri ile oynamak yeterlidir.

Son zamanlarda, tanıtılan bir sistemde, filtrasyon ve gaz giderme aynı hat üzerinde ve gözenekli tıkaçtan istifade edilerek yapılmaktadır. Böylesi bir sistemin kullanımı ile eriyik yapısı içerisinde; metal akış hızı 40kg/dakika olduğundan 0,06 mL/100gr hidrojen,

metal akış hızı 330 kg/dakika olduğunda ise 0,14 mL/100gr hidrojenin geride kalması sağlanabilir.

5.6.2 Dönel Sistemle Gaz Giderme

Eritken tüpü veya çubuğu kullanılarak yapılan gaz giderme işlemleri basit ve bir bakıma etkili olmalarına rağmen yeterli verimliliğe sahip değildirler. Bu yöntemin olabilirliği, oluşturulan kabarcığın büyüklüğüne ve eriyik ile kabarcığın temas yüzeyinin genişliğine bağlıdır. Bazen büyük kabarcıklar elde etmek mümkün olabilmekte ve hatta eritken çubuğu veya borusu kullanılarak küçük karıştırma çalkalanmaları elde etmek mümkündür.

Elde edilmiş olan en çarpıcı gelişme ise dönel sistem sayesinde gaz enjeksiyonu ile gaz gidermedir. Bu sistem daha çok alüminyum sektöründe kullanılmaktadır.

Sistemin işleyişi , ergitme fırını ile kepçe arasında veya ergitme fırını ile döküm gravürü arasındaki yardımcı kaptaki gerçekleşmektedir. Şekil.5.1' de anlaşılabilirceği üzere, bir kap içerisine giren ergiyik metal dönel bir shaftın rotorunda yayımlanan gaz kabarcıklarının temasına maruz bırakılmakta ve bu kabarcıkların tüm ergiyiğe tesir edebilmesi için de shaft döndürülerek karıştırılma işleminin gerçekleştirilmesi sağlanmaktadır. Döndürme işlemi 300 ile 500 devir/dakika hızlarında gerçekleştirildiğinde kabarcıklar daha küçük ebatlara ayrılmaktadır. Elde edilen, daha fazla yüzey alanı / hacim oranı ile daha fazla temas yüzeyi sağlanmakta ve gaz giderme işleminin daha verimli olabilmesine imkan tanınmaktadır

Bu sistemlerin ebatları, ergiyik metal miktarına ve debisine bağlı olarak değişebilmektedir. Sistemde kullanılan gaz ise tek başına argon, nitrojen, klorin veya bu üç gazın karışımı olabilmektedir.

Ticari olarak bu sistem üzerinde geliştirilen ve en başarılı sonuçların ortaya konulduğu değer, yapı içerisinde kalan hidrojen miktarının 0.15 mL/100gr'dan daha az olduğudur. Bu tür bir başarı tatmin edici boyutlardadır.

Gaz giderme verimi birçok faktöre bağlıdır. Bunlar; eriyik metal bünyesindeki hidrojen miktarı, metal akış hızı, yardımcı büyüklüğü, tahliye gazı akış hızı, karıştırılabilirlik kapasitesi ve alaşımın özellikleri (termodinamik faktörler ve kütle transfer katsayıları).

Son zamanlarda, dönel gaz giderme sistemlerinin bir yandan ebatları küçültülürken, diğer yandan da daha verimli sonuçlar elde edilmeye çalışılmaktadır. Küçültme çalışmaları sayesinde, sistemler; pota veya kepçe içerisine adapte edilebilmektedir.

Sistem sabitlerinin bir kaç kombinasyonu mevcuttur. Bunlar; tahliye gazı hacmi, rotor çarpının pota çapına oranı, türbülanssız akışı sağlayacak olan rotor devir hızıdır. Rotor çarpının pota çapına oranı %20 ila %25 olması, 350 ila 450 devir/dakika'lık tur hızları, 0,51 ila 0,57Nm³ /h'lik gaz akış hızları ideal değerlerdir. Rotor dizaynındaki değişimler bu oranların da değişimine sebebiyet verebilmektedir.

5.6.2.1 Snif Sistemi ile Gaz Giderme İşlemi

Klorlama –Azotlama, Klorlama-Argonlama sıvı metalden hidrojeni uzaklaştırmanın en etkili yöntemlerindendir. Azot gazı hidrojeni sıvı metalden mekanik olarak uzaklaştırırken, klor gazı kimyasal ve mekanik olarak yapıdan uzaklandırmaktadır. Klor gazının hidrojeni uzaklaştırmadaki etkinliği azot gazından çok daha fazladır. Bundan dolayı azot gazı ile yapılan gaz giderme süresi klor ile yapılan gaz giderme süresinden 2 kat daha fazla olmalıdır. Klor gazı azot gazına göre daha pahalı, zehirli ve korozyif özelliği olan bir gazdır. Makina ekipmanları ve çevre üzerinde ciddi tahribatlar yapar. Bu nedenden %95 azot ,%5 klor gazı karışımı kullanmak etkilidir.

Ergimiş alüminyumda gaz gidermenin en basit yöntemi flaks tüpü ile basınç altında temizleyici gaz enjekte etmektir. Hidrojenin daha düşük kısmi basıncı nedeniyle temizleyici gaz hidrojeni giderir. Hidrojen temizleyici gazın içine nüfuz eder, ergimiş metalin yüzeyine çıkar ve atmosfere ulaşır

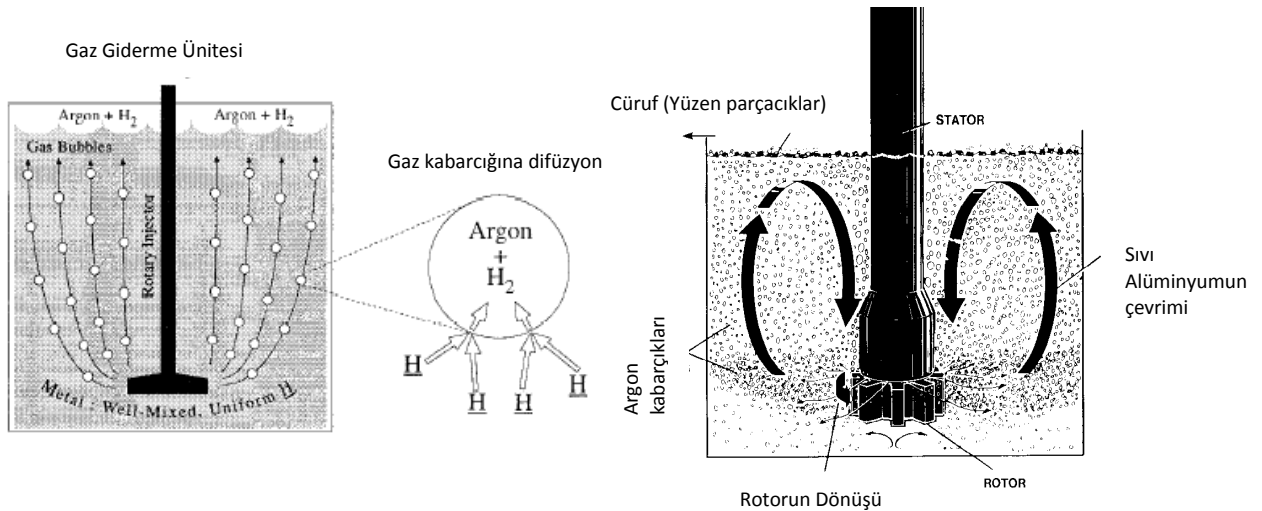
Temizleyici gaz inertte olabilir, reaktifte olabilir. İnert gazlar argon veya azot, reaktif gazlar ise klor veya freon 12'dir. Reaktif gazlar, bir inert gaz ile birlikte küçük konsantrasyonlarda kullanılır. Reaktif gazlar ergimiş metal ile bir kimyasal reaksiyona girerler. Klor ergimiş alüminyumla reaksiyona girerek AlCl₃ 'ü oluşturur ki bu daha sonra temizleyici gaz görevini yapar.

Ergitme fırınlarında azot gazı ile birlikte yapılan flakslama işlemi sıvı metalden sadece oksidin değil, hidrojen ve inklüzyonlarında uzaklaştırılmasını sağlar. Ancak ergitme fırınlarında yapılan bu işlem gerek inklüzyon, gerekse hidrojen miktarını arzu edilen

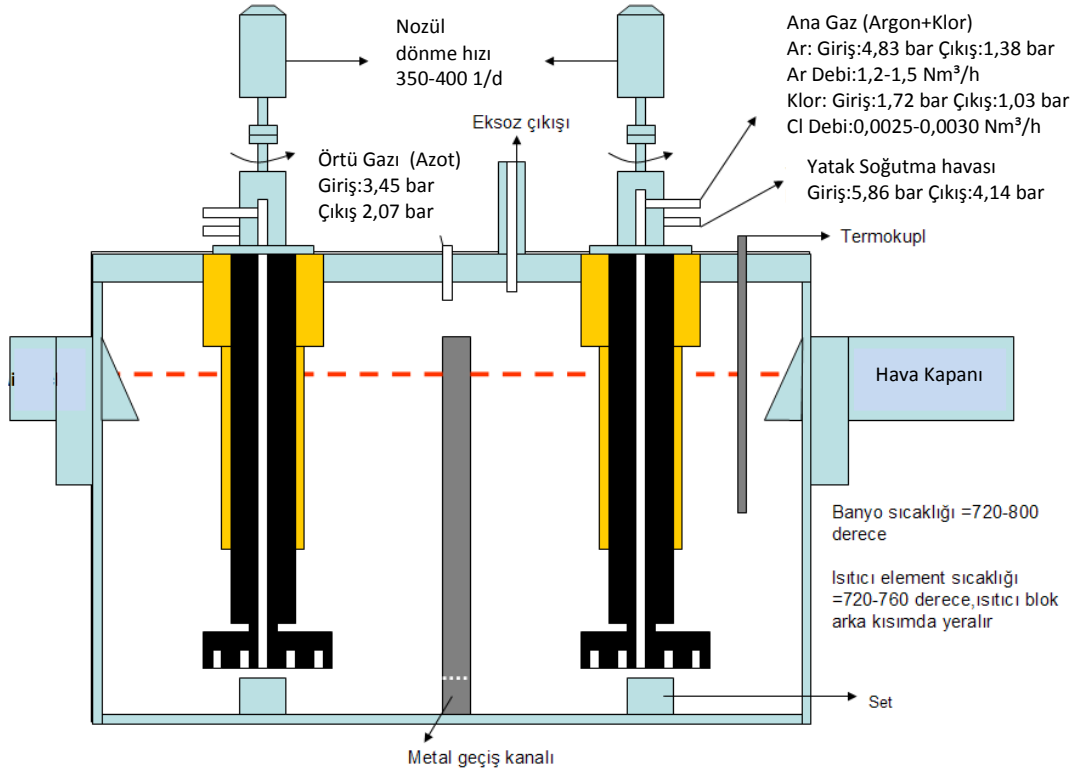
seviyelere indiremez. Ayrıca sıvı metalin döküm operasyonun ilerleyen aşamalarında hidrojen kapma riski yüksektir.

SNIF Gaz giderme sisteminde yüksek devirde dönen, özel tasarımlı nozülünden ince kabarcıklar halinde banyoya beslenen asal veya aktif-asal gaz karışımları ile yüzdürme işlemi yapmaktadır. Sıvı alüminyumda çözülmüş hidrojenin ve asılı durumda bulunan inklüzyonların banyo yüzeyine taşınması, kullanılan gazın karakterine bağlı olarak fiziksel/kimyasal prensipler çerçevesinde gerçekleşmektedir.

- Gaz giderme işlemi Ergitme Fırını, Tutma Fırını ve Gaz Giderme ünitesinde olmak üzere üç farklı yerde yapılmaktadır. Cl insan sağlığına zararlı bir gaz olduğu için işletmede artık kullanılmamakta sadece Ar₂ (argon) gazı ile degassing gerçekleştirilmektedir. Gaz Giderme cihazında sıvı metalin sıcaklığını belirli bir derecede tutan ısıtıcılar da mevcuttur.
- Nozülün neden olduğu sıvı metalin dönme hareketini kısıtlamak için refrakter bir parça bulunmaktadır.
- Gaz giderme işlemi; $Cl_2 + H_2 \rightarrow 2HCl$



Şekil 5.1 Hidrojenin döner gaz giderme yöntemi ile sıvı metalden uzaklaştırılması



ASSAN ALÜMİNYUM’ DA KULLANILAN DÖNEL GAZ GİDERME SİSTEMİ PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU DENEYİ

6.1 Deneyin Şartları

Erğiyik metal içerisinde bulunan çözünmüş haldeki hidrojenin konsantrasyonu çeşitli yöntemler kullanılarak giderilebilir. Şekil 5.1’ de tipik bir döner gaz giderme işlemi şematik olarak gösterilmiştir. Şekil 5.2’ de ise ASSAN Alüminyum tesislerinde kullanılan SNIF sistemi gösterilmiştir. Bu methodun çalışma prensibi argon, azot yada klor gazlarının ayrı ayrı ya da karıştırılarak döner bir kolonun nozül içerisine enjekte edilerek kolonun sonundaki küçük açıklıklardan serbest bırakılmasıdır. Genellikle 300 ile 450 devir/dakika da çalışan döner kolon, içerisine gönderilen gaz baloncuklarını küçük parçalara bölerek gaz giderme işleminin efektif bir şekilde yapılmasını sağlar. Bu küçük baloncuklar sayesinde yaratılan yüksek alan/hacim oranı sıvı metal ile baloncukların kontak ara yüzeylerinin dolayısıyla reaksiyon kinetiğinin artmasına yol açar. Çünkü sıvı metal içerisinde atomik halde bulunan H yaratılan bu argon baloncukları üzerinde birleşerek H_2 gazı oluşturur ve yükselen argon gazı ile birlikte sıvı metalden uzaklaştırılırlar. Bu gaz hava kabarcıklarının küçük olması (yüksek alan/hacim oranı) ve homojen bir biçimde SNIF içerisinde dağıtılması gaz giderme işleminin efektif bir şekilde yapılabilmesi için önemlidir. Bunun içinde gönderilen gazın debisi ve motor devir hızı oldukça önemlidir.

6.2 Deneyde Kullanılan Numuneler

Bu çalışmada hedef gaz giderme işleminin en etkili biçimde yapıldığı gaz debisi-motor devir hızı kombinasyonunu 1050 ve 3003 alaşımları için tespit etmektir. Bunun için dokuz ayrı gaz debisi-motor devir hızlarında çalıştırılan SNIF sistemi, SNIF sonrası sıvı metalin içerisindeki hidrojen miktarları ölçülerek test edilmiştir.

1050 alaşımından farklı olarak bu alaşım için en efektif gaz giderme işlemi argon debisinin 1 olduğu durum hariç 400 motor devir/dakika da yapılmıştır.

1050 alaşımı için yüksek devir hızları sıvı metalin turbulansına dolayısı ile hidrojen miktarının artmasına neden olurken daha alaşımlı olan 3003 alaşım için böyle bir turbulans yaratılmamıştır. Bu iki farklı alaşımın farklı devir hızlarında gösterdikleri bu karşıt davranış sıvı metalin akışkanlığı (viskozite) ile ilişkilendirilebilir. Daha akışkan (düşük viskozite) olduğu düşünülen 1050 alaşımının yüksek devir hızlarında turbulans yaratması daha alaşımlı dolayısı ile daha az akışkanlığa sahip 3003 alaşıma oranla daha kolaydır. Ancak elimizde gerçek viskozite değerleri olmadığı için yorumlarımız varsayımdır. Bu sonuçlar gerçek viskozite değerleri ile teyit edilmelidir.

6.3 Deneyde kullanılan cihazlar

Bu deneysel çalışma Assan Alümiyum Tuzla Tesisleri 5.Döküm hattında yapılmıştır. Hat üzerinde gaz giderme için tek rotorlu bir Sniff gaz alma sistemi ve hidrojen ölçümü için, sıvı metalin içerisindeki hidrojeni sürekli olarak tayin edebilen FMA Hidrojen ölçüm cihazı kullanılmıştır.



Şekil 6.1 FMA Hidrojen Analiz Ünitesi ve Ölçüm Probu



Şekil 6.2 Snif Gaz Alma ünitesinin Tutma Fırını ve Döküm Makinası arasındaki yeri



Şekil 6.3 Assan Alüminyum'daki Gaz Alma Ünitesi



Şekil 6.4 Gaz Alma Ünitesi Rotoru

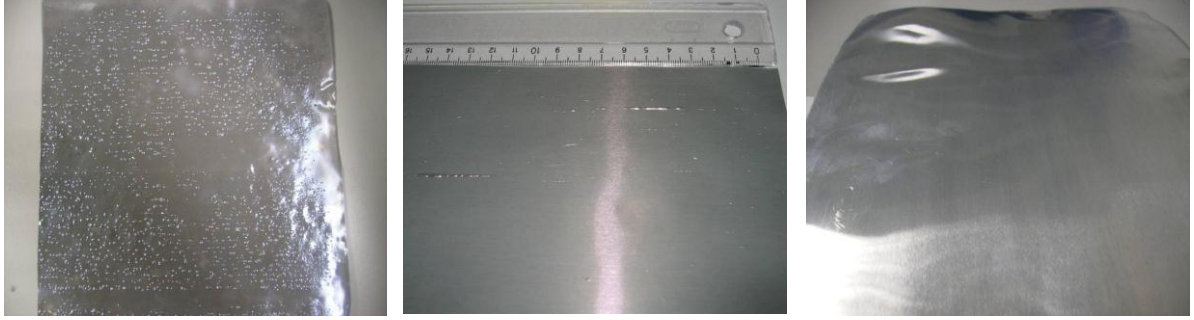
6.4 Deneyin Yapılışı

Ölçülen hidrojen değerlerinin bu değerlerde dökülen bobinlerde döküm boşlukları yaratıp yaratmadığını tespit etmek amacı ile her argon debisi-motor devir hızı kombinasyonunda dökülen bobinden numuneler alınmıştır.

Uygun Değil

Uygun Değil

Uygun



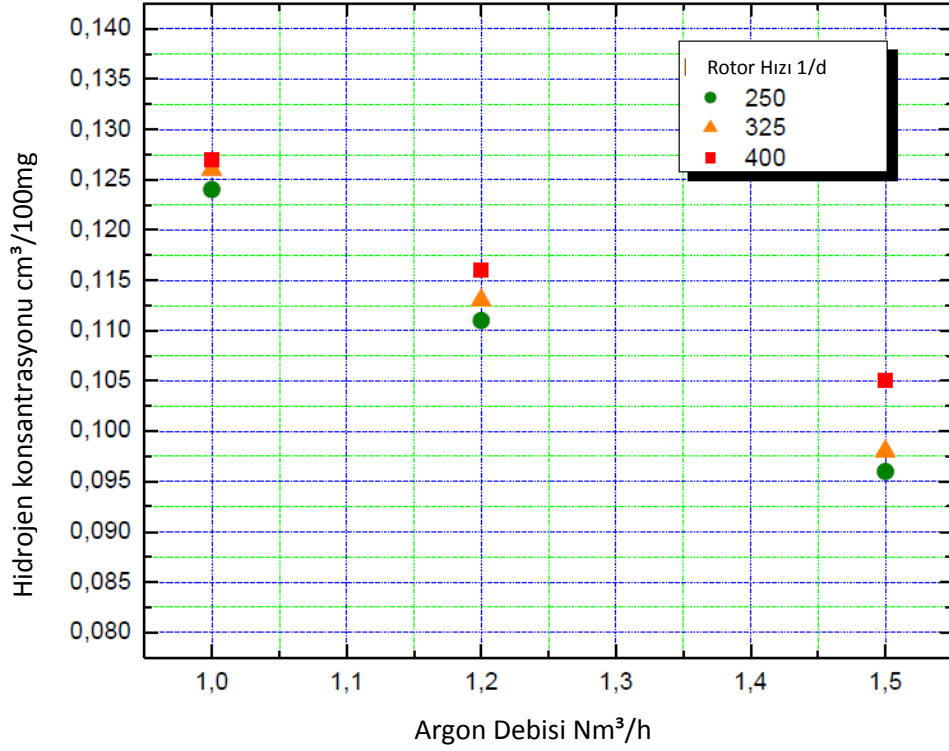
Şekil 6.5 Tav prosesi sonrası alüminyum folyoda görülen hidrojen kaynaklı formasyon

Döküm sırasında 30 dakika aralıkla 24 saat boyunca sürekli olarak sıvı metaldeki hidrojen konsantrasyonu ölçümü yapılmıştır. Bu ölçümler her rotor hızı – Argon akış debisi kombinasyonu için tekrar edilmiş olup toplamda 432 ölçüm alınmıştır.

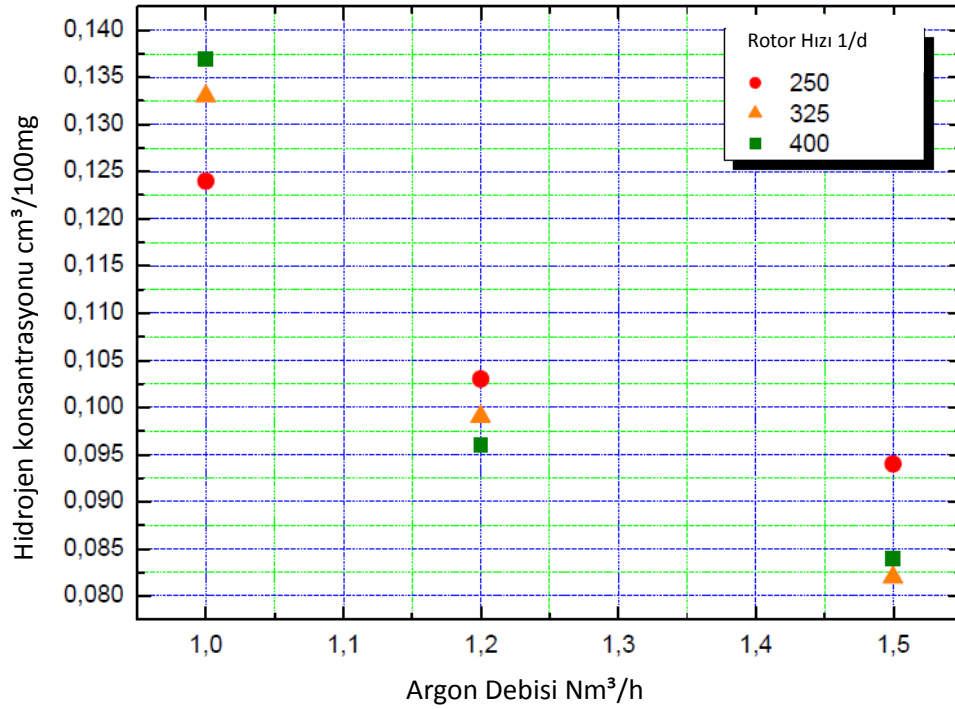
Döküm kalınlığındaki bu numunelerin kalınlıkları daha sonra laboratuvar haddesi kullanılarak 200 mikrona kadar indirildi. 200 mikron kalınlığındaki numuneler 580 °C’ de 4 saat tavlaniıp yüzeylerinde herhangi bir kabarcık olup olmadığı kontrol edildi. 3003 alaşımda tüm kombinasyonlar için folyo yüzeylerinde hidrojen kaynaklı herhangi bir kabarcığa rastlanılmadı. 1050 alaşımda ise 1.0 argon debisi ile üretilen numunelerde yüzeyde ara ara kabarcıklara rastlanıldı.

Çizelge 6.1 Ölçüm yapılan rotor hızı ve argon debileri

Argon Akış Oranı	Rotor Hızı
1,0	250
1,0	325
1,0	400
1,2	250
1,2	325
1,2	400
1,5	250
1,5	325
1,5	400

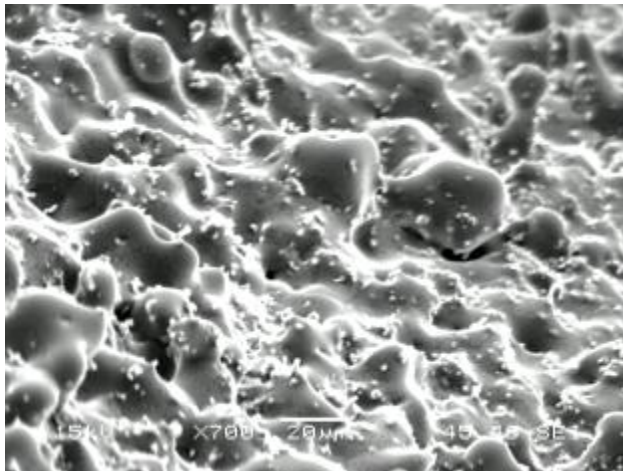
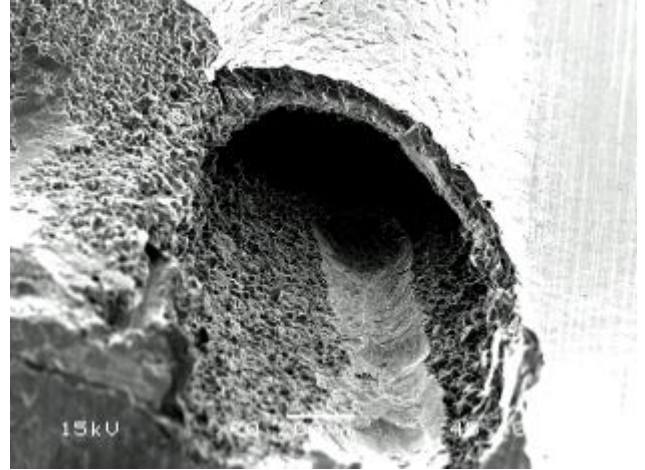
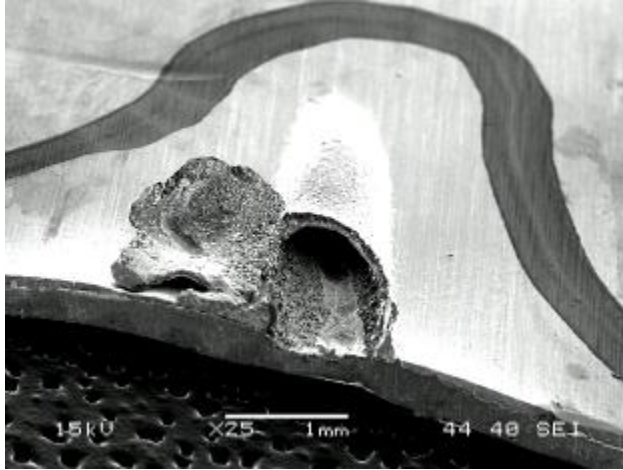


Şekil 6.6 1050 Alüminyum Alaşımında deneysel olarak ölçülen hidrojen konsantrasyonun 3 değişik rotor hızındaki argon akışı ile değişimi.



Şekil 6.7 3003 Alüminyum Alaşımında deneysel olarak ölçülen hidrojen konsantrasyonun 3 değişik rotor hızındaki argon akışı ile değişimi.

Bu sonuçlara göre **1050 alaşım** için en efektif gaz giderme işlemi diğer deyişle son üründe herhangi hidrojen kaynaklı bir soruna sebep olmayacak argon debisi/motor devir hızları **1.2/250 ve 1.5/250** olarak bulunmuştur. Bu çalışma öncesi işletmede 1.5 argon debisi ve çeşitli motor devir hızlarında çalıştırılan SNIF sistemlerinin bulunan bu sonuçlara göre 1.2/250 devir hızlarında çalıştırılması hem maliyet hem de snif rotorunun ömrünü uzatması açısından olumlu olacaktır.



Şekil 6.8 Hidrojen kaynaklı deformasyonun SEM görüntüleri

Argon debisi 1.0 ile üretilen 3003 alaşım numunelerde herhangi bir kabarcık görülmemesine rağmen döküm işletmesi şartlarında oluşabilecek herhangi bir arızanın yaratabileceği sorunlar da (SNIF ısıtıcılarının devre dışı kalması, sıvı metal sıcaklığında olabilecek ani değişiklikler vb.) göz önüne alınırsa bu alaşım için **1.2/325** argon debisi-motor devir hızı kombinasyonunun çalışması önerilmektedir.

Çizelge 6.2. 1050 Alaşım için değişik rotor hızı ve argon debilerinde ölçülen hidrojen konsantrasyonları

Argon Akış Oranı	Rotor Hızı	Basınç mbar	Sıcaklık C	Hidrojen cm ³ /100mg	Düzeltilme Katsayısı T=700	Hidrojen cm ³ /100mg
1,0	250	21,6	706	0,129	1,041	0,124
1,0	325	22,6	704	0,130	1,028	0,126
1,0	400	23,1	703	0,130	1,021	0,127
1,2	250	17,2	700	0,110	1,00	0,111
1,2	325	18,0	704	0,116	1,028	0,113
1,2	400	19,4	704	0,120	1,028	0,116
1,5	250	13,1	708	0,101	1,055	0,096
1,5	325	13,8	704	0,101	1,028	0,098
1,5	400	15,8	705	0,109	1,035	0,105
Gazalmadan önce		-	-	-	-	0,240

Çizelge 6.3. 3003 Alaşım için değişik rotor hızı ve argon debilerinde ölçülen hidrojen konsantrasyonları

Argon Akış Oranı	Rotor Hızı	Basınç mbar	Sıcaklık C	Hidrojen cm ³ /100mg	Düzeltilme Katsayısı T=700	Hidrojen cm ³ /100mg
1,0	250	25	707	0,130	1,04776	0,124
1,0	325	29,2	714	0,146	1,09707	0,133
1,0	400	30,9	707	0,144	1,04776	0,137
1,2	250	17,2	703	0,105	1,02028	0,103
1,2	325	16,3	705	0,103	1,034	0,099
1,2	400	15	705	0,099	1,034	0,096
1,5	250	14,3	705	0,097	1,034	0,094
1,5	325	11,1	705	0,085	1,034	0,082
1,5	400	11,6	708	0,089	1,0547	0,084
Gazalmadan önce		-	-	-	-	0,253

6.5. Deneysel çalışmanın Değerlendirilmesi ve Uyarı

Yapılan bu çalışmada her ne kadar özellikle 1050 alaşım için 1.2/250 argon debisi ve motor devir hızı en optimum kombinasyon olarak bulunduysa dahi, işletme pratiğinde çıkabilecek sorunlar ve düşük devirlerde nozulün kırılma riskinden dolayı güvenli bölgede kalmak amacıyla motor devrinin 325 olarak kullanılması tavsiye edilmektedir

DENEYSEL ÇALIŞMADAN ELDE EDİLEN SONUÇ VE ÖNERİLER

Teorik ve deneysel olarak yaptığım bu çalışma sonucunda;

1. 1050 alaşım levha ve folyo için uygulanması önerilen argon debisi-motor devir hızları 1.2 / 325 olarak bulunmuştur.
2. 3003 alaşım levha ve folyo için uygulanması önerilen argon debisi-motor devir hızları 1.2 / 325 olarak bulunmuştur.
3. Döküm işleminin önemli sarflarından birtanesi olan ve besleme miktarları 1,5-1,8 Nm³/hr aralığında değişebilen Argon gazının kullanımı, üretimin çok büyük bir miktarını içeren 1050 ve 3003 alaşımları için minimum %20 azaltılabilecektir.

Sonuç olarak, özellikle 1050 alaşım için 1.2/250 argon debisi ve motor devir hızı en optimum kombinasyon olarak bulunduysa dahi, işletme pratiğinde çıkabilecek sorunlar ve düşük devirlerde nozulün kırılma riskinden dolayı güvenli bölgede kalmak amacıyla motor devrinin 325 olarak kullanılması tavsiye edilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Demircioğlu, P. ve Sönmez, H. (2003) Alüminyum Alaşımlarının dökümünde Gaz Oluşumu ve Gaz Giderme Tekniklerinin İncelenmesi. 63-79.
- [2] Puga H., Barbosa J, ve Seabra E., (2006) New Trends in Aluminium Degassing.
- [3] Erdoğan R., (2005), Assan Alüminyum Döküm Teknikleri El Kitabı.
- [4] Derya Taşpınar, John Campell University Of Birmingham (2009). Alüminyum ve Alaşımlarının Dökümü Sırasında Gaz Giderme İşlemi Ve Döküm Kalitesi Üzerine Etkileri.
- [5] Turbalıoğlu, K., (2007). AA5083 Alaşımının Gaz Giderme İşlemi Ve Metal Kalitesinin Kıyaslanması. Eti Alüminyum
- [6] Dursun, A., (2010) Ergimiş Alüminyumun Döküme Hazırlanması Aşamasında Kullanılan Hidrojen Giderme Sisteminin Parametreleri,
- [7] Makhlouf M. Ve W.L., Apelian D, (1998). Hydrogen in Aluminum Alloys-Its measurement and its removal. A Monograph, AFS, Des Plaines Il, Sidney, H.A., (1974). Introduction to Physical Metallurgy, Second Edition, Mc Graw-Hill Book Co., New York.
- [8] Gruzleski, J.E., (1990) The Treatment of Liquids Aluminium-Silicon Alloys. Des Plaines, 143-181
- [9] Maniruzamman M., M.M., (2000) Phase Separation Technology in Aluminum Melt Treatment.A Monograph, AFS, Des Plaines Il.
- [10] Fromm, E., Aluminium (1989). 1240-43.
- [11] Ransley C.E., T.D.E.J., J.Inst.Met, (1984). 445-452.
- [12] Arsent'ev P.P., P.K.I., Russ.Metall, (1977). 54.
- [13] Vignau J.M., A.P., Bastein P., Compte Rendu Acad.Sci., (1967). 174.
- [14] Dinsdale, A.T. and P.N. Quested, (2004). The viscosity of aluminium and its alloys- -A review of data and models. Journal of Materials Science, 7221-7228.

- [15] Myers, R.H. and D.C. Montgomery, (1995) Response Surface Methodology: Process and Product in Optimization Using Designed Experiments. John Wiley & Sons, Inc. New York, NY, USA.282
- [16] Özdemir, N., (1980) “Döküm Hataları ve Önleme Çareleri” Bitirme Projesi İDMMA.
- [17] ASM Handbook, (1996), Volume 15.
- [18] Birol, Y., (1989), Sıvı Allüminyumda Gaz ve Safsızlıkların Giderilmesi Bitirme Projesi 24-41.
- [19] Yıldırım, M., (1997), Alüminyum Magnezyum Alaşımlarında Gaz Giderme Yöntemleri. Bitirme Projesi, Y.T.Ü.
- [20] Chen, S.G.,(1995), “Formation of Gas Porosity in Aluminium Alloys” Foundry Institute, Aachen University of Technology.
- [21] Cochran B.P., Fenyes M.L., Mulac R.P.,(1992) Flux Practice in Aluminium Melting, AFS Transactions:737-742.
- [22] Crepau P.N., Fenyes M.L., Jeanneret J.L. (1992) Solid Practices for Aluminium Melting. Modern Casting, 28-31.
- [23] Erdaş, F.F. (1974) Alüminyum Alaşımlarının Dökümünde Gazlar ve Giderilmesi Bitirme Projesi, İ.T.Ü.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Hakan ÖZER

Doğum Tarihi ve Yeri: 02.02.1972

Yabancı Dili: İngilizce

E-posta: hakonet72@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Makina Müh.	Yıldız Teknik Üniversitesi	1994
Lise	Matematik	Bilfen Koleji	1989

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2011-	Hereko San.Tic.A.Ş.	Tesis Müdürü
2000-2011	Assan Alüminyum San.Tic.A.Ş.	ISG ve Çevre Müdürü
1998-2000	Tekfen Holding	Makina Bakım Şefi
1996-1998	S.T.F.A. İnşaat A.Ş.	Makine Mühendisi

YAYINLARI

Bildiri

1. Kestirimci Bakım Organizasyonu ve Assan Alüminyumdaki Uygulaması (2004)
2. OHSAS 18001' in Metal Endüstrisindeki Uygulamaları (2006)
3. Güvenli Davranış Geliştirme Modeli (2007)
4. İş Güvenliğinde TPM Yaklaşımı (2009)