

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HURDA ALÜMİNYUM SAFSIZLIKLARININ HURDA
HAZIRLAMA VE İZABE İŞLEMLERİ İLE GİDERİLMESİ
YOLLARININ ARAŞTIRILMASI**

Metalurji ve Malzeme Mühendisi Mustafa KOÇAK

FBE Enstitüsü Metalürji Ve Malzeme Mühendisliği Üretim Anabilim Dalı Programında Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Zeki ÇİZMECİOĞLU

İSTANBUL, 2009

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HURDA ALÜMİNYUM SAFSIZLIKLARININ HURDA
HAZIRLAMA VE İZABE İŞLEMLERİ İLE GİDERİLMESİ
YOLLARININ ARAŞTIRILMASI**

Metalurji ve Malzeme Mühendisi Mustafa KOÇAK

FBE Enstitüsü Metalürji Ve Malzeme Mühendisliği Üretim Anabilim Dalı Programında Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Zeki ÇİZMECİOĞLU

İSTANBUL, 2009

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTMA LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	viii
ÖNSÖZ	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
1. GİRİŞ	1
2. ALÜMİNYUM METALİ VE ENDÜSTRİSİ	3
2.1 Alüminyum Metali ve Kullanım Alanları	3
2.2 Alüminyum Üretimi	5
2.3 Alüminyum Sektörü	6
3. ALÜMİNYUM GERİ DÖNÜŞÜMÜ	9
3.1 Ergitme Öncesi Hurda Hazırlama İşlemleri	9
3.1.1 Hurdaları Ayırma ve Gruplama	9
3.1.2 Parçalama ve Presleme İşlemleri	10
3.1.3 Ön Isıtma İşlemi	11
3.2 Ergitme İşlemi	12
3.3 Flaks Uygulaması	14
3.3.1 Örtü Flaksları	15
3.3.2 Temizleme Flaksları	15
3.3.3 Gaz Giderici Flakslar	15
3.3.4 Dross Giderme Flaksları	15
3.4 Ergiyik Metal Rafinasyonu	16
3.5 Gaz Giderme	17
4. ALÜMİNYUM GERİ DÖNÜŞÜM TESİSİ FİZİBİLİTESİ	19
5. ALÜMİNYUM GERİ DÖNÜŞÜM PROSESİ PARAMETRELERİ	23
5.1 Ergiyik Alüminyum Fiziksel ve Kimyasal Karakteristiği	23
5.2 Alüminyum Oksidasyonu	24
5.2.1 Yüksek Sıcaklıklarda Alüminyum Oksidasyonu	24
5.3 Flaks Uygulaması	28
5.4 Flaks-Oksit-Metal Etkileşimi	32

5.4.1	Flaks Bileşiminin Metal-Flaks Arayüzey Gerilimi Üzerine Etkisi.....	33
5.4.2	Flaks Bileşiminin Akışkanlığa Etkisi	34
5.4.3	Flaks-Oksit Etkileşimi	36
5.4.4	Flaks Bileşiminin Geri Dönüşüm Verimi Üzerindeki Etkisi.....	38
6.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	41
6.1	Kullanılan Malzemeler	41
6.1.1	Meşrubat Kutuları (UBC).....	41
6.1.2	İşlem Hurdaları	42
6.1.3	Flaks Kimyasalları	42
6.2	Kullanılan Cihazlar.....	42
6.2.1	Numune Pres Kalıbı.....	42
6.2.2	Hidrolik Pres Makinesi	43
6.2.3	Elektrik Dirençli Fırın.....	43
6.2.4	İndüksiyon Ocağı.....	44
6.2.5	Döküm Potası	44
6.2.6	Döküm Kalıpları	44
6.2.7	Nervürlü Demir Çubuk Karıştırıcı.....	45
6.2.8	Hassas Terazî	45
6.2.9	Çekme Test Cihazı.....	45
6.2.10	Mikroskop Analizi	45
6.2.11	Kimyasal Analiz Cihazı.....	45
6.3	Deneyler.....	46
6.3.1	Meşrubat Kutuları Kesme ve Ayırma.....	46
6.3.2	Presleme.....	46
6.3.3	Ön Isıtma Deneyi.....	46
6.3.4	Ergitme İşlemi Deneyi.....	47
6.3.5	Kimyasal Analiz	49
6.3.6	Çekme Testi	49
6.3.7	Metalografik İnceleme.....	49
6.4	Deneysel Çalışma Sonuçları	50
6.4.1	Ön Isıtma Süresi ve Sıcaklığı	50
6.4.2	Ergitme İşlemi Flaks ve Havuz Uygulaması	54
6.4.3	Kimyasal Analiz Sonuçları	60
6.4.4	Çekme Testi Sonuçları.....	61
6.4.5	Metalografik Analiz Sonuçları	62
7.	DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	67
8.	GENEL DEĞERLENDİRME	70
	KAYNAKLAR.....	73
	İNTERNET KAYNAKLARI.....	75
	ÖZGEÇMİŞ.....	76

SİMGE LİSTESİ

<i>kg</i>	Kilogram
%	Yüzde
<i>kwh</i>	Kilowatt saat
°C	Santigrat Derece
<i>kA</i>	Kilo Amper
°F	Fahreheit Derece
<i>m²</i>	metre kare
γ	Alfa
r	Yarı çap
Π	Pi Sayısı
<i>cm²</i>	santimetre kare
MPa	Mega Pascal
N	Newton
<i>mm²</i>	Milimetre kare

KISALTMA LİSTESİ

USD	Amerikan Doları
UBC	Kullanılmış Meşrubat Kutusu
TL	Türk Lirası
TSE	Türk Standartları Enstitüsü

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Alüminyum üretim süreci (Alüminyum Komisyonu).....	6
Şekil 5.1 3004 alaşımı atmosferde sıcaklığa bağlı oksidasyon davranışı (Alberto vd.).....	26
Şekil 5.2 5182 alaşımı atmosferde sıcaklığa bağlı oksidasyon davranışı (Alberto vd.).....	27
Şekil 5.3 Gövde ve kapak alaşımları karşılaştırmalı oksidasyon grafiği (Alberto vd.).....	27
Şekil 5.4 3004 Alaşımının farklı ortamlardaki oksidasyon davranışı (Alberto vd.).....	28
Şekil 5.5 NaCl-KCl Faz Diyagramı (The American Ceramic Society)	30
Şekil 5.6 NaCl-KCl-NaF üçlü faz diyagramı (Alberto vd.)	31
Şekil 5.7 NaCl-KCl-CaF ₂ üçlü faz diyagramı (Alberto vd.).....	31
Şekil 5.8 Na ₃ AlF ₆ -CaF ₂ -Al ₂ O ₃ Faz Diyagramı (Alberto vd.).....	32
Şekil 5.9 Metal-Oksit-Ergiyik Flaks Etkileşimi (Alberto vd., Tenario vd., 2002).....	33
Şekil 5.10 Eşit Molar NaCl-KCl karışımına florür bileşikler ilavesinin arayüzey gerilimi üzerindeki etkisi (Alberto vd.).....	34
Şekil 5.11 760 °C ‘de florür bileşikler ilavesinin eşitmolar NaCl-KCl akışkanlığı üzerine etkisi (Alberto vd., Tenario vd., 2001).....	35
Şekil 5.12 810 °C ‘de florür bileşikler ilavesinin eşitmolar NaCl-KCl akışkanlığı üzerine etkisi (Alberto vd., Tenario vd., 2001).....	36
Şekil 5.13 % 2,5 oranında farklı florürlerin Al ₂ O ₃ indirgenmesi üzerindeki etkileri (Tenario vd., 2001).....	37
Şekil 5.14 % 5 oranında farklı florürlerin Al ₂ O ₃ indirgenmesi üzerindeki etkileri (Tenario vd., 2001)	37
Şekil 5.15 % 2,5 ve % 5 oranında farklı florürlerin Al ₂ O ₃ indirgenmesi üzerindeki etkileri (Tenario vd., 2001)	38
Şekil 5.16 Eşit molar NaCl-KCl flaks uygulamasının geri kazanım verimi üzerine etkisi (Tenario vd., 1994)	39
Şekil 5.17 Flaks içerisindeki KF bileşim oranının geri kazanım verimi üzerine etkisi (Tenario vd., 1997).....	39
Şekil 5.18 Flaks içerisindeki CaF ₂ bileşim oranının geri kazanım verimi üzerine etkisi (Tenario vd., 1997)	40
Şekil 5.19 Flaks içerisindeki Na ₃ AlF ₆ bileşim oranının geri kazanım verimi üzerine etkisi (Tenario vd., 1997)	40
Şekil 6.1 Kullanılmış meşrubat kutuları	42
Şekil 6.2 Numune kalıbı	43
Şekil 6.3 Hidrolik Numune Presi.....	43

Şekil 6.4 Elektrik dirençli ön ısıtma fırını	44
Şekil 6.5 İndüksiyon ergitme ocağı	44
Şekil 6.6 Numune döküm kalıpları.....	45
Şekil 6.7 Preslenmiş UBC balyaları	46
Şekil 6.8 Çekme numunesi kesiti	49
Şekil 6.9 400 °C ön ısıtma işleminde kütle değişimi.....	52
Şekil 6.10 450 °C ön ısıtma işleminde kütle değişimi.....	52
Şekil 6.11 500 °C ön ısıtma işleminde kütle değişimi.....	53
Şekil 6.12 30 dakikalık ön ısıtma işleminde kütle değişimi ve verime etkisi	53
Şekil 6.13 % Flaks miktarının geri kazanım prosesi ve ergitme işlemi verimlerine etkisi	56
Şekil 6.14 % (Florür+Karbonat) miktarının geri kazanım prosesi ve ergitme işlemi verimlerine etkisi	56
Şekil 6.15 Döküm sonrası pota iç cidarı resmi	57
Şekil 6.16 Flaks uygulaması ekonomik değerlendirme.....	58
Şekil 6.17 Havuz denemelerinin verim üzerine etkileri	59
Şekil 6.18 Flaks kullanılmadan dökülen numunenin “Keller” ile dağlama sonucu 200 büyütme altındaki mikro yapı görüntüsü	63
Şekil 6.19 % 7 flaks uygulamasında dökülen numunenin “Keller” ile dağlama sonucu 200 büyütme altındaki mikro yapı görüntüsü	63
Şekil 6.20 % 5 Florür ve karbonat içeren flaks uygulamasında elde edilen numunenin “Keller” ile dağlama sonucu 200 büyütme altındaki mikro yapı görüntüsü	64
Şekil 6.21 % 20 Florür ve karbonat içeren flaks uygulamasında elde edilen numunenin “Keller” ile dağlama sonucu 200 büyütme altındaki mikro yapı görüntüsü.....	64
Şekil 6.22 % 10 havuz uygulamasında elde edilen numunenin “Keller” ile dağlama sonucu 200 büyütme altındaki mikro yapı görüntüsü	65
Şekil 6.23 % 100 havuz uygulamasında elde edilen numunenin “Keller” ile dağlama sonucu 200 büyütme altındaki mikro yapı görüntüsü	65

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1 Dünya boksit rezervleri (GCC Aluminium Sector Report, 2007).....	7
Çizelge 2.2 Dünya alüminyum pazarı (GCC Aluminium Sector Report).....	7
Çizelge 2.3 Dünya alüminyum pazarı öngörüler (GCC Aluminium Sector Report).	8
Çizelge 4.1 Geri dönüşüm tesisi personel dağılımı	19
Çizelge 4.2 Tesis ekipman listesi	20
Çizelge 4.3 Yıllık işletme geliri.....	21
Çizelge 4.4 Yıllık işletme gider kalemleri.....	21
Çizelge 4.5 Gelir-maliyet tablosu ve karlılık.....	22
Çizelge 6.1 3004 ve 5182 Alüminyum alaşımları bileşimi (Car, Yayım:2).....	41
Çizelge 6.2 İşlem hurdası kimyasal bileşimi	42
Çizelge 6.3 Flaks uygulama oranı ve bileşimleri	48
Çizelge 6.4 Havuz oranı denemeleri değişkenleri	48
Çizelge 6.5 Ön ısıtma denemeleri sonuçları (400 °C).....	50
Çizelge 6.6 Ön ısıtma denemeleri sonuçları (450 °C).....	50
Çizelge 6.7 Ön ısıtma denemeleri sonuçları (500 °C).....	51
Çizelge 6.8 Ön ısıtma sıcaklığının ergitme işlemi parametrelerine etkisi	51
Çizelge 6.9 Ergitme işlemi denemeleri parametreleri ve elde edilen veriler.....	55
Çizelge 6.10 Flaks uygulamasının ekonomik yönden incelenmesi	58
Çizelge 6.11 Ergitme işlemi havuz denemeleri verileri	60
Çizelge 6.12 Numuneler kimyasal analiz sonuçları	61
Çizelge 6.13 Numuneler çekme testi sonuçları	62

ÖNSÖZ

Bu çalışma Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya – Metalürji Fakültesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Üretim Anabilim Dalında yapılmıştır. Çalışma Hurda Alüminyum Safsızlıklarının Hurda Hazırlama ve İzabe İşlemleri ile Giderilmesi Yollarının Araştırılmasına yönelik araştırma ve deneme çalışmalarını kapsamaktadır. Bu çalışma kapsamında meşrubat kutularının geri dönüşüm prosesinde hurda hazırlama ve ön ısıtma işlemleri, ergitme işlemi parametreleri üzerine denemeler gerçekleştirilmiş olup elde edilen sonuçlar testler ile incelenmiştir.

Bu çalışmayı yapmamı sağlayan değerli hocam Prof. Dr. Zeki ÇİZMECİOĞLU' na, deneysel çalışmalarında yardımcı olan Araştırma Görevlisi Kerem ALTUĞ'a ve Araştırma Görevlisi Gökhan ÖZER'e ve tüm çalışmalarım süresince desteğini esirgemeyen çok değerli aileme ve dostlarıma teşekkür ederim.

Metalürji ve Malzeme Müh.

Mustafa KOÇAK

ÖZET

Alüminyum ve alaşımları, sahip oldukları mekanik özellikler, geri dönüşebilirliği, işlenebilirliği özellikleri ile her geçen gün kullanım alanı ve miktarı artan bir metal haline gelmiştir. Alüminyum hammaddesi olan boksitin yeryüzünde sınırlı olduğu ve kullanım alanları ile kullanım miktarlarının her geçen gün arttığı ele alındığında alüminyum geri dönüşümünün önemi artmaktadır. Alüminyum geri dönüşümü hem hurda potansiyelinin kullanıma bağlı olarak artması hem de birincil alüminyum üretimine göre sağladığı enerji ve maliyet tasarrufları ile günümüzde önemli bir noktaya gelmiştir.

Bu çalışmada, alüminyum hurdalarının geri dönüşümü prosesinde işlem parametrelerinin proses verimine ve kalitesine etkileri üzerine denemeler gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalarda sahip olduğu kimyasal ve fiziksel özellikler sebebiyle kullanılmış meşrubat kutuları kullanılmıştır. Alüminyum meşrubat kutuları içerdikleri yüksek oranda Mg ve ince cidarlı bir malzeme olduklarından geri dönüşüm prosesinde düşük verimlere ve bir takım sorunlara sebep olmaktadır. Deneysel çalışma kapsamında bu sorunları minimize etmek ve proses verimliliğini artırılması amacıyla ön ısıtma, ergitme işlemleri parametreleri üzerine denemeler yapılmış ve çekme testi, kimyasal analiz ve metalografik analiz yöntemleri ile etkileri incelenmiştir.

Denemeler kapsamında optimum ön ısıtma sıcaklığı ve süresi, ergitme işleminde flaks uygulaması optimum parametreleri ve proses maliyetleri incelenmiştir. Flaks uygulamasında optimum flaks karışım oranı ve bileşimi belirlenmiştir.

Sonuç olarak meşrubat kutularının yüksek Mg içeriği ve ince cidarlı malzeme oluşları sebebiyle yüksek sıcaklıklarda oksidasyon kayıplarının fazla olduğu görülmüştür. Bu iki etkenin geri dönüşüm prosesi verimini etkileyen önemli parametreler olduğu tespit edilmiştir. Bu kayıpların azaltılması amacıyla optimum proses şartları belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Alüminyum, alüminyum geri dönüşümü, flaks uygulaması, kullanılmış meşrubat kutuları

ABSTRACT

Aluminium and its alloys have become a metal whose area of usage and amount increase more and more by their mechanical properties, recycling and penetrability. If you consider that the bauxite which is the raw material of aluminium is rare in earth and also its area and amount of usage increase with each passing day, the importance of aluminium recycling goes up. Nowadays aluminium recycling becomes crucial by means of both potential of scrap's dependant increase on usage and beside primary aluminium production its provided energy and cost saving.

In this study, experiments were carried out over process parameters' effects on process efficiency and quality in the process of aluminium recycling. In experimental studies beverage cans are used because of their chemical and physical properties. Aluminium beverage cans lead to some problems and low efficiency on recycling process due to containing high percentage of Mg and being thin-walled material. On the scope of this experimental study, tests were made over pre-heating and melting process parameters and its effects were examined by towing test, chemical analysis and metallographic analysis so as to minimize those problems and increase the efficiency of process.

Within experiments, optimum duration and temperature of pre-heating and also optimum parameters and process costs on flux implementation in melting process were examined. In flux implementation, optimum flux mixture rate and composition were determined.

As a result, at high temperatures too much oxidation losses were observed on beverage cans due to their high Mg content and being thin-walled material. These two factors' effects on recycling process were observed as important parameters. With the aim of reducing losses, optimum process conditions were determined.

Key words : Aluminium, aluminium recycling, flux implementation, used beverage cans

1. GİRİŞ

Alüminyumun kullanımı, sahip olduğu üstün özellikleri nedeniyle başta otomotiv, havacılık, savunma, ulaştırma, elektrik-elektronik, makine, ambalaj ve inşaat sektörleri olmak üzere hemen hemen bütün endüstri dallarında giderek yaygınlaşmaktadır. Bütün metaller içerisinde yıllık bazda talep ve üretim artış oranı en yüksek olan metal konumundadır. Dünya alüminyum talebi ve üretimi 40-42 milyon ton/yıl değerine ulaşmıştır. Gelişmiş ülkelerde kişi başına alüminyum tüketimi ortalama 30 kg /yıl, AB ortalaması 22 kg/yıl'dır. Ülkemizde ise bu rakam 6,5 kg/yıl'dır. Dünya'da en çok alüminyum tüketen ülkeler sırası ile A.B.D, Japonya, Almanya'dır. Avrupa ülkeleri arasında ise Almanya, Fransa, İtalya, İspanya en büyük tüketicilerdir.

Alüminyumu ön plana çıkartan özelliklerinden biri de geri dönüştürülebilirliğidir. Alüminyum geri dönüşüm sanayi, günümüzde en gelişmiş geri dönüşüm sanayilerinden biridir. Ülkemizde toplanan hurdalar ya el ile parçalanarak alüminyum içermeyen kısımları ayrılmakta ya da parçalama işlemi yapılmadan ve herhangi bir ön işleme tabi tutulmadan doğrudan preslenerek ergitme ünitelerine şarj edilmektedir. Ergitme ünitesi seçiminde ise daha çok ilk yatırım maliyetleri düşük olanlar tercih edilmektedir. Direkt ergitme yapan reverber tipi veya potalı ocaklarda ergitme süresinin uzun olması, sıvı ve gaz yakıtların yanma reaksiyonu sonucu fırın gazlarının varlığı şarjın oksidasyonuna ve aşırı metal kaybına neden olmaktadır. Ergitme sonrasında curuf çekme, sıvı metal ve filtrasyon işlemlerinin usulüne göre yapılmaması sonucu inklüzyonlar bünyede kalmaktadır. Bu şekilde üretilen sıvı metal, külçe ve ingot kaliteleri düşük seviyelerde kalmaktadır. Nihai şekilli parça dökümünde ikinci alüminyumdan üretilen külçelerin kullanımı, düşük döküm / akışkanlık kabiliyeti, mekanik özellikler, talaşlı işlem ve sızdırmazlık özellikleri nedeniyle sınırlı kalmaktadır (kalite gereksinimlerinin karşılanamaması). Ancak sürekli artan rekabet, ikincil alüminyum kaynaklarından daha yüksek verim ve kalitede metal üretimini zorunlu kılmaktadır.

2000'li yılların hemen başından itibaren enerji fiyatlarının yükselme trendine girerek aşırı artışı ve son yıllarda iyice kendini hissettirerek dünya gündeminin ilk sırasına yerleşen küresel ısınma, yüksek enerji tasarruf potansiyeline sahip alüminyuma olan talebi özellikle otomotiv ve ulaştırma sektörlerinde aşırı yükseltmiştir. Uluslararası uzmanlar tarafından 1997 yılında hazırlanan bir raporda, 2015 yılı dünya alüminyum talebi için öngörülen rakamlara 2007 yılında ulaşılmıştır. Üretim metalürjisi tarihçesi oldukça yeni olan alüminyuma artan talebin primer alüminyum üretimi ile karşılanması yüksek enerji maliyetleri nedeniyle

mümkün değildir. Alüminyumun cevherden elde edilmesi işleminde 46-60kwh/kg enerji gerekirken, hurdaların değerlendirilerek alüminyum alaşımlarının üretimi 3 kwh/kg enerji ile gerçekleştirilmektedir. Ayrıca, birincil alüminyum üretimi için ton başına yatırım maliyeti ikincil alüminyum için gerekli değer minimum 15 katıdır. Bu nedenle alüminyum kaynaklarının verimli kullanımı ve özellikle geri dönüşüm / yeniden kazanım prosesleri büyük önem kazanmıştır.

Ülkemizde son yıllarda dünya'daki trendlere paralel olarak giderek büyüyen bir alüminyum sektörü mevcuttur. Yıllık değişik formlarda hammaddeye olan talep 600.000 ton'u aşmıştır. Oysa ülkemizde tek primer alüminyum üreticisi konumundaki Seydişehir Eti Alüminyum A.Ş. tarafından yılda 60.000 ton alüminyum üretilmektedir. Ülke içinde geri dönüşümle sınırlı miktarlarda ikincil alüminyum üretilmektedir. Ülkemiz alüminyum ihtiyacının büyük çoğunluğu ithalat ile karşılanmaktadır.

İkincil alüminyum endüstrisi alüminyum sanayi içinde önemli bir yer tutmaktadır. Çünkü birincil alüminyum için gereken enerjinin % 95 daha azı ile alüminyum hurdanın yeniden işleme prosesi gerçekleştirilebilmektedir. Kullanılmış alüminyum yerine boksit gibi doğal kaynaklardan alüminyum üretmek oldukça pahalı ve aşırı enerji gerektiren sistemdir. 1 ton kullanılmış alüminyumun geri dönüşümü ile alüminyum üretimi gerçekleştirildiğinde;

- 4-5 ton boksit madeni tasarrufu,
- 1300 kg kırmızı çamurun elde edilmemesi,
- 4 ton kimyasal madde tasarrufu,
- 15000 litre soğutma suyu tasarrufu,
- 860 litre proses suyu tasarrufu,
- 2000 kg CO₂ ve 11 kg SO₂ emisyonu koruması sağlanmış olur.

2. ALÜMİNYUM METALİ VE ENDÜSTRİSİ

2.1 Alüminyum Metal ve Kullanım Alanları

Alüminyum, yeryüzünde oksijen ve silisyum'dan sonra en çok bulunan üçüncü element olmasına rağmen, endüstriyel çapta üretimi ve kullanımı özellikle son yüzyılda büyük önem kazanmıştır. Alüminyum cevherleri yerkabuğunun % 7,5 ini oluşturur ve alüminyum, oksijen ile silisyumdan sonra en sık rastlanan elementtir. Ancak alüminyum içeren cevherlerden, metalik alüminyum kazanımı karmaşık ve maliyetli bir prosestir. Bunun nedeni, alüminyumun doğada yalnızca oksit ve oksit karışımları halinde bulunması ve cevherlerin alüminyumlu oksitlerden daha kolay indirgenen diğer takım oksitleri de içermesinden dolayı, doğrudan cevherin indirgenmesi ile elde edilen alüminyumun teknik açıdan kullanılamayacak kadar katışkılı olmasıdır. En genç metallerden olan alüminyum, 1886 yılında elektroliz yönteminin kullanılmaya başlanması ile zaman içerisinde demir çelikten sonra en çok kullanılan metal olmuştur (Car, Yayım:2).

Alüminyum, hafifliği, alaşımlama ile dayanımının arttırılabilmesi geri dönüştürülebilir olması, korozyon direnci, şekillendirilebilirliği, işlenebilirliği, yüksek ısı ve elektrik iletkenliği, ışık ve ısı yansıtıcılığı özelliklerine sahip olduğundan her geçen gün kullanım alanı ve kullanım miktarı artmaktadır. Ulaşımdan inşaat sektörüne kadar bir çok alanda kullanılan alüminyum ve alaşımları bazı uygulama alanları için alternatifsiz olmaktadır. Özellikle ulaşım sektöründe araçlarda yüksek dayanım ve düşük ağırlık beklentileri alüminyumun tercih edilmesine yol açmıştır. Genel olarak alüminyum ulaşım, inşaat, ambalaj, elektrik ve elektronik, tüketim malzemeleri ve kimya sektörlerinde yoğun olarak kullanılmaktadır.

Demir-Çelik, bakır ve pirinç malzemelere göre üç kez daha hafif olmasına rağmen amaca hizmet edecek düzeyde yüksek dayanıma sahip olması, alüminyumun ulaştırma sektöründe kullanım miktarını hızla yükseltmektedir. Avrupa'da tüketilen alüminyumun yaklaşık üçte biri ulaşım sektörü tarafından kullanılmaktadır. Otomobillerde, uçaklarda, tren ulaşım sisteminde yük taşıma ve yolcu kompartımanlarının yapımında, gemi sanayiinde gittikçe artan oranlarda alüminyum

kullanılmaktadır. Alüminyumun en hızlı gelişen kullanım alanlarından birisi de ambalaj sektörüdür. Daha fazla miktardaki diğer ikame ambalaj malzemeleri ile sağlanan korumayı, alüminyum birkaç mikron kalınlıkla çok daha etkin bir şekilde sağlayabilmektedir. Alüminyumun homojen yapısı, ince folyo(alüminyum kağıt) şeklinde üretilmesi, hava geçirmezliği ve kolay şekillenebilmesi onu ideal bir ambalaj malzemesi yapar. Alüminyum ambalajın su, gaz, buhar, ışık ve mikroorganizma geçişini engellemesi, sıcak ve soğuğa dayanıklılığı, hava değişimlerinden ve çevreden etkilenmemesi özellikle bu niteliklerin arandığı gıda ve ilaç sektöründe ihtiyacı karşıladığı gibi, mor ötesi ve kızılötesi ışınlara karşı da koruyucu olması yeni geliştirilen ürünlere de hitap edebilmesine olanak sağlamaktadır. Alüminyumun en yaygın kullanıldığı alanlardan birisi de içecek kutularıdır. Dünyada kullanılan metal kutuların % 80'i alüminyumdur. Bunun nedenleri hafif, açılması kolay, darbeye dayanıklı, sağlam, geri kazanılabilir oluşu ve çabuk soğutma özellikleridir. Toplumun çevre bilincinin artması ve alüminyum üreticilerinin desteğiyle alüminyum içecek kutularını toplama ve geri kazanım programları hızla gelişmiştir. Bu durum özellikle alüminyumun yüksek pazar payının böyle projeleri gerekli kılan yatırımları teşvik ettiği ülkeler için daha geçerlidir.

Alüminyum son derece iletken bir metaldir. Alüminyum kullanımının Avrupa'da % 10'u, ABD'de % 9'u, Japonya'da % 7'si elektrik ve elektronik sektörüne aittir. Çelik özlü alüminyum iletkenler, yüksek voltajlı elektrik nakil hatlarında tercih edilen tek malzeme olmuştur. Hafifliği, yüksek korozyon direnci, uzun ömürlülüğü, düşük bakım maliyetleri, geri kazanma imkanı ve metalin çok yönlülüğü ve sonsuz değişik şekilde profil elde edebilme olanağı nedenleri ile binaların çatı ve cephe kaplamalarında, kapı ve pencerelerinde, merdivenlerde, çatı ve inşaat iskelelerinde, sera yapımında da yoğun şekilde kullanılan alüminyum, sağlamlığı yanında eloksallı kaplama sayesinde dekoratif görünümü sayesinde inşaat sektörüne de birçok seçenekler sunmaktadır. Son yıllarda yapılarıdaki alüminyum, dünya çapındagelişme göstermiş ve çok büyük bir pazar payı elde etmiştir (Alüminyum Komisyonu).

Kullanım alanına göre özelliklerinden kaynaklanan bazı avantajları ve yeni alaşımların getirdiği bazı alanlarda artan oranda çeliğe ikame olanakları nedeniyle, sanayiinin tüm alanlarında alüminyum tüketimi diğer metallere göre daha fazla artmaktadır. Teknolojinin gelişme paralelinde alüminyum kendisine yeni kullanım

alanları bulmakta, üretim metotları, ürün tasarımı ve kalite kontrol için Ar-Ge çalışmalarına ağırlık verilerek devam edilmektedir.

2.2 Alüminyum Üretimi

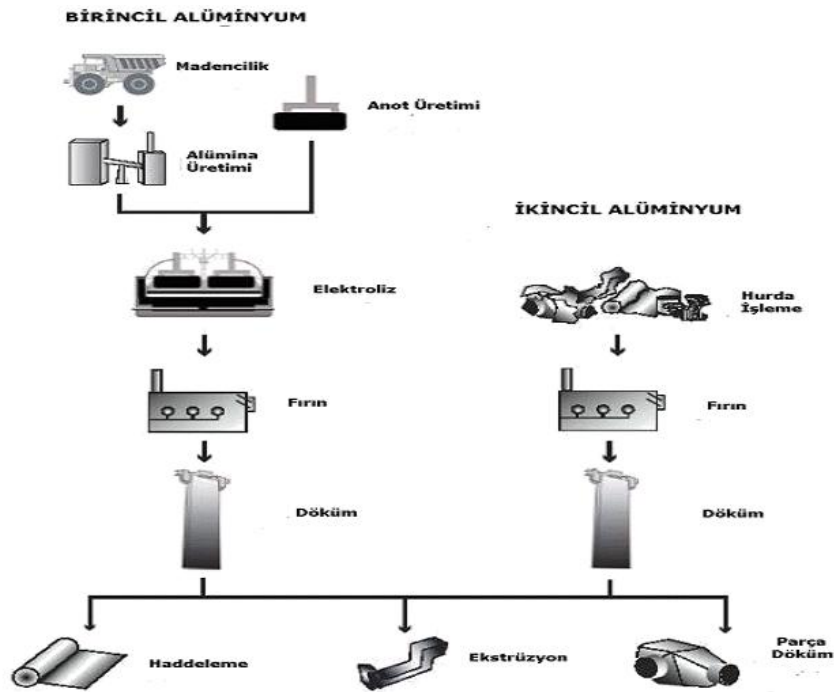
Alüminyum üretimi Şekil 2.1' den görüleceği gibi kullanılan hammaddelere göre iki farklı şekilde gerçekleştirilmektedir. Birincil alüminyum cevherleri, ikincil alüminyum ise alüminyum hurdalarını işleyerek alüminyum ve alaşımlarından yarı mamul ve mamul üretimini esas almaktadır. Giderek artan alüminyum kullanımına paralel olarak ikincil alüminyum sektörü de büyümekte ve önem kazanmaktadır.

Birincil alüminyum üretimi boksit cevherinin bayer prosesi ile işlenerek alümina elde edilmesi ile başlamaktadır. Bayer prosesi çözündürme, çöktürme ve kalsinasyon kademelerinden oluşan üç aşamalı bir prosestir. Çözündürme aşamasında alüminyum hidroksit mineralleri NaOH ile yüksek sıcaklıkta ve basınçta tepkimeye girerek sulu faza geçerler. Bu işlem otoklav hücrelerinde gerçekleşir. Çözündürme işleminde NaOH'dan etkilenmeyen ferritik demir oksitler katı fazda kalırlar ve prosesten kırmızı çamur olarak atılırlar. İkinci aşama olan çöktürme işleminde çözündürme işleminde elde edilen çözeltiden alüminyumhidrat çöktürmesi gerçekleştirilmektedir. Son aşama olan kalsinasyon işlemi ise alümina üretimin son kademesidir. Kalsinasyon ile $Al(OH)_3$ yüksek sıcaklıkta ($1000\text{ }^{\circ}C$) kalsine edilerek yapı içindeki fiziksel ve kristal su uçurulur [1]. Bayer prosesinden elde edilen alüminallardan Hall-Herault Elektrolitik Prosesi ile birincil alüminyumlar elde edilmektedir. Alümina üretiminden sonraki aşama, alüminanın ergimiş kriyolit banyosunda elektrolizi ile metalik alüminyuma dönüştürülmesidir. Birincil alüminyum, alüminanın alüminyum elektroliz hücrelerinde yüksek akım ($100-400kA$) altında ki $960-970\text{ }^{\circ}C$ sıcaklıkta kriyolit adı verilen kriyolit alüminyum florür ergimiş tuz ergiyiği elektrolit içinde çözünmesi, ayrışması ve indirgenmesi sonucu nötrleşen alüminyum metalinin tabanda birikmesi ile elde edilmektedir. Proses sırasında alüminanın parçalanmasıyla açığa çıkan oksijen ise petrol koku ve bağlayıcı olarak taş kömürü zifti'nden oluşan anot karbonu ile birleşerek oluşan CO_2 , CO , C_nH_n ve elektrolitteki reaksiyonlar sonucu gaz fazına geçen flor bileşikleri ile birlikte gaz temizleme sistemine gitmektedir. Tabanda biriken sıvı alüminyum belirli periyotlarla kapalı vakum potalarıyla çekilip alaşımlandırma ve kalıplara dökülmek üzere dökümhane

birimine gönderilmektedir (Alüminyum Komisyonu).

Dökümhanelerde elde edilen alüminyum uygun alaşımlama ve sıvı metal işlemleri gerçekleştirildikten sonra yarı mamul olarak nihai ürün üreticilerine veya direk nihai ürün olarak piyasaya sunulmaktadır.

İkincil kaynaklardan alüminyum üretimi ise ergitme öncesi hurda hazırlama işlemleri ile başlamaktadır. Bu aşamada hurdaların cins ve alaşımlarına göre ayrıştırılması, parçalanması ve preslenmesi ile lak ve boya giderme işlemlerini kapsamaktadır. Ergitme öncesi hazırlanan hurdalar ergitme ocağında ergitilmekte rafinasyon, gaz giderme alaşımlama gibi sıvı metal işlemlerinden sonra mamul veya yarı mamul olarak piyasaya sunulmaktadır. Geri dönüşüm teknolojisi ve yöntemleri bölümlerde detaylı olarak bahsedilecektir.



Şekil 2.1 Alüminyum üretim süreci (Alüminyum Komisyonu).

2.3 Alüminyum Sektörü

Dünyada alüminyum üretiminde kullanılan boksit cevheri en çok Afrika, Güney Amerika ve Avustralya'da bulunmaktadır. Avrupa'da ise bir takım bazı boksit yatakları bulunmaktadır. Genel olarak dünya Çizelge 2.1 'de görülmektedir.

Çizelge 2.1 Dünya boksit rezervleri (GCC Aluminium Sector Report, 2007).

Rezerv	Giga Ton
Gine	8,6
Avustralya	7,7
Brezilya	2,5
Jamaika	2,5
Çin	2,3
Hindistan	1,4

Dünya genelinde alüminyum kullanım alanlarına artmasıyla artan talebi karşılamak için üretim miktarları da artmıştır. 2002 yılında 25 milyon ton olan alüminyum tüketimi 2006 yılında 35 milyon tona çıkmıştır. Buna karşılık olarak 2002 yılında 26 milyon ton olan dünya alüminyum üretimi 2006 yılında 34 milyon tona ulaşmıştır (GCC Aluminium Sector Report, 2007).

Çizelge 2.2 Dünya alüminyum pazarı (GCC Aluminium Sector Report).

x10³ ton	2002	2003	2004	2005	2006
Genel Üretim	26.076	28.001	29.992	32.021	33.952
Genel Tüketim	25.625	27.882	30.262	32.020	34.390
Genel Denge	451	119	-340	1	-437

Geçmiş 30 yıllık dönem bakılırsa alüminyum üretimi konusunda Çin büyük aşama kaydetmiştir. 1980 yılın dünya alüminyum üretiminin % 2'sini gerçekleştiren Çin 2006 yılında % 27'sini gerçekleştirmiştir. Bu dönem içinde Avrupa ve Amerika'nın dünya alüminyum üretimindeki oranları ise büyük düşüş göstermiştir. 1980 ve 2006 yılı dünya alüminyum üretiminde ülkelerin payları ve 2020 öngörülleri Çizelge 2.3'de gösterilmiştir (GCC Aluminium Sector Report).

Çizelge 2.3 Dünya alüminyum pazarı öngöröleri (GCC Aluminium Sector Report).

	1980 (%)	2006 (%)	2020 (%)
Çin	2	27	23
ABD	30	7	5
Avustralya	2	6	4
Kanada	7	9	7
Orta Doğu	1	6	10
USSR	17	12	20
Avrupa	22	12	8
Diğerleri	19	21	23
	100%	100%	100%

3. ALÜMİNYUM GERİ DÖNÜŞÜMÜ

Alüminyum geri dönüşüm prosesi hurdaların toplanmasıyla başlayıp nihai ürün elde edilmesiyle son bulan bir süreçtir. Toplanan hurdalar öncelikle ergitme öncesi işlemlere tabi tutulur. Ayırma, parçalama, presleme, ön ısıtma (lak ve boya giderme) işlemlerine tabi tutulan ikincil (hurda) alüminyum kaynakları ergitme öncesi en uygun fiziksel ve kimyasal hale gelirler. Ergitme işlemi sonrasında ergiyik metal ve cüruf diye tabir edilen metal oksit fazlar oluşur. Bu cüruf adı verilen oksit fazı alüminyumca zengin bir faz olduğundan flaks uygulaması ile tekrardan işleme tabi tutularak içindeki alüminyum kazanılır. Elde edilen ergiyik metal ise rafinasyon, alaşımlama, gaz giderme gibi sıvı metal işlemlerine tabi tutulur. Ergiyik metal işlemlerinden sonra elde edilen nihai ergiyik metal mamul veya yarımamul halinde dökülerek süreci tamamlamış olur.

3.1 Ergitme Öncesi Hurda Hazırlama İşlemleri

Ergitme öncesi hurda hazırlama işlemleri hurdaların 3 başlık altında işlenebilmektedir. Bu başlıklar;

- Hurdaların ayırma ve gruplama
- Parçalama ve presleme işlemleri
- Ön ısıtma işlemi dir.

3.1.1 Hurdaları Ayırma ve Gruplama

Alüminyum geri dönüşümünde en önemli konulardan bir tanesi hurdaların cinslerine göre gruplandırılmasıdır. Burada hurdalar öncelikle içerdikleri malzemelere göre daha sonra ise kendi içlerinde alaşımlarına göre ayrıştırılmalıdır. Hurdaların gruplandırılmasında bir önemli noktada hurdaların talaş, çapak, döküm parça, pres artığı gibi büyüklüklerine göre de ayrıştırılmasıdır (Zeytin, 2000).

Hurdaları ayırma işlemleri operasyonel olarak 3 grupta toplanabilir. Bu işlemler;

- Söküm
- Kuru ayırma
- Yaş ayırma

Söküm işleminde farklı metal veya malzemelerden oluşan blok hurdalar sökülerek parçalanırlar. Bu işlemde metal yığınları ne kadar birbirlerinden yada diğer metal-dışı malzemelerden sökülerek ayrılabilirse, sonraki proseslerinde verimi de o kadar artar (Car, Yayım:2).

Kuru ayırma işleminde hurda yığınları özgül ağırlıklarına göre eleme, merkezkaç kuvveti ile ayırma, hava ile ayırma, manyetik ayırma yöntemleri ile ayrıştırılmaktadır. Eleme işlemi ile hurda yığını bünyesindeki ufak boyutlu bileşenler ayrıştırılabilmektedir. Merkez kaç kuvveti ve hava ile ayırma yöntemleri ile yoğunlukları farklı olan bileşenler ayrıştırılmaktadır. Bu işlem ile özellikle yığın bünyesindeki plastik ve kauçuk gibi malzemeler ayrıştırılabilmektedir. Manyetik ayırma yönteminde ise hurda yığını bünyesindeki manyetik özellikteki bileşenler ayrıştırılmaktadır (Car, Yayım:2).

Yaş ayırma yöntemleri; batırma ve flotasyon yöntemleridir. Batırma yönteminde yine esas malzemelerin özgül ağırlıklarına göre ayrıştırılmasıdır. Flotasyon yönteminde ise suya karşı gösterdikleri özellikleri sayesinde hurdalar ayrıştırılmaktadır.

3.1.2 Parçalama ve Presleme İşlemleri

Parçalama işlemleri kırıcılarda gerçekleştirilen boyut indirgenme işlemidir. Gruplandırılmış hurda boyutları indirgenerek ergitme veriminin ve ayrıştırma işlemlerinin veriminin artırılması amacıyla gerçekleştirilmektedir.

Parçalanan hurdalar preslenerek balya haline getirilirler. Presleme işleminde amaç hurdaların balya haline getirilerek hacim/yüzey alanı oranının artırılmasıdır. Böylelikle ergitme işlemi veriminde önemli bir parametre olan hacim/yüzey alanı oranı yükseltilmektedir. Ergitme işlemi süresince oksitlenmenin gerçekleşeceği yüzey alanın mümkün olduğu kadar azaltılması istenmektedir. Sonuç olarak

presleme işlemi ile maksimum hacim ve minimum yüzey alanında hurda balyalarının elde edilmesi istenmektedir.

3.1.3 Ön Isıtma İşlemi

Ergitme öncesi şarj malzemesi ve ergitme koşullarından kaynaklanan cüruf oluşumu nedeni ile sıvı metal kaybını, katı atık ve kirli gaz yayılımını minimize etmek, ergitme koşullarını iyileştirmek amacı ile ön ısıtma işlemi uygulanmaktadır. Ön ısıtma işlemi ile hurda balyalarının bünyesindeki plastik, lak, yağ, boya, kaplama ve organik atıkları giderilmektedir. Bu işlem ile ergitme işlem veriminin artırılması amaçlanmaktadır. Aynı zamanda bu işlem ile hurda bünyesinde olan nem, su bileşenleri de giderilerek ergitme işleminde ısının etkisiyle oluşacak patlamalarında önüne geçilmiş olacaktır (Car, Yayım:2).

Kısaca ön ısıtma işlemi ile aşağıda sıralanan avantajlar sağlanmaktadır:

- Bünyedeki nem, su, boya, lak, kaplama bileşenleri giderilir.
- Ergitme işleminde şarjın minimum kirlilikte olması sağlanır ve böylelikle çıkan cüruf miktarı azaltılmış olur.
- Ergitme fırının ısı verimliliği artırılır. Genelde ön ısıtma işlemi ergitme fırınlarından çıkan baca gazlarının sahip olduğu ısı enerjisi ile gerçekleştirilmektedir. Böylelikle bacadan atılan ısı enerjisinin kullanımı ile ısı verimliliği artmaktadır.
- Bünyedeki safsızlıklar giderildiği için (özellikle nem) ergitme işlemi esnasında yaşanabilecek patlama riski de bertaraf edilmiş olur.
- Lak ve boyaların giderilmesi ile ergitme işleminde çıkan cüruf miktarının da azaltılması sağlanır.
- Safsızlıkların giderilmesi ile ergitme sonrası elde edilen ergiyik metal kalitesi de artırılmış olur.
- Kirli hurdaların neden olduğu cüruf artışı ile sıvı metale ısı iletimi güçleşir, prosesin ısı gereksinimi artar. Ancak ön ısıtma işlemi ile bunda önüne geçilir.
- Ergitme süreci maliyetlerini azaltır.

Örneğin 400 °C’de gerçekleştirilen bir ön ısıtma işlemi ile % 34 oranında enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Böylelikle ergitme verimliliği de % 52 oranında arttırılabilmektedir (Meriç vd., 1999).

3.2 Ergitme İşlemi

Ergitme işleminde hurda şarjının özelliklerine göre farklı ergitme sistemleri kullanılabilir. Genel olarak ergitme işleminde;

- Pota fırınları
- Reverber fırınlar
- Döner fırınlar
- İndüksiyon fırınları kullanılabilir.

İkincil alüminyum üretiminde fırınlar döner, reverber, pota ve indüksiyon fırınlar kullanılmaktadır. Kullanılacak fırın tipini belirlemede ergitilecek hurdanın cinsi, büyüklüğü ve kirlilik derecesi göz önünde bulundurulmaktadır. Ergitilecek hurdanın cinsine ve yapılmak istenen ürünün özelliklerine göre mevcut ergitme tekniklerinden bir veya birkaçı kullanılmaktadır (Alüminyum Komisyonu).

Bir kısmı devrilebilir olan, daha çok düşük değerli çok demirli alüminyum hurdalar ve alüminyum cürufunun ergitilmesi için tercih edilen döner fırınlarda ergitme işleminde yakıt olarak fuel oil veya gaz yakıtlar ve genellikle oksijen brülörler kullanılır. Brülörden refrakter duvarına iletilen ısı, dönme sırasında ısınmış refrakterle temas eden şarj malzemelerinin ısınmasını sağlar. Metalden önce şarj edilen flaks ergiyerek metal yüzeyine çıktığından sıvı alüminyumun havayla temasını keserek oksitlenmeyi engeller. Ergitme firesinin düşük olduğu, ısı veriminin çok yüksek olduğu ve çok çeşitli hurda malzemenin ergitilebildiği bu fırınlarda rafinasyon işlemleri ve alaşımlama yapılamaz. Ayrıca 1 ton sıvı alüminyum için 300 kg kullanılan tuzlu flakstan dolayı oluşan atık da çevresel etkisinden dolayı göz ardı edilemez. Döner fırınlar büyük parçalar için uygun fırınlar değildir (Alüminyum Komisyonu).

Hurda ve droslardan alüminyumu yeniden kazanmak için günümüzde kullanılan sistem döner fırında ergitmedir. Döner fırının içi refrakter ile örtülmüş fiçıya benzer

bir aygıttır. Gövde üzerinde bulunan ara dişli piyon ve redüktör motor sistemi fırının yatay eksenini etrafında 360 derecelik dönüş yapmasını sağlar. Dönme hareketi ısı iletimi açısından önem taşır. Döner fırınlarda hurda ve dros işlenmesi başlıca iki yöntemle yapılır (Yavuz, 1998).

Reverber fırınlar özellikle büyük hurdaların şarj edilebilmesi için uygun fırınlardır. Fakat geniş kapaklara sahip olması hem kaçakların artmasına hem de şarj sırasında yüksek ısı kaybına neden olmaktadır. Bu nedenle verimleri döner fırınlara göre daha düşüktür. Ancak baca gazının yanma havasının veya şarjın ön ısıtılmasında kullanılması ile ısı verimi %20'den %40'a kadar yükseltilebilir. Cüruf oluşumu nedeniyle alüminyum kaybı da döner fırına göre yüksektir. Yani yüzey alanı/hacim oranı yüksek hurda malzemelerin ergitilmesi için uygun değildir. Ancak bu fırınlarda rafinasyon ve alaşımlama yapılabilir (Alüminyum Komisyonu).

Dıştan kutu tarzı görünümlü fırın tipine sahip olan, temelde oksijen-yakıt, hava-yakıt kombinasyonlarını içeren brülörleri ile enerji girişi sağlanan fırın tipidir. Reverber fırınları genellikle demir içerikli hurdalar başta olmakla birlikte temiz hurdaları (ingot/ekstrüzyon hurdası) işleyebilir. Reverber fırınlarının dizayn esnekliği yüksektir, yapılan değişiklikler ve eklenen düzenekler ile bu fırınlar çok değişik dizaynlara dönüştürülebilirler. Örneğin reverber fırınlarında sağlanan eğimli hazne, fırının demir içerikli hurdaları işleyebilmesine olanak sağlar (Yavuz, 1998).

İndüksiyon fırınları temiz ve küçük hurda malzemelerin ergitilmesi için uygundur. Isı verimi % 40 civarındadır. Tutma amaçlı da kullanılabilir. Elektromanyetik karıştırma ile şarj ve alaşım metallerinin uygun biçimde karıştırılması sağlanır. Fırın sıcaklığı otomatik olarak kontrol edilebilir. Yanma gazının olmaması ve flaks kullanımının çok az olması çevreye zarar vermemesi açısından önemlidir (Alüminyum Komisyonu).

İndüksiyon fırınları kuru, yağsız ve oksitsiz talaş ve hurdaların ergitilmesinde başarı ile kullanılır. İndüksiyon fırınlarının alüminyum hurda ergitilmesinde en büyük avantajı hurdaların sıcak fırın içi atmosferde kalarak oksitlenmesine meydan vermeden sıvı alüminyum banyosuna daldırılıp kısa sürede ergitilmesidir. Ancak burada belirtilmesi gereken bir dezavantaj da yüzeyden gelen oksit ergiyik metal banyosuna karışmasıdır. Buna karşılık indüksiyon fırınlarının sağladığı en büyük avantaj hurdaların ergitilip işlenirken ocak içindeki akımın karıştırma etkisi yapması

ve ergiyik metal işlemleri reaksiyonlarının hızının artmasıdır (Meriç vd., 1999).

Alüminyum meşrubat kutularının geri dönüşümü ergitme sistemlerinde indüksiyon ocaklarının kullanılması ile daha yüksek verimlerin elde edilebileceği literatürde yapılan çalışmalarda belirtilmektedir. İndüksiyon ocaklarında oksitleyici bir ısıtma ortamı oluşmadığından ve hızlı ergitme yapılabildiğinden oksidasyon ile metal kaçakları çok düşük seviyelere indirilebilmektedir (Nerron vd., 2008).

3.3 Flaks Uygulaması

Alüminyum geri dönüşüm prosesinde ergitme işleminde ikincil kaynaklar ile beraber flakslar da sisteme şarj edilmektedir. Flakslar farklı amaçlar için fırına şarj edilebilmektedir. Flakslar temelde sodyum ve potasyum klorür tuzları ve düşük oranlarda florür tuzları (%3-5 civarı kriyolit) içerir. Bu tip flakslar şarjla fırına eklenerek safsızlıkları topaklandırır (aglomere eder), oksitleri absorbe eder ve ince malzemelerin ergimesi sırasında koruyucu olarak çalışır. Operasyon şartlarına bağlı olarak bu tip flakslar metal kazanımını artırdığı için işletmeler tarafından sıkça kullanılır. Ancak tuz flakslarının, Mg içeriği yüksek alaşımların ergitilmesindeki etkinlikleri sınırlıdır. Magnezyum içeren alaşımlarda, atmosfer ile flaks ara yüzeyi arasında spinel ($MgAl_2O_4$) oluşum görülür. Bu oluşum viskoziteyi ve yoğunluğu artırır. Flaksın ıslanma kabiliyetini azaltır. Bu da oksidasyonu artırarak metal kazanımını azaltır. Daha yüksek flor tuzu (kriyolit) içeriği ile bu durum engellenebilir (Türker, 2005).

Genel olarak kullanılan flakslar 4 sınıfa ayrılabilir

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

3.3.1 Örtü Flaksları

Örtü flaksları birçok ergitme operasyonu sırasında kullanılmaktadır. Genel olarak bunlar içeriği yüksek oksitlenme koşullarında örnek olarak 775 °C (1430 °F) üzerindeki sıcaklıklardır; bu durum talaş ve hurda ergitme de veya Mg oranı % 2'den büyük olan alaşım ergitmelerde meydana gelir (Yavuz, 1998).

Gaz absorpsiyonu ve metal oksidasyonunu azaltmak için örtü oluşturan flakslar kullanılır. Klorür karışımları makul maliyetli ve etkili örtü flakslarıdır. Örtü flaksları çözücü etkilerinden daha çok yüzey gerilimi ayarlayıcısı olarak etkindirler. Oksitlerin ve safsızlık filmlerinin cüruflaşmasını sağlarlar ve böylelikle örtü tabakasını kalınlaştırırlar (Tüker, 2005).

3.3.2 Temizleme Flaksları

Koruyucu yüzey oluşturmak kadar temizliğinde önemli olduğu durumlarda florürler genellikle örtü flakslarına eklenir. Bu şekilde sıvı bir flaks oluşturulur, bu flaksın güçlü bir temizleme etkisi vardır. Florürler süspansiyon halindeki parçacıkları ve oksit tabakasının parçalarını ıslatarak yüzeye çıkartırlar. Florürler kullanılarak reverber fırınları ve potalardan yüksek kalitede metal elde etmek mümkündür (Türker, 2005).

3.3.3 Gaz Giderici Flakslar

Tablet veya flaks ile gaz gidermede katı haldeki tablet ergimiş metale ilave edilerek köpüren gaz meydana getirilir. Tabletler delikli bir çan ile ergimiş metale batırıldığında sıcaklıkla dekompoze olarak gaz baloncukları oluşturacak kimyasal yapıya sahiptir. Tabletlerin son derece hızlı dekompoze olması ve gerekli temizliğin sağlanması için defalarca işlemin tekrarlanması sebebi ile gaz gidermede en kontrolsüz yöntemdir (Türker, 2005).

3.3.4 Dross Giderme Flaksları

Çoğunlukla ergitme fırınının ve ergitilen alaşımın özellikleri örtü veya temizlik flakslarının kullanılmasını gereksiz kılabilir. Ancak fırındaki metalin

boşaltılmadan önce dros azaltıcı flakslar ile işlenmesi metal kayıplarının azaltılması açısından çok önemlidir. Dros azaltıcı flakslar metal boşaltma drosları ile temas ettiklerinde ekzotermik reaksiyon veren flakslardır. Bu flakslar metal yüzeyindeki kek halinde bulunan ve yarı katı dros ile reaksiyona girerler. Bunun sonucu drosta hapis olan metal serbest kalır ve böylelikle yapışkan haldeki dros ince toz haline gelerek kolay sıyrılabilir özellik kazanır. Dros azaltıcı flaksların uygun kullanımı ile drostaki metal içeriği % 85 gibi yüksek oranlardan % 15'lere indirgenebilir (Türker, 2005).

3.4 Ergiyik Metal Rafinasyonu

Metal olmayan parçaların giderilmesi malzemenin mekanik özelliklerini etkileyeceğinden her zaman istenen bir uygulamadır. Bunun en önemli nedenlerinden biri katılaşma sırasında hidrojen için çekirdeklenme sağlamasıdır (Habashi, 1997). Oksit filmlerinin kaynağı ergitme işlemi veya şarj edilen malzemenin yüzeyinden gelir. Oksit parçaların yoğunluğunun ergimiş metalinkine çok yakın olması, ergitme işleminin bu parçaları yüzeye çıkaramayacağı kadar kısa sürede yapılması bu parçaların ergimiş metal içinde kalmasına sebep olur. Bu sebeple metal olmayan parçalar gaz flakslama, katı veya ergimiş tuz flakslama ya da filtrasyon ile giderilir (Türker, 2005).

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

Döküm boşluğunu metal olmayan parçalardan ve oksit filmlerinden arındırmak için pek çok dökümhane işletmesi fiber süzgeçler kullanmaktadır. Bu tür fiber süzgeçler iri boyutlu safsızlıkları tutmakta başarılı olurken küçük boyutlu safsızlıklarda yetersiz kalmaktadır. Bu sebeple günümüzde sürekli filtreleme yapabilen poröz

seramik filtreler daha etkin bir biçimde kullanılmaktadır (Türker, 2005).

3.5 Gaz Giderme

Yüksek kalitede döküm veya ingot elde edebilmek için ergitme ne kadar da uygun şartlarda yapılsa da bir gaz giderme çalışması yapılmalıdır. Gaz giderme fırında yapılabileceği gibi bir başka ortama transfer sırasında da sürekli olarak yapılabilir. Fırınlarda gaz veya tuz flakslar kullanılabilir. Bu gazlar azot, argon, helyum veya bu gazların klor ile karışımları olabilir (Türker, 2005).

Pota ergitmelerinde tek bir lans aracılığı ile gaz giderme yapılabilirken, reverber fırınlardaki gaz gidermelerde fırın duvarından veya tavanından birden fazla lans kullanılabilir. Ergimiş metalin gaz ile temasına her şartta dikkat edilmelidir. Lansların fırının ya da potanın en dibine kadar ulaştığından emin olunmalıdır. Böylelikle metalin en derin bölgelerine kadar gazın ulaşacağından emin olunabilir (Türker, 2005).

Tuz flakslayıcılar hegzakloreten, alüminyum klorür ve susuz magnezyum klorürdür. Çünkü klorür de flakslayıcı olarak kullanılabilir ancak alaşımın çinko içeriğinin önemli olduğu durumlar da bu flaksın kullanılmasına dikkat edilmelidir (Türker, 2005).

Hegzakloreten, çinko klorür ve klor alüminyum ile hemen reaksiyona girerek alüminyum klorür ve sistemde var ise magnezyum ile birleşerek magnezyum klorür oluştururlar. Bu reaksiyonlar son derece güçlü ekzotermik reaksiyonlardır. Bu sebeple özellikle uzun süreli flakslamalarda ortam sıcaklığının aşırı artmamasına dikkat edilmelidir. Alüminyum klorür ergime sıcaklıklarında gaz halindedir ve banyo içinde yüzeye yükselirken flaks davranışı gösterir. Magnezyum klorür metalin bulunduğu sıcaklığa bağlı olarak katı veya sıvı olabilir ve yüzeye doğru çıkarken flaks etkisine sahiptir. Titanyum ve bor klorlu tuzlar da üstün flakslama kapasitesine sahiptir. Ancak yüksek maliyetleri kullanımlarını kısıtlar (Türker, 2005).

Hidrojenin giderilmesi, yüzeye yükselen gaz kabarcıklarına difüze olması ile meydana gelir. İşlemin başarısı tamamen gaz kabarcıklarının boyutuna bağlıdır. Gaz giderme klor helyum ve argon, azottan daha etkindir. Bunun muhtemel sebebi azot

kabarcığı içindeki nem ile ergimiş metal arasındaki reaksiyonun engelleyici bir film oluşturmasıdır (Türker, 2005).

4. ALÜMİNYUM GERİ DÖNÜŞÜM TESİSİ FİZİBİLİTESİ

Alüminyum hurdalarının geri dönüşümü için kurulacak bir tesiste hurda hazırlama, ergitme ve sıvı metal işlemleri aşamaları uygulanmaktadır. Genel olarak tesisin üretim akışı hurdaların ayrıştırılması, presleme, ergitme ve flaks uygulaması, alaşımlandırma, rafinasyon, döküm, paketlenme ve piyasaya arz işlemlerinden oluşmaktadır.

Kurulacak tesisin üç vardiya üzerinden çalıştığı öngörülürse günde 1,5 ton alüminyum üretimi gerçekleştirilebilmektedir. Yıllık ortalama 4500-5000 ton alüminyum üretimi gerçekleştirecek olan tesiste işçi, teknisyen, mühendis, büro elemanı, yönetici ve destek personeli olmak üzere 60 kişinin istihdam edilmesi gerekmektedir. Tesiste görev alacak personel sayısının dağılımı yaklaşık olarak 40 işçi, 4 teknisyen, 4 mühendis, 8 büro elemanı, 1 yönetici ve 3 destek personeli görev alacaktır.

Çizelge 4.1 Geri dönüşüm tesisi personel dağılımı

İstihdam Edilecek Personel Niteliği	İstihdam Edilecek Personel Sayısı
İşçi	40
Teknisyen	4
Mühendis	4
Büro Elemanı	8
Yönetici	1
Destek Personeli	3
TOPLAM	60

Tesiste hurdaların preslenmesi için bir pres makinesi saatte 0,5-1 ton alüminyum ergitebilecek kapasiteye sahip bir ergitme ocağı, alaşımlama ve rafinasyon işlemlerinin gerçekleştirilebilmesi için tutma fırını, ergitme ve tutma fırınları arası metal taşıma için taşıma potası, döküm işlemi için otomatik döküm bandı, test ve analizler için spektrometre cihazı ile trafo, kompresör, pompalar ve tesisatları, jeneratör, vinç, forklift, kantar ve konteyner bulundurulması gereken diğer ekipmanlardır. Tüm bu ekipmanların kurulumu içinde en az 20.000 m²kapalı alana ihtiyaç duyulmaktadır. Tesiste kullanılacak ekipmanlar ve fiyatları Çizelge 4.2 'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.2 Tesis ekipman listesi

Ekipman	Kapasite	Adet	Birim Maliyet (USD)	Toplam Maliyet (USD)
Ergitme Ocağı	1 ton/saat	2	225.000	450.000
Sıvı Metal Taşıma Potası	1 ton	2	2.000	4.000
Hurda Pres Makinesi	40-50 ton	1	20.000	20.000
Tutma Fırını	5 ton	1	30.000	30.000
Otomatik Döküm Bandı		1	30.000	30.000
Spektrometre		1	70.000	70.000
Trafo ve Tesisatı		1	100.000	100.000
Hava Tesisatı		1	2.000	2.000
Kompresör	500 lt	1	2.000	2.000
Pompalar		2	3.000	6.000
Jeneratör	400 Kw	1	10.000	10.000
Tavan Vinci	5 ton	1	60.000	60.000
Forklift	3 ton	1	5.000	5.000
Elektronik Kantar	3 ton	1	5.000	5.000
Hurda Konteyneri		5	300	1.500
TOPLAM (USD)				795.500

Alüminyum hurdalarından alüminyum imalatı tesisi çevre ve sağlık yönünden çevresel etki değerlendirmesine tabidir ve 1. sınıf gayri sıhhi müessese (GSM) durumundadır. Bu sebeple yatırıma başlamadan önce ÇED raporu hazırlanması ve Çevre ve Orman Bakanlığı'ndan onay alınması, üretim aşamasında ise Sağlık Bakanlığı'ndan GSM lisansı alınması zorunludur (Sanayi ve Ticaret Bakanlığı, 2006).

Tesisin tam kapasite faaliyete geçmesi ile yılda ortalama 5000 ton alüminyum üretimi gerçekleştirilecektir. Bunun yanında ergitme işleminden çıkan cürufur, yan ürün olarak satılabilmektedir.

Çizelge 4.3 Yıllık işletme geliri

Ürün Adı	Miktarı (ton)	Birim Fiyatı (USD)	Toplam Fiyatı (USD)
Alaşımli Alüminyum Külçe	5.000	2.660	13.300.000
Alüminyum Curuf	650	400	260.000
TOPLAM GELİR (USD)			13.560.000

İşletme giderleri ve karlılıkları işletmeden işletmeye değışmekle beraber pazar şartlarının da bunun üzerinde büyük etkisi olmaktadır. Ancak genel olarak yıllık 5000 ton üretim kapasitesi ile çalışan bir tesisin giderleri Çizelge 4.4’de gösterilmektedir. Çizelge gösterilen amortisman bedeli tesisin amortisman süresinin 10 yıl olarak hesaplanması ile elde edilmiştir. Tesisin amortisman süresinin 10 yıl olarak ön görülmesi sonucunda yıllık 80.000 USD ‘lık bir amortisman gideri oluşmuştur.

Çizelge 4.4 Yıllık işletme gider kalemleri

GİDER KALEMLERİ	TUTAR (USD)
Hammadde Gideri	10.000.000
Yardımcı Malzeme Gideri	350.000
Yakıt, Su, Elektrik Giderleri	155.000
Personel ve İşçilik Giderleri	460.000
Bakım ve Onarım Giderleri	35.000
Genel Giderler	370.000
Amortismanlar	80.000
Finansman Giderleri	420.000
Pazarlama ve Satış Giderleri	25.000
Ambalaj ve Paketleme Giderleri	70.000
TOPLAM	11.965.000

Üretilcek ton başına ürün maliyeti ve gelir incelendiğinde ürün maliyeti 2393 USD/ton, elde edilecek gelir ise 2712 USD/ton olarak elde edilmiştir. Bu incelemeler sonucunda tesisin ton başına karı ise 319 USD/ton olarak görülmektedir.

Çizelge 4.5 Gelir-maliyet tablosu ve karlılık

	Yıllık Toplam (USD)	Ton Ürün Başına (USD)
Maliyet	11.965.000	2.393
Gelir	13.560.000	2.712
Karlılık	1.595.000	319
% Karlılık	11,76	

Sonuç olarak yıllık 5.000 ton alüminyum üretimi gerçekleştirebilecek bir geri dönüşüm tesisin kurulum maliyeti 800. 000 USD olmaktadır. Tesis yılda 5.000 ton alüminyum külçe ve 650 ton da cüruf üreterek yılda toplam 13.560.000 USD gelir elde edebilecektir Tesisin yıllık gideri ise 12.965.000 USD olacaktır. Gelir ve maliyet analizi yapıldığında tesiste gerçekleştirilecek üretimde elde edilen alüminyum külçelerin maliyeti 2.393 USD / ton olurken külçe ve cüruf satışından elde edilecek gelir ise 2.712 USD / ton olacaktır. Bir ton alüminyum ürün başına 319 USD kar edebilecek olan tesis % 11,76 karlılıkla çalışacaktır.

5. ALÜMİNYUM GERİ DÖNÜŞÜM PROSESİ PARAMETRELERİ

İkincil alüminyum metalürjisi hurdaların ergitilmesi ve ergitme sürecinde oluşan cürufun işlenmesi olarak 2 aşamada ele alınabilir. Alüminyum metalinin oksijen afinitesi çok yüksek olduğundan proseste cüruf oluşumu kaçınılmazdır. Isısında etkisiyle oksitlenme eğilimi artan ergiyik metal, oksijenli ortam ile temasa geçtiğinde oksitlenme gerçekleşir ve cüruf tabakası oluşur. Proseste cüruf tabakasının yani oksidasyon reaksiyonunun engellenmesi, cüruf miktarının azaltılması ve cürufun tekrar işlenerek metal verimliliğinin artırılması önemli işlemlerdir. Oksidasyonun azaltılması için flaks uygulaması, hızlı ergitme ve sıvıya katı şarjı gibi yöntemler uygulanmaktadır.

5.1 Ergiyik Alüminyum Fiziksel ve Kimyasal Karakteristiği

Genel olarak ergiyik alüminyum fiziksel ve kimyasal özellikleri aşağıdaki başlıklar altında sıralanabilir (Türker, 2005).

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

5.2 Alüminyum Oksidasyonu

Ergiyik alüminyum yüzeyinde alüminyumun yüksek oksijen afinitesinden dolayı oluşan cüruf tabakası, oksijen ortam ile ergiyik metal arasında bir koruyucu rol almakta ve ergiyik metali oksidasyona karşı korumaktadır. Ancak yüzeyde oluşan türbülanslar bu koruyucu tabakanın kırılmasına ve oksidasyon kayıplarının artmasına neden olmaktadır. Proses süresince bu oksit tabakasının oluşumunun minimuma çekilmesi ve ergitme işleminde çıkan cürufun tekrar flaks uygulaması ile işlenmesi ile proses verimliliği arttırılabilmektedir.

Ergitme işleminde şarj malzemelerinin kalınlıklarına bağlı olarak değişen hacim/yüzey alanı oranı da oksidasyonda önemli bir parametredir. Yüzey alanı fazla olan şarjlarda çok daha yüksek oranda oksidasyon görülmektedir. Örnek olarak en yoğun tüketilen ve alüminyum geri dönüşümünde de bir hayli önemli olan UBC'ler çok ince cidarlı malzemeler olduklarından ergitme işlemlerinde oksidasyon en büyük sorun olarak karşımıza çıkmaktadır.

5.2.1 Yüksek Sıcaklıklarda Alüminyum Oksidasyonu

Alüminyum ve alaşımlarının oksidasyonu malzeme yüzey durumuna, alaşım bileşimine ve sıcaklığa bağlı olarak değişkenlikler göstermektedir. Literatürde kaynaklarda oksit formunun ve proses kinetiklerinin de önemli parametreler olduğu belirtilmektedir (Alberto vd., Tenario vd., 2000).

Alüminyum ve alaşımlarının oksidasyonunda ilk aşama amorf, yüzeysel, ince ve mukavim bir tabaka olan alüminyum oksit ($\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$) tabakasının oluşumudur. Bu oluşum ortam ile metal arasında bir koruyucu tabaka rolü üstlenir (Alberto vd., Tenario vd., 2000, Field vd., 1987, Bahadur, 1987, Cachran vd., 1961).

425-450 °C sıcaklık aralığında, amorf oksit tabakası yapısında değişiklik oluşmaya başlar. Bu sıcaklık aralığında oksijen atomlarının metal-oksit ara yüzeyine hızlı difüzyonu ile amorf oksit fazı altında $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ kristal fazının çekirdeklenmesi ve büyümesi görülür. Bunun yanında oksit-gaz(ortam) ara yüzeyinde ise amorf fazdaki $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ büyümesi görülür (Alberto vd., Tenario vd., 2000, Field vd., 1987). Yüksek sıcaklıklarda alüminyum alaşımları üzerindeki oksit tabakası, amorf ve kristal fazların oluşturduğu karışık bir hal alır (Alberto vd., Tenario vd., 2000, Field vd., 1987, Bahadur, 1987, Scamans vd., 1975).

Alüminyum oksidasyonunda alaşımın bileşimi de önemli bir etkindir. Alaşım içinde Mg düşük oranlarda bile olsa oksidasyon prosesini ve oksit oluşumunu etkilemektedir. Özellikle

Al-Mg alaşımlarında 440-540 °C sıcaklıkları arasında oksidasyon prosesi Mg konsantrasyonuna bağlı olarak değişmektedir. Düşük oranlarda Mg ilavesi ile γ -Al₂O₃ çekirdeklenme hızı artmakta ve γ -Al₂O₃ kristal fazının oluşumu 400 °C 'e düşmektedir (Alberto vd.,). Alaşıma %1 Mg oranı üzerinde magnezyum ilavesi yapıldığında γ -Al₂O₃ kristal fazının yerine MgO kristalleri çökmektedir. Bu MgO çökmesi öncelikle oksit-metal arayüzeyinde oluşmaktadır. Ritchie ve arkadaşları yaptıkları çalışmada amorf γ -Al₂O₃ tabakasının yüksek orandaki Mg tarafından redüklenerek MgO oluşabileceği kanısına varmışlardır (Ritchie vd., 1997).

Oksidasyon prosesinin ilerlemesi ile % Mg içeriğine bağlı olarak MgAl₂O₄ oluşumu görülür (Scamans vd., 1975). Bir diğer çalışma, %2-7,1 Mg içeren Al-Mg alaşımları üzerine yapılmış ve MgAl₂O₄ çökmesi gözlemlenmiştir (Bahadur, 1987).

% 3 Mg içeren alüminyum alaşımı üzerinde yapılan bir çalışmada, 200-550 °C arasında oksidasyon prosesi incelenmiştir. Çalışma sonucunda 400 °C üzerinde artan bir oksidasyon hızı, 450-550 °C arasında ise parabolikten linear artışa doğru geçen bir gelişim gözlemlenmiştir (Smeltzer vd., 1958).

Hine ve Guminski yaptıkları çalışmada alaşım içindeki Mg oranının arttıkça oksidasyon hızının da arttığını tespit etmişlerdir (Hine vd., 1960).

Diğer bir çalışmada ağırlıkça % 1,55 ve % 4,5 Mg içeren alüminyum-magnezyum alaşımlarının oksidasyonu prosesini incelemişlerdir. Bu çalışmaları sonucunda oksidasyonun 3 aşamada gerçekleştiğini gözlemlemişlerdir. İlk adımda amorf γ -Al₂O₃ oluşumu, ikinci aşamada kristal fazda γ -Al₂O₃ oluşumu ve son olarak da çekirdeklenme ve büyüme oluşumu görülmüştür (Tenario vd., 2000).

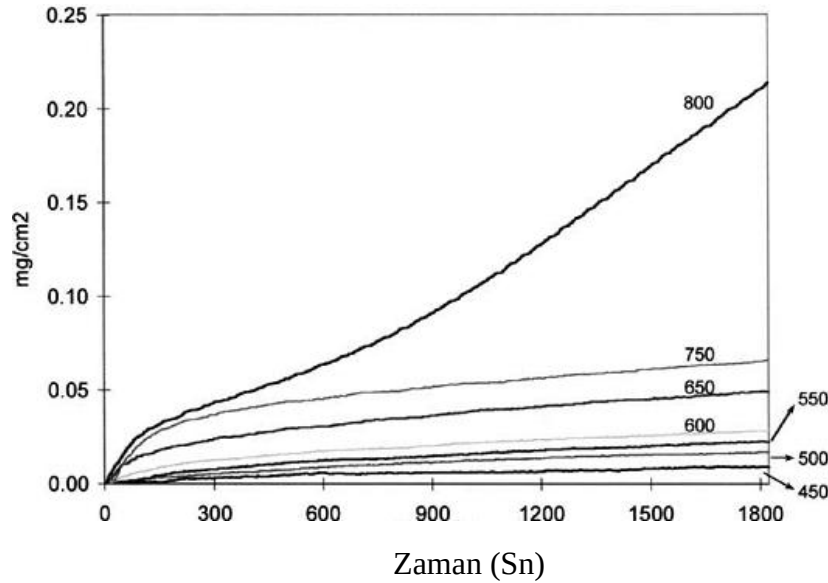
Alüminyum geri dönüşümünde oksidasyon kayıpları büyük yer tuttuğundan bu konuda yapılan çalışmalarda öncelikli olarak oksidasyon kayıplarının azaltılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda Mg içeriği yüksek olan, ince cidarlı olan hurdaların kayıplarının fazla olması sebebiyle numune olarak UBC 'ler tercih edilmiştir. UBC'lerin ağırlıkça % 75'i gövdeden (3004 alaşımı) geri kalanı ise kapaktan (5182 alaşımı) oluşmaktadır. Bu sebeple UBC'i oluşturan 3004 ve 5182 alaşımlarının sıcaklık ve zaman göre değişen oksidasyon eğrileri çıkartılmıştır.

Büyük bir tüketim ve dolayısıyla geri dönüşüm potansiyeline sahip olan UBC'lerin gövde kısımları 3004 kapakları ise 5182 alüminyum alaşımlarında yapılmaktadır. Şekil-5.1 ve Şekil-5.2 söz konusu alaşımların atmosfer ortamında gösterdiği oksidasyonu davranışları

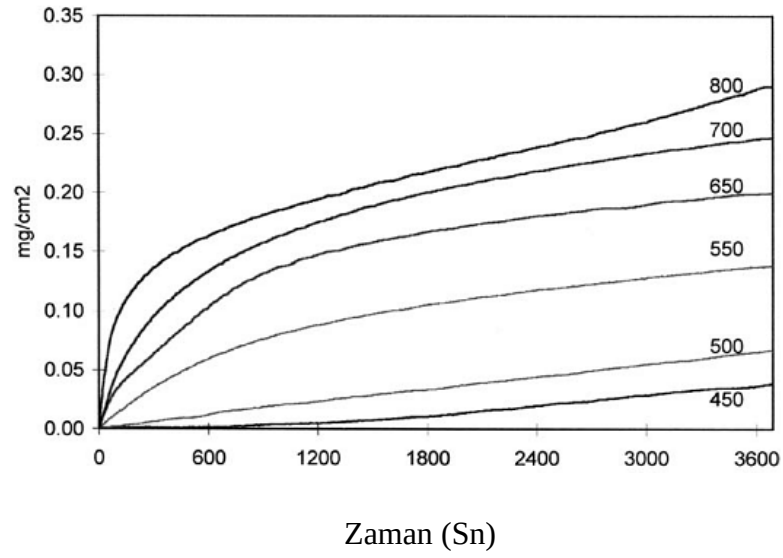
gösterilmektedir. Şekil-5.3 ise gövde ve kapak alaşımlarının 500 ve 700 °C'deki oksidasyon davranışlarını göstermektedir.

Grafiklerin elde edilmesi için yapılan testlerde kapak alaşımı 450-550°C sıcaklığı aralığında katı fazda, 600 °C sıcaklığında katı+sıvı fazda ve üzeri sıcaklıklarda ise sıvı fazdadır.

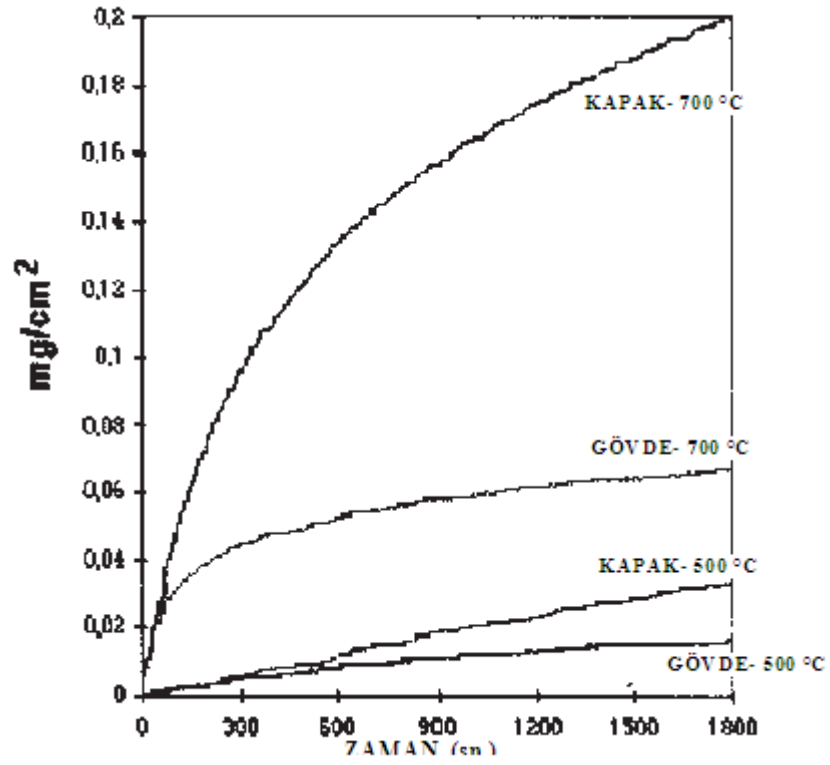
Şekil-5.2 deki grafiğe bakıldığında 450 ve 500 °C eğrileri arasında bir paralellik ve her ikisinin de linear arttığı görülmektedir. Bu eğrilerden oluşan oksit tabakasının koruyucu özelliği olmadığı ve oksidasyonun zamanla malzeme içerisine doğru devam ettiği sonucuna çıkartılabilir. 550 °C ve üzeri sıcaklıklarda ise eğriler parabolik görülmektedir. Bu eğrilerde ise zamanla oluşan oksit tabakasının koruyucu özellik gösterdiği görülmektedir. Gövde alaşımlarının da kapak alaşımlarına benzer bir oksidasyon davranışı gösterdiği Şekil-5.1'de görülmektedir (Tenorio vd., 2000). İki diyagram arasındaki en büyük fark 800 °C'deki eğimdir. Ayrıca her iki alaşım arasındaki eğimlerin farklılık göstermesinin sebebi ise alaşımların içerdikleri magnezyum oranlarıdır (Alberto vd.). Magnezyum alüminyuma göre daha yüksek oksijen afinitesine sahiptir.



Şekil 5.1 3004 alaşımı atmosferde sıcaklığa bağlı oksidasyon davranışı (Alberto vd.)

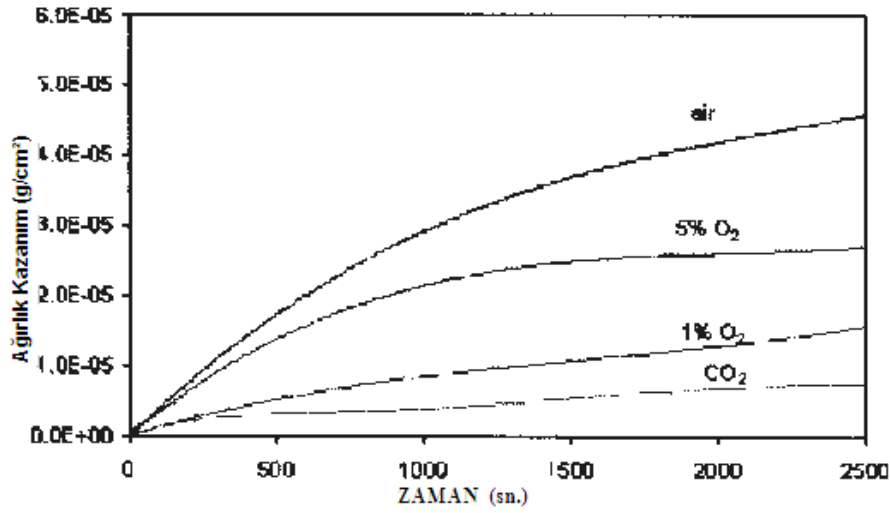


Şekil 5.2 5182 alaşımı atmosferde sıcaklığa bağlı oksidasyon davranışı (Alberto vd.)



Şekil 5.3 Gövde ve kapak alaşımları karşılaştırmalı oksidasyon grafiği (Alberto vd.)

Espinosa ve Tenario yaptıkları çalışmada 3004 alaşımının oksidasyon prosesinde $MgO \cdot Al_2O_3$ ve 5182 alaşımının oksidasyon prosesinde ise MgO oluştuğunu gözlemlemişlerdir (Tenario vd., 2000).



Şekil 5.4 3004 Alaşımının farklı ortamlardaki oksidasyon davranışı (Alberto vd.)

5.3 Flaks Uygulaması

Alüminyum geri dönüşümünde döner fırınlar, reverber fırınlar ve pota fırınları kullanılmaktadır. Ayrıca ergimiş metale flakslama işlemi de gerçekleştirilmektedir. Genellikle katılan flaks miktarı hurda şarjının % 2 'inden düşük olmaktadır. Ancak kullanılan hurdalar ince cidarlı, organik kaplamalı ve alüminyum talaşları ise bu flaks miktarı %2'in üzerine çıkabilmektedir (Alberto vd.).

Tuz flakslarının ana fonksiyonu ergiyik alüminyum ve atmosfer arasında bariyer görevi görerek oksidasyonu engelleyici rol oynamaktadır. Bu flakslardan beklenen özellikler şunlardır (Alberto vd.):

- Düşük ergime sıcaklığı,
- Düşük viskozite,
- Ergiyik metal banyosundan kolay ayrılabilir olması,
- Metal ile reaksiyona girmemesi,
- Ergiyik metal içinde empürite oluşturmaması,
- Düşük maliyettir.

Kullanılan tuz flakslarının prodesteki fonksiyonları ise;

- Ergiyik metali oksidasyona karşı korumak
- Oksit tabakasının kolayca ayrılabilmesini sağlamak,
- Ergiyik alüminyum damlacıklarının büyümesini ve ergiyik havuza karışmasını sağlamaktır. (Alberto vd.)

5.3.1 Flaks Bileşimleri

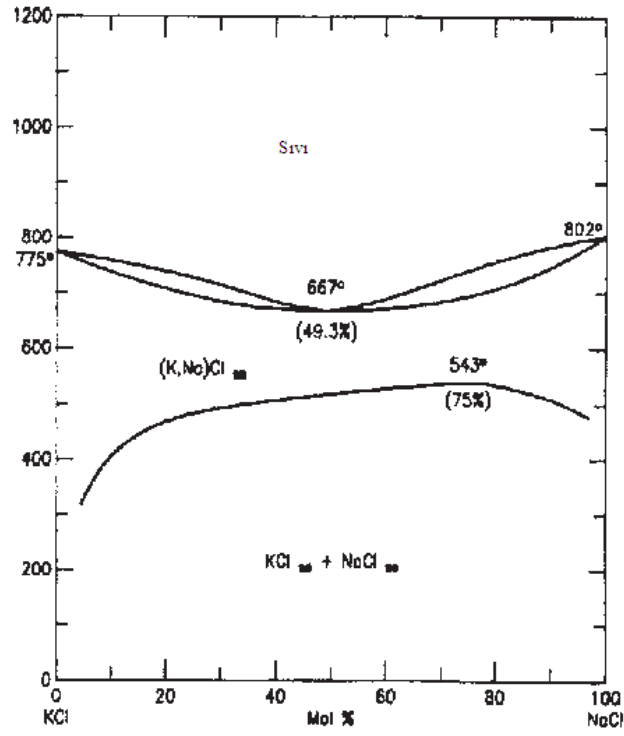
Tuz flaksları temelde sodyum klorür (NaCl) ve potasyum klorür (KCl) karışımlarından oluşmaktadır. NaCl ve KCl eşit molarda ikili ötektik oluşturmaları sebebiyle eşit molarda karıştırılmaktadır. Klorürler yanında florürlerde tuz flaksları içerisine ilave edilmektedir (Johnson vd., 1985).

Mg içeren hurdaların geri dönüşümünde florür içeren flakslar kullanıldığında yapıdaki Mg florürler ile reaksiyona girerek MgF_2 bileşimini oluştururlar. Bu reaksiyon flaks içindeki KF veya NaF ile hurda bünyesindeki Mg arasında gerçekleşmektedir. Termodinamik olarak MgF_2 florür bileşenlerine göre daha karardır. Bu sebeple florürler parçalanarak magnezyum florür oluştururlar.

Flaks karışımı içinde NaCl ve KCl başta olmak üzere, NaF, CaF_2 , Na_3AlF_6 , KF bileşenleri ağırlıklı olarak kullanılmaktadır (Alberto vd.).

NaCl-KCl Sistemi:

NaCl-KCl bileşimi tuz flaks uygulamasının temelidir. Bu bileşen katı halde birbiri hiç karışmamakta ve $667^\circ C$ 'de ve % 49,3 mol KCl oranında ötektik noktaya sahiptir. Bileşenlere tek tek bakıldığında NaCl $802^\circ C$ 'de KCl ise $775^\circ C$ 'de ergimektedir. Ötektik noktasında en düşük ergime sıcaklığına sahip olduğu için genelde eşit molarda NaCl-KCl bileşimi kullanılmaktadır (The American Ceramic Society).



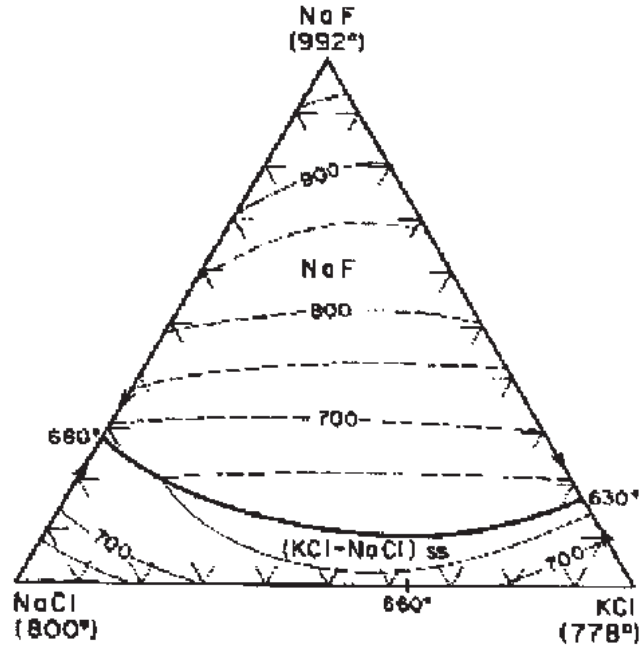
Şekil 5.5 NaCl-KCl Faz Diyagramı (The American Ceramic Society)

NaCl-KCl-NaF Sistemi:

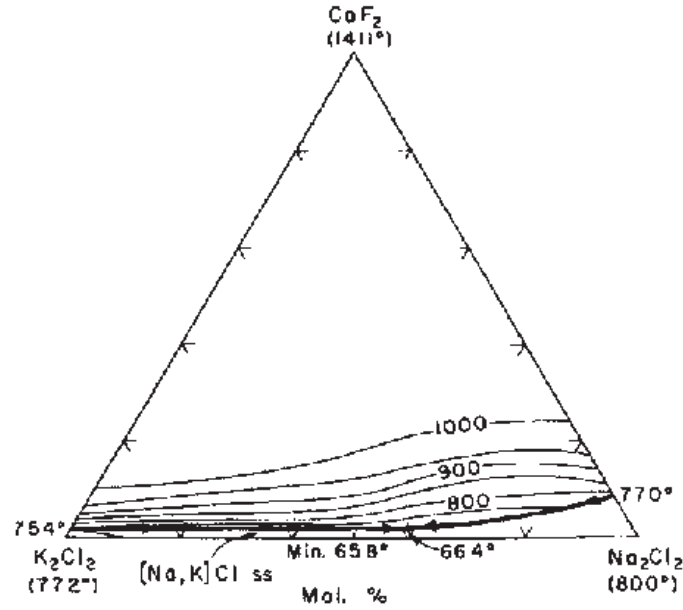
Şekil-5.6 'da da görüleceği üzere NaCl-KF bileşiğine NaF ilavesi ile flaks bileşimi ötektik nokta sıcaklığı düşmektedir (Alberto vd.).

NaCl-KCl-CaF₂ Sistemi:

Eşit molar NaCl-KCl bileşimine CaF₂ ilavesi de NaF ile aynı etkiyi göstermekte ve ötektik ergime noktasını düşürmektedir. Ayrıca ilk kristalleşme alanını da daraltmaktadır (Alberto vd.).



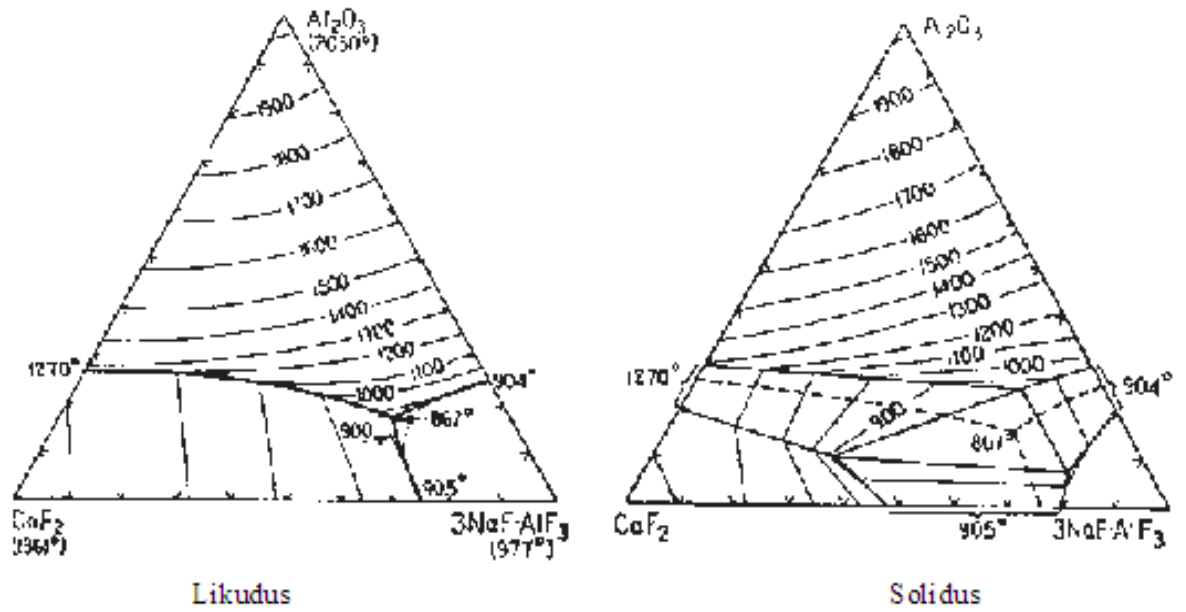
Şekil 5.6 NaCl-KCl-NaF üçlü faz diyagramı (Alberto vd.)



Şekil 5.7 NaCl-KCl-CaF₂ üçlü faz diyagramı (Alberto vd.)

Na₃AlF₆-CaF₂-Al₂O₃ Sistemi:

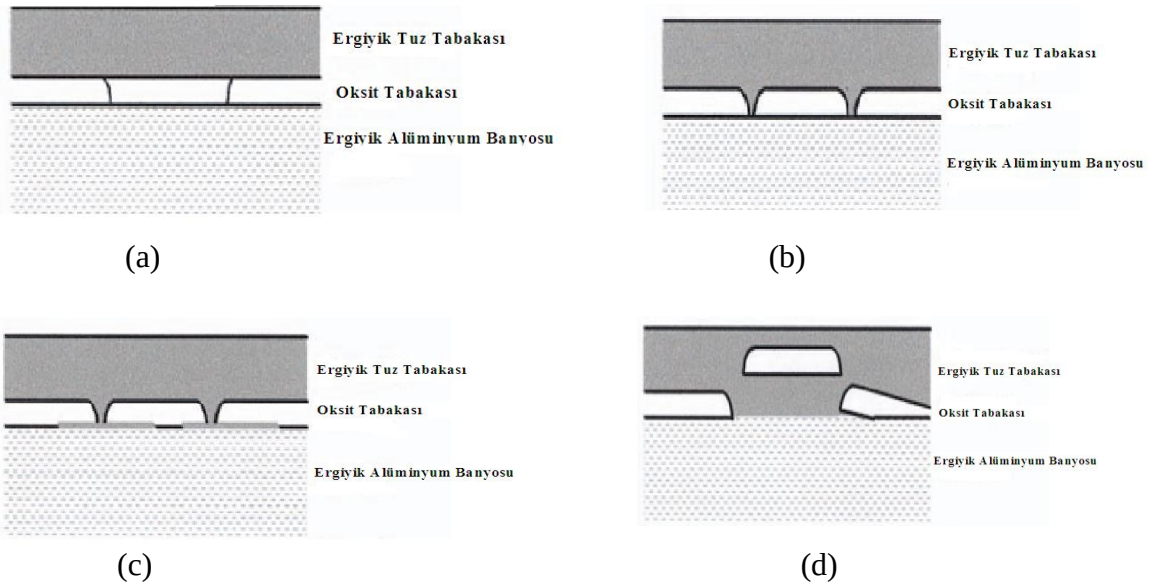
Şekil 5.8'e bakıldığında alüminyumun kalsiyum floride ve kriyolit içerisindeki yüksek çözünürlük oranı görülebilmektedir. Burada aynı zamanda 867 °C'de ötektik reaksiyonun gerçekleştiği de görülmektedir.

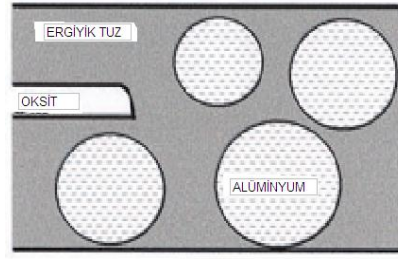


Şekil 5.8 $\text{Na}_3\text{AlF}_6\text{-CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ Faz Diyagramı (Alberto vd.)

5.4 Flaks-Oksit-Metal Etkileşimi

NaCl-KCl tuz flaks bileşimine farklı oran ve bileşikler halinde ilave edilen florürlerden oluşan flakslar oksit tabakasını çözündürerek ergiyik metal havuzuna geri kazandırır. Burada oksit tabakası içerisinde hapsolmuş metalik alüminyum tanecikleri de oksit-flaks etkileşimi ile serbest kalır ve havuza geri kazandırılırlar. Tüm bu etkenler, geri dönüşüm prosesinin verimini artırıcı rol oynamaktadır.





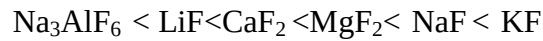
(e)

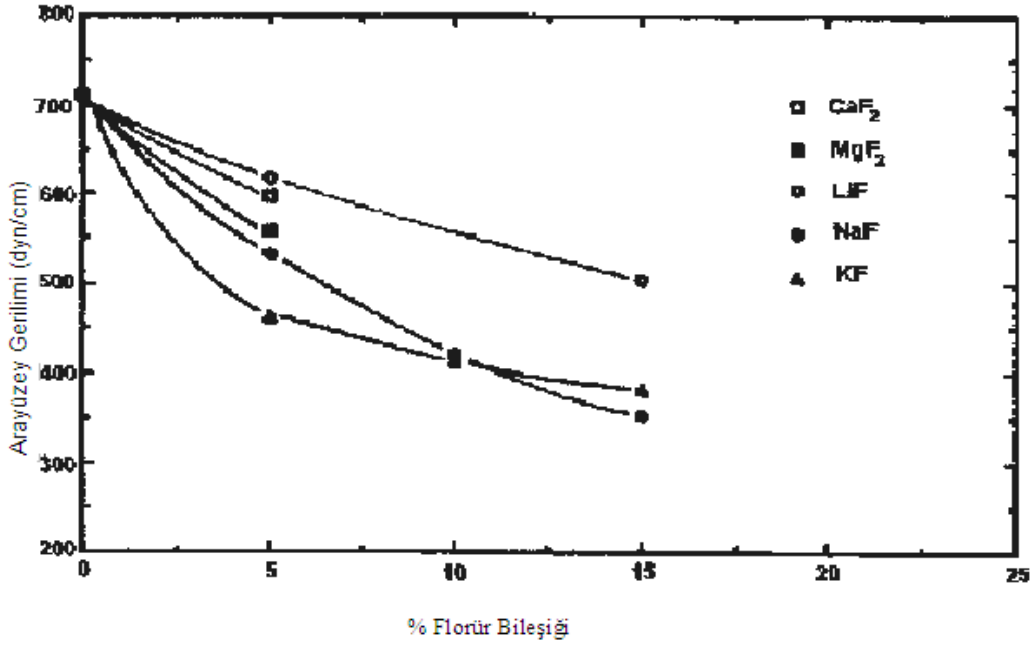
Şekil 5.9 Metal-Oksit-Ergiyik Flaks Etkileşimi (Alberto vd., Tenario vd., 2002)

Geri dönüşüm prosesinde metal-oksit-flaks etkileşimleri 5 aşamada şematik olarak Şekil-5.9 ‘da gösterilmektedir. Şekil 5.9 (a) etkileşimin başlangıç durumudur. Burada flaksın korozyif etkisi öncelikle oksit sınırlarında görülmeye başlar ve sınırlarda kısmi kopmalar oluşur. Şekil 5.9 (c)’ de parçalanmanın etkisiyle flaks-oksit arası arayüzey genişler ve diğer bölgelerde de çözünmeler ve parçalanmalar görülür. Zamanla oksit parçaları ergiyik flaks içerisinde tamamen çözünerek alüminyum tanecikleri oluşur (Tenario vd., 2002).

5.4.1 Flaks Bileşiminin Metal-Flaks Arayüzey Gerilimi Üzerine Etkisi

Eşit molar NaCl-KCl tuz flaks karışımına florür ilavesi ile banyoda sıvı metal ile tuz flaks arasındaki ara yüzey gerilimini düşürmektedir. (Tenario vd., 2002) Tuz flaksı içerisine % 10 oranına kadar katılan florürlerin ara yüzey gerilimini düşürdüğü yapılan deneysel çalışmalarla da kanıtlanmıştır. (Alberto vd.) Literatüre göre yapılan deneysel çalışmalarda farklı florür bileşikler kullanılmış ve farklı etkiler gösterdikleri görülmüştür. Yapılan çalışmalarda elde edilen verime göre florür bileşiklerinin etkinlikleri şu şekilde oluşmuştur (Alberto vd., Tenario vd., 2002):





Şekil 5.10 Eşit Molar NaCl-KCl karışımına florür bileşiklerinin ilavesinin arayüzey gerilimi üzerindeki etkisi (Alberto vd.)

Tuz flaksı içerisinde kullanılan florür bileşiklerinin oranı % 10'un üzerine çıktığında ise arayüzey geriliminin düşmesinde NaF'nin KF'den daha etkin olduğu görülmüştür (Alberto vd.).

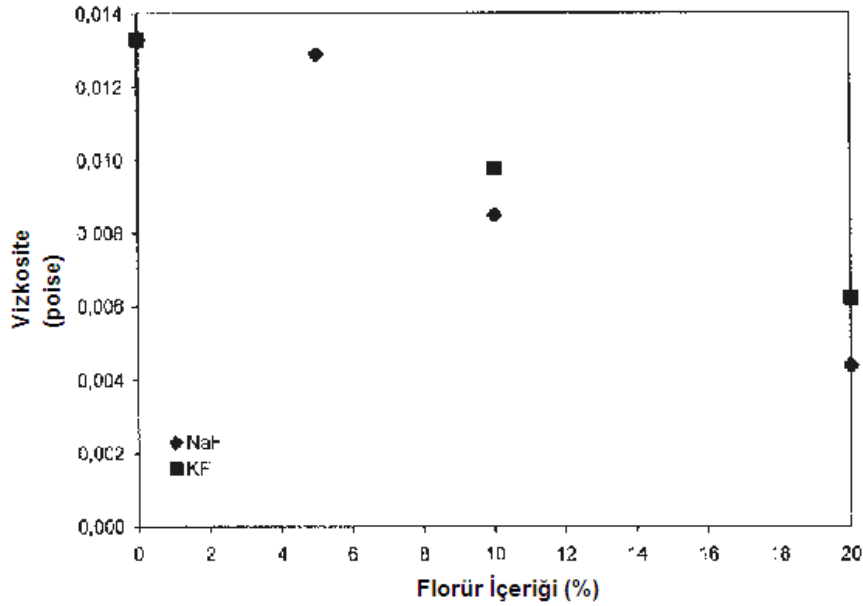
Arayüzey gerilimine etki eden diğer bir faktör ise metalin kimyasal bileşimi ve içindeki aktif element varlığıdır. Literatürde aynı flaks bileşimleri farklı alaşımlara uygulanarak arayüzey gerilimleri ölçülmüştür. Mg içeriği daha yüksek olan alaşımlara daha düşük arayüzey gerilimi elde edilmiştir. Buradan elde edilen veriler ışığında yüzey aktif elementlerinin aktivitesi arttıkça arayüzey geriliminin düştüğü sonucuna varılmıştır (Alberto vd., Tenario vd., 2002).

5.4.2 Flaks Bileşiminin Akışkanlığa Etkisi

Temelde NaCl-KCl olan flaks bileşimlerine değişik oranlarda florür bileşiklerini de katılmaktadır. Florür bileşiklerini flaksın ergime sıcaklığını düşürmekte ve akışkanlığını arttırmaktadır.

Yapılan literatür araştırmalarında farklı florür kaynaklarının farklı oranlarda kullanılması ile ergiyik flaks viskozitesi değişimi incelenmiştir. Şekil-5.11 ve Şekil 5.12 iki farklı sıcaklıkta elde edilen veriler gösterilmektedir. Grafiğe göre flaks içindeki florür bileşiklerinin oranı arttıkça flaks viskozitesinin düştüğü görülmektedir. Ayrıca kullanılan 2 farklı florür bileşiği

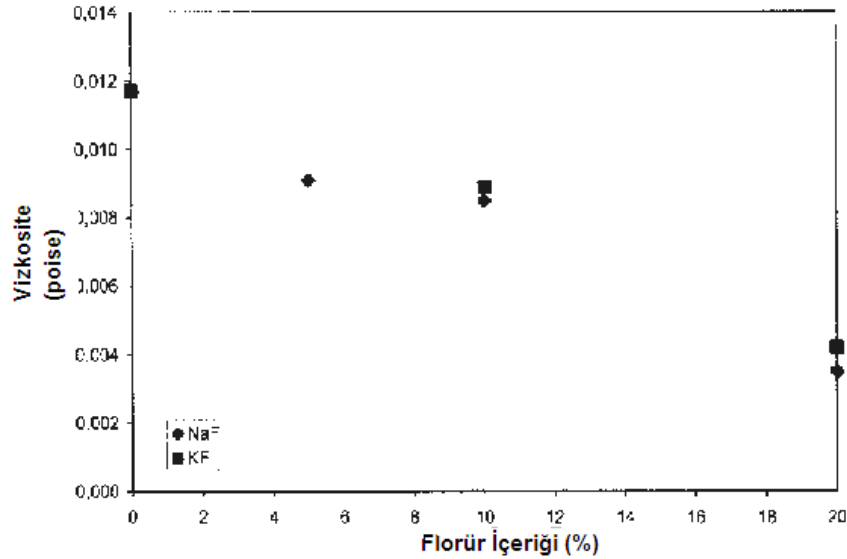
için NaF'nin vizkosite üzerinde daha etkin olduğu sonucu çıkarılabilmektedir. Ayrıca iki farklı sıcaklıkta yapılan denemeler sonucunda sıcaklığın arttıkça vizkositenin de düştüğü görülmektedir (Alberto vd, Tenario vd., 2001).



Şekil 5.11 760 °C 'de florür bileşikler ilavesinin eşitmolar NaCl-KCl akışkanlığı üzerine etkisi (Alberto vd., Tenario vd., 2001)

Florür bileşikler flaks vizkositesini düşürmesinin yanı sıra flaksın alümina çözebilirliğini de arttırmaktadır. Alüminanın klorür bileşikler içindeki çözünürlüğü florürlü bileşikler içindeki çözünürlüğünden daha yüksektir. Bu sebeple flaks içine katılan florür bileşikler oksit tabakası parçalanmasında daha etkin rol almakta ve geri dönüşüm verimliliğini arttırmaktadır (Alberto vd., Tenario vd., 2001).

NaCl-KCl flaksı florür bileşni katılmaksızın ancak % 1 Mg 'den daha düşük Mg içeriğine sahip alüminyum alaşımları için kullanılmaktadır. % Mg içeriği daha yüksek alaşımların geri dönüşümünde NaCl-KCl bileşiği oluşan oksit tabakasını parçalayamamaktadır. Ancak Mg içeren alaşımlarında geri dönüşümünde klorür-florür bileşiklerinde oluşan flaks kullanımı gerekmektedir (Ye vd., 1995).



Şekil 5.12 810 °C 'de florür bileşikler ilavesinin eşitmolar NaCl-KCl akışkanlığı üzerine etkisi (Alberto vd., Tenario vd., 2001)

Flaks viskozitesinin düşmesi oksit içinde hapsolmuş alüminyum taneciklerinin hareketini kolaylaştırmakta ve taneciklerin birleşerek büyümesini sağlamaktadır. Bu sebeple kayıplar azalmakta ve geri dönüşüm verimi arttırmaktadır (Tenario vd., 1997).

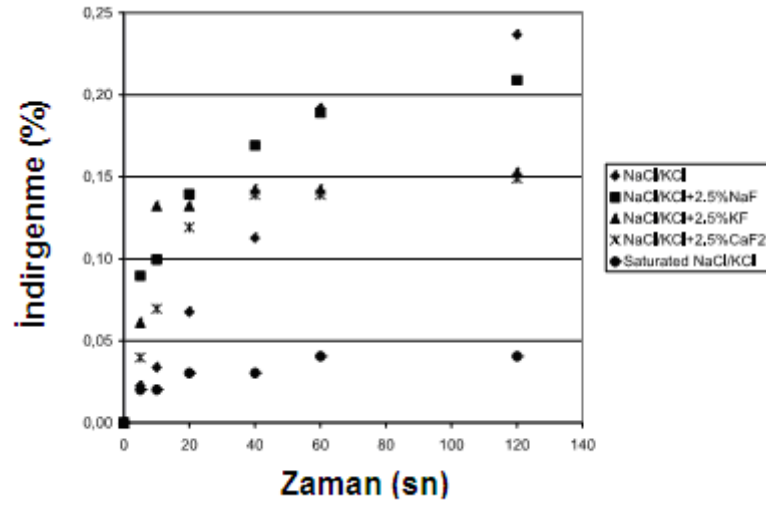
5.4.3 Flaks-Oksit Etkileşimi

Geri dönüşüm prosesinde oluşan oksit tabakaları ergiyik flaks tarafından çözündürülmekte ve parçalanmaktadır. Flaks bileşimi bu çözündürme işlemini direk olarak etkilemektedir. Flaks içinde kullanılan florür bileşikler oksit tabakalarını çözündürmekte ve metal banyosuna kazandırmaktadır.

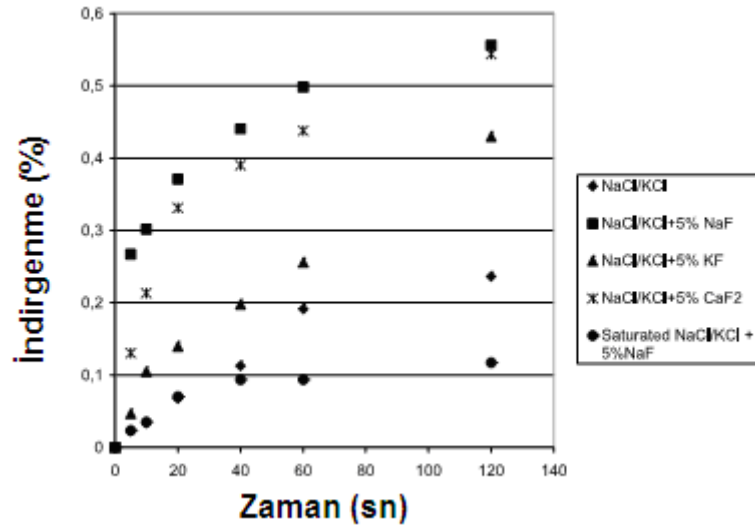
Alüminyum oksitin flaks içerisinde kullanılan Na_3AlF_6 , NaF, CaF_2 vb. florür bileşikler içerisinde çözünebilirliği sıcaklıklara göre değişmektedir. Örnek olarak Na_3AlF_6 955 °C'de ağırlıkça % 12 Al_2O_3 , NaF 985 °C'de ağırlıkça % 5 Al_2O_3 , CaF_2 ise 1275 °C'de ağırlıkça %25 Al_2O_3 çözündürebilmektedir (Alberto vd.).

Literatürde Tenario ve Delgado tarafından gerçekleştirilen çalışmada flaks bileşimleri ve alümina çözünürlüğü incelenmiştir. Kullanılan farklı oran ve bileşimlerde florürlerin alüminanın indirgenmesi üzerine etkileri analiz edilmiştir. Çalışma sonucunda NaF'nin alümina çözünürlüğünü en çok etkileyen flaks bileşeni olduğu görülmüştür. Sadece eşit molar NaCl-KCl kullanıldığı taktirde alümina çözünürlüğünün çok düşük seviyelerde olduğu sonucu elde edilmiştir (Tenario vd., 2001). NaF, CaF_2 , KF ve eşit molar NaCl-KCl flakslarının

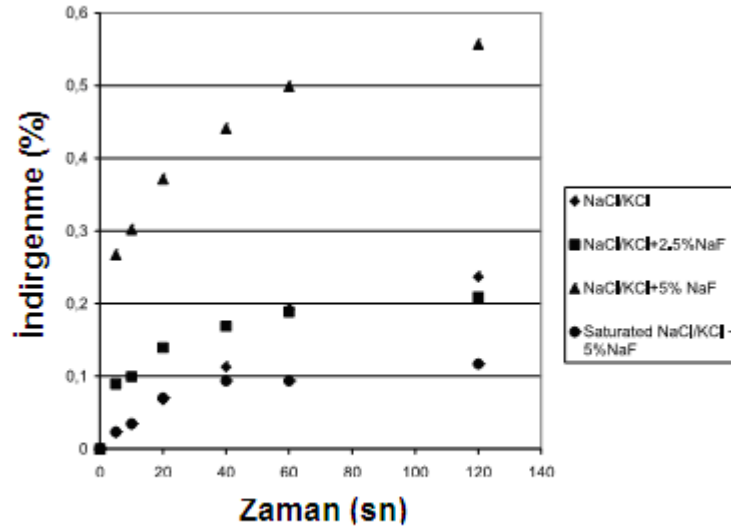
alümina indirgenmeleri üzerindeki etkileri Şekil 5.13, Şekil 5.14 ve Şekil 5.15 de görülmektedir.



Şekil 5.13 % 2,5 oranında farklı florürlerin Al₂O₃ indirgenmesi üzerindeki etkileri (Tenario vd., 2001)



Şekil 5.14 % 5 oranında farklı florürlerin Al₂O₃ indirgenmesi üzerindeki etkileri (Tenario vd., 2001)



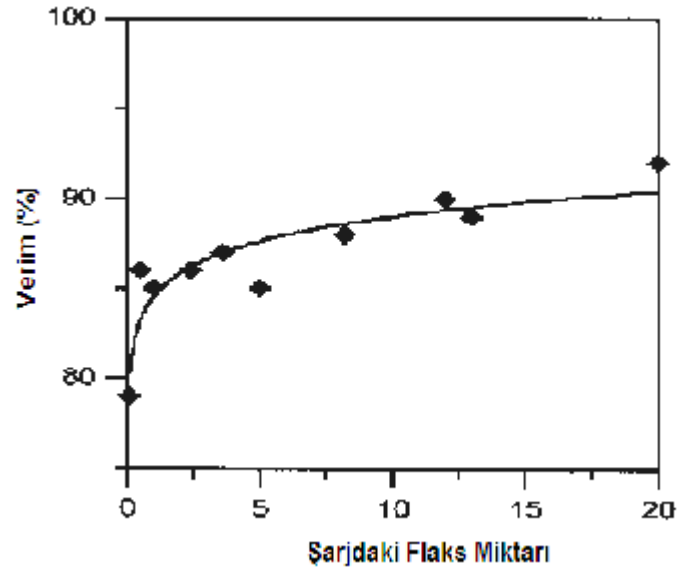
Şekil 5.15 % 2,5 ve % 5 oranında farklı florürlerin Al_2O_3 indirgenmesi üzerindeki etkileri (Tenario vd., 2001)

5.4.4 Flaks Bileşiminin Geri Dönüşüm Verimi Üzerindeki Etkisi

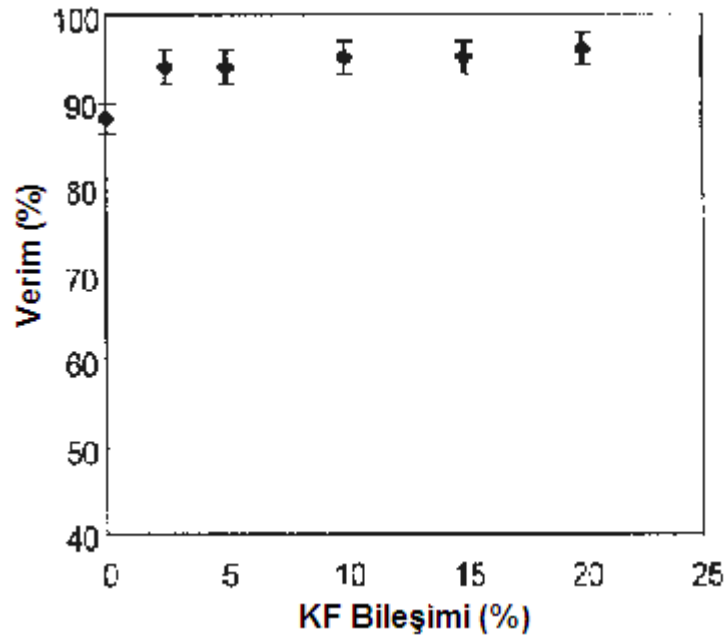
Yukarıda da bahsedildiği üzere flaks bileşimi, fazlar arası arayüzey gerilimini düşürmekte ve flaks vizkositesini düşürerek akışkan bir flaks elde edilmesini sağlamaktadır. Tüm bu etkileri alüminum alaşımlarının geri dönüşüm verimlerini arttırmaktadır.

Flaks içerisinde kullanılan florür konsantrasyonu geri dönüşüm verimliliğini direk olarak etkilemektedir. Bu konuda literatürde farklı öngörüler bulunmaktadır. Bir çalışmada % 10 florür konsantrasyonuna kadar geri dönüşüm verimliliğini arttığı görülmüştür. % 10 ‘dan daha yüksek florür konsantrasyonlarına sahip flaksların kullanımında ise kullanılan florür bileşiklerine göre verimde artış görülmemiştir. CaF_2 ve MgF_2 uygulamalarında % 10’un üzerinde kullanıldıklarında verim azalma gözlemlenmiştir. NaF ve KF uygulamalarında ise herhangi bir verim değişikliği görülmemiştir (Von Linden vd., 1988).

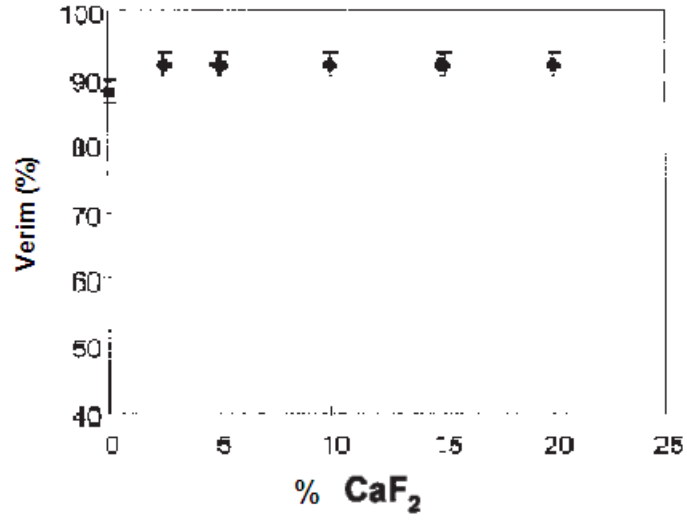
Diğer bir çalışmada ise % 2,5 florür konsantrasyonuna sahip flaks kullanımının verim artışı için yeterli olacağı sonucu elde edilmiştir (Tenario vd., 2002).



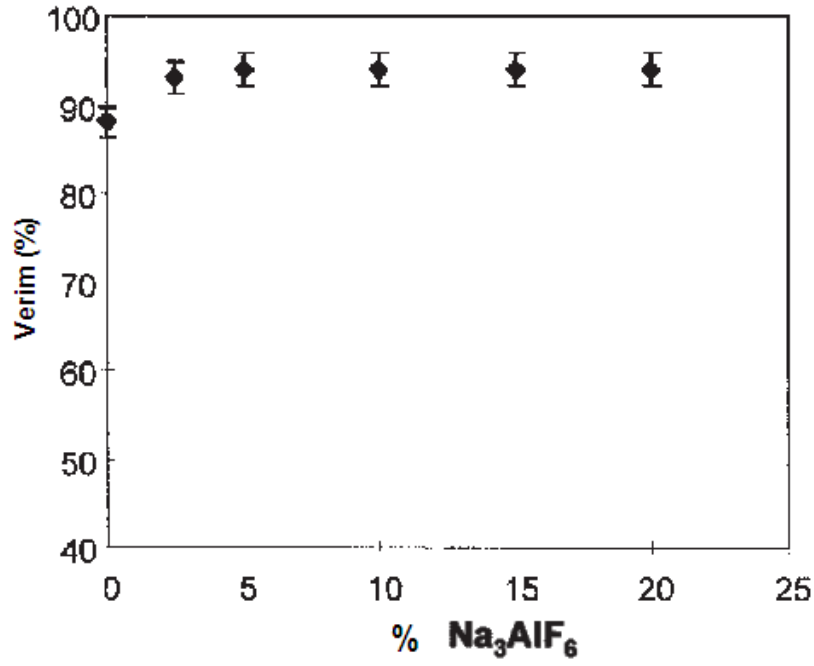
Şekil 5.16 Eşit molar NaCl-KCl flaks uygulamasının geri kazanım verimi üzerine etkisi (Tenario vd., 1994)



Şekil 5.17 Flaks içerisindeki KF bileşim oranının geri kazanım verimi üzerine etkisi (Tenario vd., 1997)



Şekil 5.18 Flaks içerisindeki CaF_2 bileşim oranının geri kazanım verimi üzerine etkisi (Tenario vd., 1997)



Şekil 5.19 Flaks içerisindeki Na_3AlF_6 bileşim oranının geri kazanım verimi üzerine etkisi (Tenario vd., 1997)

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneysel çalışmalar ile UBC'lerin geri dönüşüm prosesi, laboratuvar ölçekli gerçekleştirilmiş olup proses verimliliğinin maksimize edilmesi amaçlanmıştır. Proses verimliliği yanında alınan döküm kalitesi incelenmiştir.

Deneysel çalışmalar kapsamında alüminyum meşrubat kutuları kesme, ayırma, presleme, ön ısıtma ve flaks uygulaması ile ergitme işlemlerine tabi tutulmuştur. Elde edilen ergiyik alüminyumdan test numuneleri dökülerek test ve analizler gerçekleştirilmiştir.

Denemelerde ön ısıtma işleminde süre ve sıcaklık, ergitme işleminde flaks miktarı, bileşimi ve sıvıya katı şarj parametreleri dikkate alınmıştır. Elde edilen dökümlerden çekme testi, kimyasal analiz ve metalografik inceleme için numune alınarak test ve analizler uygulanmıştır.

Yapılan denemeler ve test, analizler ile geri dönüşüm prosesi verimliliği, proses parametrelerinin verim üzerine etkileri, döküm kalitesi incelenmiştir.

6.1 Kullanılan Malzemeler

6.1.1 Meşrubat Kutuları (UBC)

Kullanım ömrünü tamamlamış olan meşrubat kutuları toplanarak deneysel çalışmalarda kullanılmıştır. Meşrubat kutuları 2 parçadan oluşmaktadır. Kutuların taban ve gövde kısımları 3004 serisi kapak kısmı ise 5182 serisi alüminyum alaşımı malzemelerdir. Malzemelerin kimyasal bileşimleri Çizelge 6.1 'de verilmiştir.

Çizelge 6.1 3004 ve 5182 Alüminyum alaşımları bileşimi (Car, Yayım:2)

Alaşım No	Si (%)	Fe (%)	Cu (%)	Mn (%)	Mg (%)	Cr (%)	Zn (%)	Ti (%)
3004	0,20	0,70	0,25	1-1,5	0,8-1,3	-	0,25	-
5182	0,20	0,35	0,15	0,2-0,5	4,0-5,0	0,10	0,25	0,10



Şekil 6.1 Kullanılmış meşrubat kutuları

6.1.2 İşlem Hurdaları

İşlem hurdaları levha alüminyum üretimi gerçekleştiren bir firmanın kenar kesme işlem hurdalarından toplanmıştır. Toplanan hurdalar 1xxx serisi alüminyum alaşımı olup kimyasal bileşimleri Çizelge 6.2’de verilmiştir.

Çizelge 6.2 İşlem hürdası kimyasal bileşimi

Si (%)	Fe (%)	Al (%)	Mn (%)	Mg (%)	Cr (%)	Zn (%)	Ti (%)
0,15-0,20	0,35-0,40	99,30	-	-	-	0,25	0,20

6.1.3 Flaks Kimyasalları

Flaks kimyasalları döküm uygulamasında proses verimliliğinin artırılması amacıyla kullanılmıştır. Flaks; KCl, NaCl, Na_3SiF_6 , CaF_2 , KBF_4 , CaCO_3 kimyasallarından oluşmaktadır.

6.2 Kullanılan Cihazlar

6.2.1 Numune Pres Kalıbı

Kesilmiş UBC’lerin preslenerek balya haline getirilmesi için 3 bileşenli 4 cm çapında silindir bir kalıp kullanılmıştır. Deneylerde Şekil 6.2 ‘de verilen kalıp kullanılmıştır.



Şekil 6.2 Numune kalıbı

6.2.2 Hidrolik Pres Makinesi

Meşrubat kutularının kalıpta preslenebilmesi için 30 ton yük uygulayabilen hidrolik pres makinesi kullanılmıştır. Deneylerde Şekil 6.3 'de verilen hidrolik pres makinesi kullanılmıştır.



Şekil 6.3 Hidrolik Numune Presi

6.2.3 Elektrik Dirençli Fırın

Meşrubat kutularının ön ısıtma işlemi için elektrik dirençli su soğutmalı 1000-1200 °C'ye

kadar çıkabilen fırın kullanılmıştır. Ön ısıtma deneylerinde Şekil 6.4’de verilen elektrikli fırın kullanılmıştır.



Şekil 6.4 Elektrik dirençli ön ısıtma fırını

6.2.4 İndüksiyon Ocağı

Ergitme denemeleri için LEPEL marka 15KW’lık çekirdeksiz indüksiyon ocağı kullanılmıştır. Ergitme işlemlerinde 850-900 °C’ye kadar çıkılmıştır. Ergitme deneylerinde kullanılan ocak Şekil 6.5 ‘de gösterilmektedir.



Şekil 6.5 İndüksiyon ergitme ocağı

6.2.5 Döküm Potası

Ergitme denemelerinde A4 ebatında 1-1,5 kg ergiyik alüminyum alabilen SiC pota kullanılmıştır.

6.2.6 Döküm Kalıpları

Ergitme denemelerinde ergiyik metalden numune alınabilmesi için kimyasal analiz kokil

kalıbı, çekme testi numunesi için özel kokil kalıp kullanılmıştır. Ergitme işleminden elde edilen ergiyik metal, Şekil 6.6’da verilen kalıplara dökülmüştür.



Şekil 6.6 Numune döküm kalıpları

6.2.7 Nervürlü Demir Çubuk Karıştırıcı

Ergitme işlemlerinde karıştırma işlemini gerçekleştirmek için nervürlü inşaat demirinin yüzeyi grafit ile kaplanarak kullanılmıştır.

6.2.8 Hassas Terazı

Flaks tartımları için hassas terazi kullanılmıştır.

6.2.9 Çekme Test Cihazı

Dökümden alınan çekme numunelerinin testi için mekanik çekme test cihazı kullanılmıştır.

6.2.10 Mikroskop Analizi

Dökümden alınan numunelerin metalografik incelemesi ve mikroyapı fotoğraflarının alınması için kullanılmıştır.

6.2.11 Kimyasal Analiz Cihazı

Dökümden alınan numunelerin kimyasal analiz testleri için spektrometre kimyasal analiz cihazı kullanılmıştır.

6.3 Deneyler

6.3.1 Meşrubat Kutuları Kesme ve Ayırma

Deneylerde kullanılmak üzere toplanan UBC'ler boş halde 15-18 gr ağırlığında ölçülmüştür. Bu kutular, 3-5 cm ebatlarında metal makası ile kesilerek boyut indirgeme uygulanmıştır. Kesme işleminde öncelikli olarak kutuların içinden çıkan organik veya inorganik atıklar ayrıştırılmıştır. Metal parçaları üzerinden mıknatıs gezdirilerek demir bileşenleri yapıdan uzaklaştırılmıştır (açma halkası vb.).

6.3.2 Presleme

3-5 cm ebatlarında kesilen UBC parçaları 4 cm çapında silindirik bir kalıpta preslenerek 2-3 cm yüksekliğinde balyalar elde edilmiştir (Şekil 6.7). 30 ton kuvvet altında preslenen balyalarda birim alana uygulanan yük hesaplanmıştır.

Toplam yüzey alanı: $\pi * r^2 = 3,14 * 2^2 = 12,56 \text{ cm}^2$

Uygulanan toplam yük : 30 ton = 30000 kg

$30000 * 9,81 / 12,56 * 100 = 234,315 \text{ N/mm}^2 = 234,315 \text{ Mpa}$



Şekil 6.7 Preslenmiş UBC balyaları

6.3.3 Ön Isıtma Deneyi

Preslenmiş meşrubat kutuları, boyalarının ve bünyelerindeki organiklerin giderilmesi

amacıyla elektrikli fırın içerisinde ön ısıtma işlemine tabi tutulmuştur. Denemeler kapsamında ön ısıtma işlemi sıcaklığı ve süresi parametreleri ele alınmıştır. İşlem süresinin belirlenmesi için numuneler fırına şarj edilmiş ve belli aralıklarla kütledeki değişim incelenmiştir. Bu işlem 3 farklı sıcaklıkta (400°C, 450°C, 500 °C) gerçekleştirilmiştir.

İşlem süresi üzerine yapılan çalışmada 400°C, 450°C, 500 °C olmak üzere 3 farklı sıcaklıkta beşer adet meşrubat kutusu preslenerek fırına şarj edilmiştir. Belli süreler sonunda her bir kutu fırından çıkartılarak başlangıç kütlesi ile arasında kütle değişim oranı hesaplanmış ve analiz edilmiştir. Deney verilerine göre optimum ön ısıtma süresi belirlenmiş ve bu veriler ışığında ön ısıtma sıcaklığı optimizasyonu gerçekleştirilmiştir.

Ön ısıtma işlem sıcaklığının belirlenmesi amacıyla 2 farklı sıcaklıkta (450°C, 500°C) ön ısıtma işlemi gerçekleştirilmiştir. İşlemlerden elde edilen numuneler, aynı parametrelerde ergitme işlemine tabi tutulmuştur. Geri kazanım ve ergitme verimi değerleri hesaplanarak ön ısıtma işlem sıcaklığının etkisi incelenmiştir.

6.3.4 Ergitme İşlemi Deneyi

Ergitme denemelerinde flaks oranı, bileşimi ve sıvı metal havuzu-katı şarj oranları değişken parametreleri ile farklı numune üretimleri gerçekleştirilmiştir. Denemeler süresince öncelikle optimum flaks oranı ve bileşiminin belirlenmesi amaçlanmış olup elde edilen sonuçlara göre optimum flaks bileşimi ve oranı ile sıvı metal havuzu-katı şarj oranları denenmiştir. Sıvı metal havuzu, bileşimi önceki bölümlerde verilen işlem hurdaları ile oluşturulmuştur. Flaks uygulaması parametreleri Çizelge 6.3’de, havuz parametreleri ise Çizelge 6.4’de verilmiştir.

Ergitme denemeleri 15 Kw’lık çekirdeksiz indüksiyon ocağında A4 boyutunda SiC bir pota içinde gerçekleştirilmiştir. Ergitme denemelerinde öncelikli olarak flaks oranı ve bileşiminin belirlenmesine yönelik denemeler %50 sıvı metal havuzu - %50 katı şarj şartlarında gerçekleştirilmiştir. Öncelikli olarak işlem hurdaları 750-800 °C arası bir sıcaklığa çıkılarak ergitilmiştir. Elde edilen sıvı metal havuzuna ön ısıtma işleminden çıkan UBC balyaları şarj edilmiş ve flaks uygulaması gerçekleştirilmiştir. Flaks uygulaması 850-900°C aralığında gerçekleştirilmiştir. Flaks uygulamasının ardından pota içindeki sıvı metal yüzeyi grafit kaplanmış nervürlü demir ile 3-5 dakika boyunca karıştırılmıştır. Karıştırma işleminden sonra pota içindeki metalin 850°C’de dökümü gerçekleştirilmiştir. Döküm işlemi çekme testi, kimyasal analiz ve mikro yapı incelemesi için özel hazırlanan kokil kalıplara yapılmıştır.

Çizelge 6.3 Flaks uygulama oranı ve bileşimleri

Flaks Oranı (%)	Klorür Oranı (%)	Florür Oranı (%)	NaCl (%)	KCl (%)	Na ₃ SiF ₆ (%)	CaF ₂ (%)	KBF ₄ (%)	CaCO ₃ (%)
0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	97,5	2,5	48,75	48,75	0,625	0,625	0,625	0,625
1	95	5	47,5	47,5	1,25	1,25	1,25	1,25
1	90	10	45	45	2,5	2,5	2,5	2,5
1	80	20	40	40	5	5	5	5
2,5	95	5	47,5	47,5	1,25	1,25	1,25	1,25
2,5	92,5	7,5	46,25	46,26	1,875	1,875	1,875	1,875
2,5	90	10	45	45	2,5	2,5	2,5	2,5
2,5	85	15	42,5	42,5	3,75	3,75	3,75	3,75
2,5	80	20	40	40	5	5	5	5
5	95	5	47,5	47,5	1,25	1,25	1,25	1,25
5	90	10	45	45	2,5	2,5	2,5	2,5
5	80	20	40	40	5	5	5	5
7	95	5	47,5	47,5	1,25	1,25	1,25	1,25
7	90	10	45	45	2,5	2,5	2,5	2,5
7	80	20	40	40	5	5	5	5

Flaks bileşimi ve oranı değişkenleri üzerine yapılan denemeler sonucunda optimum teknik ve mali sonuçların elde edildiği değişkenler belirlenip havuz oranı denemeleri gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 6.4 Havuz oranı denemeleri değişkenleri

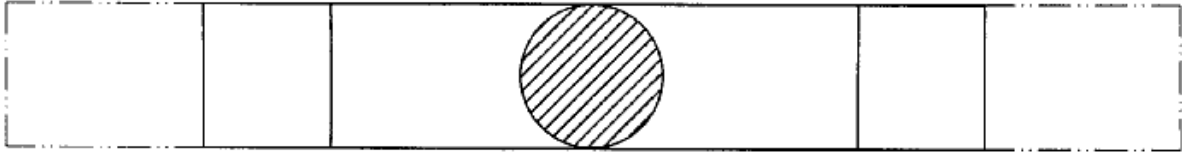
Havuz Miktarı (%)	Şarj Miktarı (%)
0	100
10	90
30	70
50	50

6.3.5 Kimyasal Analiz

Ergitme denemelerinden elde edilen numuneler spektrometre cihazında kimyasal analiz testine tabi tutulmuştur. Numunelerin kimyasal bileşimleri proses parametrelerinin numune bileşimleri üzerindeki etkisini gözlemlemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Bu sebeple elde edilen sonuçlar UBC ve işlem hurdası bileşimleri ile karşılaştırılarak proses parametrelerinin numune bileşimleri üzerindeki etkileri incelenmiştir.

6.3.6 Çekme Testi

Ergitme denemelerinden elde edilen numuneler TS 138 EN 10002-1 Metalik Malzemeler Çekme Deneyi Standardı'na göre hazırlanarak çekme testine tabi tutulmuştur. Numuneler dairesel kesitli 10 mm çapında ve 50 mm boyunda olup standartta belirtilen ölçülere göre işlenmiştir. Çekme testi deneme numuneleri arasında çekme dayanım değerlerinin karşılaştırılması ve proses parametrelerinin bu parametre üzerindeki etkilerinin incelenmesi için gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6.8 Çekme numunesi kesiti

6.3.7 Metalografik İnceleme

Metalografik inceleme, denemeler ile elde edilen numunelerin iç yapılarının incelenmesi için uygulanmıştır. Proses parametrelerinin ve yapılan deneme çalışmalarının iç yapıya etkisi bu yöntem ile gözlemlenmiştir.

Metalografik inceleme için bazı döküm numuneleri seçilmiştir. Metalografik inceleme için dökümden alınan numuneler numune hazırlama işlemlerine tabi tutulmuştur. Numunelere zımparalama, parlatma ve dağlama işlemleri uygulanmıştır. Elde edilen numuneler sırası ile 60, 120, 180, 220, 320, 400, 600, 800, 1000, 1200 no'lu zımparalarda zımparalanmıştır. 10 aşamalı zımparalama işleminden sonra kalın ve ince parlatma işlemi uygulanmıştır. Parlatma işleminden geçirilen numuneler “Keller” kimyasalı ile dağlanarak mikroskop altında

incelenmiştir. Numunelerden 200 büyütme altında görüntüler elde edilmiştir.

6.4 Deneysel Çalışma Sonuçları

6.4.1 Ön Isıtma Süresi ve Sıcaklığı

UBC'lerin ön ısıtma işlemlerinde öncelikli olarak süre optimizasyonunu gerçekleştirmek üzere denemeler gerçekleştirilmiştir. UBC balyaları 3 farklı sıcaklıkta (400°C, 450°C ve 500°C) ön ısıtma işlemine tabi tutulmuş ve belli aralıklarla balyaların kütle ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Böylelikle işlem boyunca kütlelerdeki azalma takip edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 6.5 Çizelge 6.6 ve Çizelge 6.7'de verilmiştir.

Çizelge 6.5 Ön ısıtma denemeleri sonuçları (400 °C)

İşlem Süresi (Dakika)	Başlangıç Ağırlığı (gr)	İşlem Sonundaki Ağırlık (gr)	% Değişim	% Kalan Kütle
15. dak	14,21	13,35	6,1%	93,9%
20.dak	14,3	13,28	7,1%	92,9%
25.dak	14,63	13,4	8,4%	91,6%
30.dak	15,27	13,48	11,7%	88,3%
35.dak	16,45	13,93	15,3%	84,7%

Çizelge 6.6 Ön ısıtma denemeleri sonuçları (450 °C)

İşlem Süresi (Dakika)	Başlangıç Ağırlığı (gr)	İşlem Sonundaki Ağırlık (gr)	% Değişim	% Kalan Kütle
15. dak	15	12,95	13,7	86,3
20.dak	15,06	12,72	15,5	84,5
25.dak	15,74	12,91	18,0	82,0
30.dak	16,36	12,89	21,2	78,8
35.dak	16,52	12,9	21,9	78,1

Çizelge 6.7 Ön ısıtma denemeleri sonuçları (500 °C)

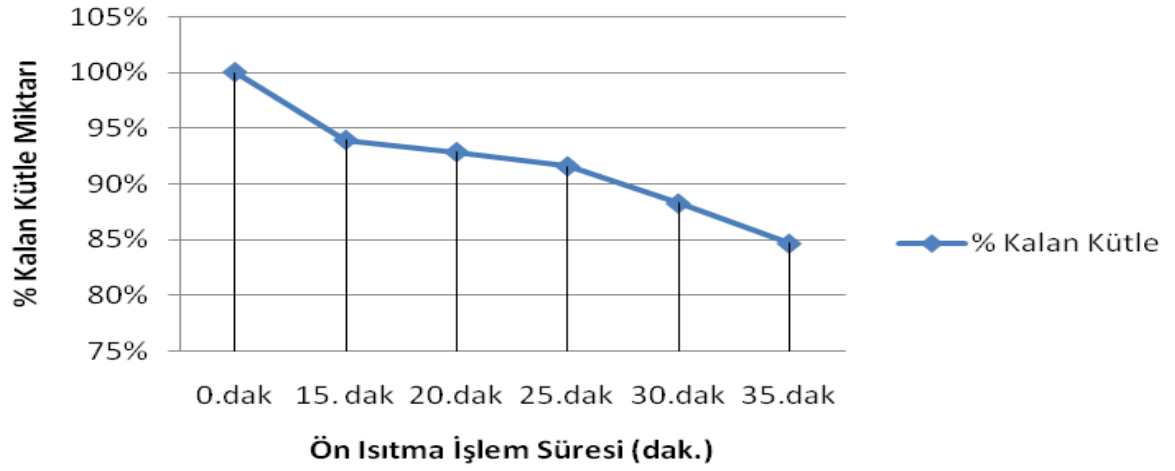
İşlem Süresi (Dakika)	Başlangıç Ağırlığı (gr)	İşlem Sonundaki Ağırlık (gr)	% Değişim	% Kalan Kütlev
15. dak	13,42	13	3,1	96,9
20.dak	15,1	12,8	15,2	84,8
25.dak	16,28	12,89	20,8	79,2
30.dak	16,01	12,96	19,	80,9
35.dak	15,82	12,9	18,5	81,5

Ön ısıtma denemelerinde sıcaklığa ve süreye bağı olarak kütledeki azalmanın ölçülmesi dışında 450°C ve 500°C olmak üzere 2 farklı sıcaklıkta ön ısıtma işlemi gerçekleştirilip numuneler ergitilmiştir. Ergitme ve geri kazanım işlemi verimleri karşılaştırılarak uygun ön ısıtma işlem sıcaklığının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu denemelerden elde edilen sonuçlar Çizelge 6.8’de sunulduğu gibi elde edilmiştir.

Çizelge 6.8 Ön ısıtma sıcaklığının ergitme işlemi parametrelerine etkisi

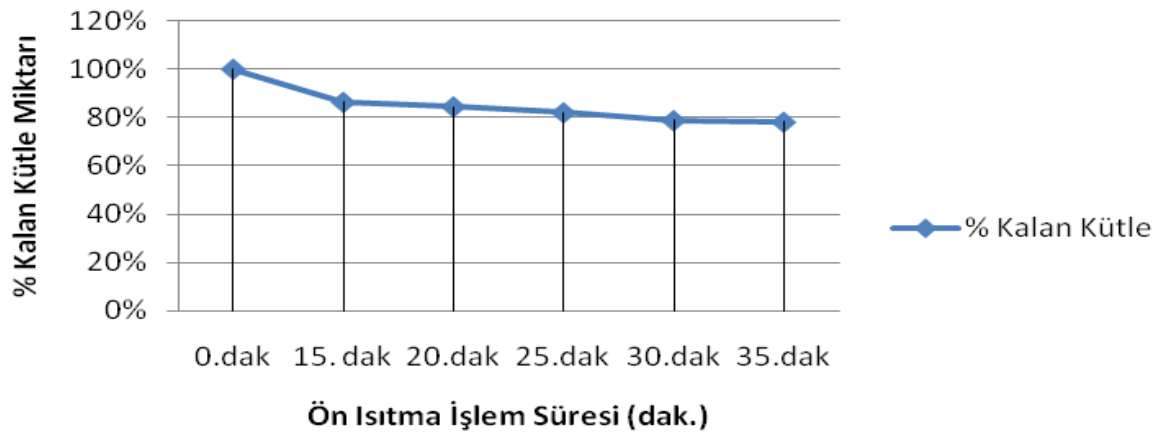
Sıcaklık (C°)	Ön ısıtmaya giren balya kütlesi (gr)	Ön ısıtma işleminden çıkan balya kütlesi (gr)	Ön ısıtmadan işleminden çıkan balya kütlesi (%)	Ergitme Verimi (%)	Geri Kazanım Verimi (%)
450	300	290	96,7	96,1	94,5
500	296,5	290	97,8	95,16	94,1

400°C Numune Ön Isıtma İşlemi Kütle Değişimleri

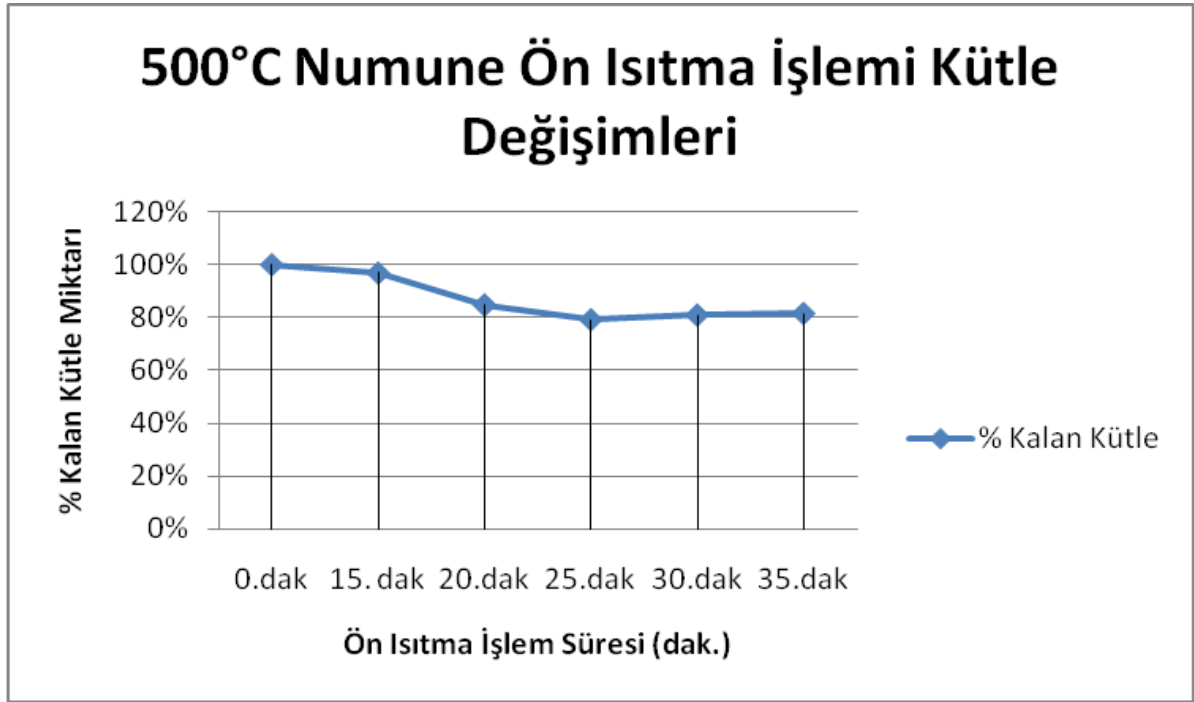


Şekil 6.9 400 °C ön ısıtma işleminde kütle değişimi

450°C Numune Ön Isıtma İşlemi Kütle Değişimleri

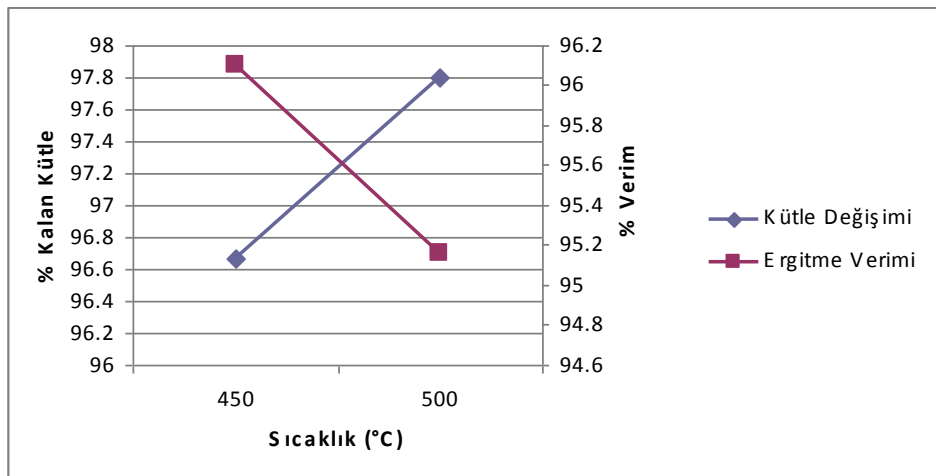


Şekil 6.10 450 °C ön ısıtma işleminde kütle değişimi



Şekil 6.11 500 °C ön ısıtma işleminde kütle değişimi

400 °C, 450 °C ve 500 °C’de gerçekleştirilen ön ısıtma işlemlerinde beşer dakika arayla ağırlık ölçümü yapılmıştır. Elde edilen veriler ışığında 400 °C’de yapılan ön ısıtma işleminde sürenin yeterli olmadığı görülmüştür. 400 °C’de yapılan deneylerde 35. dakika sonunda bünyedeki boya ve lakın tam giderilemediği sonucuna varılmıştır. 450 °C ve 500 °C’de yapılan ön ısıtma denemelerde ise bünyedeki lak ve boyanın büyük oranda giderildiği gözlemlenmiştir. Hatta 500 °C’de gerçekleştirilen denemede 25-30. Dakikalardan sonra yapıda oksidasyonun başladığı ve bu sebeple kütlede artış olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 6.12 30 dakikalık ön ısıtma işleminde kütle değişimi ve verime etkisi

Süre denemelerinden sonra 450 °C ve 500 °C’de ergitme yapılarak uygun ön ısıtma sıcaklığının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu deney sonucunda elde edilen veriler Şekil 6.12’de gösterilmektedir. Grafikten de anlaşılacağı üzere 450°C ‘de yapılan ön ısıtma işlemi numunelerinden daha yüksek ergitme verimi elde edilmiştir. Ergitme verimi 450°C’de ön ısıtılmış numunelerde % 96,1 iken 500°C’de ön ısıtılmış numunelerde % 95,1’e düşmektedir. Ön ısıtma ile kütledeki azalma karşılaştırıldığında ise 500°C’de kütlede daha düşük bir oranda azalma görülmüştür. Tüm bu sonuçlar ele alınarak 500°C’de yapılan ön ısıtma işleminde balyaların boya yanma sürecini tamamlayıp oksitlenmeye başladığı görülmüştür. Oksit tabakası boya tabakasından daha ağır olacağından kütledeki azalma 500°C’de yapılan ön ısıtma işleminde daha düşük çıkmıştır. Ön ısıtma işleminde oluşan oksidasyon ise ergitme verimini düşürmüştür.

Tüm bu verilerin değerlendirilmesi sonucu ön ısıtma işleminin 450°C’de 30 dakika süre ile yapılmasının uygun olacağı düşünülmüştür. Bu değerlendirme hem deneysel çalışmalardan elde edilen veriler neticesinde hem de uygulanabilirliğinin kolay olması sebebiyle yapılmıştır.

6.4.2 Ergitme İşlemi Flaks ve Havuz Uygulaması

Ergitme denemelerinde farklı flaks oranları ve bileşimleri kullanılmıştır. % 2,5, % 5, % 10, % 20 farklı oranlarında florür içeren % 1, % 2,5, % 5, % 7 oranlarda flaks bileşikleri kullanılmıştır. Yapılan denemeler sonucunda geri kazanım verimleri hesaplanarak flaks bileşimi ve oranı optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada optimum flaks oranının ve içeriğinin belirlenmesi için gerçekleştirilen havuz denemelerinde pota dibinde şarj miktarı ile aynı miktarda sıvı metal havuzu oluşturulmuştur. Denemeler sonucunda belirlenen optimum flaks uygulama parametreleri ile bu havuz miktarı da değiştirilerek optime edilmiştir.

Deneme çalışmalarında elde edilen verilerle “Ergitme Verimi” ve “Geri Kazanım Verimi” değerleri aşağıdaki şekli ile hesaplanmıştır.

“Ergitme Verimi” = (Alınan Döküm Miktarı) / (Ön Isıtma İşleminde Çıkan Balya Ağırlığı+Havuz Miktarı)*100

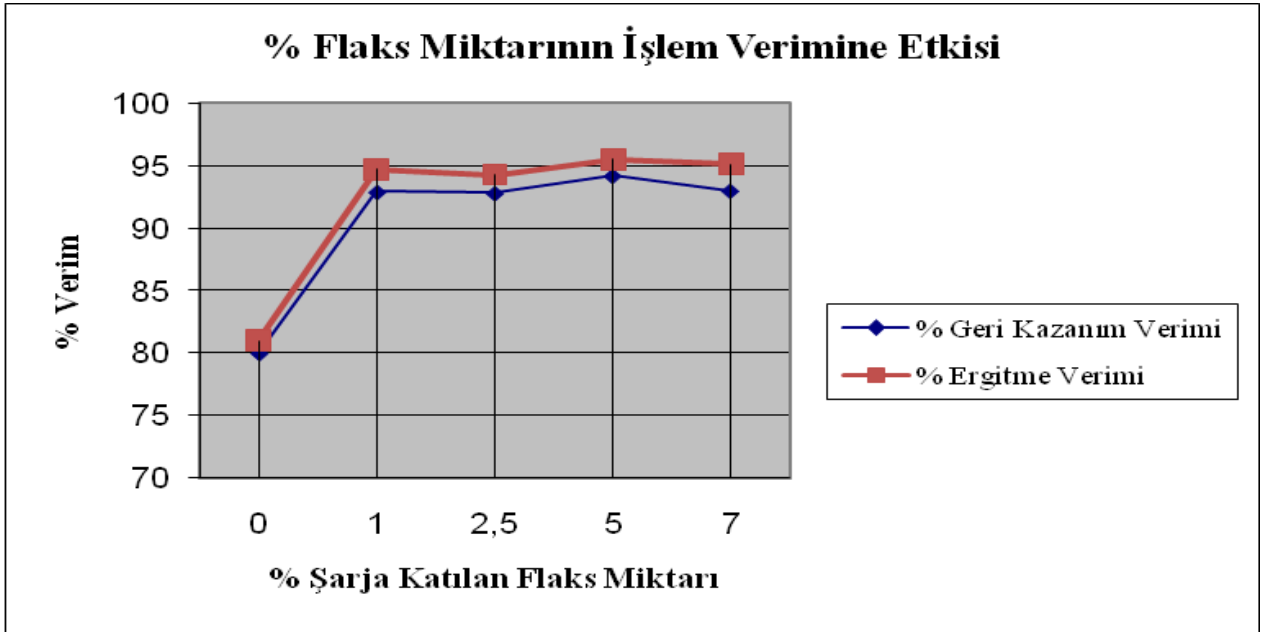
“Geri Kazanım Verimi”= (Alınan Döküm Miktarı) / (Ön Isıtmaya Şarj Edilen Miktar+Havuz Miktarı) * 100

Bu yöntem ile elde edilen deney verileri Çizelge 6.9 ‘de gösterilmiştir.

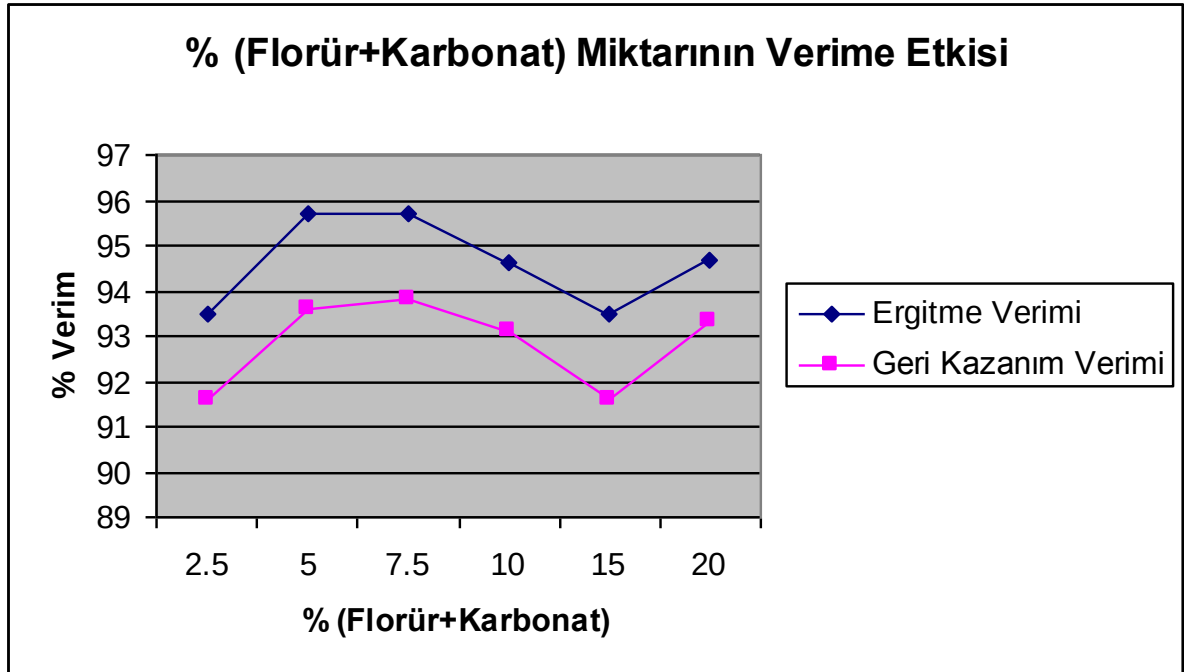
Çizelge 6.9 Ergitme işlemi denemeleri parametreleri ve elde edilen veriler

Numune No	Flaks Oranı (%)	Florür Oranı (%)	Geri Kazanım Verimi (%)	Ergitme Verimi (%)
0	0	0	80	81
1	1	2,5	91,9	93,5
2	1	5	93,5	95,3
3	1	10	93,4	95,4
4	1	20	92,7	94,6
5	2,5	5	94	95,5
6	2,5	7,5	93,76	95,6
7	2,5	10	92,1	92,8
8	2,5	15	91,6	93,5
9	2,5	20	92,6	94,3
10	5	5	94,5	96,1
11	5	10	94	95,24
12	5	20	94,1	95,16
13	7	5	92,3	95,84
14	7	10	93	95
15	7	20	93,72	94,9

Yapılan ergitme denemeleri sonucunda kullanılan flaks miktarının ve flaks içerisinde kullanılan florür ve karbonat bileşikleri miktarlarının verime olan etkileri incelenmiştir. Ergitme işlemine flaks şarjının artması ile ergitme ve geri kazanım verimlerinin arttığı grafikten de (Şekil 6.13) görülmektedir. % 2,5 flaks uygulamasında verimde düşük bir azalma etkisi görülmüş olup bu azalmanın deney parametreleri ile alakalı olduğu anlaşılmıştır. Genel olarak % 5 'e kadar flaks miktarının arttıkça veriminde arttığı görülmüştür (Şekil 6.14). Flaksın % 5 'den daha fazla şarj edilmesi durumunda ise flaksın bir kısmının reaksiyona girmeden pota içerisinde cidarlara yapıştığı görülmüştür (Şekil 6.15). Bu flaks yapışması verimi düşürücü rol oynamaktadır. Cidara yapışan flaks tozları sebebiyle pota cidarında biriken metal kayıpları bu verim azalmasına neden olmaktadır.



Şekil 6.13 % Flaks miktarının geri kazanım prosesi ve ergitme işlemi verimlerine etkisi



Şekil 6.14 % (Florür+Karbonat) miktarının geri kazanım prosesi ve ergitme işlemi verimlerine etkisi



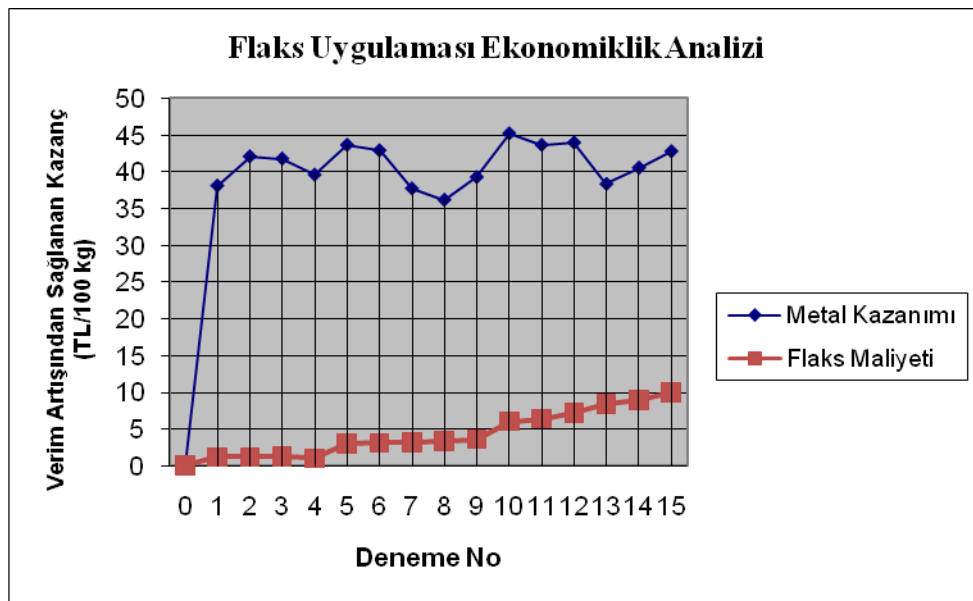
Şekil 6.15 Döküm sonrası pota iç cidarı resmi

Elde edilen bu verim değerleri ile flaks uygulaması parametreleri baz alınarak ekonomik bir inceleme yapılmıştır. Böylelikle ergitme işleminde Çizelge 6.9’de elde edilen veriler ışığında verim ve flaks maliyeti açısından optimum flaks oranı ve bileşimi belirlenmiştir. Elde edilen verim ve flaks maliyeti göz önüne alınarak flaks uygulaması ile sağlanacak kazanç çıkartılmıştır. Çizelge 6.10’da sunulan veriler 100kg hurda alüminyum geri dönüşümü baz alınarak çıkartılan rakamlardır.

Çizelgedeki veriler oluşturulurken Seydişehir Alüminyum Tesisleri’nin ticari saflıkta alüminyum satış fiyatı ve flaks tedarikçisi firmalarla ile görüşülerek belirlenen ortalama flaks maliyetleri dönemin kuruna göre hesaplanmıştır.

Çizelge 6.10 Flaks uygulamasının ekonomik yönden incelenmesi

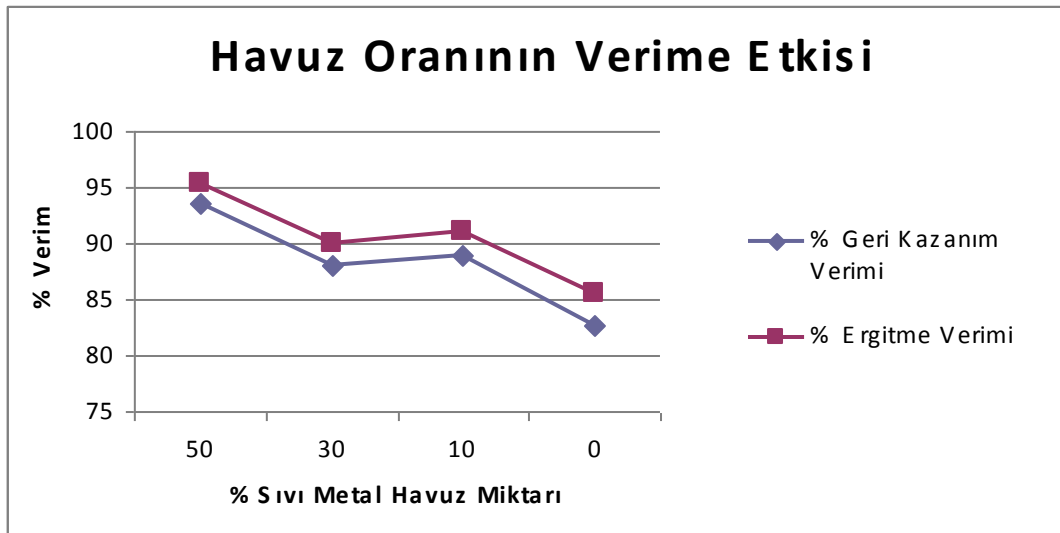
Deneme No	Flaks Oranı (%)	Florür Oranı (%)	Metal Kazancı (TL/100kg)	Flaks Maliyeti (TL/100kg)
0	0	0	0	0
1	1	2,5	38,128	1,168
2	1	5	42,12	1,206
3	1	10	41,81	1,282
4	1	20	39,625	1,0365
5	2,5	5	43,68	3,015
6	2,5	7,5	42,93	3,11
7	2,5	10	37,75	3,205
8	2,5	15	36,2	3,395
9	2,5	20	39,3	3,585
10	5	5	45,24	6,03
11	5	10	43,68	6,41
12	5	20	44	7,17
13	7	5	38,37	8,442
14	7	10	40,56	8,974
15	7	20	42,8	10,038



Şekil 6.16 Flaks uygulaması ekonomik değerlendirme

Görüldüğü üzere flaks uygulamasının ekonomik analizinde ise 2 no'lu deneme parametreleri ile gerçekleştirilen işlemin ekonomik açıdan en uygun işlem olduğu görülmüştür. Flaks ve flaks içerisindeki florür ve karbonat miktarlarının artması metal kazancını arttırdığı gibi flaks maliyetlerini de arttırmaktadır. Bu değerlendirme sonucunda en uygun işlem parametrelerinin % 5 florür ve karbonat bileşikleri içeren % 1 oranında flaks uygulamasında elde edildiği görülmüştür.

Bu aşamadan sonraki aşamada ise ergitme işleminde kullanılan sıvı metal havuzunun oranını düşürmek amacıyla bir takım denemeler gerçekleştirilmiştir. Ekonomik inceleme sonucunda belirlenen parametre sabit alınmak koşuluyla buraya kadar yapılan ergitme denemelerinde % 50 olan havuz oranı düşürülerek verime olan etkisi incelenmiştir. Deneme sonuçları Çizelge 6.11'da verilmiştir.



Şekil 6.17 Havuz denemelerinin verim üzerine etkileri

Yapılan havuz denemelerinde oluşturulan havuz miktarı azaltıldıkça daha düşük verim değerlerinin elde edildiği görülmüştür. Şekil 6.17'de görüleceği üzere havuz miktarı azaldıkça verimde azalma görülüyor. Ancak %30 havuzda eğri farklılık göstermiştir. Burada balya boyutunun da verim üzerinde önemli bir parametre olduğu görülmüştür. % 30'luk havuz denemesinde balya boyutu yüksek olduğundan havuz balyaları tam ıslatamamış ve balyanın havuz dışında kalan kısmında oksidasyon görülmüştür. Bu da proses verimini düşürmüştür.

Çizelge 6.11 Ergitme işlemi havuz denemeleri verileri

Havuz Oranı %	Geri Kazanım Verimi (%)	Ergitme Verimi (%)
50	93,5	95,3
30	88	90
10	89	91
0	82,75	85,6

6.4.3 Kimyasal Analiz Sonuçları

Numunelerin kimyasal analizlerinde özellikle bileşimdeki Fe ve Mg miktarları incelenmiştir. Demir yapıya şarj malzemelerinden gelebileceği gibi proseste kullanılan ekipmanlardan da karışabilmektedir. Mg ise şarj malzemeleri bünyesinde yüksek oranda bulunmakta ve proses süresince yüksek oksijen afinitesi sebebiyle yanarak yapıdan uzaklaşmaktadır.

Analizler sonucunda yapılan değerlendirmede yapı içindeki demirin % 0,35-0,40 oranında olduğu görülmüştür. Literatür araştırmasında elde edilen bilgiler ışığında bileşimdeki demirin % 0,5 ve altı oranlarda bulunması durumunda tane yapısını küçültücü rol oynamaktadır (Zhang vd., 2000). Yapı içinde Fe içeriği %0,5 oranına kadar tane inceltici etki yaptığından olumlu etki yapmaktadır. Ergitme işlemine şarj edilen hammaddelerin kimyasal bileşimlerine bakıldığında elde edilen numunelerin Fe içeriğinin standartta belirtilen oranlar arasında kaldığı görülmüştür.

Numunelerin Mg içeriği ise başlangıçtaki durumdan daha düşük çıkmıştır. Bunun ergitme işlemi süresince Mg'nın oksitlenerek yapıdan uzaklaşmasından kaynaklandığı görülmüştür. Ergitme süresince ısı ve Mg'nin yüksek oksijen afinitesi etkisiyle Mg reaksiyona girmekte ve MgO olarak cüruf fazına geçmektedir. Bu sebeple şarj ve numune bileşimlerindeki Mg oranlarında farklılıklar oluşmuştur.

Analiz sonuçlarında yüksek oranlarda flaks kullanılan deneme numunelerinin bileşimlerinde daha yüksek Mg içerikleri elde edildiği görülmüştür. Flaks kullanm miktarının arttıkça proses süresince oksitlenerek curufa geçen Mg'un daha yüksek oranda flaks kullanılarak curuf içinden metal banyosuna kazandırıldığı sonucuna varılmıştır.

Numune analizlerinde elde edilen sonuçlar Çizelge 6.12 ‘de görülmektedir.

Çizelge 6.12 Numuneler kimyasal analiz sonuçları

Numune No	Kimyasal Bileşim (%)									
	Al	Fe	Si	Mn	Cr	Cu	Mg	Pb	Sn	Ti
0	98,26	0,407	0,404	0,294	0,08	0,077	0,400	0,019	0,006	0,019
1	97,90	0,387	0,731	0,300	0,07	0,075	0,453	0,018	0,008	0,016
2	97,91	0,405	0,533	0,323	0,07	0,079	0,594	0,019	0,011	0,016
3	97,90	0,392	0,604	0,315	0,07	0,084	0,555	0,019	0,011	0,016
4	98,12	0,507	0,464	0,297	0,07	0,075	0,379	0,019	0,012	0,016
5	98,33	0,375	0,348	0,308	0,07	0,077	0,406	0,019	0,009	0,015
6	98,31	0,382	0,361	0,312	0,08	0,074	0,408	0,019	0,008	0,016
7	98,15	0,405	0,296	0,316	0,1	0,06	0,600	0,019	0,014	0,016
8	98,05	0,385	0,359	0,317	0,08	0,078	0,654	0,019	0,012	0,016
9	98,11	0,381	0,343	0,320	0,07	0,079	0,605	0,018	0,011	0,015
10	97,93	0,435	0,437	0,327	0,09	0,081	0,622	0,018	0,012	0,016
11	98,23	0,418	0,432	0,312	0,09	0,073	0,629	0,019	0,008	0,017
12	97,85	0,471	0,510	0,312	0,11	0,072	0,619	0,018	0,010	0,015
13	97,75	0,431	0,693	0,309	0,09	0,081	0,580	0,018	0,007	0,015
14	98,00	0,402	0,405	0,329	0,07	0,080	0,626	0,018	0,011	0,016
15	97,93	0,420	0,553	0,319	0,08	0,080	0,532	0,018	0,008	0,015

6.4.4 Çekme Testi Sonuçları

Flaks uygulamasında denenen parametrelerin numunelerin çekme dayanımlarında etken olmadığı görülmüştür. Numunelerin yapılan testlerinde elde edilen sonuçlara göre tüm numunelerin dayanımları birbirlerine yakın olarak elde edilmiştir.

Numune testlerinde elde edilen sonuçlar Çizelge 6.13 ‘de görülmektedir.

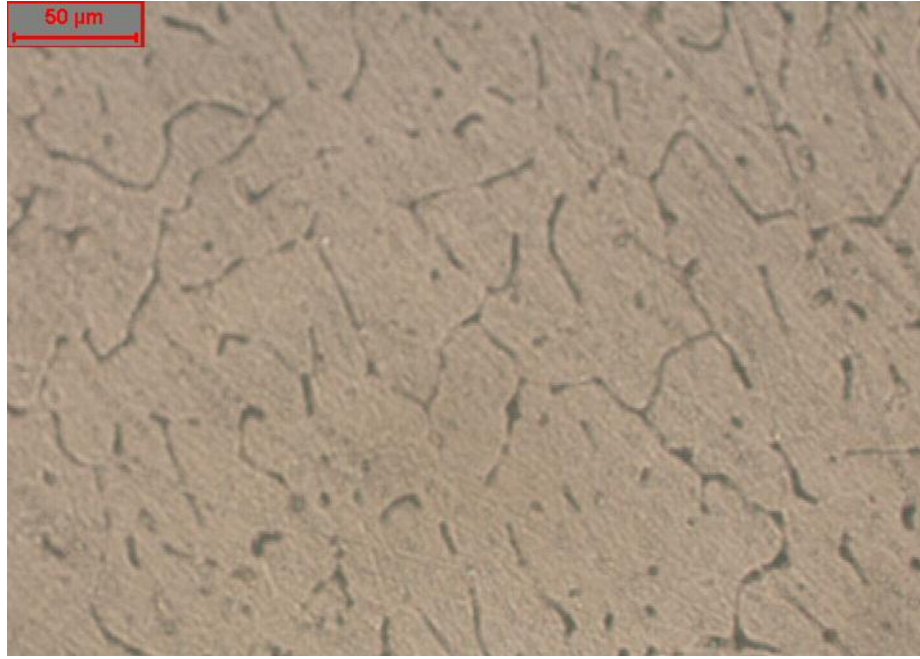
Çizelge 6.13 Numuneler çekme testi sonuçları

Numune No	Ao (mm ²)	Fa (kopma kuv.) Kp	Re (Akma Dayanımı) Mpa	Fmax (kp)	Rm (Çekme Dayanımı) Mpa	ΔL (mm)	% Uzama
1	78,19	661,82	83,04	1040	130,49	10	20
2	78,19	815,70	102,35	1040	130,49	7	14
3	78,03	666,60	83,81	1010	126,98	9	18
4	78,34	781,82	97,90	1075	134,61	11	22
5	78,66	808,00	100,77	1010	125,97	6	12
6	78,19	767,20	96,26	1070	134,25	9	18
7	78,03	792,72	99,66	1090	137,04	10	20
8	77,56	827,90	104,71	1025	129,64	10	20
9	78,50	785,50	98,16	1080	134,97	10.5	21
10	78,34	700,00	87,65	1080	135,24	9	18
11	78,81	760,00	94,60	1040	129,45	6	12
12	78,03	796,15	100,09	1035	130,12	8.5	17
13	77,25	640,00	81,27	1000	126,99	7	14
14	78,19	800,00	100,38	1060	133,00	11	22
15	77,87	740,60	93,30	960	120,93	6	12

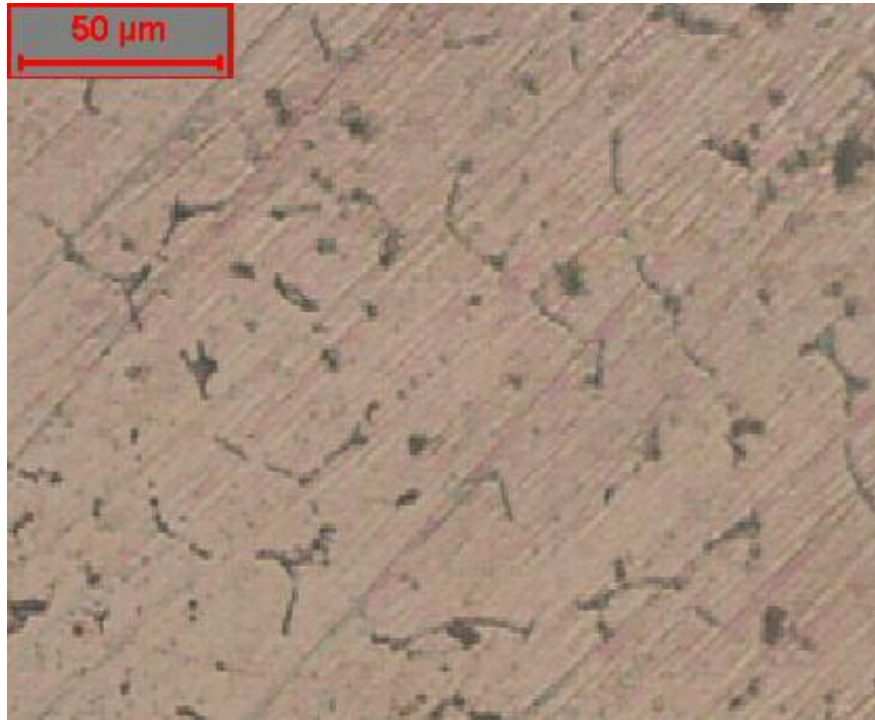
6.4.5 Metalografik Analiz Sonuçları

Metalografik incelemede farklı parametrelerde dökülmüş birbirinden farklı 6 numune seçilerek işlem parametrelerinin mikro yapı üzerindeki etkileri, mikro yapının test sonuçları ile elde edilen özellikler üzerine etkileri incelenmiştir.

Bu kapsamda flaksın kullanılmadığı döküm numunesi (Şekil 6.18) ile % 7 flaks kullanılan numune (Şekil 6.19) karşılaştırılmış ve işlem parametrelerinin etkileri yorumlanmıştır.



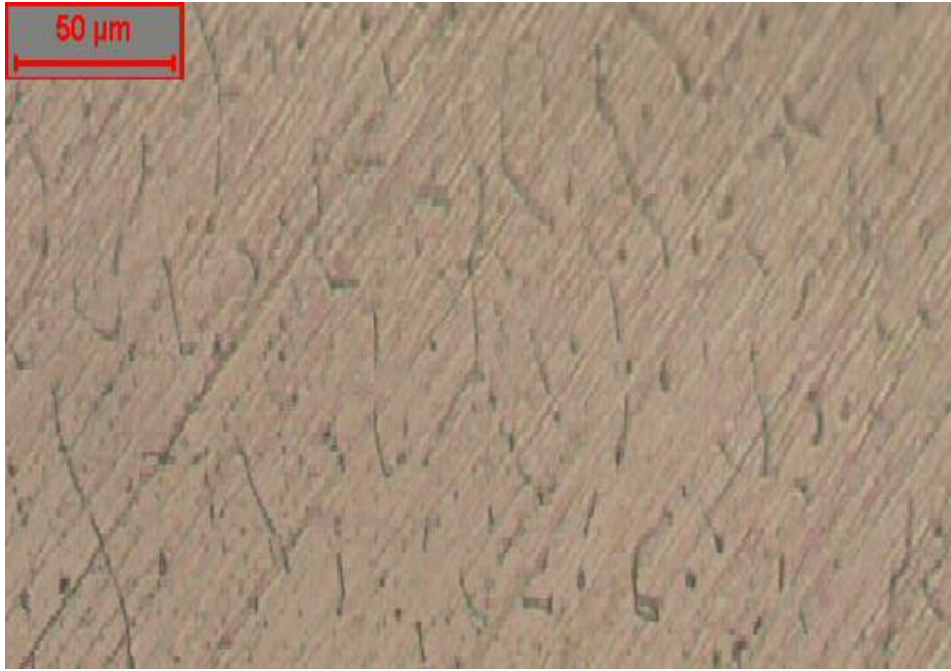
Şekil 6.18 Flaks kullanılmadan dökülen numunenin “Keller” ile dağlama sonucu 200 büyütme altındaki mikro yapı görüntüsü



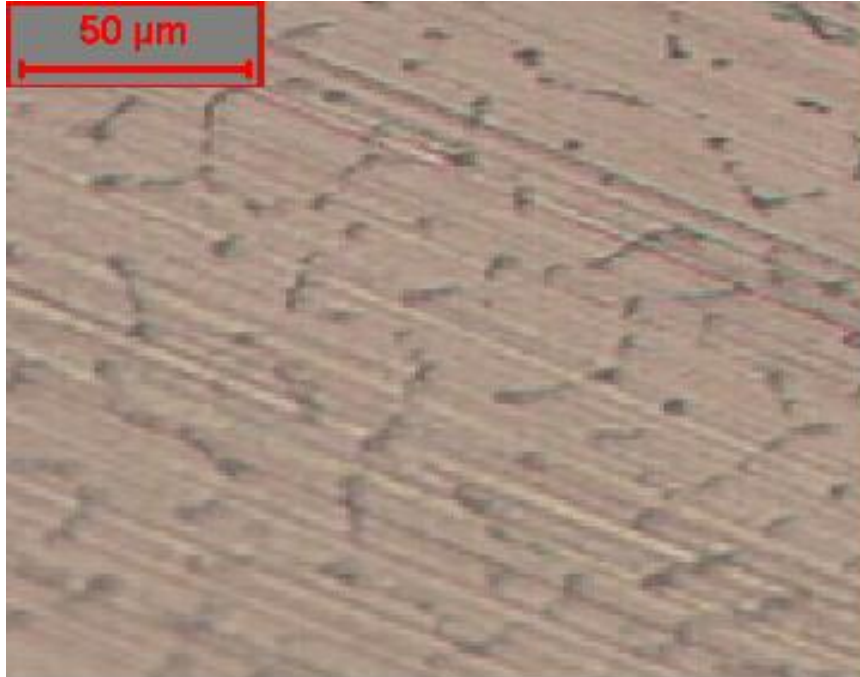
Şekil 6.19 % 7 flaks uygulamasında dökülen numunenin “Keller” ile dağlama sonucu 200 büyütme altındaki mikro yapı görüntüsü

Flakslı uygulama ile elde edilen numune mikro yapılarında çökelti fazlarının yoğunluğu dikkat çekmektedir. Ergitmede şarj edilen flaksın yapı içerisinde çökelti oluşturduğu

sonucuna varılmıştır.



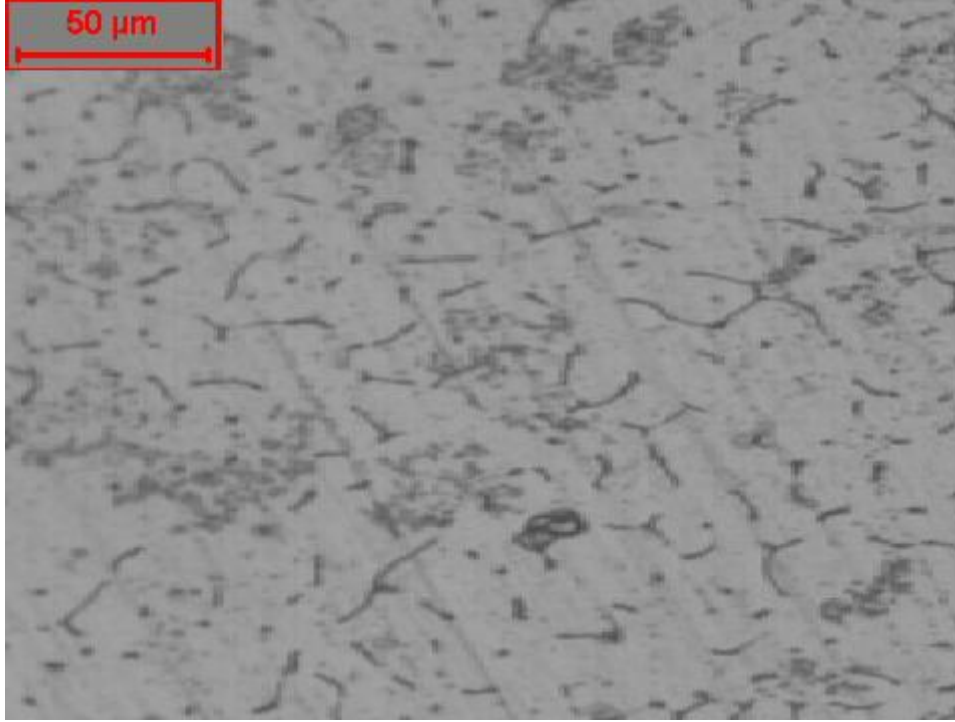
Şekil 6.20 % 5 Florür ve karbonat içeren flaks uygulamasında elde edilen numunenin “Keller” ile dağlama sonucu 200 büyütme altındaki mikro yapı görüntüsü



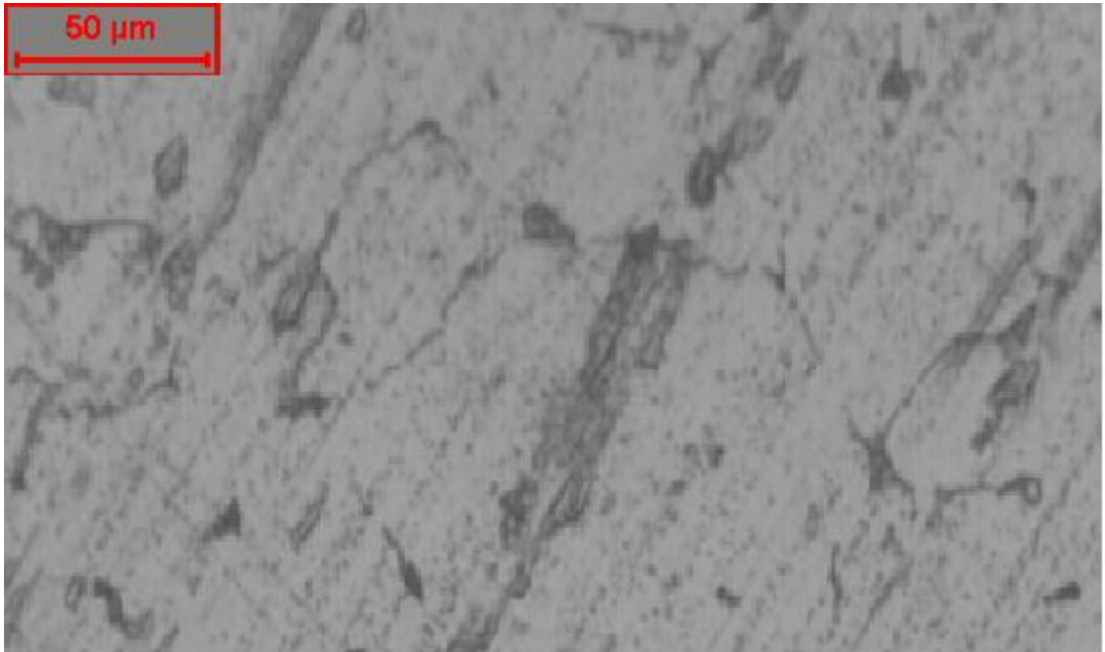
Şekil 6.21 % 20 Florür ve karbonat içeren flaks uygulamasında elde edilen numunenin “Keller” ile dağlama sonucu 200 büyütme altındaki mikro yapı görüntüsü

Flaks yapısındaki florür ve karbonat oranının mikro yapı üzerindeki etkilerine bakıldığında belirgin bir rol oynamadığı görülmektedir. Gerek % 5 gerekse % 20 florür ve karbonat

bileşikleri içeren flaks uygulamalarında elde edilen numune mikro yapıları arasında benzerlikler görülmektedir.



Şekil 6.22 % 10 havuz uygulamasında elde edilen numunenin “Keller” ile dağlama sonucu 200 büyütme altındaki mikro yapı görüntüsü



Şekil 6.23 % 100 havuz uygulamasında elde edilen numunenin “Keller” ile dağlama sonucu 200 büyütme altındaki mikro yapı görüntüsü

Havuzun mikro yapı üzerinde etkileri incelendiğinde direk olarak bir etki yapmadığı görülür.

Ancak havuz için kullanılan şarj malzemelerin 1000 serisi alüminyum alaşımları olduğundan daha düşük alaşım bileşimine sahiptir. Bu sebeple % 10 havuz uygulamasından elde edilen numunelerin iç yapısında çökelti yapısı daha yoğun olarak görülmektedir. Ayrıca havuz uygulamasında elde edilen numunelerin tane yapılarının daha küçük olduğu görülmektedir.

7. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Deneysel çalışmalar kapsamında gerçekleştirilen ön ısıtma, ergitme, çekme, kimyasal analiz ve metalografik incelemeler sonunda elde edilen sonuçlar şu şekilde sıralanabilir:

- Ön ısıtma işlemi denemeleri 400°C, 450°C ve 500°C 'de gerçekleştirilmiştir. Bu üç sıcaklıkta yapılan denemelerin verimleri döküm işleminde elde edilen verim değerlerine göre karşılaştırılmıştır. Bu değerlere göre 500°C'de ön ısıtma işlemine tutulan numunelerin ön ısıtma işleminde hurda balyalarının boya işlemi aşamasını tamamlayıp oksitlenme aşamasına geçtiği anlaşılmıştır. Bu oksitlenme ise ergitme işleminde geri kazanım verimini düşürmektedir. 400°C'de gerçekleştirilen ön ısıtma işleminde ise; boya ve lakların yapıdan uzaklaştırılması için bu sıcaklığın yetersiz olduğu gözlemlenmiştir. Hurda bünyesindeki lak ve boyaların tam olarak giderilemediği takdirde ergiyik metal içerisinde safsızlık oluşturacağı ve ergitme işlem verimlerini düşüreceğinden bu sıcaklıkta gerçekleştirilecek işlemin uygun olmayacağı düşünülmüştür. Bu sebeple ön ısıtma işleminde 450 °C optimum işlem sıcaklığı olarak belirlenmiştir.
- Ön ısıtma işlem süresi optimizasyonu için süreye bağlı balya kütlesindeki değişimler incelenmiştir. 450°C ve 500°C'de elde edilen veriler ışığında ön ısıtma işleminin ilk 20 dakikasında bünyedeki lak ve boyaların büyük ölçüde uzaklaştığı görülmüştür. İlerleyen sürelerde kütle değişiminin çok fazla olmadığı ve hatta 500°C' de 30. Dakikadan sonra oksitlenme başladığı görülmüştür. Bu sebeple ön ısıtma işlemi için optimum sürenin 30 dakika olduğu belirlenmiştir.
- Flaks uygulamalarında elde edilen sonuçların teknik ve ekonomik incelemeleri sonunda optimum flaks uygulaması belirlenmiştir. Denemeler kapsamında teknik ve ekonomik karlılığa göre yapılan optimizasyon sonucunda flaks oranı % 1 olarak belirlenmiştir. Flaks bünyesindeki florür oranının optimum % 5 olduğu deneyler sonucunda elde edilmiştir.
- Ergitme işleminde 850-900°C'ye kadar çıkılarak işlem gerçekleştirilmiştir. Yüksek sıcaklığa çıkılması ile kullanılan flaksın etkinliğinin arttığı ve ergiyik metal ile daha iyi temas sağlandığı görülmüştür. Bunun yanında yüksek sıcaklıklara çıkıldığı için ergiyik metalin oksidasyon eğilimi artmaktadır. Yapılan denemelerde belirlenen bileşimdeki flakslar ile % 90 üzeri verim elde edilmiştir.
- Sıvı metalin oksidasyonunun engelleyici diğer bir uygulama ise sıvıya katı şarjı yöntemidir. Denemeler kapsamında potada sıvı metal havuzu oluşturularak verim

üzerindeki etkileri incelenmiştir. Burada havuz miktarı belirlenirken en büyük etkenin şarj malzemelerinin boyutu ile oluşturulacak havuzun derinliğidir. Çünkü şarj malzemeleri havuz içerisinde tam olarak batmadığında sıvı metal yüzeyinde yüzmektedir. Bu sebeple hurda malzemelerin bir bölümü sıvı metal dışarısında kalmakta ve ortamdaki oksijen ile reaksiyonu girerek oksidasyon kayıplarını arttırmaktadır. Bu sebeple havuz miktarı belirlenirken pota ebatları, balya ebatları ve sıvı metal derinliği dikkat edilmesi gereken parametreler olarak belirlenmiştir.

- Şarj bünyesindeki Mg içeriğinin geri kazanım verimini etkileyen parametrelerden birisidir. Yapı içerisindeki Mg ergitme prosesi süresince oksijen ile reaksiyona girmekte ve cüruf fazına geçmektedir. Ayrıca Mg içeriği yüksek hurda malzemelerin ergitme işlemlerinden çıkan cüruflar spinel bir cüruf olup sıvı metali koruyucu ve oksidasyonu engelleyici bir özellik taşımamaktadır. Bu sebeple Mg içeriği yüksek olan hurda malzemelerin ergitilmesinde sıvıya katı şarjı yapılarak oksidasyon mekanizmasının tamamen olmasa bile önüne geçilebileceği sonucuna varılmıştır.
- Ergitme işlemine şarj edilen flaks miktarının % 7 oranından daha fazla olması durumunda ortamda reaksiyona girmeyen flaks tozlarının kaldığı gözlemlenmiştir. Bu tozlar pota cidarlarına yapışarak ergitme işlemi verimini düşürmektedir. Bunun yanında yüksek oranda flaks kullanılan ergitme işlemlerinden elde edilen numune mikroyapılarının yoğunluğu da göze çarpmaktadır.
- Sıvıya katı şarjı, flaks uygulaması parametreleri ile meşrubat kutularının geri dönüşüm prosesinde % 92-93'leri geçen verim değerleri elde edilmiştir. Ekonomik incelemeler sonucunda yüksek miktarda flaks kullanımının aynı oranda verimi arttırmadığı ve ekonomik bir uygulama olmadığı görülmüştür. Havuz denemelerinde ise havuz miktarı azaldıkça karlılığın ve kapasitenin artacağı düşünülmektedir. Bu sebeple havuz miktarının mümkün olduğu kadar düşük seçilmesi gerekmektedir. Yapılan denemelerde % 10 havuza şarj işleminde % 91 verim elde edilmiştir.
- Sonuç olarak yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen veriler ışığında ;
 - Ön ısıtma işlemi sıcaklığının 450 °C'de 30 dakika süre zarfında yapılması
 - Ergitme işleminde flaks şarjından sonra 850-900 °C'e kadar çıkılması
 - Flaks uygulamasında % 5 oranında florür ve karbonat bileşiklerini içeren, şarjın % 1'i oranında flaks kullanılması

- Sıvıya katı şarjı yönteminde % 10'luk bir sıvı metal havuzunun kullanılması
ile yaklaşık olarak % 90-92 oranında geri kazanım verimi elde edileceği sonucuna varılmıştır.

8. GENEL DEĞERLENDİRME

Yapılan bu çalışma alüminyum ve alaşımlarının geri dönüşümü prosesi parametreleri, proses verimini etkileyen faktörleri ve bunlar üzerine yapılan deneysel çalışmaları kapsamaktadır. Bu kapsamda alaşım bileşiminin prosese etkisi, flaks uygulaması ve bileşimleri, hurda hazırlama işlemleri, ergitme öncesi ön ısıtma işlemi konularında literatür araştırmaları ve yapılan deneysel çalışmalar ile sonuçları yer almaktadır.

Yapılan literatür taramasında alüminyum geri dönüşümünde hurda cidar kalınlığının ve bileşiminin önemli olduğu görülmüştür. Alaşım bünyesindeki oksijen afinitesi yüksek metal varlığı ve yüzey alanı geniş, ince cidarlı hurdaların geri dönüşümünde problemler yaşandığı görülmüştür. Bu sebeple deneyler kullanılmış meşrubat kutuları ile gerçekleştirilmiştir. Meşrubat kutuları 3004 ve 5182 alüminyum alaşımlarından oluşmaktadır. Özellikle 5182 alaşımı olmak üzere bu alaşımlar yüksek oranda Mg içermektedir. Mg'un oksijen afinitesi yüksek olduğundan yüksek sıcaklıklarda gerçekleştirilen işlemlerde oksidasyon kayıpları artmaktadır. Bunun yanında bu numuneler ince cidarlı olduklarından yüzey alanı/hacim oranları yüksektir. Bu da işlemlerde oksidasyonu arttırıcı bir etki yapmaktadır. Bu olumsuz etkilerin ortadan kaldırılması amacı ile geri dönüşüm prosesinde flaks, sıvıya katı şarjı ve hızlı ergitme işlemleri gerçekleştirilebilmektedir. Flaks uygulamasında flaks bileşimleri ve oranı en önemli parametrelerdir. Flaks, klorür tabanlı kimyasal tozlardır. Klorürlerin yanı sıra bileşimde florür bileşikler de bulunmaktadır. Böylelikle ergitme işleminde oluşan cürufur, flaks tatbiki ile geri kazanılabilmektedir. Böylelikle işlem verimliliği de arttırılabilmektedir. Diğer bir verimlilik arttırıcı uygulama ise sıvıya katı şarj yöntemidir. Bu yöntemde de oksidasyon kayıplarının önüne geçilerek verimlilik arttırılmaktadır.

Deneysel çalışmalar kapsamında kullanılmış meşrubat kutularının yüzeylerindeki boyaların ve bünyedeki safsızlıkların ergitme öncesi yapıdan uzaklaştırılması amacıyla ön ısıtma işlemi, ergitme işlemi ve bu işlemler sonrasında elde edilen numunelerin çekme testi, kimyasal analizi, metalografik incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Ön ısıtma işleminde işlem süresi ve sıcaklığı, ergitme işleminde flaks bileşimi, katkı oranı, sıvıya katı şarjı parametreleri incelenmiştir. Ayrıca ergitme işlemi indüksiyon ocağında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen numunelerin test ve analizleri yapılarak bu parametrelerin proses verimliliği üzerine etkileri incelenmiştir. Bu denemeler sonucunda ön ısıtma işlemi için optimum işlem sıcaklığı ve süresi, ergitme işlemi için optimum sıvı metal havuz miktarı, flaks karışım oranı ve flaks bileşimi belirlenmiştir. Flaks karışım oranı ve bileşimi belirlenirken flaks maliyeti ve

sağlayacağı ekonomik faydalar göz önünde bulundurulmuştur.

Yapılan araştırmalar sonucunda meşrubat kutularının geri dönüşümünde özellikle ülkemizde uygulanan toplama ve ergitme yöntemlerinin yetersiz kaldığı görülmüştür. Ülkemizde kullanılan meşrubat kutularının sadece % 50-60 'ının geri dönüştürüldüğü görülmüştür. Bu düşük geri dönüşüm oranının tamamen hurda toplama mekanizmasındaki aksaklık ve sistem eksikliğinden kaynaklandığı görülmüştür. Geri dönüşüm prosesinde ise düşük oranda verimlerde çalışıldığı görülmüştür. Genel olarak meşrubat kutusu geri dönüşümü prosesinde işlem veriminin % 70-80 oranlarında olduğu görülmüştür. Bu sebeple alüminyum ihtiyacının % 75-80'ını ithalat yoluyla karşılayan ülkemiz için bu konunun önemi anlaşılmış ve gerek toplama gerekse geri dönüşüm prosesindeki bu olumsuzluklarının giderilmesi gerekliliği görülmüştür.

İhtiyaç duyulan geri kazanım tesisinin fizibilite çalışması da tez kapsamında ele alınmıştır. Fizibilite çalışmasına göre yıllık 5000 ton alüminyum külçe üretim kapasitesine sahip olan tesis ile alışımlı alüminyum külçe üretiminin karlı olacağı görülmektedir. Söz konusu tesiste günümüz şartlarında ton başına ürün maliyeti 2393 USD, gelir ise 2712 USD olacaktır. Bu ekonomik analizlerin sonucunda tesisin % 11,76 oranında bir karlılıkla faaliyet edebileceği analiz edilmiştir.

Deneysel çalışmalarda ön ısıtma işlemi ile indüksiyon ocağında ergitme ve flaks uygulamaları üzerine denemeler yapılmıştır. Alüminyum ergitme işlemlerinde sanayi de genellikle reverber, döner ocaklar ve gazlı ocaklar kullanılmaktadır. Ancak bu sistemlerde ısıtma oksidasyon reaksiyonları ile gerçekleştiğinden fırın içi ortamının sıvı metale olumsuz etkileri de olmaktadır. Bu sebeple indüksiyon ocağı tercih edilmiştir. Ergitme işlemlerinde 800-900 °C sıcaklıklara çıkılarak flaks etkinliğinin artırılması amaçlanmış ve başarılmıştır. Flaks bileşimleri üzerine yapılan denemelerde flaks bileşimindeki florür bileşiklerinin de verim artırıcı etki yaptığı görülmüştür. Tüm bu parametreler sonucunda geri dönüşüm prosesi verimi % 93-94, ergitme işlemi verimi ise % 96 oranlarında elde edilmiştir.

Sonuç olarak araştırma ve geliştirme çalışmaları ile bu konuda bir takım iyileştirmelerin sağlanabileceği görülmüş ve yapılan denemeler ile sağlanmıştır. Ancak mevcut toplama ve geri dönüşüm sistemindeki problemleri tamamen ortadan kaldırmak için hurdaların kaynağında toplanması ve ekonomiye kazandırılması için bir takım çalışmaların yürütülebileceği kanısına varılmıştır. Meşrubat kutularının toplanması, depolanması ve geri dönüşüm tesisine sevkiyatı konusundaki eksikliklerin giderilerek sorunları ortadan

kaldırılması gerekmektedir. Sürecin geri dönüşüm prosesinde ise farklı fırın tiplerinin verimliliğe etkisi, sıvı metal işlemleri ve temizliği ile süreç maliyetlerinin düşürülmesi adına çalışmaların yapılabileceği düşünülmüştür. Böylelikle hem ekonomik hem de proseste teknik kazanımların sağlanabileceği görülmüştür.

KAYNAKLAR

- Alberto J., Tenario S., Espinaso C., "Aluminium Handbook, Recycling of Aluminium", Volume 2, Markel Dekker Inc., page: 115-153
- Alüminyum Komisyonu, "Alüminyum Raporu", TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası
- Bahadur A., (1987) "J. Materials Science 22" page: 1941
- Cachran C.H., Sleppy W.C., (1961) "J. Electrochemical Society 108", page: 332
- Car E., "Alüminyum Üretimi, Birincil ve İkincil Alüminyum Üretim Süreçleri, Alüminyum Alaşımları", TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası Alüminyum Komisyonu, Yayın No:2
- D.P.T., "Demir Dışı Metal Komisyonu Raporu", Dokuzuncu Kalkınma Planı
- Field D.J., Scamans G.M., Butler P., (1987) "Metal Translate." 18 A, page : 463
- "GCC Aluminium Sector Report 2007", Global Research, June 2007
- Habashi F., (1997) "Handbook of Extractive Metallurgy" Volume 2 Primary Metals, Secondary Metals, Light Metals, Wiley VCH
- Hine R.A., Gwinski R.D., (1960) "High Temperature Oxidation of Al-Mg Alloys in Various Gaseous Atmosphere", Journal The Institute of Metals 89, page:417-422
- Johnson T.J., Peterson D.D., (1985) "The Role of Mg in Fluxing UBC", International Symposium on Recycle and Secondary Recovery of Metals and Fall Extractive and Process Metallurgy Meeting, Fert. Louderdoble Proceeding AIME, 1985, page:417-428
- Meriç C., Tokdemir M., Köksal N.S., (1999) "Alüminyumun Hurdadan Geri Kazanılması", Makine-İmalat Teknolojileri Sempozyumu, 14-15 Ekim 1995
- Nerron G.O., Kurzawa U., (2008) "An experimental Study of Aluminium Can Recycling Using Fusing in Induction Furnace", Resources Can Servetion Recycling 52, page:731-736
- Ritchie I.M., Sanders J.U., Weickhardet P.C., (1971) "Oxidation Metals 3" page:91
- Sanayi ve Ticaret Bakanlığı, (2006) "Alüminyum Hurdalardan Alaşımlı Alüminyum Külçe İmalatı Sanayi Profili", Eylül 2006, Ankara
- Scamans G.M., Butler E.P., (1975) "Insitu Observation of Crystalline Oxide Formation During Aliminium and Aluminium Alloys Oxidation", Metallurgical Transsection A, 1975, page:2055-2063
- Smeltzer W. W., (1958) "Oxidation of on Al-3 Percent Magnesium Alloy in the Temperature Range 200-500 °C", Journal of the Electrochemical Society 105, Pages:67-71
- Tenario J.A.S., Marchini F., Barros A.M., (1994) "Effect of Saline Flux Compositon on the Recycling of UBC and Aluminium Chios", Second International Conference on the Recycling of Metals, A.S.M., Amsterdam,1994
- Tenario J.A.S., Delgado F., (1997) "Optimization of Salt Composition in the Recycling of Aluminium Cans", Light Metals 97, 1997, Proceeding, Orlando FL, TMS, page:505-509
- Tenario J.A.S., Espinosa D.C.R., (2000) "High Temperature Oxidation of Al-Mg Alloys", Oxidation of Metals, April 2000, Volume 53, page:361-373

Tenorio J.A.S., Carboni M.C., Espinosa D.C.R., (2001) “Recycling of Aluminium-Effect of Flouride Additions on the Salt Viscosity and on the Alumina Dissolution”, Journal of Light Metals 1, 2001, page: 195-198

Tenorio J.A.S., Carboni M.C., Espinosa D.C.R., (2002) “ Effect of Salt/Oxide Interaction on the Process of Aluminium Recycling”, Journal of Light Metals 2, 2002, page:89-93

The American Ceramic Society Inc., “Phase Diagrams for Ceramist” Volume 7, Columbus

Türker E., (2005) “Alüminyum ve Alaşımlarının Dökümünde Rafinasyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ F.B.E, İstanbul, Sayfa:11-32

Von Linden J.H. L, Stewart D.L., (1988) “Molten Salt Flux Compositon Effect in Aluminium Scrap Remelting”, Light Metals, 1988, AIME, page:391-398

Yavuz A., (1998) “Alüminyumun Geri Dönüşümü”, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ FBE, 1998, İstanbul

Ye J., Sahai Y., (1995) “Role of Molten Slat Flux in Melting of Used Beverage Container (UBC) Scrap”, International Syposium Recycling of Metals and Enginereed Materials 3, Warrandale, 1995, Proceedings, page:639-650

Zeytin H., (2000) “Alüminyum Alaşımlarının Otomotiv Endüstrisinde Uygulamaları ve Geleceği” Tübitak MAM Yayınları

Zhang N., Ma N., Yi H., Li S., Wang H., (2006) “Effect of Fe on Grain Refinement of Commercial Purity Aluminium”, Material and Design 27, 2006, page:794-798

İNTERNET KAYNAKLARI

[1] www.aluminyumsanayi.com

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 18.02.1984

Doğum yeri İstanbul

Lise 1999-2002 Beşiktaş Atatürk Anadolu Lisesi

Lisans 2002-2007 Yıldız Üniversitesi Kimya-Metalurji Fak.
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2007-..... Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Metalurji ve Malzeme Müh. Anabilim Dalı,
Üretim Programı

Çalıştığı kurum(lar)

2007-2008 Tufan Metal Aksesuar San. Tic. Ltd. Şti.
“Ar-Ge Mühendisi”

2008-..... Etkin Proje Yönetim Danışmanlık Tic. Ltd. Şti.
“Ar-Ge Proje Uzmanı”