

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARININ DÖKÜMÜNDE
RAFİNASYON YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Müh. Erdem TÜRKER**

Anabilim Dalı: METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ

Programı: ÜRETİM METALURJİSİ VE TEKNOLOJİLERİ MÜHENDİSLİĞİ

MAYIS 2005

**ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARININ DÖKÜMÜNDE
RAFİNASYON YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Müh. Erdem TÜRKER
(506021207)**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 9 Mayıs 2005

Tezin Savunulduğu Tarih : 30 Mayıs 2005

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ercan AÇMA

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Onuralp YÜCEL

Prof. Dr. Fatma ARSLAN

MAYIS 2005

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde bilgi ve deneyimleri ile büyük katkıları olan Sayın Hocam Prof. Dr. Ercan AÇMA'ya teşekkürü bir borç bilirim. Dökümhane bölümündeki deneysel çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen dostum, Alcomet Dökümhane Müdürü Sayın Bora ALAPARSLAN'a, çalışmalarımın her aşamasında manevi desteği ile hep yanımda olan aileme de sonsuz teşekkürler.

I would like to thank all Alcomet-Plc Management for their support during my studies. I would also like to thank all Alcomet-Plc technologist, laboratory staff, rolling shop and cast house employees for experimental and literature support, translations from Bulgarian to Turkish and English. Thank you all.

Mayıs 2005

Erdem Türker

İÇİNDEKİLER

ÖNZÖZ	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	v
TABLO LİSTESİ	vi
ÖZET	vii
SUMMARY	viii
1. GİRİŞ ve AMAÇ	1
2. ALÜMİNYUM VE METALİN ÜRETİMİ	3
2.1. Hammaddeler	3
2.2. Karbon	4
2.3. Alüminyum Oksit	4
2.4. Elektrolitik Hammaddeler	5
2.5. Üretim Metotları	5
2.6. Alüminyum Metalinin Önemli Özellikleri	7
2.7. Alüminyumun Oksidasyonu	10
2.8. Alüminyumun Yüksek Sıcaklık Reaksiyonları	11
3.ALÜMİNYUM ALAŞIMLARIN DÖKÜMÜ	12
3.1.Ergimiş Alüminyumun Fiziksel ve Kimyasal Karakteristiği	12
3.2.Ergimiş Metalin Flakslanması	12
3.3.Örtü Flakslar	13
3.4.Temizleme Flaksları	14
3.5.Gaz Giderici Flakslar	15
3.6.Dros Giderme Flaksları	15
3.7.Dros oluşumu	16
3.8.Rafinasyon Teknikleri ve Karşılaştırılması	16
3.8.1. Metalik Olmayan Parçaların Giderilmesi	16
3.8.2. Gaz Giderme	18
3.9.Alüminyum Alaşımlarda Hidrojen	21
3.10.Hidrojenin Kaynağı ve Çözünürlüğü	23
3.11.Hidrojenin Kontrolü	25
3.12.Gaz Giderme Metotları	26
3.13.Gaz Verme Metotları	27
3.14.Kullanılan Gazın Cinsi	29
4.DENEYSEL ÇALIŞMALAR	33
4.1.Deneylerde Kullanılan Sarf Malzemeleri	34
4.2.Deneylerde Kullanılan Alet ve Cihazlar	36
4.3.Deneylerin Yapılışı	37
4.3.1.N ₂ +H ₂ Karışımının Ergitme Fırınında bir Lans Aracılığı ile	

Verilmesi ile Yapılan Deneyler	38
4.3.2.Gaz Giderici Tabletler ile Yapılan Deneyler	38
4.3.3.Flaksın N ₂ ile Akışkanlaştırılarak Sıvı Metale Püskürtülmesi ile Yapılan Deneyler	39
5.DENEY SONUÇLARI	40
5.1.Birinci Grup Deneyler	40
5.2.İkinci Grup Deneyler	42
5.3.Üçüncü Grup Deneyler	43
5.4.Çeşitli Gaz Giderme Yöntemleri Sonunda Metalde Kalan Empürite Miktarları	45
6.DENEY SONUÇLARININ İRDELENMESİ	46
6.1.Tabletle Gaz Giderme Yönteminin Sonuçlarının İrdelenmesi	46
6.2.Azot ve Klor Karışımı ile Gaz Giderme Yönteminin Sonuçlarının İrdelenmesi	46
6.3.FIF-50 Flaks Enjeksiyon Cihazı ile Yapılan Gaz Giderme Yönteminin Sonuçlarının İrdelenmesi	47
6.4.Gaz Giderme Yöntemlerinin Karşılaştırılması	47
6.5.Deneysel Sonuçların Metalografik olarak İrdelenmesi	48
7.GENEL SONUÇLAR	51
8.ÖNERİLER	52
KAYNAKLAR	53
ÖZGEÇMİŞ	55

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : Ön pişirilmiş anotlu elektroliz hücresi.....	6
Şekil 2.2 : Söderberg anotlu elektroliz hücresi.....	7
Şekil 2.3 : Yıllara Göre Dünya Birincil Alüminyum Üretimi.....	8
Şekil 2.4 : Sıcaklığın Alüminyum Oksidasyonuna Etkisi.....	11
Şekil 3.1 : Filtrasyon ve Gaz ile Metal Temizliği Sağlayan Sistem.....	20
Şekil 3.2 : Alüminyum İçinde Hidrojen Çözünürlüğünün Sıcaklıkla Artışı..	22
Şekil 3.3 : Döner Tip Parçacık ve Gaz Giderme Sistemi.....	28
Şekil 3.4 : İnert Bir Gaz ile Flaksın Akışkanlaştırıldığı bir Sistemin Şematik Görünümü.....	29
Şekil 3.5 : 720° C sıcaklığındaki Alüminyuma Argon Enjeksiyonu ile Hidrojen Kısmi Basıncındaki Değişim.....	30
Şekil 4.1 : Alcomet-Plc Dökümhane Yerleşme Düzeni.....	34
Şekil 4.2 : Pyrotek FIF-50 gaz ve flaks enjeksiyon cihazı.....	36
Şekil 4.3 : Leco RH 402 Hidrojen analiz cihazı	36
Şekil 4.4 : ARL Spektrometre.....	37
Şekil 4.5 : Metalografi Laboratuvarları.....	37
Şekil 6.1 : 8006 alaşımının tablet ile degaze edilmesinden sonra elde edilen metalografik imaj (X100).....	49
Şekil 6.2 : 8006 alaşımının %90azot+%10klor ile degaze edilmesinden sonra elde edilen metalografik imaj (X100).....	49
Şekil 6.3 : 8006 alaşımının enjeksiyon cihazı ile degaze edilmesinden sonra elde edilen metalografik imaj (X100).....	50

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Alüminyumun Mekanik Özellikleri.....	9
Tablo 2.2. Alüminyum Alaşımların Kodlanması.....	9
Tablo 2.3. Alüminyumun Fiziksel Özellikleri.....	10
Tablo 3.1. 1 Atm. Hidrojen Basıncı Altındaki Sıvı Alüminyum İçinde Çözünen Hidrojen.....	23
Tablo 3.2. 1 Atm. Hidrojen Basıncı Altındaki Katı Alüminyum İçinde Çözünen Hidrojen.....	24
Tablo 3.3. Azalan sıra ile Metal Oksitlerin Oluşum Serbest Enerjileri.....	25
Tablo 4.1. 1050A Alüminyum Alaşımının Kimyasal İçeriği.....	34
Tablo 4.2. 3105 Alüminyum Alaşımının Kimyasal İçeriği.....	35
Tablo 4.3. 8006 Alüminyum Alaşımının Kimyasal İçeriği.....	35
Tablo 4.4. 8011A Alüminyum Alaşımının Kimyasal İçeriği.....	35
Tablo 4.5. Promag® R1 Flaksının Başlıca Özellikleri.....	35
Tablo 5.1. 8011A Alaşımı ile Yapılan Gaz Giderme Sonuçları.....	40
Tablo 5.2. 1050 Alaşımı ile Yapılan gaz Giderme Sonuçları.....	40
Tablo 5.3. 8006 Alaşımı ile Yapılan gaz Giderme Sonuçları.....	41
Tablo 5.4. 3105 Alaşımı ile Yapılan gaz Giderme Sonuçları.....	41
Tablo 5.5. 8006 Alaşımı ile Yapılan Tekrarlı Gaz Giderme İşlemi Sonucunda Metalde Kalan Hidrojen Değerleri.....	42
Tablo 5.6. 30kg / 30Ton Alaşım Dozajında Tablet İlavesinde Alaşımda Kalan Hidrojen Miktarları.....	43
Tablo 5.7. 60kg / 30Ton Alaşım Dozajında Tablet İlavesinde Alaşımda Kalan Hidrojen Miktarları.....	43
Tablo 5.8. Pyrotek FIF-50 tipi enjeksiyon cihazı ile karnalit flaksı ve azot gazı ile yapılan gaz giderme işlemlerinde kalıntı hidrojen miktarları.....	44
Tablo 5.9. Pyrotek FIF-50 tipi enjeksiyon cihazı kullanılarak azot gazı ile yapılan gaz giderme işlemlerinde örtü flaksı ilaveli deneylerde kalıntı hidrojen miktarları.....	44
Tablo 5.10. Değişik gaz giderme yöntemlerinde metalde kalan magnezyum ve sodyum miktarları.....	45
Tablo 5.11. Üç gaz giderme yönteminde ulaşılan nihai hidrojen kalıntı ve ametal/mm ² miktarları.....	45

ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARININ DÖKÜMÜNDE RAFİNASYON YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

ÖZET

Bu çalışmada çeşitli alüminyum alaşımlarının ergitilmesinde en önemli problemlerden biri olan çözünmüş hidrojen gazının giderilmesi deneysel olarak incelenmiştir. Ölçümler Bulgaristan'ın Şumen Şehrinde kurulu Alcomet-Plc unvanlı alüminyum tesislerinde endüstriyel boyutta gerçekleştirilmiştir. İncelenen alüminyum alaşım serileri 8006, 8011A, 1050A ve 3105 normundaki metal alaşımlarıdır. Bu alaşımlarının ergitilmesi ve dökümü sırasında hegzakloretan tabletleri ile %90azot+%10 klor karışımları ile ve otomatik flaks beslemeli gaz enjeksiyon cihazı ile gaz giderme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Gaz gidermeden sonra alınan metal numunelerinde kalıntı hidrojen, empürite miktarı, inklüzyon seviyesi kimyasal ve fiziksel karakterizasyon yöntemleri ile saptanmıştır. Numunelerin metalografik olarak karşılaştırılması da yapılan deneysel çalışmalar arasındadır.

Bu kapsamda uygulanan deneylerin sonuçlarına göre uygulanan her üç gaz giderme yönteminde de kalıntı hidrojen miktarı 0,2ppm ile kabul edilebilir sınırlara kadar düşürülebilmektedir. Ancak bu üç yöntemden enjeksiyon cihazı ile gaz gidermenin en iyi metal kalitesini verdiği alaşımda kalan empürite ve inklüzyon miktarlarının ölçülmesi ile ortaya konulmuştur. Metalografik incelemelerde söz konusu gaz giderme yönteminin en olumlu sonuçları verdiğini kanıtlamıştır. Bu çalışmada gaz giderme sonunda kalan hidrojen miktarının alaşımdaki mangan miktarı ile ters orantılı olarak değiştiğinin tespiti önemli bir deneysel sonuçtur.

COMPARISON OF REFINING METHODS USED FOR MOLTEN ALUMINUM AND ALLOYS IN CASTING

SUMMARY

In this study, the dehydrogenization of dissolved hydrogen in aluminum alloys during melting was investigated experimentally which causes one of the important problems in the process. The measurements were made in Alcomet-Plc aluminum industrial estates in Shoumen Bulgaria. The investigations were carried out with 8006, 8011A, 1050A, 3105 series of aluminum alloys. During melting and casting operations of the alloys, hexachlorethane tablets, %90 nitrogen+%10 chlorine gas mixtures and automated flux feeding and gas injection apparatus were used for degassing. After degassing the amount of impurities, hydrogen contamination and inclusion levels in the metal samples were determined by chemical and physical characterization methods. Metallographic comparisons of samples were also achieved in this study.

According to the results of this study, an acceptable level of 0,2ppm hydrogen was achieved in all three methods used. But it was understood by the inclusion and impurity measurements that gas injection system gave the best metal quality. By the investigation of the metallographic samples this idea was proved. There was a negative correlation between the amount of hydrogen left after degassing and the amount of manganese in the alloy and this finding was considered as an important result of this research.

1. GİRİŞ ve AMAÇ

Günümüzde alüminyum önemli demir dışı metallerden biri haline gelmiştir ve halen bu metaller arasında en yenisidir. Ağırlık/mukavemet oranının iyi olması, özellikle otomotiv, uçak-uzay sanayinin daha düşük işletme maliyetleri ve emisyon kaygılarından dolayı daha hafif malzemelere olan ihtiyacı, bu sektörlerin alüminyuma olan talebini artırmaktadır. Gıda ve ilaçların çevre etkenlerden korunması için ışık ve hava geçirmeyen bir malzeme olması özellikle hızla gelişen gıda sektöründe alüminyum folyo ürünlere olan ihtiyacı artırmıştır. Bunların sonucu olarak özellikle 1980 sonrası alüminyumun talebinde artış olmuştur. 2000li yıllarda 25 milyon tonluk birincil üretim miktarı ile demir dışı metaller içinde en çok üretileni ve kullanılanıdır.

Alüminyum arz ve talebini oluşturan lider sektörlerin bu talep artışına paralellikle artan bir kalite ihtiyacı da olmuştur. Bunun alüminyum sektörüne yansımaları folyo stoklarının daha ince haddelenmesi, levha ve plakaların daha ince ancak daha fazla mukavemet işlemlerinden geçirilmesine sebep olmuştur. Ekstrüzyon işlemleri ile daha dayanıklı ve kaynaklız profil ve boru üretilebilmesi alüminyumun bazı alanlarda çeliğe alternatif olması sonucunu doğurmuştur.

Artan kalite taleplerinin alüminyum sektöründe karşılanabilmesinin temelinde alüminyum dökümünde daha az metal olmayan parça ve gaz içeriği daha düşük ve kimi durumlarda safsızlık olarak nitelenebilecek metallerin kontrol altında tutulabilmesi gerekliliğini ortaya çıkarmıştır.

Yapılan bu çalışma ile endüstriyel anlamda kullanılan alüminyum alaşımlarında gaz temizleme yöntemleri karşılaştırılmış ve daha temiz metal üretimini sağlayabilen ve üretim maliyetlerini en az seviyede tutabilecek gaz giderme yöntemi deneysel olarak araştırılmıştır. Metalden gaz gidermede kullanılan üç yöntem tablet ilavesi, lans ile azot+klor karışımının üflenmesi ve gaz enjeksiyon cihazlarının kullanılmasıdır. Bu üç metodun etkileri ulaşılan nihai hidrojen miktarları kalan empürite oranları, inklüzyon seviyeleri ve de metalografik görünüş açısından mukayeseli olarak

ölçülmüştür. Yapılan deneysel çalışmalar kimyasal ve fiziksel açıdan optimal gaz verme sisteminin tespiti ve en iyi metal kalitesinin yakalama amacına yöneliktir. Deneyler endüstriyel ölçekli fırın ve araçlarla yapılmıştır. Böylelikle endüstriyel kullanımlara yönelik sonuçlar elde edilmeye çalışılmıştır.

2. ALÜMİNYUM ve METALİN ÜRETİMİ

Alüminyum yer kabuğunda en çok bulunan metalik elementtir (ortalama %8,13). Genellikle başka elementlerle bileşik halde bulunmasına rağmen çok nadiren saf halde de bulunur. Alüminyum oksijen, silisyum, alkali ve toprak-alkali metaller, flor, hidroksitler, sülfatlar ve fosfatlar ile bileşikler halindedir.

Alüminyum içeren mineraller oldukça kararlıdır ve bunlardan metal üretimi için çok yoğun enerji ve yüksek sıcaklıklara ihtiyaç vardır. Bu sebeple metal olarak yaygın kullanımı yakın zaman önce başlamıştır. 1827’de Friedrich Wöhler susuz alüminyum klorürü potasyum ile indirgeyerek ilk metal alüminyumunu üretmiştir.

Günümüzde endüstriyel boyutta birincil alüminyum üretimi için kullanılan yöntem Bayer + Hall-Heroult prosesleridir. 1886 yılına dek kriyolitın alüminayı çözücü etkisi keşfedilmiş ve karbon elektrotların kullanımı başlamıştır. İlk uygulanabilir elektrolitik proses 1886’da birbirinden bağımsız olarak Ohio Oberlin A.B.D.de Charles Martin Hall ve Gentilly Fransa’da Paul T. Heraoult tarafından bulunmuştur. Buluşun hemen 3 yıl ardından Avrupa ve Amerika’da endüstriyel boyutlu üretim adımları atılmıştır. Kasım 1888’de ilk endüstriyel çaplı alüminyum üretimi denemesi Hall ve arkadaşları tarafından alüminanın indirgenmesi ile daha sonradan Alüminum Company of Amerika(Amerikan Alüminyum Fabrikaları, ALCOA) olacak firma tarafından üretilmiştir.

2.1. Hammaddeler

Haziran 1887’de Avusturyalı kimyager Karl Josef Bayer tarafından boksitten alüminyum oksit üretimini iyileştiren çalışmalar yapılmış ve bu çalışmalarına yönelik patent almıştır. Boksit ilk olarak P.Berthier tarafından keşif edilmiş ve keşif edildiği yer olan Fransa’daki kasaba Les Baux’tan adını almıştır. Genellikle bulunabilir bir cevher olan boksitten prosesin geliştirilmesi alüminyum endüstrisinde hızla yerini bularak Kuzey Amerika ve Avrupa’da yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. Önemli mineralleri hidralgilit ve böhmit halindeki boksitler, alümit ve killerdir.

2.2. Karbon

Alüminyumun elektrometalurjik kazanımında alüminanın indirgenmesi için gerekli enerjinin bir kısmı elektrikten bir kısmı ise karbon anotların tüketiminden sağlanır. Karbon ayrıca katot yapımında da kullanılır. Üretilen her kilogram alüminyum için 0,4-0,5 kg anot tüketilmesi en büyük karbon ihtiyacını doğurur. Karbondan gelen külün elektrolit banyoyu kirletmesinden dolayı yüksek saflıktaki karbon her zaman tercih edilir. Vanadyum gibi safsızlıklar karbonun hava ile yanma reaksiyonunu katalizleyeceğinden istenmez. Fosfor gibi diğer safsızlıklar, çevrimli bir redoks reaksiyonuna girerek elektrik akımının aşırı tüketilmesine sebep olurlar. Petrol rafinasyonunda açığa çıkan kok oldukça saf olması sebebi ile uygun bir kaynaktır. 500°C sıcaklıkta üretilen kok daha sonra de uçuculardan arındırılmak için kalsine edilir. Kalsinasyon sonrası öğütülen kok, parçalanmış eski anotlar ve katran ile karıştırılıp preslenerek anot kalıplarına dökülür. 1000-1200°C pişirilerek hücre içinde kullanıma hazır hale getirilir [1]. Söderberg tipleri en yaygın kullanılan anot türleridir.

Antrasit hücre katotlarının metalurjik kok ve grafit ile temel hammaddesidir. 1200°C kalsine edilen antrasit, öğütölüp kömür-katran karışımı ile karıştırılıp, bloklar halinde dökölür. Bu bloklar birleştirilerek elektrolitik ve sıvı alüminyum tutan kap halini alırlar. Anotlarda olduğu gibi yüksek saflık katotta aranan bir özellik değildir [1].

2.3. Alüminyum oksit

Alümina için temel kullanım alanı alüminyum endüstrisidir. Dünya alümina üretiminin % 92'si alüminyum üretiminde kullanılır. Bu sebeple alümina endüstrisi için ticari metalurjik alüminanın özellikleri büyük önem taşır. Alüminanın özelliklerindeki değişim enerji maliyetlerini, hücre tasarımını, çevre düzenlemelerini ve fabrika çalışma koşullarını etkiler. Genellikle ince taneli yüksek oranda kalsine edilmiş “unsu” alümina ile daha yüksek saflığa sahip kaba taneli “kumsu” alümina arasında değişen farklı alümina üretimleri vardır [1]. Bayer prosesi ile basınçlı liç ve elde edilen NaAlO_2 çözeltisinin hidrolizi ile elde edilen alüminyum hidro oksit alümina için başlangıç ürünüdür. Metal üretimi için alüminada tercih edilen özellikler 1110° C kalsinasyon sıcaklığında oluşması % 80'inin 0,04 mm altında olması ve 40 m²/g yüzey alanıdır.

2.4. Elektrolitik Hammaddeler

Alüminyumun elektrometalurjik kazanımı için kullanılan elektrolit, temelde kriyolit içinde çözünen alüminadır. Kriyolit saflığı alüminanın çözünmesi için önem taşır. Genellikle elektrolitin % 75'ini kriyolit oluşturur. % 4-8 kalsiyum florür, % 5-15 alüminyum florür, % 1-6 alümina ve bazı durumlarda % 0-5 lityum florür ve % 0-5 magnezyum florür elektrolite ilave edilir. Bu katkılarla çalışma sıcaklığının azaltılması, akım veriminin artırılması ve bazı kimyasal iyileştirmeler hedeflenir [1].

Kriyolit; stokiyometrik olarak Na_3AlF_6 formülüne yakın ve ergime sıcaklığı 1010°C olan bir mineraldir. İlk olarak Grönland'te bulunmuş ve 20. yüzyılın başlarında madenciliği yapılmış ve kısa sürede doğal olarak tükenmiştir. Günümüzde hidroflorik asidin alkali sodyum alüminat çözeltisi ile reaksiyonu sonucu yapay olarak üretilmektedir [1].

Kullanılmış elektroliz hücre duvarlarına yapışmış çökeleklerin öğütülmesi, sodyum hidroksit ile çözömlendirilmesi ve çözeltinin karbon dioksit ile reaksiyonu ile kriyolit çöktürülerek geri kazanılabilmektedir. [1]

Kriyolit elektroliz hücrelerine doğrudan alüminyum flüorür eklenmesi ve bunun alümina içindeki empürite halindeki soda ile reaksiyona girmesi ile doğrudan üretilir. Reaksiyon aşağıdaki gibidir. [1]

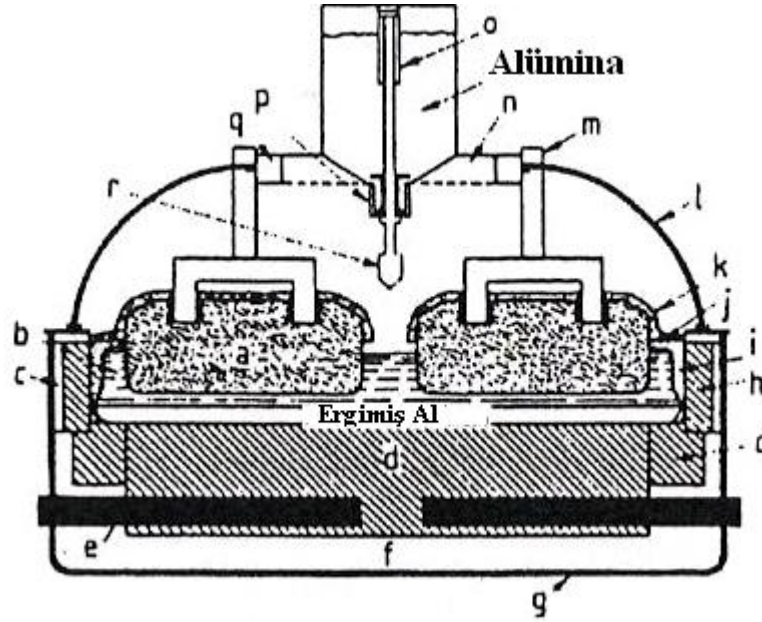


Reaksiyon sonucu açığa çıkan kriyolit belirli aralıklarla hücreden toplanmaktadır.

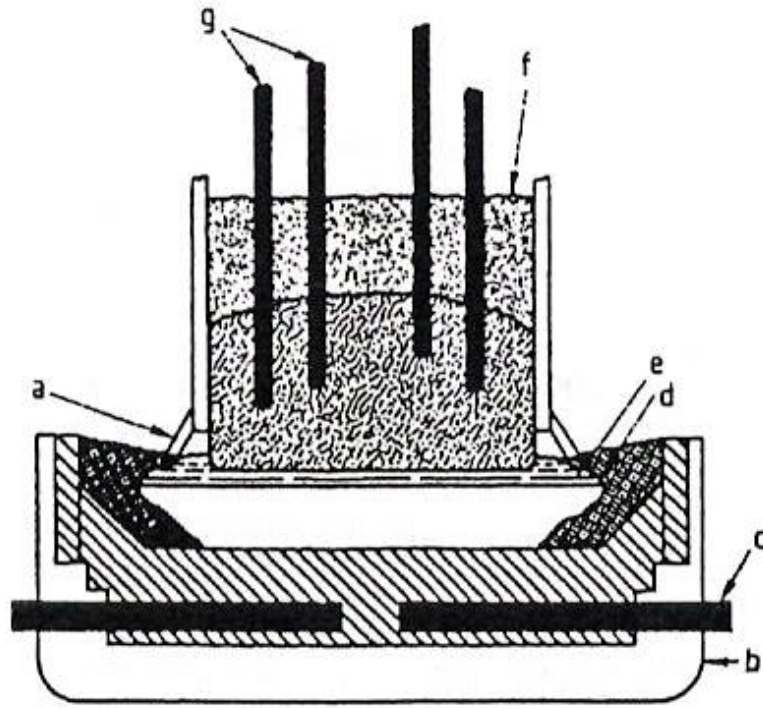
2.5. Üretim Metotları

Günümüzdeki tek endüstriyel üretim metodu olan Hall-Heroult hücresinin iki tipi mevcuttur. Ön pişirmeli karbon anot ve kendiliğinden pişen Söderberg anot kullanan tipleri vardır. Pişmiş anotlu hücrelerin kriyolit bazlı elektrolitlerine yüksek saflıktaki alümina beslenir. Elektrik akımı ile elektrolitin altında toplanarak hücrenin alt kısmındaki karbon tabanın üstünde birikerek alüminyum havuzu oluşturur. Alüminanın yapısındaki oksijen anotta yanarak uzaklaşır. Hücreler 9-14 m uzunluğunda, 3-5 m genişliğinde ve 1-2 m yüksekliğindedir. Isı kayıplarını önlemek için karbon taban ısı izolasyona sahiptir. Ergimiş alüminyumun ve tuzların korozyon etkisine en dayanıklı olabilecek malzemelerden biri olan grafitin bile ömrü sınırlıdır

ve duvarlarda izolasyon ayarlanarak tuzların katı kalması sağlanır ve refrakter ömrü artırılmaya çalışılır. Öte yandan tabanda iyi elektrik iletkenliği için tuzların sıvı olması şarttır. Katoda elektrik iletimi çelik barlar aracılığı ile yapılır. Bu barlar özel işlenerek termal genleşmelerle elektrik iletiminin etkilenmemesi sağlanır [1].



Şekil 2.1 : Ön pişirilmiş anotlu elektroliz hücresi a) karbon anot, b) elektrolit, c) izolasyon, d) karbon döşeme, e) akım toplama baraları, f) termal izolasyon, g) çelik kasa, h) karbon blok, ı) L blok, j) kabuk, k) Alümina örtü, l) açılabilir kapak, m) anot çubuklar, n) duman toplama, o) hava silindiri, p) besleyici, q) akım sağlayıcı, r) kabuk kırıcı [1]



Şekil 2.2 : Söderberg anotlu elektroliz hücresi a) Manifold gazı, b) çelik kasa, c) akım toplayıcı baralar, d) donmuş köşeler, e) ergimiş elektrolit, f) kok ve katran pastası, g) akım sağlayıcı çubuklar [1]

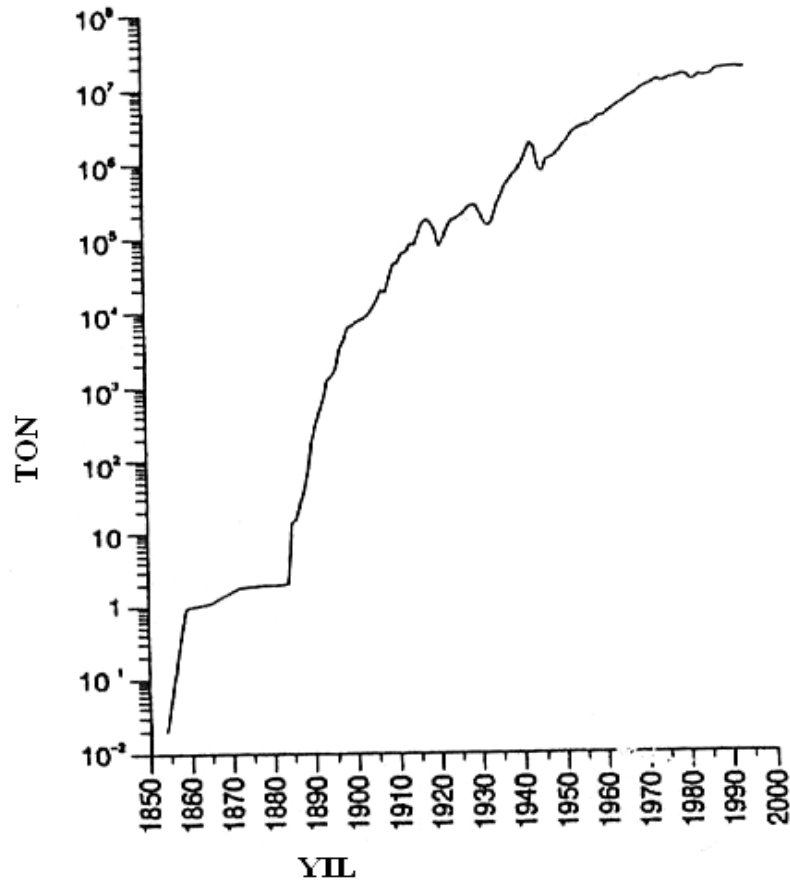
Söderberg anodu petrol koku, kömür-katran ön karışımı içeren bir pasta halindedir. Bu karışım 6-8m uzunluğunda, 2m genişliğinde ve 1m yüksekliğindeki çelik kutunun içine beslenir. Elektrik akımı ve elektrolitten açığa çıkan ısı anodu pişirir ve anot kutunun altına doğru hareket eder ve elektrolitle temas ederek harcanan anodun yerini alır. Söderberg anotların elektrik dirençleri ön pişirmeli anotlardan % 30 daha fazladır. Elektrik veriminin düşük olması, çıkan gazların toplanması ve değerlendirilmesindeki güçlüklerden dolayı Söderberg anotların yerine dünyada ön pişirmeli anotlara doğru bir geçiş vardır [1].

Alüminyum ergimiş tuz elektrolizindeki teknik datalar ortalama 4,2 V hücre gerilimi, 150 kA akım şiddeti ve 955°C hücre sıcaklığıdır. Elektrolizde akım randımanı % 88 harcanan enerji ise 14,55 kWh/kg alüminyumdur.

2.6. Alüminyum Metalinin Önemli Özellikleri

Alüminyum yüksek mukavemet/ağırlık oranı, görünümü, korozyon dayanımı, işlenebilirliği ve diğer arzulanan fiziksel özellikleri sebebi ile dünyada pek çok

sanayi kolunda yer bulmuştur. Ulaşım araçları, yapı malzemeleri ve gıda paketlenmesi bu metalin önemli kullanım alanlarıdır.



Şekil 2.3 : Yıllara Göre Dünya Birincil Alüminyum Üretimi [1]

Şekil 2.3te de görülebileceği gibi dünya alüminyum üretiminde sürekli bir artış görülmektedir. Alüminyum talebini yönlendiren sektörler genellikle otomotiv, uçak-uzay sektörleridir. Bu sektörlerin özellikle alüminyum döküm ve yassı mamul ihtiyaçları üst düzeydedir. Bu sebeple son yıllarda arz ve talep dengeleri değişmiştir.

Özellikle sosyalist rejimlerin çöküşü ve bu ülkelerin demokrasiye geçiş sürecinde likidite sıkıntıları sebebi ile 1990 sonrası alüminyum arzı 6 milyon tonlara kadar ulaşmıştır. 1994 yılında 6 büyük alüminyum üreticisi ülkenin vardıkları arzı kısma antlaşması sonucunda günümüze kadar genelde sabit bir arz oluşmuştur. Ancak artan talebin sonucu alüminyuma olan talebin arzın üzerine çıkacağı tahmin edilmektedir.

Tablo 2.1 : Alüminyumun Mekanik Özellikleri [1]

% Saflık	Çekme Mukavemeti(MPa)	% Uzama (50mm)
99,99	45	50
99,8	60	45
99,6	70	43

Alüminyumun saflık seviyesi arttıkça uzama kabiliyeti artarken saflık düzeyi düştükçe uzaması azalır. Bunun yanında mukavemet oranı artar. Bu sebeple düşük miktarlardaki alaşım elementleri bile (Mn, Fe, Si, Mg) alüminyumun mekanik mukavemet özelliklerini doğrudan etkiler.

Alüminyum alaşımları ve kullanım alanları aşağıdaki gibi tablolanaabilir;

Tablo 2.2 : Alüminyum alaşımlarının Kodlanması [2]

Alaşım içeriği ve Temel Alaşım Elementi	Alaşım Serisi	Uygulama Alanı
Min. %99 Alüminyum	1XXX	Folyo, Litografik Levha
Cu	2XXX	Uçak Uzay
Mn	3XXX	Yiyecek kapları, Yapı levhaları,
Si	4XXX	Sırlama, örtüleme Levhaları
Mg	5XXX	Otomotiv, Yiyecek kapları
Mg ve Si	6XXX	Otomotiv
Zn	7XXX	Uçak Uzay, İzolasyon
Fe, Si	8XXX	Folyo(Fe), Uçak Uzay(Li)

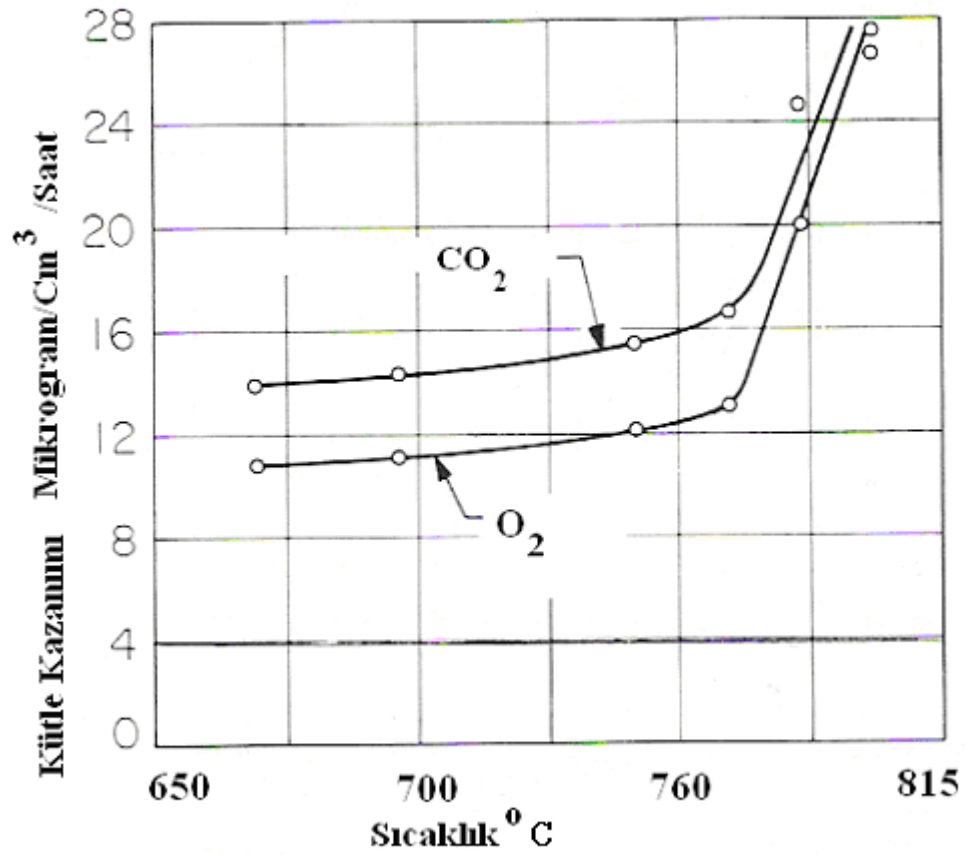
Tablo 2.3 : Alüminyumun Fiziksel Özellikleri[1]

<i>Ergime Noktası</i>	$660,5^{\circ} C$
<i>Buharlaşıma noktası</i>	$2494^{\circ} C$
<i>Isıl kapasitesi</i>	$0,9Jg^{-1}K^{-1}$
<i>Yoğunluk (katı) $700^{\circ} C$</i>	$2699kg/m^3$
<i>Yoğunluk (sıvı) $700^{\circ} C$</i>	$2357 kg/m^3$
<i>Yoğunluk (sıvı) $900^{\circ} C$</i>	$2304 kg/m^3$
<i>Latis Sabiti ($25^{\circ}C$)</i>	$4,0496*10^{-10}m$
<i>Genleşme katsayısı ($20^{\circ}C$)</i>	$23*10^{-6}K^{-1}$
<i>Isıl iletkenlik ($25^{\circ}C$)</i>	$2,37Wcm^{-1}K^{-1}$
<i>Elektriksel Direnç</i>	$2,655*10^{-8}\Omega m$
<i>Yüzey gerilimi(ergime noktasında)</i>	$8,68*10^{-3}N/cm$
<i>Viskozite(ergime noktasında)</i>	$0,0012Pa$

2.7. Alüminyumun Oksidasyonu

Alüminyum ticari metaller arasında en reaktiflerinden birisi olmasına rağmen, pek çok oksitleyici ortamda kararlı kalmaktadır. Oksijen, su ve diğer oksidatif ortamlarda alüminyum yüzeyinde hızlı bir şekilde oluşan koruyucu oksit tabaka bu kararlılığı alüminyuma kazandırmaktadır. Oluşan oksidin moleküler hacmi oksitlenme için harcanan alüminyumun 1,3 katı fazladır. Bu sebeple yüzey katmanı belirli bir gerilim altındadır ve hasar görmesi durumunda hızlıca kendini düzeltme eğilimindedir. Kuru oksijen olan ortamda yüzey katmanı sıcaklığın bir fonksiyonu olan limit bir kalınlığa ulaşır. Oda sıcaklığında bu kalınlık 2,5-3nm dir[1].

Film kalınlığı ortamda bulunan su buharının da bir fonksiyonudur. Oda sıcaklığında ve %100 bağıl nemde, aynı sıcaklıktaki kuru oksijenden 2 kat fazla oksidasyon olur. Daha yüksek sıcaklıklarda ve alaşımlanmış alüminyumda (özellikle bakır ve magnezyum içeren alaşımlarda) daha karmaşık filmler oluşur. Bu durumda oksit tabaka kalınlığının açıklanması basit zaman fonksiyonları ile tanımlanamaz[1].



Şekil 2.4 : Sıcaklığın Alüminyum Oksidasyonuna Etkisi[2].

2.8. Alüminyumun Yüksek Sıcaklık Reaksiyonları

Ergimiş alüminyum oksijen içeren pek çok bileşiği indirgeyebilme özelliğine sahiptir. Bu reaksiyonlar sayesinde bazı metaller oksitlerinden indirgenerek üretilir. Alüminyum, silikatları ve kısmen camları indirgeyebilir ve bu reaksiyonların gerçekleşmesi için gerekli sıcaklık alüminyumun ergime noktasının çok altındadır.

3. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARIN DÖKÜMÜ

3.1. Ergimiş Alüminyumun Fiziksel ve Kimyasal Karakteristiği

Alüminyum banyolarının genel karakteristikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir[3]

- Oksijen, nem ve diğer oksitleyici malzemelerle dros oluşur ve ergimiş metal içinde oluşan dros zor ayrılabilir bir karışım meydana getirir.
- Ergimiş metal çevresinden H_2 absorplar ve bu dökümden sonra metal içinde porositelere sebep olur.
- Ergimiş alüminyumun düşük yoğunluğa sahip olması nedeni ile döküm sırasında kalıba düşük hidrostatik basınç yapması ve soğuma sırasında çekme ile birleşerek kalıpta boşluklar oluşmasına neden olur.
- Döküm veya yolluklarda metalin boşaltılması sırasında ergimiş alüminyum banyolarının üst yüzeylerinde ile yırtılma olmadıkça, gaz absorpsiyonunu veya dros oluşumunu engelleyen bir oksit tabakası oluşur.
- Alüminyumun ergitildiği pek çok fırın tuğlaları yüksek alümina esaslıdır. Bu nedenle alüminyum, üretimden kaynaklanan kriyolit veya flor tuzlarını az miktarda içerse bile ergitme sırasında alüminyum ile refrakterler arasında hasar verici reaksiyonlar meydana gelebilir.

3.2. Ergimiş Metalin Flakslanması

Günümüzde dökümhane işletmeleri metallerdeki fiziksel ve mekanik özelliklerden emin olmak için daha fazla flakslama işlemi kullanmaktadır. İşletmelerin döküm harcamalarını azaltmak ve döküm kalitesini artırmak için ticari olarak pek çok flaks piyasada bulunmaktadır.

Flakslar temelde sodyum ve potasyum klorür tuzları ve düşük oranlarda florür tuzları (%3-5 civarı kriyolit) içerir. Bu tip flakslar şarjla fırına eklenerek safsızlıkları topaklandırır (aglomere eder), oksitleri absorbe eder ve ince malzemelerin ergimesi sırasında koruyucu olarak çalışır. Operasyon şartlarına bağlı olarak bu tip flakslar

metal kazanımını artırdığı için işletmeler tarafından sıkça kullanılır. Ancak tuz flaksların, Mg içeriği yüksek alaşımların ergitilmesindeki etkinlikleri sınırlıdır. Atmosferle flaks ara yüzeyi arasında spinel ($MgAl_2O_4$). Oluşum görülür. Bu oluşum viskoziteyi ve yoğunluğu artırır. Flaksın ıslanma kabiliyetini azaltır. Bu da oksidasyonu artırarak metal kazanımını azaltır. Daha yüksek flor tuzu (kriyolit) içeriği ile bu durum engellenebilir. [3]

Genel olarak kullanılan flakslar 4 sınıfa ayrılabilir

1. Örtü flakslar, oksitlenme ile oluşan drosu azaltmaya ve yüzeyden gaz kapmaya engel olmak için kullanılan flakslardır.
2. Temizleme flaksları, kati haldeki metal olmayan parçaları gidermek için kullanılan flakslardır.
3. Gaz giderme flaksları, absorplanmış olan gazları (özellikle hidrojen) gidermeye yarayan flakslardır
4. Dros giderme flaksları, drostan metali kazanmaya yönelik kullanılan flakslardır.

Diğer özel flakslar empürite giderici, alaşımlama yapıcı ve tane boyutu ayarlayıcı olabilir.

Genel bir flaks formülasyonu yoktur. Flaks seçiminde pek çok değişken göz önünde tutulmalıdır. Metalin kullanım amacı ve alaşım elementleri flaksın içeriğini belirler. Oksidasyon oranlarının farklı olması sebebi ile bir alüminyum alaşımı için uygun olan flaks bir diğeri için uygun olmayabilir. Ergime ve döküm sıcaklıkları da flaks içeriğini etkiler. [3]

3.3. Örtü Flakslar

Gaz absorpsiyonu ve metal oksidasyonunu azaltmak için örtü oluşturan flakslar kullanılır. Klorür karışımları makul maliyetli ve etkili örtü flakslarıdır. [3]

Örtü flaksları çözücü etkilerinden daha çok yüzey gerilimi ayarlayıcısı olarak etkindirler. Oksitlerin ve safsızlık filmlerinin cüruflaşmasını sağlarlar ve böylelikle örtü tabakasını kalınlaştırırlar. %85 NaCl ve %15 $CaCl_2$ içeren kuru flaks tipik bir örtü flaksıdır. Diğer tip örtü flaksları genellikle kriyolit içerirler. Genellikle %85 NaCl + %15 Na_3AlF_6 , %60 NaCl + %15 Na_3AlF_6 + %25 KCl veya %35 NaCl +

$\%50\text{Na}_3\text{AlF}_6 + \%15\text{Na}_2\text{CO}_3$ gibi bileşimlere sahiptirler. Kriyolitın çözünme gücü fazladır. Çözünen kriyolit oksit filmleri kaplayarak drosa çeker. Bu etki uygulamalarda bazen parçalanarak NaF ve uçucu SiF_4 oluşturan sodyum silikoflorürün etkisi ile birleştirilir. [3]

Örtü flaksları belirli bir temizleme etkisi sağlamakla birlikte etkin temizleyici değillerdir. Islatma kapasiteleri yoktur ve süspansiyon halindeki metal olmayan parçacıkları tutma özellikleri yoktur. Ancak yeterli miktar ve zaman olduğunda bu parçacıkları bir araya getirme özellikleri vardır. [3]

Örtü flakslarının yüksek ergitme kaybına sebep olduğu yönünde görüşler vardır. Bu görüş doğru olmakla birlikte kayıplarda flaksın viskozitesi, ergime noktası ve fırın atmosferi oldukça belirleyicidir. Eğer şartlar doğru ve flaks yeterli özelliklere sahipse metal kaybı önemsiz hale gelir. [3]

Sıvı flakslar bazı zamanlar kirli metal ile belirli süreler temas ettiğinde (reverber alüminyum fırınlarında olabileceği gibi) dros kalınlaşması oluşabilir. Oluşan drosun alüminyum tutma özelliği artar. [3]

Bu gibi durumlarda ikinci bir flaks kullanılarak ekzotermik bir reaksiyon ile kati fazdaki metali tekrar kazanma yoluna gidilebilir. Aynı zamanda toz şeklindeki dross sıyrılabilir. [3]

Hidrokopik olmayan tuz flakslar ergitme sırasında veya sonunda drosdaki metali tekrar kazanmak için sıklıkla kullanılırlar. Tuz flakslar genellikle halid karışımlardır. Tipik bir tuz flaks potasyum klorür, sodyum klorür ve $\%5-10$ arası kriyolit (Na_3AlF_6) veya sodyum florür içerir. Bu tür flakslar dros giderici flakslar olarak adlandırılır. [3]

3.4. Temizleme Flaksları

Koruyucu yüzey oluşturmak kadar temizliğin de önemli olduğu durumlarda florürler genellikle örtü flakslara eklenir. Bu şekilde sıvı bir flaks oluşturulur, bu flaksın güçlü bir temizleme etkisi vardır. Florürler süspansiyon halindeki parçacıkları ve oksit tabakasının parçalarını ıslatarak yüzeye çıkartırlar. [3]

Florürleri kullanılarak reverber fırınları ve potalardan yüksek kalitede metal elde etmek mümkündür. [3]

C_2Cl_6 , K_2TiF_6 ve KBF_4 ve bunları destekleyen tuzlar oksitleri çözümlmek için dökümhane uygulamalarında sıkça kullanılırlar. Bu tuzlara bir örnek, %70 C_2Cl_6 ve %30 KBF_4 dür. Al-Mg alaşımları için flakslar $MgCl_2$ ve KCl temelli ve sıvı olmalıdır. [3]

3.5. Gaz giderici flakslar

Tablet veya flaks ile gaz gidermede katı haldeki tablet ergimiş metale ilave edilerek köpüren gaz meydana getirilir. Tabletler delikli bir çan ile ergimiş metale batırıldığında sıcaklıkla dekompoze olarak gaz baloncukları oluşturacak kimyasal yapıya sahiptir. Tabletlerin son derece hızlı dekompoze olması ve gerekli temizliğin sağlanması için defalarca işlemin tekrarlanması sebebi ile gaz gidermede en kontrolsüz yöntemdir [3].

Pek çok gaz giderici kimyasallar klor üretecek bileşiklerdir. En çok kullanılan katı gaz giderici hegzakloretoandır (C_2Cl_6). Tüm katı flakslar gibi bu malzemeler de higroskopiktir ve kuru bir atmosferde saklanmalıdır aksi takdirde nem kaparak hidrojen giderme yerine hidrojen kaynağı haline gelirler [3].

Gaz giderici toz flakslar inert bir gaz ile flote edilip ergimiş metale verilebilirler. Bu tip flakslar metal yüzeyine çıkana kadar süspansiyon halindeki parçaları yüzeye çekip temizliğe etkin bir biçimde yardımcı olurlar. Ayrıca bir enjeksiyon sırasında gaz giderip, temizlik yapan ve tane incelten flakslar da mevcuttur [3].

3.6. Dross Giderme Flaksları

Çoğunlukla ergitme fırınının ve ergitilen alaşımın özellikleri örtü veya temizlik flakslarının kullanılmasını gereksiz kılabilmektedir. Ancak fırındaki metalin boşaltılmadan önce dross azaltıcı flakslar ile işlenmesi metal kayıplarının azaltılması açısından çok önemlidir [3].

Dross azaltıcı flakslar metal boşaltma drossları ile temas ettiklerinde ekzotermik reaksiyon veren flakslardır. Bu flakslar metal yüzeyindeki kek halinde bulunan ve yarı kati dross ile reaksiyona girerler. Bunun sonucu drossa hapis olan metal serbest kalır ve böylelikle yapışkan haldeki dross ince toz haline gelerek kolay sıyrılabilir özellik kazanır. Dross azaltıcı flaksların uygun kullanımı ile drossdaki metal içeriği %85 gibi yüksek oranlardan %15'lere indirgenebilir [3].

Dros azaltıcı flaksların etkisi, dros içinde hapis olan -200 meshten daha ince boyuttaki alüminyum metal zerreciklerini oksitlemek ve ortaya çıkan ısı ile +200 meshten daha kaba olan alüminyum zerreciklerini ergiterek ergimiş metal bünyesine geri döndürmesidir. Bu etki de drosa sıkışan alüminyum zerreciklerinin %5'i oksitlenmekte %85 kadarı metal banyosuna geri dönmektedir [3].

3.7. Dross oluşumu

Ergimiş alüminyum fırın atmosferindeki gazlar ve su buharı ile reaksiyona girerek alüminyum oksit ve alüminyum nitrürden oluşan bir dross oluşturur. Drossun alüminyum ile yaklaşık aynı yoğunluğa sahip olması ve de ergimiş alüminyum tarafından ısıtılabilmesi drossun ergimiş metal içinden tam olarak ayrılmasına engel olur. [3]

Ergitme sırasında oluşan dross miktarı; ince veya kaba yüzeyli, okside olmuş olması, şarj edilen malzemedeki magnezyum oranına, metal yüzeyindeki oksit tabakasının artan bir türbülans ile yırtılmasına bağlıdır. Yüzeydeki temas eden gazların sıcaklığındaki artış ile dross miktarı artmaktadır. [3]

Hurda dönüşümü ile çalışan dökümhanelerde en büyük metal kayıpları metalin oksitlenmesi ile olur. Bu işletmelerde % 15-25 ağırlık kayıpları karşılaşılan durumlardır ve bu kayıp oranı hurda kalitesinden doğrudan etkilenir. [4]

Özellikle kullanılmış içecek kutularının geri dönüşümünde ergitilen metal ağırlığının %8-20'si bu şekilde kayıp olmaktadır. Bu tür kayıpları engellemek için ergitme şarjı öncesi bazı ön işlemler uygulanır. Bu işlemler aşağıdaki gibidir. [4]

- Mekanik parçalama ve ezme ile kutu içlerindeki cilalı bölgenin açığa çıkarılması
- Kaplama ve cilalardaki uçucu solventlerin 500°C de yakılarak giderilmesi
- Cilasız giderilmiş ve ince parçalara ayrılmış metalin ergitilmesi

3.8. Rafinasyon Teknikleri ve Karşılaştırılması

3.8.1. Metalik olmayan parçaların giderilmesi

Metal olmayan parçaların giderilmesi malzemenin mekanik özelliklerini etkileyeceğinden her zaman istenen bir uygulamadır. Bunun en önemli nedenlerinden

biri katılaşma sırasında hidrojen için çekirdeklenme sağlamasıdır [3]. Oksit filmlerinin kaynağı ergitme işlemi veya şarj edilen malzemenin yüzeyinden gelir. Oksit parçaların yoğunluğunun ergimiş metalinkine çok yakın olması, ergitme işleminin bu parçaların yüzeye çıkmayacağı kadar kısa sürede yapılması bu parçaların ergimiş metal içinde kalmasına sebep olur. Bu sebeple metal olmayan parçalar gaz flakslama, katı veya ergimiş tuz flakslama ya da filtrasyon ile giderilir.

Uygulanan metottan bağımsız olarak flaksların etkin olabilmesi için oksit ile teması gereklidir. İner gazların kullanımı durumunda oluşan drosun yaş olması inert gaz kullanımını sınırlandırmaktadır. Klor, katı ve sıvı flaks tuzların kullanımı durumunda metal ile metal olmayan parçacıklar arasındaki metalurjik bağlar kırılmaktadır. Metalik olmayan parçalar daha sonra yüzeye çıkmakta ağır olanlar ise tabana doğru çökmektedir. Yeterli süre beklendiğinde tabana doğru parçacık çökmesi tamamlanır. Bu kelme sırasında fırın veya potalardan yeni metal transferleri yapılacaksa bu aktarmaların çökme olayını bozmadan yapılması önemli bir gerekliliktir [2].

Döküm boşluğunu metal olmayan parçalardan ve oksit filmlerinden arındırmak için pek çok dökümhane işletmesi fiber süzgeçler kullanmaktadır. Bu tür fiber süzgeçler iri boyutlu safsızlıkları tutmakta başarılı olurken küçük boyutlu safsızlıklarda yetersiz kalmaktadır. Bu sebeple günümüzde sürekli filtreleme yapabilen poröz seramik filtreler daha etkin bir biçimde kullanılmaktadır [3].

Başka metal temizlik yöntemleri kullanılsa dahi hurda içerikli ergitmelerde filtrasyon işlemi sıklıkla kullanılan bir işlemdir. Filtrasyon yatak filtreler veya seramik köpük filtreler ile yapılabilir. Hurda metal kullanımının artması ile kirlilik oranı artacağından filtre ömürleri daha kısılabilir veya daha büyük filtreleme kapasiteleri gerekebilir. Metal filtrasyonunun başarısı genellikle filtre yüzey alanının ve filtre geçirgenliğinin seçimi ve bu seçimin döküm için gerekli debi ve ürün özelliklerini karşılaması ile değişkenlik gösterir. “Kirli” bir banyonun filtrasyonunda daha geçirgen bir filtre tercih edilmesi filtrede kek oluşumunu azaltacak ancak filtrasyon verimini düşürecektir [5].

Metalik olmayan parçaların giderilmesine ek olarak sıvı metal içinde elektro kazanım ve alaşımlama safhalarından gelen metalik kalıntılar bulunmaktadır. Bu metallerden sodyum, elektroliz hücrelerinden gelen kalıntı bir metaldir. Lityum ise elektroliz hücrelerinde akım verimini yükseltmek için kullanılırken alüminyum metaline

karışır. Kalsiyum ise genellikle alaşım elemanı olan silisyum'un eklenmesinden dolayı alüminyum metaline karışır [6].

3.8.2. Gaz Giderme

Yüksek kalitede döküm veya ingot elde edebilmek için ergitme ne kadar da uygun şartlarda yapılırsa da bir gaz giderme çalışması yapılmalıdır. Gaz giderme fırında yapılabileceği gibi bir başka ortama transfer sırasında da sürekli olarak yapılabilir. Fırınlarda gaz veya tuz flakslar kullanılabilir. Bu gazlar klor, azot, argon, helyum veya bu gazların klor ile karışımları olabilir. [6]

Pota ergitmelerinde tek bir lans aracılığı ile gaz giderme yapılabilirken, reverber fırınlarındaki gaz gidermelerde fırın duvarından veya tavanından birden fazla lans kullanılabilir. Ergimiş metalin gaz ile temasına her şartta dikkat edilmelidir. Lansların fırının ya da potanın en dibine kadar ulaştığından emin olunmalıdır. Böylelikle metalin en derin bölgelerine kadar gazın ulaşacağından emin olunulabilir [7].

Tuz flakslayıcılar hegzakloreten, alüminyum klorür ve susuz magnezyum klorürdür. Çünkü klorür de flakslayıcı olarak kullanılabilir ancak alaşımın çinko içeriğinin önemli olduğu durumlar da bu flaksın kullanılmasına dikkat edilmelidir [7].

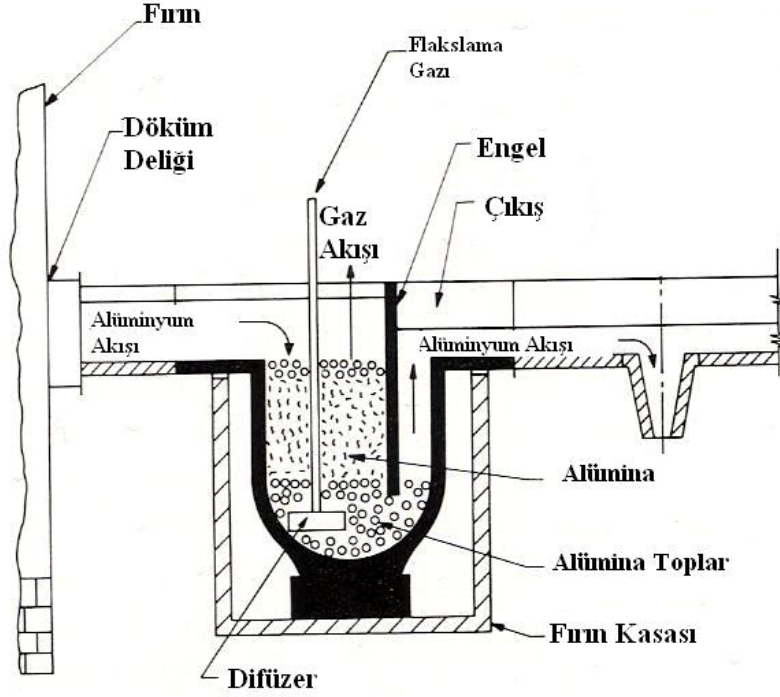
Hegzakloreten, çinko klorür ve klor alüminyum ile hemen reaksiyona girerek alüminyum klorür ve sistemde var ise magnezyum ile birleşerek magnezyum klorür oluştururlar. Bu reaksiyonlar son derece güçlü ekzotermik reaksiyonlardır. Bu sebeple özellikle uzun süreli flakslamalarda ortam sıcaklığının aşırı artmamasına dikkat edilmelidir. Alüminyum klorür ergime sıcaklıklarında gaz halindedir ve banyo içinde yüzeye yükselirken flaks davranışı gösterir. Magnezyum klorür metalin bulunduğu sıcaklığa bağlı olarak katı veya sıvı olabilir ve yüzeye doğru çıkarken flaks etkisine sahiptir. Titanyum ve borun klorlu tuzları da üstün flakslama kapasitesine sahiptirler. Ancak yüksek maliyetleri kullanımlarını kısıtlar [7].

Hidrojenin giderilmesi, yüzeye yükselen gaz kabarcıklarına difüze olması ile meydana gelir. İşlemin başarısı tamamen gaz kabarcıklarının boyutuna bağlıdır. Gaz giderme klor helyum ve argon, azottan daha etkindir. Bunun muhtemel sebebi azot kabarcığı içindeki nem ile ergimiş metal arasındaki reaksiyonun engelleyici bir film oluşturmasıdır [7].

Gaz gidermede sıvı metal içinde çözünen gaz miktarı gaz giderme yönteminden bağımsızdır. Bu miktar ergimiş metalin özelliklerine bağlı olarak bir dengeye ulaşarak sabit kalır. Pek çok sistemde bu değer 0,15 ile 0,2 ml H₂ / 100g Al dir [2-5,7,11].

Sürekli gaz giderme uygulamaları metal transferi sırasında uygulanabilmektedir. Sıvı metalin akış deliğinde ya da fırın ile tandış arasındaki bağlantılarda klor gazının uygulanması buna bir örnektir.[7]

Hidrojen gidermede bir başka yöntem de inert bir gaz ile flakslamadır. Şekil (3.1)te görüldüğü gibi alümina granüllerin bulunduğu bir yataktan alüminyum geçirilirken akış yönünün tersi yönde inert gaz yüzeye doğru çıkar. Hidrojen böylelikle etkili bir biçimde giderilmiş olur. Bu yöntemle hidrojen içeriği 0,1ml H₂ / 100g Al seviyelerine düşürülür. Vakum ile gaz giderme gerek demir-çelik gerekse renkli metallerde dikkate değer bir öneme sahipse de alüminyum için kullanımı yaygın değildir. Bunun sebepleri daha etkin gaz giderme yöntemlerinin alüminyumda var olması ve düşük basınçlarda alüminyum alaşım elementlerinin buharlaşmasıdır [7].



Şekil 3.1 : Filtrasyon ve Gaz ile Metal Temizliği Sağlayan Sistem [7]

Yapılan çalışmalarda saf alüminyumun sadece klor gazı ile muamele edilmesinin klor gazının ergimiş alüminyumda tutunamayarak yüzeye çıkmasına, böylelikle yüzeyde hidrojen klorür ve alüminyum oksit oluşumuna sebep oldukları kayıt edilmiştir. Öte yandan döner tip nozzle ile klor verilmesinin etkin olduğunu ve lans ile kor verilmesinde görülen etkinin görülmediğini de raporlanmıştır. Bir inert gaz verilmesi durumunda yukarıdaki etkiler beklenemeyeceğinden aktif florür ve inorganik klorür içeren flakslar azot gazı ile enjekte edilebilir. Ancak ergimiş metale uygulanan klor veya flaks enjeksiyonunda yüzeye tırmanma hızlıdır ve reaksiyon süreleri kısadır. Dolayısı ile bir inert gaz yardımı ile flaks enjeksiyonu verimsiz bir yöntemdir [8].

3.9. Alüminyum Alaşımlarında Hidrojen

Alüminyum içinde çözünürlüğü ölçülebilen tek gaz hidrojendir [1,2,3,4,5,7,9,11,12]. Yüzey merkezli kübik metallerin ve alaşımların genellikle hidrojen kırılgenlık etkisine daha duyarsız oldukları düşünölmektedir [9]. Gerçektende katı alüminyumda hidrojen çözünürlüğü oldukça azdır. Hidrojenin sıvı alüminyum ve alaşımlarına etkisi geçmişte yeterince dikkat çekmemiş, ancak 1970lerin ortalarından itibaren, hidrojenin fazla olması durumunda alüminyum alaşımlara olan etkileri fark edilmiştir. Günümüzde yüksek mukavemetli alüminyum alaşımlarında hidrojenin gerilimli korozyona yol açtığı kabul edilmektedir [9].

Sıvı metallerde de olduğu gibi her sıvı bazı şartlar altında gaz emebilir. Ergitme sırasında metal, hidrojen gibi istenmeyen gazlar ile çevrelenmiştir. Bu gazlar gerek yakıtlardan gerekse pota duvarlarından bile nüfus edebilmektedir. Ergimiş alüminyumda hidrojen gazi rahatlıkla ve hızlıca çözünür. Döküm sırasında soğuma nedeni ile gazların çözünmesi azalacağından fazla gaz yüzeyden kabarcıklar halinde çıkar [9].

Az bir miktar hidrojen atmosferden emilirken, hidrojenin temel kaynağı su buharıdır. Yanma gazları içinde % 18 civarında bulunan su buharı hidrojenin temel kaynağıdır [3].

H₂ aşağıdaki kimyasal reaksiyona göre su buharından açığa çıkar;



Alüminyum içindeki hidrojenin başlıca kaynakları aşağıdaki gibi sıralanabilir;[3]

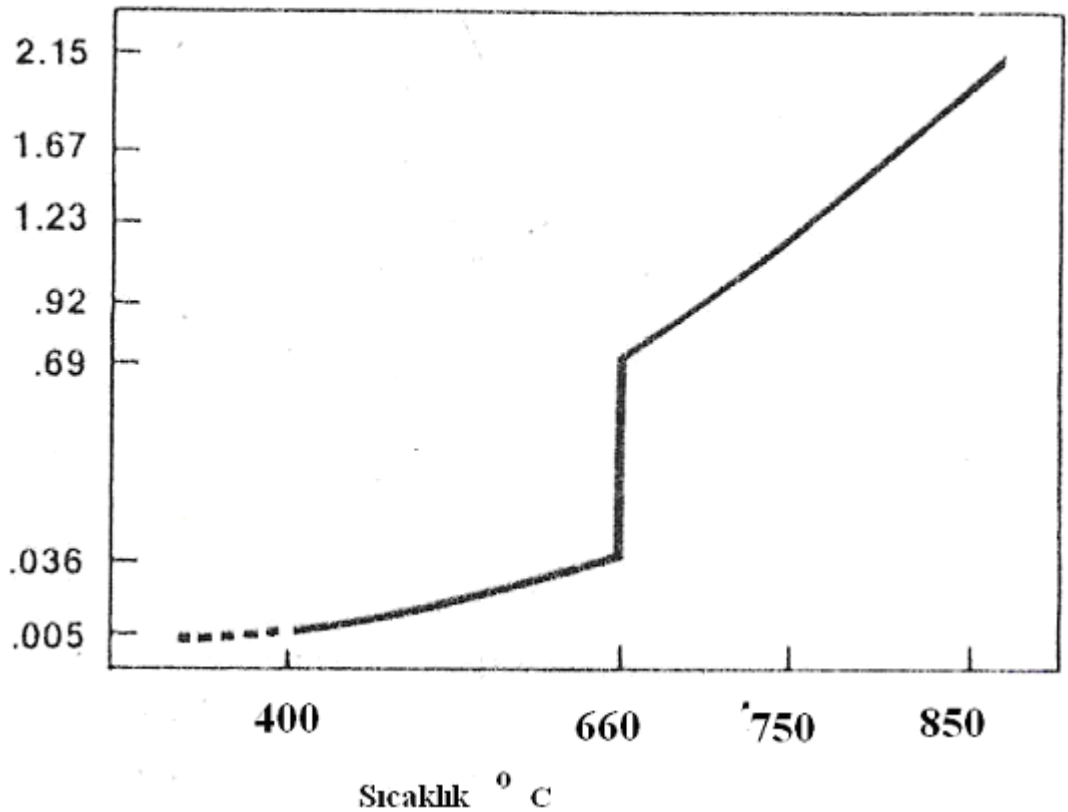
- Su buharı da içeren fırın atmosferi
- Refrakterlerdeki ve fırın ekipmanlarındaki nem
- Su ile ıslanmış ingot ya da hurda
- Yağ ile kaplanmış talaş ve hurdalar
- Rutubet içeren flakslar
- Alüminyum-silisyum alaşımlarının modifikasyonunda kullanılan yağ ve hidroksit kaplı metalik sodyum.

Ergimiş metal sıcaklığı absorbe olan H_2 miktarını doğrudan etkiler. Sıcaklık artışı ile absorbe olan hidrojen miktarı hızlı bir şekilde artar. Katı alüminyumda çözünürlük neredeyse 0 iken ergime noktasının hemen üzerinde 0.7ml/100g seviyesindedir. 0.01ml/100g metal seviyesi ve altında hidrojen içeren alaşımlar genel olarak por ve blister içermezler [3].

Hidrojenin alüminyum ve alaşımlarının mekanik özelliklerine etkisi konusunda yeterli bilgi mevcut değildir. Bu durum demirde hidrojenin etkisi konusundaki bilgi ve analiz metotlarının fazlalığı ile keskin bir zıtlık oluşturur [3].

Şekil 2.2’de sıcaklık artışı ile H_2 içeriğinin nasıl arttığı görülmektedir. Bu şekil izlendiğinde soğuma sırasında gazın çözünürlüğünün azaldığı ve de iğne deliği şeklindeki boşlukların nasıl oluştuğu açıklanabilmektedir.

Cm³ Hidrojen / 100g Alüminyum



Şekil 3.2 : Alüminyum İçinde Hidrojen Çözünürlüğünün Sıcaklıkla Artışı [3]

Süspansiyon halindeki metal olmayan parçalar ile alüminyum içindeki gaz varlığı arasında bir ilişkinin varlığı pek çok kaynak tarafından gösterilmektedir. Gazın

alüminyum banyosundaki varlığı çözünme şeklinde ve süspansiyon halindeki metal dışı parçacıkların hidrojeni çökeltmesi ile açıklanmaktadır [3].

Katı fazdaki metallerde, hidrojen ara yerlerde çözünerek içinde bulunduğu metalin kristal latisini genişletir. Hidrojenin kısmi molar hacmi ve arayer çözünürlüğü pek çok metalde belirlenmiş olmasına rağmen alüminyumda belirlenmemiştir [9].

Latis hatalarına hidrojenin takılması ile hidrojenin çözünürlüğü ve difüzyonu hakkında izlenimler elde edilebilir. Yüksek sıcaklıklardaki ölçümlerde bile hidrojen hapis olmasının varlığı ya da yokluğu ve büyüklüğünün bu özelliklere etkisi ölçülebilmıştır. Düşük sıcaklıklarda bu etki daha fazladır. Latis boşlukları, dislokasyonlar ve tane sınırları hidrojen için birer hapis olma bölgeleridir. Bazı çözünen atomlarda birer hapis olma bölgesi olabilir [9].

3.10. Hidrojenin Kaynağı ve Çözünürlüğü

Alüminyum içinde hidrojen çözünürlüğü için en güvenilir ölçümleri Ransley ve Neufeld, Opie ve Grant, ve Eichenauer, Hattenbach, Pebler yapmışlardır. Bilim adamlarının hidrojen çözünürlüğü ile ilgili denklemleri sırası ile aşağıdaki gibidir;

$$\log S = - 2760/T + 2,796 \quad (20^{\circ}\text{C ve } 760\text{mm Hg}) \quad (3.2) [7]$$

$$\log S = - 2250/T + 2,62 \quad (0^{\circ}\text{C ve } 760\text{mm Hg}) \quad (3.3) [7]$$

$$\log S = - 3086/T + 2,969 \quad (20^{\circ}\text{C ve } 760\text{mm Hg}) \quad (3.4) [7]$$

(3.2), (3.3) ve (3.4) numaralı denklemlerde, S santimetreküp cinsinden 100 gram ergimiş alüminyumdaki çözünürlüğü ve T Kelvin cinsinden sıcaklığı ifade eder.

Tablo 3.1 : 1 Atm. Hidrojen Basıncı Altındaki Sıvı Alüminyum İçinde Çözünen Hidrojen [7]

Sıcaklık		$\text{Cm}^3 \text{H}_2 / 100\text{g Al}$
$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{F}$	
660	1220	0,69
700	1292	0,91
800	1472	1,68
850	1562	2,18

Ransley ve Neufeld, Eichenauer ve grubu katı alüminyumdaki hidrojen çözünürlüğü ile ilgili değerler vermişlerdir;

$$\log S = - 2080/T + 0,788 \quad (3.4) [7]$$

$$\log S = - 3042/T + 1,961 \quad (3.5) [7]$$

Tablo 3.2 : 1 Atm. Hidrojen Basıncı Altındaki Katı Alüminyum İçinde Çözünen Hidrojen [7]

Sıcaklık		Cm ³ H ₂ / 100g Al
C°	F°	
660	1220	0,04
600	1112	0,025
500	932	0,01
400	752	0,004

Bu formüllerden hesaplanan değerler katıdaki çözünürlük değerleri ile uygunluk göstermektedir. Talbot ve Grangere göre 0,15 cm³/100g alüminyum seviyesinin altındaki hidrojen konsantrasyonu katılaşma sonrasında yapının poröz olmasını engellemektedir.

Hidrojenin alüminyum temelli alaşımlarda bulunabilmesi havadaki nem ile reaksiyonu sonucu olmakla birlikte, uygulamalardaki temel kaynakları aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

1. Havada doğal olarak bulunan nem.
2. Yakıtların yanması ile oluşan su buharı
3. Şarj edilen malzemenin yüzeyindeki nem.
4. Hurda yüzeyine bulaşık yağlayıcılar.
5. Şarj, karıştırma veya sıyırma işleminde kullanılan araçların yüzeyindeki nem.
6. Flakslardaki veya flaksların kimyasal olarak oluşturduğu nemli yapılar.
7. Tam olarak kurutulmamış refrakterler.

Tüm bu etkiler önemli hidrojen kaynaklarıdır ve pratik uygulamalar hidrojeni azaltmak üzere tasarlanmalıdır. Hidrojen absorplanması ve oksidasyon (tablo 2.3) artan fırın sıcaklığı ile artacağından ergitme işlemlerinde fırın sıcaklığı minimumda tutulmalıdır. Mümkün olan uygulamalarda fırın sıcaklığı 760°C'nin altında olmalıdır [2].

Ergitme sırasındaki hidrojen absorblanmasının yani sıra ergimiş metalin transferi veya bir başka ortama aktarılması sırasında da havadaki nemden hidrojen kapılır. Özellikle yüzeydeki oksit filmin oluşan türbülanslar ile yırtılması hidrojen absorblamayı artırır. [2]

Tablo 3.3 : Azalan Sıra ile Metal Oksitlerin Oluşum Serbest Enerjileri [2]

Bileşik	Oluşum Serbest Enerjisi $\Delta F_{298 K}$	
	Cal/ mol bileşik	Cal/ gram atom oksijen
BeO	-136100	-136100
MgO	-136080	-136080
Al ₂ O ₃	-377300	-125080
ZrO ₂	-247750	-123880
TiO ₂	-212300	-106150
SiO ₂	-196900	-98450
B ₂ O ₃	-286400	-95470
Na ₂ O	-89900	-89900
MnO	-86750	-86750
ZnO	-76100	-76100
SnO ₂	-124250	-62130
SnO	-61400	-61400
Fe ₂ O ₃	-177400	-59130
H ₂ O(sıvı)	-56690	-56690
MnO ₂	-111350	-55680
NiO	-50620	-50620
PbO(kırmızı)	-45250	-45250
PbO(Sarı)	-45050	-45050
Bi ₂ O ₃	-118500	-39500
Cu ₂ O	-35000	-35000
CuO	-31000	-31000
PbO ₂	-52300	-26150

3.11. Hidrojenin Kontrolü

Alüminyum içindeki hidrojenin çözünürlüğü sıcaklık ve basıncın kare kökü ile orantılıdır (Sievert kanunu). Hidrojen sıvı alüminyumda katı alüminyuma göre yaklaşık olarak 20 kat daha fazla çözünmektedir. Bu çözünürlük farkından dolayı, katılaşma sırasında hidrojen, moleküller ve kabarcıklar oluşturarak metal banyosundan ayrılma eğilimine girer. Genellikle bu kabarcıklar katıda hapis olarak porozitelere sebep olurlar.

Bu porozitelerin dağılımı ve boyutu aşağıdaki sebeplere göre değişir [2].

1. Metalik ve metal olmayan inklüzyonların varlığı
2. Alaşımın katılaşma aralığı
3. Katılaşma oranı
4. Ergimiş metaldeki hidrojen konsantrasyonu
5. Metal besleme sistemi

Katılaşma sırasında kabarcık oluşması ergimiş metalin güçlü yüzey gerilimi ile engellenir. Bu gerilim o kadar fazladır ki metalin hidrostatik basıncı ihmal edilebilir. Bu sebeple bir gaz kabarcığının oluşması için gereken basınç çok fazladır.[2]

Fırın içi gaz giderme ile hidrojen çözünürlüğü 0,15 ml H₂ /100g Al seviyelerine inilebilir. Böylelikle ergitme sonrası ikincil bir gaz giderme işlemine gerek duyulmayabilir. Unutulmamalıdır ki sözü edilen gaz seviyelerinin daha da altına inilmesi için birincil metal kullanımı artırılmalıdır ya da daha uzun süreli temizlik yapılmalıdır [5]. Birincil blok kullanılması halinde metal kayıpları %3-6 arasında kalır iken yağlı veya boyalı hurdalarda bu oran %8-10 seviyelerine balya veya folyo şarjında %30 seviyelerine çıkmaktadır [10]. İkincil metal kullanımı ile yapılan ergitmelerde hidrojen seviyeleri 0,45-0,50 cc H₂ / 100g Al seviyelerine kadar çıkar. Ancak yapılan filtreleme ve gaz giderme işlemleri ile birincil metal kullanımı ile elde edilen temizlik seviyelerine inilebilir [5].

3.12. Gaz Giderme Metotları

Ergimiş Alüminyumdan hidrojenin giderilme metotlarının uygulanmasında Ransley'in saf alüminyum için geliştirdiği formülasyon denklem (3.6)'da verilmiştir.

$$S_H = 10^{(-2760 T^{-1} + 2,765)} \sqrt{P_i / 760} \quad (3.6) [11]$$

S yani çözünürlük sıcaklıkla artacağından, banyo sıcaklığı max. 750-800° C olmalıdır ve dış hidrojen basıncı ölçülerek (P_i) bilinen bir T sıcaklığında S_{H1(P_i)} yani ergimiş metaldeki hidrojen çözünürlüğü ml / 100g Al olarak ölçülebilir.

Vakum uygulandığında, 0,05 veya 0,5 ml /100g Al veya alüminyum alaşımı arasında hidrojen giderilebilir.

Gaz gidermede bilinmesi gereken önemli bir faktör de alaşım metallerinin etkisidir. Cu ve Si saf alüminyumla karşılaştırıldığında H_2 çözünürlüğünü azaltmaktadır. Bu etki magnezyumun tam tersidir. % 5 Cu ve % 6 Si içeren Al-Si alaşımında H_2 çözünürlüğü %30 saf alüminyuma göre daha düşüktür. Eğer denge noktasına ulaşamaz ise katılaşma sonrası mono atomik hidrojen metalde kalır. Bu sebeple gaz giderme işlemleri P_i veya T değişkenleri ile oynanarak sağlanabilir. Prensip olarak döküm öncesi sıcaklık mümkün olan en düşük değerde olmalıdır. Ancak ergimiş metalin viskozitesi gazların uzaklaşmasını etkileyeceğinden etkin gaz giderme 730-750°C arasında olmalıdır. 780°C sıcaklığının üstü gaz giderme işleminde tercih edilmemelidir [11].

3.13. Gaz Verme Metotları

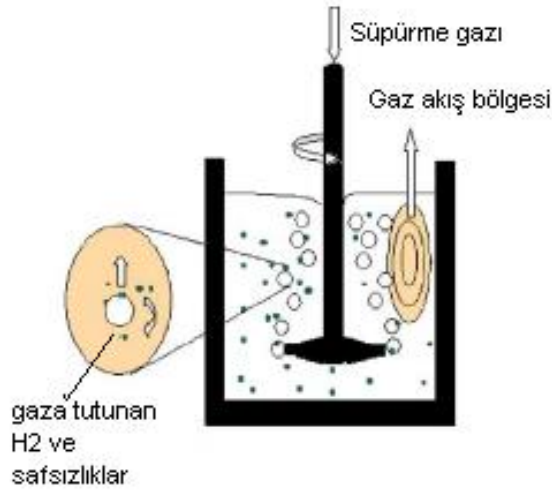
Gaz vermek için bir lans, poröz bir refrakter veya dönen bir pervane kullanılabilir. Gaz kabarcıkları oluşturabilecek tablet ve tozlarda sıvı içine eklenebilmektedir.

- 2,5-5 cm çapa sahip bir grafit lans en basit ve en az etki gösteren metottur. Lanslar genellikle metalden hızla yukarı çıkan ve yüzeyde türbülans oluşturan büyük gaz kabarcıkları oluştururlar [3].
- Büyük miktarlarda sıvıdan etkin olarak gaz giderilebilmesi için birden fazla lans kullanılması gereklidir. Eğer tek lans kullanılacaksa sık aralıklar ile banyodaki pozisyonu değiştirilmelidir [3].
- Lans ucuna poröz grafit bir parça koyularak daha ince kabarcık boyutu elde edilebilir. Ancak kabarcıklar yine lans çevresinden yüzeye çıkacaklarından gaz giderme oldukça uzun zaman alır [3].
- Poröz bir rotor ile yapılan gaz giderme en etkili metottur. Bu yöntemde gaz belirli bir devir sayısı ile dönen bir rotordan ince kabarcıklar halinde geniş bir bölgeye yayılabilmektedir [3].

Şekilde gösterilen döner tip gaz giderme günümüzde gerek metal temizliğinin gerekse gaz giderme işlemlerinin etkin bir biçimde yapılabilmesi için sıklıkla başvurulan bir yöntemdir. Sistemde bulunan rotorun hızlı devir ile dönmesi çıkan temizleme gazının ince kabarcıklara ayrılmasına ve sıvı metal içinde etkin bir biçimde yayılmasına sebep olur. Bu sistemlerde hidrojen gidermenin verimi metal banyosunun ilk hidrojen içeriği, ergimiş metalin bekletme bölümünün boyutları,

süpürme gazının akış debisi(bekletme bölümünün boyutları ile gaz kabarcıklarının metal içinde kalış süresini belirler), rotorun karıştırabilme kapasitesi ve alaşımın kendine has termodinamik faktörleri ve kütle taşınma sabitlerine bağlıdır. Süpürme gazı istenmeyen parçacıkları oksit/metal arayüzünü ıslatarak ergimiş metalden ayırarak banyo yüzeyine çıkarır(reaktif gaz eklenmesi durumunda). Banyo içinde yaratılan türbülans ile parçacıkların gaz kabarcıklarına çarpma ihtimalleri artırılarak, bekletme bölümünün zeminine yerleşmesini sağlar. Bu sebeple rotor devir sayısı ve gaz akış debisi son derece önemli parametrelerdir. Reaktif gazların sisteme eklenmesi ile gaz kabarcıklarının yüzey gerilimi artırılarak, daha etkin bir partikül temizliği sağlanır [12].

Bu yöntem ile oluşan ince baloncuklar yüzeye doğru yavaş bir hızla çıkarak hidrojen ile temasa süresini uzatırlar [3].



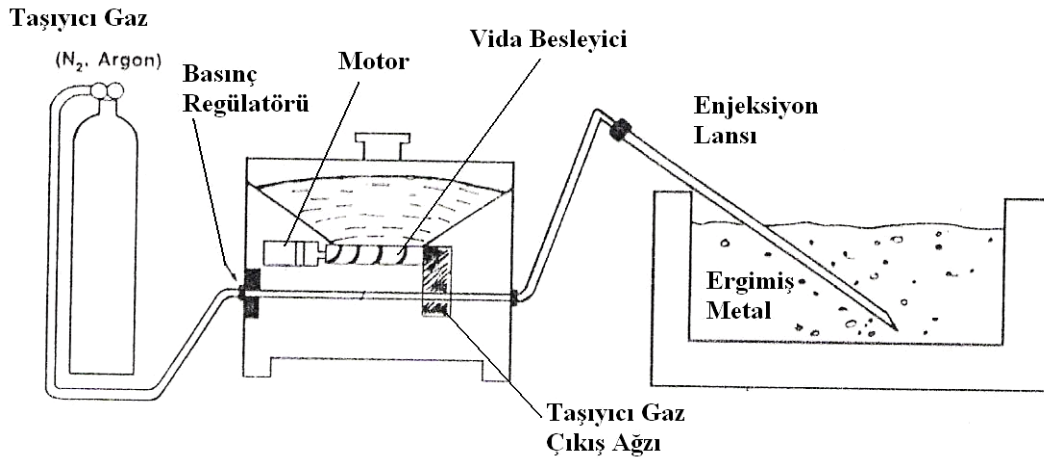
Şekil 3.3. Döner Tip Parçacık ve Gaz Giderme Sistemi [12]

- Klor bazlı tabletleri yüzeyin hemen altında tutarak (flux degassing) gaz giderme, bu tabletlerin hemen dekompoze olmasından dolayı en az kontrol altında tutulabilen yöntemdir. Yeterli temizliğin sağlanabilmesi için birden fazla işlem gereklidir. Bu yöntem dros oluşumunu hızlandırır ve zararlı gazlar da oluşabilir. Bu dezavantajlarına rağmen tablet ile gaz giderme küçük hacimli banyoları temizlemede ve gaz gidermenin çok hassas kontrol altında tutulmasını gerektirmeyen durumlarda kullanılmaktadır [3].

- Şekil 3.3 gibi bir sistem ile toz bir flaks sıvıya enjekte edilebilir. Flaks bir inert gaz(azot ya da argon) ile karıştırılarak fırın dibine batırılmış bir lanstan sıvıya

verilir. Toz flaks yüzeye doğru çıkarken banyonun içindeki hidrojen ile reaksiyona girmektedir [3].

Flaks enjeksiyonu oldukça yeni bir teknolojidir. Ergitme sonrası metal temizliğinde kullanılabilir. Bu yöntemle flakslama ile gaz giderme, tane inceltme ve metal temizlik işlemleri aynı anda gerçekleştirilebilir. Halojen içerikli bileşikler kullanıldığında flaksın ısıtma kabiliyeti artarak metalik olmayan inklüzyonların banyodan temizliği kolaylaşır [5].



Şekil 3.4 : İnert Bir Gaz ile Flaksın Akışkanlaştırıldığı bir Sistemin Şematik Görünümü [3]

3.14. Kullanılan Gazın Cinsi

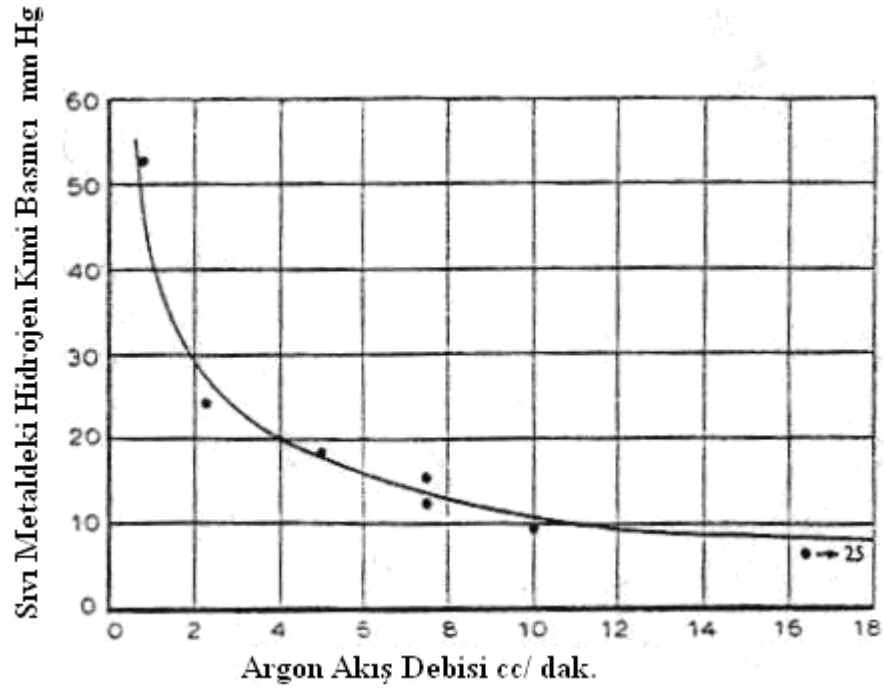
Gaz gidermede kullanılan gazlar inert (argon ve azot gibi) yani hiç ya da çok az reaksiyona giren gazlar olabileceği gibi, reaktif (klor, freon, flor veya bu üçünden birinin inert bir gaz ile karışımı) yani sıvı içindeki alüminyum ya da alaşım elementleri ile reaksiyona giren gazlar da olabilir.

Metaldeki H₂ denge basıncı (P_i) değerini kontrol edebilmek için, hidrojen bir reaktif olmayan gaz ile seyreltilebilir. α'nın süpürme gazındaki hidrojen yüzdesi olarak kullanıldığı $P_{H_2} = P_i \cdot \alpha$ formülünde; Ransley'e göre hidrojen giderme verimi 1 ml/ dakika argon veya azot debisi ile % 52 ise 5ml / dakika debi ile;

$$52 \% \cdot \sqrt{1/5} = 52 \% \cdot 0,446 = \%23,2$$

(3.7) [11]

olmaktadır.[8] Bu değer şekil 3.4 % 22 sonucu ile uyumluluk göstermektedir.



Şekil 3.5. 720° C sıcaklığındaki Alüminyuma Argon Enjeksiyonu ile Hidrojen Kısmi Basıncındaki Değişim [11]

Uygulamalarda, ergimiş alüminyuma kuru argon ya da azot verilerek gaz giderme işlemi yapılabilir. Na₂SiF₆ flakslarının etkisi de benzer şekildedir.[11]

Daha etkin bir yöntem ise Cl₂ kullanmaktır.



Kubaschewski tarafından 298 ve 2100K sıcaklıkları arasında aşağıdaki standart serbest enerji değişimi bulunmuştur;

$$\Delta G^0 = - 21770 + 0,99T \log T - 5,22T \quad (3.9) [11]$$



Reaksiyonu için gaz giderme sıcaklığı olan 1000K de

$$\Delta G = \Delta G^0 + RT \ln \left\{ \frac{p_{HCl}}{[(p_H)^{1/2} (p_{Cl})^{1/2}]} \right\} \text{ ve}$$

Denge durumunda $p_{H1} = p_{Cl1}$ olacağından,

$$RT \ln p_{HCl} / p_{H1} = -\Delta G^0 = -(24000 \text{ cal } 1000K'de) \quad (3.11)$$

Bu durumda $p_{H2} = p_{HCl} \cdot 1,76 \cdot 10^5$ olur.

Bu sırada $AlCl_3$, $MgCl_2$, $NaCl$, $AlCl$, $MnCl_2$ ve $CaCl_2$ de oluşur. Uygulamalarda kesinlikle Cl_2 gazının tamamen giderildiğinden emin olunmadan döküm yapılmamalıdır. Bu sebeple pratikte gaz giderme işlemi ile döküm işlemi arası 10 dakika süre bırakılmaktadır [11].

Klor kullanımının iki avantajı vardır. Birinci avantaj mekanik olarak düşük basınçlı kabarcıklar oluşturarak hidrojen ve oksitleri gidermesi, ikincisi ise alüminyum klorür oluşturarak metal dışı parçaları ıslatması ve kimyasal etki ile yüzeye taşımasıdır. Azot kullanıldığında ise böyle bir ıslatma etkisi söz konusu değildir. Göreceli olarak daha az reaktif olan azot mekanik flakslama yapmaktadır. Argonun da azota benzer bir mekanizmayla temizleme yaptığı deneyimlerle gözlemlenmiştir. Dolayısı ile klor azot ve argondan daha etkin bir temizleyicidir [3].

Reaktif bir gaz ya da reaktif gaz karışımı kullanmanın yararları bu gazların banyo içindeki temizleme etkisidir. Oluşan klorürler alüminyumun yüzey gerilimini değiştirerek inklüzyonların gaz kabarcıklarına yapışmasına ve yüzeye çıkmasını sağlar. İnert gazların da temizleme etkisi vardır ancak reaktif gazlarla karıştırma ile bu etki artırılmaktadır [3].

Klor zehirli bir gazdır ve kontrolsüz uygulandığında oluşan katı ve gaz atıklar çevreyi kirletmektedir. Ayrıca magnezyum ile hızla reaksiyona girerek bu metali ortamdan uzaklaştırmaktadır. Bu istenmeyen reaksiyonun etkileri yüksek magnezyum içerikli alaşımlarda oldukça önemlidir. Flakslama zamanına bağlı olmakla birlikte bu etki düşük magnezyum içerikli alaşımlarda daha azdır. Klorun saf halde kullanılması zararlı gazlar oluşturması ve metal yüzeyleri aşırı korozyona uğratması sebebi ile günümüzde kullanılmamaktadır [3].

Hidrojen giderilmesinde reaktif bir gaz kullanılmasının uygulama metotlarındaki etkinliği açık değildir. Bazı zamanlar reaktif bir gaz daha iyi gaz giderme sağlarken bazı durumlarda prosesi olumsuz yönde etkilemektedir. Eğer gaz kabarcıkları büyük ve gaz giderme etkisi düşük ise (lans ile gaz giderme) hidrojen gidermede etkinlik söz konusudur. Eğer gaz kabarcıkları küçük ve gaz giderme yüksek bir verimde ise (rotorlu sistemler) reaktif gazların hidrojen gidermeyi yavaşlattığı gözlemlenmiştir [3].

%90 azot-%10 klor, %95 azot-% Freon12, %95 argon-%5 Freon 12 ve %80 azot-%10 CO -%10 klor gibi çok aktif ve daha az aktif gaz karışımları oksit parçacıkları ve hidrojeni gidermede kullanılmaktadır. Ayrıca sülfahegzaflorür (SF₆) de alüminyumun gaz gidermesi için yeni kullanılmaya başlanan bir gazdır [3].

Etkin metal temizliği için %5 Cl₂ ve %95 N₂ gazı karışımı rotor tipi temizleyiciler ile kullanılabilir. Klor katkısı metal olmayan parçaları ıslatarak yüzeye çıkmasını sağlar. Ancak belirli bir süre temizlik işleminin devamı gereklidir [5].

OSHA ve EPA temiz hava protokolleri ile klorun saf halde kullanılması büyük oranda kısıtlanmıştır. Bunu yerine % 10 klor ve % 90 azot veya argon içeren karışımlar kullanılmaktadır. Bunun yanında % 100 azot veya argon içeren flakslayıcılar da giderek güncellik kazanmaktadır [3].

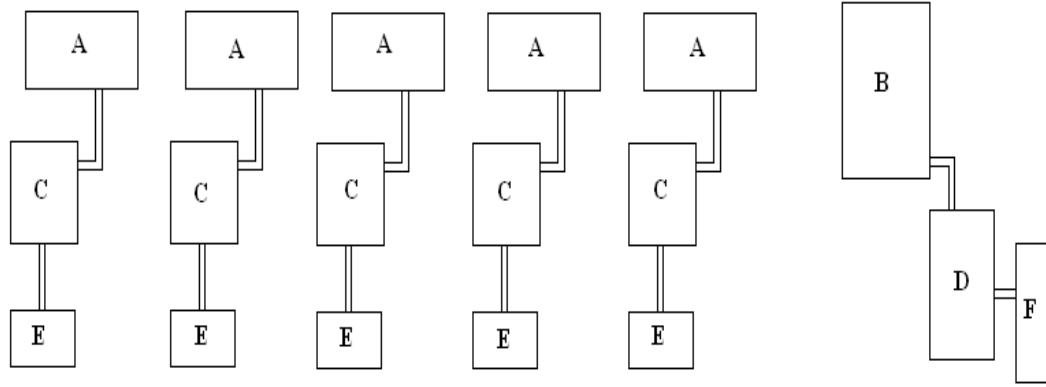
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Alüminyum ve alaşımlarının dökümünde rafinasyon yöntemlerinin karşılaştırılması ile ilgili olarak yapılan deneysel çalışmalar Bulgaristan'ın Şumen şehrinde kurulu Alcomet-Plc firmasının bünyesindeki alüminyum ergitme-döküm-haddeleme ünitelerinde endüstriyel boyutta gerçekleştirilmiştir. Tesiste bulunan sürekli döküm hatları üç ana bölümden oluşmaktadır:

Birinci bölüm : Metal ergitme, flakslama ve gaz giderme işlemlerinin yapıldığı ergitme bölümüdür. Bu bölümde ergitme amacı ile kullanılan 5 adet levha dökümü için ve bir adet bilet dökümü için olmak üzere 6 adet gaz ergitmeli reverber tipi fırın mevcuttur.

İkinci bölüm : Metal bekletme bölümüdür. Bu bölümde ergimiş metal yine gaz ile ısıtılan bekletme fırınlarında ergimiş durumda tutularak döküm için hazır sıvı metal elde edilmektedir.

Üçüncü bölüm : Döküm hattıdır. Bu bölümde ikiz merdane tipi döküm makineleri mevcuttur. Bu bölümler arasındaki metal ve malzeme akışı yolluklar ve akıcı bantlarla sağlanmaktadır. Tesisin yerleşme düzeni şekil 4.1'deki akış şemasında gösterilmektedir. Bu üç bölümlü tesiste proses ergitme fırınında birincil ve ikincil alüminyumun şarjı, gerekli alaşım elementlerinin eklenmesi , flakslama, ergime, ve gaz giderme işlemlerinin ardışık yapılması ile başlar. Sürekli yapılan bu ergitme ve rafinasyon işleminden sonra dros çekilir ve metal rezerv görevi ve stabil sıvı metal akışı sağlayan bekletme fırınlarına alınır. Burada mümkün olan en az sıcaklık değişimi ile gaz giderme işlemindeki gazların metali tamamen terk etmesi sağlanarak koruma amaçlı ikinci bir flakslama işlemi uygulanır. Bu işlemin ardından metal döküm makinesine aktarılarak ikiz merdane döküm tekniği ile levha olarak dökülür. Gerekirse bilet dökümü de yapılabilmektedir.



Şekil 4.1. Alcomet-Plc Dökümhane Yerleşme Düzeni A)Sürekli Döküm Hatları Ergitme Fırınları B)Yarı Sürekli Döküm Hattı Ergitme Fırınları C)Sürekli Döküm Hattı Bekletme Fırınları D)Yarı Sürekli Döküm Hattı Bekletme Fırını E)İkiz Merdane Tipi Sürekli Döküm Hattı F)Yarı Sürekli Bilet Döküm Hattı

Bu genel çalışma prosesi içinde tez ile ilgili flakslama ve gaz giderme deneyleri ergitme ve bekletme fırını bölümlerinde deney parametrelerinin kontrolü amacı ile yapılan ölçümler ise merdane hattından alınan levha numuneleri ile gerçekleştirilmiştir.

4.1. Deneylerde Kullanılan Sarf Malzemeleri

Alüminyum ve alaşımlarının dökümünde rafinasyon yöntemlerinin deneysel olarak incelenmesinde gerçekleştirilen endüstriyel boyuttaki ölçümlerde 8006, 8011, 3105, 1050 serisi alüminyum alaşımları kullanılmıştır. Bu alaşımların kimyasal özellikleri aşağıdaki tablolar 4.1, 4.2, 4.3 ve 4.4te gösterilmiştir.

Tablo 4.1 : 1050A Alüminyum alaşımının kimyasal içeriği [3]

Element	% Ağ.	Element	% Ağ.	Element	% Ağ.
Al	Min 99.5	Mg	Max 0.05	Si	Max 0.25
Cu	Max 0.05	Mn	Max 0.05	Ti	Max 0.05
Fe	Max 0.4	Diğer	Max 0.03	Zn	Max 0.07

Tablo 4.2 : 3105 Alüminyum alaşıminın kimyasal içeriği [3]

Element	% Ağ.	Element	% Ağ.	Element	% Ağ.
Al	Max 96.1	Mg	0.2 - 0.8	Si	Max 0.6
Cr	Max 0.2	Mn	0.3 - 0.8	Ti	Max 0.1
Cu	Max 0.3	Diğer	Max 0.05	Zn	Max 0.25
Fe	Max 0.7	Diğer toplam	Max 0.15		

Tablo 4.3 : 8006 Alüminyum alaşıminın kimyasal içeriği[3]

Element	% Ağ.	Element	% Ağ.	Element	% Ağ.
Al	95.9 - 98.5	Mg	Max 0.1	Diğer toplam	Max 0.15
Cu	Max 0.3	Mn	0.3 - 1	Si	Max 0.4
Fe	1.2 - 2	Diğer	Max 0.05	Zn	Max 0.1

Tablo 4.4 : 8011A Alüminyum alaşıminın kimyasal içeriği[3]

Element	% Ağ.	Element	% Ağ.	Element	% Ağ.
Al	97.3 - 98.9	Mg	Max 0.05	Si	0.5 - 0.9
Cr	Max 0.05	Mn	Max 0.2	Ti	Max 0.08
Cu	Max 0.1	Diğer	Max 0.05	Zn	Max 0.1
Fe	0.6 - 1	Diğer toplam	Max 0.15		

Deneylerde kullanılan ve hidrojen gazının giderilmesi amacı ile sıvı metale alaşıma ilave edilen gaz gidericiler % 99,7 ve % 75 safiyette hegzakloreten tabletleri, teknik safiyetteki azot ve klor gazlarıdır.

Çalışmalar sırasında ergimiş metale flaks olarak; karnalit içerikli Pyrotek Promag[®] R1 marka tuz ve tesis içinde imal edilen NaCl ve CaCl₂ esaslı örtme tuzu kullanılmıştır.

Promag[®] R1 susuz sentetik karnalit esaslı bir flakstır. 440⁰ C ve altında ergime noktasına sahiptir. Toz, sodyum ve florür içermeyen bir flakstır. Magnezyum klorür tozu içeren flakslara göre daha az higroskopiktir [13]. Promag[®] R1 flaksının içeriği tablo 4.5teki gibidir.

Tablo 4.5 : Promag[®] R1 Flaksının Başlıca Özellikleri [13]

Kimyasal Bileşik	K ₃ Mg ₂ Cl ₇
Magnezyum Klorür içeriği	%43
Potasyum Klorür içeriği	%57
Ergime noktası	440 ⁰ C
Görünüşü	Granül halde
Toz boyutu	1-3 mm

4.2. Deneylerde Kullanılan Alet ve Cihazlar

Deneylerin gerçekleştirilmesinde tesis içindeki endüstriyel boyutlu alet ve cihazlar kullanılmıştır. Gaz gidericilerin ilavesinde çelikten mamul lans boruları, gaz tankları, delikli çan manual olarak kullanılan alet ve cihazlardır. Ayrıca gaz verme sistemi olarak Pyrotek FIF-50 marka gaz ve flaks enjeksiyon cihazından da (şekil 4.2) yararlanılmıştır.



Şekil 4.2 Pyrotek FIF-50 gaz ve flaks enjeksiyon cihazı [14]

Deney sonuçlarının karakterizasyonunda tesiste bulunan analiz cihazlarından yararlanılmıştır. Metaldeki hidrojen içerikleri Leco RH-402 marka cihazda (şekil 4.3)



Şekil 4.3 Leco RH 402 Hidrojen analiz cihazı [15]

ölçülmüştür. Alüminyum metali içindeki inklüzyon yapan empürite analizleri ise ARL marka spektrometrede (şekil 4.4) yapılmıştır. Deney numunelerinin metalografik incelemeleri ise şekil 4.5'te görülen tesis laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.4 ARL Spektrometre



Şekil 4.5 Metalografi Laboratuvarları

4.3. Deneylerin Yapılışı

Tez çalışması içinde gerçekleştirilen deneyler flakslama, gaz giderme, flakslama+gaz giderme ve karakterizasyon grupları içinde yapılmıştır. Flakslama ve gaz giderme işlemleri bazı serilerde ayrı ayrı bazı serilerde ise birlikte uygulanmış ancak deney sonuçları flakslama ve gaz gidermenin beraber sonucu olarak ifade edilmiştir. Bu kapsamda yapılan deneysel çalışmalar üç farklı gaz giderme ve metal temizleme

metodu olarak uygulanmıştır. Gaz giderme işlemleri 730-750° C arasındaki ergimiş metal sıcaklıklarında uygulanmıştır.

4.3.1. N₂ + H₂ Karışımının Ergitme Fırınında Bir Lans Aracılığı ile Verilmesi ile Yapılan Deneyler

Bu deneylerde ergitme fırınına bir lans aracılığı ile klor ve azot karışımı gazlar verilmiştir. Gaz karışımı olarak % 10 Cl₂ ve % 90 N₂ kullanılmıştır. Bu gaz karışımı ile fırın 10 dakika süre ile süpürülmüştür. Ergimiş metalin fırın atmosferi ile temasını kesmek için NaCl, CaCl₂ ve % 5 kriyolit içeren örtü flaksı kullanılmıştır. Ergitme işlemi sonrası dross çekilerek drossun metal içeriği gözlemlenmiştir. Daha sonra bekletme fırınına aktarılan metal, tekrar 5 dakika süre ile yeniden süpürülerek rafinasyon yapılmıştır. Rafinasyon işlemi bittikten sonra metal, yolluklar ile döküm makinesine sevk edilmiştir. Bu işlemler sırasında alınan numunelerin metalografik incelemesi yapılmış, hidrojen ve empürite analizleri gerçekleştirilmiştir.

Bu grup deneylerde numuneler fırın bölümlerinden sistematik olarak alınmıştır.

Numunelerin numaralandırılışı şöyledir:

- 1.1 Ergitme fırınından rafinasyon öncesi
- 1.2 Bekletme fırınından rafinasyon öncesi
- 1.3 Bekletme fırınının çıkışında yollukta rafinasyon öncesi
- 2.1 Ergitme fırından rafinasyon sonrası
- 2.2 Bekletme fırınından rafinasyon sonrası
- 2.3 Bekletme fırınının çıkışında yolluktan rafinasyon sonrası

4.3.2. Gaz giderici tabletler ile yapılan deneyler

Bu deneylerde ergitme fırını içinde iki farklı safiyette yani sırası ile % 75 ve % 99,7 oranında C₂Cl₆ aktif maddesi içeren gaz giderme tabletleri kullanılmıştır. Tabletler 30 kg/ 30 ton alüminyum ve 60 kg / 30 ton alüminyum dozajlarında verilmiştir. Bu grup deneylerde de örtü flaksı olarak yine NaCl, CaCl₂ ve % 5 kriyolit karışımı ilave edilmiştir. Numune alama sırası ve karakterizasyon prosedürü bölüm 4.3.1 ile aynıdır.

4.3.3. Flaksın N₂ ile Akışkanlaştırılarak Sıvı Metale Püskürtülmesi ile Yapılan Deneyler

Bu deneyler bölüm 4.2, şekil 4.2 deki cihazla gerçekleştirilmiştir. Flaks olarak susuz karnalit (K₃Mg₂Cl₇) tuzu kullanılmıştır. Deneyler aşağıdaki üç aşamalı işlem ile gerçekleştirilmiştir.

1. 20 l/dakika debili azot gazı akışı ile 1 dakika süpürme
2. 40 l/dakika debili azot ile 1 kg/dakika flaksın akışkanlaştırılarak 10 dakika süre ile banyoya enjeksiyonu
3. 20 l/dakika debili azot gazı akışı ile 1 dakikalık son süpürme

Bu prosedürden sonra, dros çekilerek çıkan drosun fiziksel özellikleri incelenmiştir. Daha sonra metal, bekletme fırınına aktarılmıştır. Metal bekletme fırınında bir önceki bölümlerde kullanılan örtü flaksı ilave edilerek tekrar dros alma işlemi gerçekleştirilmiştir. Buradan çıkan metal döküm hattına gönderilmiştir. Deney numunelerinin alınışı ve karakterizasyon işlemleri yukarıdaki bölümlerde anlatıldığı şekilde gerçekleştirilmiştir.

5. DENEY SONUÇLARI

5.1. Birinci Grup Deneyler

Bu grup deneylerde %10 klor ve %90 azot içeren gaz karışımı kullanılarak elde edilen sonuçlar metalde kalan hidrojen içeriği olarak çeşitli alaşımlara ve numune bölgesine göre aşağıdaki tablolarda sıralanmıştır.

Tablo 5.1. 8011A alaşımı ile yapılan gaz giderme sonuçları

Numune Yeri	Rulo No			
	5285	5291	5292	3161
	Hidrojen içeriği ppm			
1.1	0,346	0,380	0,382	0,386
1.2	0,340	0,361	0,371	0,370
1.3	0,333	0,330	0,338	0,340
2.1	0,236	0,266	0,260	0,279
2.2	0,230	0,239	0,242	0,259
2.3	0,233	0,221	0,226	0,236

Tablo 5.2. 1050A alaşımı ile yapılan gaz giderme sonuçları

Numune Yeri	Rulo No	
	4244	4246
	Hidrojen içeriği ppm	
1.1	0,373	0,379
1.2	0,365	0,360
1.3	0,355	0,352
2.1	0,288	0,282
2.2	0,269	0,264
2.3	0,224	0,228

Tablo 5.3. 8006 alaşımı ile yapılan gaz giderme sonuçları

Numune Yeri	Rulo No			
	1225	1230	1267	1268
	Hidrojen içeriği ppm			
1.1	0,316	0,247	0,403	0,399
1.2	0,302	0,256	0,387	0,381
1.3	0,272	0,225	0,362	0,367
2.1	0,306	0,231	0,272	0,269
2.2	0,114	0,226	0,264	0,261
2.3			0,258	0,255

Tablo 5.4. 3105 alaşımı ile yapılan gaz giderme sonucu

Numune Yeri	Rulo No
	3137
	Hidrojen içeriği ppm
1.1	0,386
1.2	0,380
1.3	0,388
2.1	0,379
2.2	0,142
2.3	0,140

Bu tablolardan görüldüğü gibi azot ve klor gazı karışımı ile gaz giderme yapıldığında en düşük hidrojen içeriği manganı yüksek olan 8006 ve 3105 serisi alaşımlarda elde edilmektedir. Bu alaşımlarda erişilen nihai hidrojen kalıntısı 0,1 ila 0,15 ppm civarındadır. Düşük manganlı alaşım olan 8011 A, 1050 alaşımlarında ise kalıntı hidrojen değeri 0,2 ile 0,25 ppm arasındadır. 8006 serisinde 0,26 ppm civarında kalan hidrojenin yüksek olmasının nedeni bu alaşımın yüksek demir içeriğinden kaynaklanmaktadır. Aşağıdaki tabloda 8006 alaşımı ile yapılan tekrarlı gaz giderme deneylerinin sonuçları da alaşımdaki demirin hidrojen kalıntı miktarını ispatlamaktadır.

Tablo 5.5. 8006 alaşımları ile yapılan tekrarlı gaz giderme işlemi sonucunda metalde kalan hidrojen değerleri

Numune Yeri	Rulo No	
	1293	1294
	Hidrojen içeriği ppm	
1.1	0,392	0,388
1.2	0,368	0,372
1.3	0,322	0,330
2.1	0,271	0,269
2.2	0,260	0,258
2.3	0,234	0,238

5.2. İkinci Grup Deneyler

Bu grup deneylerde % 99,7 oranında aktif madde hegzakloreten içeren tabletler kullanılmıştır. Tablo 5.6 ergitilmiş alaşıma 30 kg / 30 ton alaşım dozajında tablet ilavesinde ulaşılan kalıntı hidrojen miktarları görülmektedir. Tablo 5.7 de ise tablet ilave miktarının 60kg / 30 ton alaşıma çıkarıldığı zaman metalde kalan kalıntı hidrojen miktarları özetlenmiştir. Sonuçlardan da görüleceği gibi dozaj miktarının artırılması ile kalıntı hidrojen içeriğinde önemli bir değişiklik olmamaktadır. 30kg tablet ilavesinde ortalama kalıntı hidrojen içeriği 0,34 ppm iken ilave miktarı 60kg'a çıkarıldığında ortalama kalıntı hidrojen değeri 0,33 ppm civarında olmaktadır.

Tablo 5.6 30 kg / 30 ton alaşım dozajında tablet ilavesinde alaşımda kalan hidrojen miktarları

Numune Yeri	Rulo No	
	5365	5367
	Hidrojen içeriği ppm	
1.1	0,380	0,376
1.2	0,353	0,362
1.3	0,347	0,359
2.1	0,322	0,350
2.2	0,320	0,342
2.3	-	-

Tablo 5.7. 60kg / 30 ton alaşım dozajında tablet ilavesinde alaşımda kalan hidrojen miktarları

Numune Yeri	Rulo No
	5368
	Hidrojen içeriği ppm
1.1	0,374
1.2	0,355
1.3	0,348
2.1	0,333
2.2	0,330
2.3	-

5.3. Üçüncü Grup Deneyler

Bu grup deneylerde Pyrotek FIF-50 tipi enjeksiyon cihazı ile % 16 kriyolit içeren karnalit flaksı ile birlikte ergimiş banyoya azot gazı üflenmesi sonucunda ulaşılan kalıntı hidrojen değerleri tablo 5.8’de gösterilmektedir.

Tablo 5.8. Pyrotek FIF-50 tipi enjeksiyon cihazı ile karnalit flaksı ve azot gazı ile yapılan gaz giderme işlemlerinde kalıntı hidrojen miktarları

Numune Yeri	Rulo No							
	1405	1406	1407	1410	1411	1412	1413	1416
	Hidrojen içeriği ppm							
1.1	0,352	0,373	0,369	0,376	0,396	0,388	0,391	0,378
1.2	0,256	0,249	0,244	0,250	0,271	0,261	0,259	0,266
1.3	0,320	0,332	0,344	0,346	0,365	0,352	0,358	0,366
2.1	0,228	0,219	0,220	0,222	0,244	0,224	0,233	0,236
2.2	0,315	0,325	0,325	0,330	0,338	0,326	0,319	0,337
2.3	0,302	0,212	0,212	0,210	0,219	0,212	0,218	0,220

Tablodaki sonuçlar enjeksiyon cihazı ile flakslı gaz giderme işleminde kalıntı hidrojen miktarlarının 0,21 - 0,35 ppm aralığında değiştiğini ve dengesiz bir kalıntı hidrojen dağılımı olduğunu göstermektedir. Aynı cihaz ile aynı şartlarda örtü flaksı kullanılarak gaz giderme deneylerinde ise tablo 5.9daki sonuçlar ortaya çıkmıştır. Tablodan da görülebileceği gibi örtü flaksı ile kullanıldığında daha dengeli bir kalıntı hidrojen içeriğine ulaşılmaktadır. İşlemin uygulandığı şartlarda inilebilecek hidrojen seviyesi 0,3 ppm civarındadır.

Tablo 5.9. Pyrotek FIF-50 tipi enjeksiyon cihazı kullanılarak azot gazı ile yapılan gaz giderme işlemlerinde örtü flaksı ilaveli deneylerde kalıntı hidrojen miktarları

Numune Yeri	Rulo No	
	1505	1511
	Hidrojen içeriği ppm	
1.1	0,383	0,380
1.2	0,346	0,341
1.3	0,366	0,362
2.1	0,312	0,310
2.2	0,354	0,349
2.3	0,310	0,306

5.4. Çeşitli Gaz Giderme Yöntemleri Sonunda Metalde Kalan Empürite Miktarları

Bu grup deneylerde önceki gaz giderme işlemlerinden elde edilen metallerde kalan empürite miktarları analiz edilmiştir. Tablo 5.10’da alaşım içinde kalan magnezyum ve sodyum miktarları karşılaştırmalı olarak verilmektedir.

Tablo 5.10 Değişik gaz giderme yöntemlerinde metalde kalan magnezyum ve sodyum miktarları

Numune alınan yer	%Mg			%Na		
	Flux feeder	Cl ₂ +N ₂	Degazer tablet	Flux feeder	Cl ₂ +N ₂	Degazer tablet
Fırın içinde	0,0066	0,0107	0,0224	0,00022	0	0
Fırın çıkışı	0,00594	0,0109	0,0197	0,00021	0,00007	0
Bekletme fırını içi	0,00566	0,0105	0,0104	0,00032	0,00013	0
Bekletme fırını çıkışı	0,00543	0,11	0,0084	0	0,00054	0
Yolluk önce	0,00555	0,0115	0,0113	0,00007	0	0
Yolluktan sonra	0,00540	0,0114	0,0091	0	0	0
Levha	0,0056	0,114	0,0124	0	0	0

Tablodan da görüleceği gibi magnezyum ve sodyumun kalıntı miktarları flaks feeder cihazı kullanıldığında çok düşük seviyelere inmektedir. Bu da FIF-50 cihazı ile yapılan gaz gidermeyi daha efektif olduğunu gösteren bir bulgudur. Aynı sonuca üç ayrı gaz giderme yönteminde kalıntı hidrojen ve birim alandaki inklüzyon miktarlarını gösteren tablo 5.11’de de ulaşılmaktadır. Örneğin her üç gaz giderme yönteminde de nihai hidrojen kalıntısı 0,2 ppm civarında iken ametal/mm² miktarı 0,03 ile FIF-50 cihazı ile en düşük değere gelmektedir.

Tablo 5.11. Üç gaz giderme yönteminde ulaşılan nihai hidrojen kalıntı ve ametal/mm² miktarları

Numune alma yeri	H ₂			Ametal/mm ²		
	Flux feeder	Cl ₂ +N ₂	Degazer tablet	Flux feeder	Cl ₂ +N ₂	Degazer tablet
1.1	0,37	0,393	0,38	0,06	0,11	0,17
1.2	0,262	0,304	0,248	0,06	0,06	0,11
1.3	0,352	0,376	0,347	0,06	0,08	0,08
2.1	0,244	0,262	0,226	0,03	0,06	0,06
2.2	0,326	0,341	0,32	0,03	0,06	0,06
2.3	0,216	0,224	0,211	0,03	0,08	0,06

6. DENEY SONUÇLARININ İRDELENMESİ

6.1. Tabletle Gaz Giderme Yönteminin Sonuçlarının İrdelenmesi

Yapılan deneysel çalışmalarda üç tip gaz giderme yöntemi denenmiştir. Bunlardan birincisi hegzakloreten tabletler ile yapılan klasik gaz gidermedir. Tablo 5.8 ve 5.9'daki sonuçlar incelendiğinde ortalama olarak bu metotla 0,3-0,35 ppm civarında bir kalıntı hidrojen miktarına ulaşıldığı bu değerin birim ergimiş metal başına kullanılan tablet miktarı artırılrsa bile değişmediği görülmektedir. Bu seride yapılan gaz giderme deneylerinde kullanılan fırın endüstriyel bir fırın olup çalışma şartlarında ergimiş metal banyosunun derinliği ve sıcaklığı aynı kaldığından tabletin parçalanmasından çıkan gazın aynı sürede banyoyu terk ettiği kabul edilebilir. Dolayısı ile farklı rulo numaraları ile verilen bütün deney periyotlarında aynı hidrojen kalıntı miktarlarına ulaşılmaktadır. Tablet dozajının 30kg dan 60 kg'a çıkarılmasının kalıntı hidrojen miktarını değiştirmemesi ise dekompozisyon sonucu oluşturulan klor gazının banyodaki çözünme miktarının banyoda çözünen klor gazı miktarından bağımsız olduğunun bir göstergesidir.

6.2. Azot ve Klor Gazı Karışımı ile Yapılan Gaz Giderme Sonuçlarının İrdelenmesi

Bu blok deneylerde gaz giderme için % 90 azot + % 10 klor karışımı kullanılmıştır. Bir lans vasıtası ile sıvı metal içine gazın üflenmesi ile gerçekleştirilen bu işlemlerde ölçülen nihai kalıntı hidrojen miktarları değişiklik arz etmektedir. Tablo 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, 5.5 ten görülebileceği gibi kalan hidrojen miktarı gaz verme şekli ve süresi aynı olmasına rağmen ergitilen alaşımın türüne göre değişiklikler göstermektedir. Örneğin 8006 serisinde 0,11 ppm, 3105 serisinde 0,14 ppm, 8011A serisinde 0,23 ppm ve 1050A serisinde ise 0,23 ppm sonuçlarına ulaşılmaktadır. Bu kalıntı hidrojen miktarlarının alaşımların kimyasal içerikleri ile ilgili olduğu ortaya çıkmaktadır. Tablo 4.1, 4.2, 4.3 ve 4.4'te verilen alaşımların kimyasal içerikleri incelendiğinde, 8006 ve 3105 serisinde mangan miktarlarının diğer alaşımlara göre yüksek olduğu

anlaşılmaktadır. Gaz giderme deneylerinde en düşük hidrojen kalıntısı bu alaşımlarda elde edildiğinden alaşımda kalan kalıntı hidrojenin artan mangan miktarı ile azaldığı ortaya çıkan ilginç bir sonuçtur.

6.3. FIF-50 Flaks Enjeksiyon Cihazı ile Yapılan Gaz Giderme Yönteminin Sonuçlarının İrdelenmesi

Bu grup deneylerde gaz giderme karnalit ile birlikte azotu sisteme verebilen bir enjeksiyon makinesi yardımı ile yapılmıştır. Buradaki gaz giderme tekniği lans ile yapılan teknikle benzerlik göstermesine rağmen flaks ilavesi ile gaz vermenin aynı anda yapılması temel farklılıktır. Elde edilen sonuçların tablo 5.8 yardımı ile incelendiğinde çeşitli rulo numaraları ile verilen değişik deneysel periyotlarda çok farklı kalıntı hidrojen miktarlarına ulaşıldığı anlaşılmaktadır. Bu miktarlar 0,2 ppm ile 0,4 ppm arasında değişmektedir. Diğer bir deyişle dengesiz bir gaz giderme işlemi söz konusudur. Bunun nedeni hidrojen giderici gazın enjeksiyon makinesinde flaks ile birlikte verilmesidir. Flaksın gaz ile birlikte enjeksiyonu sırasında flaksın yerel cürufuşturmaları neden olması banyodaki çözünmüş hidrojenin taşıyıcı gazla tam temasını önlemekte dolayısı ile kalıntı hidrojen miktarlarında homojensizlikler meydana gelmektedir. Nitekim enjeksiyon cihazından azot gazının flaksız olarak ergimiş banyoya verilmesi ve flaksın klasik anlamda banyo üstüne manuel olarak ilave edilmesi ile dağınık hidrojen miktarları toparlanmaktadır. Tablo 5.9'daki sonuçlar incelendiğinde 0,3 ppm civarındaki dengeli kalıntı hidrojen miktarı bunun ispatıdır. Örtü flaksının manual eklenmesi durumunda ulaşılan nihai hidrojen miktarının(0,3 ppm) flaks+gaz enjeksiyonunda ulaşılan 0,2 ppm'lik en az kalıntı değerinden yüksek olmasının nedeni ise örtü flaksı ile oluşan cürufun az da olsa azot gazının sıvı banyo içindeki hareketini engellemesidir.

6.4. Gaz Giderme Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Tablo 5.10-5.11 uygulanan üç tür gaz giderme yöntemini, işlemten sonra metalde kalan % magnezyum ve % sodyum empürite miktarları, kalıntı hidrojen konsantrasyonu ve metalde bulunan inklüzyonların ametal/mm² cinsinden miktarını göze alarak karşılaştırılmalarını göstermektedir. En iyi hidrojen giderme seviyesi mukayese edildiğinde her üç yöntemle de 0,2 ppm civarında kalıcı hidrojen konsantrasyonlarına ulaşılmaktadır. Dolayısı ile bu kıstasa dayanılarak her üç gaz

giderme yöntemi birbirlerine göre üstünlüklerinin olmadığı kanısına varılmaktadır. Ancak gaz giderme yönteminden sonra alüminyum bazlı alaşım bölgesinde kalan magnezyum ve sodyum miktarları incelendiğinde özellikle magnezyum açısından gaz enjeksiyon makinesi ile yapılan gaz gidermenin empürite açısından daha temiz bir metal ortaya çıkardığı anlaşılmaktadır. Gaz enjeksiyon sistemi ile yapılan gaz gidermelerde flaks+gaz enjeksiyonundan vazgeçilerek sadece gaz üfleme yapıldığı takdirde bu olumlu sonuç daha da bariz ortaya çıkmaktadır. Enjeksiyonlu gaz gidermenin olumlu etkisi alaşım metalinde kalan inklüzyon miktarları incelendiğinde de anlaşılmaktadır. Tablo 5.11 de ametal/mm² cinsinden en düşük inklüzyon miktarına(0,03 ametal/mm²) bu sistemle ulaşılmaktadır.

Gaz giderme yöntemlerinin karşılaştırılmasında gaz giderici olarak kullanılan bileşiğin çalışma ortamına etkileri de göz önüne alınmalıdır. Klasik yöntem olan hegzakloreten tabletlerinin kullanılması aşırı derecede ve kontrolsüz klor gazının çıkmasına yol açmakta ve gazın metal banyosunu hızlı terk etmesi sebebi ile yeterli hidrojen giderme işleminde problemler ortaya çıkmaktadır. Bu uygulamada klor gazının banyodan atmosfere salınması gerek işletme çalışanlarının sağlığı gerekse malzeme korozyonu açısından büyük zararlı etkiler yaratmaktadır. Bu zararlı etkinin azaltılması için klor gazının bir inert gaz ile seyreltilerek(azot veya argon) kontrollü debilerle verilmesi bu etkiyi azaltmaktadır. Lans ile üfleme tekniğinde gazın banyoya homojen dağılmaması tehlikesi ortaya çıkabilmektedir. Bu olumsuzluk da pratik uygulamada gazı enjeksiyon cihazlarından banyonun içine sparging tekniği ile vererek en aza indirilmektedir. Bu gaz enjeksiyon cihazlarının bu olumlu teknik yararını kısıtlayan en önemli dezavantajları klorun bu cihazdan banyoya flaks halinde verilmesi sırasında banyoda yerel dros ve cüruf oluşumları nedeni ile banyoda homojen olmayan bir kalıntı hidrojen konsantrasyonu yaratmasıdır. Ancak bu olumsuzlukta flaksın örtü flaksı olarak verilmesi ve cihazdan yalnızca gaz enjekte edilmesi ile aşılabilmektedir. İlave olarak bu cihazlara döner bir gaz dağıtma sistemi eklenmesi de yararlı olacaktır.

6.5. Deneysel Sonuçlarının Metalografik olarak İrdelenmesi

Şekil 6.1, 6.2 ve 6.3, 8006 serisi alüminyum alaşımının denenen üç yöntemle degaze edilmesinden sonraki metalografik imajlarını göstermektedir.



Şekil 6.1. 8006 alaşımlarının tablet ile degaze edilmesinden sonra elde edilen metalografik imaj (X100)



Şekil 6.2. 8006 alaşımlarının %90azot+%10klor karışımı ile degaze edilmesinden sonra elde edilen metalografik imaj (X100)



Şekil 6.3. 8006 alaşımasının enjeksiyon cihazı ile degaze edilmesinden sonra elde edilen metalografik imaj (X100)

Bu şekiller birbirleri ile karşılaştırıldığında gerek bünyede kalan hidrojen boşluklarının miktarı gerekse inklüzyonların miktar ve dağılımları açısından gaz giderme yöntemlerinin avantaj ve dezavantajları ortaya çıkmaktadır. Bu açıdan bir karşılaştırma yapıldığında, degazer tablet ile gaz giderme işleminde daha yoğun gaz boşlukları ve inklüzyonların miktar ve dağılımları açısından daha kaba bir yapı elde edilmektedir. Bu kaba metalografik görünüm azot+klor uygulamasında biraz azalırken gaz enjeksiyon cihazları ile elde edilen yapı alaşımdan beklenen mekanik özellikler açısından en uygun görünümü vermektedir.

7. GENEL SONUÇLAR

1. Çeşitli tipteki alüminyum alaşımlarının endüstriyel boyuttaki ergitme ve dökülmesi sırasında hidrojen gazının havadaki nem ve baca gazları ve refrakter ile etkileşimi ile sıvı alüminyumda çözünmesi ergitme işleminde olumsuzluklar yaratmaktadır.
2. Ergitilmiş alüminyum alaşımının dökülmesi ve plastik şekil verme işlemlerine tabi tutulmadan önce gaz giderme işlemlerinin uygulanması alaşımdan beklenen mekanik özelliklerin sağlanması açısından vazgeçilemez bir prosestir.
3. Gaz gidermede değişik teknikler kullanılabilir. Bunlardan tablet uygulaması klasik yöntem iken lans ve enjeksiyon cihazı uygulamaları daha yeni yöntemlerdir.
4. Yapılan deneysel çalışmalarda endüstriyel boyutta her üç gaz giderme yöntemi ile de 0,2 ppm'e kadar kalıntı hidrojen miktarlarına inilebilmektedir. Bu değer literatürlerde [2-5,7,11] belirtilen ve gaz boşluğu oluşması sınırı olan 0,15-0,2ml H₂/100g metal değerine ulaşan bir kalıntı hidrojen miktarıdır.
5. Kalıntı hidrojen miktarı açısından kullanılan her üç yöntemde farkı olmamasına rağmen gaz giderme sonucunda kalan sodyum ve magnezyum empürite miktarlarının en az seviyede olduğu yöntem cihazla enjeksiyon yöntemidir.
6. Enjeksiyon cihazı ile gaz giderme yönteminde diğer yöntemlere göre 0,03 ametal/ mm² ile en düşük inklüzyon miktarlarına ulaşılmaktadır.
7. Gaz ile enjeksiyon sisteminin en yararlı gaz giderme yöntemi olduğu 8006 alaşımı için çekilen metalografik imajların karşılaştırılması ile de ortaya çıkmaktadır.

8. ÖNERİLER

1. Yapılan deneysel çalışmalarda alüminyum alaşımlarda bulunan yüksek manganın alaşımda kalan hidrojen miktarına azaltıcı yönde etkide bulunduğu tespit edilmiştir. Bu konuda deneysel bir araştırmanın yapılması yerinde olur.
2. Gaz giderme yöntemlerinde en iyi sonuç kalıcı empürite miktarları ve inklüzyon seviyesi ve metalografik kalite açısından en iyi sonucu enjeksiyon cihazları vermektedir. Ancak bu cihazlarda otomatik flaks vermenin olumsuz etkilerinin giderilmesi ve gaz vermenin döner bir dağıtıcı sistem ile banyoya iletilmesi yararlı olacaktır.
3. Alüminyumda çözünmüş hidrojenin giderilmesinde HCl oluşturmak kaçınılmazdır. Ancak klor gazının sıvı metalde molekül halinden değil Cl^- olarak çözünmesi daha olumlu sonuçlar verecektir. Böylelikle pahalı bir gaz olan klorun boşuna harcanması ve çevresel etkilerinin en aza indirilmesi sağlanabilecektir.
4. Gaz verme sistemlerinde ekonomik ve rantabl çalışmada önemli bir gerekliliktir. Bu nedenle sparging etkisi de yaratacak enjeksiyon cihaz tipindeki gaz gidericilerin geliştirilerek kullanılması lüzumlu görülmektedir

KAYNAKLAR

- [1] **Habashi, F.**, 1997. Handbook of Extractive Metallurgy volume 2 primary metals, secondary metals, Light Metals, Wiley-VCH
- [2] **Van Horn, K. R.**, 1967. Aluminum volume 3 Fabrication and finishing, American Society for Metals, Metals Park, Ohio
- [3] **Zalensas Donna L.** 1986 Aluminum casting technology, Des Plaines 3. American Foundrymen's Society
- [4] **Sanders, R.E. Jr. and Mc Bride, J.K.**, 1991. Recycle of Aluminium. "Recycling and fabrication of used bavarage cans into 3004 alloy can sheet", Univercity Microfilms International
- [5] **Neff, V.D.;** 1991. Scrap Melting and Metallurgical processes Employed an Aluminum Recycling, *Proceedings of the International Symposium*,
- [6] **Green R.**, 2001. In-Furnace Treatment of Molten Aluminium, *International Melt Quality Workshop*, Madrid, Spain, 25 – 26 October
- [7] **Van Horn, K. R.**, 1967. Aluminum volume 1 properties, physical metallurgy and phase diagrams, American Society for Metals, Metals Park, Ohio
- [8] **Ohno Y.**, 2001. The latest molten metal refining processes in cast shop, *Journal of Japan Institute of Light Metals*, **No.51** 134-137 off print (English translation of Japanese paper)
- [9] **Watson, J. W. and Meshii M.;** 1987. "Hydrogen in Aluminium and Aluminium Alloys" in Aluminum Alloys-Contemporary Research and Aplications. Ed. A.K. Vasuderen and R.D. Dolnerty, Academic Press Inc.
- [10] **Fata-Hunter Twin Roll Caster Operation Manual**, 1975 Tecmo-Hunter Engineering Practices Bulgaria
- [11] **Lancker, M.V.;** 1967. Metallurgy of Aluminum and Alloys, Chapman and Hall LTD.

- [12] **Warke V.S., Shankar S., Makhoulf M.M.** 2005. Mathematical modeling and computer simulation of molten aluminum cleansing by the rotating impeller degasser Part II. Removal of hydrogen gas and solid particles, *Journal of Materials Processing Technology*.
- [13] **Bridi R.,** 2000. Substitution of Chlorine as a Furnace Addition in Aluminium Industry Cast Houses by Fused Refining Agents, *First International Congress of the Aluminium Industry*, Sao Paulo, 21st to 23rd of November
- [14] **Pyrotek FIF-50 Flux Injection Machine,** 2003, Operation and Maintenance Manual
- [15] **Leco Gas Analyzer Instruction Manual,** 2000 Leco Laboratory Equipments

ÖZGEÇMİŞ

1979 yılında Elazığ'da doğan Erdem TÜRKER, lise tahsilini Emirgan Lisesi'nde yaptı. 2002 yılında İ.T.Ü. Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. Halen Bulgaristan'da bulunan Alcomet-Plc Firmasında Haddehane Üretim Şef Yardımcısı olarak görev yapmaktadır.