

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

93736

ALÜMİNYUM ERGİTME KAYIPLARI

Metalurji Müh. Savaşkan İŞIKDEMİR

F.B.E. Metalurji Mühendisliği Anabilim Dalı Malzeme Programında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mustafa ÇİĞDEM

Prof. Dr. D. Taphlı Taphlı
Prof. Dr. Nisan Tömeç
Prof. Dr. Mustafa Çiğdem

İSTANBUL, 2000

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ	ii
KISALTMA LİSTESİ	iii
ŞEKİL LİSTESİ	iv
ÇİZELGE LİSTESİ	v
ÖNSÖZ	vi
ÖZET	vii
ABSTRACT	viii
1. GİRİŞ	1
2. ALÜMİNYUM VE ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI	2
2.1. Alüminyum Hurdalara Uygulanan Ön İşlemler	4
2.1.1. Sınıflandırma	5
2.1.2. Yağ giderme	5
2.1.3. Boya giderme ve yakma	5
2.1.4. Kırma ve demirli parçaların ayrılması	5
2.1.5. Briketleme	6
2.1.6. Ön ısıtma	6
3. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ ERGİTİLMESİ	7
3.1. Pota Fırınları	7
3.2. Reverber Fırınları	8
3.3. Döner Fırınları	8
3.4. İndüksiyon Fırınları	8
4. SIVI ALÜMİNYUMUN FİZİKSEL VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİ	9
4.1. Sıvı Alüminyumdaki Safsızlıklar ve Rafinasyon	10
4.1.1. Hidrojen gazı	10
4.1.2. İnklüzyonlar	13
4.1.3. Sodyum (Na), kalsiyum (Ca) ve diğer kalıntılar	13
5. DÖKÜM ÖNCESİ SIVI ALÜMİNYUMA UYGULANAN İŞLEMLER	15
5.1. Rafinasyona Ait Prensipler ve Rafinasyon Yöntemleri	16
5.1.1. Eriyiğin bekletilmesi	17
5.1.2. Flaks tuzları ile rafinasyon	17
5.1.3. Klor (Cl_2) gazı ile rafinasyon	19
5.1.4. Hegzakloreten (C_2Cl_6)	20
5.1.5. Azot (N_2) ve asal gazlarla rafinasyon	20
5.1.6. Filtreler	21

5.1.7.	Vakumla filtrasyon	22
6.	ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ FLAKSLANMASI	24
6.1.	Flaks Bileşimi	25
6.2.	Flaks Tipleri	27
6.2.1.	Sıvı metali korumak için kullanılan flakslar (Örtü flaksları)	27
6.2.2.	Sıvı metali temizlemek için kullanılan flakslar (Temizleme flaksları)	29
6.2.3.	Metal – curuf ayırma flaksları	31
6.2.4.	Aritıcı flakslar	32
6.2.5.	Duvar temizleyici flakslar	32
7.	ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINDA GAZ GİDERME	33
7.1.	Alaşımın Hidrojen Adsorbsiyonu Eğilimleri	33
7.2.	Hidrojen Gidermenin Teorisi	33
7.3.	Alüminyumdaki Hidrojen Kaynakları	34
7.4.	Hidrojenin Etkisi	35
7.5.	Gaz Gidermek İçin Kullanılan Flakslar	36
7.5.1.	Gaz flakslar	37
7.5.2.	Katı flakslar	38
8.	FLAKSLAMA VE ÇÖKTÜRME	40
8.1.	Uygun Flaks Seçimi	41
8.2.	Flaksların Verimli Kullanımı	41
8.2.1.	Flaks enjeksiyonu	42
8.2.2.	Alüminyum eriyiklerinin devridaimi	45
8.2.2.1.	Bir alüminyum fırınında ısı transferi	45
8.2.2.2.	Eriyik metal pompası	46
8.2.2.3.	Eriyik devridaiminin faydaları	46
8.2.3.	Tane inceltme işlemi	47
8.2.3.1.	Tane inceltmenin yararları	48
8.2.3.2.	Tane boyutu ayarlama	49
8.2.3.2.1.	Döküm sıcaklığı	49
8.2.3.2.2.	Tane küçültücü katkıları	50
8.2.3.2.3.	Ticari tane küçültücüler	50
8.2.3.2.4.	Tane küçültücü flakslar	51
8.2.3.2.5.	Tane küçültücü katkı miktarı	51
8.3.	Alüminyum – Silisyum Alaşımlarının Modifikasyonu	52
8.3.1.	%6-13 Si içeren alüminyum - silisyum alaşımlarının sodyum ile modifikasyonu	54
8.3.2.	Stronsiyum ile modifikasyon	55
8.3.3.	Ötektik üstü alüminyum - silisyum alaşımlarının fosfor ile modifikasyonu	55
9.	SIVI METAL KALİTESİ	57
9.1.	Hidrojen Gazının Belirlenmesi	57
9.2.	Tane Boyutu Denetimi	60
9.2.1.	Tane boyutu testi	61
9.3.	Diğer Denetimler	61
9.3.1.	Sıcaklık denetimi	61
9.3.2.	Bileşim denetimi	62

9.3.3. Segregasyonun önlenmesi	62
9.3.4. Safsızlıkların denetimi	62
9.3.5. Çökelek oluşumunun önlenmesi	63
9.4. Sıvı Alüminyumda Kullanılan Yeni Rafinasyon Sistemleri	63
10. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	66
10.1. Deney Aşamaları	67
10.2. Deneylerde Kullanılan Flaks Bileşimleri	69
11.1.1. DENEYSEL SONUÇLAR ve TARTIŞMA	71
11.1.2. Ekonomik Değer Analizi	75
KAYNAKLAR	82
ÖZGEÇMİŞ	84



SİMGE LİSTESİ

A_h	Havadaki ağırlık
A_s	Sudaki ağırlık
A_m	Metal ağırlığı
F_m	Metal fiyatı
A_c	Cüruf ağırlığı
F_c	Cüruf fiyatı
A_f	Flaks ağırlığı
F_f	Flaks fiyatı



KISALTMA LİSTESİ

KYM	Kübik Yüzey Merkezi
VHE	Vacuum Hot Extraction
RPA	Reduced Pressure Aparatus
ÖA	Özgöl ağırlık



ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 4.1	Alüminyum içindeki hidrojen erirliğinin sıcaklıkla değişimi.....12
Şekil 5.1	Çeşitli yöntemlerin gaz giderme etkinlikleri.....19
Şekil 5.2	Potadan vakumla gaz giderme ünitesi (şematik).....23
Şekil 5.3	Vakum başlığı hareketli potadan gaz giderme ünitesi.....23
Şekil 6.1	Alüminyum alaşımlarında genel olarak kullanılan üç flaksın faz diyagramları.....28
Şekil 6.2	Alüminyum alaşımlarında genel olarak kullanılmakta olan ticari temizleme flakslarının üçlü faz diyagramı.....29
Şekil 6.3	a) Flaks kullanılmamış haliyle kütlesel, yüksek metal içerikli cüruf, b) etkin bir flaks kullanımı ile elde edilmiş toz halinde, düşük metal içerikli cüruf.....31
Şekil 7.1	356 alüminyum alaşımında hidrojen adsorbsiyonu ile mekanik özellikler arasındaki ilişki..... 36
Şekil 8.1	Hidrojenin neden olduğu boşluk ve mikro poroziteler.....40
Şekil 8.2	Flaks enjeksiyonunun şematik olarak gösterimi.....42
Şekil 8.3	Alüminyum alaşımlarından alkali metallerin uzaklaştırılmasında flaks enjeksiyonunun etkisi.....44
Şekil 8.4	Eriyik devridaim pompası kullanılan büyük bir alüminyum ergitme fırınında sıcaklık dağılımı homojenliği (95 ton).....47
Şekil 8.5	Alüminyum dökümlerde tane yapıları.....48
Şekil 8.6	Bor ve titanyum içeren flakslarla tane küçültme işlemi yapılmış ve yapılmamış yapılar.....50
Şekil 8.7	Al-Si denge diyagramı ve yapılar.....52
Şekil 8.8	Al-Si ötektik alaşımının yapısı.....53
Şekil 8.9	Al-Si alaşımlarında ötektik yapı.....53
Şekil 8.10	Al-Si alaşımlarının olağan (a) ve modifikasyon sonucu (b) yapısı.....55
Şekil 8.11	%17 Silisyumlu ötektik üstü alüminyum alaşımının modifiye edilmemiş (a) ve modifiye edilmiş (b) yapısı.....56
Şekil 9.1	Alüminyumda hidrojen seviyesini belirlemek için kullanılan bir azalan basınç cihazı.....58
Şekil 9.2	Aynı miktarda hidrojen içeren numunelerin farklı vakumlarda katılaşmaları.....58
Şekil 9.3	Sabit vakumda değişen hidrojen miktarı yapıları.....60
Şekil 9.4	Çift nozullu SNIF sistemi.....64
Şekil 9.5	Toz enjeksiyon tertibatlı, döner nozullu rafinasyon hücresi (HYCAST RAM-prosesi).....64
Şekil 9.6	Döner nozullu gaz giderme ünitesi (HYCAST HBS-ünitesi).....65
Şekil 11.1	Referans flaksın verimi.....72
Şekil 11.2	1nci grup flaslarda verim değişimi.....72
Şekil 11.3	2nci grup flaslarda verim değişimi.....73
Şekil 11.4	3ncü grup flaslarda verim değişimi.....73
Şekil 11.5	4ncü grup flaslarda verim değişimi.....74
Şekil 11.6	5nci grup flaslarda verim değişimi.....74
Şekil 11.7	6ncı grup flaksta verim değişimi.....75
Şekil 11.8	1nci grup flakslarda, referans ile % verim farkı.....78
Şekil 11.9	2nci grup flakslarda referans ile % verim farkı.....78
Şekil 11.10	3ncü grup flakslarda referans ile % verim farkı.....79
Şekil 11.11	4ncü grup flakslarda referans ile % verim farkı.....79
Şekil 11.12	5nci grup flakslarda referans ile % verim farkı.....80
Şekil 11.13	6ncı grup flaksta referans ile % verim farkı.....80

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Alüminyumun önemli özellikleri.....	3
Çizelge 2.2 Alaşım elementlerinin alüminyum özelliklerine etkileri.....	4
Çizelge 5.1 Ergimiş alüminyumdaki cürufıta bulunan bazı metal ve oksitlerin öztöl ağırlıkları.....	16
Çizelge 6.1 Alüminyum alaşımlarında flaks olarak kullanılmakta olan bazı malzemelerin özellikleri.....	26
Çizelge 6.2 Alüminyum cürufundaki bazı malzemelerin yoğunlukları.....	27
Çizelge 7.1 Alüminyum alaşımlarında kullanılan değişik gaz giderme flakslarının etkileri.....	39
Çizelge 10.1 Deneylerde kullanılan flaks bileşimleri.....	70
Çizelge 11.1 Deneysel sonuçlar.....	71
Çizelge 11.2 Bir alüminyum işletmesine maliyet analizi.....	77

ÖNSÖZ

Her geçen gün doğal kaynaklarını biraz daha tükettiğimiz dünyamızın, gelecekte bu kaynaklarını bizlere bugünkü kadar cömert olarak sunmayacağı gerçeğinden yola çıkarak, bu kaynakları olabildiğince verimli kullanmalıyız.

Günümüz toplumunun değişen talepleri doğrultusunda kullanımı her geçen gün daha da artan alüminyumun kıymeti gittikçe artmaktadır. Her alanda olduğu gibi, alüminyum endüstrisinde de olabilecek en yüksek verimle çalışmak sektörün öncelikli hedefi olmalıdır.

Alüminyum endüstrisinde verim artırıcı çalışmalardan biri olan flaks uygulamaları hakkında yapılan bu çalışmanın amacına ulaşması ve bundan sonra yapılacak çalışmalara kaynak olmasını temenni ediyorum.

Bana, bu çalışmanın yapılmasında desteğini esirgemeyen değerli hocam Sayın Doç. Dr. Mustafa Çiğdem başta olmak üzere diğer hocalarıma, Hüseyin ve Hediye Yalçıntaş'a, aileme ve müdürlerime teşekkür etmeyi bir borç bilirim.



ÖZET

Bu araştırmanın amacı, alüminyum hurdalarından ticari alüminyum üretiminin ergitme safhasında kullanılmakta olan flaksların, ergitme verimi üzerine etkilerini incelemektir.

Bu amaçla öncelikle alüminyum metali konusunda literatür taraması yapıp, ergitme prosedürü ve nihai ürünün kalitesi üzerine etki eden faktörler ortaya çıkarılmıştır.

Ardından, 6 grupta her biri diğerlerinden farklı bileşimlerde hazırlanan flakslar, 200g kaplamasız, 100 g' da kaplamalı ekstrüzyon hurdasından oluşan şarj malzemesine 760°C'de yapılan ergitme sonunda tatbik edilmiştir. Flaks ilavesinin ergitme verimi üzerindeki etkisinin tespit edilebilmesi amacı ile bir deneyde de flaks kullanmaksızın ergitme işlemi gerçekleştirilmiştir.

Deneyler sonucunda elde edilen veriler tablo ve grafiklerle desteklenerek kolay anlaşılır hale getirilmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda hayali bir firma için maliyet analizi yapılmıştır. Değerlendirme sonucunda flaksta bulunan eksotermik bileşen oranındaki artışın, ergitme verimini de artırdığı gözlenmiştir. Eksotermik bileşen oranının aşırı artışı ile yanma meydana geleceği göz önünde bulundurularak % 6-8 eksotermik bileşen oranının ideal olduğu kanısına varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Alüminyum ergitme, alüminyum flakslama, ergitme verimi.

ABSTRACT

The primary objective of the present investigation is to study the effect of drosses-off fluxes on metal recovery rate in secondary aluminium processing.

Following a detailed literature survey, factors of effecting the melting practice and quality of cast products has been determined.

Six groups of fluxes were made and used in melting practices. The results were compared with the melting practice in which fluxing treatment was not carried out.

The results derived from experimental work have been tabulated and also presented in two dimensional graphs so that comparison can be made easily between different fluxing operations. The experimental findings show that the metal recovery rate is directly proportional to the exothermic content of flux. However, it is noted that due to the metal losses associated with overoxidation, the upper limit of exothermic content is kept at around 6% -8%.

Keywords: Aluminium melt loses, fluxing, metal recovery rates.



1. GİRİŞ

Alüminyum ergitme sürecinde flaks; ergitme operasyonu boyunca şarj ve eriyik metalin oksidasyondan korunması, oksitleri çözünmesi ve geri dönüşümü, gaz adsorbsiyonunun önlenmesi ve gaz giderme, cüruftaki metalin geri kazanımı, modifikasyon, istenmeyen elementlerin uzaklaştırılması ve tane rafinasyonu amaçları ile kullanılır.

Diğer bir ifadeyle flakslar; fonksiyonlarına bağlı olarak örtü, ayrıştırma, gaz giderme, cüruflaştırma, modifikasyon ve temizleme flaksları olarak adlandırılır. Bu amaçlardan bir veya birkaçına ulaşmak için belirli flakslar kullanılır.

İlk meydana gelen cüruf yaklaşık olarak %80 metal %20 oksit fazı içerir. Cürufta bu kadar yüksek oranda metal bulunması, süreç boyunca metal kaybının azaltılması için uygun flaks kullanımını gerektirir.

Alüminyumun geri dönüşümünde belirli ön işlemlerin uygulanması daha iyi sonuçlar elde etmek açısından önemlidir. Bu işlemler, metal kazanımını ve sürecin ekonomik etkinliğini artırır. Alüminyum hurdalar bileşimlerine göre sınıflanmalı ve üzerlerindeki boya, yağ, kir ve nemin uzaklaştırılması için ön ısıtılmalıdır. Hurdalar küçük gruplara ayrılmalı ve içlerinde bulunan Fe esaslı malzemeler manyetik yöntemle ayrılmalıdır. Hurdanın sıkıştırılarak blok haline getirilmesi, yükleme işlemini kolaylaştırır ve ergitme verimi ile geri dönüşüm oranını artırır.

Alüminyum ergitmede kullanılacak olan yöntem; şarjın miktarı ve tipi, üretilen malzemenin kalitesi ve bileşimi gibi birçok faktöre bağlıdır. Alüminyum ergitmesinde genel olarak reverber, döner, indüksiyon, plazma ark ve pota fırınları kullanılır. İndüksiyon fırınları, hızlı ergitmede ve yüksek kaliteli alaşımları elde etmede kullanılır. Döner fırınlar özel, az miktarda hurdaların ergitilmesinde kullanılır. Reverber fırınları büyük miktardaki düşük alaşım içerikli malzemelerin ergitilmesinde kullanılır. Pota fırınları, düşük kapasiteli nihai dökümler için düşük yatırım maliyetlerinde tercih edilirler. Döner plazma ark fırınları seçilmiş hurda alüminyum ergitmek için geliştirilmişlerdir. Kontrollü atmosferli ve vakum ergitmeli fırınlara yüksek kaliteli dökümlerde gereksinim vardır. Son zamanlarda alüminyum ergitmedeki fırın teknolojisi oldukça ilerlemiştir. Her alanda birçok fırın çeşidi endüstrinin kullanımına girmiş, bir kısmı da geliştirme aşamasındadır.

2. ALÜMİNYUM VE ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI

Alüminyum ve alüminyum alaşımları, dünyada demir esaslı malzemelerden sonra ikinci sırada en önemli metal malzeme grubunu teşkil eder. Ayrıca hafif metaller arasında da gerek arı halde gerekse alaşım olarak en popüler ve en çok kullanılanıdır.

Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının, teknikte seçkin olarak kullanımında etkili olan faktörler şöyle sıralanabilir:

- Dayanım özgül ağırlık oranı: alaşımlarda daha belirgin olan bu oranın yüksekliği, hafifletilmelerine öncelik verilen konstrüksiyonların çoğu için alüminyumun uygun bir malzeme olmasını sağlar. Örneğin uçak, taşıt ve taşınabilir askeri silah ve donanımlar.
- Elektrik iletkenliği / özgül ağırlık oranı: bu oran tüm metallere nazaran alüminyumda daha yüksektir ve bundan dolayı da yüksek gerilim hatlarında bakırın yerini almaktadır.
- Korozyon dayanımı: atmosfere ve birçok ortama karşı alüminyumun korozyon dayanımı oldukça yüksektir ve eloksal ve benzeri yüzey işlemleri ile artırılabilmekte ve ayrıca dekoratif görünüm de sağlanabilmektedir.

Yukarıda verilen üstün özelliklerine ilave olarak, alüminyum ve alüminyum alaşımlarının soğukta bile çok iyi şekil alabiliyor olması, film gibi çok ince levha haline getirilebiliyor olması ve ısı iletme kabiliyetinin de yüksek olması iyi özelliklerindendir.

Bu üstünlüklerine karşın, arı halde çekme dayanımı ve akma sınırı değerlerinin düşük olması, oksijene karşı olan yüksek afinitesinden dolayı döküm kabiliyetinin kötülüğü, kaynak ve lehimlenme kabiliyetinin kötülüğü, talaşlı şekillendirilebilirliğinin iyi olmaması ve bazlara, hidroksitlere karşı dayanıksızlığı gibi iyi olmayan özellikleri vardır. Ancak alaşımlama ile bu özelliklerde de önemli oranda iyileşme sağlanabilmektedir.

Alüminyumun özellikleri Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1 Alüminyumun önemli özellikleri.

Özgül ağırlık	: ~2,70g/cm ³
Ergime sıcaklığı	: ~660°C
Ergime ısısı	: ~386kJ/kg
Elastiklik modülü	: ~65Gpa
Özgül ısı	: ~0,90kJ/kg.K (18°C)
Isı iletme katsayısı	: ~0,94 kJ/kg.K (100°C)
Elektrik iletme kabiliyeti	: ~39m/Ωmm ²
Çekme mukavemeti	: 4-8kp/mm ²
Akma sınırı	: 1-3kp/mm ²
Elastiklik modülü	: 7,2.10 ⁵ kp/cm ²
Kayma modülü	: 2,7. 10 ⁵ kp/cm ²
Çentik darbe sünekliği	: 10kpm/cm ²
Kopma uzaması	: 30-38%
Ergime noktası	: 660°C
Döğülme sıcaklığı	: 300-500°C
Yeniden kristalleşme sıcaklığı	: 25-300°C
Yoğunluk	: 2,7kg/dm ³
Kristal çeşidi	: KYM

Yüzey merkezli kübik kafese sahip alüminyum büyük ölçüde plastik şekil değiştirebilir. Haddeleme sonucu %99 oranında plastik şekil değiştirerek film haline getirilebilir. Ayrıca toksik olmadığından gıda endüstrisinde ve paketlenme işlemlerinde çok yaygın olarak kullanılır.

Alüminyum esaslı malzemelerde, başlıca alaşım elementleri Mg, Si, Zn ve Cu'dur ve bunlar tek tek veya bir arada, alaşımda belirli özelliklere ulaşmak için kullanılırlar. Alaşımlar, üretim yöntemleri göz önünde tutularak, hadde ve döküm alaşımları olarak iki ana gruba ayrılırlar. İşlenebilirlik ve malzeme seçimi için önemli bir ayrım da, her iki ana grup da sertleşebilir ve sertleşemez alaşımlar olarak ayrıca gruplara ayrılırlar. Doğal sertliklerinde ve sertleşemeyen alaşım olarak Al-Mg ve Al-Mn alaşımları gösterilebilir. Bunlar ısı etkime bölgesinde önemli miktarda bir dayanım düşmesi olmaksızın kaynak edilebilirler. Buna karşın, Al-Cu-Mg, Al-Mg-Si ya da Al-Zn-Mg gibi çökelmeyle sertleşebilen alaşımların, yumuşak halde şekillenebilirlik üstünlüğü vardır. Sertleştirildikten sonra kaynak edilirlse dayanım düşmesi meydana geleceğinden, tekrar ısıl işlem uygulanması gerekir. Bazı Al-Zn alaşımlarında, kaynakta meydana gelen ısınma ve soğuma olaylarının etkisi ile, oda sıcaklığında uzun süre (yaklaşık 3 ay) dinlenme sonrasında yeniden dayanım artması görülebilir.

Çizelge 2.2 Alaşım elementlerinin alüminyum özelliklerine etkileri. (↑:yükselme, ↓:azalma, ≈:değişmez, —:karakteristik değil veya bilinmiyor). (CB Metal).

	Fe	Si	Mg	Mn	Cu	Zn	Ti	Cr	Ni	Li	Zr	V	Sn	B	Bi	Pb
Yoğunluk	↑	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↑	↑	↑	↓	↑	↑
Akışkanlık	↓	↑	↑	↓	↓	≈	↓	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sertleşme	↑	↑	↑	↑↑	↑↑↑	↑↑↑	↑	↑	—	—	—	—	↓	—	—	↓
Mukavemet(sürtünme*)	↑	↑	↑	↑*	↑↑*	↑↑↑	↑↑	—	↑*	—	—	—	↑*	↑	—	—
Elektrik iletkenliği	↓	↓↓	↓↓	↓↓↓	↓↓	↓	↓↓↓	↓↓↓	↓	↓↓↓	↓↓	↓↓	≈	↑↑↑	≈	—
Korozyon mukavemeti	—	↑	↑↑↑	↑↑	↓	↓	—	—	↓	—	—	—	↓	—	↓	↓
Isıl genleşme katsayısı	—	↓	↓	↓	↓	↑	↓	↓	↓	—	↓	↓	—	—	—	—

Birincil alüminyum üretimi yüksek maliyette enerji gereksinimi duyar. Birincil alüminyum üretimi 48-60kwh/kg Al enerji tüketimi gerektirirken, ikincil alüminyum üretimi 3kwh/kg Al enerji tüketimi gerektirmektedir. Bu, alüminyumun birincil üretiminde birim maliyetin yaklaşık olarak 4000\$/t olması durumunda, ikincil üretimin 300\$/t olması manasına gelmektedir.

Alüminyumun ikincil üretiminin yukarıda belirtilmiş olan avantajlarının yanısıra çevre açısından da olumlu etkileri bulunmaktadır.

2.1 Alüminyum Hurdalara Uygulanan Ön İşlemler

Alüminyum, endüstride birçok önemli uygulama alanı bulmuştur ve bunun sonucu olarak da kullanılma miktarının zamana bağlı olarak artması beklenmektedir. Bunun yanısıra, birincil alüminyum üretiminde çözülmesi gerekli birçok sorun bulunmaktadır. Bunların başında boksit madeninin yeryüzünün belirli bölgelerinde yoğunlaşmış olması gelmektedir.

Bu problemin çözümüne yönelik olarak özellikle son yirmi yıl içinde ikincil alüminyum endüstrisi için hurda kullanımı önemli yer tutmaktadır. Alüminyum hurdalarının kullanımı, üretimi için birlikte kullanılmakta olduğu çevreye zararlı olan maddeler de göz önüne alındığında birçok avantaj getirmektedir.

Alüminyum hurdalarının gelişigüzel toplanıp bir fırında ergitilmesi, alüminyumun bozulması ve özelliklerini kaybetmesine neden olur. Dolayısıyla alüminyumun sonsuz kullanım özelliği ancak alüminyumun bilinçli ergitilmesi ve alaşımlanması ile sağlanabilir.

2.1.1 Sınıflandırma

Hurdaların cinslerine göre sınıflandırılıp, muhtemel alaşım kümelerinin oluşturulması esasına dayanır. Sınıflandırmada; aynı cinsten fazla miktarda hurda temini ve hurdaların talaş, çapak, döküm parçası, pres artığı gibi büyüklüklere ayrılması önemlidir.

2.1.2 Yağ giderme

Alüminyum talaşlarına uygulanır. Alüminyum talaşları ergitilmeden önce üzerindeki yağ kademeli olarak yağ giderme ve kurutma makinalarından geçerek ön ısıtmalı bir şekilde ergitme fırınına beslenirler.

2.1.3 Boya giderme ve yakma

Alüminyum folyo kaplamalı ambalajlar, üzeri boyalı alüminyum artıkların yeniden değerlendirilmesinden önce kapalı bir fırında yakılarak alüminyum olmayan kısımların giderilmesi işlemidir. Fırında yakma işleminde fırın sıcaklığı alüminyum olmayan karton, boya, plastik gibi kısımların yanabileceği kadar yüksek fakat alüminyum parçalarını oksitlemeyecek kadar düşük olmalıdır. Boya giderme ve yakma işleminde kullanılan brülör ısıtmalı döner fırınlarda yakıt-hava karışımı ve fırın sıcaklığı oksitlenmeye imkan vermeyecek şekilde ayarlanmalıdır.

2.1.4 Kırma ve demirli parçaların ayrılması

Kullanım amaçlarına göre içinde demir saplama, burç, yatak gibi parçalar bulunan alüminyum döküm hurdalar ergitilmeden önce demirli parçalardan ayrılmalıdır. Hurdalar bir kırıcı değirmende parçalanarak manyetik ayırıcılar ile içindeki demir esaslı parçalardan ayrılırlar. İçinde çelik tel buluna alüminyum iletken kablolar da iletken telin makaslı değirmenlerde küçük parçalara ayrılması sağlanır. Daha sonra manyetik ayırıcılarda çelik parçalar ayrılırlar. Demir parçalı alüminyum hurdalar için ayrıca sızdırma fırınlarında (Sweating Furnances) ergitme yöntemi mevcuttur. Demir parçalı alüminyum hurdalar ızgaralar üzerinde 650°C'nin altında ısıtılarak alüminyumun ergiyip akması sağlanır.

2.1.5 Briketleme

İşlem artıkları alüminyum parçalar (folyo, ince plaka, tel gibi) yağlı olmama, demirli malzeme ile karışmama koşulu ile hem hacim azaltılması hem de ergitmede yanma kaybını önlemek için hidrolik preslerde sıkıştırılarak briket bloklar haline getirilirler. Alüminyum talaş, çapak ve folyoların briketlenmesi masraf artırıcı bir işlem olmasına karşılık, ergitmede sağlayacağı verim nedeni ile büyük ekonomi sağlamaktadır.

2.1.6 Ön ısıtma

Ön ısıtma ile hurdaların nemi giderilmekte ve ergitme ocağında çalışma ortamını zorlaştıran duman oluşumu da en az düzeye indirgenmektedir.



3. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ ERGİTİLMESİ

Alüminyumun geri dönüşümünde belirli ön işlemlerin uygulanması daha iyi sonuçlar elde etmek için önemlidir. Bu işlemler, metal kazanımını ve sürecin ekonomik etkinliğini artırır. Alüminyum hurdaları bileşimlerine göre sınıflanmalı ve üzerlerindeki boya, yağ, kir ve nemin uzaklaştırılması için ön ısıtılmalıdırlar. Hurdalar küçük gruplara ayrılmalı ve içlerinde bulunan Fe esaslı malzemeler manyetik yöntemle ayrılmalıdırlar. Hurdanın sıkıştırılarak blok haline getirilmesi, yükleme işlemini kolaylaştırır ve ergitme verimi ile geri dönüşüm oranını artırır.

Genel olarak tüm demir dışı metalik malzemelerin ergitilmesinde geçmişten beri flakslama, metal rafinasyonu, deoksidasyon, gaz giderme, ve tane inceltme işlemleri uygulanmıştır. Bunun yanı sıra, demir dışı metal üretiminde, eriyik metal pompalama ve filtreleme de yeni ve çok kullanılan yöntemlerdir.

Alüminyum alaşımlarının ergitilmesinde ergitilecek alaşımın bileşimine, kalitesine ve miktarına bağlı olarak değişik ergitme yöntemleri kullanılır.

3.1 Pota Fırınları

Pota fırınlarında ısı, katı sıvı ve gaz yakıtla sağlanabildiği gibi elektrik enerjisi ile de sağlanır. Pota olarak, dökülecek malzemenin kalitesine göre dökme demir, grafit ve silisyum karbür potalar kullanılır. Dökme demir potalarda eriyiğe demir geçme tehlikesi vardır. Bunu önlemek için pota refrakter ile kaplanır ve genellikle tutma fırınlarında kullanılırlar. Silisyum karbür potalar ise magnezyumu yüksek alüminyum alaşımlarında silisyumun eriyiğe geçmesine yol açar.

Pota fırınları, potanın sabit ve hareketli olmasına göre iki kısımda incelenebilir. Hareketli potalı fırınlar daha ziyade, düşük kapasiteler ve farklı bileşimdeki alaşımları ergitmek için avantajlıdır. Sabit potalı fırınlar ise 100-150kg kapasiteler için uygundur. Dökme demir ve refrakter potalar kullanılır. Ergitme veya bekletme amacıyla kullanılan sabit potalı fırınlar da eğilebilir ve eğilemeyen olarak iki kısımda incelenir. Eğilebilir sabit potalı fırınlarda metal kapasitesi 500kg'dır. Eğme işleminin elle, mekanik veya hidrolik olarak yapılabildiği bu fırınlar dudaktan ve göbekten eğilenler olarak sınıflandırılırlar.

3.2 Reverber Fırınlar

Alüminyum ergitiminde akla gelen en önemli fırın, reverber fırınıdır. Alüminyum endüstrisinde, gerek elektrolizden gelen metalin ısıtılması veya alaşımlanmasında ve gerekse hurdaların yeniden ergitilmesinde reverber fırınlarının önemi büyüktür.

Büyük kapasitelerde (15-20 ton) ergitme ve bekletme fırını olarak geliştirilen reverber fırınlarında sıvı, katı ve gaz yakıt kullanılabildiği gibi elektrik enerjisi de kullanılmaktadır. Reverber fırınlarında sıvı metal ile yanma ürünleri temasta olduğu için cüruf oluşumu ve gaz kapma problemi vardır. Ergitme kaybını azaltmak için hurdanın kiri, ve nemi ön işlemler uygulanarak alınmalıdır.

Reverber fırınlarının bu derece tercih edilmesinin nedeni, düşük maliyet, düşük işletme masrafları, işletme kolaylıkları ve kapasitesinin de değiştirilebilmesindendir. Bu avantajlar ana dezavantaj olan “düşük ısı verim” karşısında ağır basmaktadır.

3.3 Döner Fırınlar

Silindirik fırınlardır. Yatay konumda yerleştirilen silindirin alt ve üst yüzeylerine yükleme kapısı ve diğer yüzeylere brülör sistemi yerleştirilmiştir. Genellikle hurda ve küçük boyuttaki ingotların kullanıldığı küçük kapasiteli ergitme fırınlarıdır.

3.4 İndüksiyon Fırınları

Kaliteli ve hızlı ergitme imkanı veren indüksiyon fırınları alüminyum alaşımlarının ergitilmesinde kullanılmaktadır. Elektrik akımının kullanılmasına göre iki kısımda incelenir.

Çekirdeksiz (kanalsız) indüksiyon fırınları: Orta frekanslı indüksiyon fırınlarında güç motor-jeneratör ünitesi ile sağlanır.

Çekirdekli (kanallı) indüksiyon fırınları: 1KHz. Altındaki frekanslarda 50-500kW’lık güçte olan kanallı indüksiyon fırınları alüminyum alaşımları için kullanım sahası bulmaktadır. 13 ton kapasiteye kadar çıkabilen bu tür fırınlarda verim yüksektir.

4. SIVI ALÜMİNYUMUN FİZİKSEL VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİ

Nitelikli dökümlerin üretimi, öncelikle hazırlanan sıvı metal banyosunun özelliklerinin iyileştirilmesine bağlıdır. Bu amaçla sıvı alüminyumun fiziksel ve kimyasal özelliklerinin yeterince bilinmesi gerekmektedir.

- Alüminyum eriyikleri kolaylıkla oksijen, nem ve diğer oksitleyici elementlerle ve hatta bazen refrakterlerle birleşip cüruf oluştururlar. Cüruflar hemen metal içine karışma eğilimi gösterirler.
- Hazırlanmış eriyikte hidrojen absorpsiyonu artma eğilimi gösterir. Nemli maddeler, sıvı alüminyum için hidrojen kaynağı oluşturur. Hidrojen gazı katılaşma esnasında dökümde poroziteye yol açmaktadır.
- Sıvı alüminyumun katılaşması esnasında hacimsel olarak %3,5-8,5 oranında çekilme (büzülme) oluşur. Bu büzülme %10'a kadar çıkabilir.
- Ergitilmiş alüminyumun düşük yoğunluğu, dökümde, kalıp içinde hidrostatik basıncın düşük olması sonucunu doğurur. Katılaşma sırasındaki çekilme konusu da göz önüne alınırsa, dökümü besleme konusu üzerinde özenle durulması gerektiği ortaya çıkar.
- Ergitilmiş alüminyumun yüzeyinde çok çabuk bir biçimde oksit tabakası oluşur. Bu tabakanın gaz kapma ve cüruf oluşumuna karşı yüksek derecede bir koruma etkisi vardır. Sıvı alüminyuma işlem yapılırken veya taşınırken bu tabakanın dağılmamasına ve eriyiğe karışmamasına büyük özen göstermek gerekmektedir.
- Ergimiş alüminyumun yüzey gerilimi yüksektir ve bir oksit filminin oluşumu ile yüzey gerilimi, ince kesitli dökümlerde besleme zorluklarına neden olacak kadar büyür. Alaşım elementlerinin ilavesi ile yüzey gerilimi azaltılırken, bu kez genişleyen katılaşma aralığı çekme (büzülme)sorunlarını gündeme getirir.
- Alaşım miktarı yüksek olan bileşimler, örneğin yüksek silisyumlu alaşımlarda, sıvı alüminyumda alaşım elementlerinin tabana çökmesi ve çamur oluşumuna karşı büyük hassasiyet vardır. Banyo sıcaklığının düşmesi ile çamur oluşumu artar.

- Demirin alüminyum içerisindeki çözünürlüğü çok fazla olduğundan sıvı alüminyum, potalarda demirle reaksiyona girerek demir kapar. Bu nedenle alüminyum, refrakter potalar içinde ergitilmeli ve taşınmalıdır.
- Alüminyumun özgül ısısı, birçok durumlarda döküm esnasında, sıcaklığın ani olarak düşmesini önleyecek yeterlilikte yüksektir. Bu nedenle aşırı ısıtma genellikle gereksizdir.

4.1 Sıvı Alüminyumdaki Safsızlıklar ve Rafinasyon

Sıvı alüminyum rafinasyonu, alüminyum dökümhanelerinin en temel problemlerindendir. Ürünlerin kalitesi ve maliyeti, uygulanan rafinasyon teknikleri ve bunların sonuçlarına bağlıdır. Rafinasyon, yıllarca araştırma konusu olmuştur.

Geliştirilen teknikler hem birincil, hem de uç ürün dökümhanelerinde kullanılmaktadır. Kalitenin sağlanması, özellikle ikincil alüminyum girdisi bulunan dökümhanelerde yeni rafinasyon teknikleri ile mümkündür.

Sıvı alüminyumda az veya çok miktarda safsızlık bulunur. Eriyikteki safsızlıklar elektrolizden gelen sıvı metalden, katı şarjın ergitilmesinden, alaşım için yapılan ilavelerden, flaks kullanımından ve aletlerle fırında yapılan çeşitli işlemlerden kaynaklanır. Bu safsızlıklar; malzeme kırılabilirliği, levha veya rulolarda kenar çatlağı, kaynak dikiş hataları, yüzey hataları, dökümde besleme ve metal akış bozuklukları, talaşlı imalatla zorlaşma, elektrik iletkenliğinde azalma, ekstrüzyon ve derin çekme hataları gibi üretimi ve kaliteyi etkileyen sorunların sebebidir. Eriyikte bulunan safsızlıklar, başlıca üç ana grupta incelenir.

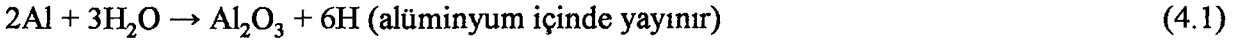
4.1.1 Hidrojen gazı

Alüminyum eriyikleri kolayca gaz absorbe ederler. Ortamda bulunan N_2 , CO , O_2 , SO_2 ve H_2 gazları yazılış sırasına göre artan oranlarda sıvı alüminyumda çözünürler. Hidrojen gazı haricindeki gazların, çözülmüş gaz olarak sıvı metaldeki etkileri pratikte önemsizdir. Sıvı metalde hidrojen gazının ve alüminyum oksitlerin çoğalması ortamda bulunan nemden kaynaklanır. Nem, çalışma şartlarında sürekli olarak vardır. Örneğin katı şarjın hidroksit tabakası, fırın astarları ve potaları, flaks tuzları, kalıp ve maça kumları, yakıt dumanları (Fuel-oil dumanında yaklaşık $90\text{gr } H_2O/m^3$, doğal gaz dumanında $150\text{gr } H_2O/m^3$ su buharı bulunur)

vs. potansiyel nem kaynaklarıdır. Havadaki nem 2-20gr H₂O/m³ arasındadır. İşletme şartlarında ortalama 2-10 gr H₂O/m³ 'lük etki değerleriyle en önemli nem kaynağıdır.

Nemin alüminyumla reaksiyona girmesiyle sıvı alüminyumda çözünen atomik hidrojen oluşur.

Aşağıdaki reaksiyondan da anlaşılacağı üzere su buharı, alüminyum alaşımlarının gazlı olmasının özellikle en güçlü nedenidir.



Eğer eriyikte magnezyum varsa,

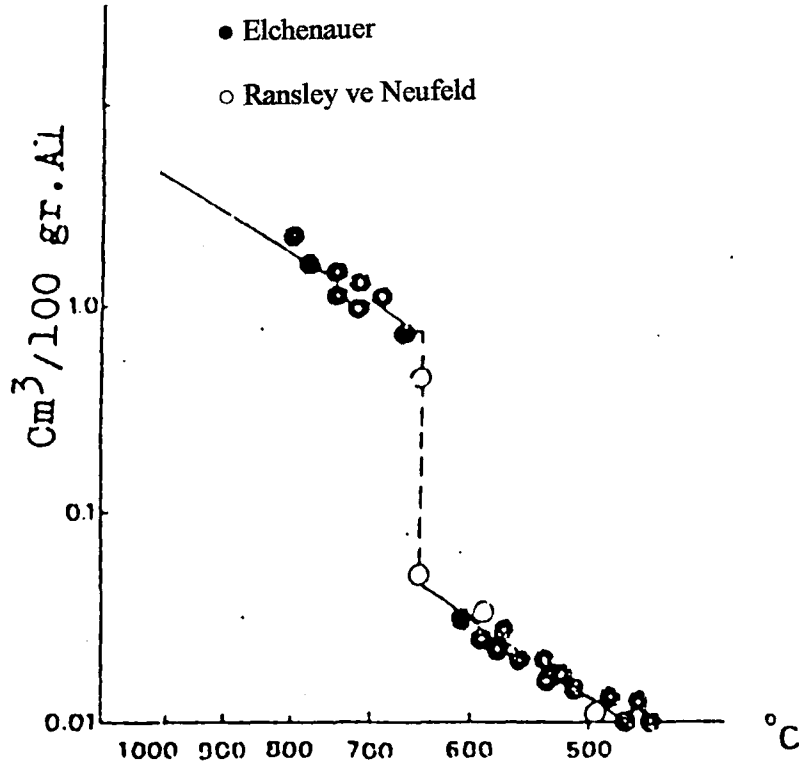


reaksiyonu ile de atomik hidrojen oluşur.

Bu reaksiyonların kinetik hızları ve reaksiyon termodinamiği oldukça büyüktür. Reaksiyona giren miktarlar dökümü, üretim dengesini, ve ürün kalitesini etkileyecek derecede büyüktür. Örneğin; 1mol H₂O = 18gr'dır. Reaksiyona giren 1mol H₂O dan, 1mol H₂ (2gr veya 22,400cm³) gazı ve 32gr Al₂O₃ oluşur.

Sıvı metalde çözülmüş hidrojen miktarı sıcaklığa, zamana ve hidrojenin kısmi basıncına bağlıdır. Çözünürlüğe etki eden en büyük etken sıcaklıktır. Sıcaklıktaki her 100°C'lik artış, çözülmüş hidrojen miktarını iki katına çıkartır. Bu sebepten, sıvı metalin aşırı ısıtılması sakıncalıdır. Eriyikteki alaşım elementleri de hidrojen çözünürlüğüne etki ederler. Alaşımda bulunan Cu ve Si'un H₂ çözünürlüğünü azaltıcı, Mg'un ise artırıcı etkisi vardır.

Şekil 4.1'de görüldüğü gibi, 660°C'ye kadar, eriyik alüminyum içinde hidrojen yayınması genellikle önemsizdir fakat; metal sıcaklığının artması ile yayınma miktarı ani biçimde artar.



Şekil 4.1 Alüminyum içindeki hidrojen erirliğinin sıcaklıkla değişimi. (Fıglalı, 1985).

Hidrojen gazı, eğer giderilmezse dökümlerde poroziteye yol açar. Hidrojen gazı kısaca aşağıdaki kaynaklardan gelebilir:

- 1- Fark edilebilir miktarda su buharı, hatta biraz hidrojen içeren fırın atmosferi
- 2- Refrakterlerden çıkan nem, kirli gelberi ve fırın aletleri
- 3- Nem yüzünden korozyona uğramış ürünler, ıslak ingot ve hurda
- 4- Hurdalara yağ bulaşması
- 5- Nemli flakslar

Katılaşma esnasında çözünmüş hidrojenin bir kısmı kabarcıklar oluşturarak eriyikten ayrılır. Çok hızlı katılaşmalar hidrojenin eriyikten ayrılmasını engeller. Dolayısıyla dökümden önce, sıvı metalin bir süre bekletilmesi ve mümkün olan en düşük sıcaklıkta döküm yapılması gaz giderilmesi açısından önemlidir.

Gaz giderme işlemi yapılmayan metalde gaz boşluğu, pinhole ve blister gibi porozite sorunları vardır. Eriyikte, normal şartlarda yüksek olan hidrojen konsantrasyonu, gaz giderme işlemi yapılarak ürünlerde müsaade edilebilir seviyeye indirilmelidir. Bu seviye ürün cinsine, alaşımına, uygulanacak ısı ve mekanik işleme bağlı olmakla birlikte üst sınırı 0,15-0,20cm³/100gr Al civarındadır.

4.1.2 İnküzyonlar

Eriyikte metalik olamayan ve süspansiyon halinde bulunan safsızlıklara inküzyon denir. En önemli ve en çok bulunan inküzyonlar oksitlerdir. Oksitler alüminyum ergitilmesinde oluşur. Oluşan oksit miktarı, fırın sıcaklığı ile eriyiğin hava ile temas yüzeyine bağlıdır. Tekrar ergitilen döküm artığı miktarı arttıkça, oksit miktarı da artar. İlk oluşan oksit yumuşak γ - Al_2O_3 dür. Bu oksit zamanla ve sıcaklığın etkisiyle sert ve talaşlı imalatla sorun çıkaran α - Al_2O_3 'e (korund) dönüşür. Alüminyum magnezyum alaşımlarında Al_2O_3 oksitlerinin yanında ayrıca MgO ve Al_2MgO_4 oksitleri de oluşur.

Eriyiğe yapılan alaşım ve flaks ilaveleri ile fırın astarlarından aşınarak kopmuş parçalar da ayrı bir inküzyon oluşum kaynağıdır. Tane inceltici TiB_2 , VB_2 ve AlB_2 gibi ilaveler de bir çeşit eriyik inküzyonlarıdır. İnküzyonlardan, yoğunlukları sıvı alüminyumdan yüksek olanlar zamanla banyo dibine çökerler, daha düşük olanları ise banyo yüzeyine toplanırlar. Yoğunlukları yaklaşık eşit olanlar ise banyo içinde asılı kalırlar. İnküzyonlardan, boyları 4 mikronu geçmeyenler ve oksit kafesleri oluşturmamaları zararsızdırlar. Zararlı inküzyonlar, eriyikten süzülerek veya süpürülerek ayrıştırılırlar.

İnküzyonlardan kaynaklanan önemli üretim ve kalite problemleri vardır. Örneğin; levhalar haddelenirken inküzyonlar yüzeyde çoğalarak çizik, kazıntı ve pütürleşme oluşumu ile yüzey kalitesinin bozulmasına sebep olur. Ayrıca merdane deşigi, kalıp hasarı, bıçak körelmesi gibi, makinelerde mekanik hasara sebep olurlar.

4.1.3 Sodyum (Na), kalsiyum (Ca) ve diğer kalıntılar

Alkali ve toprak alkali, özellikle Na, Ca, Li gibi elementler, birincil alüminyum üretimindeki kriyolit çözeltilisinden sıvı alüminyuma geçerler. Yüksek Ca miktarı daha çok alaşım malzemesi olarak Si ilavesinden ve seramik filtrelerden, yüksek Mg miktarı hurda ve fırın astarlarından sıvı metale geçer.

Bu safsızlıklardan en önemlisi, sıcak haddelemede kenar çatlamalarına sebep olan sodyumdur. Kenar çatlaklarının oluşumu, serbest halde çözünmüş sodyum miktarına bağlıdır. Olağan şartlarda üretilen birincil alüminyumda bulunan ergimiş sodyum, sıvı metalde mevcut olan S ile reaksiyona girerek Na-Al-Si terniyer fazını oluşturur. Bu eriyik %2'den fazla Mg ile alaşımlanırsa mevcut Na-Al-Si fazı dağılarak Na serbest hale geçer. Serbest sodyumlar mikro

boşluklarda toplanır ve haddeleme sırasında bu boşluklar büyüyerek kenar çatlamlarına sebep olurlar. Kenar çatlamlarını önlemek için %2'den fazla Mg içeren işlem alaşımlarında Na miktarını 3ppm'in altına düşürmek gerekir.

Tipik birincil alüminyumda, Va, Ti, Pb, Ca, Zn vs. gibi metaller de bulunur. Bunlardan Va ve Ti kalıntıları elektrik iletkenliğini azaltırlar. Eğer iletken malzeme üretilecekse, Va ve Ti elementleri sıvı metale uygun miktarda bor ilavesi yapılarak, Va ve Ti borite dönüştürülür ve eriyikten çökeltilerek ayrıştırılır.



5. DÖKÜM ÖNCESİ SIVI ALÜMİNYUMA UYGULANAN İŞLEMLER

Alüminyumun mekanik özellikleri ve seri ürün olarak sahip olduğu özellikler içerdiği oksitler, borürler ve karbürler gibi metalik olmayan kalıntılar tarafından oldukça fazla etkilenir. Özellikle sodyum ve kalsiyum başta olmak üzere alkali metaller alüminyumun sıcak şekillendirilebilirliğini azaltırlar.

Yeni ergitilmiş alüminyumun genellikle istenilen teknolojik standartlara sahip olmamasının sebepleri şunlardır:

- 1- Çözelti içinde, giderilmesi gerekli Mg, Na vb. elementler içerir.
- 2- Hidrojen çözünmüş haldedir. Katılaşma sonunda porozite problemleri ortaya çıkar.
- 3- Çözelti içinde çeşitli katı parçacıklar, oksitler ve bileşikler vardır.
- 4- Homojen bir eriyik elde etmek ve dökümdeki kalıntıları gidermek amacıyla dökümden hemen önce sıvı metalin bir takım işlemlere tabi tutulması, bir takım maddelerin ilave edilmesi gerekir.

Ergitilmiş alüminyum atmosfer veya nemle temas ettiğinde, yüzeyde, oksitlerden oluşan cüruf meydana gelir. Metalin yüzeyinde oluşan oksit tabakası daha fazla cüruf oluşumunu önler. Bu tabakanın mümkün olan en düşük kalınlıkta tutulması ile aşırı oksit oluşumu önlenecektir. Yüzeydeki oksit tabakasının kaldırılması ile yeni bir oksit tabakası oluşacaktır. Eriyiğe yeni şarj yapıldığında mümkün olduğu kadar yavaş ilave edilmeli ve cüruf oluşumunun engellenmesi amacı ile yüzeyin çalkalanmasından kaçınılmalıdır.

Metal ve cürufu birbirinden tam olarak ayırabilmek için özgül ağırlıkları arasında büyük farklılıklar olması gerekmektedir. Fakat, Çizelge 5.1’de görüleceği gibi cüruftaki oksitler ile metalin yoğunluğu arasında fazla fark olmadığı görülmektedir. Yoğunluklar arasındaki farka bağlı olarak bazı oksitler eriyik yüzeyinde yüzmekte, bazıları ise çökerek tabanda çamur oluşturmaktadırlar.

Çizelge 5.1 Ergimiş alüminyumdaki cürufta bulunan bazı metal ve oksitlerin özgül ağırlıkları. (Fığlalı, 1985).

Bileşik	Özgöl ağırlığı (20°C'de)
Al_2O_3	3,99
$Al_2O_3 \cdot 3H_2O$	2,42
Al	2,70
MgO	3,65
Mg	1,74
Si	2,40
SiO_2	2,20-2,60
CuO	6,40
CuO_2	6,0

Sıvı alüminyum içindeki cüruf miktarı;

- 1- Kullanılan hurda miktarına ve kötü koşullarda tutulmuş, korozyona uğramış hurda miktarına,
- 2- Alaşımın içerdiği magnezyum miktarına,
- 3- Eriyiğin yüzeyindeki oksit tabakasının türbülansla kırılmasına,
- 4- Sıvı alüminyum yüzeyi ile temas eden gazların sıcaklıklarının yükselmesine bağlı olarak artar.

Cürufta hatırı sayılır derecede metal bulunması yüzünden cüruf tabakasının kalın olması ile, ergitmelerde büyük miktarda metal kaybı olur.

5.1 Rafinasyona Ait Prensipler ve Rafinasyon Yöntemleri

Alüminyum eriyiği, uç ürün haline dönüştürülünceye kadar uygulanacak mekanik ve ısı işlemleri için uygun ve hedeflenen kaliteyi sağlayacak şekilde saflaştırılır. Genelde rafinasyon bütün aşamalara uygulanır. Safsızlıkların ayrıştırılması hem fiziksel hem de kimyasal prensipler çerçevesinde gerçekleştirilir. Safsızlıkların cinsine ve önemine göre bir veya birçok rafinasyon metodu bir arada uygulanır.

Sıvı alüminyumdan hidrojen gazını ayrıştırmak için sıvı alüminyumda çözünmeyen gazlarla hidrojenin temasını sağlamak gerekir. Bunun için metal banyosuna küçük kabarcıklar halinde gaz enjekte edilir. Enjekte edilen gaz kabarcıkları, başlangıçta hidrojen kısmi basıncına sahip olmadıklarından, temas ettikleri sıvı hacimdeki hidrojeni difüzyona uğratarak kendi

kabarcığının içerisinde çekerler. Kabarcık içindeki hidrojen, moleküler hidrojene (H_2) dönüşür ve banyo içerisinde yükselirken H_2 gazı içeriğini artırarak banyo yüzeyinden ayrılır.

Eriyikteki inklüzyonlar ıslanmış ve ıslanmamış olarak süspansiyon halde bulunurlar. Islanmamış inklüzyonlar, işlem gazının kabarcıkları tarafından süpürülerek banyo yüzeyine taşınırlar. Islanmış inklüzyonlar ise önce alüminyumla olan bağları aktif gazlarla bozularak yoğunluk değişimine uğratılır, sonra da gazlarla yüzdürülerek banyo yüzeyine taşınırlar. Sıvı alüminyumda çözünmüş Na, Ca, Li gibi kalıntılar, aktif gazlarla reaksiyona sokularak katı parçacıklar (inklüzyonlar) haline dönüştürülür ve gaz kabarcıklarıyla banyo yüzeyine yüzdürülürler.

İnklüzyonların temizlenmesi için uygulanan işlemler ya klorla muamele gibi bir çeşit flaks katma ya da refrakter plakalar veya granül halindeki bir yataktan filtrasyon gibi bir mekanik temizleme işlemidir.

Rafinasyon için geliştirilen metod ve techizatlar ana başlıklarıyla şöyledir:

5.1.1 Eriyiğin bekletilmesi

Eriyiğin bekletilmesi hidrojen ve sodyum konsantrasyonunda azalma sağlar. Yapılan bir araştırmada eriyiğin 10 saat bekletilmesi ile sodyum miktarında %35, hidrojen miktarında %70 azalma olduğu bulunmuştur. Sodyum miktarını Al-Mg alaşımlarında hedeflenen 3ppm altına indirmek bu yöntemle mümkün değildir. Hidrojen içeriğinde ulaşılan azalma ise daha çok 10 saat bekleme sonucunda eriyik sıcaklığının azalmasının sonucudur. Bu yöntemin pratik uygulaması şöyledir: Eriyik katılaşma başlangıcına kadar soğutulur ve tekrar hızlı bir ergitme yapılarak bekletilmeden dökülür. Uygulanması zor ve neticesi garanti olmayan bu yöntem tercih edilmemektedir.

5.1.2 Flaks tuzları ile rafinasyon

Flaks tuzlarının kullanım amaçları çeşitlidir. Sıvı metalin gaz kapmasını engellemek, cürufan sıvı metalin ayrışmasını sağlamak ve sıvı metali temizlemek amacıyla kullanılır. Ne kadar çok kirli ve küçük parçalı hurda ergitilirse o kadar çok flaks kullanmak gereklidir. Çünkü eriyiğin yüzeyinde oldukça çok miktarda, sıvı alüminyumla karışmış köpük şeklinde cüruf oluşur. Sıvı

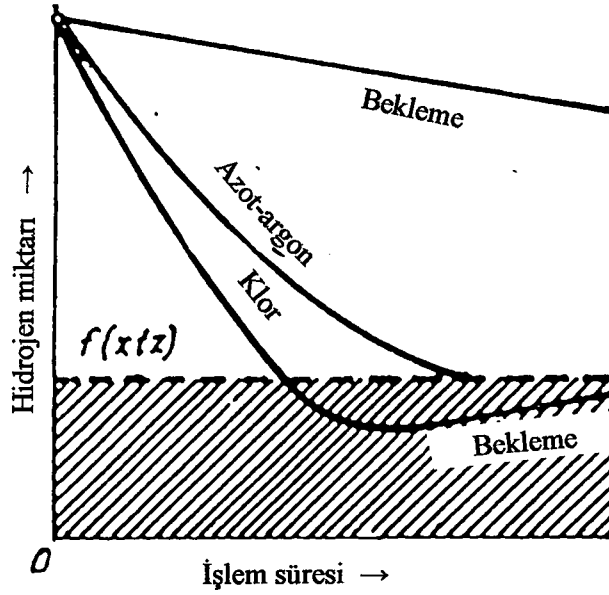
metalle ıslanmış bu cüruf, flakslanmadan fırından çekilirse, yüksek miktarda metal kaybına sebep olur.

Örtü flaksının görevi cüruftaki metal miktarını azaltmak, eriyiğin oksitlenmesini ve gaz kapmasını önlemektir. Ayrıca banyo üzerindeki oksitleri tutarak sıvı metale karışmasını önlerler. Örtü flaksları %3-4 Mg içeren Al-Mg alaşımlarında eriyiğin havadan azot kapmasına engel olur. Örtü flaksları klorür ve florür tuzlarının kriyolit ile çeşitli oranlarda karıştırılması ile elde edilirler.

Rafinasyon flaksları, eriyik içindeki inklüzyonları temizlerler. Inklüzyonları eriyikten süpürmek için, flaksla sıvı metali iyice karıştırmak gereklidir. Sıvı metal içerisinde askıda bulunan inklüzyonlar karıştırma sırasında flaks tarafından topaklaştırılır (flotasyon etkisi) ve banyo yüzeyinde yüzdürülür. Rafinasyon flakslarına Ti, Zr ve B gibi tane küçültücü metallerin florürleri de ilave edilerek sıvı metal temizlenirken tane küçültme işlemi de yapılır.

Flakslar taze ve kuru olarak kullanılmalıdır. Düşük viskoziteli, alüminyumda çözülmeyen, özgül ağırlığı alüminyumdan hafif olan, fırın astarlarını aşındırmayan ve inklüzyonları cüruflaştırma özelliği olan flakslar tercih edilmelidir.

Rafinasyon flaksı ile yapılan işlemler, eriyikte gaz giderme etkisi de gösterirler. Eriyikte çözünmüş gazlar daha çok inklüzyonların civarlarındadır. Inklüzyonların süpürülmesi ile gazlar da kısmen süpürülmüş olurlar.



Şekil 5.1 Çeşitli yöntemlerin gaz giderme etkinlikleri: x atmosfer ilişkisi, t metal sıcaklığı, z metal kompozisyonu. (Helvacıoğlu).

5.1.3 Klor (Cl_2) gazı ile rafinasyon

Klor gazı yıllarca alüminyum rafinasyonu ile birlikte telaffuz edilmiştir. Klorla rafinasyon, bugüne kadar bilinen en etkili yöntemdir. Ancak klor gazının zehirli olması, kullanılan teçizatı korozyona uğratması ve rafinasyon zamanının uzun olması gibi olumsuzlukları vardır. Ayrıca klorun Al ve Mg ile reaksiyona girerek metal kaybına sebep olması yeni yöntemlerin araştırılmasını zorunlu kılmıştır.

Klor gazı hidrojenin giderilmesinde, inklüzyon ve kalıntıların cüruflaştırılmasında kesin etkilidir. Özellikle Na ve Ca giderilmesi sadece klor ve klor içeren gazlarla mümkündür.

Sıvı metale bir boru vasıtası ile verilen klor gazı, alüminyumla reaksiyona girerek alüminyum klorür (AlCl_3) oluşturur. Alüminyum klorür, normal sıcaklıkta gaz fazındadır. Küçük kabarcıklar halindeki alüminyum klorür gazı, sıvı metaldeki hidrojeni bünyesine çekerken, oksitleri flotasyon etkisi ile banyo yüzeyine süpürür. Alüminyum klorür gazının bir özelliği de havadan daha ağır olmasıdır. Dolayısıyla banyo yüzeyinde yoğunlaşarak örtü vazifesi görür. Alaşımda Mg varsa, klor gazı Mg'la reaksiyona girerek MgCl_2 oluşturur. Sıvı alüminyum sıcaklığında sıvı fazda olan MgCl_2 , mevcut oksitleri cüruflaştırarak serbest yüzeye taşır. Burada klor gazının sıcaklığa ve zamana bağlı olarak alaşımdaki Mg miktarını azaltacağı ve alaşım kompozisyonunu değiştireceği unutulmamalıdır. Klor gazı, diğer gazlar gibi derin banyolarda etkilidir. Gazın sıvı metale verilmesi grafit borularla olur. İyi bir gaz

dağılımını sağlamak için basınç ve debiyi kontrol eden ve gazı küçük kabarcıklar halinde enjekte eden tertibat kullanılmalıdır. Eriyiğin safsızlığına bağlı olarak, 1000kg için 2-5kg arasında klor gazına ihtiyaç vardır. 300kg'lık eriyiğin işlem süresi 5-10 dakika arasında değişir.

5.1.4 Hegzakloreten (C_2Cl_6)

Klor gazının zehirli olması, işletmede kullanım ve saklama zorluklarının yanı sıra ek teçhizat ve önlemler de gerektirir. Bu problem, klorun katı tablet şeklinde Al-, B-, Zn-, Mn-, Ti- klorür ve hegzakloreten gibi kimyasal bileşik olarak sıvı metale verilmesi ve sıvı metalde klor gazına dönüştürülmesi ile aşılmıştır. Bunlardan hegzakloreten en yaygın kullanılanıdır. Tablet halindeki hegzakloreten, alüminyum filme sarılarak daldırma çanı vasıtası ile sıvı metalin içine daldırılır.



reaksiyonu sonucunda oluşan $AlCl_3$ gazı eriyiği temizlerken reaksiyon ürünü olan aktif karbon da tane küçültücü olarak davranır.

5.1.5 Azot (N_2) ve asal gazlarla rafinasyon

Azot gazı $750^\circ C$ 'nin altında nötr olan gazdır. Eriyikle reaksiyona girmez. Sadece fiziksel olarak gaz giderici ve oksitleri süpürücü özelliği vardır. Etkinliği klor gazına göre düşüktür. Al-Mg alaşımlarında kullanılmaz. 100kg eriyiğe yaklaşık 70lt N_2 gazı gereklidir. Azot gazının etkinliğini artırmak için %10-20 oranında klor gazı ilave edilir.

Argon ve helyum gibi asal gazlar da rafinasyon için kullanılır. Ancak bu gazlar pahalıdır. Yeni geliştirilen döner nozullu flotasyon sistemlerinde gaz tüketiminin az olması, argon gazı kullanımını tekrar gündeme getirmiştir. Özellikle Al-Mg alaşımlarında argon gazı kullanmak daha uygundur. Argon gazının rafinasyon etkisi azot gazına eşdeğerdir. Argon gazı freon (CCl_2F_2) veya klor gazıyla %3-10 arasında karıştırılarak aktif gaz olarak kullanılır.

5.1.6 Filtreler

Filtreler sıvı metaldeki inklüzyonları süzmek için kullanılırlar. Sıvı alüminyumun rafinasyonunda ilk önce cam elyafından imal edilmiş örgü filtreler kullanılmıştır. Bu filtreler “yüzey filtrasyonu” olarak isimlendirilen fitleme yönteminin tipik örneğidir. Örgü filtreleri birincil alüminyum rafinasyonunda hala kullanılmaktadır.

Filtrelemede kullanılan ikinci yöntem “derin yatak filtrasyonu” olarak isimlendirilen iç filtrasyondur. Derin yatak filtreleri yüksek fitleme özelliğine sahiptir. Seramik köpük filtre, bağlanan seramik tüp filtre vs. gibi birçok çeşitleri geliştirilmiştir. İhtiyaç halinde derin yatak filtresi karşı gaz akımı verilerek, gaz ve yabancı maddelerin ayrıştırılmasında da kullanılır.

Randımanlı bir filtrasyon için ise filtre malzemesinin kompozisyonu, kimyasal ve fiziksel kararlılığı, ıslanabilme kabiliyeti, boyutu, şekli ve derinliği ile filtrasyon ünitesinin dizaynı ve kullanılan teknik önemli faktörlerdir.

Sıvı alüminyum filtrasyonunda ana problem, iyi bir filtrasyon sağlayacak mineralin fiziksel ve kimyasal yapılarının tayinidir. Filtre malzemesi öncelikle sert ve sıvı metalle reaksiyona girmeyecek bir malzeme olmalıdır. Reaksiyon sonucu çıkabilecek gazlar türbülansa sebep olurlar. Kullanılan refrakter malzemenin kolayca kırılmaması ve eriyik içerisine ince toz girmesine sebep olmaması istenir. Ergimiş alüminyum alaşımları arasındaki inklüzyonlardan oksit filmleri sıvı tarafından ıslatılabilmesine karşılık, α alümina ve diğer bazı inklüzyonlar ıslatılamazlar. Islatılan inklüzyonlar filtre malzemesinin yüzeyine yapışarak yapıdan kolaylıkla uzaklaştırılırlar. Askıda olan inklüzyonların çoğu da oksit film – sıvı ara yüzeyinde bulunduklarından oksit filmlerin üzerinde birikebilirler.

Filtre yatağının yoğunluğu artırılarak filtrasyon randımanı artırılabilir. Bu ise filtre malzemesinin boyut dağılımını ve parçacıkların şeklini kontrol ederek sağlanır. Bu iki özellik filtre yatağındaki gözenek büyüklüğünü ve dolayısıyla geçerliği tayin eder. Küresel malzemeler, keskin köşeli ve levhasal malzemelere nazaran daha büyük geçirgenlik sağlarlar. Küçük taneli malzemeler de, küçük gözeneklerin daha düzenli olarak dağılımını ve inklüzyonların filtre yatağı tarafından daha kolay tutulmalarını sağlar. Kritik bir boyuttan daha küçük malzeme kullanmak ise mahsurludur çünkü; sıvı metali filtre yatağı içerisinden geçirmek için gerekli basınç aşırı şekilde artarak filtrasyon zamanını artırır ve randımanı düşürür. Daha yüksek ergime ve filtrasyon sıcaklıkları kullanmak gerekebilir.

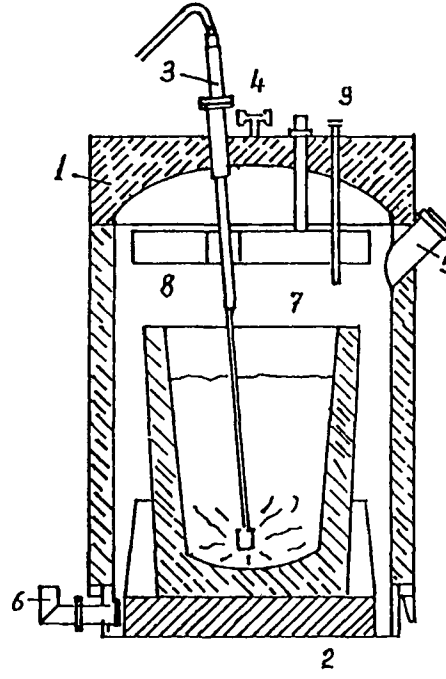
Filtre yatağının derinliğini artırmak da filtrasyon alanını artırır. Derinlik, malzemenin tane boyutuna göre ayarlanır. Kritik derinlik küçük taneler için kısa, büyük taneler içinse daha uzundur. Filtrasyon, aşağı, yukarı veya yana doğru akışla sağlanabilir. Pratik çalışmaya uygun olduğu takdirde, yukarı doğru akış tercih edilmelidir. Çünkü bu şekil çalışmada, inklüzyonların çoğu daha kolaylıkla aşağıya çöker. Filtre edilmiş malzemenin çıkış deliği döküm potasına veya kalıba bitişik ya da çok yakın olduğu takdirde, hem türbülans azaltılır hem de yeniden oksidasyon önlenir.

Flaks katma ve filtrasyon tekniklerinin birleştirilmesi ile daha etkin bir temizleme sağlanabilir. Sıvı metal filtre yatağından aşağı doğru süzülürken, argon veya azot gibi bir flaks gazı da ters yönde akarak bünyedeki hidrojeni temizler. Klorür bileşikler filtre yatağını bozup tıkağından klor gazı pek kullanılmaz. Ters akımdan dolayı, bileşik işlemlerdeki metal akış kapasitesi düşüktür.

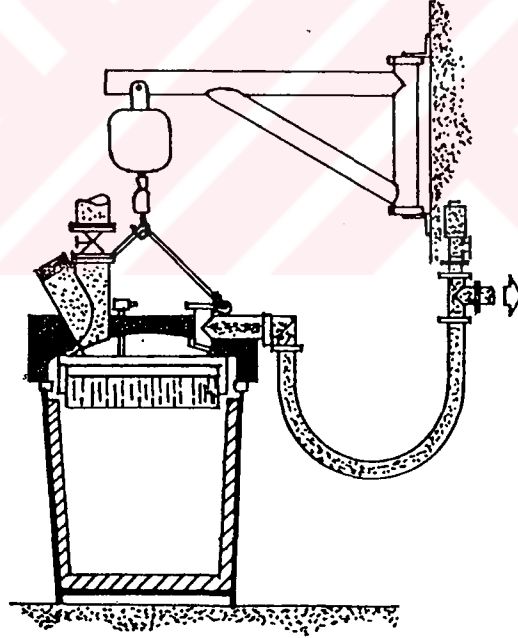
5.1.7 Vakumla filtrasyon

Çelik endüstrisindeki vakumla gaz giderme yöntemlerinden esinlenerek alüminyum için vakumla gaz giderme yöntemleri geliştirilmiştir. Vakumla, yüzeydeki gaz basıncının azaltılması, sıvı metaldeki hidrojenin azalmasına ve küçük kabarcıklar oluşturup fokurdamasına (kaynama) sebep olur. Hidrojen miktarına bağlı olarak az veya çok miktardaki fokurdama eriyik içindeki inklüzyonları da temizler.

Döküm alaşımlarında Na ve Sr ile yapılan modifikasyon, sıvı metalin gaz kapmasına neden olur. Eriyiği bu işlemten sonra, Na ve Sr'la reaksiyona giren klor gazıyla temizlemek uygun değildir. Vakumla gaz giderme, modifiye edilmiş eriyikler için klor veya inert gazlarla gaz giderilmesinden daha uygundur. Pota içindeki sıvı metal vakum aparatına yerleştirilir ve 0,5-3 m bar çalışma basıncında gaz giderme yapılır (Şekil 5.2 ve 5.3). Vakum süresince özel bir boruyla, miktarı tam olarak ayarlanmış N_2 gazı (%99,996'lık N_2) potaya verilir. Vakumla işlem süresi 4-5 dakika arasında değişir. 300kg'dan az sıvı metal hacimli potalara, ısıtma tertibatlı vakum sistemi gereklidir.



Şekil 5.2 Potadan vakumla gaz giderme ünitesi (şematik): 1. izolasyonlu başlık, 2. alt plaka, 3. gaz enjekte borusu, 4. taşıma kancası, 5. gözlem deliği, 6. vakum borusu, 7. sıvı metal dolu pota, 8. ısı direnci, 9. sıcaklık ölçer. (Helvacıoğlu).



Şekil 5.3 Vakum başlığı hareketli potadan gaz giderme ünitesi. (Helvacıoğlu).

6. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ FLAKSLANMASI

Alüminyum ergitilmesinde, özellikle hurda alüminyumun ergitilmesinde oksit oluşumu ve yabancı maddeler oldukça fazladır. Kalıntılar hem eriyik hem de katı formda bulunurlar ve eriyik ile birlikte döküm yapısına karışırlar. Yabancı maddeler kullanılmakta olan kirli takımlardan, kum veya diğer kalıplama malzemelerinden, çamurdan (Demir-krom-nikel intermetalik bileşimleri, özellikle basınçlı döküm alaşımlarında görülür), soğutma sıvılarından ve oksitlenen, eriyik metalden ve /veya alaşım elementlerinden gelebilir.

Alüminyum ergitme sürecinde flaks; ergitme operasyonu boyunca şarj ve eriyik metalin oksidasyondan korunması, oksitleri çözünmesi ve geri dönüşümü, gaz adsorbsiyonunun önlenmesi ve gaz giderme, cüruftaki metalin geri kazanımı, modifikasyon, istenmeyen elementlerin uzaklaştırılması ve tane rafinasyonu amaçları ile kullanılır.

Flakslama işlemi, flaksların, yukarıda açıklanmış olan yabancı maddeleri içeren eriyik metale eklenmesi ile yapılır. Flakslama, eriyik içerisinde istenmeyen elementlerin önce aglomerasyonu, sonra da eriyikten ayrıştırılması ile yapılır. Flakslama, sıcaklığa bağlıdır. Sıcaklık, istenilen fiziksel ayrışmanın veya kimyasal reaksiyonların gerçekleşmesi için gerekli seviyede olmalıdır. Bu gibi yüksek sıcaklıklarda, hem eriyik metalin hem de katkı maddelerinin akışkanlığı oldukça yüksek seviyededir. Böylelikle aralarında yeterince etkileşim olmaktadır.

Döküm kalitesini artırmak, döküm maliyetini azaltmak amacıyla değişik ticari flakslar arasında en uygunu seçilmelidir. Alüminyum eriyikleri pratikte iki ana neden yüzünden flaks kullanımını gerektirirler:

- 1- Eriyik metal ile cüruf arasında daha etkin bir ayırma sağlamak için
- 2- Yayınmış hidrojen ve kapılmış cürufları gidermek için

Bilinen flakslar aşağıdaki dört flaks gurubundan birine girer.

- 1- Sıvı metali korumak için kullanılan flakslar
- 2- Sıvı metali temizlemek için kullanılan flakslar
- 3- Sıvı metaldeki gazı gidermek için kullanılan flakslar
- 4- Cüruftaki metali geri kazanmak için kullanılan flakslar

Safsızlıkları giderme flaksları, alaşımlama flaksları ve tane küçültücü gibi flakslar da özel flaks türleridir.

Flakslama, eriyik metale, içindeki yabancı bileşenleri etkilemek üzere gerekli katkıların katılmasını ifade etmektedir. Bu yabancı bileşenler genellikle inorganiktirler. Bazı durumlarda metalik tuzlar, toz, granül veya katı tabletler olarak kullanılırlar ve kullanımları sırasında eriyik hale geçerler. Bunlar manuel olarak katılabilir ya da otomatik olarak enjekte edilebilirler ve tek başlarına ya da bir arada etkileşerek, gaz giderme, temizleme, alaşımlama, oksitleme, deoksitleme veya tane inceltme gibi işlevleri yerine getirirler. Bunun yanı sıra flakslama terimi, katı ve gaz haldeki yabancı maddelerin inert veya reaktif gazlarla uzaklaştırılmasını da içerir. Flaksların hem döküm hem de hadde tesislerinde tüm demir dışı metal operasyonlarında kullanıldıkları görülmektedir.

6.1 Flaks Bileşimi

Flakslama amacına uygun olarak seçilmiş çeşitli bileşimlerdeki kimyasal maddeler flaks olarak kullanılırlar. Çoğu flakslama maddeleri inorganik tuz karışımlarından oluşurlar.

Alüminyum dökümhanelerinde kullanılan flakslar en az iki çeşit düşük ergime noktalı matris oluşturan klorür bileşiği içerirler. Florürler, karbonatlar, boratlar ve nitritler de değişik amaçlar için flaksa ilave edilebilirler. Flaksta bulunan her bileşen, sıvı metal ve cüruf ile tepkimeye girer. Klorürler, florürler, boratlar ve karbonatlar sıvı metal ve cürufta bulunan oksitleri çözerler ve cüruftaki oksitlerde bulunan alüminyumun ayrışarak eriyik metale damlamasını sağlar.

Çeşitli flaks bileşimleri, eriyikte şu şekilde etkirler:

- Sıcak kullanım için, düşük ergime, yüksek sıcaklık bileşenleri (sodyumklorür (NaCl)-potasyumklorür (KCl) karışımı)
- Nitratlar, karbonatlar ve sülfatlar gibi anyon oluşturucu katkılar. Bu katkılar, yabancı maddeler ile reaksiyona girerler. Bu işlem ile kalıntı metal oksitler ortaya çıkar ve bu oksitlerin ana metalle olan yoğunluk farklılıkları, onların fiziksel yöntemle ayrıştırılmasına imkan verir.
- Yabancı maddeler için uygun taşıyıcı ortamlar yaratır veya eriyik yüzeyini kapatır.

- Flakslama reaksiyonları sonucu ortaya çıkan ürünleri, adsorbe eder veya aglomere eder.

Her flaks içinde istenilen maddelerin tamamı bulunmayabilir veya bir flaksta bulunan maddelerin tümü gerekli olmayabilir. Aşağıdaki çizelge, genel olarak kullanılmakta olan ticari alüminyum flakslarının özelliklerini vermektedir.

Çizelge 6.1 Alüminyum alaşımlarında flaks olarak kullanılmakta olan bazı malzemelerin özellikleri. (ASM Handbook Committee).

Malzeme	Kimyasal formül	Yoğunluk g/m ³ Kıatı	Sıvı	Ergime noktası °C	Kaynama noktası °C
Alüminyum klorür	AlCl ₃	2,440	1,31	190	182,7
Alüminyum florür	AlF ₃	3,070	---	1040	---
Boraks	Na ₂ B ₄ O ₇	2,367	---	741	1575
Kalsiyum klorür	CaCl ₂	2,512	2,06	772	1600
Kalsiyum florür	CaF ₂	3,180	---	1360	---
Karnalit	MgCl ₂ KCl	1,60	1,50	487	---
Çinko klorür	ZnCl ₂	2,910	---	262	732
Çinko florür	ZnF ₂	4,84	---	872	---
Kriyolit	3NaFAlF ₃	2,97	---	1000	---
Lityum klorür	LiCl	2,068	1,50	613	1353
Lityum florür	LiF	2,295	1,80	870	1676
Magnezyum klorür	MgCl ₂	2,325	---	712	1412
Magnezyum florür	MgF ₂	3,00	---	1396	2239
Potasyum klorür	KCl	1,984	1,53	776	1500
Potasyum florür	KF	2,480	---	880	1500
Potasyum borat	K ₂ B ₂ O ₄	---	---	947	---
Potasyum sülfat	K ₂ SO ₄	2,662	---	1076	---
Potasyum karbonat	K ₂ CO ₃	2,290	---	891	---
Sodyum klorür	NaCl	2,165	1,55	801	1413
Sodyum florür	NaF	2,790	1,91	980	1700

Genellikle flaks olarak hangi maddelerin kullanılacağı, kullanım sıcaklığına, flaksın kıatı örtü mü yoksa sıvı örtü mü oluşturacağına, istenilen reaksiyona ve kimyasal reaksiyonlara bağılı olarak belirlenir. Örneğın, sodyum tuzu flaksı ayrışmasını ve ergiyiğın sodyum içeriğini engellemek için Al-Mg alaşımlarında sodyum yatak flaksları kullanılmaktadır. Sodyum içerikli flakslar, fosforla rafine edilmiş hiperötektik alüminyum-silisyum alaşımları ile de kullanılmaktadırlar çünkü; kolaylıkla oluşabilecek olan ve fosforu etkisizleştiren sodyum-fosfor bileşikleri oluşmasına sebep olmaktadır.

En yüksek gelir ve en düşük cüruf değeri elde edilen flaks en ideal flaks olarak kabul edilir şeklinde bir ifadede bulunabiliriz.

6.2 Flaks Tipleri

Ergime işlemi, yeni bir şarj sırasında, ocakta halihazırda eriyik mevcutsa, en çabuk şekilde gerçekleşir. Ergime işlemi, şarj edilen malzemeler yakıcı maddelerden uzak tutulduğu durumda en hızlı ve en az cüruf teşekkülü ile gerçekleşir. Cüruflaşma olayı, eriyik yüzeyinde alüminyum oksit ve diğer oksitlerin oluşmasıdır. Cüruf ve eriyiğin birbirinden tam olarak ayrılması, her birinin kendine has olan yoğunluklarının, birbirinden olabildiğince farklı olması ile sağlanır. Ne yazık ki, oksitlerin ve eriyik metalin yoğunluklarının pek farklı olmadığı aşağıdaki çizelgede de görülmektedir. Bazı oksitler eriyik yüzeyinde yüzerler (örneğin cüruf), diğer bir kısmı ise eriyiğin dibine batar.

Çizelge 6.2 Alüminyum cürufundaki bazı maddelerin yoğunlukları. (Heine vd.).

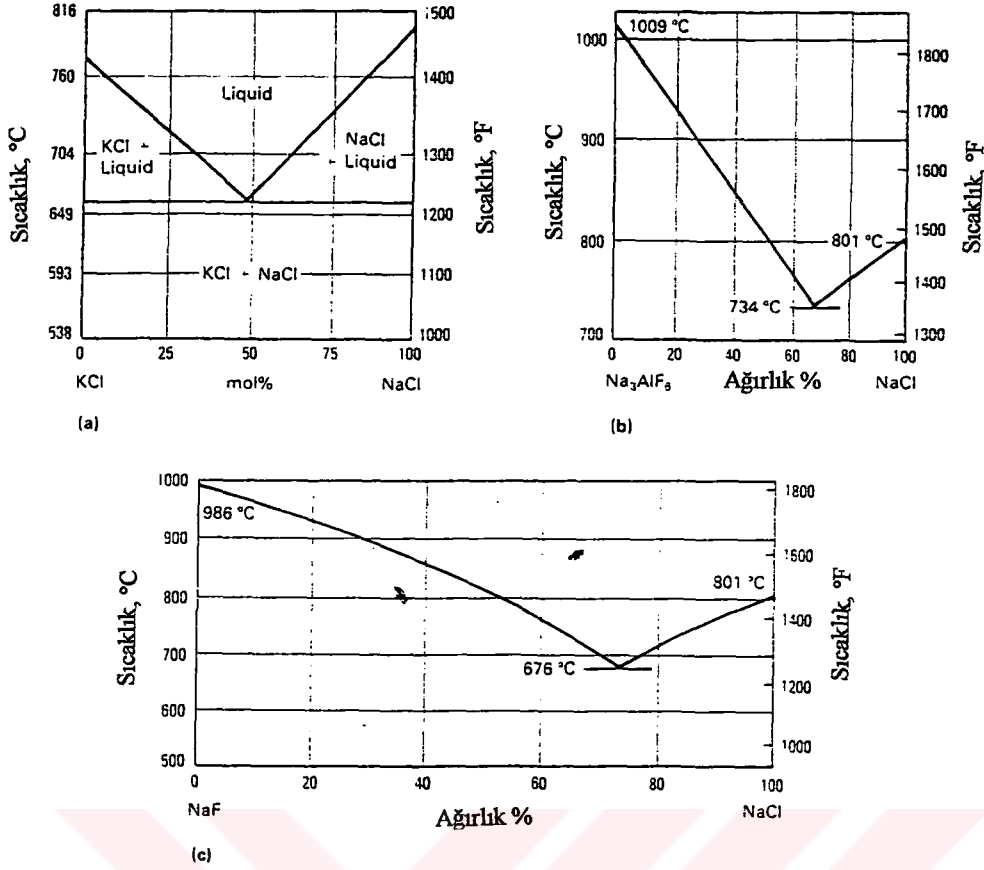
Bileşen	Yoğunluk (20°C'de)
Al_2O_3	3,99
$Al_2O_3 \cdot 3H_2O$	2,42
Al	2,70
MgO	3,65
Mg	1,74
Si	2,40
SiO_2	2,20-2,60
CuO	6,40
Cu_2O	6,0

Flakslama ve çöktürme ile pratikte, cüruftan olabildiğince artırılmış eriyik üretimi hedeflenir.

Alüminyum alaşımları için başlıca dört farklı tip flaks kullanılır. Bunlar, örtü flaksları, temizleme flaksları, cüruf flaksları ve arıtıcı flakslardır. Bunların yanı sıra duvar temizleme flaksları vardır fakat; bunlar eriyiğe katılmaktansa, fırın duvarına serpilirler.

6.2.1 Sıvı metali korumak için kullanılan flakslar (Örtü flaksları)

Bunlar, öncelikle küçük fırınlarda kullanılmak üzere geliştirilmişlerdir ve eriyiğin, alaşımların, hurdaların ya da ingot şarjlarının üzerinde bir engel oluşturarak oksitlenmelerini engellemektedirler. Bunlar kuru flakslardır ya da öyle bir bileşimdedirler ki eriyik yüzeyinde ergirler, böylelikle de malzemeleri ıslatırlar. Bu, kaybolan malzemenin aglomere edilmesine yardımcı olur ve yeni yüzeylerin oksitlenmesini en aza indirir. Bu tür flakslar genellikle ıslak flakslar olarak adlandırılırlar. Şekil 6.1, genel olarak kullanılmakta olan örtü flakslarının faz diyagramlarını göstermektedir.



Şekil 6.1 Alüminyum alaşımlarında genel olarak kullanılan üç flaksın faz diyagramları. a) KCl-NaCl b) Na₃AlF₆-NaCl c) NaF-NaCl. (ASM Handbook Committee).

Klor tuzlarının karışımlarından oluşan ve uygun fiyatlarla bulunabilen bu flaksların rastlantı olarak bazı temizleme etkileri de sağladığı görülebilir. Bununla beraber etkin bir temizleyici değildirler. Katı ve metal olmayan kalıntıların toplanmasında tam etkili olamazlar. Örtü flaksları alüminyum kaybını önlerler. Ancak yansımali alevli (reverber) tipi ergitme fırınlarında uzun süre kalan flakslar alüminyum yüzeyinde kalın bir flaks tabakası oluştururlar. Bu cüruf tabakası ile birlikte bir miktar alüminyum kaybı da söz konusu olur. Ancak örtü flaksı kullanılmazsa bu kayıp daha fazla olur. Sıvı örtü flakslarındaki metal kaybı flaksın akışkanlığına, erime noktasına ve fırın atmosferine de bağlıdır. Eğer flaks önerilen bileşimde ve koşullar da uygun ise flakstaki metal kayıpları ihmal edilebilir ölçüde olacaktır.

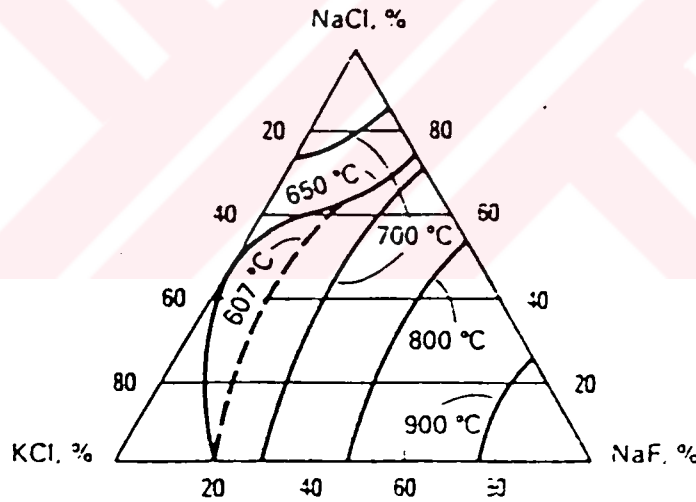
Alüminyum kaybını önlemek için eksotermik flakslar kullanılır. Isıtılan flakslar, metal olmayan kalıntılara karışan alüminyum parçalarını parçalayarak onun sıvı banyoya geri dönmesini sağlarlar. Böylece cüruf ile birlikte atılan alüminyum miktarı azaltılmış olur. Ayrıca cüruf da inceltirilmiş, toz haline getirilmiş ve delikli kepçelerle yüzeyden kolayca alınır hale getirilmiş olur.

Alaşımda magnezyum yoksa ya da çok azsa, örtü flaksları sadece yanma gazları direk olarak banyo içine giren fırın tiplerinde kullanılır. Bu tür magnezyumsuz alaşımların örtü flaksları sodyum silika florür sodyum klorür içerir.

Magnezyum içeren alaşımlar, magnezyumsuz alaşımlara göre daha fazla cüruf oluşturma ve gaz kapma eğilimine sahiptirler. Alaşım %2'den fazla magnezyum içeriyorsa, koruyucu etki flaksı esastır. Uygun bileşim, flaks yapımçıları tarafından geliştirilmiştir. Esaslarını magnezyum ve potasyum florür ile klorürler oluşturur. Bu flakslar oldukça düşük sıcaklıklarda erir ve etkin olarak sıvı metali örterler.

6.2.2 Sıvı metali temizlemek için kullanılan flakslar (Temizleme flaksları)

Bu flakslar, genellikle yüksek oranda klor tuzları ve eriyikten kolaylıkla ayrıştırılabilecek durumdaki yabancı maddelerin oluşmasını sağlayan florürler içerirler. Şekil 6.2'de kullanılmakta olan flaksların üçlü faz diyagramlarını gösterilmektedir.



Şekil 6.2 Alüminyum alaşımlarında genel olarak kullanılmakta olan ticari temizleme flakslarının üçlü faz diyagramı. (ASM Handbook Committee).

Ergimiş metalde çözülmüş bulunan metal dışı kalıntıları temizlemek için kullanılırlar. Bu flakslar sıvı metalden daha düşük sıcaklıklarda erirler. Sıvı metale bu flakslar ile muamele edilmesi ile temizleme işlemi yapılmış olur. Alaşımın flaksla temizlenmesi, temizleme flakslarının adsorblama özelliğine dayanır. Flaks, oksitleri sarar ve eriyik yüzeyine çıkarır. Katı oksitlerle flaksın teması sırasında flaksın yüzey gerginliği ne kadar düşükse, metalden oksitlerin ayrışması o kadar iyi olur. Bazı flakslar oksitleri çözündürürler. Örneğin kriyolit, alüminyum oksidi iyi çözündürmektedir.

Temizleme flaksları, örtü flakslarına bazı florürlerin katılması ile elde edilirler. Temizleme flaksları için iki tipik örnek verilmiştir:

1- (Bu flaks magnezyum içermeyen alaşımlarda kullanılır)

NaCl	%30-60
KCl	%20-50
Kriyolit	%15-35
CaF ₂	%3-10

2-(Bu flaks magnezyum içermeyen alaşımlarda kullanılır)

KCl	%25-60
CaF	%2-10
MgCl	%35-70

Sıvı alüminyumı temizlemek için kullanılan flakslar içine Ti, B ve Zr gibi tane küçültücü etkisi olan metallerin florürleri de eklenerek hem sıvı metali temizleme, hem de tane küçültücü etki sağlanmaktadır. Bu amaçla kullanılan bir flaks bileşimi şöyledir:

NaCl	%35
KCl	%45
TiF ₄ K ₂	%10
BF ₄ K	%10

Sıvı metali temizlemek için gazlardan da yaygın olarak yararlanılmaktadır. Sıvı metal içinden azot ve klor gazı geçirilerek metalik olmayan kalıntılar serbest yüzeye taşınır. Sıvı metal en az 5, tercihen 10-15 dakika bekletilerek kalıntıların serbest yüzeye çıkmasına olanak sağlanmalıdır. Yüksek magnezyumlu (%6-11) alüminyum alaşımlarında klor gazı daha etkili bulunmuştur.

Sıvı metal içindeki sodyum ve kalsiyumu gidermek için özel temizleme flaksları geliştirilmiştir. Bunlar, KCl, NaCl ana flaks karışımı içine, sodyumu gidermek için MnCl₂, kalsiyumu gidermek için AlF₃ veya SiF₆Na₂ eklenerek elde edilir. Birinci durumda sodyum NaCl halinde, ikinci durumda ise CaF₂ halinde giderilir. Bu amaçlarla kullanılan flaksların tipik bileşimleri şu şekildedir:

Sodyumu gidermek için,

KCl %25

NaCl %25

MnCl %50

Al-Si alaşımlarında %0,3-1 Ca'u gidermek için,

1. NaCl %40

KCl %40

AlF₃ %20

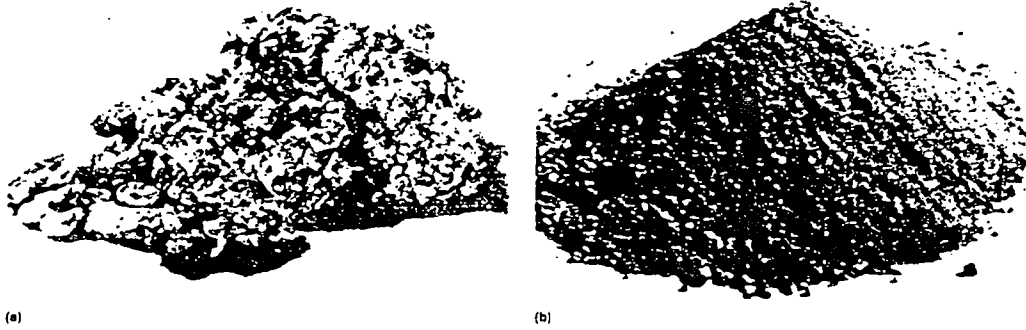
2. NaCl %40

KCl %40

SiF₆Na₂ %20

6.2.3 Metal – cüruf ayırma flaksları

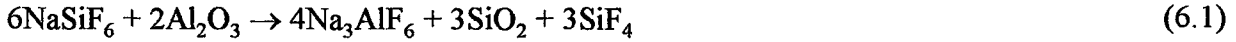
Bilhassa hurdadan ergitme yapıldığında oldukça fazla miktarda cüruf oluşumu söz konusudur. Eğer bu cüruf herhangi bir flaks kullanılmadan sıyrılırsa oldukça fazla miktarda metal kaybına yol açacaktır. Bazı durumlarda cürufun %90'a varan oranda metal içermesi sorunun önemini vurgulamaktadır. Cüruftaki metali geri kazanmak için, cüruf ile temas edince ekzotermik reaksiyona giren flakslar kullanılmaktadır. Ekzotermik reaksiyon sonucu açığa çıkan ısı cürufa hapsedilen metalin akışkanlığını artırarak kazanılmasını mümkün kılmaktadır. Bu arada kalın cüruflar ince toz haline gelerek kolay sıyrılma sağlanır (Şekil 6.3). Bu işlemde cüruf içindeki toplam metalik alüminyumun yaklaşık %15'i yanar, %85'i geri kazanılır.



Şekil 6.3 a) Flaks kullanılmamış haliyle kütlesel, yüksek metal içerikli cüruf, b) Etkin bir flaks kullanımı ile elde edilmiş toz halinde, düşük metal içerikli cüruf. (ASM Handbook Committee).

Bu flakslar, eriyik metal üzerinde oluşan alüminyum oksit (Al₂O₃) tabakasının ayrıştırılabilirliğini temin ederler. Cüruf ve katı veya sıvı metal, cüruf tabakasında bulunur. Cüruf flaksları, alüminyum oksit (Al₂O₃) ile, cüruf tabakasında tepkimeye girerek alüminyumı açığa çıkarmak üzere geliştirilmişlerdir. Bu flakslar genellikle tepkimelere

eksotermik olarak girer, ergir (ötektik bileşim olarak), ve ıslatabilirliği artırılırlar. Florürler aşağıda verilmiş genel reaksiyona göre ıslatır ve ince oksit filmlerini çözerler.



Eriyik metali karıştırma kolları ile sağlanan yeterli çalkalanma sonucunda, bu filmler, ayrılmış metalin serbest kalmasını sağlayacak kadar yeterli uzunlukta kırılırlar. Bu florür tuzları, kütlesele Al_2O_3 parçacıklarını çözemezler.

Oksijen içeren bileşikler, küçük boyutlu alüminyum parçalarla eksotermik reaksiyon vererek bölgesel olarak sıcaklık yükselmesi ile metalik alüminyumun ayrışmasına yardımcı olur. Bunun yanı sıra güçlü eksotermik reaksiyonlar, uygun boyutta olan ve çeşitli yöntemlerle geri kazanılabilecek olan metalik alüminyumun oksitlenmesine de neden olur. Bu nedenle cüruf içerisinde bulunan geri kazanılabilir metalik alüminyum bu tür zayıf flakslama operasyonları ile azaltılabilir.

Eğer cüruf yanarsa metal, geri kazanılması mümkün olmayan Al_2O_3 'e dönüşür. Bu cüruf genel olarak, bu reaksiyonun oluşması amacıyla ayrı cüruf soğutucularına aktarılır. Cüruf eriyik yüzeyinde iken, cüruf flaksları ile temas ettirilerek, içerdiği serbest metal oranı %30'a kadar indirilebilmektedir. Flakslama işlemi ile önemli oranda maliyet azalması sağlanır. Uygun flakslama ile belki de %50 metal direk olarak eriyiğe geri katılır.

6.2.4 Arıtıcı flakslar

Bu flakslar belirli sıcaklıkta, eriyik içerisinde bulunan belirli elementler ile termodinamik olarak reaksiyona giren elementler içerirler. Örnek olarak, klor içeren bileşikler, magnezyum, kalsiyum, lityum, sodyum ve potasyum içeren eriyik içerisinde reaksiyona girerler ve eriyikten farklı yoğunluktaki, eriyik yüzeyinden çekilip alınabilecek cüruflar oluştururlar.

6.2.5 Duvar temizleyici flakslar

Bu flakslar, fırın duvarlarında oluşan oksitleri yumuşatmak için kullanılırlar. Bu flakslar genellikle refrakter malzeme püskürten tabancalar ile kullanılırlar.

7. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINDA GAZ GİDERME

Alüminyum ve alaşımları eriyik durumda iken hidrojene karşı oldukça duyarlıdırlar. Çözünürlük miktarı, katı haldeyken çok daha azdır. Hidrojen, alüminyum içerisinde önemli ölçüde çözünen tek gazdır.



Hidrojen çözünürlüğü oranı, artan sıcaklık ile birlikte geometrik olarak artar. Bu nedenle hidrojen miktarını en az düzeyde tutmak için çok yüksek sıcaklıklara çıkılmaması gerekmektedir.

7.1 Alaşımların Hidrojen Adsorbsiyonu Eğilimleri

Değişik alüminyum alaşımları, değişik hidrojen adsorbsiyonu özelliğine sahiptirler. Alüminyum dökümünde kullanılan başlıca alaşım elementleri, silisyum, bakır ve magnezyumdur. Silisyum ve bakır oranlarındaki artış, hidrojen çözünürlüğünü azaltıcı etki yapar. Bakırın etkisi biraz daha fazladır. Diğer taraftan da magnezyum çözünürlüğü artırır. Son araştırmalar göstermiştir ki lityum da benzer bir etkiye sahiptir.

7.2 Hidrojen Gidermenin Teorisi

Eriyik alüminyumdan hidrojenin ayrıştırılması için çeşitli termodinamik ve kinetik faktörler bulunmaktadır. Termodinamik çözünürlüğün sıcaklıkla değişmesi sebebi ile gaz ayrıştırılabilirliği düşük sıcaklıklarda ve yüksek konsantrasyonlarda daha kolay ve daha çabuktur. Kinetik faktörler, hidrojen konsantrasyonunun, termodinamik çözünürlüğü takibini belirler ve konsantrasyonun dengeye ne kadar yakın olacağını belirler.

Hidrojen şu şekillerde uzaklaştırılır:

- Taşınma ve difüzyon yolu ile hidrojenin eriyik içinde bulunan inert gaz balonlarına nakli
- Baloncukları saran ve sınırlayıcı tabaka denilen durgun tabakaya difüzyon yolu ile nakli
- Balon yüzeyine kimyasal adsorbsiyon ve ardından desorbsiyon

- Boşaltıcı gaz kabarcıklarına, hidrojenin gaz olarak difüzyonu
- Eriyik yüzeyinden ve refrakter giydirilmiş duvarlardan hidrojen kaçıışı

Bununla birlikte hidrojen giderme, kütle transfer katsayısına bağlıdır. Pratik uygulamalardan ortaya çıkmış iki adet teorik bilgi şunlardır:

- Küçük boşaltıcı gaz kabarcıkları daha verimli sonuçlar doğurmaktadır.
- Kütle transferi katsayısının artması nedeni ile klor genellikle orta veya büyük giderici kabarcıklar (>6mm) bulunduğunda gaz giderme etkinliğini artırır.

7.3 Alüminyumdaki Hidrojen Kaynakları

Alüminyumdaki hidrojenin, fırın atmosferi, şarj maddeleri, flakslar, harici bileşenler ve ergiyik metal ile kalıp arasındaki reaksiyonlar gibi birçok potansiyel kaynağı vardır.

Fırın atmosferi: Gaz yakıtlı veya doğal gazlı fırınlar, kimi zaman tam yanmamış gaz nedeni ile bazen ortamda hidrojen bulunmasına sebep olurlar.

Şarj malzemeleri: İngot, hurda ve dökümhane hurdaları oksitler, korozyon ürünleri, kum veya diğer kalıplama malzemeleri ve soğutucular gibi maddeler içerebilirler. Tüm bunlar içerdikleri organik maddeler ve su nedeni ile, potansiyel birer hidrojen kaynağıdır.

Flakslar: Alüminyum ergitmesinde kullanılan çoğu tuz flaksları nem tutucudurlar. Bu flakslar yapılarındaki suyun ayrışması nedeni ile hidrojen kaynağıdır.

Harici bileşenler: Fırınlarda kullanılan tırmık, çekici, kepçe gibi takımlar temiz olmadıklarında eriyiğin hidrojen kazanmasına sebep olabilirler. Bu takımlar doğrudan doğruya atmosferle temasta bulunmaları sebebi ile üzerlerinde oksitler ve flaks artıkları yabancı maddeleri bol miktarda içerirler. Fırın refrakterleri de özellikle yeterince hazırlanmadıkları zaman bir hidrojen kaynağıdır.

Metal-kalıp reaksiyonları: metal dökümü sırasında fazla türbülans oluşursa eriyik içerisine hava girebilir. Katılaşmadan önce bu hava çıkarılmazsa hidrojen ortaya çıkabilir. Uygun

olmayan kalıp ağı da türbülansa sebep olabilir. Kalıp kumundaki aşırı nem de buharlaşmadan ötürü hidrojen kaynağı olabilir.

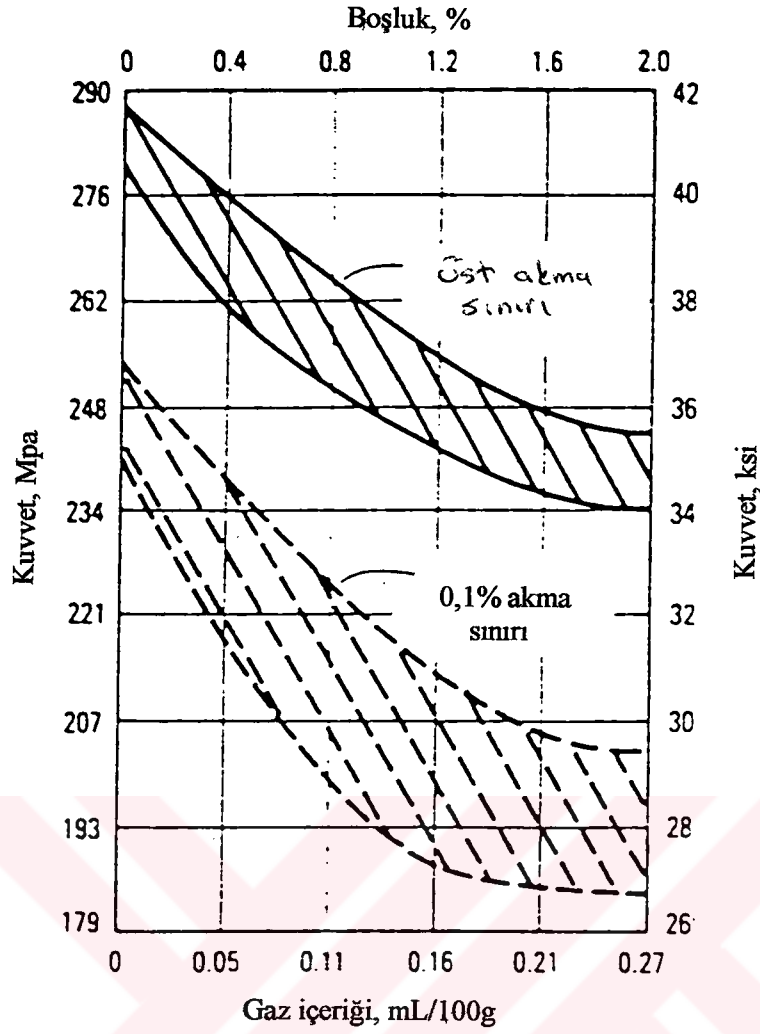
7.4 Hidrojenin Etkisi

Eriyik içindeki hidrojen tam olarak uzaklaştırılamadığı zaman katılaşmış yapıda poroziteler oluşturacaktır. Uzaklaştırılamayan gaz miktarı düşük olduğunda porozite miktarı oldukça az, ince yapılı ya da belirli bölgelerde yığılmış olabilir. Baskı dayanımının yüksek olması istenilen durumlar hariç, hidrojenden kaynaklanan porozite çok büyük problem olmayabilir. Bununla birlikte bazı gaz boşlukları oldukça büyük olup, yapıda boşluk ve çatlak gibi bulunabilirler.

Gaz porozitesi ile büzülme porozitesini ayırmak önemlidir. Gaz boşlukları daha çok yuvarlak şekillidirler ve metalografik araştırmalar açısından önemlidirler. Büzülme boşluğunun oluşum sebebi son katılaşmadaki eksik metal beslemesidir. Büzülme boşlukları genellikle gaz boşluklarından daha düzensiz şekillidirler.

Porozite, alaşımları, mekanik özelliklerinde azalma şeklinde etkiler. Şekil 7.1 356 alaşımında hidrojen adsorbsiyonu ile mekanik özellikler arasındaki ilişkiyi göstermektedir.

Katılaşma sırasında alüminyum içinde kalan belirli bir miktar gaz yararlı olabilir. Sürekli dökümler genellikle bir miktar gaz içerirler, hatta bazen gaz eklendiği bile olur. Sürekli dökümde ve kum kalıba dökümde hızlı soğutma ile katılaşma, ince taneli gaz oluşumu sağlayarak mekanik özellikleri artırır ve çözünmüş hidrojenin kabul edilebilirliğini artırır. Aynı durum, basınç altındaki son derece hızlı katılaşma ile hidrojen porozitesinin engellendiği kokil kalıba döküm için de geçerlidir.



Şekil 7.1 356 alüminyum alaşımında hidrojen adsorbsiyonu ile mekanik özellikler arasındaki ilişki. (ASM Handbook Committee).

7.5 Gaz Gidermek İçin Kullanılan Flakslar

Alüminyum alaşımlarına uygulanan gaz giderme işlemlerinden ilk akla geleni, sıvı metalin dökümden önce bir süre bekletilmesidir. Daha sonra uygulanabilecek bir yöntem ise ergitilmiş metalin katılaşmanın başlangıç sıcaklığına kadar soğutulması ve yeniden hızlı bir ergitme uygulanarak beklemeden döküm yapılmasıdır.

Tekrarlanması güç ve sonucu belli olmayan bu uygulamalar yerine gaz ve katı flakslarla gaz giderme işleminin yapılması daha etkin olmaktadır. Sıvı metalin vakumda tutulması ve süzülmesi de yararlı bulunmuştur.

7.5.1 Gaz flakslar

Sıvı metal içine bir boru yardımıyla gaz verilerek kabarcık oluşturulur. Kabarcıklar belirli boyuta gelince serbest yüzeye doğru yükselir. Sıvı metal içinde erimiş halde bulunan hidrojen yukarıya yükselen kabarcığa yapışır ve kabarcıkla beraber serbest yüzeye yükselir. Nötr gaz içinde iz halinde oksijen ve su buharı olduğu takdirde gaz kabarcığı yüzeyinde oluşan oksit filmi hidrojenin yayılmasını (yapışmasını) engeller.

Sıvı alüminyum içerisinde erimiş gazın giderilmesinde kullanılan en yaygın flakslar klor ve azot gazlarıdır.

Azot gazı 750°C'nin altında nötr olan bir gazdır. Sadece fiziksel olarak gaz giremeye yardım eder. Etkinliği klor gazına göre düşüktür. Klorda olduğu gibi metal olmayan kalıntıları yüzeye çıkarttıramaz. Bu nedenle azotlu gaz giderme işlemi için uzunca bir süreye ihtiyaç vardır. Magnezyumlu alaşımlarda azotun magnezyum nitrat ve alüminyum nitrat yapma tehlikesi vardır. Bu durumda alaşımdaki magnezyum ve alüminyum miktarı azalmakta, metal olmayan kalıntılar ise çoğalmaktadır. Azot çoğunlukla karmaşık temizleme karışımları halinde kullanılabilir. Örneğin: %50Cl₂ + %50N₂; %15Cl₂ + %11Co + %74N₂ gibi. Sıvı ve toz ürünler kullanıldığı zaman azot taşıyıcı görevi de üstlenmektedir (CCl₄, K₂Ti₂F vb.). Azot gazı kullanıldığında %53NaF + %47CaF₂ ve aynı zamanda da %66NaCl₂ + %34NaF flaksları sık olarak yüzeye eklenir. Bu işlem yüzeyin daha iyi korunmasını sağlayacak ve oksit oluşumu büyük ölçüde engellenecektir.

Hidrojen gidermek için kullanılan klor gazının iki üstünlüğü vardır: Mekanik olarak alçak basınçlı kabarcıklar oluşturarak hidrojen ve diğer metal olmayan kalıntıları giderir. Kimyasal olarak da alüminyum klorür oluşturarak metal olmayan kalıntıları yüzeye çıkartır. Kimyasal aktivitesine bağlı olarak klor, gazların içinde en etkin olanıdır. Yalnızca hidrojeni gidermekle kalmayıp, oksit yüzeylerinde AlCl₃ oluşturarak bu oksitlerin (metal olmayan kalıntılar) sürekli ıslanmasını sağlar. Islanma, oksit parçacıklarının yoğunluk farkının da etkisiyle kabarcığa yapışmasını ve yüzeye çıkmasını sağlar. Gazın metal tabanından verilmesi kabarcık oluşumunu hızlandırır.

Bunun yanısıra klor gazının olumsuz özellikleri de mevcuttur. Zehirleyici ve korozif etkisinden başka klor gazının şu sakıncaları da bulunmaktadır:

- 1- Özellikle Al-Mg alaşımlarında, uçucu klorürler oluşturacağından metal kaybı fazladır
- 2- Ötektik altı Al-Mg alaşımlarında sodyum modifikasyonu işleminde verimi düşürür. Klor tek başına kullanıldığında fazla kayıp verir ve verimi düşüktür. Yayınma kabiliyeti azdır, etkinliğinin artması için karıştırma gereklidir.

Bu sakıncaları gidermek, klorun zehirli etkisini önlemek ve verimi arttırmak için klor ve azot gazlarının karışımı kullanım sahası bulmuştur. Bu amaçla %90 azot, %10 klor karışımı veya %80 azot, %20 klor gazı karışımı tipik iki örnek olabilir.

7.5.2 Katı flakslar

En çok kullanılan gaz giderici flaks hegzakloretandır (C_2Cl_6). Oda sıcaklığında katı olan hegzakloretan alüminyum folyoya sarılı olarak bir daldırma kutusu yardımıyla banyo içine daldırılır. Aşağıdaki reaksiyon sonucu sıvı alüminyumla temas oluştuğunda alüminyum klorür gazı oluşur. Bu gaz yükselirken metal olmayan kalıntı ve hidrojen gazını süpürür.



Reaksiyon ürünü olan karbon ise tane küçültücü gibi davranır.

Gaz giderme amacıyla kullanılabilen diğer bir flaks da $ZnCl_2$ dir. Ancak çinko klorür çok nem çekici olduğundan kullanılmadan önce iyice kurutulmalıdır. 100-150°C deki kurutmanın dahi nemi bütünüyle gidermediği saptanmıştır. $ZnCl_2$ sıvı alüminyum ile temas edince alüminyum klorür gazı oluşturur:



Bu gazlar yukarı yükselirken süpürme işlevini yerine getirir. Sıvı metalin %0,12-0,16'si oranında $ZnCl_2$ kullanımı, gaz giderme için yeterli bulunmuştur. İşlem uygulandıktan sonra banyo 15-20 dakika sıvı halde tutularak metal içindeki gazların yüzeye çıkmasına olanak tanımak gerekir. Aksi halde döküm yapısı gözenekli olabilir.

Alüminyum alaşımlarının hazırlanmasında sıvı metal banyosunda hidrojen gazı gidermek amacıyla kullanılan bazı flaksların karşılaştırması Çizelge 7.1'de yapılmıştır.

Çizelge 7.1 Alüminyum alaşımlarında kullanılan değişik gaz giderme flakslarının etkileri.
(Fırlıklı, 1985).

	Cl	C ₂ Cl ₆	AlCl ₃	N
Hidrojenin giderilmesi	Çok iyi	Çok iyi	Çok iyi	İyi
Al ₂ O ₃ 'ün giderilmesi	Çok iyi	İyi	İyi	Az
Banyo üzerinde koruyucu gaz oluşumu	İyi	İyi	İyi	İyi
Cüruftaki metal miktarı ve kalitesi	Kuru, çok az	Kuru, az	Kuru, az	Yaş, çok
Miktar kontrolü	Çok iyi	Çok iyi	Çok iyi	Çok iyi
Maliyeti	Düşük	Normal	Normal	Düşük
Dezavantajı	Zehirli, havalandırma gerekli	Korozif, potada daha kullanışlı	Korozif, nem kapıcı, kullanışı olumsuz	Cürufta fazla metal kaybı

8. FLAKSLAMA VE ÇÖKTÜRME

Alüminyum eriyiğinin, flakslama ve çöktürme işlemlerine tabi tutulması esas olarak iki sebepten yapılır:

- 1- Eriyik metalle cürufun, daha etkili biçimde ayrılmasını temin etmek
- 2- Çözünmüş olan hidrojen ve cürufu uzaklaştırmak

Gaz flakslar, nitrojen, helyum, argon ve klor içeren eriyiği temizlemek için kullanılırlar. Gaz flaks hidrojeni uzaklaştırmak için eriyige, kabarcıklar halinde yavaşça verilir. Eriyikteki hidrojen, gaz kabarcıkları içerisine girer ve bu kabarcıklar ile ortamdan uzaklaştırılır. Cüruf ayrışması, muhtemelen oksitleri yüzeye taşıyan inert gaz kabarcıklarının mekanik bir olayıdır. Bunun yanı sıra klor, metalin ıslatma karakteristiklerini ve cüruf ile metalin ayrışmalarını etkileyen klorürleri oluşturacak yönde kimyasal olarak hareket eder. Çökeltme, 300-400lb eriyik için yüzey cürufunun köpürmesi ve ardından kuru gazın köpürerek, eriyik içine doğru 10-20 dakika süreyle 0,5-0,75cu ft/dakika hızla ilerlemesi ile oluşur. Çökeltmeden sonra, eriyik sıcaklığı, olabildiğince kısa sürede döküm için gerekli seviyeye çıkarılır, eriyik yüzeyi alınır ve döküm başlar. Çökeltmenin, eriyiğe yaptığı etki Şekil 8.1’de görülmektedir.



Şekil 8.1 Hidrojenin neden olduğu boşluk ve mikro poroziteler. (Heine vd.).

Katı flakslarla flakslama daha basittir ve yaygın olarak kullanılır fakat; bu yöntem kadar etkili bir temizleme özelliği yoktur. 100lb metal için 0,1lb flaks, delikli bir ızgara taşıyıcı içerisinde eriyiğin tabanına kadar indirilir. Alüminyum ve çinko klorürler içeren bileşiklerden uygun

miktarla katı flaks olarak kullanılırlar. Katı flaks, girdikleri kimyasal reaksiyonlar ile metal ve oksitleri ayırma özelliğine sahiptirler.

8.1 Uygun Flaks Seçimi

Her işe uygun bir tek flaks türü yoktur. Sıvı metalin kullanım amacına ve kimyasal bileşimine bağlı olarak flaksı meydana getiren bileşimlerin seçimine karar verilebilir. Bir alüminyum alaşımı için uygun olan bir flaks, oksidasyondaki farklar nedeni ile bir başka alüminyum alaşımı için uygun olmayabilir. Ergitme ve döküm sıcaklıkları da flaks seçimine etki edebilir. Alaşımın son kullanım yeri ergitmede kullanılan fırın türü, sıvı metaldeki katı parçacıkların boyut ve dağılımı, gaz miktarı ve kullanılan el aletlerinin durumu da önem kazanmaktadır.

Kullanılacak flaks, ilave edildiğinde dekompoze olmalı, böylece molekülleri daha etkin davranmalıdır. Çökelme ve tepkime gerektiğinde yoğunlukları fazla; örtme görevi üstlendiklerinde hafif olmalıdırlar. Nem kapıcı olmamaları gerekmektedir. Flaksler zehirli gaz çıkarmamalı, kolay temin edilebilmeli ve kullanımları ekonomik olmalıdır.

8.2 Flaksların Verimli Kullanımı

Flaks, üreticileri tarafından belirlenen ve en verimli şekilde kullanılmasını sağlayan sıcaklıklarda kullanılmalıdırlar. Flakslama maddeleri genel olarak neme karşı duyarlıdırlar, bu nedenle kuru ve güvenli ortamlarda saklanmalıdırlar. Patlama riski nedeniyle, ıslak oldukları takdirde asla kullanılmamalıdırlar. Bununla birlikte, ıslak ve nemli flaks maddeleri, eriyik halde iken son derece fazla hidrojen çözebilen alüminyuma hidrojen verebilirler. Flaks eklenmesinde kullanılan takımlar da temiz tutulmalı ve eriyik metalle temas ettirilmeden önce daima 95°C üzerine ısıtılmalıdırlar.

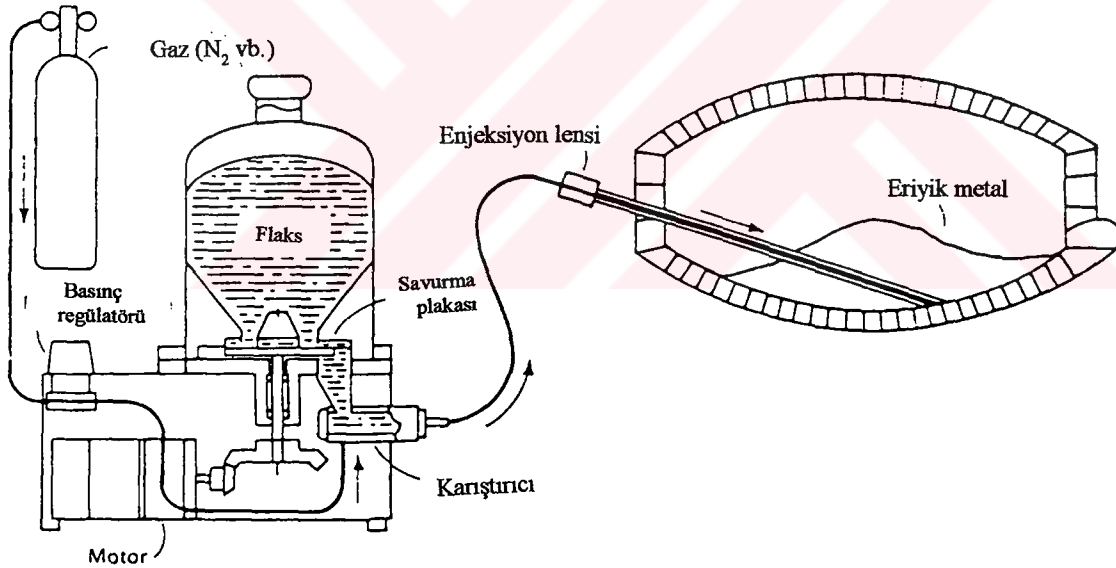
Flaks, daima üretici firmanın yıllar boyu kazanmış olduğu deneyimler sonucunda verdiği tavsiyeler doğrultusunda kullanılmalıdırlar. Örtü flaksları, eriyik üzerine elle veya bir kürek yardım ile serpilebilirler. Cüruf flaksları genellikle cüruf tabakasında kullanılırlar. Flaks bir karıştırıcı vasıtası ile doğrudan doğruya cüruf tabakasına karıştırılır. Bu işlem yapılırken, karıştırma nedeni ile fazladan metalin cürufa geçmesine sebep olunmamasına dikkat edilmelidir.

Herhangi bir flaks kullanıldığında, döküm işleminden önce cüruf eriyik tabakasından dikkatlice ayrıştırılmalıdır. Dökülen metale yabancı maddelerin karışmasını engellemek için sıyrmanın tam olarak yapılması şarttır.

Herhangi bir flaks kullanıldığında, metalden ağır olan yabancı maddelerin çökmesi için ya da, düşük yoğunluklu flaks tuzlarının veya bunlar tarafından ıslatılmış olan kalıntıların eriyik yüzeyine çıkması için, eriyiğin bir süre hareketsiz konumda saklanması gereklidir. Uygun çökme zamanı, küçük pota eriyikleri için 5-10 dakika kadardır, büyük fırınlar (45-50ton) içinse 1-2 saate kadar değişebilir.

8.2.1 Flaks enjeksiyonu

Flaksın inert gaz kullanan bir mekanik taşıyıcı vasıtası ile eriyiğe enjeksiyonla verilmesi kısmen yeni bir uygulamalıdır. Flaks besleme kısmı, karıştırma haznesi ve flaks besleme kolundan oluşan bir flaks enjeksiyon prosesi Şekil 8.2’de görülmektedir.



Şekil 8.2 Flaks enjeksiyonunun şematik olarak gösterimi. (ASM Handbook Committee).

Flaksın, flaks besleme kolu içerisinde, olması gerekenden daha önce ergimesi veya reaksiyona girmesini önlemek amacıyla, flaks enjeksiyon teçhizatı üreticileri tarafından uygun karıştırma teknolojileri ve özel malzemeler geliştirilmiştir. Pratikte, manuel olarak uygulanmakta olan flakslamada iyi bir karıştırmaya ve aktiviteye ulaşmak için, yüzey kaplayıcıların yanı sıra manuel olarak tırmıklama ve karıştırma işlemleri uygulanmaktadır. Esas olarak manuel operasyon el maharetine bağlıdır ve genel olarak yüzey ya da cüruf tarafından sınırlanmış

yüzeye yakın bölgelerdeki eriyik metal üzerinde etkilidir. Flaks enjeksiyonu, enjeksiyonda kullanılan inert gazın baloncuk etkisi ile daha iyi karışma ve reaksiyon sağlar; bununla birlikte eriyiğin derinliklerine inebilmesi ile tüm eriyiğin tasfiyesine imkan sağlar. Böylelikle, flakslama malzemeleri tam verimlilik ile kullanılabilirler. Enjeksiyon prosesi, farklı malzemeler için farklı zaman ve miktarlara programlanarak kayıpların en aza indirilmesini sağlar. Flaks enjeksiyonunun diğer faydaları ise, manuel metoda göre daha kısa sürede tamamlanması, cürufa giden metalin daha az olması ve metal içerisinde daha düşük miktarda yabancı madde içeriğidir.

Tüm eriyik metal işlemlerinin, flaks enjeksiyonu ile yapılabildiği şu ana kadar görülmüştür. Bu tekniklerin büyük bir kısmı şu anda alüminyum endüstrisinde başarıyla uygulanmaktadır. Diğer demir dışı metaller içinse az da olsa uygulamalar vardır. Flaks enjeksiyonunun uygulamaları aşağıda özetlenmiştir.

Gaz giderme, giderici gaz taşıyıcıyla ya da hegzakloreten gibi inert gazlar eklenmiş bileşikler ile gerçekleştirilir. Hegzakloreten, daha sonra klorüre parçalanır. Klorür, $AlCl_3$ bileşiminde gaz kabarcıkları oluşturur ve bu kabarcıklar da eriyik yüzeyine doğru hareketleri sırasında hidrojen gazını toplarlar. %2 oranında flaks ilavesi ile en az 10 adet ilavede 0,35ml/100g'dan 0,05ml/100g'a kadar hidrojenin giderilebildiği belirlenmiştir. Bu hidrojen miktarı, her çeşit alüminyum alaşımı ergiten dökümhanelerinkinden daha fazladır.

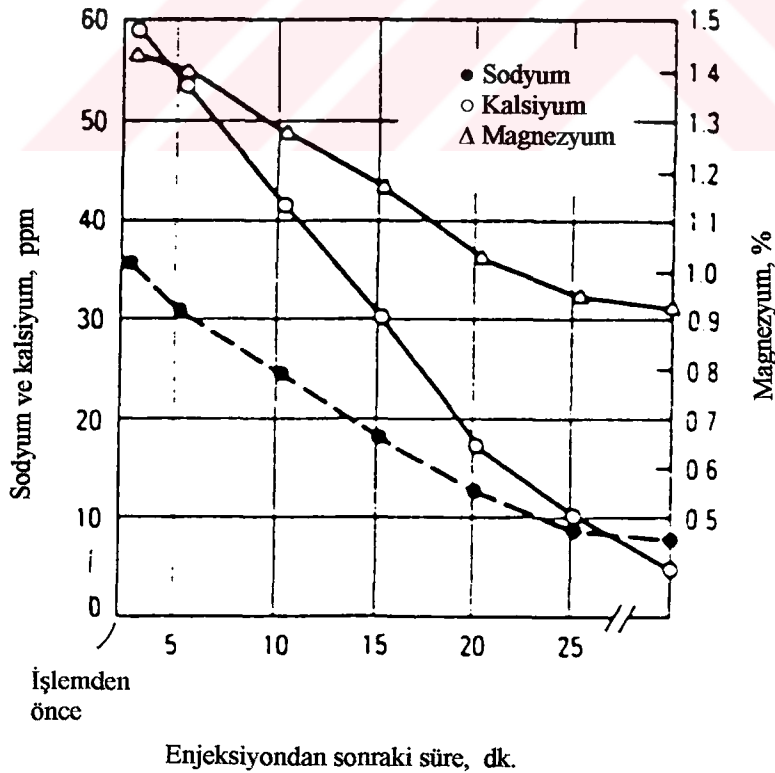
Metal dışı yabancı maddeler, eriyik alüminyuma katılan tuz flaksları ile eriyik alüminyumdan uzaklaştırılırlar. Eriyiğin ağırlığının %0,2'si ile %0,5'i arasında değişen oranlarda flaks eklenir. Flaks ile metal dışı parçacıkların birleşmeleri ve eriyik yüzeyine çıkmaları için eriyiğin bir süre (küçük fırınlardaki eriyikler için genellikle 5 dakika) beklenmesi gerekmektedir. Yüzeye çıkan parçacıklar, buradan çekilebilmektedir.

Hiperötektik alaşım modifikasyonu. Alüminyum alaşımı olarak %12'den az silisyum içeren bileşimler döküm alaşımı olarak oldukça kabadırlar. Yapıyı modifiye edici elementler; bu yapıyı döküme daha uygun ve daha iyi mekanik özellikler sahip bir bileşime getirmek için katılırlar. Modifiye etme işlemi, sodyum, stronsiyum, kalsiyum ya da antimuanın saf malzeme, sertleştirme alaşımları ya da tuz flaksları şeklinde yapıya ilaveleri ile gerçekleştirilir. Günümüzde, sodyum tuzları içeren flakslar %0,2 - %0,4 oranlarında kullanılmaktadırlar.

Modifikasyon prosesi, bazı parametrelere bağlıdır ve yapının modifikasyon işlemi öncesindeki durumuna geri dönebileceği de bilinmektedir. Yüksek silisyum oranı, sıcaklık, türbülans, bekleme zamanı ve eriyik yüzey alanı bu parametrelerdir.

Tane inceltme. Flaks enjeksiyon prosesi, alüminyum eriyiklerinde tane inceltme için kullanılabilir. Klasik yöntemlerde, önce parçalanıp sonra ince yapılı titanyum borür şeklinde birleşen sertleştirici alaşımlar ya da titanyum ve bor içeren tuzlar kullanılırdı. Oluşan bu küçük tanecikler eriyiğin dökümünde katılaşma aşamasında, çekirdeklenme için gerekli ilk katı tanecikleri oluşturmaktadırlar. Bu amaçla titanyum karbürler de kullanılmaktaydı. Çekirdeklenme için gerekli taneciklerin yeterli miktarda oluşması için %0,005 oranında karbon ve %0,03 oranında titanyum gerekli olduğu tespit edilmiştir. Flaks enjeksiyon prosesinin dağılma yeteneği, kullanılmakta olan titanyum bileşeni ve tane arıtılması mekanizmasının etkinliğini artırır.

Alkali metal ayrıştırılması. Alüminyum eriyikleri içerisindeki, kalsiyum, sodyum, lityum ve magnezyum kalıntıları, tuz flaksı ve /veya klor ve flor içeren reaktif gaz karışımları ile artan miktarlarda ayrıştırılabilirler. Bu çeşit halojen bileşenleri, tercihli olarak daha sonra eriyik metalden ayrılacak olan klorürler ve florürler oluşturmak üzere emrüteler ile reaksiyona



Şekil 8.3 Alüminyum alaşımlarından alkali metallerin uzaklaştırılmasında flaks enjeksiyonunun etkisi. (ASM Handbook Committee).

girerler. Şekil 8.3 ağırlıkça %0,36 oranında flaks enjeksiyonu ile ayrıştırılmasının sonuçlarını göstermektedir.

Hiperötektik silisyum ayrıştırılması. Hiperötektik alüminyum alaşımları ($>12\%Si$) katılaştırma aşamasında birincil silisyum fazı oluştururlar. Bu alaşımların, silisyum nedeniyle özelliklerinin (dayanım, sıcak dayanımı) değişmesi sebebiyle birincil silisyum yapısının önlenmesi önemlidir. Bu yapı, mekanik özelliklerin düşmesine ve işlenebilirliğin azalmasına sebep olur. Bu yapının uzaklaştırılması, yapıdaki silisyum oranına bağlı olarak değişen miktarlarda, %0,007 ile % 0,01 arasında fosfor ilavesi ile sağlanır. Saf fosfor, patlayıcı ve yakıcıdır. Ticari olarak temin edilebilen fosfor, eriyiğe tatbik edilmiş olan bakırı etkiler. Uygun fosfor reaksiyonlarını gerçekleştirmek için bir nikel-fosfor alaşımı (Ni_3P) önerilmiştir.

Flaks enjeksiyonunun bugünkü uygulamaları ile elde edilen avantajlara yenilerinin eklenmesi beklenmektedir. Bu yönde belki de çok amaçlı bir tek flaks kullanımı ile tek bir flaks enjeksiyonunda tüm eriyik işlemleri tamamlanabilecektir. Her ne kadar küçük dökümhane uygulamaları için sınırlı imkanlar olsa da, magnezyum, silisyum, mangan, bakır ve demir gibi alaşım elementleri veya flakslar için gittikçe artan oranlarda flaks enjeksiyon yöntemi kullanılmaktadır.

8.2.2 Alüminyum eriyiklerinin devridaimi

Alüminyum alaşımlarının ergitilmesinde, ısı transferinin eriyik devridaimi ile yapılması çoğu kez önemli rol oynar. Alüminyum ergitilmesinde, katı halden sıvı hale geçinceye kadar geçen sürede, dikkate değer miktarda enerji gereksinimi (95cal/g) vardır. Eriyik devridaimi, ergitme aşamasında daha büyük kütlelerin ergitilmesini ve ergitme sırasında halen ergimemiş halde olan metallerin, eriyik hale geçmiş olanlar tarafından ısıtılmasını sağlayarak ergitme prosesinde harcanan zaman ve enerji gereksinimlerini en aza indirir.

8.2.2.1 Bir alüminyum fırınında ısı transferi

Gaz veya katı yakıtlı reverber alüminyum fırınlarında, brülörlerden banyoya ısı transferi radyasyon yolu ile olur. Fırın tavanı ve duvarları bu yüksek enerjiyi banyo yüzeyine aktarır. Tavan ve duvarların sıcaklığının yüksek olması, eriyiğe yeterli miktarda ısı transfer edilmesini sağlar. Yayılan sıcaklık, eriyik metal ya da şarj tarafından sahip oldukları sıcaklık

kapasitesine kadar tutulur. Daha fazla ısı transferi için diğer ısı transferi yöntemleri de (kondüksiyon ve konveksiyon) kullanılmalıdır.

Hem katı şarj hem de eriyik metal için konveksiyon (kütle hareketi ile ısı transferi) eriyik metale momentum ve hız ile tesir eder. Doğal konveksiyon, yoğunluk ve ısı transferi sebebi ile eriyik metal banyosunda etkilidir fakat; bu etki, devridaim uygulamasına göre daha azdır.

Eriyik devridaimi, eriyiğin tutmuş olduğu ısının dışarı gitmesini engeller. Bu yöntem uygulanmadığı zaman, eriyik metal yüzeyinde ısı yayılması olur ve eriyik yüzey sıcaklığı artar. Son olarak yüksek yüzey sıcaklığı, enerji verimliliğinin düşmesine sebep olan oksidasyona ve cüruf oluşumuna neden olur. Eriyik devridaimi, eriyiğin hareketi ile sağlanır. Bu hareket, ya karıştırma ile (küçük fırınlarda), ya da eriyik metal devridaim pompası kullanılarak (büyük fırınlarda) gerçekleştirilir. Eriyik hareketi, ısı transferini ve enerji verimliliğini artırır.

8.2.2.2 Eriyik metal pompası

Eriyik çevrimi, en iyi şekilde, büyük fırınlarda, eriyik içerisine daldırılmış eriyik çekme pompası ile sağlanır. Yıllar boyu birkaç pompa çeşidi geliştirilmiştir (elektromanyetik, basınç). Günümüzde genel olarak kullanılan santrifüj pompasıdır.

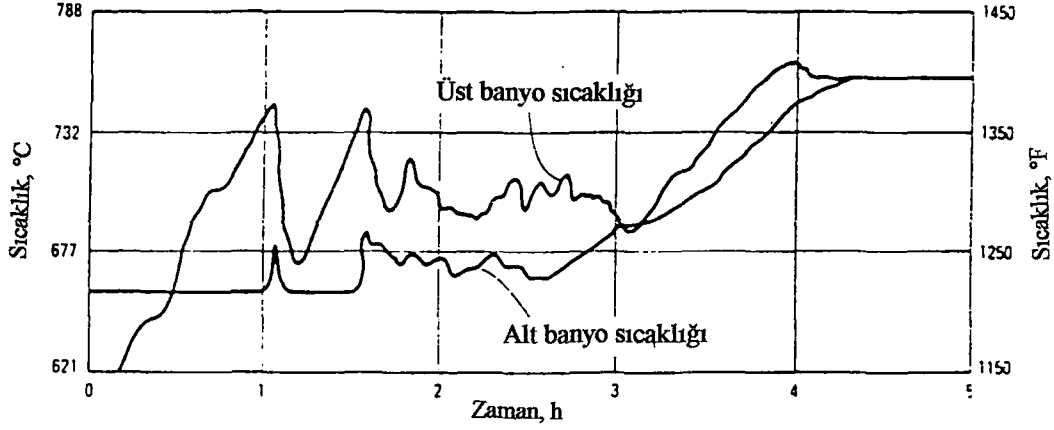
En yüksek konveksiyonel ısı transferini sağlayan bu çevrim, eriyik metale verilen kinetik enerji ve hız ile ilgilidir. Bir santrifüj pompası, dönen pervanenin hızına bağlı olarak, düzgün bir çekiş ve akış sağlar. Eriyik pompalamak için, kullanılan diğer yöntemlerde, bu kadar düzgün bir çekiş ve akış sağlanamamaktadır.

8.2.2.3 Eriyik devridaiminin faydaları

Santrifüj pompaları, enerji etkinliğini ve kaliteyi artırır. Bu metodun bazı faydaları, artan ergitme oranı, azalan enerji tüketimi, banyoda katmanlaşmanın önlenmesi ve uzun fırın refrakteri ömrüdür.

Bu yöntemin uygulandığı fırınlarda, uygulanmadığı fırınlara göre aynı sürede ergitilen metal miktarı yaklaşık olarak iki katına çıkmaktadır. Bu yöntem ile fırın içerisindeki eriyik ile iyi bir temas sağlanabilmektedir. Böylelikle, aynı banyonun alt ve üst kısımları arasında ortaya çıkan

yaklaşık olarak 28°C sıcaklık farkı da 10°C'nin altına düşürülmektedir. Bu durum, Şekil 8.4'de gösterilmektedir. Küçük fırınlarda sıcaklık dağılımının eşitliği, büyüklere oranla daha kısa sürede sağlanmaktadır.



Şekil 8.4 Eriyik devridaim pompası kullanılan büyük bir alüminyum ergitme fırınında sıcaklık dağılımı homojenliği (95 ton). (ASM Handbook Committee).

Ergitme fırınlarının yanı sıra, tutma fırınlarında da bu yöntemin uygulanması, hem alaşım konsantrasyonu hem de sıcaklık dağılımının eşitliği açısından yarar sağlamaktadır.

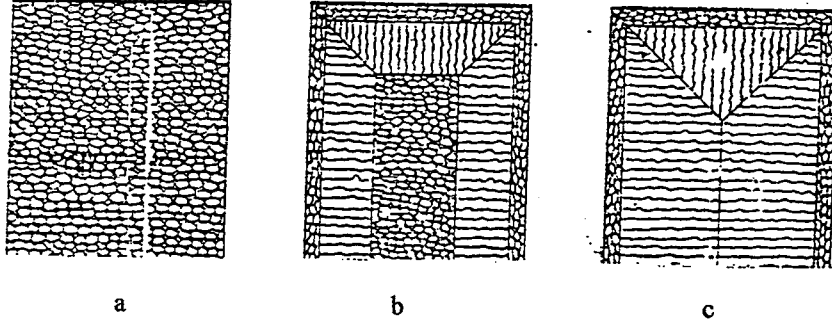
Bu yöntemle artırılan ısı transferi verimi ile, duvar ve tavanın daha az ısınması sağlanmakta, enerji tüketimi ve cüruf miktarı azalmakta ve fırın ömrü artmaktadır.

Birçok santrifüj pompası, basınçlı hava ile çalışmaktadır. Bu tür motorlar, oldukça fazla bakıma ihtiyaç duyarlar ve gerekli olan basınçlı hava da ayrı bir problemdir. Günümüzde, birçok uygulamalarda elektrik motorlu sistemler, basınçlı havalı sistemlerinin yerini almaktadır. Bu sistemlerin operasyon maliyetleri daha düşüktür, daha iyi kontrol edilebilirler ve ayarlanabilen dönme hızı da bir avantajdır.

8.2.3 Tane inceltme işlemi

Malzemelerin mekanik özelliklerinin tane boyutu ile ilişkisi bilindikten sonra ince taneli yapılar elde etmek için yapılan çalışmaların yoğunluğu artmıştır. Toz metalurjisi ve termomekanik yöntemlerle ince taneli yapılar elde etmenin yanı sıra, ergitme ve katılaştırma sırasında uygulanan katılaştırma yöntemleri de son yıllarda araştırmacıların ilgisini toplamıştır. Tane inceltme döküm parçanın yapısını değiştirmek için uygulanan bir işlemdir.

Normal olarak alüminyum alaşımları diğer hafif metallerin alaşımlarına benzer. Katılaştırma sırasında, kaba, havucumsu (kolonsal) ve eş eksenli kristaller oluşur. Tane inceltme, sıvı metalin katılaşması sırasında ince ve eş eksenli taneler oluşturmaya amacıyla uygulanır (Şekil 8.5).



Şekil 8.5 Alüminyum dökümlerde tane yapıları. a) Tamamen eş eksenli kristallerden oluşan yapı, b) Havucumsu ve eş eksenli yapı, c) Çil bölgeleri dışında havucumsu yapı. (Fırlıklı, 1985).

Alüminyum içinde fazla öktarda katı çözelti yapabilen bakır, magnezyum ve çinko gibi elementler katılaşma sonunda eşeksenli, küçük taneli kristal yapı oluşturmurlar. Al-Si, Al-Si-Mg, Al-Si-Cu-Mg alaşımlarında kristal yapıdaki taneler daha büyük olmaktadır. Bu nedenle yüksek oranda magnezyum ve bakır içeren alüminyum alaşımlarının kristal yapıları, yüksek oranda silisyum içeren alüminyum alaşımlarının yapılarına göre daha kolay inceltir.

8.2.3.1 Tane inceltmenin yararları

Tane inceltme işleminin yararları:

- 1- Döküm parçaların mekanik dayanım özelliklerini geliştirir
- 2- Sıcak yırtılma dayanımı artar
- 3- Basınçta sızdırmazlık artışı sağlanır
- 4- Dökülmüş parçanın işlenmesi kolaylaşır
- 5- Isıl işlem daha kolay ve etkin olarak yapılabilir
- 6- Döküm parçayı beslemek kolaylaşır
- 7- Gözeneklilik azalır
- 8- Segregasyon sorunları azalır
- 9- Anodik kaplamanın görünümü iyileşir

Bu arada, tane küçültmeyle akışkanlık hafifçe düşer. Örneğin 195 alaşımına % 0,17 seviyesinde titanyum katımı ile akışkanlık % 10 civarında azalır. Titanyum ilavesi alüminyum alaşımlarının elektrik iletkenliğini azaltır. Tane küçültücü eritken ilavesinin etkisi, daha sonraki yeniden eritme ile, sıvı metali uzun süre bekletme ile, aşırı yüksek sıcaklıkta çalışma, gaz giderme ve temizleme işlemleriyle kaybolur.

8.2.3.2 Tane boyutu ayarlama

Tane küçültme işlemi aşağıdaki yöntemlerle yapılabilir:

- 1- Isısal yöntemlerle tane küçültme
- 2- Dinamik yöntemlerle tane küçültme
- 3- Yapısal yöntemlerle tane küçültme

1. yöntemde hızlı soğuma uygulanarak, katılaşmada tane büyümesi önlenmektedir ancak; hızlı soğuma tüm yapıda tane inceltmesini sağlayamadığı gibi, oluşan havuçsu taneleri eşeksizli küçük taneler durumuna getiremez.

2. yöntem yoluyla uygulanan mekanik titreşimler tane inceltme işleminde başarılı olmuşlardır ancak; döküm parçanın büyüklüğü ve titreşim düzeninin yüksek yatırım maliyeti gibi uygulama zorlukları bulunmaktadır.

3. yöntem olan yapısal yöntemlerle tane küçültme, bir başka deyimle sıvı alüminyum alaşımlarına tane küçültücü katkıları uygulanması yöntemidir.

Tüm döküm alaşımlarında, hızlı katılaşma, küçük tane boyutu oluşumuna sebep olur. Bor, titanyum, krom, kolumbiyum ve sodyum, dökümden hemen önce tane inceltici elementler olarak eriyiğe katılırlar. Bunun yanı sıra bir diğer unsur da, olabilecek en düşük sıcaklıkta döküm yapmanın, tane boyutunu inceltici etkisi olduğudur.

8.2.3.2.1 Döküm sıcaklığı

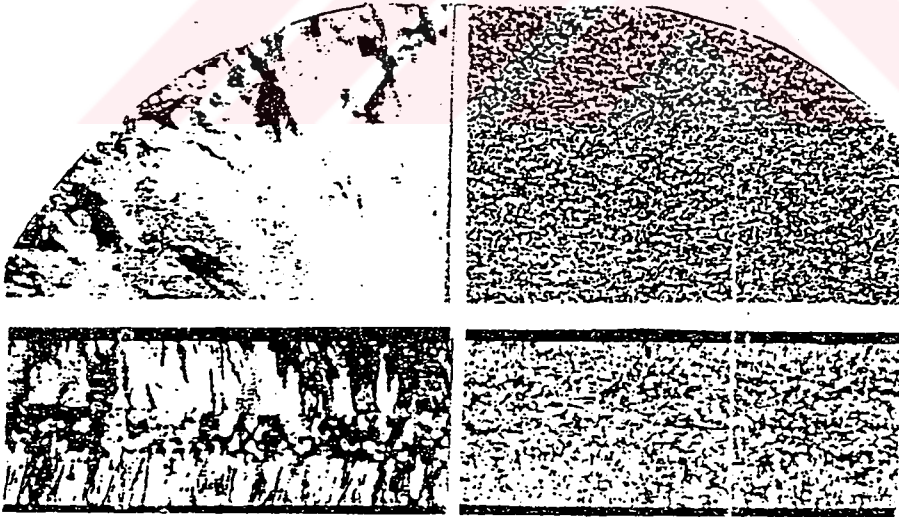
Bir eriyik, döküme tam olarak hazır olduğunda, dökümden önce son olarak onun sıcaklığını kontrol etmek gereklidir. Bu ölçüm için asbest kaplı, kromel-alumel kablolardan oluşan termokupllar (No:8) uygundur. Çıplak termokupllar, hızlı sıcaklık ölçümü için kullanılır.

Döküm boyutu, alaşım bileşimi ve diğer faktörlere göre 1250-1400°F döküm sıcaklığına ulaşılmalıdır. En iyi sonucun alınması için, en uygun döküm sıcaklığının elde edilmesi gereklidir.

8.2.3.2.2 Tane küçültücü katkıları

Mekanik özellikler tanelerin inceliğine ve yapıda homojen olarak dağılımına bağlı olduğundan tane küçültme, ergitmenin önemli aşamalarından birini teşkil eder. Kararlı çekirdek miktarını artırmak ve tane büyümesini durdurmak amacıyla sıvı metale yapılan ilaveler aşılama olarak ifade edilebilir.

Bir tane küçültücü, ana malzemenin kimyasal bileşimini önemli ölçüde değiştirmeden eriyiğe katılan bir elementtir. Alüminyum alaşımlarında tane küçültme amacıyla çok kullanılan ve yukarıdaki tanımın içine giren tane küçültücü elementler, titanyum, bor ve zirkonyumdur. Titanyum ve bor çok etkin tane küçültücülerdir. Sıvı metal içinde titanyum borat, titanyum karbür, alüminyum borat veya daha karmaşık metaller arası bileşimler oluşturarak çekirdeklenmeyi sağlarlar. Dökümün katılaşması esnasında bu sayısız çekirdekler ince, eş eksenli tanelerin oluşmasını sağlarlar.



Şekil 8.6 Bor ve titanyum içeren flakslarla tane küçültme işlemi yapılmış ve yapılmamış yapılar. (Fırlı, 1985).

8.2.3.2.3 Ticari tane küçültücüler

Tane küçültme amacıyla ticari anlamda bulunabilen tane küçültücüler şunlardır: Alüminyum – titanyum (Al-Ti), alüminyum – bor (Al-B), alüminyum – titanyum – bor (Al-Ti-B),

alüminyum – tantal (Al-Ta), alüminyum – zirkonyum (Al-Zr), alüminyum – zirkonyum – vanadyum (Al-Zr-V), en çok kullanılanları Al-Ti ve Al-Ti-B'dir. Al-Ti tane küçültücüleri %5-10 Ti içerirler. Bu düşük oranlarda bile ağırlık ayrımını denetlemek zor olduğunda, ayrıca yüksek oranlarda erime sıcaklığı noktasının ani olarak yükselmesi nedeni ile %Ti değerinin daha yüksek olması pratik değildir. Bor miktarı da düşüktür (%0,1-2,5). Çünkü titanyum borat ta segregasyon oluşturma eğilimi yüksektir.

8.2.3.2.4 Tane küçültücü flakslar

Tane küçültme işlemi için birçok tane küçültücü flaks (tane küçültücü tuzlar) üretilmiştir. Bu flaksların daha uygun biçimde dağılmış tane küçültme etkisi sağladığı görülür. Eriyiğe katılması daha kolaydır. Oksidasyon ve gaz kapma problemlerini gidermek için daha düşük sıcaklıklarda katılırlar.

Tane küçültme flakslarının birçoğu genel olarak titanyum, bor, zirkonyum ve karbon içerir. Metaller arası bileşikler oluşturan, örneğin titanyum karbür be titanyum bor karbür gibi, titanyum ve bor veya ikisinin birleşimi, önemli derecede etkindir.

Ötektik üstü alüminyum-silisyum alaşımlarının tane küçültmesi işlemi özel bir durumdur. İki fazlı bileşim gerektirir. Ötektik yapının tane küçültme işlemi, titanyum ve bor içeren bileşikler yardımı ile yapılabilir. Serbest silisyumdan (ötektik üstü) oluşan kaba plakalar ise özel, fosfor içeren flakslarla muamele edilmelidir. Kullanılacak flaks sodyumsuz ve kalsiyumsuz olmalıdır. Aksi halde bu elementler fosforla birleşerek onun etkisini azaltırlar. Pratikte her iki fonksiyon ve işlem tek bir flaksta toplanmıştır.

Tane küçültme işleninin genellikle kullanılmayan başka yöntemleri de vardır. Bunlar şunlardır: Klor tuzlarının kabarcık oluşturan buharları örneğin titanyum tetraklorür veya bor tetraklorürün eriyiğe verilmesi ve diğer bir yöntem de, döküm kalıbının bu buharla ısıtılması (yıkınması) da çok ince yüzey bölgesi sağlayabilir.

8.2.3.2.5 Tane küçültücü katkı miktarı

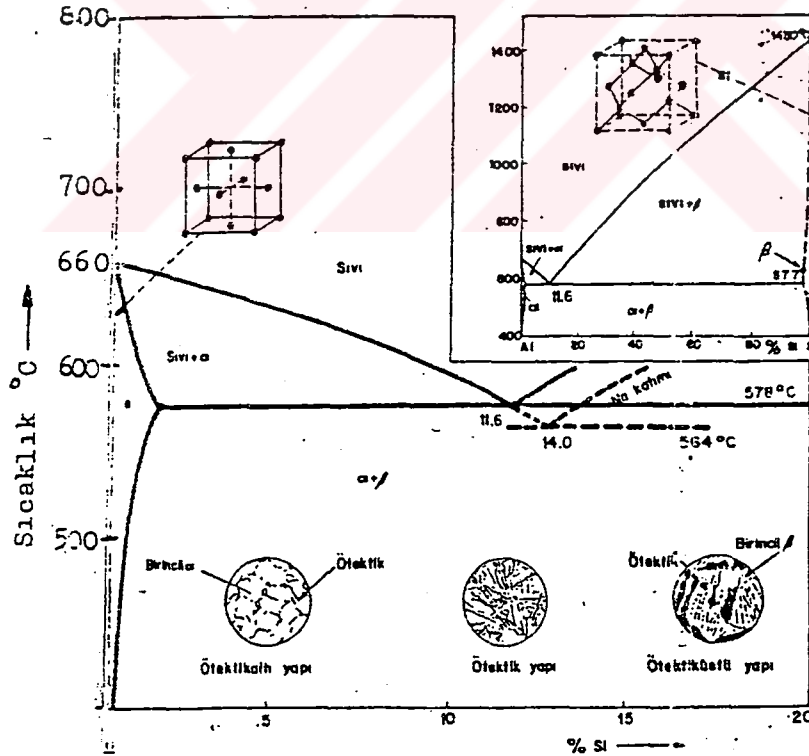
Tane küçültme işleminden iyi sonuç almak için tane küçültücü katkılar dökümden hemen önce eklenmelidir. Normal işlem sıcaklığında genellikle bu katkı miktarı %0,05-0,15 Ti + %0,04 B veya %0,01-%0,08 Ti + %0,008 B tercih edilir. Daha yüksek sıcaklıklarda %0,03 Ti

+ %0,1 B tavsiye edilir. Özellikle karmaşık alaşımlarda daha fazla olmak üzere, katkı miktarının artması ağırlık nedeni ile çökeltme segregasyonlara neden olur. Aşırı bor ilavesi istenmeyen kalıp reaksiyonlarına ve fırın tabanında bor birikimlerine neden olur.

Dökümün mekanik özellikleri üzerinde tane boyutuyla birlikte segregasyonun da etkisi oldukça önemlidir. Dolayısıyla tane küçültmek amacıyla aşılama yapıldığında her iki faktör de göz önünde bulundurulmalıdır.

8.3 Alüminyum – Silisyum Alaşımlarının Modifikasyonu

Isıl işlem uygulanmayan döküm alaşımları içinde en önemli ve endüstriyel anlamda en yaygın biçimde kullanılanları Al-Si alaşımlarıdır. Bu alaşımların denge diyagramları incelenecek olursa, ötektik bileşimdeki (%11,6 Si) bir alaşımın yapısının %100 ötektik karışım olduğu görülecektir (Şekil 8.7). Ötektik karışımı oluşturan fazlardan α fazı % 1'den az Si içeren alüminyum bazlı bir katı çözüldür. Ötektiği oluşturan diğer faz β ise hemen hemen arı Si olan, çok az Al içeren silisyum bazlı bir katı çözüldür.



Şekil 8.7 Al-Si denge diyagramı ve yapılar. (Fıglalı, 1985).

Ötektik altı Al-Si alaşımlarının yapısı, genellikle dallantılı bir görünümde olan α birincil fazı ile bu dallantılar arasında kümelenmiş ötektik karışımdan oluşur. Ötektik üstü Al-Si alaşımlarında ise yapı ötektik karışım ile, kaba çökelti halindeki β fazından oluşmuştur.

Sadece alüminyum ve silisyumun oluşturduğu Al-Si alaşımları genellikle %9-13 Si içerirler, %11,6 Si içeren ötektik bileşimlerde yapı Şekil 8.8’de görüldüğü şekilde oluşur. Daha büyük büyütmeelerde ise ötektik yapıyı oluşturan fazlardan β parçacıklarının kaba, keskin köşeli parçacıklardan oluştuğu kolayca gözlenir (Şekil 8.9).



Şekil 8.8 Al-Si ötektik alaşımlarının yapısı. Kaynak: Fırlı, A..



Şekil 8.9 Al-Si alaşımlarında ötektik yapı. (Fırlı, 1985).

Burada ana yapı (alüminyum) yumuşak ve sünektir. Herhangi bir çekme ya da bükme deneyinde kopmalar, bu yumuşak ana yapı ile, silisyum parçalarının sınırında oluşmaktadır.

Dolayısı ile bu yapıya sahip olan malzemelerin çekme ve uzama değerleri kötüdür. Başka bir deyimle malzeme gevrektr.

Alüminyum – silisyum alaşımlarında β fazını meydana getiren silisyum parçacıklarının dağılım ve büyüklüğünü değiştirmek (inceltmek) için yapılan işlemlere modifikasyon denilmektedir. Genellikle %6-13 Si içeren alaşımlar sodyum ile, %12'den fazla Si içeren alaşımlarda fosfor ile modifiye edilmektedir.

8.3.1 %6-13 Si içeren alüminyum - silisyum alaşımlarının sodyum ile modifikasyonu

Al-Si döküm alaşımlarının modifikasyonu için kullanılan ilk element sodyumdur. A. Pacz, 1920'de eriyik katılaştığı zaman alkali metallerin, özellikle sodyumun bir Al-Si alaşım eriyiğine az miktarda ilavesinin Si fazının yapısını lameler yapıdan çok ince dağılmış kristaller haline dönüştürdüğünü bulmuştur.

%0,01 kadar sodyum ilavesi ile (metalik sodyum veya %67 NaF %33 NaCl tuz karışımı kullanılabilir) Al-Si alaşımları modifiye edilebilir. Sodyum ilavesinin etkisi, β fazının çökmesini yavaşlatmak ve ötektik bileşimini daha yüksek silisyum değerlerine kaydırmak şeklinde görülür. Bu nedenle %14 Si içeren Al-Si alaşımlarında bile sodyumla modifikasyon uygulandığında birincil beta fazı çökmesi olmaz; alaşımın yapısı ince ötektik karışımdan oluşur.

Sodyumun etki mekanizması bilimsel bir kesinlik kazanmamıştır. Buna rağmen sodyumun, eriyik içindeki metal olmayan kalıntılarının dış yüzeylerini çevreliyerek onların katılaşma başlangıcını geciktirdiği düşünülmektedir. Kabul edilebilir bir diğer açıklama ise ötektik bileşimli alaşımın şimdi, ötektik altı alaşım olması şeklindedir.

Sodyum ile modifiye edilerek inceltelen yapı yeniden ergitilip dökülecek olursa, sodyumun oksitlenerek kaybolması sonucu, alaşım normal yapı olarak katılaşacaktır. Sodyum ile modifiye edilmiş alaşımlara ait yapı resimleri Şekil 8.10'da görülmektedir.



Şekil 8.10 Al-Si alaşımlarının olağan (a) ve modifikasyon sonucu (b) yapısı. (Fırlı, 1985).

8.3.2 Stronsiyum ile modifikasyon

Al-Si alaşımlarının modifikasyonunda, sodyumun yanısıra benzer bir etkiye sahip olan stronsiyum da kullanılmaktadır. Alaşıma stronsiyum ilavesi ile plaka şeklinde dağılmış, kaba silisyum partikülleri, ince bir şekilde dağılmış silisyuma dönüştürülür. %0.01-0.5 stronsiyum ilavesi yapıyı inceltmektedir. Stronsiyumun silisyumu sürekli inceltme işlemi, yeniden ergitmelerde de etkili olması önemli bir kullanım kolaylığı getirmektedir. Ayrıca döküm alaşımlarına katılan stronsiyum, Al-Fe-Si, Al-Fe-Mn gibi metaller arası bileşiklerin dağılımını düzenleyerek alaşımın talaşlı imalat özelliklerini geliştirmektedir. Etki süresinin daha uzun olması ve belli bir değer aşıldığında akışkanlıkta yarattığı azalma sodyum kullanma durumundakinin az olması gibi nedenlerle çoğu uygulamalarda sodyum tercih edilir.

8.3.3 Ötektik üstü alüminyum - silisyum alaşımlarının fosfor ile modifikasyonu

Ötektik üstü alüminyum – silisyum alaşımlarının katılaşması sırasında sıvı alüminyum içinde, yüksek katılaşma sıcaklığı nedeniyle birincil silisyum kristalleri oluşmaya başlar. Eğer herhangi bir modifikasyon işlemi uygulanmamışsa, silisyum kristalleri katılaşma süresince büyüyerek alaşımın mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkileyecektir. Sıvı alaşıma fosfor katarak birincil silisyum kristallerinin iri biçimde oluşumu engellenir. Fosfor, alüminyumla çözünmez bir bileşik olan alüminyum fosfatı (AlP) oluşturur. AlP kristalleri, silisyum kristallerine şekil ve boyut bakımından benzemektedir. Bu nedenle, birincil silisyum kristallerinin, AlP gibi kristalleştiği, dolayısı ile eğer dengeli bir alüminyum fosfat dağılımı oluşturulursa, geri kalan bütün birincil silisyum kristallerinin küçük olması sağlanmaktadır. Şekil 8.11’de %17 silisyum içeren ötektik üstü alüminyum alaşımının fosforla inceltmeden önceki ve sonraki yapıları görülmektedir.



Şekil 8.11 %17 silisyumlu ötektik üstü alüminyum alaşımasının modifiye edilmemiş (a) ve modifiye edilmiş (b) yapısı. (Fırlalı, 1985).

9. SIVI METAL KALİTESİ

Bütün üretim yöntemlerinde olduğu gibi, metallerin döküm teknolojisinde de malzeme hazırlama çok önemli bir yer tutar. Diğer metallerin dökümünde eriyik hazırlamanın gerektirdiği önem ve özen alüminyum alaşımlarının dökümünde de söz konusudur.

Nitelikli bir eriyik hazırlama, döküm prosesinin ilk ve en önemli adımıdır. Zira döküm tasarımı, kalıp hazırlama ve benzeri işlemler ne kadar iyi yapılırsa yapılsın eriyik kötü hazırlanmışsa sonuç başarısız olacaktır. Bu durumda çabalar boşa gidecek, hurda miktarı artacak, harcanan zamanın yanı sıra döküm parça maliyeti de artacaktır.

Bu nedenlerle döküme geçmeden önce, hazırlanmış olan eriyiğin nitelik denetiminin yapılması, eğer uygun değilse başa dönerek eriyiğe uygulanan işlemlerin gözden geçirilmesi gerekmektedir. Böylelikle hem hurda dökümler önlenmiş olacak hem de dökümhane oto-kontrol sistemine katkıda bulunmuş olunacaktır.

Eriyik haldeki alüminyum alaşımlarının nitelik denetimi için hidrojen gazı miktarı, tane küçültme işlemi, metal kaybı, modifikasyon, bileşim, bulaşma, sıcaklık ve benzeri gerekli diğer denetimler yapılmaktadır.

9.1 Hidrojen Gazının Belirlenmesi

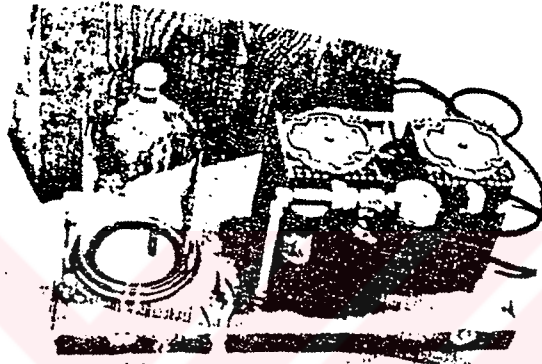
Amaç gözeneksiz bir döküm yapısı elde etmek olduğuna göre döküm için hazırlanmış olan sıvı alüminyumdaki hidrojen gazı miktarının belirlenmesi gerekmektedir. Eriyikte bulunmasına izin verilecek hidrojen gazı seviyesine ilişkin olarak literatürde farklı bilgiler bulunmaktadır. Talbot ve granüler dökümlerde $0,15\text{cm}^3/100\text{gr Al}$ değerinden daha az hidrojen bulunmasının dallantılar arası gözenek oluşturmayacağını belirtmişlerdir. Bunun yanında, alaşımda hidrojen miktarı $0,01\text{cm}^3/100\text{gr Al}$ seviyesinde olduğu takdirde gözenek, gaz boşluğu, kabarcık gözlenmez.

Alüminyum alaşımlarındaki hidrojen miktarını belirlemek için nitel ve nicel sonuçlar veren değişik yöntemler bulunmaktadır.

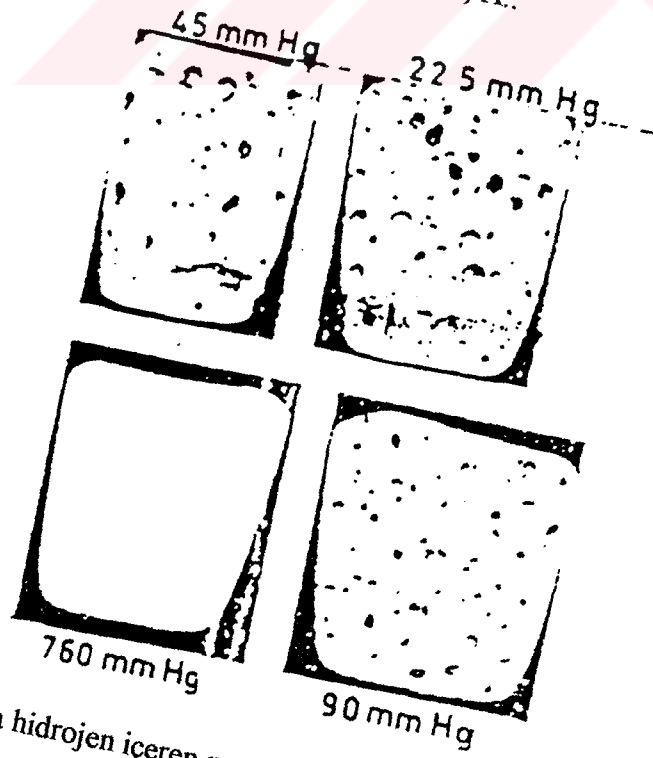
Ransley ve Talbot tarafından ortaya atılmış olan vakumda sıcak ekstraksiyon (VHE, Vacuum Hot Extraction) en çok kullanılan yöntemlerden biridir. Bu yöntemde vakum altında 450-

650°C sıcaklıkta alüminyumda hidrojen dağılımı hacimsel olarak ölçülmektedir. Yöntemin sakıncası, hazırlık ve deney için gereken sürenin uzun olmasıdır.

Katı numuneden yararlanarak hidrojen miktarını belirleyen bir diğer yöntem de taşıyıcı asal gaz altında ergitilmiş alüminyumdan yayılan gazların süpürülmesi yöntemidir. Bu yöntemle süpürülen gazlar ısı iletkenliğinin ölçülebildiği bir bölme alınarak ölçüm yapılmakta ve sonuçlar hassas biçimde $\text{cm}^3/100\text{gr Al}$ değeriyle direkt olarak hidrojen miktarını vermektedirler. bu şekilde hızlı ve oldukça doğru biçimde ölçme yapılabilmekte, ancak sıvı banyodan katı numune alınması deney sonuçlarını etkileyebileceğinden, büyük özen gerektirmektedir. Bu cihazların ilk yatırım maliyetleri yüksektir.



Şekil 9.1 Alüminyumda hidrojen seviyesini belirlemek için kullanılan bir azalan basınç cihazı.
Kaynak: Fırlalı, A.



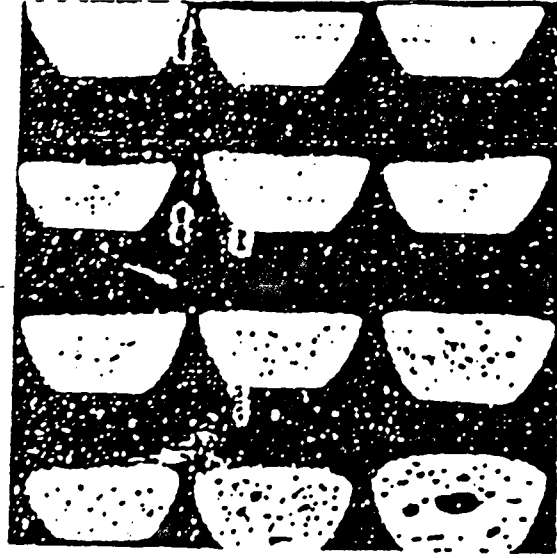
Şekil 9.2 Aynı miktarda hidrojen içeren numunelerin farklı vakumlarda katılaşmaları.
(Fırlalı, 1985).

Düşük kapasiteli alüminyum dökümhanelerinde hidrojen belirlemelerinde başarıyla uygulanabilen ve oldukça ucuz bir yöntem olan basınç cihazı (RPA, Reduced Pressure Aparatus) kullanılmaktadır. Şekil 9.1’de görülen bu cihaz, bir motor, bir vakum pompası, bir vakum bölmesi ve bir basınç ölçme aygıtı içerir. Deney dökümden önce yapılmakta ve sonuca göre döküm yapılmakta veya gaz giderme işlemi uygulanmaktadır.

Döküm için hazırlanmış eriyikten küçük bir örnek dikkatle alınarak deney başlatılır. Numune, önceden ısıtılmış, astarlanmış bir pota içine konur. Pota, derhal (30 saniyeden kısa bir süre içinde) vakum bölmesine yerleştirilir ve istenen vakumu sürekli elde etmek için vakum pompası çalıştırılır. Kullanılan tipik vakum, 50mm veya 100mm civa sütununa eşdeğer seviyededir. Metal, bu vakum altında katılaştırılır. Birbiri ile tutarlı sonuçlar elde etmek için her seferinde aynı basınç seviyesini kullanmak önemlidir.

Döküm normal olarak 1 atmosfer basınç altında katılaştığında dış basıncın etkisi ile porozitelerin boyutu küçük olur. Katılaşma vakum altında yapıldığında porozitelerin boyutunu küçültecek atmosferik bir basınç olmadığından, aynı miktarda hidrojen için porozite boyutları kolaylıkla görülebilecek büyüklükte olurlar.

Şekil 9.2’de sabit bir hidrojen seviyesinde değişik vakum değerleri altında yapılan katılaştırmalarda porozitenin boyut değişimi görülmektedir. Şekil 9.3’de ise sabit vakum altında, değişen hidrojen miktarları için meydana gelen porozitelerin boyut değişimi görülmektedir. Şekil 9.3’e benzer biçimde, sabit vakum altında değişen hidrojen değerleri için deney yapıp, elde edilen porozite resimleri (veya numuneler) ile hazırlanan ve ret-kabul sınırı çizilen bir karşılaştırma kartı test sonuçlarının değerlendirilmesi açısından yararlı olacaktır. Deney sonuçlarının doğru değerlendirilmesi ise, deney numunesinin soğutulmasını, kesit alınmasını ve parlatılmasını içerir.



Şekil 9.3 Sabit vakumda değişen hidrojen miktarı yapıları. (Fırlalı, 1985).

Başka bir değerlendirme de özgül ağırlık hesaplamasıdır. Numune havada ve suda tartılır, aşağıdaki formüle göre hesap yapılır.

$$\text{ÖA} = A_h / A_h - A_s \quad (9.1)$$

Özgül ağırlığı yüksek olan numunede gaz miktarının daha az olduğu açıktır.

9.2 Tane Boyutu Denetimi

Alüminyum alaşımlarının tane boyutu ortalama 0,127mm çapından en büyüğü 12.7mm çapına kadar olan bir aralıkta değişir. Metalin tane boyutu, döküm sonrası parlatma ve dağlamadan sonra gözle görülebilir.

Alüminyum dökümlerinde ince tane yapısı istenir (genellikle taneler 1,016mm ortalama çapından büyük olmamalıdır). Gaz veya çekintinin neden olduğu porozite veya boşluk istenmez. Porozitenin kabalığı tane boyutu ile orantılıdır. Sonuç olarak ince taneli dökümlerde, porozite daha küçük taneli ve daha az tehlikelidir. Dolayısı ile mekanik özellikler, özellikle çekme dayanımı ve uzama, ince taneli yapılarda kaba taneli yapılara oranla genellikle daha iyidir.

Çekinti ve sıcak çatlama genellikle kaba taneli yapılarda oluşur. İnce taneli yapı, çekintiyi en aza indirerek dökümün daha sağlam olmasını sağlar. Alüminyum alaşımlarının dökümlerinde tane yapısı, döküm sıcaklığı, katılaşma hızı ve tane küçültücü elementlerin bulunup

bulunmamasından etkilenir. Döküm sıcaklığı ve katılaşma hızı döküm aşamasında denetlenir. Tane küçültücü katkıların etkisi ise dökümden önce belirlenebilir.

Sıcak ergimiş metal, nispeten daha az sıcak metal kalıba döküldüğünde, ergimiş metalin ısı kaybından ötürü akışkanlığı azalır. Isı yalıtımı için kullanılan boyaların uygulanması ile metalin ısı kaybı hızı kontrol altına alınır ve akışkanlığı korunmuş olur. Boyanın kalınlığı çabuk soğumanın arzu edildiği yerlerde çok ince, yolluk, besleyici ve ince kesitli kısımlarda kalın olmalıdır.

9.2.1 Tane boyutu testi

Döküm tane boyutunun döküm öncesi ve hızlı bir şekilde değerlendirilmesini sağlayan basit bir deney geliştirilmiştir. Amaç, denetimli koşullar altında tane küçültücü malzemelerin bağlı etkinliğini belirlemektir. Döküm koşullarına benzer katılaşma sağlanmakta ve alt düzeyde parlatma gerektirmeyecek düzgünlükte bir yüzey elde edilmektedir. Laboratuvar çalışmalarında da başarıyla kullanılabilen yöntem, özellikle dökümhanelerde üretim esnasında proses denetimine yardımcı olmaktadır.

Eğer tane küçültme yetersiz bulunursa, ek olarak tane küçültücü flakslar eklenmekte, hurda dökümler büyük ölçüde önleendiğinden ekonomiye büyük katkıda bulunmaktadır.

9.3 Diğer Denetimler

9.3.1 Sıcaklık denetimi

Alüminyum alaşımlarında eriyik hazırlama, döküme geçiş ve döküm esnasında sıcaklık denetimi çok önemlidir. Fırınlar, sıcaklığı $\pm 5^{\circ}\text{C}$ içinde tutulacak şekilde otomatik kontrol ile donatılmalıdır. Cihazlar sürekli olarak bakımlı ve ayarlı tutulmalıdır. Banyo sıcaklığını tam olarak istenilen seviyede tutmak, olası birçok sorunu daha başlamadan giderecektir. Döküm sıcaklığı genellikle deneyimle seçilir. Ayrıca döküm esnasında bütün parçaların aynı sıcaklıkta dökülmesi sağlanmalıdır.

9.3.2 Bileşim denetimi

Alüminyum döküm alaşımlarında bulunan birçok alaşım elementi (örneğin: Cu, Fe, Si, Mn, Zn, Ni, Cr ve Ti) oksidasyon, buharlaşma veya çökelme ile kolayca kaybolmazlar.

Bazı elementler ise (örneğin: Mg, Na ve Ca) eriyik banyodan oksidasyon, klorür yapma ve buharlaşma yoluyla kaybolurlar. Bu kayıplar yüksek sıcaklıkta uzun süre tutma, flaks kullanımı ve karıştırma ile artar. Kayıpları karşılamak için eriyiğe fazladan eklenmeleri gerekebilir. Magnezyum eksikliği halinde alaşımların mekanik özellikleri kötü yönde etkilenir.

9.3.3 Segregasyonun önlenmesi

Ağır alaşımlama elementleri içeren alaşımları ergitirken segregasyonu önlemek için ergimiş banyonun sık sık karıştırılması gerekir (özellikle, sıcaklık ergime aralığının düşük tarafına yakınsa). Örneğin, krom içeren Al-Zn-Mg alaşımlarında kromu uygun bir dağılımda tutmak için sık sık ve sürekli karıştırmaya gerek vardır. Oksidasyonu en aza indirmek için aşırı karıştırmadan da kaçınmak gerekmektedir.

9.3.4 Safsızlıkların denetimi

Aktifliği nedeni ile ergimiş alüminyum kolayca kirlenebilir. Kirlenmeyi genellikle demir, oksitler ve hidrojen yapar. Piston alaşımlarında demir miktarı %0,9'u aştığında kalın kesitlerde istenmeyen havuçsu taneler gelişir. Daha yüksek silisyumlu alaşımlarda demir miktarı %1,2'yi aştığında, eğer özellikle ergimiş metal sıcaklığı 650°C'nin altına düşmüşse çamursu çökelek oluşmaya başlar. Bununla birlikte alaşımda bulunan mangan ve krom miktarı ile demirin bulunma toleransı bir miktar genişler. Çamur oluşumunu önlemek için $\%Fe + 2(\%Mn) + 3(\%Cr)$ toplamı 1,9'u aşmamalıdır. Eğer banyo sıcaklığı yüksek ve banyo çalkalanıyorsa (indüksiyon fırınları gibi) bu değer biraz yukarı çıkar, aksi durumda daha küçük olur. Fırının karşıt kenar ve köşelerindeki ergimiş alüminyumdan örnekler alınmalı ve dökümden önce analiz edilmelidir. Böylece bir ayarlamamanın gerekip gerekmediği ortaya çıkar.

9.3.5 Çökelek oluşumunun önlenmesi

Çökelek %5 veya daha fazla silisyum içeren alüminyum alaşımlarının banyolarında oluşur ve çöker. Bununla birlikte çökelek bünyesinde silisyum bulunmaz; demir, mangan ve kromun bileşiğidir.

Dökümlerdeki çökeltiiler öncelikle, dökümleri işlemek için kullanılan takımların ömürlerinde azalma ortaya çıkarır. Takım ömrü azalması, dökümlerdeki çökeltiiler nedeniyle kaynaklanan sert noktalar yardımıyla olur. Metalografik çalışmalar da çökelek parçacıklarını ortaya çıkarır. Metaldeki aşırı çökelek elementlerinin bulunup bulunmadığını belirlemek için kimyasal analizler kullanılabilir.

Çökelek oluşumunu en aza indirmek için:

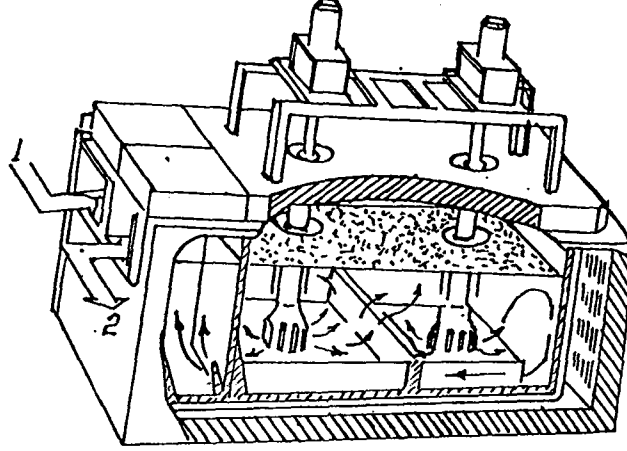
- 1- Demir miktarı mümkün olan en düşük düzeyde tutulmalıdır.
- 2- Ergitme fırınının sıcaklığı en az 730°C'de tutulmalıdır.
- 3- Tutma fırınının en düşük sıcaklığı ise 650°C olmalıdır.

9.4 Sıvı Alüminyumda Kullanılan Yeni Rafinasyon Sistemleri

Büyük ölçekli ve etkili gaz giderme işleminin gerekliliği için ortaya çıkan ihtiyaç; önceleri fırın banyosunda yapılan rafinasyon işlemlerini hat üzerine taşımıştır. Hat üzerinde rafinasyonda en büyük gelişme, Union Carbide firmasının geliştirdiği SNIF döner nozullu gaz dağıtıcılı rafinasyon sistemi ile sağlanmıştır. Bu sistemin başarıyla kullanılması, benzer prensiple çalışan ve bazı ilaveleri olan AlCaO'nun 677 ve 469, Pechiney'in Alpur, Sumitoma'nın RT, ASV ve TKB ve Conalco'nun Mint gibi birçok yeni sistemler de geliştirilmiştir.

SNIF sisteminin teknik özellikleri kısaca şöyledir: proses gazları, yüksek hızla dönen sabit rotora bağlanmış iki parçalı grafit nozuldan enjekte edilir. Nozulların dönüşü ile çok ince ve çok fazla miktarda kabarcık oluşarak metalin bünyesine dağılırlar. Nozulların dönüş hareketi girdapsızdır. Bu şekilde banyo yüzeyinde toplanan cürufun tekrar sıvı metale karışması önlenir. İnert gazın yanında çok az miktarda Cl₂ gazı da kullanılarak emprüteler de rafine edilir.

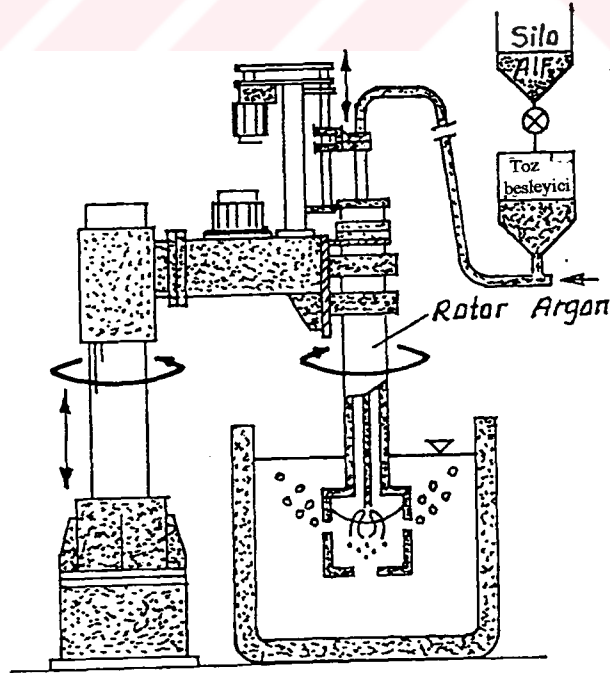
SNIF, havayla irtibatı olmayan ve sıvı metalden uzaklaştırılmış H_2 gazının, tekrar adsorbsiyonunu önleyecek şekilde metalin yüzeyi inert gazla örtülmüş kapalı bir sistemdir (Şekil 9.4).



Şekil 9.4 Çift nozullu SNIF sistemi. (Helvacıoğlu).

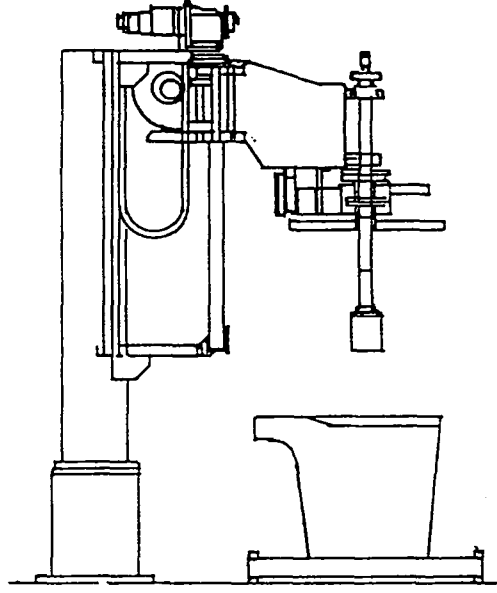
Geliştirilen döner nozullu hatta, gaz giderme aparatlarının çapları 200-250mm, devirleri 200-600d/d arasında ve rafinasyon kapasiteleri saatte 5-70 ton arasındadır.

Bu sistemin potada rafinasyon yapacak şekilde sabit ve hareketli küçük modelleri de geliştirilmiştir.



Şekil 9.5 Toz enjeksiyon tertibatlı, döner nozullu rafinasyon hücresi (HYCAST RAM-prosesi). (Helvacıoğlu).

Emprüteleri gidermek için toz enjekte tertibatına sahip aparatlar da vardır (Şekil 9.5).



Şekil 9.6 Döner nozullu gaz giderme ünitesi (HYCAST HBS-ünitesi). (Helvacıoğlu).

10. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneysel çalışmalar, kaplamasız ve kaplamalı malzemelerin karışımından oluşan ve olabildiğince homojen olarak hazırlanmaya çalışılan şarj ile yapılmıştır. Alüminyum hurdaları önce laboratuvar tipi fırında kullanılan potaya yüklenebilecek boyuta getirilmiştir. Potaya her bir ergitme deneyinde 200g temiz malzemenin 100g kaplamalı malzeme ile karıştırılması ile elde edilen 300g toplam şarj yüklenmiştir.

Deneylere başlanmadan önce fırının deney sıcaklığı olan 760C° sıcaklığa kadar ısınması beklenmiştir. Ergitmenin yapılacağı pota da fırınla birlikte aynı sıcaklığa kadar ısıtılmıştır.

Deneylerde kullanılacak hurda malzemeler üzerinde bulunan toz, kir vs. gibi deneyin sağlıklı koşullarda yapılmasını engelleyebilecek unsurlar hurda malzemeler üzerinden temizlenmiştir. Hurdaların bileşimleri, her deneyde aynı cins malzeme kullanılarak olabildiğince aynı tutulmuştur.

Deneylerde, dekoratif çerçeve yapımında kullanılan ekstrüzyon ürünü temiz hurdalar ve aynı malzeme üzerine boya kaplanmış olan kirli hurdalar kullanılmıştır.

Deneylerde kullanılan pota, karıştırma çubuğu, cüruf çekme kaşıkları gibi tüm malzemeler her deney başlangıcından önce temizlenmiş böylelikle önceki deneylerden kalmış olan atıkların deney sonuçlarını etkilemesi önlenmiştir.

Deneylerin değişik aşamalarında geçen zaman, bir kronometre yardımı ile tutularak, her deneyin aynı kademelerinde aynı zamanın geçmesi sağlanmıştır. Böylelikle işlem süresinin farklı olması nedeni ile ortaya çıkabilecek olumsuzluklar engellenmiştir.

Kullanılan flakslar, bileşimlerine uygun olarak her şarj için, şarj ergitme aşamasında iken hazırlanmış ve açık havada olabildiğince az bekletilerek ortamda bulunan nemden etkilenmesi en az düzeye indirgenmiştir. Flakslar bileşim olarak uygun şekilde hazırlandıktan sonra bir ezme çubuğu kullanılarak elde ezilerek taneciklerinin boyutları olabildiğince küçültülmüş ve yüzey alanları artırılmıştır. Böylelikle flaks ekleme aşamasında cüruf tabakası ile flaksın temasının kısa sürede ve daha etkin biçimde olması sağlanmıştır.

Deneylerde, şarj yükleme, flaks ekleme gibi fırın kapağının açılmasını gerektiren işlemler sırasında olabildiğince çabuk davranılarak fırının, potanın ve ergiyeğin sıcaklığının ergitme sıcaklığının altına düşmesi en az seviyede tutulmaya çalışılmıştır. Bunun yanı sıra potaya yapılan müdahaleler sırasında potanın fırın dışında olduğu sürelerin her deneyde olabildiğince aynı olmasına böylelikle kaybolan sıcaklığın da eşit olmasına çalışılmıştır.

Şarj sırasında 300g toplam şarjın potaya bir defada sığmaması nedeni ile deneylerde önce temiz malzeme yüklenmiş, bu malzeme ergiyip daha az yer işgal eder duruma geldiğinde kirli malzeme de yüklenmiştir.

Kullanılan flaksların bileşimleri her deney için farklı olmakla birlikte, flaks kullanılan tüm deneylerde toplam flaks ağırlığı 8g olacak şekilde ayarlanmıştır.

İlk yapılan deney, daha sonra yapılacak flakslı deneylere referans teşkil etmesi amacı ile flaks kullanılmayarak yapılmıştır.

10.1 Deney Aşamaları

- Daha önceki deneylerden, deneyde kullanılan malzemeler üzerindeki kalan artıklar temizlenir.
- Pota fırın içerisine yerleştirilerek fırın çalıştırılır ve fırın sıcaklığının 760C°'ye gelmesi beklenir.
- Pota fırından bir maşa yardımıyla çıkartılır.
- Daha önceden hazırlanmış 200g temiz malzeme potaya yüklenir.
- Pota olabildiğince kısa sürede fırına tekrar konur.
- 20 dakika ilk şarjın ergimesi için beklenir.
- Pota çıkartılarak daha önce şarj edilmiş ve yarı ergiyik hale gelmiş olan 200g temiz malzeme üzerine 100g kirli malzeme eklenir.

- Pota tekrar fırına konularak toplam şarjın ergimesi için 30 dakika beklenir.
- Bu bekleme aşamasında, kullanılacak flaks daha önceden belirlenmiş olan oranlara göre hazırlanır ve tane küçültmek amacı ile bir ezme çubuğu yardımı ile dövülür.
- Toplam ergitme süresi bitiminde ergiyik malzeme fırından çıkartılarak flaks ilavesi yapılır.
- Flaks ilave edildikten sonra karıştırma çubuğu kullanılarak eriyik iyice karıştırılır ve flaksın ergiyik malzeme ile yeterince temas etmesi sağlanır. Flaks ekleme ve karıştırma işlemi sırasında fırın kapağı kapalı tutularak fırın sıcaklığının düşmesi engellenir.
- Pota tekrar fırına konulur.
- Flaks eklenmiş olan eriyik, gerekli reaksiyonların tamamlanması için 5 dakika süre ile fırında bekletilir.
- Bu süre sonunda fırından çıkarılan eriyik, karıştırma çubuğu ile karıştırılarak cüruf tabakasından ayrılmış fakat yüzeyde kalmış olan malzeme topakcıkları eriyiğe karıştırılır.
- Cüruf alınabilecek duruma gelince kaşık yardımı ile eriyik malzeme yüzeyinden dikkatlice alınır. Alınan cüruf, daha sonra tartımı yapılmak üzere bir metal kap içerisinde biriktirilir.
- Cüruf alma işlemi sırasında cürufun yanısıra eriyik malzemenin de alınmamasına dikkat edilir. Cüruf alma işlemi sırasında fırın kapağı kapalı tutularak fırın sıcaklığının düşmesi engellenir.
- Pota, cüruf alma işleminin tamamlanmasından sonra tekrar fırına konulur.
- Cürufu alınmış malzeme kaybettiği sıcaklığı geri kazanması için 10 dakika süre ile fırında bekletilir.
- Bu süre sonunda pota fırından çıkarılarak eriyik malzeme metal kalıba dökülür.
- Döküm sırasında pota tam olarak başaşağı çevrilmez, böylelikle pota içinde kalabilecek artıklarında eriyik ile birlikte kalıba gitmesi engellenir.

- Pota cidarlarında kalan malzeme, karıştırma çubuğu kullanılarak pota dibinde biriktirilir.
- Pota dibinde biriken artıklar, daha önce alınan cürufun biriktirildiği kap içerisine pota ters çevrilerek düşürülür. Tüm bu işlemler sırasında fırın kapağı kapalı tutularak fırın sıcaklığının düşmesi engellenir.
- Daha önceden hazırlanmış olan bir sonraki deneyin temiz şarj malzemesi potaya yüklenerek fırına konulur.
- Cüruf kabı içerisinde bulunabilen metal parçacıklar, dökülen metal ile birlikte tartılmak üzere ayıklanır.
- Dökülen malzeme yeterince soğuduğu zaman, cüruf içerisinden ayıklanan metal parçacıkları da ilave edilerek tartılır ve sonuç kaydedilir.
- Cüruf miktarı tartılarak sonuç kaydedilir.
- Döküm parçası üzerine daha sonra ortaya çıkabilecek karışıklıkları önlemek ve gerektiğinde hangi deneye ait olduğunu anlamak üzere deney numarası yazılır.
- Daha sonra ortaya çıkabilecek karışıklıkları önlemek ve gerektiğinde hangi deneye ait olduğunu anlamak üzere, her deney sonunda alınan cüruf ve cüruf içerisinden ayıklanan metal parçaları birbirlerine karışmayacak şekilde bir zarf içerisine konulur ve zarf üzerine deney numarası yazılır.

10.2 Deneylerde Kullanılan Flaks Bileşimleri

Deneylerde toplam 6 grup flaks kullanılmıştır. Bu altı grup flaks hazırlanırken 6 farklı bileşenden yararlanılmış ancak, flaks grubuna bağlı olarak bu 6 bileşenden 3, 4, 5 veya 6 tanesi bir arada kullanılmıştır. Gruplarda kullanılan flakslar ve bileşim oranları Çizelge 10.1’de belirtilmiştir.

Çizelge 10.1 Deneylerde kullanılan flaks bileşimleri.

Deney Grubu	Deney Numarası	Flaks Bileşimi (%)					
		KCl	MgCl ₂	KF	C ₂ Cl ₆	MgF ₂	SiF
Ref	1	-	-	-	-	-	-
1	1	85	-	13	2	-	-
	2	83	-	13	4	-	-
	3	81	-	13	6	-	-
	4	79	-	13	8	-	-
	5	77	-	13	10	-	-
	6	75	-	13	12	-	-
2	1	63	25	10	2	-	-
	2	61	25	10	4	-	-
	3	59	25	10	6	-	-
	4	57	25	10	8	-	-
	5	55	25	10	10	-	-
	6	53	25	10	12	-	-
3	1	56	30	12	2	-	-
	2	54	30	12	4	-	-
	3	52	30	12	6	-	-
	4	50	30	12	8	-	-
	5	48	30	12	10	-	-
	6	46	30	12	12	-	-
4	1	45	45	10	-	-	-
	2	41	41	10	8	-	-
	3	45	35	10	10	-	-
	4	45	45	-	-	10	-
	5	55	25	5	10	5	-
5	1	72	-	8	15	5	-
	2	67	5	8	15	5	-
	3	75	-	8	12	-	5
	4	-	75	8	12	-	5
	5	-	72	8	15	5	-
	6	57	10	6	20	-	7
	7	72	-	-	20	-	8
	8	60	15	5	15	5	-
6	1	Piyasa					

11. DENEYSEL SONUÇLAR ve TARTIŞMA

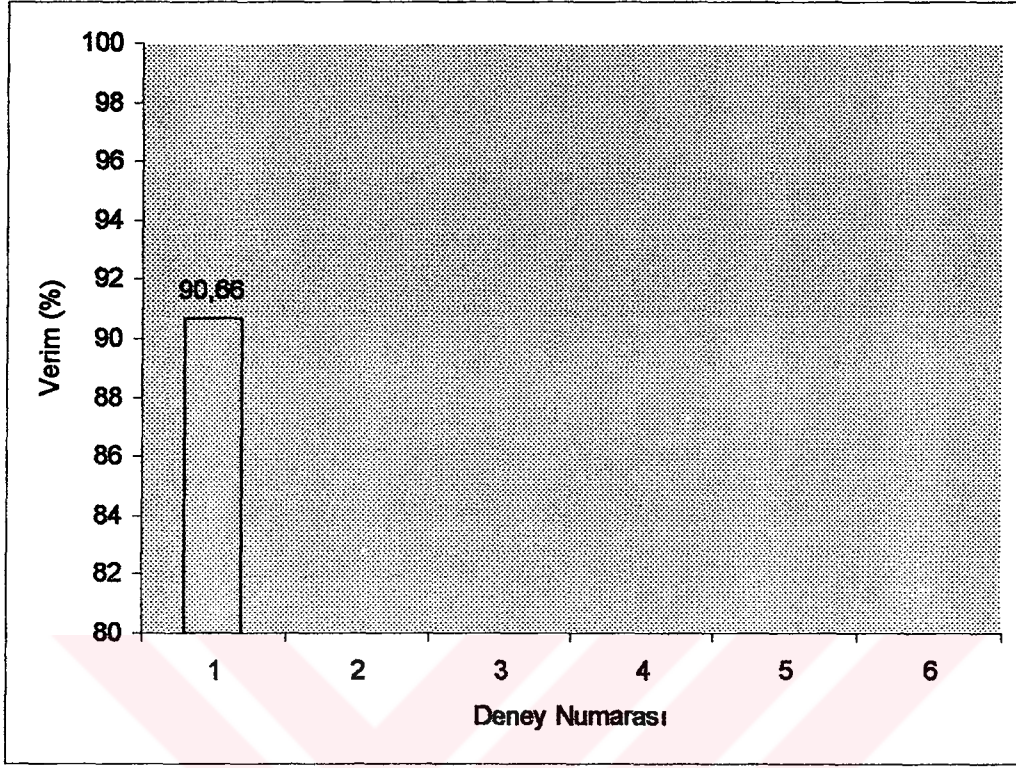
Deneyler sonucunda elde edilen verilerden yola çıkarak her deney için verim hesaplanmıştır. Yapılan deneylerin sonucunda elde edilen veriler Çizelge 11.1’de toplu halde görülmektedir.

Çizelge 11.1 Deneyisel sonuçlar.

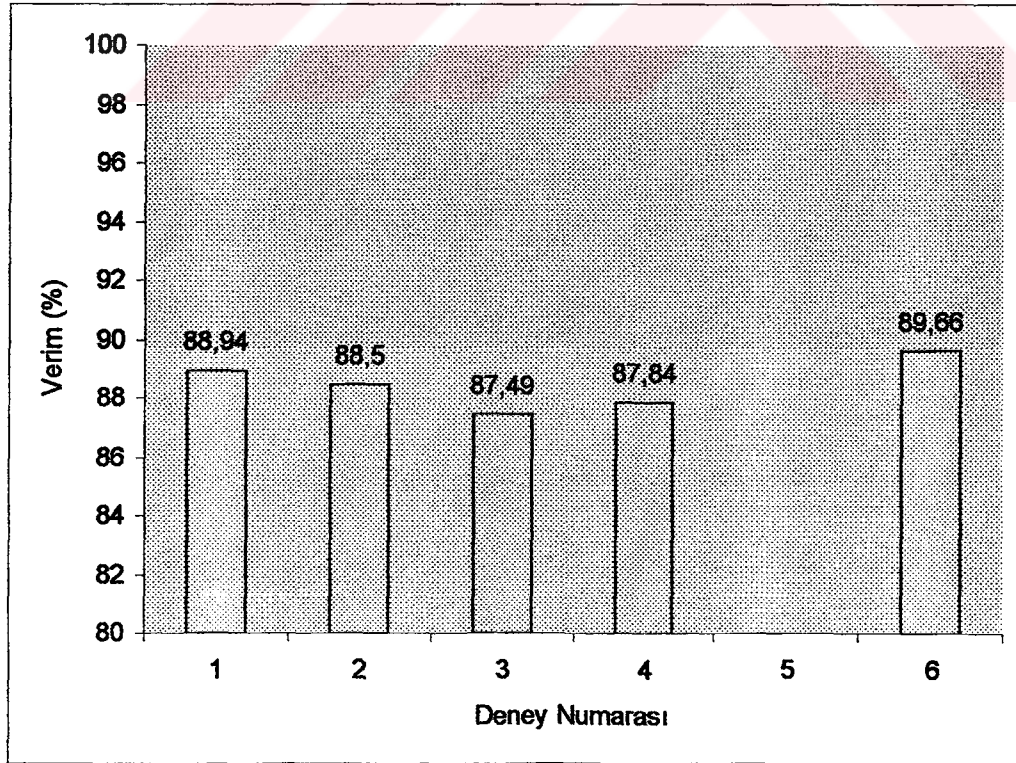
Deney Grubu	Deney No	Temiz Malzeme (g)	Kirli Malzeme (g)	Toplam Şarj (g)	Metal (g)	Cüruf (g)	Verim (%)
Ref.	1	200.04	100.15	300.19	272.16	27.8	90.66
1	1	200.03	99.83	299.86	266.7	39.48	88.94
	2	200.12	100.41	300.53	265.98	41.53	88.50
	3	200.15	100.60	300.75	263.12	45.82	87.49
	4	199.91	100.37	300.28	263.77	45.35	87.84
	5						
	6	199.86	100.17	300.03	269.02	37.63	89.66
2	1	200.04	100.14	300.18	280.51	26.02	93.45
	2						
	3	200.26	100.12	300.38	280.83	25.64	93.49
	4	200.07	99.90	299.97	283.73	20.68	94.57
	5	200.35	99.98	300.33	285.55	21.04	95.08
	6	200.51	100.04	300.55	282.51	23.83	94.00
3	1	200.39	99.88	300.27	280.46	26.08	93.40
	2	200.13	100.30	300.43	281.40	24.61	93.67
	3						
	4						
	5						
	6	200.03	99.91	299.94	279.37	26.68	93.14
4	1	200.38	99.78	300.16	280.56	23.66	93.47
	2	200.04	100.20	300.24	281.24	25.86	93.67
	3	199.85	99.94	299.79	280.46	25.65	93.55
	4	199.79	99.99	299.78	284.06	21.71	94.76
	5	200.23	100.23	300.46	280.18	25.46	93.25
5	1	199.99	100.78	300.77	276.09	28.12	91.79
	2	200.02	99.92	299.94	276.40	28.14	92.15
	3	199.76	100.06	299.82	273.07	31.86	91.08
	4	200.10					
	5	200.19	99.73	299.92	263.28	17.78	87.78
	6	200.01	100.04	300.05	282.88	18.75	94.28
	7	200.04	100.05	300.09	279.48	25.20	93.13
	8	199.61	100.48	300.09	285.61	16.84	95.17
6	1	200.24	99.43	299.67	285.07	18.75	95.13

Çizelge 11.1’de verilmiş olan deney sonuçlarının şematik gösterimleri aşağıdaki Şekil 11.1, Şekil 11.2, Şekil11.3, Şekil11.4, Şekil 11.5, Şekil 11.6 ve Şekil 11.7’de verilmiştir. Grafiklerde x ekseni deney numarası, y ekseni ise % verim değerlerini göstermektedir. Şekillerden de anlaşılacağı üzere genel olarak C_2Cl_6 oranı arttıkça ergitme verimi de artmaktadır. C_2Cl_6 , ekso termik bileşen olup flaks ilavesi sırasında ortamdaki sıcaklığı kısa bir

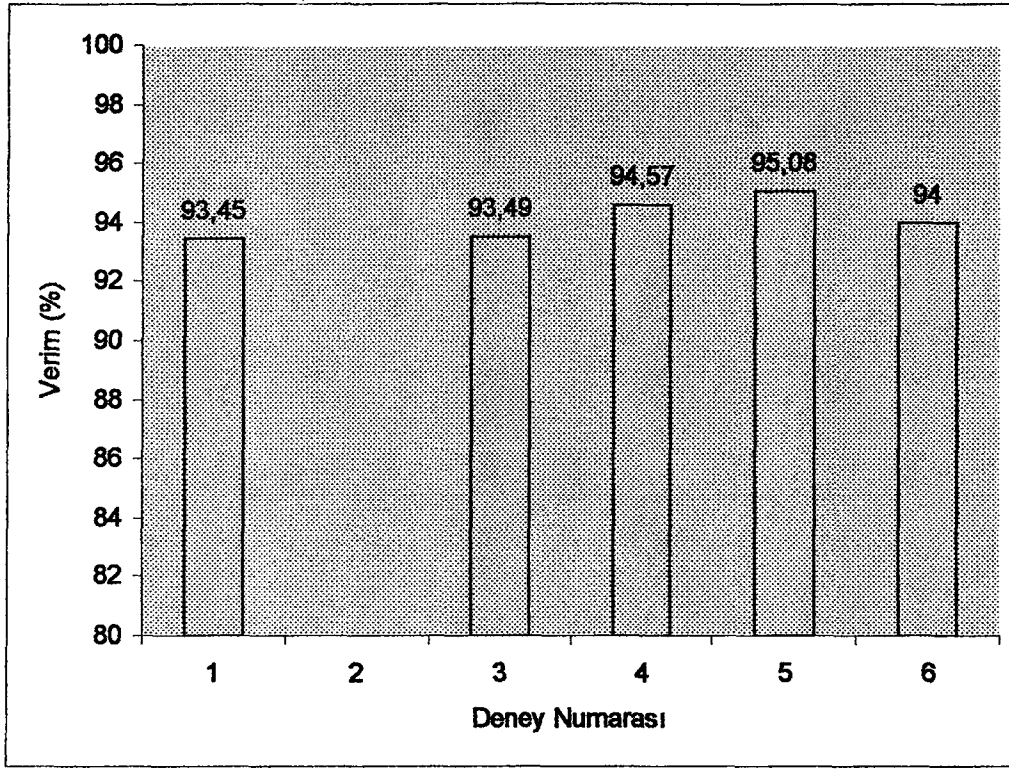
bir süre de olsa artırmakta ve cüruf içerisinde hapis olmuş olan metalin akışkanlığını artırarak, altta bulunan ana metale doğru süzülmesini sağlamaktadır.



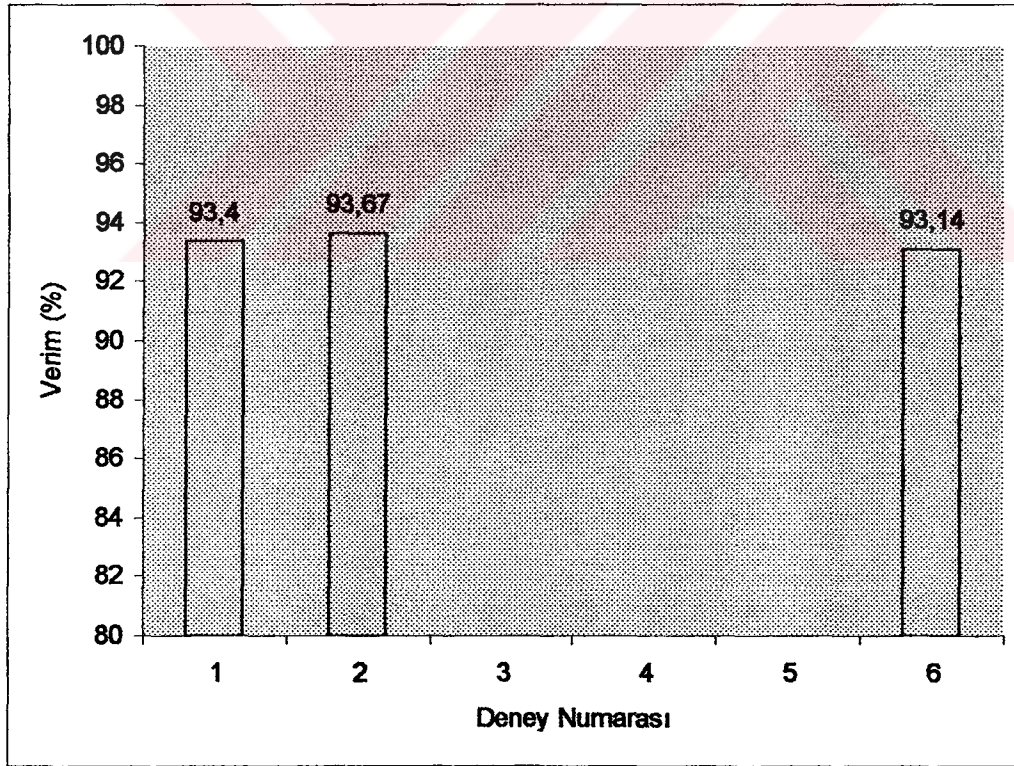
Şekil 11.1 Referans ergitme verimi.



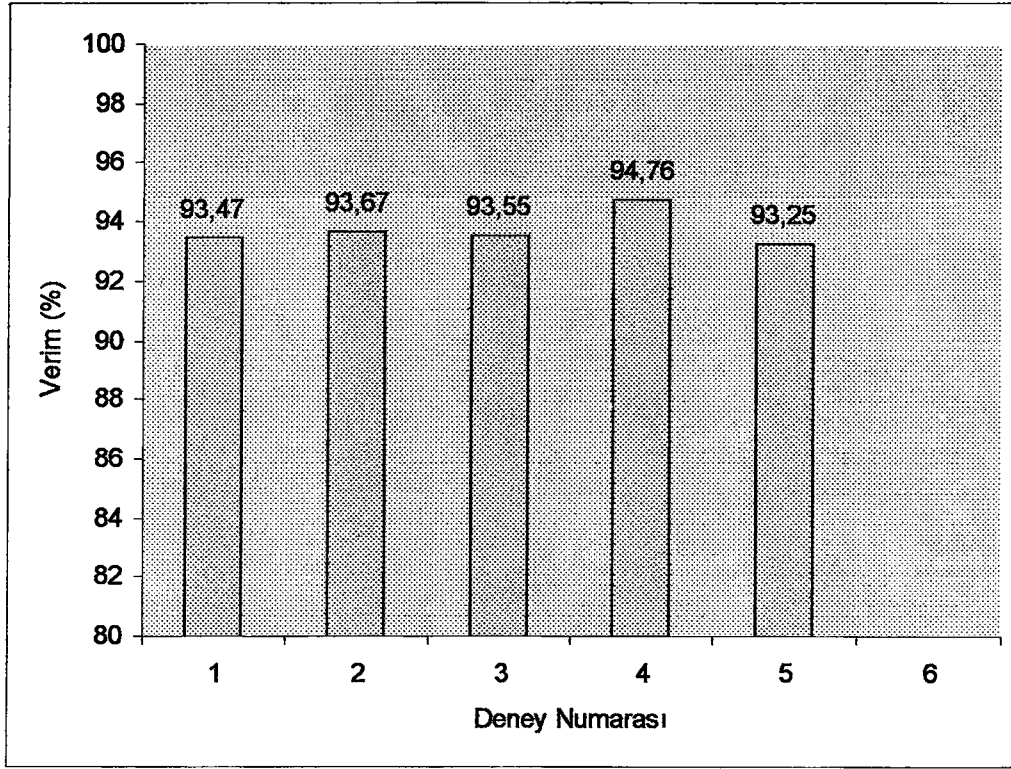
Şekil 11.2 1nci grup flakslarda verim değişimi.



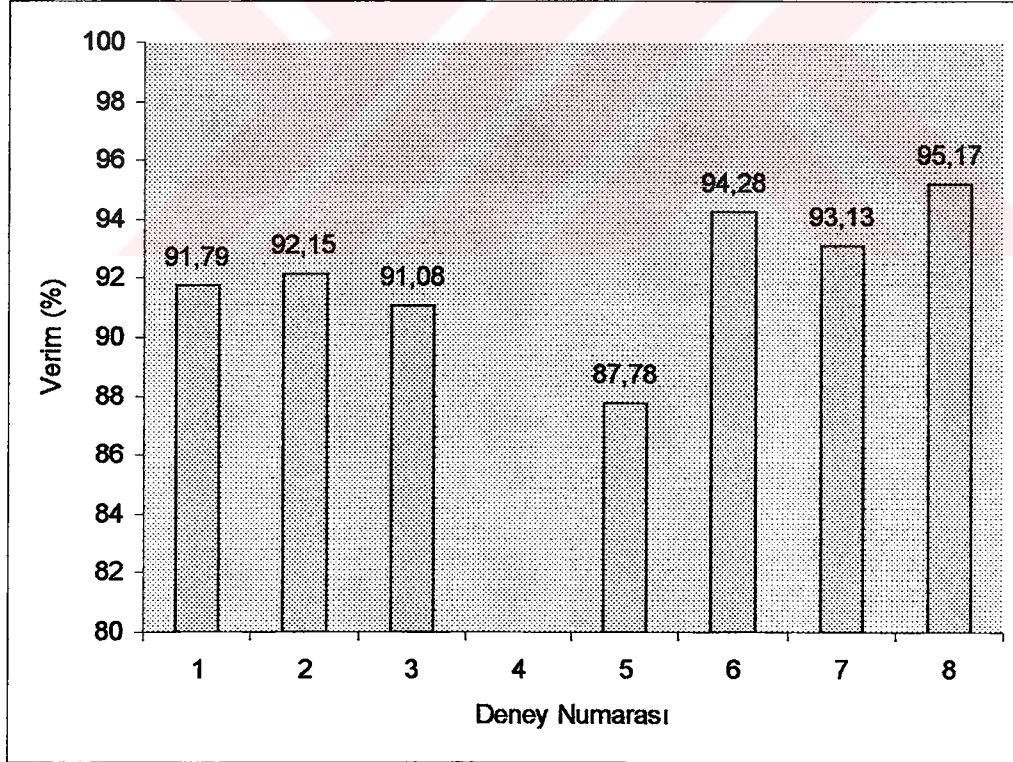
Şekil 11.3 2nci grup flakslarda verim değişimi.



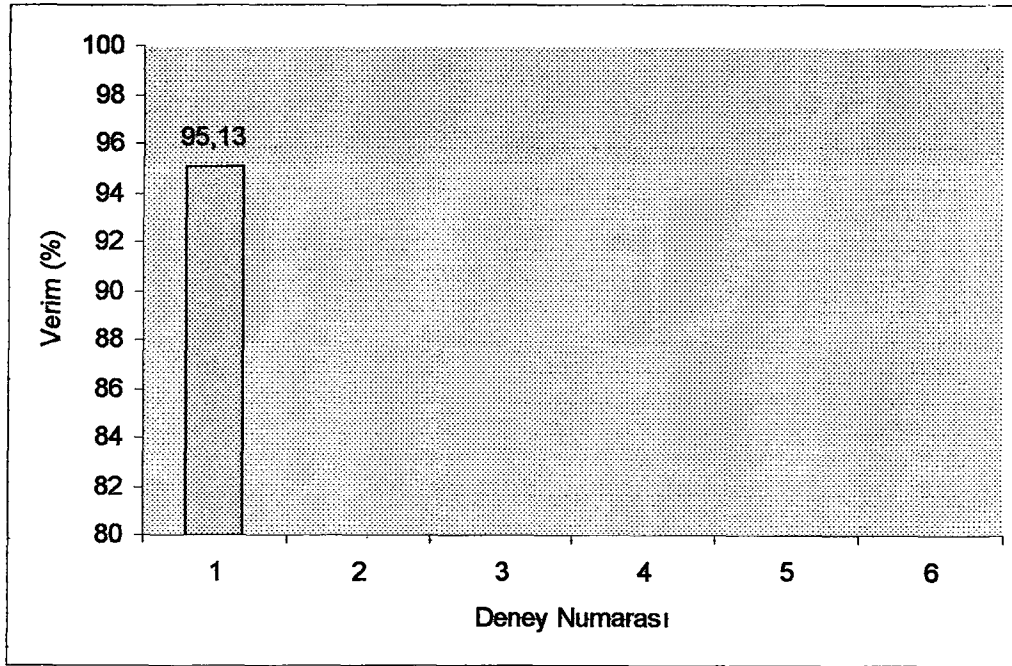
Şekil 11.4 3ncü grup flakslarda verim değişimi.



Şekil 11.5 4ncü grup flakslarda verim değişimi.



Şekil 11.6 5nci grup flakslarda verim değişimi.



Şekil 11.7 6ncı grup flaksta verim değişimi.

11.1 Ekonomik Değer Analizi

Uygun flaks seçiminde ana faktörler elde edilen metalin saflığı ve toplam ekonomik değerdir. Her bir flaksın etkinliği ve seçimi, aşağıda formülü verilen toplam ekonomik değer (TED) faktörü göz önüne alınarak belirlenmelidir.

$$TED = (A_m \cdot F_m) + (A_c \cdot F_c) - (A_f \cdot F_f) \quad (11.1)$$

Uygulamalarda en yüksek fark, flaksın eksotermik bileşeninin % 6-8 arasında olduğu durumlarda elde edildiği gözlenmiştir. İçerisinde % 8'den daha fazla eksotermik bileşen içeren flaksın, cürufta bulunan küçük metal parçacıklarının oksitlenmesine sebebiyet vermesi ihtimali vardır. Bu nedenle eksotermik bileşen oranı % 8 ile sınırlandırılmıştır.

Maliyet analizi 3000ton/ay hurda girdisi olan bir işletme için yapılmıştır. Bu değerden yola çıkarak işletmenin yıllık hurda girdisi 36000ton/yıl olarak kabul edilmiştir. Yarı mamül metal fiyatı 1600\$/ton, cüruf fiyatı ise 500\$/ton alınmıştır. Toplam fiyatlar dikkate alınan flaks harcamaları ise, işletmenin, teorik olarak hesaplanan 36000ton/yıl hurda girdisi için 5ton/yıl flaks gereksinimi olduğu ve flaks birim fiyatının da 500\$/ton olduğu varsayılmıştır.

Hesaplamalarda kullanılan birim fiyatlar:

<u>Malzeme</u>	<u>Birim Fiyatı</u>
Al döküm	: 1600\$/t
Cüruf	: 500\$/t
Flaks	: 500\$/t

Bu birim fiyatlara göre yukarıda belirtilen miktarlarda üretim yapan bir tesisin maliyet analizi değerleri Çizelge 11.2’de gösterilmektedir. Çizelgede işletmenin değişik flaks uygulamaları ile elde ettiği yıllık toplam geliri, bu gelirin flaks kullanılmaması durumunda elde edeceği gelir ile farkı ve verim (%) değişimi hesaplamalarının da sonuçları görülmektedir.

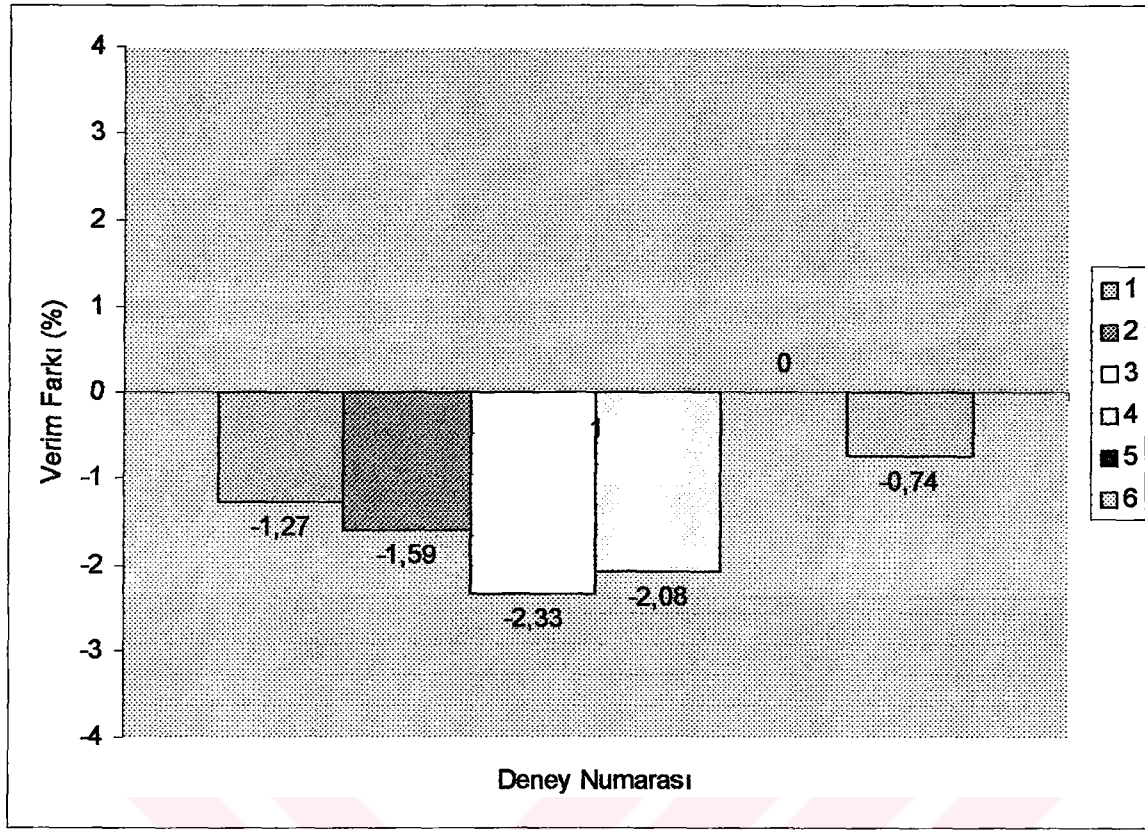


Çizelge 11.2 Bir alüminyum işletmesinde maliyet analizi.

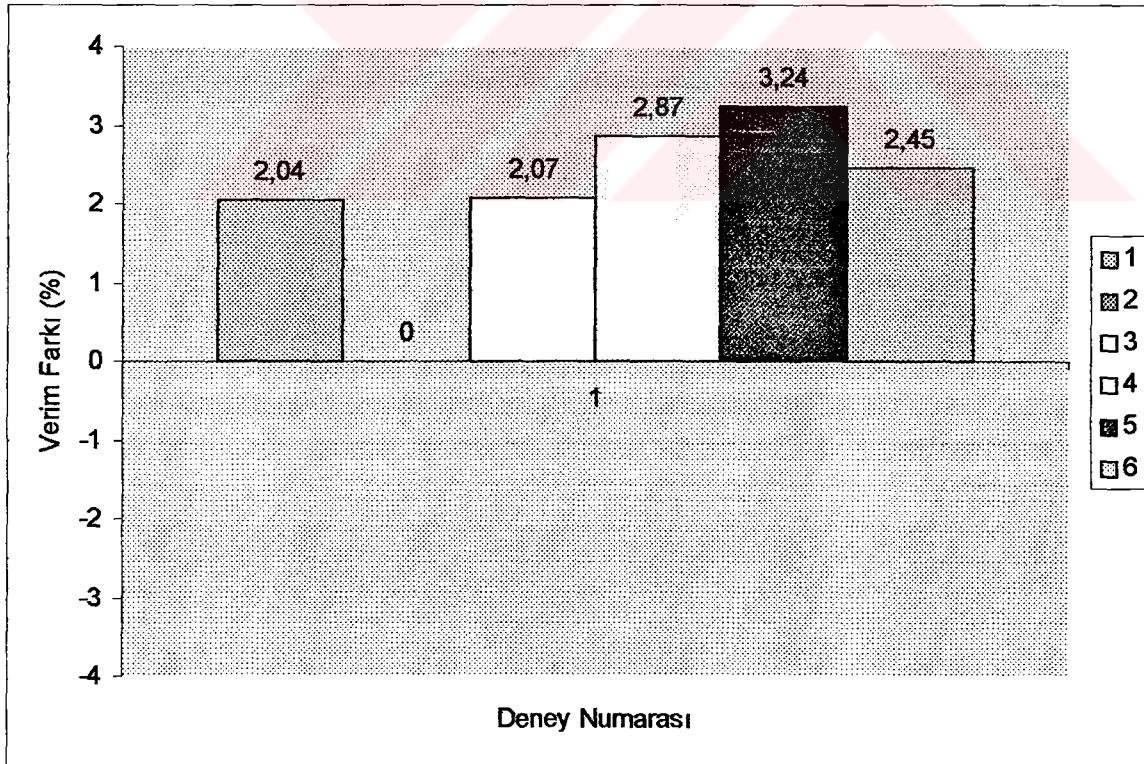
Flaks grubu	Flaks No.	Yıllık giren hurda miktarı (t)	Yıllık üretilen Al miktarı (t)	Yıllık üretilen cüruf miktarı (t)	Al bedeli (\$)	Cüruf bedeli (\$)	Flaks maliyeti (\$)	Yıllık toplam gelir (\$)	Referans ile fark	Referans ile verim farkı (%)
R	-	36000	32637,6	3362,4	52220160	1681200	-	53901360		
1	1	36000	32018,4	3981,6	51229440	1990800	-3000	53217240	-684120	-1,27
	2	36000	31860	4140	50976000	2070000	-3000	53043000	-858360	-1,59
	3	36000	31496,4	4503,6	50394240	2251800	-3000	52643040	-1258320	-2,33
	4	36000	31622,4	4377,6	50595840	2188800	-3000	52781640	-1119720	-2,08
	5	36000								
	6	36000	32277,6	3722,4	51644160	1861200	-3000	53502360	-399000	-0,74
2	1	36000	33642	2358	53827200	1179000	-3000	55003200	1101840	2,04
	2	36000								
	3	36000	33656,4	2343,6	53850240	1171800	-3000	55019040	1117680	2,07
	4	36000	34045,2	1954,8	54472320	977400	-3000	55446720	1545360	2,87
	5	36000	34228,8	1771,2	54766080	885600	-3000	55648680	1747320	3,24
	6	36000	33840	2160	54144000	1080000	-3000	55221000	1319640	2,45
3	1	36000	33624	2376	53798400	1188000	-3000	54983400	1082040	2,01
	2	36000	33721,2	2278,8	53953920	1139400	-3000	55090320	1188960	2,21
	3	36000								
	4	36000								
	5	36000								
	6	36000	33530,4	2470	53648000	1265000	-3000	54910000	1008640	1,87
4	1	36000	33649,2	2350,8	53838720	1175400	-3000	55011120	1109760	2,06
	2	36000	33721,2	2278,8	53953920	1139400	-3000	55090320	1188960	2,21
	3	36000	33678	2322	53884800	1161000	-3000	55042800	1141440	2,12
	4	36000	34113,6	1886,4	54581760	943200	-3000	55521960	1620600	3,01
	5	36000	33570	2430	53712000	1215000	-3000	54924000	1022640	1,9
5	1	36000	33044,4	2955,6	52871040	1477800	-3000	54345840	444480	0,82
	2	36000	33174	2826	53078400	1413000	-3000	54488400	587040	1,09
	3	36000	32788,8	3211,2	52462080	1605600	-3000	54064680	163320	0,3
	4	36000								
	5	36000	31600,8	4399,2	50561280	2199600	-3000	52757880	-1143480	-2,12
	6	36000	33940,8	2059,2	54305280	1029600	-3000	55331880	1430520	2,65
	7	36000	33526,8	2473,2	53642880	1236600	-3000	54876480	975120	1,81
	8	36000	34261,2	1738,8	54817920	869400	-3000	55684320	1782960	3,31
6	1	36000	34246,8	1753,2	54794880	876600	-3000	55668480	1767120	3,28

Uygun flaks seçim kriteri olarak en yüksek gelir getiren ve en düşük cüruf çıkartan flaks ideal flaks olarak ifade edilebilir.

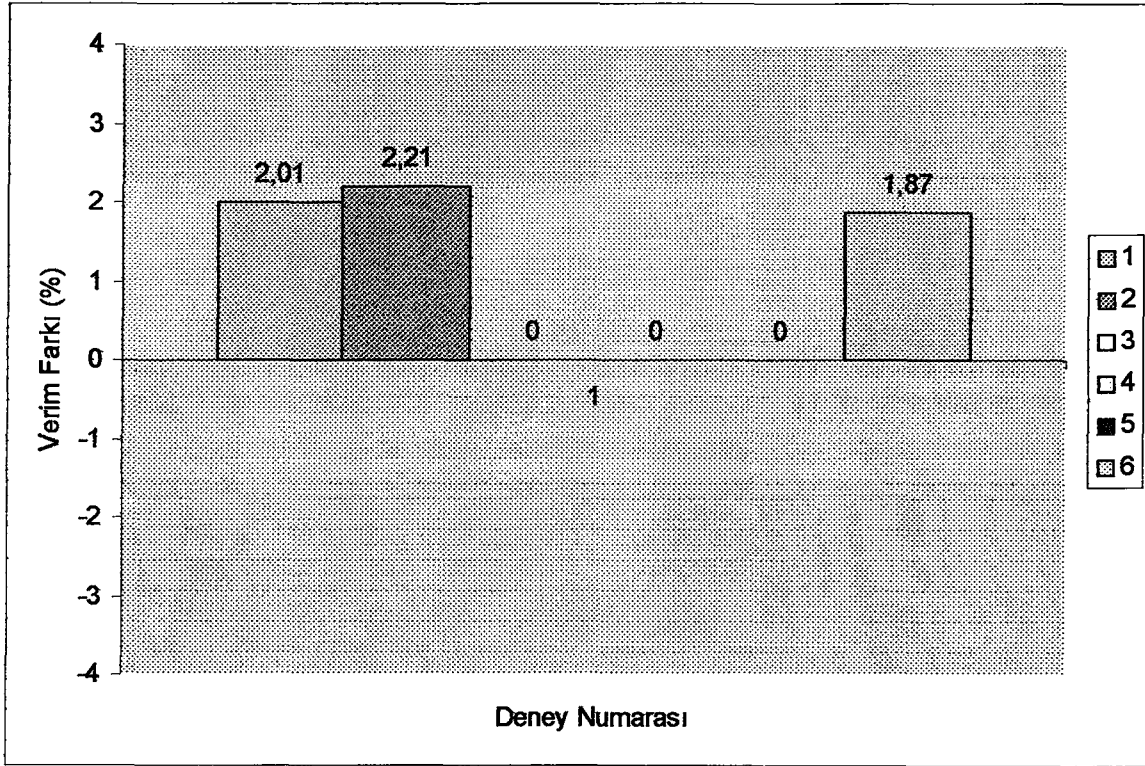
Yukarıdaki çizelgede verilmiş olan sonuçların şematik gösterimleri aşağıdaki grafiklerde verilmiştir. Grafiklerde x eksenini deney numarası, y eksenini ise % verim farkı değerlerini göstermektedir.



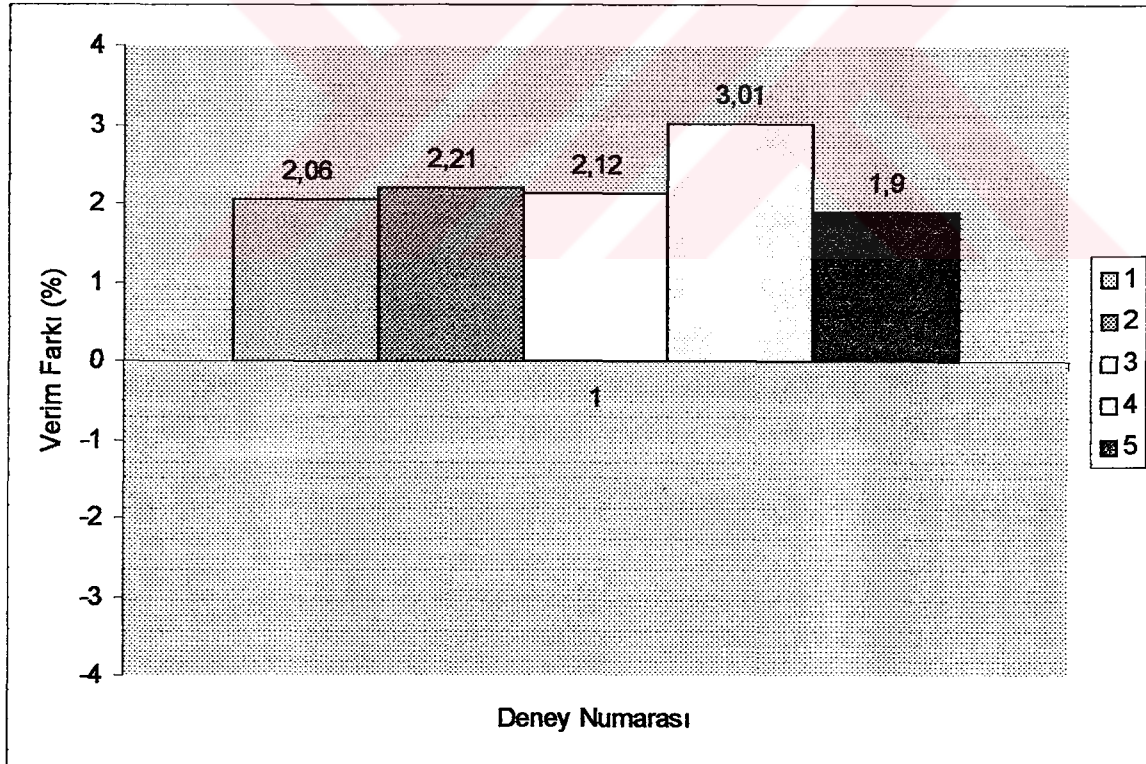
Şekil 11.8 1nci grup flakslarda, referans ile % verim farkı.



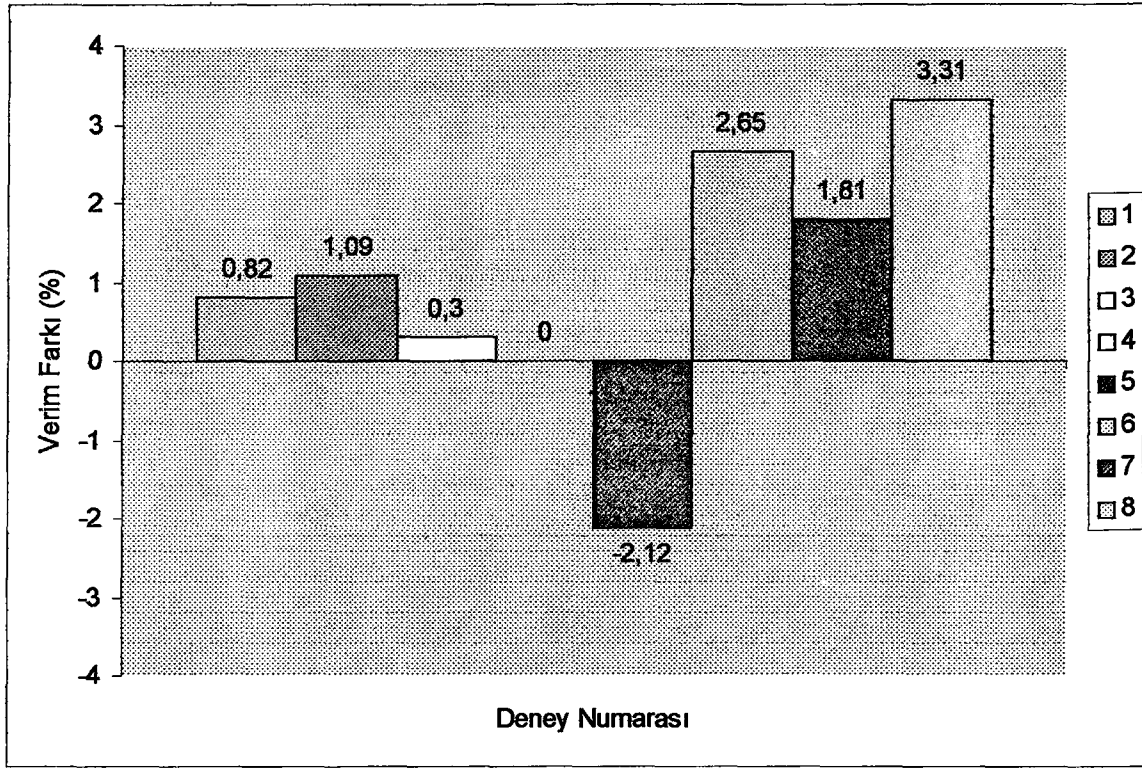
Şekil 11.9 2nci grup flakslarda referans ile % verim farkı.



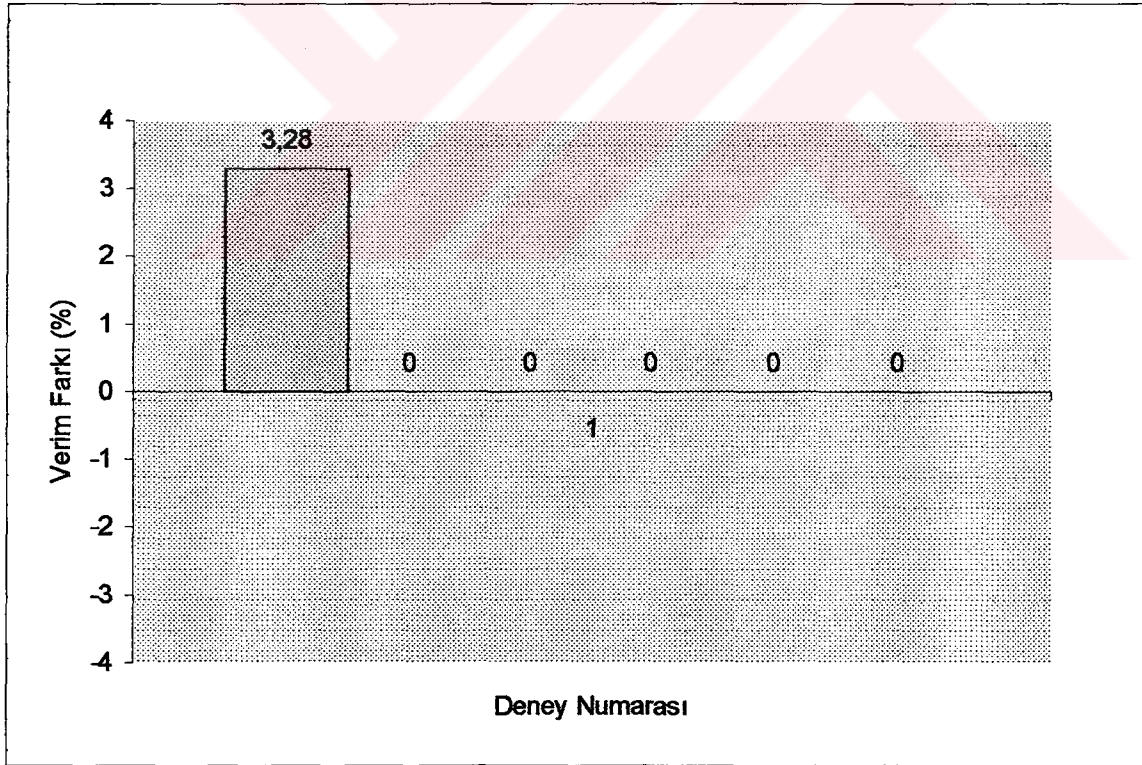
Şekil 11.10 3ncü grup flakslarda referans ile % verim farkı.



Şekil 11.11 4ncü grup flakslarda referans ile % verim farkı.



Şekil 11.12 5nci grup flakslarda referans ile % verim farkı.



Şekil 11.13 6ncı grup flaksta referans ile % verim farkı.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar belirli bir tip şarj için geçerlidir. Endüstriyel uygulamalarda her dökümhane, kendi operasyonları için en uygun flaks seçimini bu çalışmada sunulan

yöntemleri izleyerek tespit etmelidir. İlave olarak dökümhanelerde metal kaybı, cüruf miktarı ve cüruf içerisindeki geri kazanılabilir metal miktarı düzenli olarak kontrol edilmelidir.

Metal geri kazanım oranının, flaksın içerdiği esotermik bileşenin oranı ile orantılı olduğu anlaşılmıştır. Sonuçlar, her tip hurda için, flaksın içerdiği eksotermik bileşenin oranının artması ile metal geri kazanım oranının arttığını göstermektedir. Metal geri kazanımının, eksotermik bileşen oranının %6 ila %8 olduğu durumda en fazla olduğu gözlenmiştir. Cüruftaki metalik alüminyumun oksitlenmesi tehlikesi karşısında, flakstaki eksotermik bileşen oranı %8 ile sınırlandırılmıştır. En yüksek metal geri kazanım oranı ve en düşük cüruf oranı, flaks bileşiminin seçilmesinde ve/veya oranının belirlenmesinde ana hedef olarak belirlenmelidir. Bununla birlikte, TED eldesi, ekonomik bakış açısından, flaks seçiminde en basit ve en güvenilir değerdir.



KAYNAKLAR

Onaran, K., (1995), Malzeme Bilimi, Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul.

ASM Handbook Committee, ASM Handbook, 9th Edition, Volume 15, ASM International.

Heine, R. W., Loper, C. R. ve Rosenthal, P. C., Principles of Metal Casting, 2nd Edition, Tata McGraw-Hill Publishing Company Ltd., New Delhi.

Şen C., “Al-Si Döküm Alaşımlarının Sodyum ve Stronsiyum’la Modifikasyonu”, Metalurji, (80): 13, 14, 15, 16, 17.

Helvacıoğlu, İ., “Sıvı Alüminyumun Rafinasyonu”, Metalurji, (92): 68, 69, 70, 71, 72, 73.

CB Metal, Eğitim Notları, CB Metal Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi, Ankara.

İMS, Dökümhane El Kitabı, İstanbul Metal Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi, İstanbul.

Vasudevan, A. K. ve Doherty, R.D., Aluminum Alloys – Contemporary Research and Applications, Volume 31, Academic Press Inc., Boston, San Diego, New York, Berkeley, London, Sydney, Tokyo, Toronto.

Ünlü, N., Gürmen, S., Altımoğlu, A. ve Eruslu, N., “Alüminyum Hurdaların Geri Kazanılması”, Metalurji, (92): 74, 75, 76, 77, 78.

Heat Treating Aluminum Alloys (1954), Reynolds Metals Company, Louisville.

Çakmak, H. F., (1984), “Eritilmiş Alüminyumun Özelliklerinin İyileştirilmesi ve Nitelik Denetimi”, II. Ulusal Alüminyum Sanayi Kongresi, 11-13 Ekim 1984, Seydişehir/Konya.

Fiğlalı, A., (1985), Etibank Seydişehir Alüminyum İşletmeleri Dökümhanesinin Malzeme ve Enerji Optimizasyonu Açısından İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ocak 1985, İstanbul.

Yollu, E., (1985), Alüminyum – Grafit Kompozit Malzemelerinin Santrifüj Dökümü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Haziran 1985, İstanbul.

Flores, A., Escobedo, J., Mendez, J. ve Mendez, M., (1992), “Kinetic Mechanisms of Iron Segregation From Al – Si – Cu – Fe – Mn Melts”, Proceedings of The TMS Annual Light Metals Meeting, 1-5 March 1992, San Diego.

Taş, M., (1996), Alüminyum-Silisyum Piston Alaşımlarına Silisyumun Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Haziran 1996, İstanbul.

Dündar, S., Yılmaz, F., “İnklüzyonların Alüminyum Alaşımlarının Mekanik Özelliklerine Etkisi”, II. Ulusal Alüminyum Sanayi Kongresi, 10-12 Ekim 1984, Seydişehir/Konya.

Helvacıoğlu, İ., “Alüminyum Curufu ve Önemi”, Metalurji, (80): 18, 19.

Topbaş, M. A., (1993), Endüstri Malzemeleri, Prestij Basın ve Yayın Hizmetleri, Yıldız/İstanbul.

Weissavach, W., (1993), Malzeme Bilgisi ve Muayenesi (Çev., S. Anık, E. S. Anık ve M. Vural), Birsen Yayınevi, Gayrettepe/İstanbul.

Malhatun, İ., Alüminyum Ergitme Kayıpları, Bitirme Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Kimya-Metalurji Fakültesi Metalurji Mühendisliği Bölümü, Haziran 1998, İstanbul.

Çiğdem, M., Küçükkaragöz, S., (1999), “Effect of Fluxes on Metal Recovery in Secondary Aluminium Melting”, Annual Technical Meeting, Indian Institute of Metals, 15-16 November, Kanpur/India.

Çiğdem, M., Sarıdede, N., Küçükkaragöz, S., “The Comparison of Salt Flux Melting and Arc Melting Processes Employed in The Recycling of UBC Aluminium”, Annual Technical Meeting, Indian Institute of Metals, 15-16 November, Kanpur/India.



ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi	01.09.1974	
Doğum Yeri	Ankara	
Lise	1988-1991	Mustafa Kemal Lisesi
Lisans	1992-1996	Yıldız Teknik Üniversitesi Kimya Metalurji Fakültesi Metalurji Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	1997-2000	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji Mühendisliği Anabilim Dalı Malzeme Programı

Çalıştığı kurum

1997-Devam ediyor Mega Danışmanlık Temsilcilik Dış Tic. Ltd. Şti.