

79227

ALÜMİNYUMUN GERİ DÖNÜŞÜMÜ

Metalurji Müh. Ayşegül YAVUZ

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

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Mustafa ÇİĞDEM

Prof. Dr. Serdar KÜÇÜKKARAGÖZ

Prof. Dr. Sabriye PIŞKIN

İSTANBUL, 1998.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

KISALTMA LİSTESİ.....	i
ÖNSÖZ.....	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
1. GİRİŞ	1
2. İKİNCİL ALÜMİNYUM ENDÜSTRİSİ ve ÜRETİMİ.....	4
3. TEKRAR ERGİTME SİSTEM DİZAYNLARINDA EKOLOJİ, EKONOMİ ve ERGONOMİ	8
3.1. Ekoloji.....	8
3.2. Ekonomi	9
3.3. Ergonomi.....	11
4. ALÜMİNYUM HURDA KAYNAĞI.....	14
4.1. Birincil Alüminyum Hurdaları	14
4.2. İkincil Endüstri Hurdaları	14
4.2.1. Kullanılmış içecek kutuları	15
4.2.2. Otomotiv hurdaları.....	16
4.2.3. İç hurdalar	17
5. KULLANILMIŞ İÇECEK KUTULARININ (USED BEVERAGE CAN – UBC) GERİ KAZANIMI VE DEĞERLENDİRİLMESİ.....	21
5.1. Toplama İşlemi.....	25
5.2. Lak Giderme İşlemi	26
5.3. Alaşım Ayırma	27
5.4. Ergitme, Kompozisyon Hazırlama ve Döküm	27
5.5. İşlemdeki Gelişimler	29
6. ALÜMİNYUMUN GERİ KAZANIMINDA KULLANILAN ERGİTME SİSTEMLERİ	32
6.1. Reverber Fırınlarında Yapılan Teknolojik Yenilikler	33
6.1.1. Modifiyeli Reverber Fırını.....	34
6.1.2. Yandan Kuyulu (Side-Well) Reverber Fırını.....	35
6.2. Oksijen-Yakıt Modifiyeli Reverber Fırını ile Alüminyum Ergitme Sistemi ..	38
6.2.1. Modelin Tanıtımı ve Avantajları.....	38
6.2.2. Fırın Özellikleri.....	41

6.2.2.1. Yüksek Yayılım (High Radiation) / Yassı Alev Brülörleri	43
6.2.3. Oksijen – Yakıt Sistemi Ergitme Ölçüm Sonuçları	44
6.2.4. Ekonomik Analizler	46
6.3. Döner Fırın	49
6.3.1. Genel özellikler	49
6.3.1.1. Yarı devamlı yöntem	49
6.3.2.1. Devamlı yöntem	49
6.3.2. Döner fırınlara uygulanan yeni teknikler	50
6.3.3. LEAM® işlemi	52
6.3.4. Döner fırınlarda tuz kullanımı	54
6.4. Döner Plazma Fırınları	58
6.4.1. Hareketli plazma gövdesinin tanımı	58
6.4.2. Roney-Nikel katlaizörleri	59
6.5. Dry Hearth Fırını (Dry Hearth Furnace – Dhf) ve Kapalı Kuyu Fırını (Closed well Furnace Cwf) ile Birlikte Oluşturulan Reküperatif Sistem Modeli	62
6.5.1. Sistemdeki Fırınlara	62
6.5.1.1. Dry Hearth Fırını	62
6.5.1.2. Kapalı Kuyu Tarzı Fırın (Closed well furnace)	63
6.5.2. Modelin Tanıtımı ve Avantajları	63
6.5.3. Modeli Oluşturan Kısımlar ve Özellikleri	65
6.5.4. Ölçüm Sonuçları	67
6.5.5. Meral Kazanımı	68
6.5.6. Ekonomik Analizler	69
6.5.7. Ergitme Sonuçları	70
6.6. Alüminyum Geri Kazanımında Kullanılan Flaksız Ergitme Sistemleri	75
7. DEMİR DIŞI ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ERGİTME KAYIPLARININ AZALTILMASI	80
8. ALÜMİNYUM ERGİTMEDE FLAKS UYGULAMASI	83
8.1. Flaks Kullanımının Amaçları	83
8.1.1. Ergiyiği örtüleme	84
8.1.2. Metal ve oksitlerin ayrılması	84
8.1.3. Fırın temizleyici flaksı	84
8.1.4. Rafinasyon	85

8.2. Flaks İlavesi.....	85
8.2.1. Geleneksel metodlar.....	85
8.2.2. Flaks enjeksiyonu.....	86
8.3. Bileşim ve Mekanizma	86
8.4. Alüminyum Geri Kazanımında Flakslamanın Kullanımı	86
9. DENEYSEL ÇALIŞMA	90
9.1. Kullanılan Hurda Türü.....	90
9.2. Ön İşlemler.....	90
9.3. Tuz Flaksının Hazırlanması ve Ergitme	91
10. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA (İRDELEME)	93
11. SONUÇ	97
KAYNAKLAR.....	101
ÖZGEÇMİŞ.....	106



KISALTMA LİSTESİ

UBC Used Beverage Can – Kullanılmış İçecek Kutusu

DHF Dry Hearth Furnace – Dry Hearth Fırını

CWF Closed Well Furnace – Kapalı Kuyu Fırını

HR High Radiation – Yüksek Yayılım

PLC Programmable Logic Controller – Programlanabilir Kontroller

RCB Rejeneratif Brülör Sistemi

EMP Electromagnetic Pumping – Elektromanyetik Pompa

WSL Warren Spring Laboratuvarı

ÖNSÖZ

“Alüminyum Geri Dönüşümü” adı ile hazırladığım yüksek lisans tezimde adından da anlaşılacağı üzere kullanılmış alüminyum içecek kutularının geri kazanılırken değerlendirilmesindeki teknolojik gelişmeler ortaya konmuştur. Alüminyum endüstrisinde, alüminyumunu tekrar elde edilerek değerlendirilmesi çok önemlidir. Şöyle ki; günümüz dünyasında ekolojik denge, ekonomik verimlilik ve enerji tasarrufu açısından önemli bir yer tutmaktadır. Gelecekte tüm ülkelerde geri dönüşüm organizasyonları; eğitim, reklam, halkla ilişkiler, pazarlama ve teknik yardım yollarıyla geri kazanım programlarının artacağı ve önem kazanacağı bir gerçektir.

Bu tezimin oluşmasında, eserlerinden yararlandığım çok değerli bilim adamlarına teşekkürü bir borç bilirim. Aynı zamanda YTÜ Metalurji Mühendisliği’nde öğrenim gördüğüm süre boyunca her türlü katkılarını esirgemeyen bütün hocalarıma, tezimin hazırlanmasında beni yönlendiren, çalışmalarımı destekleyen, değerli bilgileriyle yol gösteren Danışman Hocam Doç. Dr. Mustafa ÇİĞDEM’e ve her türlü fedakarlığı esirgemeyen eşime teşekkür ederim.

Ayşegül YAVUZ

Metalurji Müh.

ÖZET

Bu araştırmanın amacı; enerji tasarrufu ve metal kazanma verimi açısından kullanılmış alüminyum içecek kutuları geri kazanımında teknolojik gelişmeler ve alüminyum endüstrisindeki geri dönüşümün önemi ve gerekliliği ortaya konmuştur. Alüminyum metalin doğal özellikleri; hafifliği, yüksek mukavemeti, atmosferik korozyona dayanıklılığı, kullanımından sonra geri kazanım özelliği, bu metali ön plana çıkarmıştır. Üreticilerin artan talebi, yüksek enerji maliyetleri ile doğadaki azalan potansiyel rezerv miktarlarından dolayı birincil alüminyum üretimi yerini kısmen ikincil alüminyum üretimine bırakmıştır. İkincil alüminyum hurda kaynakları; kullanılmış içecek kutuları, otomotiv hurdaları ve iç hurdalardan oluşmaktadır. En büyük pay ise kullanılmış içecek kutularıdır. Kullanılmış alüminyum içecek kutuları, hurda alıcıları tarafından toplanır ve birtakım boyut küçültme işleminden geçirilir. Daha sonra lak giderme, alaşım ayırma ve ergitme işlemlerinden geçtikten sonra istenen kompozisyon hazırlanarak döküm yapılır. İkincil alüminyum üretimi içinde enerji ve hurda girdisini en ekonomik ve en verimli şekilde kullanan tekrar ergitme sistem dizaynları geliştirilmiştir. İkincil alüminyum üretimi endüstrisinde kullanılan reverber fırınları, indüksiyon fırınları, döner fırınlar, döner plazma fırınları, kapalı kuyu fırınları, “dry hearth” fırınları gibi tekrar ergitme sistemlere eklemeler yapıldığı gibi, birlikte veya ikili kullanımları da sağlanmıştır. Metalin geri kazanımında rol oynayan flaks türleri olan S1 ve S2 flaksler kullanılarak, deneysel çalışma yapılmıştır. S1 flaksı Avrupa’da, S2 flaksı Amerika’da yaygın olarak kullanılmaktadır. Laboratuvar şartlarında yapılan deneyde S1 flaksı ile %94,21’lik en yüksek metal kazanma verimine ulaşılmıştır. Endüstride aynı patentli S1 flaksıyla döner fırınlarda yapılan üretimde metal kazanma verimi ise yaklaşık olarak %90’dır. Böylece yapılan bu laboratuvar çalışmasında, %4.21 daha iyi sonuca ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler

- Alüminyumun Geri Dönüşümü
- Kullanılmış İçecek Kutuları
- Tekrar Ergitme Sistemleri
- Hurda

ABSTRACT

The aim of this study is to put forward technological developments related to recycling of utilized aluminium beverage cans from viewpoints of energy saving, metal recovery efficiency, low cost and necessity of recycling in aluminium industry. Natural properties of aluminium are its lightness, high corrosion resistance and high recycling property, which have put forth this metal to the front line. Due to increasing demand of producers, higher energy costs as well as decreasing potential reserve quantities in nature, production of the primary aluminium left its place to the re-use of the secondary aluminium scrap sources. Scrap source consists of utilized beverage cans (U.B.C) automotive scraps and interval scraps. The biggest share belongs to utilized beverage cans. UBC are collected by scrap buyers and are passed through certain size reduction process. Then, following passing through lacquer removal, alloy separation and melting process desired composition is prepared and consequently casting is performed. New designs of re-melting system, which requires less energy and scrap input in the most economical and efficient manner for production of the secondary aluminium, have been developed. Many novelties and renovations have been brought forth to re-melting system such as modified reverber furnaces, induction furnaces, rotating furnaces, rotating plasma furnaces, closed well furnaces, dry hearth which are widely employed in secondary aluminium production. Attachments have been made to these systems and at the same time, their joint operations have been achieved. Experimental studies have been conducted by using S1 and S2 fluxes, which are used in Europe and USA respectively. The highest metal recovery rate is % 94.21 with S1 flux. In production trials performed in rotating furnaces using S1 flux in industry, metal recovery rate is approximately % 90. Hence, better results have been obtained in this study under laboratory conditions: i.e; recovery rate is at least %4.21 higher than that readily achieved in industry.

KEY WORDS

- Recycling of Aluminium.
- Used Beverage cans.
- Re-melting System.
- Scrap

1. GİRİŞ

Dünya nüfusunun sürekli artışı, buna bağlı olarak doğal kaynakların hızla tüketilmesi ve bunların değerlendirilmesinde sayısız teknolojik proseslerin kullanılması, doğal çevrenin oksijenini tüketmekte ve karşılığında çevreye atık ürünlerini iade etmekte, bunun sonucunda da sistemler arasındaki madde alışverişinde bir krize neden olmaktadır. Kısaca çevre kirlenmesi olarak tanımlanabilecek bir problemin çözüm yollarını bulmak, günümüzün en önemli sorunlarından biri olarak acil çözümler beklemektedir. Bugünün koşullarında artık ve atıksız bir üretim teknolojisinin var olmadığını kabullendiğimize göre minimum artık ve atık üreten bir üretim gerçekleştirmek ve diğer taraftan da doğal çevrenin madensel dönüştürme ile sağlamaya çalıştığı rejenerasyona katkıda bulunmak zorunluluğu doğmuştur. Söz konusu problemin çözümüne yönelik stratejinin adımları; **Önlemek, Değerlendirmek ve Çevre Korumaya Yönelik Çalışmak** şeklinde sıralanabilir.

Bilgi toplumunda insan ön plana çıkmakta ve insanın birey olarak zevk ve tercihleri önemli bir yer tutmaktadır. Bireyler arasındaki zevk farklılığı, üretim, tasarım ve dizaynda esnekliği ve farklılaşmaya gitmeyi gerektirmektedir. Bunu da sağlayacak metallerin başında “alüminyum” gelmektedir.

Alüminyumun endüstriye girişi yakın zamana isabet etmektedir. Bakır, çinko, kurşun çok önceleri kullanılmasına karşın alüminyum bunlardan çok sonra endüstriye girmiştir. Endüstrideki önemi sayesinde hızla gelişim göstermiştir. Bu da alüminyumun üstün özelliklerindendir. Endüstrideki hızlı gelişme hafif fakat mekanik özellikleri iyi malzemelere duyulan ihtiyaç alüminyumu birinci sıraya çıkarmıştır. Hafif olmasının yanında yüksek elektrik ve ısı iletkenliğine sahip olması, atmosferik korozyona dayanıklılığı, şekillendirme kolaylığı ve diğer metallerle yüksek çekme dayanımına sahip alaşımlar meydana getirilebilmesi en büyük avantajlardır.

Alüminyum; hafiflik, dayanıklılık ve çevre şartlarına karşı korozyon direnci nedeniyle inşaat ve yapıların vazgeçilmez bir elemanıdır. Alüminyumun şekil alma kolaylığı, düşük maliyetli ve benzersiz bir çok imalatı mümkün hale getirmektedir. İletken özelliğinden dolayı elektrik

kablosu üretiminde çok değerli bir malzemedir. Mikron düzeyindeki inceliklere bile sahip olduğu geçirmezlik özelliğinden dolayı gıda ve ambalaj sanayiinde rakipsizdir. Ayrıca motorlu taşıtların imalatında ve hava taşımacılığında alüminyumun kullanımı, yakıt tüketiminin ve emisyonun azaltılması sebebiyle alüminyum, çevre dostu bir metal olarak kabul edilebilir.

Kullanılmış malzemelerin yeniden değerlendirilmesi (Recycling) ülke koşullarına göre değişiklik göstermekle birlikte genel üzerinde hemfikir olunan nedenler;

- Rasyonel hammadde kullanımı ile buna bağlı hammadde tasarrufu,
- Rasyonel enerji kullanımı ve buna bağlı enerji tasarrufu.
- Çevre kirliliği mücadelesi,
- Hepsinin temelinde ekonomik kazanç sağlama arzusu

olarak özetlemek mümkündür. Özellikle son yıllarda gittikçe gelişen yeniden değerlendirmeye yönelik üretim yöntemlerinin temel girdisi olarak kabul edilen hurdalar, genelde ikincil (sekonder) hammaddeler olarak tanımlanmaktadır.

Günümüzde giderek kullanımı daha da önem kazanan alüminyum metalinin geleneksel yöntemlerden, artan maliyetler bakımından uzaklaşarak ikincil üretim ile üretildiği görülmektedir. İkincil alüminyum üretimi her ne kadar birincil üretime göre daha ekonomik olsa da ikincil üreticilerinin artan rekabet ortamı içinde önemi giderek daha da artan enerji ve hurda girdisini en ekonomik ve en verimli şekilde kullanmaları şart olmuştur.

Bu ilkedен hareketle ikincil alüminyum üretimi endüstrisinde kullanılan Reverber fırınları, İndüksiyon fırınları, Döner fırınlar, Döner plazma fırınları, Kapalı kuyu fırınları, “Dry Hearth” fırınları gibi tekrar ergitme sistemlerine bir çok yenilikler getirilmiştir. Bu sistemlere eklemeler yapıldığı gibi, birlikte veya ikili kullanımları da sağlanmıştır. Ayrıca metal ergitmesi aşamasında, metal geri kazanma oranlarına etki eden verimli tuz kullanımı önem arz etmektedir. Diğer taraftan flaksız ergitmede entegre sistemler geliştirilmiştir.

Alüminyumun geri dönüşümünde kullanılmış içecek kutuları (UBC) büyük önem arzetmekte olup, hemen hemen kapalı bir çevrimdir. Kullanılmış içecek kutularının geri kazanımı ve değerlendirilmesindeki bütün aşamalar sırasıyla incelenmiştir. Kullanılan ve geliştirilen ergitme sistem modellerini tanıtmak ve bu modellere uygulanan gelişmeler ışığı altında her bakımdan verimli ve ekonomiklik esaslarını taşıyan sistemler irdelenmiştir.

Alüminyum kullanımı ile sağlanan tasarruf, alüminyumun üretiminde kullanılan enerji miktarından çok fazladır. Ve bu yüzden alüminyum enerji tüketen değil enerji tasarrufu sağlayan bir metal olarak dikkate alınmalıdır. Ayrıca ilave enerji tasarrufu, alüminyumun geri dönüşümü ile sağlanmaktadır. Şöyle ki, 1 kg alüminyumun cevherden elde edilmesinde 48-60 kwh/kg enerjiye ihtiyaç duyulurken, alüminyum hurdalarının yeniden değerlendirilerek yeni alüminyum alaşımların üretimi sadece 3 kwh/kg enerji ile gerçekleşmektedir. Ayrıca birincil alüminyum üretimi için gerekli ergitme sistemlerinin yatırım maliyeti ton başına 4000 \$ iken, ikincil üretim için ise ton başına 300\$'dır. Enerji tüketiminde dikkatsizlik ve sorumsuzluğun haiz olduğu ve kaynakların daha az bilinçle kullanıldığı geçmişteki dönemlere kıyasla, günümüzde yeniden değerlendirilen alüminyumun önemi sürekli şekilde artmaktadır. Bu yüzden yüksek yeniden kazanıma sahip değerli hurda alüminyum, malzeme seçimi kararlarında önemli bir artı faktör haline gelmiştir.

Hurdayı ve enerjiyi en ekonomik ve verimli şekilde kullanmak; ergitme kayıplarını azaltmakla, çevrede dolaşan hurdayı "Sermaye hurdası" en fazla ve etkin şekilde toplayarak (dolayısıyla birincil üreticilerden en az takviye metal olarak) geri dönüşüme kazandırmakla ve geri dönüşüm sistemini, enerjiyi en az kaybedecek şekilde verimli kullanan sistem dizaynlarını seçmek ve geliştirmekle başılır.

2. İKİNCİL ALÜMİNYUM ENDÜSTRİSİ ve ÜRETİMİ

Alüminyumun hurda ve curuftan geri kazanılması demek olan İkincil Alüminyum Endüstrisi bugün büyük önem arz etmekte olup, gelecekte önemi daha da artacaktır. Bunun için iki ana sebep vardır:

- 1) Ambalaj ve nakliyede çok fazla kullanıldığından geri kazanılacak alüminyum miktarı büyüktür.
- 2) Alüminyumun oldukça kısa süreden beri kullanılan endüstri metali olmasına rağmen, birçok alüminyum ürününün ömrünün uzun olmasıdır (10-30 yıl kadar) [10].

Yer küremizi tehdit eden ekolojik sorunlar, tüm dünya ülkelerini ekonomik malzeme ve mevcut kaynaklarını en rasyonel şekilde değerlendirmeye yöneltmektedir. Çevre kirlenmesine yol açmayan ve hurda olarak bir değer taşıyan alüminyum, çevreyi korumaktadır [40].

Eski hurda olarak kullanılabilecek herhangi bir malzemenin mevcut miktarı, daha önceki dönemde ne kadar tüketildiğine bağlıdır. Hurda, kullanılmış olan ürünlerden gelir. Bu nedenle ancak bir ürünün faydalı ömrü bittiğinde hurda olarak temini mümkündür [10].

İkincil Alüminyum Endüstrisi ana olarak reverber fırınlarından yararlanılmıştır. Ayrıca endüksiyon ve döner tuz banyosu da kullanılmaya başlamıştır. Geleneksel olarak ikincil alüminyumun büyük kısmı döküm mamülleri üretimi için kullanılmıştır. Bugünlerde işleme alایشlarını da yapmak için ikincil metalin kalitesini yükseltme çabaları vardır.

Belli bir ürünün eski hurdasından büyük bir miktarda olduğunda (Örneğin, ABD'deki içecek kutuları) hurda metal içeriği aynı ürünü tekrar yapmak için kullanılabilir. Gerçekten ABD'de içecek kutu teknolojisi ikincil alüminyum endüstrisi içinde hemen hemen kapalı bir çevrimdir [10].

Alüminyumun yeniden değerlendirilmesi konusuyla ilgili dikkat edilmesi gereken en önemli bir nokta da alüminyum hurdalarının gelişi güzel toplanıp karıştırılmasının ve hiçbir işlem yapılmadan ergitilerek kullanılmasının önlenmesidir. Bu şekilde alüminyum alaşımlarının teknik özelliklerini kaybetmekte ve ileride de bunların ıslahı için çok miktarda saf alüminyum gerekmektedir [23].

Alüminyumun yeniden değerlendirilmesi konusu, enerji tasarrufu sağlaması nedeniyle ekonomik olduğu gibi bu işlemlerde gerekli yatırımın birincil alüminyum üretimi için yapılması gereken yatırıma göre daha az düzeyde olması açısından da büyük önem taşımaktadır. Bir kg. alüminyumun cevherden elde edilişi 48-60 kwh/kg. enerji gerekmektedir. Alüminyum hurdalarının yeniden değerlendirilerek yeni alüminyum alaşımlarının elde edilmesi için ancak 3 kwh/kg. enerji gerekmektedir. Bu da alüminyumun cevherden üretiminin %5-8'i kadar enerjiye eşdeğerdir. Yani ikincil üretimde bir birim enerji kullanırken birincil üretimde bunun 28 katı kullanılmaktadır. Alüminyumun yeniden değerlendirme yoluyla, kaç kez yeniden ergitilirse ergitilsin o kadar enerji maliyeti düşmektedir. Bu nedenle her alüminyum hurda parçanın ergitilerek yeniden alaşım durumuna getirilmesi ulusal ekonomi açısından çok önemlidir. Ergitilip yeniden değerlendirme işleminin kaç defa tekrarlanacağı konusunda bir sınırlandırma yoktur. Önemli olan alüminyum alaşımlarının fiziksel ve kimyasal özelliklerinin bozulmamasına dikkat edilmesidir [4,25,27,35].

Yüksek enerji fiyatları ve ekolojik baskılar nedeniyle alüminyum sektöründe ikincil üretim giderek yaygınlaşmaktadır. 1980-1991 döneminde dünya birincil üretimindeki ortalama büyüme oranı %1,7 civarında kalırken ikincil alüminyum tüketimindeki yıllık büyüme oranı %4,7 düzeylerinde olmuştur [2].

İkincil alüminyum endüstrisinde Amerika ve Avrupa'da onlarca bağımsız şirket faaliyettedir. 1983 yılında Avrupa Topluluğunda tüketilen 4 milyon ton alüminyumun 1,1 milyon tonu (%28) ikincil ürünlerdir. 1988 yılında ikincil alüminyumun oranı 1,5 milyon tonla %31,2'ye ulaşmıştır.

Dünya genelinde ikincil alüminyum kullanım oranı Almanya %36-37'lerle ilk sırada yer alırken, İtalya %35-36 ile ikinci Japonya %31-32 ile üçüncü ve ABD %30-31 ile dördüncü sırada yer almaktadır. Bu alanda en ilginç örnek ise hiç şüphesiz kullanılmış içecek kutularının geri toplanması programları olmuştur [37].

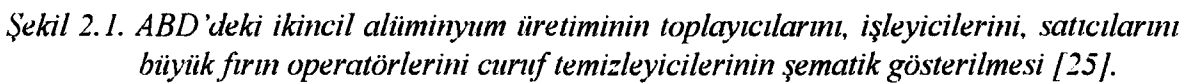
Çizelge 2.1. Batı Ülkelerinde Tüketilen Toplam Alüminyum Miktarı ve Kullanılan Hurda Oranları [23].

	Hurdadan Elde Edilen Alüminyum (100 ton)	Toplam Alüminyum Tüketimi (100 ton)	Kullanılan Hurda Oranı %
Ortak Pazar Ülkeleri	1062,8	3673,9	28,9
Öteki Avrupa Ülkeleri	132,6	968,7	13,7
Japonya	814,7	2216,6	36,8
A.B.D.	1601,2	5757,3	27,8
Öteki Batı Ülkeleri	296,8	2306,0	12,9
Toplam	3908,1	14922,5	26,2

Çizelge 2.1'de Batı ülkelerinde tüketilen toplam alüminyum miktarı ve kullanılan hurda oranları verilmektedir.

Hurda alüminyumun tekrar elde edilmesi özellikle ABD'de geçen 20 yıldan fazla olarak birincil alüminyum üretiminin fazla pahalıya mal olması, uygulama alanlarının genişlemesi, ikincil üretime ihtiyaç göstermiştir. Buna ilaveten teknik ilerlemeler de ikincil alüminyum üretimindeki saflığını artırmaktadır. Shearson Lehman Bras'a göre bu gelişme doğrultusu devam edecektir. Çünkü alüminyumun stoklanmasında herhangi bir azalma olmamaktadır. İkincil alüminyum üretimi, birincil alüminyum üretimini Japonya'da 1981'de, İtalya'da 1982'de geçmiştir. Shearson Lehman Bras'ın tahmincilerine göre (1990) hurdanın tekrar elde edilmesi ve kullanılması yükselmeye devam edecektir [12,38].

Ülkeler artık tükettikleri alüminyumun geri dönüş süre ve miktarları üzerinde araştırmalar yapmakta alüminyumun yeniden değerlendirilmesi için yeni teknolojiler geliştirmektedirler. Bu yeni teknolojiler, bu tezin ilerleyen bölümlerinde ayrıntılı bir şekilde açıklanacaktır.



3. TEKRAR ERGİTME SİSTEM DİZAYNLARINDA EKOLOJİ, EKONOMİ ve ERGONOMİ

İkincil alüminyum üretiminin endüstride artarak daha yaygın bir şekilde kullanılır olması, önlem alınması gereken ve çözüm bekleyen Ekoloji, Ekonomi ve Ergonomi konularını da beraberinde getirmiştir.

3.1. Ekoloji

Ekolojik açıdan bakıldığında genel olarak, bu sistemlerin, çevreye verdiği yükü minimuma indirmesi için;

- Aynı sonuçların alındığı taktirde, flakslayıcılı ve flakslayıcısız sistemlerden flakslayıcısız olanını tercih etmek.
- "Verimli enerjili" çalışma. Her ne kadar elektrik enerjisi, üretim kademesinden (santraller) metalurji tesislerine tam kapasitede ulaşmasa da elektrik enerjisini tercih etmek. Fosil bazlı organik enerji türlerini ancak çok özel bir yanma istendiğinde kullanmak.
- Hurda malzemelerinin beraberinde getirdiği organik maddeleri mekanik ayırma ile ortadan kaldırarak, yanmaları sonucunda çıkaracakları ekstra atık gazları böylece engellemek.
- Oksijen-yakıt brülörlerini tercih ederek bunlardan ekolojik olarak faydalanmak
 - * Oksijen-yakıt brülörü, hava yakıt brülöründen oksijen esaslı olması bakımından daha empüritesiz olduğundan, çıkardığı atık gaz hacmi daha az olacaktır.
 - * Yüksek alev sıcaklığına sahip oksijen-yakıt brülörleri ile radyasyonla ısı iletimi, alüminyumun yanmadan ergimesini sağlayacak ve bu, yanma kirliliğini önleyecektir. Tabii ki oksijen esaslı sistemlerde, oksijen maliyeti sistemin bir dezavantajıdır.

sıralanabilir.

Ayrıca diğer ekolojik konuları da şu başlıklar altında sıralayabiliriz.

- Yasalara uygunluk;
Her yeni geliştirilen sistem dizaynlarının, çevreye ve çevre yasalarına uygunluğu şarttır.
- Çevreye en az artığı bırakması;
Atmosfere ve suya giden atıkları en aza indirmek için; fırın sistemlerinde toz, kurum gibi atıkların sızmasını önleyecek izolasyonların yapılması, kontrollü ergime ile yakıt tüketiminin azaltılması, dışarı atılan gazın filtre edilmesi etkili olur.
- Ses kirliliği;
Fırın sistemlerinde toz kurum gibi atıkların sızmasını izolasyon ile önlemek, ayrıca ses yalıtımına da katkıda bulunur. Yüksek ses kirliliği yaratan kısımların akustik izolasyonu yapılmalıdır.
- Çevre düzeni;
Üretim alanının göz kirliliği oluşturmayacak şekilde tanzim edilmesi (çitle çevrilmesi vs.), doğaya saygılı bir tesis olduğu görünümünü oluşturur [16].

3.2. Ekonomi

Ekonomik açıdan, aşağıdaki sıraladığımız konular, tekrar ergitme sistem dizaynlarında ekonómiklik sağlar

- Esneklik
Tekrar ergitme sistemleri, düşük üretim miktarlarında da düşük maliyetlerde çalışabilmelidir. Değişik kapasitelerde çalışma ve geniş kompozisyon aralığında ürün üretebilme esnekliğine sahip olmalıdır.
- Kalite ve güvенеbilirlik
Sistemin elemanlarının dayanıklı olması ve birbiriyle optimum uyumu sağlayabilmesi daha az duruşları olan ve daha uzun ömürlü bir tesis demektir.

- Metal kazanımını maksimuma çıkarmak

Hurda cinsi;

Daha temiz hurda, daha az ergitme kayıplarına neden olacaktır. Lak giderilmemiş kaplamalı, empürte içeren hurdada erime kayıpları en fazladır.

Isı Transferi;

Hurda üzerine yüksek sıcaklıktaki alevlerin direkt gönderilmesi yüksek erime kayıplarına neden olur. Bu yöntemin uygulandığı aynı zaman dilimi içinde, direkt aleve maruz bırakılmadan düşük sıcaklıklarda veya sıcak gaz sirkülasyonu ile takviye edilen izabe, erime kayıplarını azaltıp metal kazanım oranını arttıracaktır.

Ergitme türü;

Direkt ergitme yerine eriyik metal banyosu içinde indirekt ergitme yapılarak daha da az metal kaybı gerçekleşir.

Hurdada ön-işlem uygulanması;

Hurdada ergime kayıplarına yol açan her türlü metal dışı ve alüminyum metali dışı içeriğin uzaklaştırılmasıdır.

İş gücünü en aza indirmek;

Pratikte; şarj verme, lak giderme, ergitme, kompozisyon değişimi için tutma ve atık gaz arıtması işlemlerinde otomasyon sağlanabilir. Ayrıca otomatik curuf çekme, karıştırma, fırın temizleme, metal transferi gibi işlemler için de çözümler mevcuttur. Otomasyonun adaptasyonunda üretim miktarı önemlidir. Büyük miktarda üretim gerçekleştiren tesislerde otomasyon, giren-çıkan ürün miktarının sabit olmasından, bir kere adapte edildiği takdirde, bir daha değişikliğe gerek duymaz. Fakat küçük ölçekli üretim tesislerinde, üretim kapasitesi hep aynı olmadığından, otomasyon devamlı değiştirilmek zorunda kalınır, bu da yarardan

çok zarar getirir. Fakat yine de ısı giriş çıkışlarının, atık gazların ve fırın basıncının güvenlik açısından, kontrollü olması için küçük ölçekli tesislere uyan, çok esnek olarak kurulabilen otomasyon sistemleri zorunlu olma yoluna doğru gitmektedir.

Isının verimli bir şekilde "verimli-enerji" kullanılması:

Ekonomik üretim için devamlı adından söz ettiğimiz "verimli-enerji" olgusu "LEAM"[®], "RILEE"[®], "SPLIT FIRE", "CLEAN-FIRE"[®] tasarımları ile sağlanmaktadır. Bu tasarımlar, ileriki bölümlerde geniş bir şekilde açıklanacaktır. Bu konulara ilaveten, enerjinin verimli bir şekilde kullanılması, izabenin yapıldığı donanımların (fırımlar vs.) dizaynına ve izabenin uygulanış biçimine de bağlıdır. Örneğin; yakıtla çalışan fırınlarda tam ergitme yapmak için ısı verimi %70 ve üstü olmalıdır. Fakat metal şarjı için veya döküm ya da uygun kompozisyonlarda metal hazırlamak için geçen bekleme süresi, ısı kaybına neden olarak bu orandaki verimi düşürecektir. Bununla birlikte, endüstriyel fırınlarda sürekli çalışma, beklemeli çalışmalara göre daha ekonomiktir. Özellikle hafta sonlarında bekleme yapmadan düşük kapasitede, düşük enerji seviyesinde fırın çalıştırmak, fırını soğutup tekrar ısıtmak için harcanan enerjiden daha ekonomik olacaktır. Bu ayrıca refrakterlerin korunması için de yararlıdır.

Isı kaybının meydana gelişinin bir diğer sebebi de fırın kapılarının ve girişlerin yeterli derecede yalıtılmış olmamasından kaynaklanır. Fırın kapılarının hızlı açılıp kapanması, ısıyı tutmak için önemlidir. 1 m²'lik fırın kapağının saat başı açılıp kapanması 12 Nm³'e eşit doğal gazın sarfiyatına neden olmaktadır. Ayrıca her kapak açılıp kapanması ile fırın duvarlarından uzaklaşan ısı; ancak, dışarı kaçan bu ısıнын katı bir enerji sarf edilerek tekrar yerine getirilebilir [16].

3.3. Ergonomi

Ergonomi açısından;

Tekrar ergitme sistemleri dizayn edilirken; emniyet, işlem kolaylığı, doğru bilgi aktarımı, kolaylıkla müdahale edilebilirlik özelliklerini içerecek şekilde dizayn edilirler.

Patlama, yanma, sıvı metal sıçraması, gaz zehirlenmesi konularına emniyet sağlanmalıdır. Otomasyon kontrolleri (curuf çekimi vs.) gibi işlem kolaylığı sağlanmalı; dijital ölçüm yapabilen cihazlar kalibrasyonlu tutulmalı ve göstergeler standart okuma mesafesinde yerleştirilerek doğru bilgi aktarımı sağlanmalı, bakım tamir için gerekli parçaların halihazırda bulundurulması ile her an müdahale edilebilirlik sağlanmalıdır.

Aşağıda verilen tablo, tekrar ergime sistemlerine uygulanan türlü dizayn parametrelerinin sistemi ne oranda ve nasıl etkilediğini göstermektedir [16].



Çizelge 3.1. Dizayn seçenekleri ve sonuçları [16].

+ az ++ orta +++ kuvvetli DİZAYN SEÇENEKLERİ	SONUÇLAR										
	Fırın sisteminde daha az kirlilik	Yüksek emniyet	Toz/gaz olmadan daha iyi çalışma	Daha iyi üretkenlik	Azalmış metal kaybı, daha iyi vaküü verimi	Ek elektrik enerjisi tüketimi	Ek işlem masrafı	Ek bakım masrafı	Daha az pahalı "tekrar yanma"	Daha az pahalı gaz arıtması	Daha pahalı gaz arıtması
Mekanik işlem ve ayırma (çoğunlukla hafif alaşım içerik taşıyan hurda)	++			++	++	+++	+	++	+++	+++	
Lak giderme, piroliz, ön ısıtma		++	+	+++	++	+		+	++	++	
Şarj esnasında yalıtım sisteminin bulunması, ön ısıtma, piroliz		++	+++	++	++			+	+++	+++	
Mekanik curuf çekme, karıştırma, sıyırma		+	+++	+	+			+	++	++	
Yalıtımı iyi yapılmış fırın kapları, kapaklar vs.			++		++				+	+	
Fırın içi statik basınç kontrol sistemi			++	++	++				+	+	
Isı girişlerinin ve diğer işlem parametrelerinin otomatik kontrolü		++	+	++	++				+	+	
Yanma atmosferi ön ısınması için kayıp ısı kazanımı*				++	++	+		+	++	++	
Konveksiyonla daha iyi bir ısı transferi için gaz sirkülasyonu				+	++	+		+	+	+	
Kontrollü sıcak ergiyik metal sirkülasyonu**				+	+	+	+	+	+	+	
Uygun flaks kullanımı					+		+	++			+
Oksijen-yakıt brülörleri, yanma atmosferinin oksijenle zenginleştirilmesi				+	+		+		++	+	

* Yanma atmosferinin yaklaşık 450°C üzerinde ön ısıtılması, yüksek NOx-emisyonuna neden olur.

** Metal sirkülasyonunun faydaları çeşitli işlemler için değişik olmaktadır.

4. ALÜMİNYUM HURDA KAYNAĞI

Hurda, ikincil alüminyum dökümhanesi için ana kaynaktır. Dikkat edilirse şaşırtıcı iki gerçek görülebilir.

a) Tarihi olarak eski hurda verilen yıldaki ikincil alüminyum üretiminin yaklaşık olarak sadece dörtte birini oluşturmaktadır. Geriye kalan ise imalat artıklarından (disk artığı, kenar kesme, freze artığı vb.) oluşan yeni hurdalardır.

b) Artan geri dönüşe rağmen ikincil alüminyum endüstrisinin üretimi daha da düşebilir. Bu gerçeği anlamak için ikincil alüminyum endüstrisi girdisinin %75'ini oluşturan yeni hurdanın piyasaya arz edilmesi gerekir [10].

Alüminyum hurdalarını genel olarak iki sınıfta toplayabiliriz.

4.1. Birincil Alüminyum Hurdaları

Bunlara dahili hurdalar da diyebiliriz. Bu hurdalar levha, çubuk ve tel halinde bulunurlar. Dahili hurdaların çoğu alaşıma ayrılarak ergitme fırınlarına gönderilir.

Bu hurdalarda enerji tasarrufu hurda miktarının, ergiyik kayıplarının azaltmakla ve ısı veriminin yüksekliği bakımından ekonomik olan yerlerde endüksiyonla ergitmeye geçmekle sağlanabilir [23,30].

4.2. İkincil Endüstri Hurdaları

Bu hurdalar;

- a) Temiz, yeni tasnif edilmiş,
- b) Temiz, fakat karışık halde,
- c) Kirli ve üzerleri kaplı şekilde bulunurlar.

Bunlardan ilki doğrudan doğruya ergitilebilir. İkincisine kimyasal ayırma yapmak gerekir. üçüncüsü ise üzerinde uğraş isteyen bir hurdadır. Pislik ve örtü malzemesinden arındırılması gerekir [23,30].

Birincil alüminyum endüstrisinden ikincil endüstriye geçerken üç büyük hurda biçimi vardır.

- 1- Kullanılmış içecek kutuları
- 2- Otomotiv hurdaları
- 3- İç hurdalar.

4.2.1. Kullanılmış içecek kutuları

Kullanılmış içecek kutularının geriye dönüşümünde gözle görülür bir gelişme vardır. Bu bir abartı değildir. Kullanılmış içecek kutularının geriye dönüşümlerinin en önemli sebebi hurdalarda yüksek derecede alüminyumun bulunması ve onun yeni kutuya çevrilebilmesidir. Bunun büyük bir bölümünün ilk üreticiler tarafından tüketilmesi, saca çevrilmesi işçilik ile birlikte yeniden stoklanması, pazar büyümesi ve özellikle Batı Avrupa’da yüksek enerji kullanan ülkelerde yeni bir pazar yaratmış ve kullanılmış içecek kutuları ithalatını başlatmıştır [25,31].

Alüminyum kutular, kaliteden ödün vermeksizin defalarca dönüştürebilirler. Sadece Avrupa’da yaklaşık 120 bin ton kapasiteli dönüşüm (yeniden ergitme) işi yapan tesisler toplanan içecek kutularının büyük kısmının, yeni ürünler üretmek için haddelenmiş alüminyum şekline dönüştürülmesini sağlamaktadır.

Kullanılmış içecek kutularının yüksek hurda değeri, toplayıcının nakit olarak ücretini almasını ve mevcut miktara bağlı olarak, alüminyumun diğer maddelerden ayrılması, balya haline getirilmesi, nakliyesi ve yeniden dönüşümü gibi diğer tüm işlerin maliyetinin karşılanmasını sağlamaktadır.

Günlük hayatta göze çok çarpan geri dönüşümü, toplumda çevre bilincini kuvvetlendirmekte ve tüketici davranışlarını değiştirmektedir. Çevre ve geri dönüşüm konularındaki eğitimlerde

örnek olarak kullanılan, kutu geri dönüşüm konusu kaynak tasarrufu ve genel olarak geri dönüşüm konularında katalizör rolü oynamakta ve bu sektörde istihdam ve iş yaratmaktadır.

İçecek kutusu piyasasına gelince; 1996 yılında Orta ve Doğu Avrupa’da ve BDT ülkeleri dahil olmak üzere Avrupa’da içecek kutusu tüketimi, 29,67 milyar adede ulaşmış olup; bu miktardan içinde alüminyum payı 14,87 milyar adettir. Gümrük dışı yiyecek, içecek servisleri yoluyla (catering) ihraç edilen miktarlar da dahil edildiğinde %50’si alüminyum olmak üzere toplam tüketim 32,016 milyar adede yükselmektedir.

Gereksiz paketlemeyi önlemek için, alüminyum endüstrisi aynı sınır ve sertlik özelliklerini korurken, yeni paketler için gereken maddeleri azaltmayı hedeflemektedir. 0,33 litrelik içecek kutusu örneğinin de gösterdiği gibi: 1983’te 18.6 gr. olan ağırlığı, 1995’te 13.4 gr. indirilerek kabul görmüş özellikleri devam ettirirken, yaklaşık %30’luk bir azaltma gerçekleştirilmiştir. Kullanılmış içecek kutuları ile ilgili geniş açıklama “Kullanılmış İçecek Kutularının (UBC) Geri Kazanımı” bölümünde yer verilmiştir [25,38,40,41,43].

4.2.2. Otomotiv hurdaları

Kullanılmış otomobilden alınan hurdaların geri dönüşümündeki aktivitesinin artmasıyla yeni teknolojilerin hurda çevriminde kullanılmasıyla ekonomik yönden ilgi çekmiştir. Demir dışı metaller ne kadar değerli olsa da parçalanırken bazı metalleri etkilediği için ikincil endüstri giderek önemini arttırmıştır. Çünkü alüminyum otomobil sanayiinde kullanımı artmaktadır.

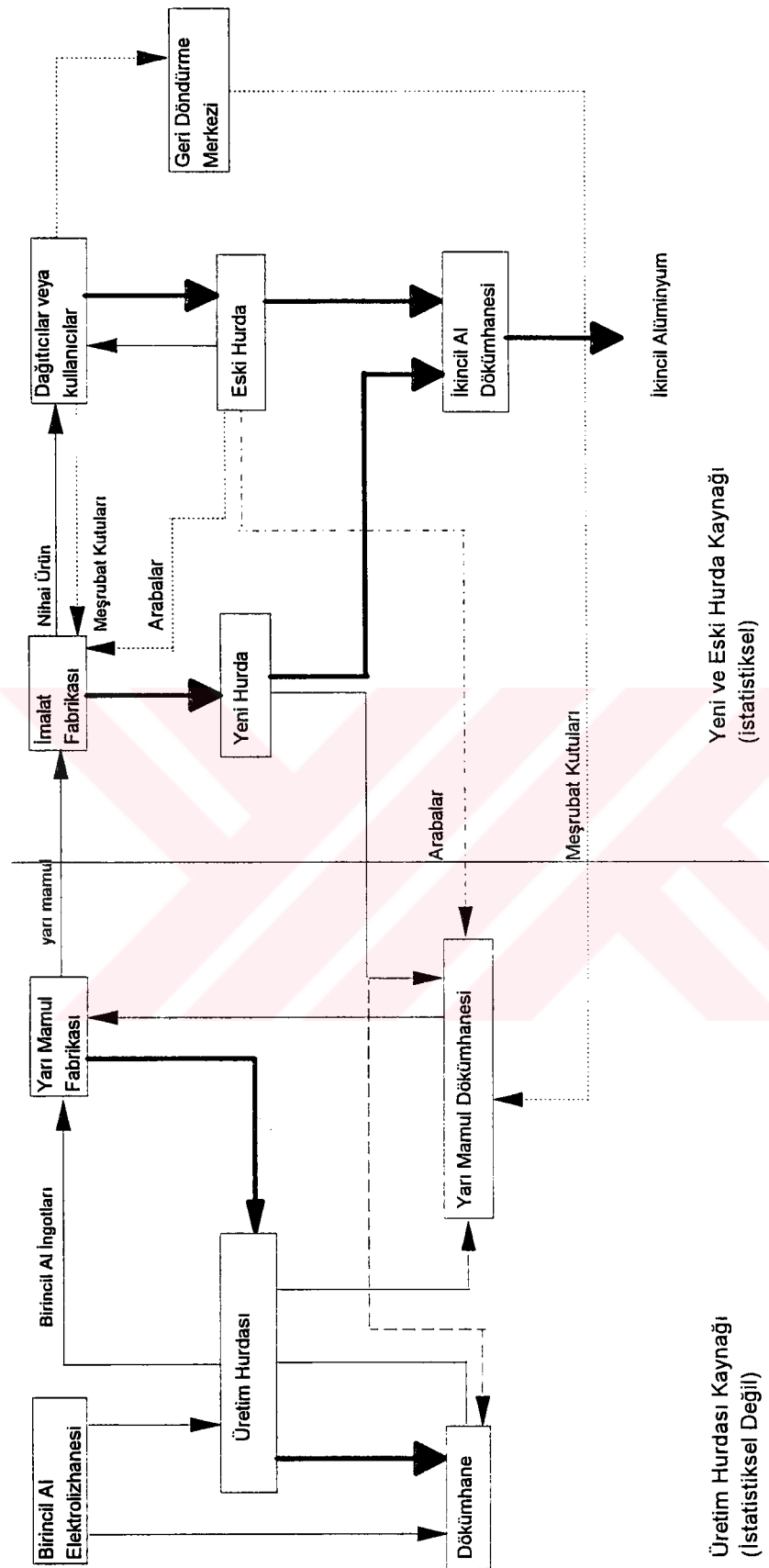
Otomobilden alüminyum parça parça sökülebildiği için metal döküm endüstrisi için özel bir önemi vardır. Otomobil sanayiinde kullanılan alüminyum potansiyeli üreticilere büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Ortak yapılan tahminlere göre yakın zamanda 90-125kg. arasında alüminyum kullanılabilir. Günümüzde otomobil sektöründe alüminyum kullanımının giderek artması aynı zamanda inşaat malzemesinde kullanılması dökümün önemini arttırmıştır. Alüminyum dövme parça ve ekstrüzyonlar şimdi de uluslararası otomobil ücretleri tarafından geliştirilmiş ve ilk alüminyum üreticilerinden daha fazla malzeme kullanmışlardır. 1990’da 10 milyon kullanılmış otomobilden 550 bin ton alüminyum yapılmıştır. Bu da göstermektedir ki, 55 kg. araç başına düşmektedir. 1995’te otomobillerde

kullanılan projelerin geliştirilmesi ile tekrar elde edilebilen alüminyum miktarı artarak 900.000 ton olmuştur.

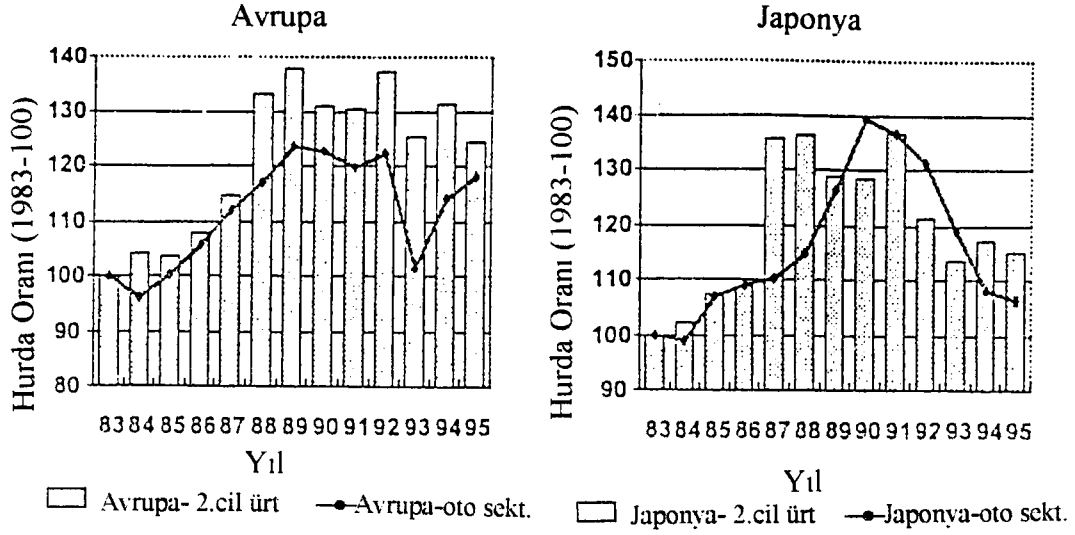
1987 yılında GENERAL MOTORS yeni bir proje başlatarak yeni, değişik ve birleşen parçalar üretmeye başlamıştır. İkincil alüminyumdan silindir kafaları, su pompaları, emme manifoldları, pistonlar ve yakıt pompaları üretmeye başlamıştır [15,25,32,33,38].

4.2.3. İç hurdalar

En iyi yapılan tahminle 13.5 milyon ton metal bir yılda geri kazanılmıştır (ABD). Parçalanmış metallerin tekrar elde edilmesi enerji bakımından belediyede yapılan işlemlerden ekonomik bir kolaylık sağlamamaktadır. Gelecekte teknolojinin gelişmesi enerji fiyatlarının değişmesiyle daha fazla hammadde elde edilir. Toprak israfını önlemek için bütün ikincil dönüşümlerin artması gerekmektedir. 1988 yılında ABD’de, 160 milyon ton hurda üretmiştir. 2000 yılına kadar her yıl için 100 milyon ton olacağı beklenmektedir. ABD’de çevreyi koruma ajansları %80 önümüzdeki 20 yıl içinde toprağa atılan metallerin kaybolacağını tahmin etmektedirler. Çevreyi koruma ajansı ve diğer ajanslar döküntüden yeniden üretimi savunmaktadırlar. Uluslararası durumda ise, EPA’ya göre bu oran 1995’te %35’e çıkmıştır. Alüminyum hurdanın değerinin fazla olması ve başarılı yöntemlerin kullanılması yeniden dönüşümün oranını arttırmaktadır [25,29].



Şekil 4.1. Alüminyum Hurdasının Kaynağı ve Geri Kazanımı [10].



Şekil 4.2. Avrupa ve Japonya'da otomotiv sektörünün yıllara göre hurda piyasasındaki payı [33].

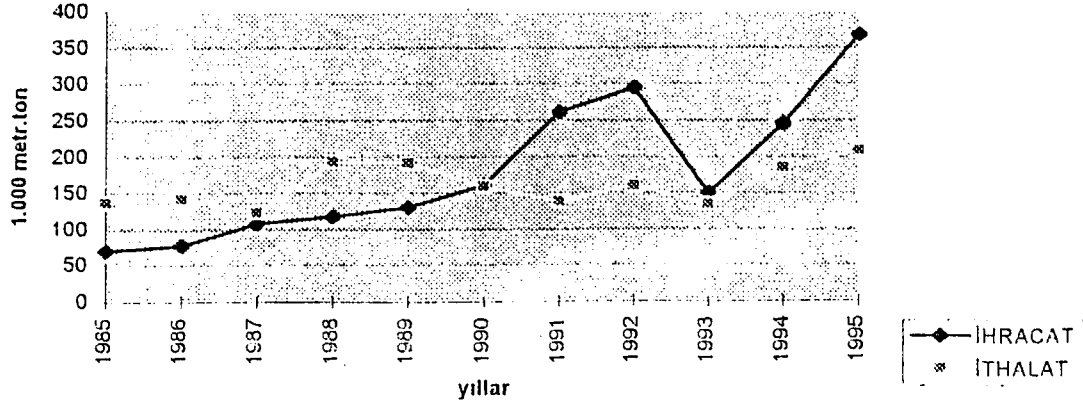
Yukarıda belirttiğimiz, hurda kaynağını ağırlıklı bir biçimde oluşturan otomotiv sektörünün yanında, kullanılmış içecek kutuları da önemli bir kaynaktır.

Ayrıca aşağıdaki çizelge ile Avrupa'da hurda piyasası, 1994 itibariyle ülkeler bazında gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. 1994 yılı itibariyle ülkeler bazında Avrupa'da hurda piyasası [8].

	İHRACATLAR 1994	İTHALATLAR 1994	DENGE	AÇIKLAMALAR
ALMANYA	184.581	259.526	- 110.945	E
İSVİÇRE	6.633	63.799	- 57.166	E
İNGİLTERE	55.578	95.513	- 39.935	E
HOLLANDA	127.929	134.163	- 6.234	E
İTALYA	165.332	6.441	+ 158.891	I
FRANSA	95.287	58.350	+ 36.937	I
BELÇİKA	174.364	106.541	+ 67.823	I
E = NET İHRACAT YAPAN ÜLKE I = NET İTHALAT YAPAN ÜLKE				

Bu grup içinde en fazla hurda ihracatını gerçekleştiren Almanya'nın hurda piyasasındaki profili, seneler itibariyle aşağıdaki grafikte gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Almanya'daki hurda piyasasının yıllar bazında değerlendirilmesi [33].

5. KULLANILMIŞ İÇECEK KUTULARININ (USED BEVERAGE CAN-UBC) GERİ KAZANIMI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Toplumsal çevre bilincinin artması ve alüminyum üreticilerinin desteği ile, alüminyum içecek kutularının toplama ve geri kazanım programları hızla gelişmiştir. Bu durum özellikle alüminyum yüksek pazar payının böyle projeleri gerekli kılan yatırımları teşvik ettiği ülkeler için daha geçerlidir.

Günümüzde alüminyum geri kazanımı için tesis yetersizliği söz konusu değildir ve son on yılda kullanılmış içecek kutusu (UBC-Used Beverage Can.) eritme tesislerine yapılan yatırımlar artmıştır. Bu tip tesisleri İngiltere, İsveç, Almanya, Yunanistan, İtalya ve Fransa'da faaliyettedirler. Bu tesislerin herbiri kullanılmış içecek kutularını, yeni alüminyum uygulamalarında kullanmak üzere eritip külçe olarak dökmektedirler. Ayrıca Avrupa genelinde çok sayıda ikincil eritme tesisi kullanılmış içecek kutularını geri kazanım yoluna gitmektedir.

1970'de OPEC'le meydana gelen enerji krizi ile yeniden değerlendirme ve geri kazanma aktiviteleri adeta bir patlama göstermiştir. Günümüzde hemen hemen tüm birincil üreticiler büyük miktarlarda hurdanın geri kazanım işine girmiş ve bu alanda da rekabet ortamı oluşmuştur.

Alüminyum içecek kutularının büyüyen piyasasında, alüminyum geri kazanımının çok büyük rolü vardır. 1976'da 46,4 milyar kutu üretilmiş, bu miktarın 4,9 milyarı geri kazanılmıştır. 1981 yılında 72,9 milyar kutu üretilmiş, 33,3 milyar kutu geriye çevrilmiştir. 1988 yılında içecek kutularının %94'ü alüminyumdan üretilmiş neredeyse %100'ü alüminyumdan üretilmiştir. Bu konuyla ilgili yasaların olması (A.B.D.) içecek kutularının israfını önlemiştir. Toplama aktiviteleri genel duyurular ve eğitim kampanyaları sayesinde artmıştır. 1991 yılında yapılan projeye göre alüminyum pazarı %14 büyüyerek %60'a çıkmıştır. 1992 yılının (480253 ton) ilk beş ayı boyunca, alüminyum kutu geri kazanımı 1991 yılının (348967 ton) aynı periyoduna göre daha fazla olmuştur. Kullanılmış içecek kutularının (U.B.C) geri kazanılması, alüminyumun yüksek hurda değerine ve yeni kutu stoğuna dönüştürülebilirliğine bağlı olmaktadır. Yapılan diğer bir araştırmaya göre içecek kutularının

(UBC) geri kazanım oranı A.B.D.'de 1974'te %17.5'den 1994'de %65.4'e çıkmıştır. Aynı dönemler içinde içecek kutularının (UBC) geri dönüşüm oranı Tayvan'da %60.4 olarak (Tayvan UBC geri kazanım birliği verilerine göre) gerçekleşmiştir. Tayvan'da 1995 yılı itibariyle 2 milyar kutu tüketilip bunun 21.000 tonu UBC olarak toplanmıştır.

Avrupa'daki durum ise; 1991'de Avrupa'da kullanılmış tüm içecek kutularının yaklaşık %21'i geri kazanılmıştır. Mevcut durum ise, 1987'den beri hemen hemen yüzde yüzlük bir artışı temsil etmekte ve yıllık %20-25 arasında bir artış oranını yansıtmaktadır.

Avrupa'da Alüminyum İçecek Kutusu Geri Dönüşüm Birliği'nin (ACRE) 1994 yılı dünya genelindeki alüminyum içecek kutularının tüketimi 135 milyar kutu kadardır. Bu oran, 160 milyar parçalık toplam içecek kutusu pazarın %85'ine eşittir. Yani dünya genelinde, bugün her yedi içecek kutusundan altısı alüminyumdan üretilmektedir.

Avrupa pazarında 1987'deki yaklaşık 15 milyar kutuluk tüketim, 1994'te 26 milyar kutuya çıktı. Bu arada alüminyumun pazar oranı da aynı dönemde %38'den %56'ya yükseldi. Avrupa dışındaki ihracatlar ve iç stoklamalar göz önüne alınırsa, 1994'te Avrupa'da 16,6 milyar alüminyum kutu üretildi. Bu da 29 milyar kutuluk toplam Avrupa (AB+EFTA+Türkiye) üretiminin %57'sini temsil etmektedir.

Avrupa'da Alüminyum İçecek Kutusu Geri Dönüşüm Birliği (ACRE), Avrupa'da kullanılmış alüminyum içecek kutularının geri dönüşüm oranının 1996 yılında %5,7 artarak 1995 yılındaki %35 oranından, %37'ye yükseldiğini ve bu miktarın yeni alüminyum içecek kutuları veya diğer yüksek kaliteli ürünler üretmek için kullanılacak 7500 ton alüminyum ingota eşdeğer olduğunu bildiriyor. Bu başarının mimarları, ACRE üyesi şirketler Alcoa, Alcan, Pechiney, Reynolds ve UAW ve Alusuisse-Lonzo (İsviçre), Elval (Yunanistan) ve Inespal (İspanya)'ın ve ülkeden ülkeye değişen kutu üreticilerinin, doldurucularının ve satıcılarının güçlü ulusal desteği olmuştur.

Çizelge 5.1'de ülkelerin kutu tüketimi ve geri dönüşüm rakamları verilmiştir. Geri dönüşüm oranları, ülkenin içecek kutusu pazar büyüklüğüne, kişi başı tüketime, alüminyum kutu payına, toplama alt yapısına, yerel kültürüne bağlı çevre bilinci seviyelerine ve geri dönüşüm ihtiyacına göre ülkeden ülkeye değişiklik göstermektedir.

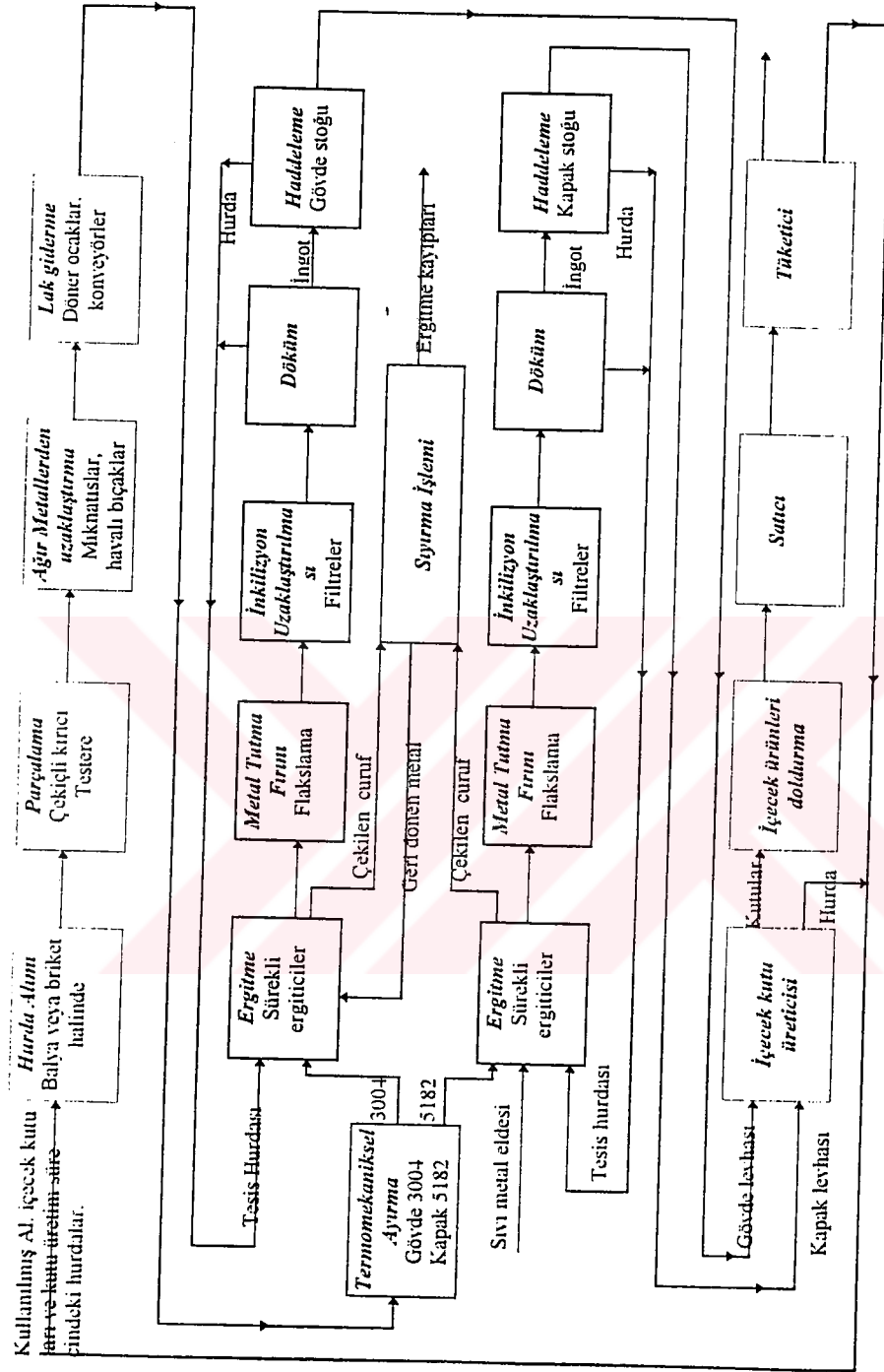
Çizelge 5.1. Ülkelerin kutu tüketimi ve geri dönüşüm rakamları [43].

ÜLKE	TOPLAM KUTU TÜKETİMİ ⁽²⁾	ALÜM.KUTU TÜKETİMİ ⁽³⁾	ALÜM. PAYI %	YENİDEN DÖNÜŞÜM ORANI
Avusturya	370	278	75	50
Belçika	750	165	22	25
Danimarka	-	-	-	-
Fransa	2000	660	33	14
Almanya	6290	629	10	81
Yunanistan	890	890	100	35
İtalya	1710	1351	79	37
Hollanda	880	194	22	25
Norveç+İzlanda	40	40	40	10
İsviçre	120	120	100	87
Portekiz	320	192	60	87
İsveç	835	835	100	91
Finlandiya	70	70	100	80
İngiltere	7760	4890	63	31
İrlanda	280	210	75	20
Türkiye	1170	819	70	40
Batı Ülkeleri Toplamı	26.885	12.783	48%	37%
Polonya	300	300	300	8
Çek.Cum.+Slovakya	130			n.a
Macaristan	150			n.a
BDT	2185			n.a
Diğer Doğu Avrupa Ülkeleri	220			n.a
Toplam Doğu-Orta Avrupa	2985	2050	69%	n.a
Toplam Avrupa Ülkeleri (İhracat+Vergisiz+Catering)	29.670	14.833	50%	
Toplam Doldurmalar	32016			

1 Milyon Adet Olarak

2 Kutular cinsleri kaydedilmediğinden belirtilen yeniden dönüşüm oranları, dönüştürülmüş alüminyum ambalaj miktarlarının tahmini/resmi sonuçlarını göstermektedir.

3 Yeniden dönüşüm yapılmasına rağmen bugüne kadar hiçbir miktar kaydı alınmamıştır.



Şekil 5.1. Kullanılmış içecek kutularının geri kazanımı [26].

Çizelge 5.2. Alüminyum geri kazanma kotası [36].

Nakliye ve Ulaştırma	Tahmini yaşam yılı	Geri kazanma kota olasılığı %
Yeni Hurda	0	100
Nakliye ve Ulaştırma	10-20	50
Bina ve İnşaat	30-50	70
Paketleme	1-2	5-50
Ev Malzemesi	0.5-2	5-20

Kullanılmış alüminyum kutularının geri kazanım teknolojisinde UBC'ler, hem birincil hem de ikincil üreticileri ilgilendirmektedir. %80'e yakın UBC'ler, birincil üreticilere dönerken, ikincil üreticilerde en yaygın alan "open hearth", döner fırınları uzun alev fırınları ve endüksiyon fırınlarını kullanmak suretiyle tekrar ergitme yaparak geri dönüşümü sağlamaktadırlar. Kullanılmış İçecek Kutularının (UBC) geri kazanımı, kapalı halka çevrimi ile üretim sistemine verilebilecek en iyi örnektir. Şekil 5.1'de görünen çevrim, endüstriyel standartlarda her zaman geçerli olmasa da UBC'lerin geri dönüşümünü ve geçirdiği kademeleri bir sıra dahilinde göstermektedir [14,25,34,36,37,38,43].

5.1. Toplama İşlemi

UBC'ler, toplama merkezlerinden 400 kg'lık balyalar veya maksimum 500 kg/m³ yoğunlukta briketler halinde toplanır. Parçalanma işleminde; balya ve briket halindeki bu yoğun hurda grupları, küçük parçalara ayrılarak ve özellikle kutular kırpıntı haline getirilerek içerdikleri artık sıvılardan arınırlar, çünkü bu artık sıvılar daha sonraki ergitme aşamalarında ergiticilere hasar verebilir. Daha sonra parçalayıcıdan manyetik ayırıcıya geçen hurdalar, içerdikleri demirli bileşiklerden arınarak, ayrıca hava bıçağı yardımı ile demirdışı ağır metallere (çinko, kurşun, paslanmaz çelik) kurtulurlar. Parçalanmış alüminyum kutular, sonra lak giderme işlemine tabi tutulurlar [25].

5.2. Lak Giderme İşlemi

Lak giderme işlemi, içecek kutularının (UBC) üzerindeki boyalarının yanması işlemidir. Sürekli ısı lak giderme kademesinde iki temel uygulama vardır. İlkinde, işlem uzun zamanda fakat güvenli bir sıcaklıkta yapılır. İkincisinde ise, işlemde, kısa bir zaman diliminde ergime sıcaklığının hemen altında bir sıcaklığa kadar kademeli bir sıcaklık artışının uygulanması söz konusudur. Birinci uygulamada bir konveyör üzerinden geçirilen 200mm'ye parçalanmış UBC'ler 520 °C'de bulunan bir bölmeye alınırlar. Bu bölme lak giderme işlemi için uygun atmosfer koşulları ve sıcaklığı sağlamak üzere havayla seyreltilmiş yanma gazları ürünlerini içermektedir. İkinci uygulamada, çeşitli giriş noktalarında yanma gazı ürünlerini sirküle edebilecek sisteme sahip olan döner ocaklardan "rotary kiln" yararlanılır. Bu sistemde son aşama sıcaklığı, yaklaşık olarak 650 °C'dir ve bu sıcaklık alüminyum magnezyum (5xxx serisi) alaşımlarında ilk ergimenin olduğu sıcaklığa çok yakındır. Bu alaşım içecek kutularının kapakları olarak kullanılabilir.

Her iki sistemde de uniform olmayan lak gidermeye neden olabilecek kontrol problemleri ortaya çıkabilmektedir. Düşük sıcaklıkta veya belli bir sıcaklıkta, kısa işlem zamanlarında UBC'lerin üstünde katran benzeri tabakalar meydana gelebilir. Bu tabakalar için alınan ön ergitme önlemleri ise daha sonra metal kayıplarının artmasında neden olacaktır. Çok yüksek sıcaklık veya uygun sıcaklıkta çok uzun işlem süresinde de hurdanın aşırı oksidasyonu ve ergime kaybının artması problemleri karşımıza çıkar.

Konveyör bulunan lak giderme metodunda, yatak derinliklerinin fazla olması nedeniyle meydana gelecek sıcaklık gradyentleri, yukarıda bahsettiğimiz sıcaklık ve zaman orantılı örneklerdeki problemleri meydana getirecektir. Döner fırın metodunda ise, gaz akışları yüksektir, küçük parçalara ayrılmış UBC'ler bu gaz akışı ile homojen olarak bir arada bulunmaktan çıkarak savrulurlar ve farklı ısı gradyentleri tesiri altında kalarak ilk saydığımız sıcaklık-zaman oranları farklı tutulmasından kaynaklanan problemleri meydana getirirler. Yaklaşık 20 ton hurdayı bir saatte işleyen lak giderme üniteleri için uygun operasyon kontrolü, düşük ergime kayıpları elde etmek açısından hayati öneme sahiptir [25].

5.3. Alaşım Ayırma

Sıcak lak giderme işleminden sonra UBC'ler belirli sıcaklıkta tutulan ve oksitleyici olmayan bir atmosfere sahip olan termomekanik ayırım odalarına gönderilirler. Bu bölmede mekanik bir hareketle, daha önce ön ergitmenin zayıflatmak suretiyle etkilemiş olduğu 5182 alaşımı (UBC'lerin kapak kompozisyonu), tane sınırlarından küçük parçalara ayrılır, böylece aşırı boyut küçülmesinin önüne geçilir. Bu işlem süresince küçültülen 5182 partikülleri, tane boyutları hassas bir biçimde, seçici bir sistem vasıtasıyla kontrol edilirler. Sistemde, 5182 tanelerinin ergimeye maruz kalmadan 3004 (UBC'lerin gövde kompozisyonu) partiküllerinden ayrılması ve kapak ergitme üniteleri için ayrılmaları sağlanır. 3004 partikülleri ise gövde ergiticilerine, ayrıca yollanır [25].

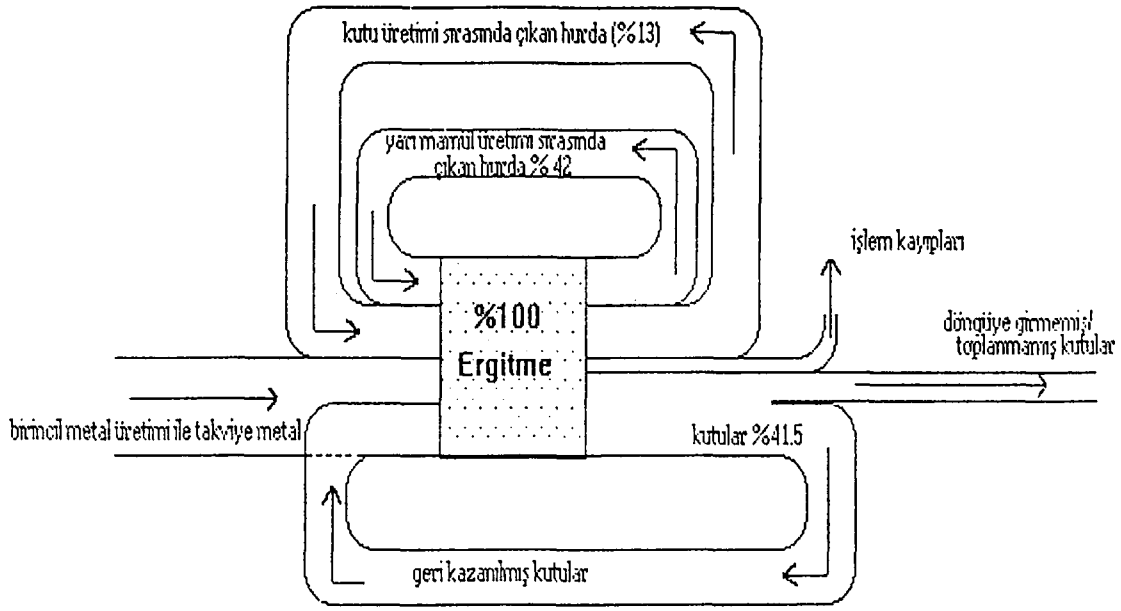
5.4. Ergitme, Kompozisyon Hazırlama ve Döküm

UBC'lerin geri kazanımında ergitme işlemleri, en az ergime kayıpları olacak şekilde ve hacimce büyük oranlarda beslemelerin, hızlı bir şekilde işlenebileceği şeklinde dizayn edilmektedir. İzabe sırasında ortaya çıkan ergime kayıplarını en aza indirmek ve curuftan geri kazanılan metalin işleme tekrar dahil edilmesi ekonomik bir ergitmeyi sağlayacaktır. Buna bir örnek metal, oksit ve çeşitli gazlardan oluşan yüksek miktardaki filmin metal banyosu üzerinden sıyrılarak alınması ve tekrar işlenmesi ile mümkün olmaktadır. Toplanan tipik bir curuf filminin ağırlığı orijinal şarjın, ağırlıkça %15'i kadardır. Bu curuf filminden kazanılan metal, magnezyum ve diğer içeriklerinin fazla olması nedeniyle kutuların gövde kısımlarında kullanılır.

Daha sonra ergitme fırınlarında, sıvı eriyik içine katı hurdalar atılarak bunların ergitilmesi sağlanır, ayrıca istenilen kompozisyonda alaşım oluşturmak için ergiyik içine saf alaşımsız birincil metal şarjı da yapılır. Bu "ergitme" fırınlarından sonra metal, "metal tutma" fırınlarına aktarılarak istenilen son kompozisyon değişiklikleri (gaz flakslanması, hidrojen giderme) yapılır. "Metal tutma" kademesinden sonra sıvı metal, son ek işlemlerin yapıldığı "inklizyonların uzaklaştırılması" bölmesine aktarılarak içerik ve yapı bakımından son halini alır. Bundan sonra, "döküm" aşaması gelir. Temiz ve kompozisyonu tam olarak istenilen metal, artık 15 tonluk ingotlar şeklinde dökülür. Döküm sırasında ve ingotların levha

şeklinde haddelenmesi sırasında orijinal ergiyik metalin ağırlıkça %42'si zayıta uğrar. Bu aşamalar sırasında çıkan bu hurdaya Döner Hurda ve Tesis Hurdası denir ve direkt olarak termomekaniksel ayırma kademesinden hemen sonra gelen “ergitme” fırınları kademesine verilirler. Sırasıyla kapak ve gövde kısımları üretildikten sonra kutu üretimi yapılır. Kutu üretimi sırasında da bu yarı ürünün %20'si (orijinal eriğin %13'ü) zayıta gider. Bu hurda, tekrar tesis hurdası adı altında, yine Termomekaniksel ayırma kademesinden sonra gelen “ergitme” fırınları kademesine eklenir.

Sonuç olarak UBC'lerin geri kazanım sürecine baktığımızda, orijinal metal ergiyiğini elde ettikten sonra, bu ergiyin kapak ve gövde şeklini almasına kadar çeşitli kademelerde ağırlıkça zayıta uğradığını ve kapak-gövde kısımlarının ayrıca kutu haline dönüştürülmesi aşamasında da belli oranlarda kutu üreticilerince zayıtın çıktığını ve hurdanın oluştuğunu görüyoruz. Bu oranlara baktığımızda; %42 oranda hurda, orijinal metal ergiyin kapak-gövde halini alana kadar döküm, haddeleme kademesinde meydana gelmektedir. %13 oranda hurda, kapak-gövde yarı mamulünün kutu halini alana kadar çıkardığı hurdadır. Aşağıda bir kapalı çevrim ile gösterilen bu değerlere ek olarak, çevrimin üst halkasında mevcut olan işlem kayıplarından çıkan miktarı görmekteyiz. %100 ergitmenin sağlanması için gerekli olan toplam, $\%42 + \%13 = \%55$ oranı %100'e tamamlayacak UBC'leri gerektirmektedir. UBC'lerin tamamı toplanamadığından ve ancak %41.5'u toplandığından %100 ergitmeye ulaşmak için birincil alüminyum üreticilerinden eksik toplanmanın oluşturduğu bu boşluğu dolduracak, metali (birincil alüminyum üretimi ile elde edilen alüminyum) takviye etmesi zorunluluğu ortaya çıkmıştır. Eğer teoride tüm kutuların toplandığını düşünürsek bu çevrimi tamamlamak için sadece, oluşan metal kayıplarının birincil alüminyum ile takviye edilmesi gerekir ki bu da sadece çevrimin %7'sini oluşturacaktır.



Şekil 5.2. Kullanılmış içecek kutularının geri kazanım çevrimi içinde, sabit bir 100% ergitme sağlanabilmesi için birincil alüminyum takviyesinin görünümü [25].

Yukarıdan da görüldüğü üzere, UBC'lerin geri kazanımının önemi giderek arttıkça UBC'lerin toplama işlemleri ve ikincil üreticilere aktarılmasının daha kontrollü ve ciddi çevrimin en ekonomik şekilde tamamlanması için çalışmalar devam etmektedir. Tuz ile flakslama yönteminin yaygınlaşması ile metal kayıplarının önlenebileceği düşünülmektedir. Endüstride uygulanan tuz kullanımının çeşitli avantajları ve dezavantajları bulunur. Bu sebepler göz önüne alınarak, tuz kullanılarak elde edilen avantajların aynı şekilde elde edildiği ve tuz kullanımına gerek duyulmayan “entegre” sistem dizayn edilmiştir. Söz ettiğimiz “entegre” sistem, bu araştırmada -Alüminyum Geri Kazanımında “Flaksız” Ergitmedeki Sistemler- adı altında daha detaylı anlatılmıştır [25].

5.5. İşlemlerdeki Gelişimler

1973'te meydana gelen enerji krizi ile daha da göze batan ergitme kayıpları, enerjinin en verimli şekilde kullanıldığı, yeniden ergitme sistemleri geliştirilerek azaltılmıştır. Bu çalışmalar ile ayrıca emek gücünün azaltılması ile de kısa zamanda yüksek üretim elde

edilmesi hedeflenmiştir. Örneğin “open hearth furnace” açık ergitme fırınlarında yüksek miktarlarda şarjın ve dolayısıyla yüksek şarj zamanlarının meydana gelmesi, üretimi yavaşlatmaktadır. Ayrıca bu yüksek miktarlardaki şarjla oluşan kalın curuf tabakası sıvı banyo üzerinde adeta bir izolator görevini üstlenerek enerji transferini zorlaştırmaktadır. Bu da enerjinin verimli bir şekilde kullanılmasına imkan vermemektedir. Enerjiyi verimli kullanabilmek için önerilen bir yöntem, üniform ısıtmanın yapılmasıdır. “Open hearth furnace”larda; hurda, brülör altında adeta çembere benzeyen bir geometride direkt olarak aleve maruz bırakılır. Böylece ısı iletimi, hurda yığınının, hurda hacim-yüzey alanı artırılarak yükseltilmiş olur ve hurda yığını, alüminyum metalinin doğasında olan yüksek iletkenlik özelliğinden de faydalanarak üniform olarak ısınır. Bu koşullar altında alüminyum oksit filminin koruyucu doğası yüksek sıcaklıklardaki hızlı oksidasyonu önleyecek ve bütün şarjın, hemen hemen aynı zamanda ergimesini metal kaybı olmadan sağlayacaktır. Curuf daha sonra banyo üzerinden sıyrılabilir. Bu oluşan temiz yüzey ile istenilen çalışma sıcaklığına hızlı bir şekilde çıkılabilir.

Diğer bir üniform ısı elde edilememe problemine ise et kalınlığı 0.13mm olan alüminyum hurdalarda rastlanır. Lak giderme işlemine tabi tutulan bu ince et kalınlıklı hurdalar üzerinde oksit tabakaları oluşmuş durumdadır ve brülör alevine maruz bırakılan bu karakterdeki hurdaların oksit tabaka kısmı, önce ısınmak suretiyle, parçanın her yerine ısıyı üniform iletemeyecek ve ısınan oksit tabakalarının çatlaması ile ortaya çıkacak ısınmamış metal, bir kısmı fırın atmosferinde oksitlenecektir. Metalde meydana gelen bu yeni oksit filmi sırasında metalin bir kısmı eriyecek bir kısmı da yine ısınmadan kalacaktır. İşte bu oksitlenme ile metal hurda üzerinde meydana gelen “soğuma-ısınmalar” hem metal kaybına hem enerji sarfiyatına hem de istenmeyen izolator gibi davranan curuf tabakasına neden olacaktır. Böyle et kalınlığı çok ince olan bu tür alüminyum hurdalar, “sürekli ergitme” işlemi ile yukarıda belirttiğimiz problemleri oluşturmada ergitilebilirler. Sürekli Ergitmede düşük yoğunluklu hurdaların, “open heart furnace” ocaklarında saldırgan atmosfer altında bulundurulmadan, önceden ergitilmiş bir metal banyosu içinde karıştırılarak daha verimli şekilde ergimeleri sağlanır. Bu olay iki şekilde gerçekleşir. Hurda fırın içinde oluşmuş metal banyo ile karşılaştırılır veya metal banyosu, dışarıda hurda ile karıştırılmak üzere bir pompa sistemi ile fırın dışına alınır. Bunun bir avantajı da, oluşan curufun fırın dışında toplanması kolaylığının

bu sistem ile gelmiş olmasıdır. Sürekli ergitmede göze çarpan bir diğer avantaj ise; atık gazların, hurdaların ön ısıtımında veya yanma gazı ürünlerinin ısıtılmasında etkili bir şekilde kullanılabilmesidir [19,25].

Alüminyum tekrar elde edilmesinde, geleneksel fırınlar üzerinde, yeni teknolojik gelişmeler ilave edilerek ya da değiştirilerek veya hatta birkaç sistem birleştirilerek, yeni teknolojik sistemler geliştirilmiştir. Bu yeni teknoloji ile elde edilen ergitme sistemleri, “Kullanılan Ergitme Sistemleri” bölümünde ayrıntılı bir şekilde yer verilecektir.



6. ALÜMİNYUMUN GERİ KAZANIMINDA KULLANILAN ERGİTME SİSTEMLERİ

Yüksek alev sıcaklıkları ve ısı veriminin yüksek olması ve daha düşük oranda artık gaz meydana gelişi, oksijen esaslı ergitme fırınlarını ön plana çıkarmıştır. Yeni tekniklerle geliştirilen oksijen esaslı yanmaların en büyük avantajları; seri olmayan işlemlerde fırın tipine göre optimum bir alev oluşturulabilir olmasıdır. Bugün alüminyum ergitme fırınları için özel olarak dizayn edilmiş oksijen-yakıt ateşleme sistemleri mevcuttur.

Oksijen esaslı yakma sistemleri demir-çelik sektöründe son 50 senedir kullanılmaktadır. İlk hava karışımı ile başlayan teknikte daha sonra sisteme saf oksijen sokulmuş ve oksijen-yakıt yanması ile meydana gelen yüksek derecedeki alev, demir çelik izabesinde çok başarılı bir şekilde yaygınlaşmıştır.

1970’lerde oksijen esaslı yanmalar alüminyum endüstrisinde de kullanılmaya başlamıştır. Bu senelerde yapılan çalışmalarda başarılarının çok yüksek olduğunu söyleyemeyiz. Yanlış yaklaşımlar sonucu bir dizi elde edilen başarısızlık döneminden sonra bu yanlış yaklaşımlar irdelenmiş ve çözümler üretilerek oksijen-yakıt karışımı yanma tekniği geliştirilmiştir. 1970’lerde uygulanan sistemde oksijen brülörleri “tüp içinde tüp” (tube in a tube design) dizaynına sahipti. Oksijen ve yakıt dar ve yüksek hızda bir alev oluşturacak biçimde brülörün ağzında karışmaktaydı. Brülör, bu özelliği nedeniyle alüminyum ergitme fırınlarının performansı çok düşürmüştür.

Bu Oksijen-Yakıt brülörlerinin alüminyum ergitme fırınlarına konmaları ile bazı sakıncalar ortaya çıkmıştır. Bunlar;

- Fırın çatı ve duvarlarının yanması
- Alüminyum ve curufun buharlaşması
- Dayanımda düşüşler
- Fırında meydana gelen patlamalar

Bu sakıncaların ortaya çıkmasının sebepleri şunlar olmuştur;

- Yakıcının durduğu yer,
- Alevin yönü,
- Fırın içindeki sıcak bölgeler,
- Alüminyum ergitme işlemi hakkındaki yetersiz bilgi, fırın dizaynı ve farklı tür hurda kullanımı [17].

Alüminyum Endüstrisinde geleneksel olarak kullanılan fırınlar;

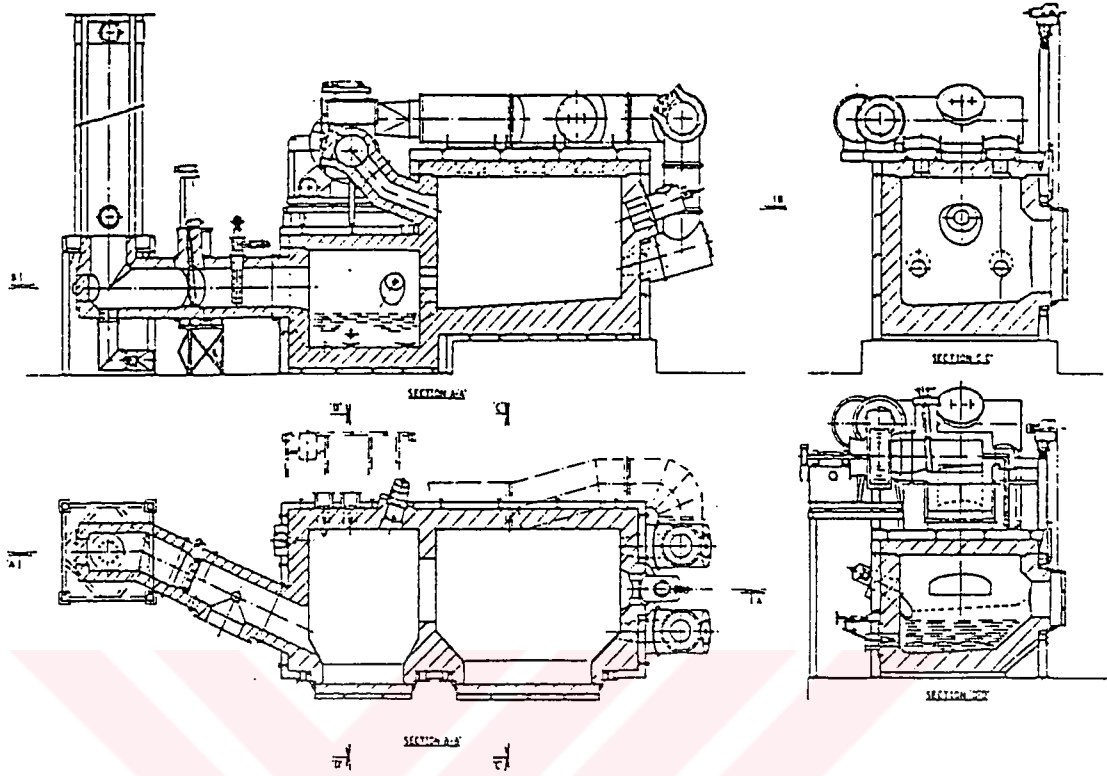
- 1- Pota Fırınları,
- 2- Reverber Fırınları,
- 3- Döner Fırınlar,
- 4- İndüksiyon Fırınlarıdır.

Bugün alüminyumun geri kazanımında yaygın olarak kullanılan Tekrar Ergitme Sistemleri geliştirilmiştir.

6.1. Reverber Fırınlarında Yapılan Teknolojik Yenilikler

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. Reverber fırınının bir çeşidi olarak söyleyebileceğimiz bu fırın tipi “DRY HEARTH FIRINI” olarak adlandırılır. Bu dizaynda fırın şarj odası belli bir eğime sahiptir. Demir içerikli alüminyum hurdaları bu bölümden yüklenir. Demir içerikli alüminyum hurdaları alüminyumun düşük ergime (demire göre) sıcaklığı prensibiyle, meydana getirilmiş eğimden damlalar halinde hazneye alınır. Dry Hearth Fırını ve Kapalı Kuyu Fırını ile

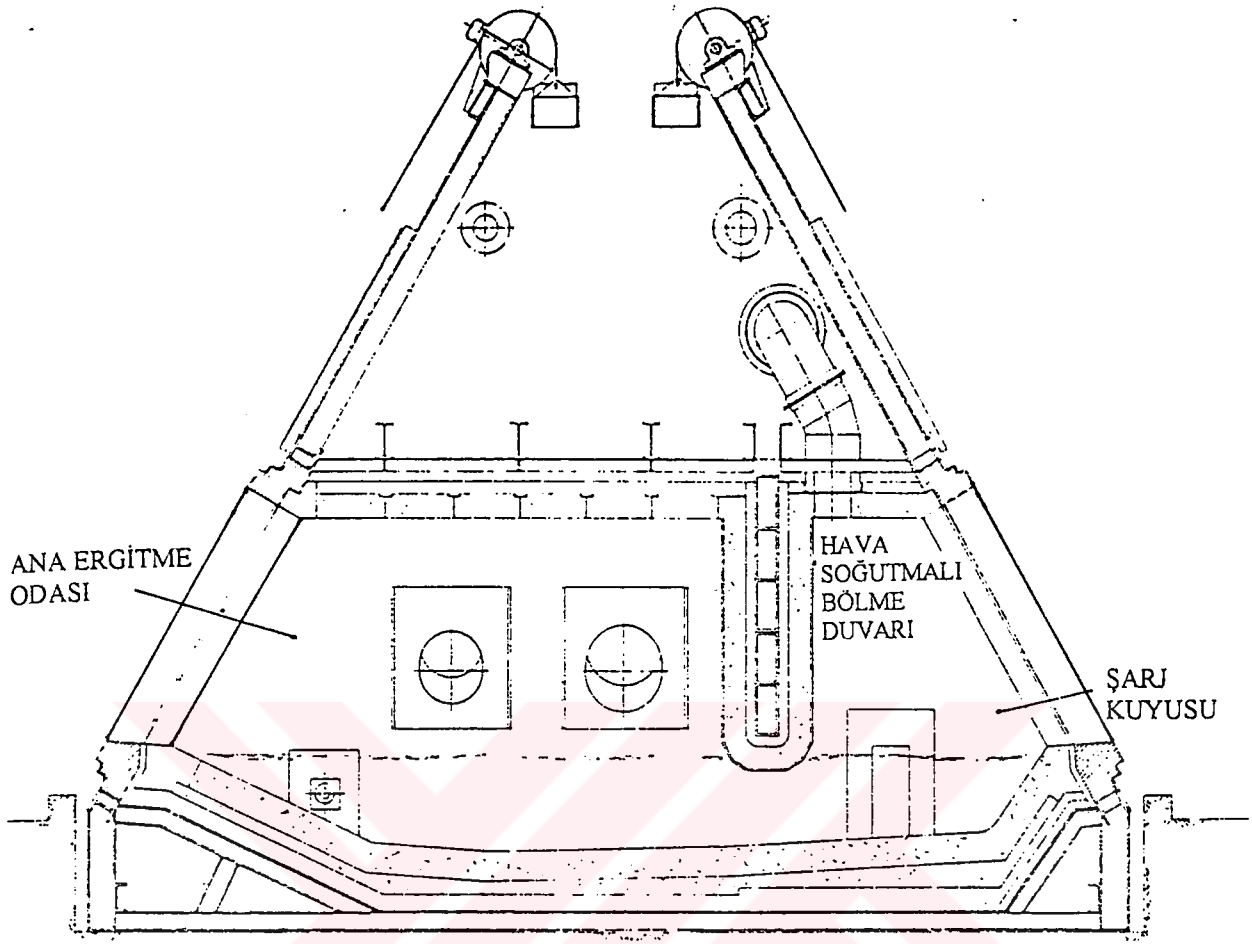
oluşturulan ergitme sistemi içinde Dry Hearth fırını endüstriyel uygulamaları ve sonuçları ile geniş şekilde anlatılmıştır [17].



Şekil 6.1. “Dry Hearth” Fırınının Şekilsel Gösterimi [17].

6.1.1. Modifiyeli Reverber Fırını

Eğimli hazneli reverber fırınında yapılan diğer bir dizayn da nitelikli atık gaz sirkülasyonunu yapan ve tekrar yanma sistemine sahip modifiye edilmiş reverber fırınlarıdır. Fırında oluşan nitelikli atık gazın sirküle edilerek yeniden kazanılmasının iki avantajı vardır. Bunlar; nitelikli atık gazda kalan enerjinin sonuna kadar kullanılması ve ayrı bir tekrar yanma ünitesine gerek kalmamasının sağladığı yatırım maliyetleri tasarrufudur. Söz ettiğimiz bu tip reverber fırınına özel bir isim verilmeyip bu fırın tipi “Oksijen-yakıt modifiyeli reverber fırını ile alüminyum ergitme sistemi” başlığı altında endüstriyel uygulamaları, sonuçlarıyla geniş şekilde anlatılmıştır [5,17].

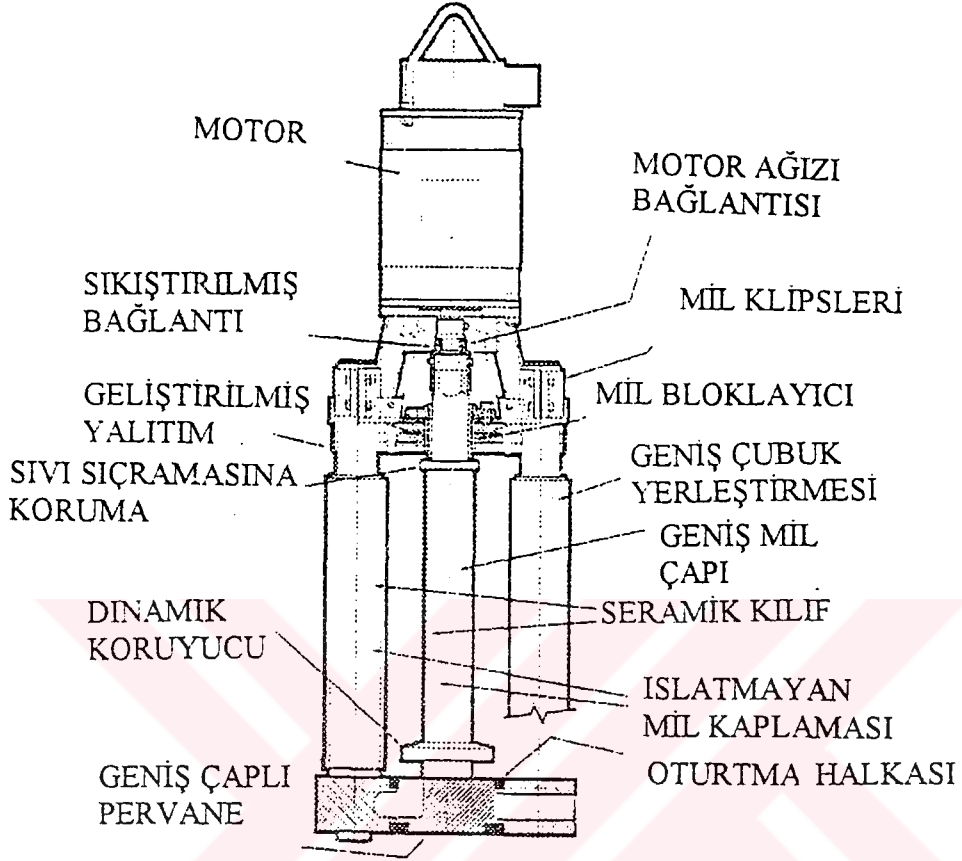


Şekil 6.2. Kapalı Kuyu Fırınının Şekilsel Gösterimi [17].

6.1.2. Yandan Kuyulu (Side-Well) Reverber Fırını

Reverber fırınlarının diğer bir dizaynı “yandan kuyulu reverber fırını” olarak tanımlanan reverber fırınıdır. Burada “balkon” olarak adlandırılan şarj haznesi fırının bitişiinde atmosfere açık şekilde fırın ile bağlantılı bulunmaktadır. Sıvı metal ergiyiği içeren hazneye yapılan hurda şarjı, metal ergiyiği içinde ergiyerek fırın içine açılmış boşluklardan fırın içine transfer edilir. Metalin homojen karışımı ve ergimenin hızlı yapılması için bu fırınlarda karıştırma yapılmaktadır. Karıştırma sıvı metalin “balkon” bölmesinden alınarak fırın içine ve tekrar balkona getirilmesi şeklinde olur. Bunun için mekanik ve elektromanyetik karıştırıcılar kullanılır. Ülkemizde de elektromanyetik ve mekanik karıştırıcı sistemleri modifiye edilmiş

yandan kuyulu reverber fırınları bulunmaktadır. Mekanik karıştırıcı pompa şekilsel gösterimi aşağıda görülmektedir.



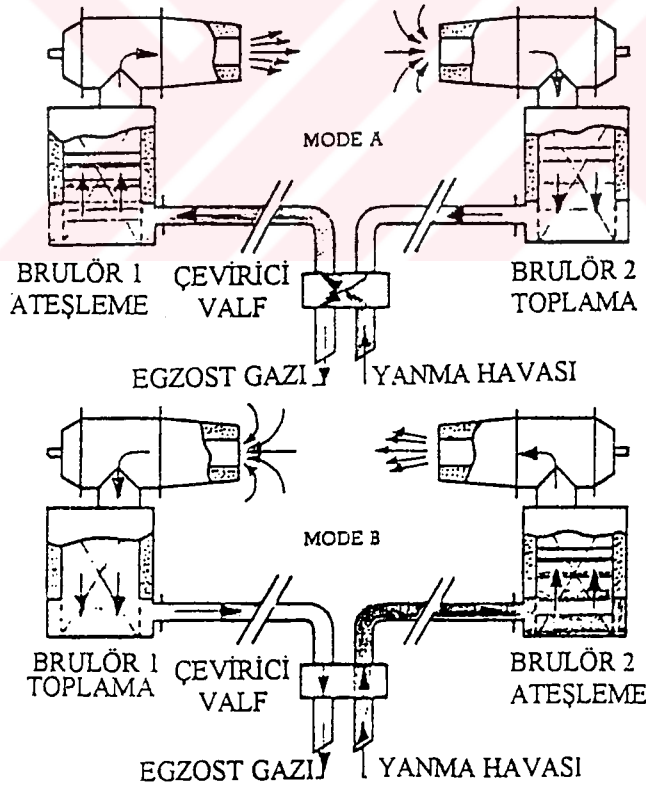
Şekil 6.3. Mekanik Karıştırıcı Pompa [42].

Özellikle alüminyum UBC (kullanılmış içecek kutuları) hurdalarını değerlendiren üreticiler ön işleme tabi tutulmuş UBC hurdalarını elektromanyetik veya mekanik karıştırma yapan sirkülasyon sistemlerinden biri ile, ayrıca bu sisteme ilaveten bir girdap yaratıcı ile yandan-kuyulu reverber fırınında üretim yapmaktadırlar. Üretim sırasında fırınlarda rejeneratif yanma kullanılmaktadır.

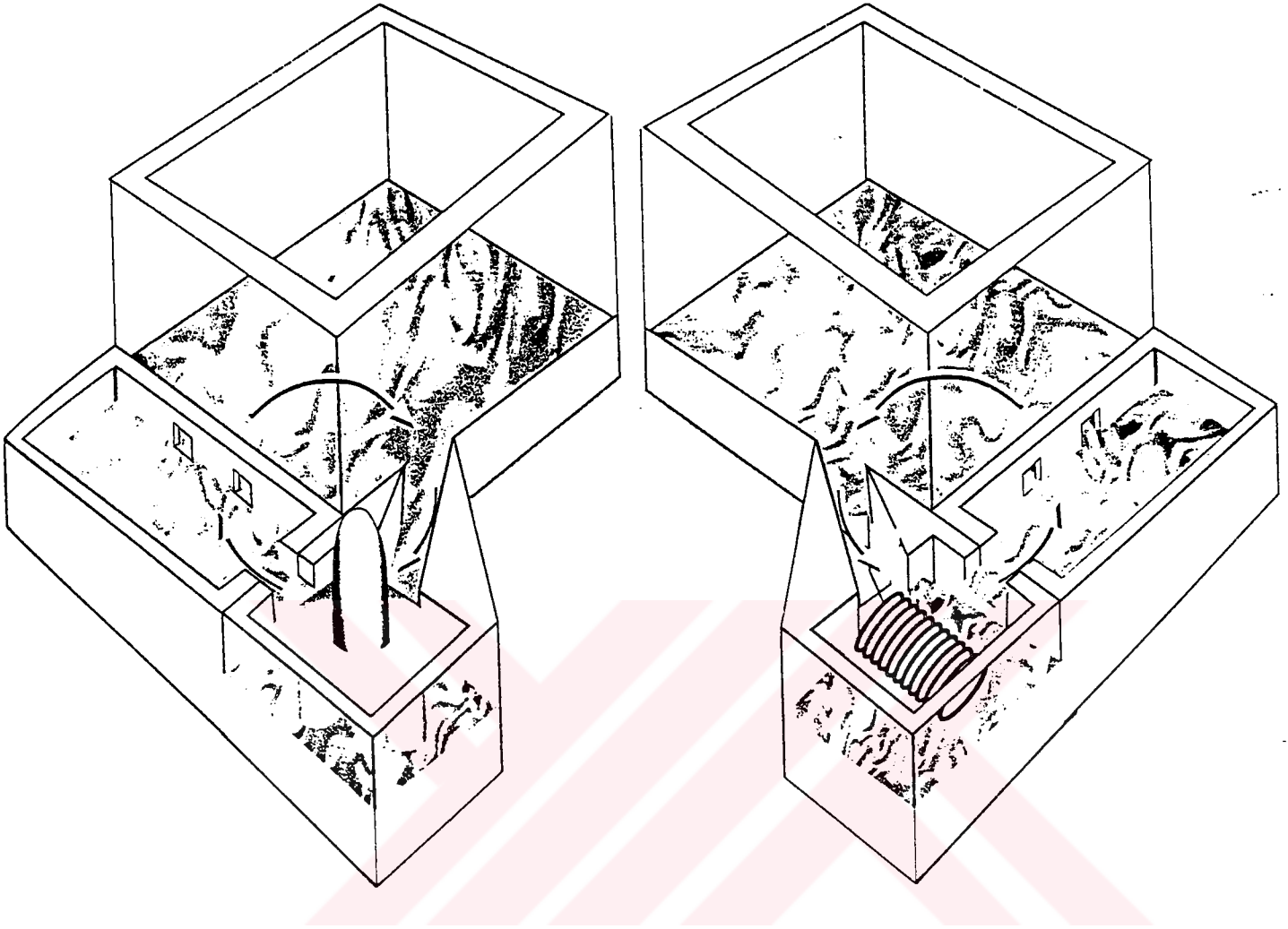
Rejeneratif yanma sistemde çift brülör bulunup biri ateşleme yaparken diğeri gaz toplama görevini görerek oluşan sıcak nitelikli gaz atığını emerek bu gazın ısınısını seramik hazinesinde bulunan seramik ısı toplarına iletir. Isıyı hapseden bu toplar, şimdi “emme”den sonra ateşlemeye geçen brülörün yanındaki soğumuş brülörün havasını ısıtmaya başlarlar. Bu RCB sistemi komplike bir kontrol sistemine ve mikro işlemciye gerek duyar. Kalifiye bakım

ister. Yakıt tüketimini 25-18 therm/ton civarında düşünürken yatırım maliyeti diğer alternatifi olan soğuk sistemlerin (reküperatif brülörler) 2 hatta 3 katıdır. (1 therm=100.000 Btu=252200 kcal=105.5 MJ=21.67 kWh). Yani maliyeti yüksektir.

UBC hattına bağlı side-well reverber fırnında girdap yaratıcısı ile fırına bağlı bulunan balkon içinde sıvı metalde girdap oluşturulur. Oluşturulan bu girdap, düşük yoğunluğa sahip UBC metal banyo içine çekebilecek hareketi sağlamaktadır. Böylece şarjın, şarj süreci içinde okside olmadan kısa sürede metal eriyik banyosuna kazandırılması gerçekleştirilir. Girdap yaratıcı ve mekanik sirkülasyon ve rejeneratif yanma ile desteklenmiş 40.000 ton kapasiteli bir yandan kuyulu (Sidewell) reverber fırını ile üretim yapan bir firma sıvı metali 8 dakika içinde sirküle edebilmektedir. Bu firma elektromanyetik sirkülasyon pompa ve rejeneratif yanma ile desteklenmiş aynı kapasite ve tipteki fırın ile 5 dakikada karışım sağlanmaktadır. Aşağıda Rejeneratif brülörün çalışma mekanizması görülmektedir [17].



Şekil 6.4. Rejeneratif Brülör [17].



Şekil 6.5. Yandan Kuyulu Reverber Fırınının çizimsel gösterimi [6].

6.2. Oksijen-Yakıt Modifiyeli Reverber Fırını İle Alüminyum Ergitme Sistemi

6.2.1. Modelin Tanıtımı ve Avantajları

İleriki konularda reküperatif alüminyum ergitme tesis modeli anlatılarak ve bu sistem ile elde edilen enerji, metal tasarrufları ile modelin ekonomik analizi yapıp avantajları sayısal olarak da ifade edilecektir. Gelişen teknoloji ile ikincil alüminyum endüstrisinde her zaman ulaşmayı hedeflediğimiz geri kazanımın en düşük metal kayıplarıyla ve enerji maliyetleri ile yapılması için yapılan bir çalışma da “oksijen-yakıt ergitme” sistemidir. Bu sistem diğer

konuda olduğu gibi yine bir alüminyum işletmesi (The Brock Metal Company) üzerinde denenmiş ve alınan sonuçlarla başarı elde edildiği görülmüştür.

Sistem kısaca; geniş çeşitteki değişik içerikli bulunan alüminyum hurdasının yeni geliştirilmiş bir oksijen-yakıt ergitme fırını ile ergitilmesinden oluşur. Fırın, kapalı-kuyu bölgesinden çıkan nitelikli gaz atıklarının tekrar bu bölgeye sirkülasyon edilerek, bu bölgede yakılmasını sağlayacak bir sisteme sahiptir. Böylece nitelikli gaz atığının içinde kalmış olan enerjiden faydalanır ayrıca bir tekrar yanma ünitesine de gerek kalmaz.

Bu çalışma ile,

- Oksijen kullanımıyla hem daha iyi hem kötü kalite hurda üzerinden yapılan enerji tasarruflarını,
- Kötü hurdanın meydana getirdiği gaz atığının oksijen-yakıt brülörü ile çevreye saygılı bir biçimde yakıldığını,
- Nitelikli bu gaz atığının kullanılmasıyla kazanılan enerji ile enerji tasarruflarının sağlandığını,
- Metal kazanma veriminin, geleneksel reverber fırınlarına göre daha fazla elde edildiğini göstermektedir.

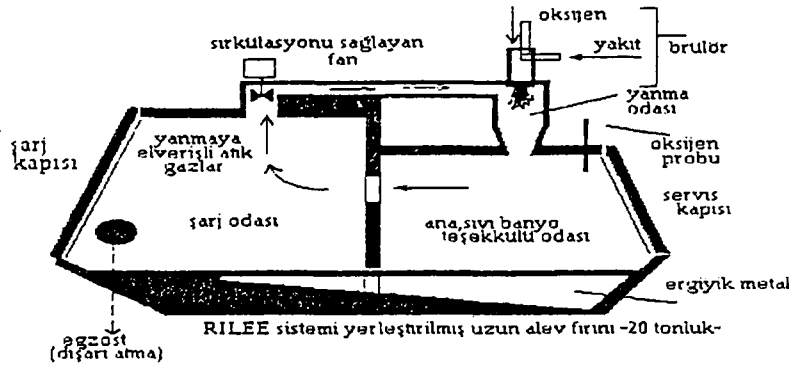
Aşağıdaki çizelge ikincil alüminyum endüstrisinde kullanılan fırın tiplerinin enerji tüketimlerini karşılaştırmalı göstermektedir.

Çizelge 6.1. Fırın Tiplerinin Enerji Tüketimleri [8].

Fırın Tipi	Enerji Tüketimi	Açıklamalar
Döner Fırın	4,5-6,0GJ/ton	Özellikle kirli hurda için (tuzun imha problemi var)
Reverber Fırını	7, 0-11,5GJ/ton	Sadece demir içerikli alüminyum hurdaları için
İndüksiyon Fırını	6,0-7,0GJ/ton	Düşük ergime kayıpları, sadece temiz hurda için

Bu sistem Brock Metal İşletmesi üzerinde denenmiştir. Fırın esas itibariyle eğimli bölmeye sahip standart reverber fırınına benzetmekle beraber oksijen/yakıt oranlarıyla alevi kontrol edebilen bir oksijen-yakıt brülörü bulundurmaktadır. Fırında oluşan nitelikli atık gazın sirküle edilerek yeniden kazanılmasının iki avantajı vardır. Bunlar: Ayrı bir tekrar yanma ünitesine gerek kalmamasının sağladığı yatırım maliyetleri tasarrufu ve nitelikli atık gazda kalan enerjinin sonuna kadar kullanılmasıdır. Bunlara ilaveten oksijen-yakıt sisteminde sadece oksijen kullanarak havadaki azotun sisteme dahil edilmemesi enerji tasarrufu sağlar, çünkü azot yanma olayına katkıda bulunmadan sistemden çıkarken mevcut ısının bir bölümünü de beraberinde götürmektedir. Bu gazın eliminasyonu ile ısı kayıpları ile ayrıca NO_x atık gaz oluşumu engellenmiştir. Ayrıca fırın atık gazlarında yukarıda belirttiğimiz hacim azalması (hava yakıt sistemine göre hacimde onda bir azalış) filtrasyon işlemlerine rahatlık sağlayarak filtre ünitesi maliyetlerini azaltmıştır. Brülör içinde kuru bir soğutma ortamının sağlanması, alternatif su soğutma ile meydana gelecek kuru ortama göre yüksek ısı kayıplarını azaltacaktır. Oksijen yakıt brülörü ile elde edilen düşük alev sıcaklıkları ile oksidasyon meydana gelmeden, dolayısıyla düşük ergitme kayıplı ucuz refrakter kullanımlı ergitmeler yapılabilir [8,9].

Şekil 6.6'da Yerden Açılı Hazneye Sahip 20 Tonluk Standart, Uzun Alevli Fırın Görünmektedir.



Şekil 6.6. Modifiye Edilmiş Reverber (Uzun Alev) Fırını Çizimsel Görünümü [8]

6.2.2. Fırın Özellikleri

20 tonluk fırında şarj, eğimli bölmeden şarj arabalarıyla yüklenir. Şarj etme ile ani olarak meydana gelen kaçak gazlar ve tekrar yanma ünitesinden geçmiş fakat tekrar yararlanabilir düzeyde olan atık gazlar, daha önce bahsettiğimiz sirkülasyon ünitesinden farklı olarak ayrıca bir gaz alım ünitesi ile tutma fırınına gönderilerek burada da yakılması sağlanır. Kısaca gazlar 20 tonluk reverber fırınından tam olarak faydalanılmadan çıksa bile bu sefer tutma fırının da yakılacaklardır. Tutma fırını 12 ton kapasiteli olup oksijen-yakıt sistemiyle ergitilmiş sıvı metalin son alaşımlaması için aktarıldığı yerdir. Alaşımlandırma ana ergitme sırasında oksijen-yakıt sistem adaptasyonlu reverber fırınında yapılırken, küçük değişimler de tutma fırınında yapılır. Ergiyik döküme hazırlanırken (bu sırada oksijen-yakıt sistemli) reverber fırınında tutma fırınına aktarımdan sonra yaklaşık 10 ton metal kalmıştı) oksijen-yakıt sistemli reverber fırınının yeni şarj alımı da devam etmektedir. Oksijen-yakıt sistemindeki yanmalardaki oksijen kontrolü, fırın içindeki elektrolit sensörler tarafından yapılmaktadır. Böylece yanma ile oluşan nitelikli atık gazların tekrar yakılması için gerekli fazla oksijen miktarı (%3-5) tespiti yapılabilmektedir. Bu oksijen/yakıt oranından yakıt girişinin azaltılması, dolayısıyla oksijen miktarının yükseltilmesi olarak sağlanır.

Bu çalışmalarla bazı deneyimler kazanılmıştır. Örneğin kullanılan yeni oksijen-yakıt brülörlerinde ateşleme oranının yükseltilmesinin ergitme hızına hiçbir etki etmediği saptanmıştır. Bu sadece fırın refrakterlerinin yüksek sıcaklığa çıkması sakıncasını sağlamaktan başka bir sonuç getirmemiştir. Isı artmasına rağmen, düşünülen metal akışı/sirkülasyonu sağlanamamıştır. Ergitmede homojenliğin sağlanamayan sıvı metal akışından dolayı olduğu açıktır. Sıvı hareketleri ile hem kompozisyon bakımından hem ergitme hızı bakımından, hem de belirttiğimiz üzere homojen ergitme hedeflenmesi açısından geliştirilen karıştırıcı üniteleri fırınlara eklenmiştir. EMP (Electromagnetic Pumping) karıştırma ve mekanik karıştırma sistemleri side-well tipli yandan hurda şarjlı balkonuna sahip fırınlarda ayrı ayrı denenmiştir. Bu sistemlerin döküm kalitesini yükselttiği ve izabe hızını arttırdığı, yüksek tonajdaki fırınlarda yatırım maliyetini karşıladığı ancak küçük fırınlarda karşılamadığı görülmüştür.

RILEE işlemi, değişik tipte hurdaların yüksek enerji verimi ile çevreye dost bir şekilde ön ısıtmasız ergitilmesi için geliştirilmiş bir sistemdir. Şekil 6.6'da RILEE sistemi fırınının üst tarafında bulunan tekrar yanma haznesine yerleştirilmiştir. Ve fırındaki artık gazlar Şekil 6.6'daki döngüyü takip ederek fırın içinde sirküle edilirler ve tekrar yakılırlar. Artık gazların yanma sistemiyle geri dönüşümlü yakılmasının çeşitli avantajları vardır.

- Gaz içinde bulunan organik maddelerin fırında yanması ile ayrı bir “tekrar yanma” brülörüne gerek duyulmaz.
- Organik maddelerin yanmasıyla ısı verimi artar.
- Yanma haznesindeki düşük sıcaklıklar ile oksidasyon oluşumu ortadan kalkar [26].

Çizelge 6.2. Hava-yakıt sistemi ile çalışan uzun alevli fırınları ile RILEE sistemi ile çalışan uzun alevli fırınlarda alınan sonuçlar [26].

	Uzun Alevli Fırın (Hava-yakıt sistemli)	RILEE
Brülör kapasitesi (Mw)	3.65	1.2
Brülör sayısı	5	1
Dışarı atılan hava hacmi (Nm ³ h)	5000	1500
Tekrar yanma sistemi	Yok	Var

Ayrıca çizelge 6.3.'de temiz hurda ile şarj edilmiş sistemin %65'lik bir ısı verimi gösterilmiştir. Çizelge 6.4'de ise atılan gaz içinde en göze çarpan değer, sistemde bir filtre olmadığı halde gaz içindeki partiküllerin 10mg/m³ seviyesinden daha az olduğudur.

Çizelge 6.3. Temiz hurda ile şarj edilmiş sistemin %65'lik ısı verimi [26].

	Temiz Hurda	Normal Hurda
Yakıt tüketimi (Kwh/t)*	450	550
Oksijen tüketimi (m ³ /t)*	100	130
Isı verimi (%)	65	55
Metal dayanımı (% metal şarjı)	98	83^^

* Şarj malzemesinin t başına

^^ Curuf işlemesi yapılmadan

Çizelge 6.4. Filtresiz bir sistemde atılan gazların içerikleri [26]

Gazsız sıcaklık (°C)	300
Partiküller (mg/m ³)**	<10
Organik bileşimler (mg/m ³)	<50
HCl/HF (mg/m ³)	<10

** Filtresiz

Birde SPLIT-FIRE sistemi vardır.

SPLIT-FIRE sistemi tek hazneli uzun alevli fırınlardaki ergitme yüzdesini arttırmak için geliştirilmiştir. Sistem, oksijen-yakıt esaslı ve split-fire denilen tek bir brülör ile çalışmaktadır. Split-fire brülörü çift alevli olup alevlerin açıları, yanma ürünlerini fırın köşelerinde sıkıştırarak şekilde açıldırılmıştır. Yüksek alevlenme derecesi ve düşük alevlenme derecesi olarak alev seviyeleri bulunur. Fırının çatı bölümünde aşırı ısınmayı önlemek için 4 termokopül çatıya yerleştirilmiştir. Fırın içindeki oksijen seviyesi zirkonoksit probu ile kontrol edilmektedir. Ayrıca bir indüksiyon pompası, oluşan sıvı banyo içinde homojen bir sıcaklığı temin eder. Oluşan curuf, fırın içinden çekilerek curuf makinalarında tekrar işlenir. Çizelge 6.5’de ısı veriminin, maksimum kapasitesi 2 Mw olan bir brülör ile %55’ler çıktığı görülmektedir [8,9,26].

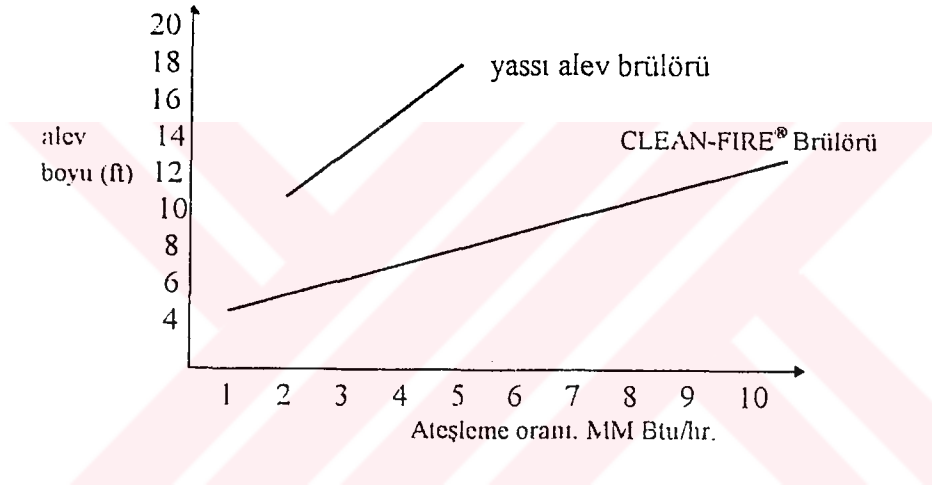
Çizelge 6.5. Hava Yakıt Brülörü ile Oksijen Yakıt Brülörünün karşılaştırılması [26].

	Hava-Yakıt Brülörü	Oksijen-Yakıt Brülörü
Brülör Sayısı	3	1
Ergime Oranı (t/h)	2	2-4
Isı Verimi (%)	30	40-55

6.2.2.1. Yüksek Yayılım (High Radiation) / Yassı Alev Brülörleri

1993 itibariyle geliştirilen ve en yeni çalışmalardan biri olan CLEANFIRE-HR (High Radiation) sistemi ile yüksek yayımlı aleve sahip düşük hızlı brülörler ilk kez cam endüstrisinde kullanılmaya ve daha sonra alüminyum ergitme ocaklarında kullanılmaya deneme niteliğinde başlanmıştır. Standart oksijen-yakıt brülörlerine kıyasla brülör daha düz

ve daha yüksek yayımlı alevi (dalga boyu yaklaşık 3000nm) üretmektedir. Böylece enerji, bir izolasyon görevi gören oksitlenmiş tabakayı aşarak ergiyik banyonun daha derinlerine ulaşılabilir. Brülörde özel bir dizayn yapılarak alev yüzey alanının artırılması ile yayılım fazlaşmıştır. Alevin düzleşmesiyle yassı alevin yüzey alanı büyüyecektir. Diğer yapılan bir çalışma ise kurum ve isleri fırın içindeki artık gazlar içinde aramadan alev çevresinde yakmaktır. Kurum ve islerden gelen ekstra yayılım, aşağıdaki şekilde grafiksel ifade edilmektedir. Ayrıca yassı alev brülörlerinin oluşturduğu alev boyu, oksijen-yakıt brülörlerinden oluşan alev boyunun 2 katı olmaktadır, bu da geniş “uzun alevli fırınlarda” ve büyük “kuyu tarzı fırınlarda” avantajlı olmaktadır. Bir sonraki şekilde Alev boyu; Yassı-Alev ve CLEANFIRE brülörlerinde karşılaştırmalı olarak verilmektedir.



Şekil 6.7. Yassı Alev Brülörü ile CLEAN-FIRE® Brülörlerinin Ateşleme Oranı ile Alev Boyu Arasındaki İlişkileri [26].

Şu anda cam sanayiinde kullanılan CLEANFIRE sistemi alüminyum sanayiinde deneme safhasındadır ve LEAM ve RILEE sistemi kadar verimli olacağı beklenmektedir [26].

6.2.3. Oksijen-Yakıt Sistemi Ergitme Ölçüm Sonuçları

Aşağıda bu sistem ile elde edilmiş sonuçların alındığı deneylerin amaçları,

- Spesifik enerji tüketimini geri dönüşüm verimi (temiz ve kirli içerikli hurdada) göstermek.

- Kirli hurda ile nitelikli atık gazlardan gelen enerjiden faydalanıldığını göstermektedir.

Çizelge 6.6. Oksijen-Yakıt Ergimesi ile Temiz ve Kirli Hurdada Alınan Değerler [5].

	Temiz Hurda	Kirli Hurda
Gaz tüketimi (GJ/ton ingot)*	1.88	2.57
Oksijen tüketimi (GJ/ton ingot)**	1.05	1.60
Toplam enerji girişi (GJ/ton ingot)	2.93	4.17
Metal geri kazanımı (% metal şarjı)	98.2 + 1,-1	84.2 + 1,-1
Dros ağırlığı (% metal şarjı)	0***	15
Metal ergitme hızı (ton besleme/saat)	1.39	1.04

- Sadece Ergime. Tutma İşlemi Tüketimi Dahil Edilmemiştir.
- 10.6/MJm³ *** Dros Alınmamış

Çizelge 6.6.'da metal ergitme hızının kirli hurda da düşük olduğunu görüyoruz. Bu oran temiz hurdada daha yüksektir. Nedeni ise, temiz hurdada hızı düşürecek curuf miktarı kirli hurdaya göre çok azdır. Nitelikli gaz atığının enerji olarak değeri kirli hurdalarda da mevcuttur. Temiz hurda ile çalışıldığında 8.4 saatlik bir ergitme ile oksijen tüketimi 1.149m³ oksijen ve doğal gaz tüketimi 567m³ olup oranı oksijen/yakıt; 2.026'dır. organik nitelikli atık gazdan enerji kazanmak üzere yakılması için gerekli fazla oksijen miktarı yukarıda baz alınan oranda %3 fazla oksijen olacak şekilde hesaplanır. Buna göre gerekli fazla oksijen miktarının alınması yakıt oranı düşürülerek (dolayısıyla bağlı olarak O₂ miktarı yükselecektir.) mümkün olur.

Meydana gelen bu enerji tasarrufu ile, metal geri dönüşüm yüzdesinin artması ile kazanılan metal, dolayısıyla kazanç, aşağıdaki tesisin eski reverber fırını ve oksijen-yakıt dizaynli fırınında karşılaştırmalı gösterilmiştir.

	Değişim	Ortalama
Modifiye edilmemiş reverber fırını	%85-87	86
Modifiye edilmiş reverber fırını	%85-93	90

%4 metal kazanma artışı göze çarpar [8,9,26].

6.2.4. Ekonomik Analizler:

Toplam maliyeti £ 302.000 olan ergitme fırınının yatırım maliyetlerini karşılayan kazanç faktörleri şöyle sıralayabiliriz.

- Enerjiden kazanım,
- Metal kazanımı,
- Düşük değerli şarj malzemesi ile kazanç [8,9].

Enerjiden Kazanım

Kirli hurda ergitmesi ile enerjiden kazanım

Gaz tüketimi	= 2.57 GJ/ton
	= £7.71/ton
Oksijen tüketimi	= 1.6 GJ/ton
	= £8.27/ton
Toplam enerji tüketimi	= £16/ton
Endüstrideki ortalama enerji maliyeti	= £27/ton
Ortalama enerji kazanımı	= £11/ton
Ortalama üretim	= 120 ton/hafta
Üretim potansiyeli	= 48 hafta
Beklenen üretim	= 5760 ton/yıl
Yıllık enerji kazanımı	= £11x5760
	= £63.360

Metal Kazanımı

Yeni sistemin %4 metal geri dönüşüm fazlası yıllık 5760 ton/yıl olan üretime ekstra 222 ton metal kazandırmaktadır. £950/ton değerindeki metal, senede £ 210.900/yıl değere eşittir. Ek ticari masraflarla birlikte (£ 100/ton) yıllık kazanç net £ 188.700/yıl'a ulaşır [8,9].

Düşük Değerli Sarf Malzemesi

Yıllık 5760 ton/yıl üretim için gerekli hurda %90 geri dönüşüm düşünülürse 6400ton/yıl olmaktadır. Bu sistemin uygulandığı işletme toplam hurda gereksinimin %30'unu £ 50/ton az maliyetle karşılayabilme olanağı elde etmiştir. Bu da £ 96.000/yıl gibi bir kazanç demektir.

Bu verilere göre toplam yıllık kazanç;

Enerji	= £ 63.360
Ek metal kazanımı	= £ 188.700
Hurda	= £ 96.000
Toplam	= £ 348.060

Yukarıdaki değer %4 ek metal kazanım ve düşük değerli hurda ile elde edilmiş en iyi durumdur.

%2 ek metal kazanımının elde edildiği durumda ise,

Enerji	= £ 63.360
Ek metal kazanımı	= £ 94.530
Hurda	= £ 96.000
Toplam	= £ 253.710

Ek metal kazanımının elde edilmediği durumda ise.

Enerji	= £ 63.360
Ek Metal Kazanımı	= 0
Hurda	= £ 96.000
Toplam	= £ 159.360

En son durumda ise temiz hurda kullanımının olduğu düşünülerek tasarlanırsa enerji kazancı artacaktır.

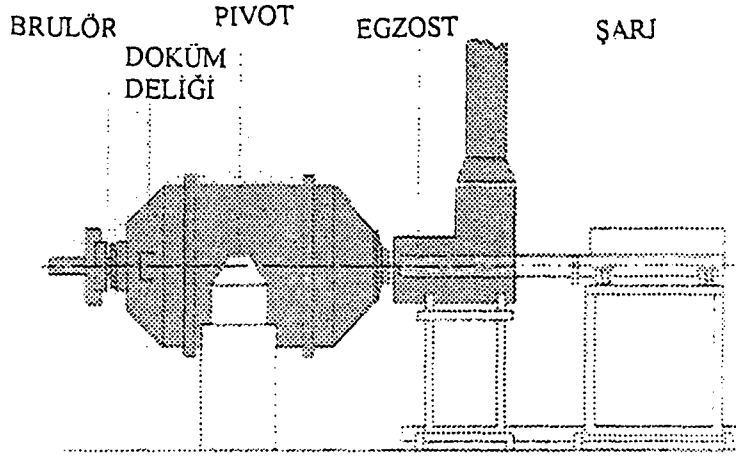
Gaz tüketimi	= 1.88 GJ/ton
(Doğal gaz = L 3 GJ/ton)	= £ 5.64/ton
Oksijen tüketimi	= 1.05 GJ/ton
(Oksijen = L 6/100m ³)	= £ 5.43/ton
Toplam enerji maliyeti	= £ 11.00/ton
Ortalama kazanç	= £ 27 - £ 11/ton = £ 16/ton

Yıllık kazanç aynı 5760ton/yıllık üretimde 92.160/yıl olmaktadır. Temiz hurda kullanımı ile ayrıca elde ettiğimiz kapasite artırma imkanı ile (%30 olabilir) üretim 7500 ton/yıl olarak yükselir. Bu da geleneksel fırınlara göre karşılaştırıldığında, bu fırınla £ 120.000/yıl kazanç demektir [8,9].

Çizelge 6.7. Elde edilebilecek kazançların süreçleri [9].

Durumlar	Yıllık Kazanç	Amortisman
En iyi durum %4 metal kazanımı, %30 hurda besleme üzerinden £ 50/ton indirim ile	£ 348.000	0,9 yıl
Opsiyonel durum (1); 2% metal kazanımı, %30 hurda besleme üzerinden £ 50/ton indirim ile	£ 254.000	1,2 yıl
Opsiyonel durum (2); 0 metal kazanımı, %30 hurda besleme üzerinden £ 50/ton indirim ile	£ 160.000	1,9 yıl

6.3. Döner Fırın



Şekil 6.8. Döner fırının çizimsel gösterimi [42].

6.3.1. Genel özellikler

Hurda ve droslardan alüminyumı yeniden kazanmak için günümüzde kullanılan sistemlerden biri döner fırında ergitmedir. Döner fırın, içi refrakter ile örülmüş fiçıya benzer bir ayardır. Gövde üzerinde bulunan ara dişli piyon ve redüktör motor sistemi fırının yatay ekseninde 360 derecelik dönüş yapmasını sağlar. Dönme hareketi ısı iletimi açısından önem taşır. Döner fırınlarda hurda ve dros işlenmesi başlıca iki yöntemle yapılır [1,25,39].

6.3.1.1. Yarı devamlı yöntem:

Soğuk işlenecek hurda ve droslar için uygundur. Bu yöntemde hurda veya dros uygun flaks ile fırına beslenir. Fırın ateşlenir ve şarjın tamamen erimesine dek dönme hareketi verilir. Dönme hareketi erimemiş parça kalmayana dek devam ettirilir. Sonra fırın doldurulur. Brülör kapatılarak alüminyum parçalarının aglomera olmaları için belirli bir süre beklenir. Daha sonra metal ve curuf alınır ve bir sonraki işlem için fırın yeniden şarj edilir [1,25,39].

6.3.1.2. Devamlı yöntem:

Sıcak işlenecek hurda ve droslar için uygundur. Yarı devamlı yöntemden farkı; metal alındığı sırada curuf alınmaksızın şarja devam edilmektedir. İki veya üç şarj sonraki metal alımından

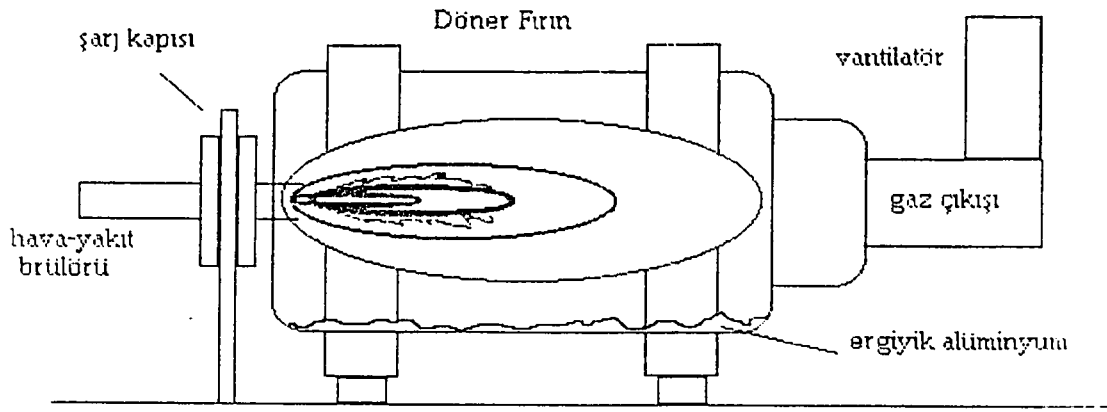
sonra ise toz, oksit ve çok az da metal içeren birikmiş curuf tamamen tahliye edilir. Fırın yeniden şarj edilerek işleme devam ettirilir.

Her iki yöntemde metal kazanma verimi %80 üzeri olmaktadır. Döner fırın yönteminde en yüksek verimi sağlamak ve tuz sarfiyatını azaltabilmek için hurda ve drosaların ergitme öncesi şarj hazırlama işlemlerine tabi tutma yararlı olmaktadır. Bu amaçla yaş ve kuru olmak üzere iki yöntem geliştirilmiştir. En fazla kullanılan kuru yöntemde hurda ve drosalar öğütülür. İnce kısmını ayırmak amacıyla elenir. Daha sonra elek üstü yapılır, demirden ayırmak amacıyla bir manyetik separatörden geçirilir. Şarj işlenmeye hazırdır. Yaş yöntem daha çok flaks tuzları ihtiva eden hurda ve drosaların işlenmesi için şarj hazırlama amacı ile kullanılır. Bu yöntemde hurda drosalar önceden yıkanarak tuzlardan arındırılır. Elenir ve kurutularak işlenmeye hazır hale getirilir. Her iki metodun da avantaj ve dezavantajları mevcuttur. Kuru metotta işlem esnasında ortamın tozlanması dezavantajına karşın, yaş metotta işlem yıkama suyu çevre temizlenmesi açısından sorun yaratabilir. Şarj hazırlama ve ergitme işlemi için gerekli ilk yatırım tutarı büyük rakamlara ulaştığından böyle bir yatırım kararı hurda ve drosun cinsi ile parça büyüklüğü ve diğer özellikleri iyice inceledikten sonra verilmelidir.

Alüminyumun geri kazanılması amacı ile dizayn edilen döner fırınlar çeşitli kapasitelerde imal edilmiştir. Yarım tondan 6 tona kadar kapasitede olanları mevcuttur. Ancak fırın büyüdükçe şarj vedeşarj problemi de büyümektedir. Monoray üzerinde hareket eden bir silo ve titreşimli bir besleyici yardımı ile fırına şarj işlemi kolaylaştırılabilmektedir [1,25,39].

6.3.2. Döner fırınlara uygulanan yeni teknikler

Döner fırınlarda uygulanan yeni teknikler ile modifiye edilmiş fırınlar ile kullanılan geleneksel döner fırınlarda alınan %83 metal geri kazanımı daha yukarılara çekilmiştir. Modifiye edilen döner fırınlara konan gelişmiş brülör sistemleri ile ısı verimi yükseltilmiş ve üreticilerin hassas oldukları yakıt tüketimi düşürülmüştür. Oksijen-yakıt teknolojisi bu tip fırınlarda kullanılır. Isı, şarj kapısı ağzında bulunan bir brülör ile fırın içinde sağlanmaktadır.



Şekil 6.9. Oksijen yakıt teknolojisinin döner fırınlarda uygulaması [17].

Oksijen bu tip fırınlarda 3 şekilde kullanılır;

- Halihazırda bulunan hava-yakıt brülörüne oksijen zenginleştirilmesi yapılması
- Hava-Oksijen-yakıt sistemi kullanımı
- Hava-yakıt yakıcı yerine oksijen yakıt sistemi kullanmak

Çizelge 6.8’de döner fırına ait verilere bakıldığında hava-oksijen-yakıt sisteminin oksijen-yakıt sistemine benzediğini görüyoruz. Bunun yanında oksijen-yakıt sistemi, demin saydığımız sistemlere nazaran gaz yayılmasının önlenmesinde daha etkili olmaktadır. Kuzey Amerika’da genelde hava-oksijen-yakıt sistemi kullanılmaktadır. Genelde bu 3 sistemde verim düşüşü gözlenmemektedir. Hatta %5 oranına varan verim artışları, hurda çeşidine göre artmaktadır [1,26,39].

Çizelge 6.8. Brülör sistemlerinin karşılaştırılması [26].

	Hava-Yakıt	Hava-Oksijen-Yakıt	Oksijen-Yakıt
Akış Zamanı (%)	100	70	70
Yakıt Tüketimi (kWh/t*)	850	600	550
Isı Verimi (%)	35	50	55
Dayanımdaki İlerleme (%)	0	0-0.5	0-0.5
Filtre Tozu (kg/t*)	25	20	15

* Şarj malzemesinin t başına

6.3.3. LEAM® İşlemi

Oksijen-yakıt esaslı ergitmeyi içeren ve çevre olgusunu destekleyen geliştirilmiş diğer bir brülör sistemi de LEAM (Low Emission Aluminium Melting) işlemidir. 1993 senesinde başlayan deneme çalışmaları ile başarı elde edilmiş ve endüstrinin hizmetine girmiştir.

Temel özellikleri;

- Fırındaki hava girişlerinin azaltılması,
- Hacmi az, konsantrasyonu yüksek gazların dışarı atılma sistemine sahip olması,
- Otomasyonun yüksek olması ve yanma sisteminin otomatik olması,

sıralanabilir.

Çizelge 6.9. Brülör sistemlerinin karşılaştırılması [26].

	Hava-Yakıt	Oksijen-Yakıt	LEAM®	İlerleme
Akış Zamanı (%)	100	70	70	30%
Yakıt Tüketimi (kWh/t*)	850	550	420	52%
Isı Verimi (%)	35	55	21	100%
Dayanımdaki İlerleme (%)	0	0-0.5	0.5-2	-
Filtre Tozu (kg/t*)	25	15	6	76%

Çizelge 6.9.'da LEAM işlemi hava-yakıt ve oksijen-yakıt ergitme sistemler ile karşılaştırılmıştır. Isı verimi hava-yakıt prosesine göre %100 artmıştır. Bu, yanma olaylarının fırın içine şarj edilen hurdada meydana gelmesinden kaynaklanmaktadır. Sistem ile yanmamış hidrokarbon kalmamaktadır. Bu sistemde dışarı atılan hava hacminin azaltılması, fırın dizaynından kaynaklanan hava girişlerinin önlenmesi ve gaz yıkama teknolojisinin eklenmesi ile filtre tozlarının gözle görünür ölçüde azalması mümkün olmuştur. LEAM işleminde çıkan gazın içerikleri geleneksel hava ve oksijen-yakıt sistemleriyle karşılaştırmalı olarak Çizelge 6.10'da ve 6.11'de verilmektedir.

Çizelge 6.10. Brülör sistemleri ile meydana gelen gaz içerikleri [26]

	Hava-Yakıt	Oksijen-Yakıt	LEAM	Limit
Hidrokarbonlar (mg/m ³)	0-1000	0-1000	0-30	50
NO _x (mg/m ³)	50-200	200-3000	100-500	500
Toz (mg/m ³)	2-5	2-5	2-5	20
Dioxin / Furan (ng (TE)/m ³)	0.2-10	0.2-10	<1	1(1.0)

Çizelge 6.11. Brülör sistemleri ile meydana gelen gaz içerikleri [26].

	Hava-Yakıt	Oksijen-Yakıt	LEAM
Dışarı atılan hava hacmi (m ³)	15000	10000	3000
Partiküller (kg)	0.03	0.03	0.012
HCl (kg)	<0.3	<0.3	0.027
HF (kg)	<<0.075	<<0.075	0.001
SO ₂ (kg)	<<3	<<3	0.088
NO ₁ (kg)	<3	>3	1.45
Organik bileşimler (kg)	0.3	0.3	0.03

Döner fırın hareketi nedeniyle bu fırınlarda diğer ergitme fırınlarının refrakter örgüsünde rastlanan curuf hattı erozyonu söz konusu değildir. Döner fırınlarda ergitmesi en güç hurdalar dahi kolayca ergitilmektedir. Diğer bir avantajı ise kazanılan metalin ilave alaşımlandırma işlemi ile satılabilir mamul haline dönüştürülmesidir. Bunlara karşın dezavantajı büyük yer işgal etmeleridir. Ayrıca tuz kullanımı ile gelen atık tuzun imha problemi de diğer bir boyutudur. Bu problem bugün çevre olgusunun yüksek önem taşıdığı ülkelerde üreticilere mali yükümlülükler getirmektedir. Bunun yanında tuzun %100 olarak geri dönüşümü deneysel olarak elde edilmiştir, tekrar kullanabilme kolaylığının sağlanması

ile döner fırınların kullanımının daha da artacağı ve gelenekselleşmiş bu modelin diğer fırınlarla her zaman rekabet içinde olacağı bilinmektedir [1,39].

6.3.4. Döner fırınlarda tuz kullanımı

Alüminyum geri dönüştürme prosesinde ergitme sürecinde metal geri kazanma verimini, ergitme sırasında oluşan dros büyük ölçüde etkiler. Dros temel olarak ergiyik banyodan gelen bir kısım alüminyum ile oksit tabakasının heterojen karışımıyla oluşan bir fazdır. Ergitmede metali kazanmak için uygulanan en yaygın yöntem NaCl - KCl matrisli florür içerikli flakslardır. Florür içerikleri NaF, KF, CaF_2 , Na_3AlF_6 olabilmektedir. NaCl- KCl, flaksın %95 ila %100 kısmı gibi büyük bir oranı kapsarken yanında içerdiği Florür bazı elementler farklı oranlarda olabilir. Oksit tabakası ile metali birbirinden ayırmak için ve metali geri kazanmak için kullanılan flaksların etkisi yapılan çalışmalar ile çeşitli parametrelere bağlanmıştır. Bunlar oksit konsantrasyonu, florür konsantrasyonu ve ortamın hareketliliği (agitasyon) olarak söylenebilir.

Florürlerin NaCl-KCl tuz karışımı ile alüminyum arasında oluşan yüzey gerilimi azaltıcı etkisi olduğu ve bu etkisiyle alüminyum oksit tabakasından serbest hale getirip metal banyosuna kazandırdığı bilinmektedir. Yapılan deneyler ile Florür eklenmesinin KCl- NaCl matrisi içinde %10'a çıkması durumunda söz ettiğimiz yüzey geriliminin hızlı düştüğü, %10 oranından sonra ise yüzey gerilimlerdeki düşüşlerin daha az şiddetle meydana geldiği ortaya çıkmıştır. Metal geri kazanımında banyo hareketliliğinin de kazanımı arttırdığı görülmektedir. Bunun nedeni oluşturulan hareket ile metali içine alan oksit filmlerinin bu mekanik hareketle kırılması ve metal oksit yüzeyinin gerilim enerjisinin düşürmesine yardım etmesidir.

Aşağıdaki deneyde hareketlilik/karıştırma (agitasyon) uygulaması ile verimin arttığı görülmektedir. Bu etki kendini en çok tuz (KCl- NaCl) kullanılmadığında %23 gibi bir artışla göstermektedir. Bununla birlikte NaCl -KCl toz karışımı uygulanarak yapılan karıştırma ile verim, yapılmayana göre ortalama %5 gibi ilerleme görülmüştü [11,28].

UBC (kullanılmış içecek kutuları) hurdası ile karıştırmalı ve karıştırmaz verim sonuçları aşağıdaki gibidir.

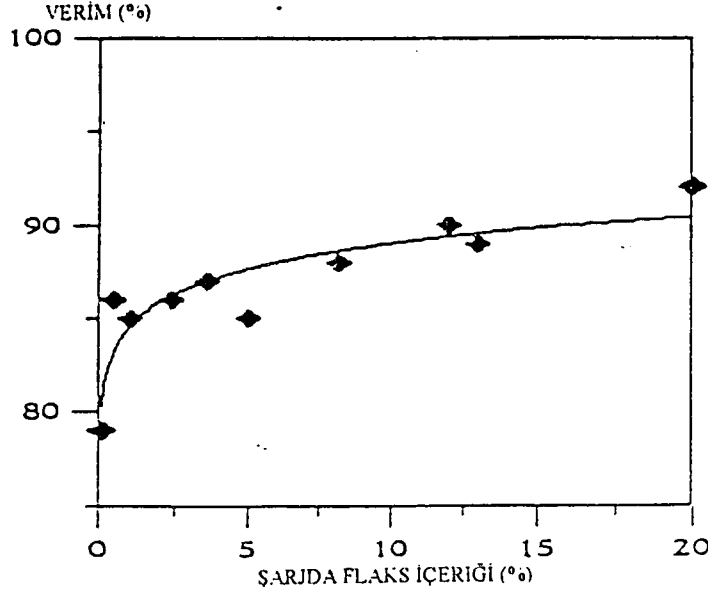
Çizelge 6.12. karıştırmalı ve karıştırmaz verim sonuçları [28].

Deney	Tuz	Karıştırma	Şarjda flaks içeriği	Verim(%)
1	Yok	Yok	0	56
2	Yok	Var	0	79
3	NaCl + KCl	Yok	% 3.6	82
4	NaCl+ KCl	Var	% 3.6	88
5	NaCl + KCl	Yok	% 8.2	85
6	NaCl + KCl	Var	% 8.2	89

Diğer bir deneyde NaCl + KCl tuz flaksının aynı miktardaki şarja aşağıdaki düşük oranlarda katılarak verimin yükseldiği görülmüştür. İlk denemede % 0.5 tuz şarjı ile %85’lik bir artışı görülmüş %10 tuz şarjı eklenmesine doğru % 90’a varan verim tespit edilmiştir.

Çizelge 6.13. UBC (kullanılmış içecek kutuları) hurdası ile NaCl KCl tuz flaksı kullanarak alınan sonuçlar [28].

Deney	Şar’da flaks miktarı (%)	Verim
7	0.5	86
8	1.0	85
9	2.4	87
10	5.0	85
11	8.2	93
12	8.2	88
13	12	90
14	13	89
15	20	92



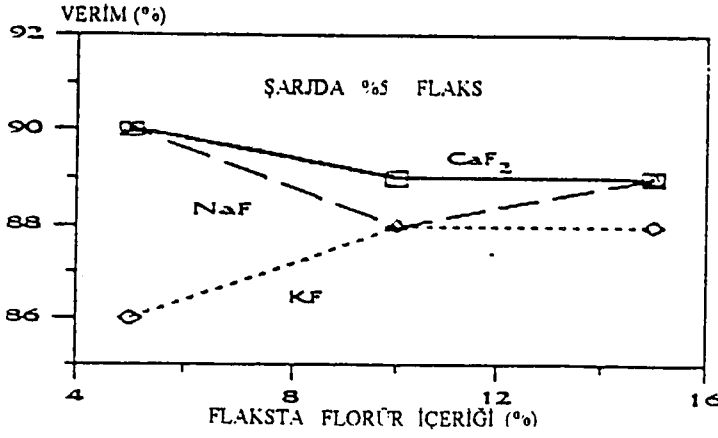
Şekil 6.10. Şarjdaki flaks miktarının verime etkisi [28].

Diğer yapılan bir çalışma ile florür kullanımında kullanılan KF, NaF ve CaF_2 florürlerin etkisi saptanmıştır.

Çizelge 6.14. UBC (kullanılmış içecek kutuları) hurdasına NaCl-KCl tuz flaksı ve florürlerin birlikte etkisi [28].

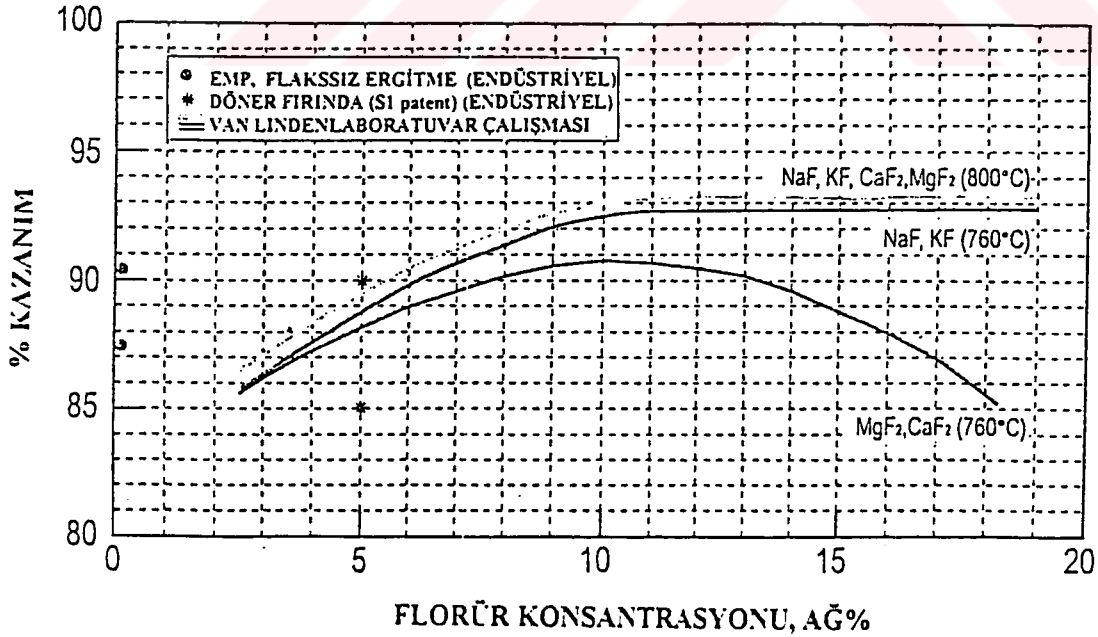
Deney	Tuz içinde florür	Florür	Şarj içinde flaks	Verim (%)
16	%5	CaF_2	%5	90
17	%10	CaF_2	%5	89
18	%15	CaF_2	%5	89
19	%5	KF	%5	86
20	%10	KF	%5	88
21	%15	KF	%5	88
22	%5	NaF	%5	90
23	%10	NaF	%5	88
24	%15	NaF	%5	89
25	%5	CaF_2	%20	99
26	%5	KF	%20	92
27	%5	NaF	%20	90

Bu sonuçlara göre CaF_2 'ün, KF'nin, NaF'nin, etkileri metal kazanma verimi üzerinde hemen hemen aynı olmuş, birbirinden çok küçük farklar göstermişlerdir. CaF_2 , KF ve NaF'e göre daha iyi sonuç vermiştir.



Şekil 6.11. Flaks içindeki florür içeriğinin verime etkisi [28].

Şekil 6.12'deki grafikte endüstriyel ölçekte %5 florür içeriği ile yapılan döner fırınlardaki verim en çok %85 ila %90'a çıktığı görülmektedir. E.M.P teknoloji ile tuz kullanmadan yapılan endüstriyel çapta üretim ile hemen hemen aynı sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlar %87 ila %91 arasındadır. Van Linden laboratuvar çalışmalarında ise yapılan deneylerde ele alınan en önemli parametre yine florür içerik oranları ile florür çeşitleridir. Genelleme olarak grafikte görüldüğü gibi NaF, CaF₂, KF, MgF₂ florür çeşitlerinin %10 oranından fazla katılması halinde içlerinden MgF₂, CaF₂ tipleri verimi bu orandan sonra azaltmakta NaF, KF için verim aynı değeri korumaktadır [5,28].



Şekil 6.12. üç farklı yapılan çalışma ile elde edilen değerler [5].

6.4. Döner Plazma Fırınları

Karışık artıklardan tekrar metal elde edilmesi modern malzemecilerin ve artık yönetim stratejiciler için itici bir güçtür. Sıcaklığa bağlı metodlar, bu görüştekiler için en önemli elemanlardır. Plazma parça parça kullanışlı hale getirilerek karışık ve toksit artıklarından ve kalıntılardan arındırılır. Bu çalışmadaki yöntemlerin parametresi olan; mobil plazma gövdesi, hem Roney-Nichel katalizörlerinde hem de tipik nükleer artık karışımının incelenmesinde kullanılmıştır.

Metaller tekrar elde edilirken meydana gelebilecek deoksitler, ametallerin içinde bulunan yüksek ağır metaller, damıtılmamış dayanıklı artıklar, organiklerin eksik termal tahribatı, akıcı gazlardan oluşan kirlenmeler, olabilecek radyoaktif sızıntılar potansiyel çevresel tehlikelerdir. Sonuç olarak ihtiyaca uygun olan şudur: Kontrol edilebilen kapalı fırınlarda uygun gazlarla donatılmış, temizlenebilir ve iki metali birden üretebilen ve sızıntılarla artık yapmayan bir sistemdir. Bu amaca uygun şekilde düzenlenmiş sistem, termal plazmadır. Amaç, ekolojik dengeyi, yani çevreyi kirlletmeden metali tekrar elde etmektir.

Plazma fırınları sızıntı yapmayacak şekilde kapalı ve hareketli üniteleri gaz hareketlerine elverişlidir. Döküntü ve artıkların termal plazma ile istenilen düzeyde elde edilebilmesi için şimdiye kadar bir verim elde edilmemiştir. Şimdiye kadar yapılan gövdelerde normal olarak büyük yatırımlar gerektirmiştir. Bu gövdelerin performansları gelecekte geliştirilmelidir. Bu amaç için doğruluğu ispatlanmış projeler ve kararlı proses parametreleri kesin yatırım yapmak için gereklidir. Bu kararlılık, hareketli (mobil) plazma gövdesinin gelişmesinde gazsız, güvenilir olmasını sağlar [18].

6.4.1. Hareketli Plazma Gövdesinin Tanımı

Parçalar düzenli bir şekilde kutuya (konteyir) konuluyor. Şekil 6.13.'de iki tane kutunun yerleşim planı görülüyor. Şekil 6.13'de gösterilen kutunun esas işlevini sağlayan bölüm yani kalbi plazmalı döner fırındır. Bunun patenti Retech, Inc. (A.B.D) aittir.

Plazmalı döner fırının içinde, ergimiş halde bulunan metalin damlamasının (akmasının) önlenmesi için bu fırına verilen hız ayarlanabilir. Böylece ayarlanan hızla damlayan metal miktarı kontrol edilebilir. Fırının dönme hızı azaltılarak içerisindeki metalin ergimesi durdurularak metal akıtılarak kalıplara döküm yapılır. Fırının dönme hızı uygun hale getirilerek ve durdurma cihazı kullanılarak fırının içindeki metallerin (camsı fazlar) değişik ergime noktaları tesbit edilebiliyor.

Bu kutu sisteminde ikinci bir yanma yatağı olup, gazlar bu yatağın içinde 1200 C° ve üzerinde tutuluyor. Bu gazların işlevi bittikten sonra gaz temizleyici kulesine gelip buradan dışarı atılır. Bu gazların temizlenmesinin amacı, atmosfere zararlı gazların karışmasını önlemektir. Bu gazlar yoğunlaştırılarak sodyum hidroksit sayesinde zararsız hale getiriliyorlar. Bu maddeler temizlendikten sonra katı maddeler, Nitrojen arındırıcılardan geçtikten sonra beslenir veya döner besleyicilerle beslenir. Bazen de sıvı metaller fırına basınçla beslenerek pompalanır [18].

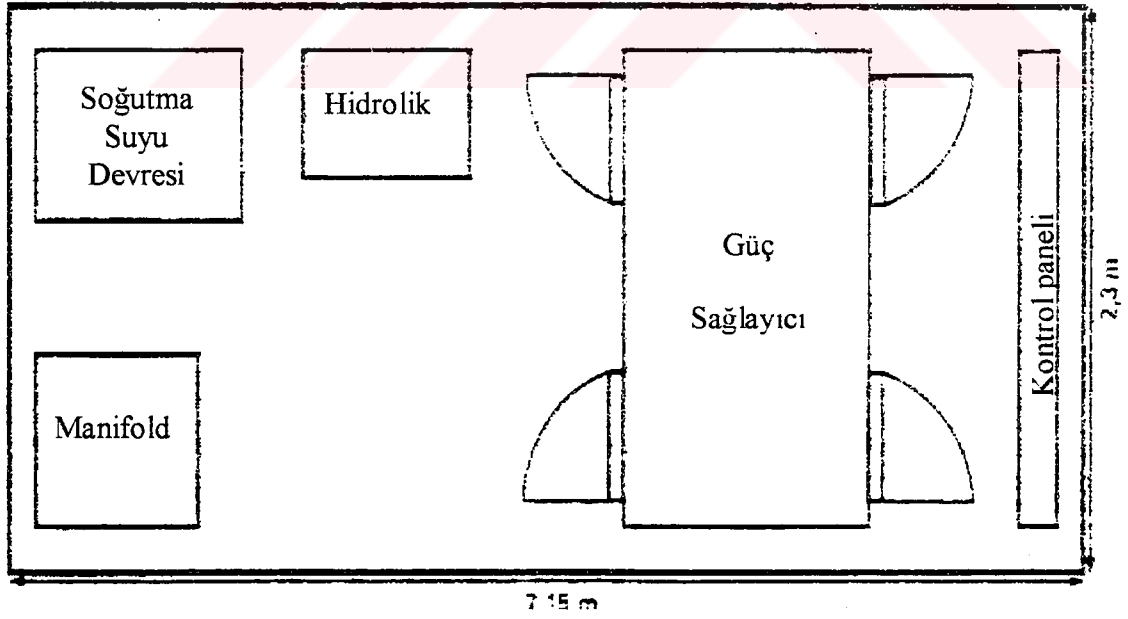
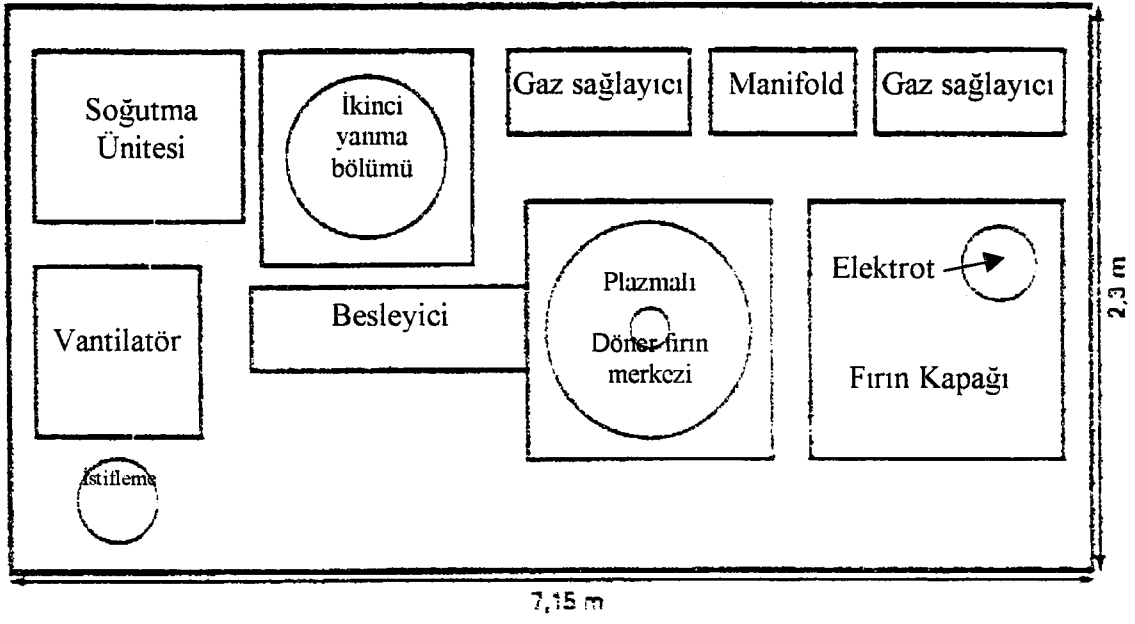
6.4.2. Roney-Nikel Katalizörleri :

Roney-Nikel ana malzemeleri, nikel ve alüminyumdur. Değişik katalizörler kullanılarak değişik maddeler elde edilebilir.

Hazır bulunan organik artıklar ve klorlar, bakır, dioksin formasyonunun tehlikesini gösterir. Bulunan demirler ise diğer artıkları gösterir (filtre pislikleri). Plazmalı döner fırın içine beslenen malzemeler, önce kurutuluyor, sonra oksitlerin karbonla redüksiyonuyla reaksiyona giriyor, sonra östenitik nikel-demir (Ni-Fe) alaşımı sayesinde yabancı maddelerden temizlenmesi %100'e kadar çıkmıştır.

Nitrojen, deneylerde plazma gazı olarak kullanılıyor. Camsı maddeler ikinci bir bölüme aktarılıyor.

Mobil plazmalı döner fırını karışık hurdaların tekrar elde edilmesinde kullanılıyor. Bu fırında her saat için 50kg malzeme işlenebiliyor. Sonuç olarak Roney-Nikel katalizörlerin tipik nükleer atıklar ve hurdaların tekrar elde edilmesinde yüksek bir verim elde edilmiştir [18].



Şekil 6.13. Plazmalı döner fırının Yakma ve Ergitme bölümlerinin planı [18].

Çizelge 6.15. Roney-Nikel Alaşım ve katalizörlerinin (yeni malzeme) % ağırlıkça tipik kimyasal kompozisyonu [18].

	Ni	Al	Al ₂ O ₃	H ₂
Alaşım	45-55	55-45	0,2	-
Katalizör	90-97	4-10	0,3-0,5	1-2

Çizelge 6.16. % Ağırlıkça Artık Nikel Katalizörlerinin Kimyasal Kompozisyonları [18].

H ₂ O	50,0
Ni	16,0
C	10,0
NiO	8,0
Al ₂ O ₃	6,2
SiO ₂	3,4
Fe	2,2
Fe ₂ O ₃	2,2
NaCl	0,8
KCl	0,4
Cu	0,3
P60	0,2
6al.	2,5

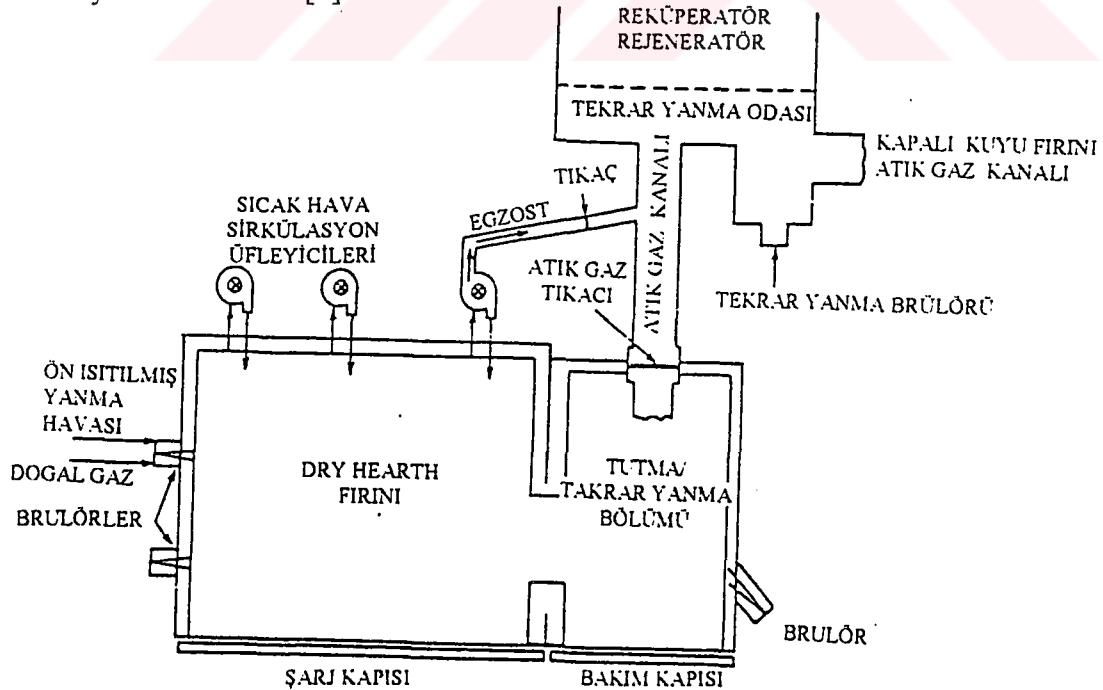
6.5. Dry Hearth Fırını (Dry Hearth Furnace - Dhf) ve Kapalı Kuyu Fırını (Closed Well Furnace -Cwf) İle Birlikte Oluşturulan Reküperatif Sistemi Modeli

6.5.1. Sistemdeki Fırınlr

6.5.1.1. Dry Hearth Fırını:

Şarj arabaları yardımıyla sıkıştırılmış demir içerikli hurda şarjı ergime oranı 2 ton/saat şeklinde işleme konulur. Şarj sırasında kirli gaz emisyonları, sirkülasyon üfleyicilerde bulunan kapakların açılması ile alınarak önlenir. Sıcak gaz sirkülasyonu ile ön ısıtma ve lak giderme başlar. 3 sirkülasyon üfleyici sıcak gaz fırın tavanından alınarak hurda içine nozül içinden gönderir. Bu işlemten sonra hurda vuruşlu ateşleme modunda çalışan brülörler ile direkt aleve maruz bırakılırlar. Brülörler çift yakıtlı olup gaz veya yağ ile çalışabilmektedir. Daha sonra ergiyik alüminyum tutma/tekrar yanma odasına damlalar halinde ulaşarak istenilen döküm sıcaklıklarına çıkartılır. Tüm brülörler ön ısıtılmış hava ile beslenmektedir.

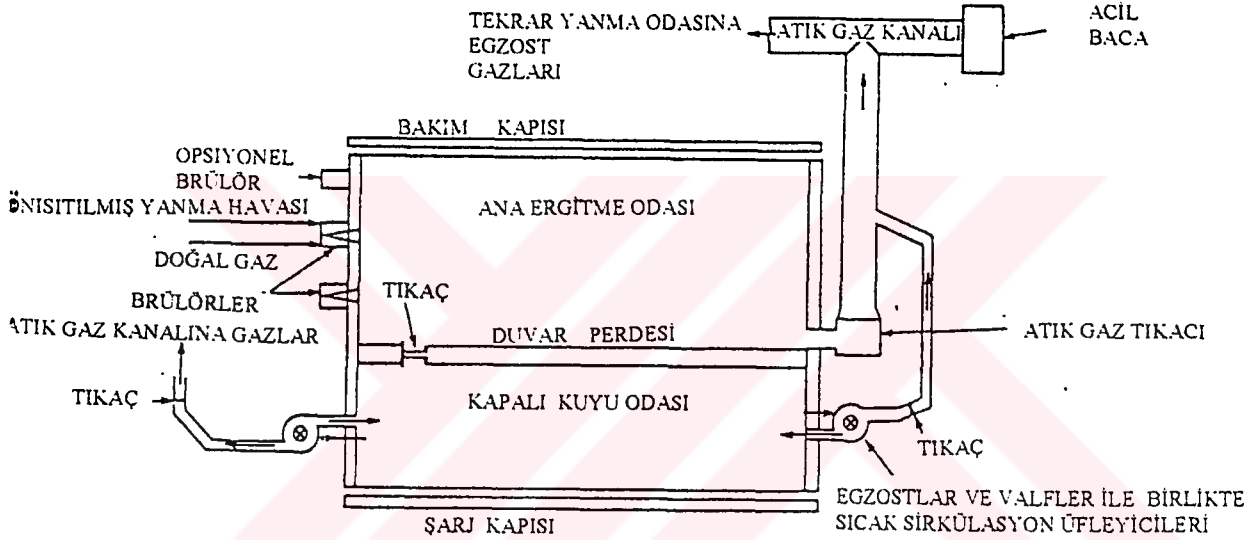
Sıcak gaz sirkülasyonu ergitme ve tutma sırasında basınç, “guillette” tipi kapaklarla kontrol edilmektedir. Bu, soğuk hava sızıntısını ve dışarıya atık gaz çıkışını önler. Sıcaklık ve gaz hacmi ergitme sırasında yükselirken, atık gaz kapakları bu gazları tekrar yanma odasına gönderirler. Ergime döngüsü sonunda dros ve demir bazlı içerikler ayrılarak bir sonraki yüklemeye hazır edilirler [7].



Şekil 6.14. "Dry Hearth" Fırınının Çizimsel Gösterimi [7].

6.5.1.2. Kapalı Kuyu Tarzı Fırın (Closed well furnace)

Değişik bileşimli alüminyum hurdası kapalı kuyu odasından yüklenir. Ön ısıtma ve lak giderme işlemi sıcak gaz sirkülasyonu ile başlar. “Guillotine” tipi basınç kontrol kapağı, kuyu tipi fırına gaz akışını sağlar. Bu işlem sonunda ergime başlar ve metal, fırın içi ara bölme altından sirküle olarak kapalı kuyu odasından ana ısıtma odasına transfer olur. Ana ısıtma odasındaki yüksek ısılı ergiyik bir sonra gelen şarjın ergitilmesini sağlar. Curuf ergiyik yüzeyinden ana ısıtma odasına çekilir. Metal, daha sonra ara bölmenin aşağı bir seviyesinden üstte bir noktaya kadar metalin ara bölmede yerine getirdiği tıkaç vazifesini bozmadan dökülür. Gerekirse işlem yapılmıyacaksa tüm kapasite ile devamlı bir şekilde dökülür [5,7].



Şekil 6.15. Kapalı Kuyu Fırının Çizimsel Gösterimi [7].

6.5.2. Modelin Tanıtımı ve Avantajları

Alüminyum verimli bir şekilde geri dönüştürmek, mümkün olan en az enerji maliyetlerinde metal kayıplarını azaltmakla mümkün olur. Bu, temiz alüminyum hurdalarının kontrollü bir şekilde ergitilmesiyle sağlanır. Bundan yola çıkarak McIntyre Al Ltd. Ve Dunkirk Metals gibi, temiz olmayan hurda kullanımında zorunlu olarak giden işletmelerini canlı örnek olarak verdiğimizde bu işletmelerin hali hazırda kullandıkları reverber fırını (McIntyre Al Ltd) ve indüksiyon (Dunkirk Metals) fırınlarıyla giderek artan kirli içerikli hurdaları yüksek enerji maliyeti ve düşük metal kazanım yüzdeleriyle ergittiklerini görüyoruz. İşte bu yaşanan sıkıntılardan yola çıkarak metali düşük maliyetlerde ve düşük metal kayıpları oluşturacak bir

üniversal ergitme sistem modeli, bu firmalarda uygulanmış ve alınan sonuçlarla başarı sağlandığı görülmüştür.

Bu model, kapalı kuyu fırını ile (closed well furnace) demir içeren hurdaları işleyebilen “dry hearth” fırının birlikte çalıştırıldığı bir sistemden oluşur. Böylece bu sistemle her çeşitteki alüminyum hurdası ergitilebilecektir. Ergitme işlemi süresince karşılaşılan organik içeriklerin kontrolü ise sisteme eklenen (fume) toz-is pirolizi ve artık organiklerin tekrar yanma sistemi, reküperatör ve sıcak gaz dönüşümü sistemi ile yapılmaktadır. Ayrıca yanma ürünleri de atmosfere verilmeden önce filtre sisteminden geçmektedir.

Adı geçen işletmelere uygulanan bu modelin yatırım maliyeti £ 1.286.000 dolayındadır. Bu model ile enerji tasarrufu 7.56 GJ/ton olup haftalık 300 ton ingot üretimi düşünüldüğünde tasarruf 112 000GJ/ton olarak çıkmıştır. Bir senede £ 314.000/yıl değerindedir. Ek olarak geri kazanımda %3'lük bir artış ile de elde edilen ve 450 ton/yıllık bir kazanç sağlanmıştır. Böylece toplam kazanç £ 756.000 olup yatırım maliyetleri düşünüldüğünde tahmini 1.7 yıl olarak görülmüştür.

Ulusal enerjinin korunmasına değinecek olursak, ikincil alüminyum üretiminde metal geri kazanma sistemlerinin gelişimi ve metal kazanma oranlarının yükseltilmesi, birincil alüminyum ile üretime daha az talep olmasına sağlamış ve dolayısıyla maliyetleri ikincil alüminyum üretiminden kat kat daha fazla olan enerjiden tasarruf edilmesi sağlanmıştır. Birincil alüminyum üretimi ile 165 GJ/ton ingot harcanan enerji-ikincil alüminyum üretiminde 10-15GJ/ton olmaktadır. Yukarıda bahsettiğimiz ergitme sistemi modeli ile 11GJ/ton enerjide %11'den 3.5GJ/tonda %33'e verimlilik görülmüştür. Bu 220.000 ton ingot üretiminde senelik $1.65 \cdot 10^6$ GJ/ton enerji harcandığı düşünüldüğünde ve ikincil üretim ile bu 6600 tonun geri kazanılmadığını düşündüğümüzde birincil üretim ile aynı tonajdaki alüminyum elde etmek için $1.09 \cdot 10^6$ GJ/yıl enerji ve kullanılacak toplam tonajdaki alüminyum elde etmek için $1.09 \cdot 10^6$ GJ/yıl enerji kullanılacak toplam ulusal kayıp $2.74 \cdot 10^6$ GJ/yıl (104.000 ton kömür eşdeğerinde enerji) olarak harcanacaktır. Bu değerler göz ardı edilmemelidir.

J. McIntyre Al Ltd için tasarlanan bu yeni reküperatif tesisten önce işletmenin kullandığı, 6.400 ton/yıl ingot üreten geleneksel bir reverber fırını idi. Geri kazanımı %80 dolaylarındaydı. Kardeş kuruluşu Dunkirk Metals temiz hurda ile çalışıp 5400 ton/yıl ingot üreten ve %86 geri kazanım yüzdesine sahip indüksiyon fırını kullanıyordu. Kapalı kuyu tarzı (closed well furnace) (CWF) fırın ve Dry Hearth fırını (DHF) ile ulaşılan 8000 ton/yıl ingot - %88 geri kazanım verimi işletmeleri bu reküperatif modele daha da yaklaştırmıştır. Söz ettiğimiz bu üç sistemin enerji tüketimi karşılaştırmaları aşağıdaki çizelge 6.16.'da gösterilmektedir [7].

Çizelge 6.16. Kullanılan Fırın Sistemlerindeki Enerji Tüketimi Karşılaştırmaları [7].

Fırın Tipi	Üretim (t/yıl)	Geri Kazanma Oranı (%)	Yakıt Tüketimi (GJ/t İngot)
J. McIntyre Ltd işletmesinin kullandığı Reverber Fırını	6400	80	11,4
Dunkirk Metals Ltd işletmesinin kullandığı İndüksiyon Fırını	5400	86	6,72
DHF ("Dry Hearth" Fırını) CWF (Kapalı kuyu Fırını) modeli	8000	88	3,16

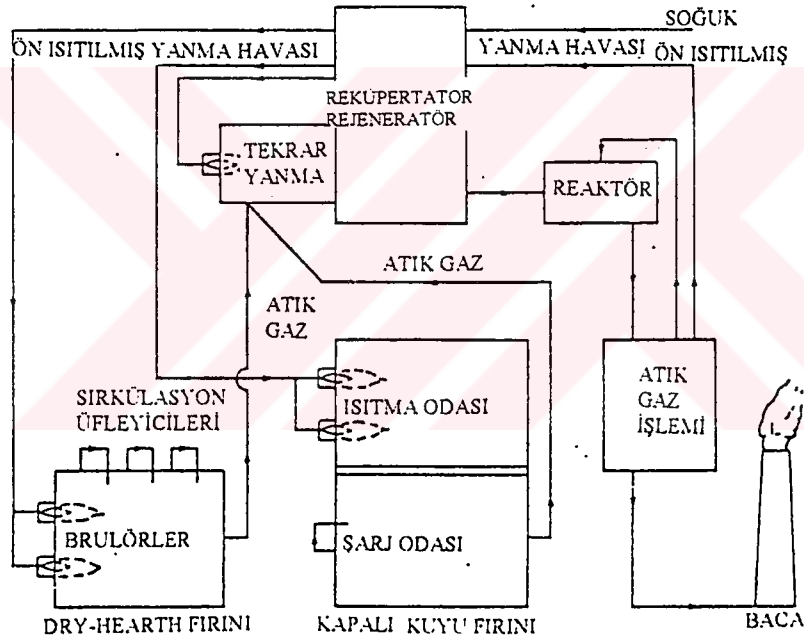
6.5.3. Modeli Oluşturan Kısımlar ve Özellikleri

Yeni model 6.5 ton ergiyik metal tutma kapasitesine sahip "dry hearth" fırını ve 17 tonluk kapalı kuyu fırınından oluşmaktadır. Şekilde görülen "dry hearth" fırını 5 ton kapasiteli eğimli bölmeye sahiptir. Tutma/tekrar yanma odası bölmesi yan tarafına kapasiteyi 6.5 ton çıkarmak üzere eklenmiştir. Dry hearth fırını ön ısıtma ve hurdada lak giderme için sıcak hava sirkülasyonunu temin etmektedir. Organik toz/is, tutma odasında ya da tekrar yanma bölümünde yakılmaktadır. Bunu takiben sıcak atık gazlar yanma havasının ön ısıtması için rejeneratör/rekuperatörden geçirilir.

Kapalı kuyu fırını, ana ısıtma odası ve kapalı kuyu odası bölmeleri arasında yüksek sıvı konveksiyonunu temin edici bir dizayna sahiptir. İşlem sırasında ana ısıtma odası ve kapalı kuyu arasında bir duvar bölmesi, sıvı alüminyumdan da bir tıkaç görevi görmesi temin edilir. Bu bölmenin düşük seviyelerine ulaşılmadan 5 tonluk bir döküm rahatlıkla alınabilir. Fırın yanlarındaki kontrol damperleri (kapakları) kapalı kuyu odasında yüksek bulunan ana ısıtma

odası basıncını ayarlamaktadır. Sonuç olarak sıcak gaz kapalı kuyu bölümüne üflenerek ön ısıtma ve lak giderme işlemleri yapar.

Sıcak temiz gaz kapalı kuyu fırınından kirli gazlar dry hearth tutma odasından gelen temiz gazlarla birleşir. Tüm bu toplanan gazlar tekrar yanmaya gönderilerek yakılır. Buradan gazlar reküperatörlerde, brülörlere tekrar gönderilecek yanma havası dökme demir tüplerden geçer. Reküperatörlerin sahip oldukları termik özellikli kütleleri ön ısıtma hava sıcaklığını sabitleştirirken, atık gazların sıcaklıklarındaki dalgalanmaları dengeli bir konum haline getirir. Halen reküperatörlerden gelen gazlar sıcaktır ve filtrasyona bu nedenle uygun olmazlar, bu nedenle güvenlik soğutucularından geçirilirler. Soğutucudan çıkan egzost gazları daha sonra is ayırma işlemi için atık gaz ünitelerinde işlenir, döner, kireçtaşı içeren bölmesinde asidik bileşenlerinden ayrılırlar ve atmosfere bırakılır [7,19,21].



Şekil 6.16. Dry Hearth Fırını (Dry hearth Furnace - DHF) ve Kapalı Kuyu Fırını (Closed Well Furnace -CWF) ile birlikte oluşturulan reküperatif sistem modeli [7].

İşlem kontrolü "programmable logic controller (PLC)" ve "back-up" analog sistemleri ile yapılmaktadır. Enstrumentasyon; işlem sıcaklıkları, yükleme koşullarını belirleme ünitelerini ve tüm diğer operasyonlar için 30 kanal kayıt alıcından oluşur. Tüm bu özellikler ana bilgisayara bağlı PLC'den yönetilir. Sistem içinde şu kontrol fonksiyonları bulundurulmaktadır.

- Fırın oda basıncı
- Aşırı ısınma alarm sistemi
- Banyo ve çatı sıcaklıkları
- Sirkülasyon gaz sıcaklığı

Böyle bir sistem

- Brülör ateşleme oranları ve senkronizasyonu
- Alev, kapı-brülör kilitlenmeleri
- Değişken şarjlar için ergitme programları hazırlanması
- Fırın basıncı kontrol eden kapakların (damper) kontrolü

Özelliklerinde etkin rol oynar [7].

6.5.4. Ölçüm sonuçları

CWF (Kapalı Kuyu Fırını), DHF (Dry hearth fırını) modelinin enerji kazancı diğer sistemlerle karşılaştırıldığında şu sonuçlara varılabilir.

- Mc Intyre Al. Ltd'nin eski reverber fırını yakıt tüketimi 11.4 GJ/ton olarak alındığında DHF/CWF modeli ile 3.45GJ/ton' a ulaşılmıştır. İşletmenin enerji kazancı 7.95 GJ/ton'dur. Ayrıca reverber fırınının sadece temiz içerikli hurda ergittiği unutulmamalıdır.
- Dunkirk Metals indüksiyon ocağı standard ve temiz hurda ergitmesinde randımanlıdır. Elektrik tüketiminin 2.14 GJ/ton olduğu toplam tüketimin 6.72 GJ/ton olduğu saptanmıştır. DHF/CWF modelinde buna göre 3.27 GJ/ton tasarruf sağlanır, şarj esnekliği de kısıtlıdır.

Standart bir şarjın döner fırında ergitildiğini düşündüğümüzde yakıt tüketiminin 3.12 GJ/ton ingot olduğu saptanmıştır. Buna oksijen maliyeti de eklendiğinde değer 4.63 GJ/ton ingot'a çıkmaktadır [7]

Yeni sistemin ölçüm sonuçları geleneksel ergitme yöntemleriyle karşılaştırmalı olarak şöyle olmuştur.

Çizelge 6.17. Ergime yöntemlerinin karşılaştırılması [7].

Fırın	Enerji Tüketimi (GJ/t ingot)	Ergime hızı (t/saat ingot)	Metal Geri Kaz.(%)	
			Curuf İşlemi var	Curuf işlemi yok
DHF (Dry Hearth Fırını)	3.73	1.82	93.0	89.0
CWF (Kapalı Kuyu Fırını)	3.20	1.93	96.0	92.7
Dunkirk Metals Ltd. İşletmesinin kullandığı İndüksiyon Fırını	6.49	0.90	94.8	91.1
WSL Laboratuvarının Kullandığı örnek İndüksiyon Fırını	---	---	---	96.0
Döner Fırın	4.63*	0.84	md	83.0
J. Mc Intyre Ltd. İşletmesinin Kullandığı Reverber Fırını	11.4**	1.06**	md	80.0

md = mevcut değil - metal kazanımı için işlenmemiştir.

* = Oksijen-yakıt brülörlü, değere 1.5 GJ/ton oksijen dahildir

** = İşletme verilerinden alınmıştır.

6.5.5. Metal kazanımı

Fırınlara arası farkları ortaya doğru bir şekilde koymak üzere ergitme işlemlerinde tek tip, içeriği bilinen hurda kullanılmıştır. Warren Spring Laboratuvarında (WSL) ergime deneyi küçük mertebede yapılsa bile kontrol altında ve optimum geri dönüşüm alınacak şekilde yapılmıştır. Elde edilen banyo soğumaya bırakılarak sıvı kabarcık hareketlerinin minimize edilmesi sağlanmış ve oluşan drosun donmuş metal yüzeyinden alınması sağlanarak verim %96 bulunmuştur.

Dunkirk Metals'daki testle karşılaştırıldığında burada, dros metalin donmasına izin vermeden önce alınır ve sonuç %94.8 'dir. Metalin %3.7'si daha sonra dros işlenmesi ile tekrar geri kazanılmıştır.

Kurulan DHF/CHF modeline baktığımızda oranları curuf işleminden sonra %93.0 ve %96.0 görüyoruz. Bu oranların WSL indüksiyon fırınındaki değerlere yakın olması ile birlikte curuf işlemleriyle kapsama alınmaktadır.

Dros işlemi düşünüldüğünde fazla enerji maliyetleri ortaya çıkarken ergitme veriminin sağlıklı bir şekilde yapılması, alınan metal dökümlerinin miktarlarının karşılaştırmasıyla olur. Böylece indüksiyon fırınının %91 verimi ile karşılaştırıldığında DHF ve CWF ortalama verimi %90.9 olur. İndüksiyon fırınının verimi geleneksel bir reverber fırınından %3 fazladır [7].

6.5.6. Ekonomik Analizler

Yakıt tasarrufu; Yakıt kazancı 5 ila 8 GJ/ton olmaktadır. En iyi durumda enerji tasarrufu yıllık 168.000 GJ/yıl, En kötü durumda enerji tasarrufu yıllık 105.000 GJ/yıl olmaktadır.

Metal Kazanımı; İşletmeden alınan sonuçlara göre;

Çizelge 6.18. Durum karşılaştırması [5,7,21]

Yıllık Tasarruf			
	Enerji Tasarrufu GJ/yıl	Metal Tasarrufu GJ/yıl	Değer £
En iyi durum			
8 GJ Kazanma/ton	168.000		470.400
8% Metal kazanma		1680	1.646.400
Toplam kazanç			2.116.800
En kötü durum			
5 GJ Kazanma/ton	105.000		249.000
2 % Metal kazanma		420	411.600
Toplam kazanç			705.600

6.5.7. Ergitme Sonuçları

Dry Hearth Fırını;

1. deney

Fırın Şarjı:	12.040 kg demir içerikli dökme al. 300 kg silisyum 215 kg al. Radyatör 310 kg hadde sac 12.865 kg toplam
Fırın ürünleri:	9.920 kg ingot 1.940 kg dros (770 kg metal geri kazanıldı)
Gaz tüketimi:	6.01 GJ/t ingot, tekrar yanma var. 4.40 GJ/t ingot, tekrar yanma yok.
Verim:	77.0 %dros hariç 83.0 %dros dahil
Ergitme hızı:	0.66 t/saat

Notlar:

1. Reküperatör yok
2. Tutma odası kullanılmamış
3. Tekrar yanma işlemi yok.

2. deney

Fırın Şarjı:	14.410 kg kırpıntı
Fırın ürünleri:	12.580 kg ingot 1.430 kg dros (564 kg metal geri kazanıldı)
Gaz tüketimi:	3.73 GJ/t ingot

Verim: 89.0% dros hariç
93.0 % dros dahil

Ergitme hızı: 1.82 t/saat

Notlar:

1. Reküperatör var,
2. Tutma/tekrar yanma odası eklenmiş,
3. Yanma hava sıcaklığı 360°C- 420°C,
4. Tekrar yanma yok,

3. Denev

Fırın Şarjı: 14.590 kırpıntı

Fırın ürünleri: 12.700 kg ingot
1.680 kg dros (663 kg metal geri kazanıldı)

Gaz tüketimi: 4.14 GJ/t ingot

Verim: 87.0 %dros hariç
91.6 %dros dahil

Ergitme hızı: 1.57 t/saat

Notlar:

1. Reküperatör yok,
2. Tutma/tekrar yanma odası eklenmiş,
3. Yanma hava sıcaklığı 70°C- 95°C , reküperatör ısınmasına bağlı olarak,

Kapalı Kuyu Tarzı Fırın (Closed Well Furnace) :

1. deney

Fırın Şarjı:	29.250 kg döküm (temiz)
	200 kg silisyum
	180 kg al. Radyatör
	29.630 kg toplam
Fırın ürünleri:	26.270 kg inot
	3680 kg dros (1612 kg metal geri kazanıldı)
Gaz Tüketimi:	4.54 Gj/t ingot
Verim:	88.7% dros hariç
	94.1% dros dahil
Ergime hızı:	1.25 t/saat

Notlar:

1. Reküperatör yok
2. Tekrar yanma yok
3. Metal kazanımı yok
4. Alüminyumun tıkaç görevinde olup olmadığı bilinmiyor.
5. Alaşımlandırma tavsiye ediliyor.

2. Deney

Fırın Şarjı:	13.100 kg ingot (tıkaç oluşturmak üzere).
	20.150 kg döküm (temiz)
	740 kg al Radyatör
	2980 kg balya temiz al.
	550 kg silisyum.
	24.240 kg toplam (tıkaç için metal hariç)

Fırın ürünleri: 21.683 kg ingot
3080 kg dros (1457 kg metal geri kazanıldı)

Gaz tüketimi 4.68 GJ/t hurda şarjı

Verim: 88.8% dros hariç
94.8 % dros dahil

Ergitme hızı: 1.4 t/saat

Notlar:

1. Reküperatör yok,
2. tekrar yanma yok,
3. Metal kazanım hurda ergitmeden önce,
4. Ergitme hızına alaşımlandırma zamanı dahil değil,

3 Denev

Fırın Şarjı: 12.950 kg ingot (tıkaç oluşturmak üzere).
26.060 kg kırpıntı (alaşımsız)

Fırın ürünleri: 24.148 kg ingot
2210 kg dros (872 kg metal geri kazanıldı)

Gaz tüketimi 3.20 GJ/t hurda şarjı

Verim: 92.7% dros hariç
960% dros dahil

Ergitme hızı: 1.93 t/saat

Notlar:

1. Reküperatör yok,
2. Yanma havası sıcaklığı 200°C- 290°C,

İndüksiyon Fırını Dunkirk Metals

1. Denev

Fırın Şarjı:	1637 kg kırpıntı
Fırın ürünleri:	1492 kg ingot 151 kg dros (60 kg metal geri kazanıldı)
Enerji tüketimi	639 Kwh (2.24 Gj/t ingot eşit)
Verim:	91.1 % dros hariç 94.8 % dros dahil
Ergitme hızı	0.9 t/saat

Notlar:

1. Elle besleme nedeniyle düşük ergime hızı,
2. Drosar elle çekiliyor,

İndüksiyon Fırını WSL

1 Denev

Fırın Şarjı:	1366 g kırpıntı
Fırın ürünleri:	1312 g metal 40 g filtrelenmiş dros
Enerji tüketimi	mevcut değil
Verim:	96.0% dros dahil
Ergitme hızı:	uygulanmaya müsait değil

Notlar:

1. Verimin anlamı; verime dros dahil ediliyor. Dros, metal ağırlık ölçümü için katılaşmaya bırakılmadan önce dikkatlice filtreleniyor.

2. küçük ölçekte yapılan WSL laboratuvar deneyleri. büyük ölçek ile benzer tutulabilir.

Döner Fırın

Fırın Şarjı:	1460 kg kırpıntı 274 kg tuz
Fırın ürünleri:	1212 kg ingot 237 kg tuz atığı
Yağ tüketimi	99.7 litre, yoğunluk 0.875 kalorisel eşlenik 43.6 kJ/g (3.13 GJ/ton ingot eşleniğinde)
Verim:	83.0% dros hariç
Ergitme hızı	0,48 t/saat

Notlar

1. Veriler yapılmış 5 deney ortalamasıdır,
2. Tuz atıkları metal geri kazanımı için işlenmemiştir [7].

6.6. Alüminyum Geri Kazanımında Kullanılan Flaksız Ergitme Sistemleri

Nottingham Metal Üreticileri (Nottingham Metal Recyclers) tarafından dizayn edilen "Flaksız" ergitme sistemini incelediğimizde karşımıza çıkan 6 konuyu şu başlıklar altında inceleyebiliriz.

1. "Flaksız" ergitmesine neden ihtiyaç duyuluyor.
2. Tekrar ergitilmesi istenen ürünler neler?
3. Neden bu sisteme ihtiyaç duyuluyor?
4. Mevcut olan Nottinghamdaki bu sisteme ve gelişimine bir örnek.
5. Mevcut sistemde düşünülen ileri çalışınalar
6. Çözüm bekleyen sistem hakkındaki problemler.

1. "Flaksız" ergitmesine neden ihtiyaç duyuluyor ?

Bu sisteme ihtiyaç duyulmasının ilk nedeni öncelikle tuz kullanımını kaldırarak maliyeti azaltmaktır. İkinci ve belki daha da önemli olan husus ise, tuz kullanımı ile meydana gelen kirliliği ortadan kaldırmaktır. Alüminyumun ergitilmesinde tuz kullanımı ile sonuçlanan gaz oluşumu ve bunun yok edilme süreci, tuz kullanılarak yapılan üretimin en büyük sakıncalarıdır. Eğer tuz kullanmadan alüminyum ergitmesi yapılır ve diğer üretim sistemlerinde olduğu gibi aynı tür malzemeleri aynı dayanım değerlerinde ve özelliklerinde elde edebilirsek o zaman bu sistemin kullanımı endüstrinin hizmetine girebilir.

2. Tekrar ergitilmesi istenen ürünler neler?

Çok çeşitli donanımlar ile daha kolay bir şekilde ergitilen katı alüminyum hurdalarından farklı olarak değişik ölçülerde ve türlerde bulunan alüminyum hurdaları da sistemde ergitilmek istenmiştir.

Bunları ;

- Alüminyum talaşları,
- Kırıntı-hurda alüminyum,
- Demir içerikli alüminyum,
- Üretim bandı aşamalarında çıkan alüminyum hurdaları,
- Ayrıca alüminyum curuf veya curufta bulunan metal kısımları,

oluşturur.

3. Neden bu sisteme ihtiyaç duyuluyor?

Böyle bir sisteme ihtiyaç duyulmasının temel nedenleri şöyle düşünülmektedir. Yukarıda bahsettiğimiz çok çeşitli hurda gruplarını en etkili bir şekilde işleyebilecek bir ergitme fırınının oluşturulması fikrine ek olarak bu sistemin çevreye ve ürüne en az kirliliği yansıtması ve curuf işleme sisteminin gerekliliği entegre bir sistemin oluşturulması gerçeğini

ortaya koymuştur. Bu gereklilikler ışığı altında ilk defa 1992 yılında "Thermie Energy Programı" ile bu entegre sistem oluşturulmuştur.

4. Mevcut olan Nottinghamdaki bu sisteme ve gelişimine bir örnek.

Bu sistem 50 ton kapasiteli "kapalı kuyu tarzı" (closed well type) şeklindeki fırından oluşmaktadır. Isıtma haznesinde 3x3 mW brülörleri bulunur. Bunlar çift-yakıt'lı olup gaz yada fueloil ile çalışabilir. "Kapalı kuyu" sisteminde avantaj, kuyu içindeki metal şarjının üzerine direkt alev gitmemesi ve gaz yayılımının kontrollü bir şekilde gözlemlenebilir olmasıdır. Sistemde gazlar kapalı kuyu haznesinden alınır, ısıtma haznesinde tekrar yakılır. Tüm sistem en küçük oranda bir artık gazı bile dışarı atabilen bir basınçlı piston ile kontrol edilmektedir. Artık gazlar soğutucu sisteme direkt gönderilmeden önce haznedeki ve ısı geri kazanım sisteminden geçirilerek sahip oldukları potansiyel ısıdan mümkün olduğu kadar faydalanılır. Gazlar bu soğutucudan geçerek daha sonra kireç taşı ile filtre edilirler ve ayrı bir kısımda kül ve diğer zararlı empüritelerinden arındırılırlar. Sıcak gaz dolaşımını sağlayan fanlar, sistemde ergime prosesinde etkili olurlar. Bunu; sıcak gazı, ana ısıtma haznesinden şarj kapılarının kapalı olduğu durumda şarj bölgesine transfer ederek sağlarlar.

Mevcut olan "kapalı kuyu" tarzı sistemlerde geçmişte görülen problem, homojen bir ergimenin elde edilememesidir. Bu sınırlama bugün sıvı pompalama ile giderilmiş ve bu karıştırma sistemi ile homojen bir ergitme sağlanmıştır. Bu işlem, fırının ısıtma haznesinde metalin en sıcak bulunduğu bölgesinden bu metalin alınması ve kapalı ısıtma haznesine tekrar geri pompalanması ile olur. Sıvı metalin bu dolaşımı yapması için EMP lineer pompalar bu iş için kullanılırlar. Bu pompa ile temin edilen girdap şeklindeki besleme, türlü şekildeki şarjı (kırıntı-hurda alüminyum, kuru alüminyum talaşı) kontrol etmemizi ve fırın kapağı açma kapama işlemine gerek duymadan bu şarjı işlememizi sağlar. Amaç hazneye saatte 4 ton'luk bir şarj verebilmektir. Alüminyum torna talaşı için de fırından gelen sıcak gazlardan faydalanılır. Bu sıcak gazlar ile talaşlar kurutularak ve demirden arındırılarak sıvı metal banyosuna dahil edilir. Bu sistemin kullanımı endüstride mevcuttur. Sistem ile sağlanan sıcak gazlar ve fırının bu gazların dolaşımını sağlaması yüksek enerji verimini sağlamıştır. Sıcak gaz dolaşımı daha az bir kirlilik problemi meydana getirerek metalin geri dönüşüm çevriminde daha düşük maliyetlerle kazanılmasını sağlar. Karşılaştığımız diğer bir

alüminyum çeşidi de demirli alüminyum hurdalarıdır. Bunlar genelde % 5-6 oranında demir içerirler. Demir içeren alüminyum hurdalarına en iyi çözüm kuru fırın ergitme (Dry Hearth Melting) sistemi gösterilebilir. Bu nedenle oluşturulan entegre sisteme 2 adet kuru fırın ergitme ünitesi eklenerek demirli alüminyum hurdası işleme olanağı bulunabilir. Entegre sisteme eklenen iki ünite, sistemin her iki tarafından eklendiğinden buna T şekli fırın da denir.

Kuru ergitme haznelerinin önemli bir görevi de curufları işlemesidir. "Thermie programı" curufların işlenmesinde geliştirilmiş bir sistemdir. Kısaca, pres ve sıkma işlemi ile curufları alüminyum elde edilmesini içerir. Bu yöntemin anafikri; aynen bu yöntem ile geçmişte curuftan çinko kazanma yöntemi ile benzerlik kurularak bulunmuş ve daha da geliştirilerek TARDIS (Thermal Aluminum Recovery from Dross In Situ) adını almıştır. TARDIS daha basit bir yöntem olup sıkıştırmayı takip eden bir soğutma ile tamamlanır. Buna göre; curuf, fırında özel dizayn edilen potalara alınarak bu potalarla TARDIS tertibatına alınır. Tertibat hali hazırda sıcaktır ve curuf, TARDIS içinde bulunan bir hidrolik çekiç düzeneği ile standart bir şekilde pres altına girer. Bundan sonra iki aşama gelir. İlk aşama sıkmadır. Curuf içindeki alüminyum kalıntıları, çekiç ile preslenerek yoğunlukları artırılır ve curuf içinde bulunan diğer alüminyum kalıntıları ile birleşerek daha büyük parçalar haline gelirler. Meydana gelen bu alüminyum, damlalar halinde potadaki delikten akarak altta bulunan haznede toplanır. İkinci aşamada çekiç curuf içinden çıkmadan burada bir soğutma yaparak curufta artık olarak kalan metalin çekice doğru ilerlemesini ve çekiç etrafında metalik bir tabaka oluşturmasını sağlar. Sonuçta sıvı metal dolu bir hazne ve çekiç etrafında bir metal tabakası kazanmış oluruz. Bu tabaka, daha sonra girdap hazne (vortex chamber) olarak tanımlanan bölgede ergitilerek alınır.

Sonuçta TARDIS yöntemi ile curuftan metal kazanılmış ve metal veriminin Döner fırınlardaki tuzaltı sistemlerine nazaran 2 kat daha iyi olduğu gözlenmiştir. Ayrıca çok düşük oranlarda metal içeriği olan beslemelerde bile elde edilen yüksek metal kazancı TARDIS'in kullanım nedenlerini arttıran diğer bir husus olmuştur.

5. Mevcut sistemde yapılan ileri çalışmalar

Dizayn edilen bu sistem şu anda kullanımdadır. Yapılacak çalışmalar arasında curuf işleme ve presleme kademelerinin fırınla birlikte yapılması ve fırın şarj haznesinin üzerine bir otomatik şarj düzeneğinin eklenmesi gelmektedir. Bu sistem ile curuf içinden metal kazanımı daha da artacaktır.

Bu sistemin tamamlanması ile tüm çeşitteki ikincil metal ergitmeleri tek bir entegre ünite ile temiz ve tuz kullanımına başvurulmadan yapılacaktır.

6. Çözüm bekleyen sorunlar.

Metal alaşımı içindeki magnezyum miktarının düşürülmesi ekonomik bir şekilde bu sistemde yapılamaz iken döner fırınlarda bu işlem yapılabilmektedir.

İkinci problem ise fırınlardan değişik ingot boylarında veya alaşımlandırmalarda ürün eldesinden çok büyük boyutlarda ve tek tip alaşımlarda ürünler elde etme şeklinde olmuştur. Bunun aşılması için çalışmalar sürmektedir [13,22,24].

7. DEMİR DIŞI ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ERĐİTME KAYIPLARININ AZALTILMASI

Özel alüminyum alaşımları, bronzlar, pirinçler, kızıl dökümler elde edilirken sağığı zararlı maddelerin en aőağıya indirilmesi, oksidasyondaki maddesel kayıpları en aza indirilmesi ile ilgili bir araştırma tasarlanmıştır. Esas temel çözüm sabit katkı malzemesinin hareketlerini kapsar. Bu artıklar direkt olarak metalik banyodan geçirilerek, ön işlem yapılmadan hazırlanır.

Dünyanın her tarafında demir dışı hurdaları elde edilirken en önemli problem, demirdışı işlenmemiş malzeme üretiminin düşmesidir. Birincil üretim azalırken ikincil üretim artmıştır. Demir dışı malzemelerin hurda kaynağı; dövme parçaları, presten gelen parçalar haddeleme, makina parçalarıdır (cips, yonga vb.). Ayrıca termal proseslerden, plastik deformasyonlardan ve kimyasal demirdışı metallere hurda ve artık kaynağıdır. Hurdalar ve demirdışı metal artıkları çok değışik kategorilerde sınıflandırılır. Bunlara örnek; nemlilik, yağ, hurdanın içindeki elde edilebilir metal miktarıdır. Deneysel araőtırmalara göre kullanılan fırın 30kg'dır, frekansı 50 Hz'dir.

Kullanılan hurda alüminyum cipsleri ve işleme dökümlerine örnek: AT Si 10 Cu 3 Mg

Kimyasal kompozisyona örnek ise;

Si = %10,05, Mg = %1,2 Mn = %0,4 Cu = %3,8
Fe = %0,56 ve flakslar

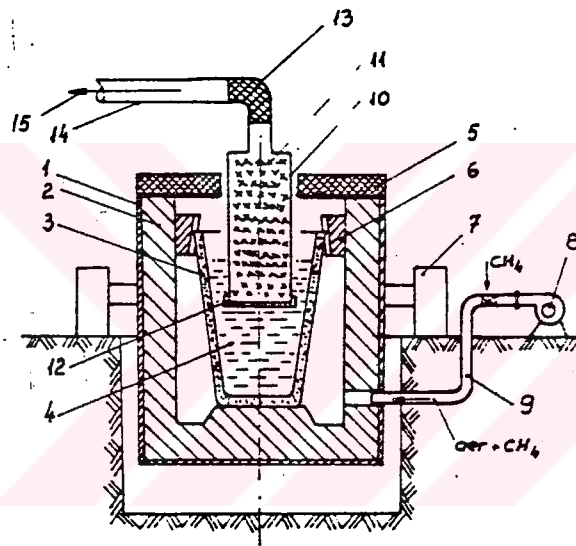
Alüminyum alaőımlarından yapılmış bu cips bileşimin yoğunluğu 0,12-0,25 kg/dm³'dür.

Grafitli pota geleneksel fırınlarda alüminyum hurdalarının ergitilmesindeki kayıplar %20-22'dir. Geleneksel grafitli pota fırınlar yerine yeni teknoloji olan döner fırınlar kullanılarak bu kayıp oranı en aza düşürülmüştür. Bu yeni sistemde çapı 30 mm ve

yüksekliği 740 mm olan bir çelik tüp kullanılıyor. Yoğunluğu 0.23 kg/dm^3 olan alüminyum cipsler tüpün içine konuluyor. (Şekil 7.1)

Oksijen çıkarıcı flüxlar (katkı malzeme) ile karışım aşağıdaki kompozisyon;
%40 NaCl, %40 KCl, %20 NaF (Tuz Banyosu)

Tüpün dış tarafındaki parçaların oksitlenmesini önleyen grafitli boyadır. Tüp bağlantıyla filtre küçük parçaların temizlenmesinde kullanılıyor. Alüminyum cipsleri önce ön ısınmaya uğrarlar. Sıvı alaşımla yıkandıktan sonra aynı anda bir araya gelmektedir. Basınç altında hareket ettikten sonra basınç pompası 0,006-0,008 atm. (ki bu daha fazla yükselmez) altında işleme tabii tutulur [3].



Şekil 7.1. Al-Hurda Alaşımlarının Deneyden Geçtiği Evreler [3].

- 1- Metalik kaplama (gıvsi), 2- Refrakter Astar, 3- Grafitli pota, 4- Alüminyum Banyo,
5- Başlık, 6- Dikdörtgen şeklinde pişmiş ısıya dayanıklı kilden yapılmış takoz,
7- Fırını tutan destek, 8- Hava Üfleyici, 10- Çelik İnce Tüp, 11- Alüminyum Cipsleri,
12- Alüminyum Başlık, 13- Filtreler, 14- Tüp Bağlantıları, 15- Vakum Pompaları (Emme)

Yapılan deneyin sonuçlarına göre; iki değişik netice ortaya çıkıyor. Yeni teknoloji ile yapılan deneysel sonuçlara göre hali hazırda %13-16 arasında kayıp vardır. (Eski teknoloji ile yapılan deneysel sonuçlara göre kayıp %20-22 idi.) Aynı zamanda gazlar da azalıyor. Çünkü zararlı gazlar vakum pompası tarafından boşaltılır. Ayrıca, yeni teknoloji ile yapılan deneysel sonuçlar neticesinde, elde edilen mikro yapı daha iyi bir yapı olup, derin segregasyonlar en

aza indirilmiştir. Sonuç olarak; yeni teknolojiyle alüminyum hurdalarının ergitilmesinde, daha önce elde edilen kimyasal kompozisyondan yapısal olarak daha iyi, daha az oksitlenme olup, kayıplar daha azdır [3].

Bu konuyla ilgili yapılan deney sonuçları çizelge 7.1.'de gösterilmiştir.

Çizelge 7.1. Eski Teknoloji İle Yapılan Deney Sonuçları [3].

Fırın Karakteristik Özellikleri	Geleneksel Fırın		Döner Fırın	
	Elde Edilen Miktar I	Elde Edilen Miktar II	Elde Edilen Miktar III	Elde Edilen Miktar IV
Sıvı Alaşım (kg)	10,8	11,3	5,217	4,835
Cipslerden Gelen Hurdalar (kg)	21	20	0,98	0,98
Alaşım (kg)	27,54	27	5,905	5,534
Kayıplar (%)	20,3	21,5	29,7	28,7

Çizelge 7.2. Yeni Teknoloji İle Yapılan Deneysel Sonuçlar [3].

Fırın Karakteristik Özellikleri	Döner Fırın ile Grafitli Pota ve Vakum Sistem		
	Elde Edilen Miktar I	Elde Edilen Miktar II	Elde Edilen Miktar III
Sıvı Alaşım (kg)	5,068	5,122	5,080
Cipsten Gelen Hurdalar (kg)	0,865	0,850	0,880
Vakum Kütlesi (kg)	0,010	0,010	0,010
Alaşım (kg)	5,82	5,844	5,85
Kayıplar %	14,2	16,2	13,6

8. ALÜMİNYUM ERGİTMEDE FLAKS UYGULAMASI:

Flaksın kullanımı genel dökümcüler tarafından tam olarak anlaşılamamıştır. Günümüzde birçok flaks malzemesi kullanılmaktadır; bunların çeşitliliği, kullanım ve ergime sıcaklıkları göz önünde tutularak belirlenir. Alüminyum ergitmedeki flaks pratiği demir esaslı metallerin curuf pratiği kadar komplekstir. Birçok kabullere göre bu teknik kara bir sanat (gizli sır) kabul edilirken; gerçekte bilimsel prensipler tarafından kılavuzluk görmektedir.

Bu bölümde alüminyum dökümcüsünün anlayabileceği basit fikirler tarif edilmekte ve bunlar flaksların uygulamada, verim, kullanma, kompozisyon, ekonomi ve döküm kalite, güvenliği, düzenlenmesi gibi hususları inceleyen fikirlerdir. Bu sunumun genel kısmı katı flaksların malzemelerinin ergimiş alüminyuma ilavesi ile sınırlıdır. Yayıncılar kristal olmayan alüminyum ergitme (ergiyik); gazlarla (Ar , Cl_2 , SF_6) olan ilişkisini önemini bilmektedir. Ama zaman ve yer koşulları daha dar bir odaklamayı zorunlu kılmıştır [20].

8.1. Flaks Kullanımının Amaçları

Flaks kullanımı; alüminyum ergitme sırasında yapılır. Çünkü bu metal hızlı (şiddetli) biçimde yüzeyinde bir tabaka veya oksit filmini (basit Alümina- Al_2O_3) her bölgede oluşturur. Magnezyum, alüminyumda kullanılan çok yaygın bir alaşım elementidir. Eğer oksijen içeren bir atmosferle karşılaşır; bu da hızlı biçimde oksitlenip, magnezyum oksit oluşturur (MgO).

Eriyiğin temizliği uygun flaks kullanımı ile artar. Her ne kadar oksitler eriyik (sıvı) alüminyumda daha sıkı olmasına karşın; birçoğu eriyik metal yüzeyi yanında veya yakınında bulunur. Bunun sebebi yüzey gerilimi etkileri ve absorblanan gazlardır. Flaks inklüzyon dağılım prosesini eğilendirmektedir. Çünkü bunlar oksidi ıslatır ki bu dokunuş, alüminyumun yüzey geriliminin etkilerini artırarak onun oksit inklüzyonların eriyikten defedilmesinde rol almasını sağlar [11,20].

8.1.1. Ergiyiği örtüleme

Örtü flaksları birçok ergitme operasyonu sırasında kullanılmaktadır. Genel olarak bunlar içeriği yüksek oksitlenme koşullarında örnek olarak 1430 F(775 °C) üzerindeki sıcaklıklardır; bu durum talaş ve hurda ergitme de veya Mg oranı %2'den büyük olan alaşım ergitmelerde meydana gelir [11].

8.1.2. Metal ve oksitlerin ayrılması

Ayırma flaksı, en önemli ve ekonomik flaks uygulamasıdır. Curuf içinden metalik alüminyum geri kazanılır. Curuf %80 metal ve %20 oksit içerir. Eriyik bileşimler bu gruba girer, sadece katı şarj ilavesi ile ayrılırlar. Curufun davranışı, bu akışkan değişimiyle görünüşü, sanki metalik alüminyum azalmış gibi ıslaktan kuruya doğru olur. Prosesi hızlandırmak için, bu ekzotermik flaksla; oksijeni sistemden uzaklaştırır ve ısı oluşumu bir parça metalik alüminyumun curuf içinde yanması ile olur.

Curuf flaksları, ağırlık olarak şarjın yaklaşık %0.2-1'i oranında veya banyo yüzeyine 2.5 kg/m² olacak şekilde ilave edilir. Ne kadar miktarda flaks olacağı temizliğe ve şarj edilen malzemedeki pislığe bağlı olarak curuf içinde ne kadar bulunacağı belirlenir. Flaksın çeşidi ve miktarı kritik olarak, çok küçük ekzotermik yanmalarda flaks verimini azaltır. Çok fazla flaks aşırı olarak yanarsa, fazla bir duman meydana gelir ve kullanılan metalik alüminyumun kaybına neden olur [11].

8.1.3. Fırın temizleyici flaksı

Temizleme, flakslar eriyik hattının altında ve üstünde birikerek fırın duvarını kolaylıkla korurlar, bu koruma dökümde sert leke olarak adlandırılan ve oksit partikül kaynağının neden olduğu olaya karşıdır. Birikmenin olağanüstü durumu fırın kapasitesini azaltabilir. Oksit partikülleri, birikmede, çok geniş alana hızlıca yerleşirler. Bunlar, saflaştırmadan önce eriyiğe kabaca girerse sık sık döküm içine hemen kayarlar. Birikme metalik alüminyum ve oksidin bileşimi ile başlar ve ekzotermik flakslarla kaybedilebilir ve dağıtılabilir [11].

8.1.4. Rafinasyon

Gaz giderme, flaksların eriyikten hidrojen ve inklüzyonları uzaklaştırmak için kullanılır. Fakat degazer flaksları gazlarla (örneğin; Ar, N₂, Cl₂) çok etkili değildir. Daha çok hidrojen oranını en düşük seviyeye çekmek için kullanılır. Gaz giderme flaksı, toz formunda enjekte edildiğinde eriyik yüzeyinin altına gider.

Flakslar ekonomik olarak az miktarda elementi eriyikten uzaklaştırırlar. Bundan başka, metalurjik kontrol için eriyik ilavelerin dağıtımı yapılabilir. Pacz, Al-Si alaşımlarındaki değişikliği Sodyum'u Sodyum Florür flaksıyla kullanılırken keşfetmiş. Genel olarak, eriyik ilavesi Na, Ti, B veya diğer elementlerin kurtarılmasıyla başarılı [11]

8.2. Flaks İlavesi

8.2.1. Geleneksel metotlar

Bu metoda eriyiğe emniyet ve verimli bir tarz için başvurulur. Fırın operatörünün manuel olarak flaksı eriyik yüzeyine veya fırın duvarına fırlatması için başarılabacak en genel metottur. Donatım flaksı fırın duvarına veya metal yüzeyinin altına enjekte etmek için elverişlidir. Eriyik bileşimleri küçük parçalar halinde şarj edilir. Bazı dökümhaneler flaksı erimiş flaks metale hafifçe vurma esnasında katarlar. Bu metod eriyikle olan teması artırır. Flaksı çok etkili kılmak için, flaks eriyik içinde karıştırılmalıdır. Bu flaksların oksitle temas ederek metal yüzeyine çıkmasına neden olur. Daha sonra 5-10 dakikada flaks metali terkeder. Sonuçta yüklü inklüzyon flaksı köpük olarak alınır.

Ekzotermik duvar temizle flaksı, duvarlar olması gerekenden daha sıcak olduğunda ve oksit artışı meydana geldiğinde kullanılır. Bir haftalık pratikte, fırın en düşük seviyeye boşaltılır, iyi bir reaksiyon için ısıtılan fırın duvarları yeteri kadar flaksla başlatılır (tabaka 3-6 mm kalınlığında), daha sonra kapaklar kapatılarak fırın 10-15 dakika ısıtılır:

Normal sıcaklıklarda duvarların temizlenmesi için bir diğer metot da, eriyiğin köpüğünü aldıktan sonra duvarların yanından eriyiğe temiz flaks ilave edilir, tabi ki hafifçe vurmadan

önce. Hafifçe vurma esnasında, temizleyici flaks fırın duvarını kaplar ve eriyik seviyesi azalır. Oksitler duvardaki flaksla reaksiyona girerek diğer köpük alma işleminde alınır [20].

8.2.2. Flaks enjeksiyonu

Bir yeni flaks dağıtma metodu da günümüzde "flaks enjeksiyonu" olarak tanımlanır. Burada flaks eriyik içinde metal yüzeyindeki istenmeyen empüritelerle temas eder. Flaks eriyik yüzeyinde geniş bir alana yayılır ve yüzeyde yüzer. Bu da metalin temizlenmesine neden olur. Tipik flaks enjeksiyon donanımı, flaks tozunun inert bir gazla karıştırılması için kuru toz besleyicisi ve bunu taşıyan bir mızraktan oluşur. Enjeksiyon yapılacak flaks, metalin sıcaklığına uygun olmalıdır [20].

8.3. Bileşim ve Mekanizma

Flaksların daha çok klorür ve florür tuzları içeren özel çeşitleri vardır. Bunlara boya ilave edilerek değişik renklerde üretilirler. Klor, karbondioksit veya metal tozları metal yüzeyine gönderilirse, hidrojen kabarcıklar halinde yüzeye çıkar. En iyi poz çözücü bileşim C_2Cl_3 'tür, bu Cl_2 ve $AlCl_3$ 'den oluşmaktadır. Flaks bileşimleri, alüminyum ve alüminyumun empüriteleri ile temas ederek eriyiğe ilave element olarak veya diğerinin konsantrasyonunu azaltıcı olarak kullanılırlar. Örneğin, NaF için Na, K_2TiF_6 için Ti, KBF_4 veya B ilave edilir [11,20].

8.4. Alüminyum Geri Kazanımında Flakslamanın Kullanımı

Tuz flakslar ikincil alüminyumun tekrar ergitilmesinde önemli rol oynamaktadır. 30'un üzerinde patentli flaks, 120'nin üzerinde patentsiz flaks mevcuttur. Alüminyumun ergitilmesi için bir flaks aşağıdaki şartları sağlamalıdır. Flaks metali (ya katı ya ergimiş) örtmeli ve oksidasyonu önlemelidir. Flaks; kir, oksit ve metale yapışan diğer kirli malzemeyi çözmelidir. Flakstaki bu temel özelliklerin yanında ergime noktası $660\text{ }^{\circ}\text{C}$ den daha az olmalıdır. Yoğunluğu 2.3 gr/cm^3 'den daha az olmalıdır. Metalle reaksiyona girmemelidir.

Refrakter duvarlarını bozmamalı, zehirleyici olmamalıdır. Ucuz olmalı veya düşük maliyette geri kazanılmalıdır [20].

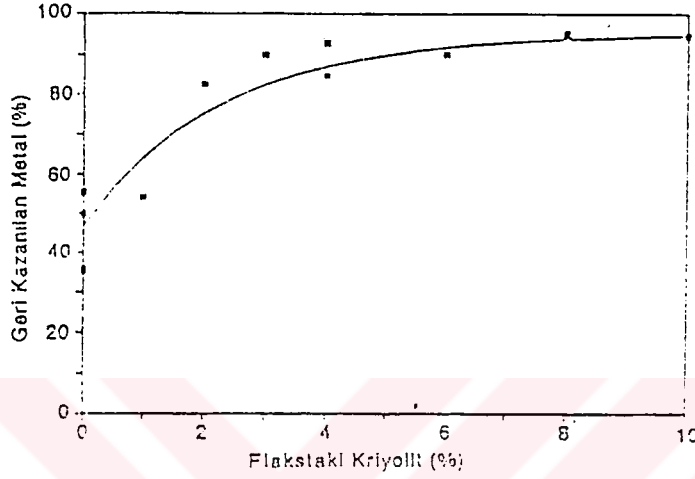
Kullanılmış içecek kutularının geri kazanımında belirlenmiş olan çok önemli gerçek: kriyolit'in flakslama kalitesi üzerindeki etkisi ve rolüdür. Metal şarjında magnezyum (%0.01) düşük konsantrasyonlarda mevcut olduğunda geri kazanım verimi oldukça yüksek olmaktadır (%100). Tuz flaksında daha fazla kullanılabilme özelliği kazandığı görülmüştür. Magnezyum, sistemde küçük konsantrasyonlarda mevcut olduğunda flaksa transfer olması mümkün olan belirgin magnezyum bileşiklerinin oluşumu söz konusu olmamaktadır. Önemli miktarlarda magnezyumun varlığı (yaklaşık %2) durumunda geri kazanım verimi %60'a veya daha aşağı değere düşmektedir. Çizelge 8.1'de geri kazanım verimini belirlemek için farklı flakslarla yapılan deney sonuçları görülmektedir.

Metal geri kazanıma magnezyumun zararlı etkisi, tuz flaksa kriyolit ilavesi ile belli bir derece telafi edilmektedir. Kriyolit'ten gelen sistemdeki mevcut flüorür iyonlarına sahip olmanın bilinen faydaları mutlaka magnezyum reaksiyonunu önlememekte veya azaltmamaktadır. Fakat küçük alüminyum parçacıklarının birleşimini arttırmaktadır.

Çizelge 8.1. Farklı Flakslarla Elde Edilen Deney Sonuçları [20].

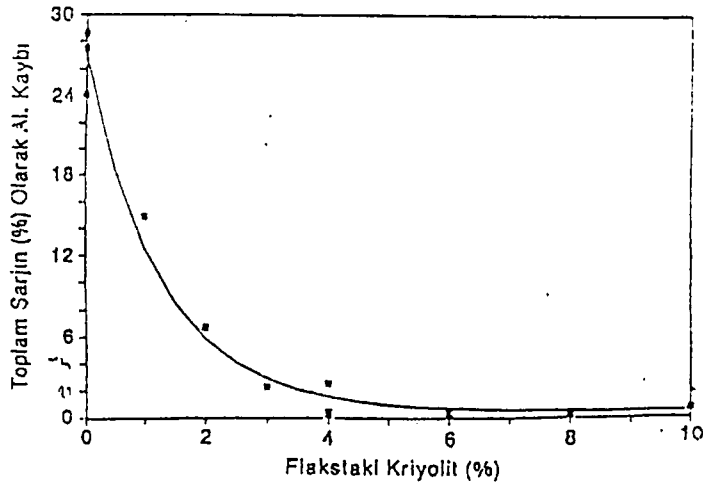
Test No	Flakslama koşulu	Başlangıç Malzemesi	Başlangıç Malzemesi Mg İçeriği (%)	Geri Kazanım Verimi (%)	Geri Kazanılan Metaldeki Mg(%)
1	%47.5 NaCl, %47,5 KCl %5 Na ₃ AlF ₆	Birincil Al.	0.01	100	0.01
2	Bir öndeki testten geri kazanılan flaks	Birincil Al.	0.01	99.9	0.01
3	Bir öndeki testten geri kazanılan flaks	Birincil Al.	0.01	99.8	0.01
4	Bir öndeki testten geri kazanılan flaks	Birincil Al.	0.01	100	0.01
5	%55.3 NaCl, %44.3 KCl %0,4 Na ₃ AlF ₆	Kul.iç. Kutu Parçaları	2.0	59.4	1.53
6	%47.5 NaCl, %47.5 KCl %5 Na ₃ AlF ₆	Kul.iç. Kutu Parçaları	2.0	91.3	0.90

Kullanılmış içecek kutularından metal geri kazanımına kriyolit ilavesinin etkisi %50 NaCl-%50 KCl başlangıç tuz bileşimine kriyolit ilaveleri ağırlıkça %0,1,2,3,4,6,8,10 ilave edilerek incelenmiş; kriyolit içeriği arttığında, geri kazanımın arttığı görülmüştür. Kriyolit ilavesi olmadığı durumda, yapışmanın düşük ve eksikliği nedeniyle (%33-55) geri kazanım tamamen değişken olmuştur. şekil 8.1’de flakstaki kriyolit içeriğine bağlı olarak kullanılmış içecek kutularından geri kazanılan metal yüzdesi ilişkisi verilmektedir.



şekil 8.1. Flakstaki kriyolit içeriğine bağlı olarak geri kazanılan metal yüzdesi [20].

şekil 8.2’de de flakstaki kriyolit yüzdesi artışına bağlı olarak toplam şarjın yüzdesi olarak tuz flaksa kaçan alüminyum kaybı ilişkisi verilmektedir.



şekil 8.2. Flakstaki kriyolit yüzdesi artışına bağlı olarak toplam şarjın toplam şarjdan tuz flaksa kaçan alüminyum kaybı yüzdesinin ilişkisi [20].

Çizelge 8.1’de test no 5 ve 6’da malzeme olarak kullanılmış içecek kutusu kullanılmıştır. Test No 5 ve 6’da, Na_3AlF_6 oranının, %0,4 ve %5 değerlerindeki değişimi geri kazanım verimini %59,4’den %91,3’e yükseltmiştir.

Maksimum geri kazanımdaki kriyolit seviyesi her bir fırın için birçok farklı koşullara bağlı olarak, işlemde işleme değişecektir. Tuz flakstaki kriyolit artırılması alüminyumun geri kazanımını bir noktaya arttıracak ve daha sonraki kriyolit ilavesinin daha fazla faydası olmayacaktır [20].



9. DENEYSEL ÇALIŞMA

Alüminyumun geri kazanımında tuz kullanma, florür kullanma ve tuz flaksları ile değişik oranlarda karışımlar hazırlama gibi konularda yapılan, yukarıda belirtilen bilgiler ışığı altında laboratuarda Na_3AlF_6 ve CaF_2 florürleri ile hazırlanmış flaksları kullanılmış alüminyum içecek kutuları (UBC) üzerinde uygulanmıştır. Uygulamada belli oranlarda Na_3AlF_6 ve CaF_2 'ı içeren, alüminyum sektöründe patentleştirilmiş flaks ürünlerini belirlenen sıcaklık değerlerinde karşılaştırılma yapılmıştır. Bu flaks ürünleri içinde laboratuvar koşulları altında metal geri kazanımı bakımından verimli olanı belirlenmiştir.

9.1. Kullanılan Hurda Türü :

Laboratuarda ergitmeye tabi tutulacak hurda malzemesi olarak kullanılmış alüminyum içecek kutusu (UBC) seçilmiştir. Hurda şarjı yapılmadan önce hurdalara ön işlemler uygulanmıştır.

9.2. Ön İşlemler :

Her şarj 300 gr.lık hurda UBC'den yapılmak üzere, 300 gr. toplanan UBC'ler kırpıntı haline getirilmiştir. Bu kırpıntılar (UBC) yapılan 8 deney için çizelge 9.1 'de görüldüğü gibi 450°C, 500°C, 550°C, 585°C gibi değişen sıcaklıklarda 40'ar dakika süre ile ısıtılmışlardır. Bu belirtilen sıcaklıklar, lak giderme sıcaklıklarıdır. Lak giderme işlemi, UBC'lerin üzerindeki boya tabakasının ısı etkisiyle buharlaştırmak suretiyle giderilmesidir. İşte bu sıcaklıklarda boya tabakaları uzaklaştırılmış olur. Yapılan 8 deneyde her 300 gr'lık hurda için ortalama 6,49 gr. lak ağırlığı bulunmuştur. Her 300 gr gelen şarj lakı giderildikten sonra yaklaşık 40mm yükseklikte, 35mm çapta silindirik paketler halinde ortalama her bir deney için 3 veya 4 adet paket şeklinde preslenmiştir. Bu paketlere, daha önceden hazırladığımız silindir içi boş bir dişi kalıp ve ıstampaya benzer bir erkek kalıp düzeneği ile 2 kp/mm² olarak basma uygulanarak sıkıştırılıp, preslenmiştir.

9.3. Tuz Flaksının Hazırlanması ve Ergitme :

Impalco Al'dan temin edilen S₁ ve S₂ flaksları kullanılmıştır. S₁ flaksı NaCl + KCl + Na₃AlF₆, S₂ flaksı NaCl + KCl + CaF₂ karışımlarıdır. S₁ flaksı Avrupa'da, S₂ flaksı Amerika'da yaygın olarak kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalarda flaks, ergitilecek olan malzeme ağırlığının %10-%40'ı kadar kullanılır. Bu laboratuvar çalışmasında, 1/3 oranında yani %33,3 olacak şekilde flaks kullanılmıştır. Bu flakslar Na₃AlF₆ ve CaF₂'yi ayrı ayrı içeren ve ana matriksi KCl ve NaCl'den oluşan karışımlardır. Flaksların her biri yaklaşık 770°C-830°C arası değişen sıcaklık kademeleri için ön işlemi farklı sıcaklıklarda tamamlanmış hurda şarj edilerek ergitilir. Deneyde ergitmenin bu sıcaklık aralığında yapılmasının nedeni fırının deneme yanılma yoluyla optimum bir ergitme sıcaklığının belirlenmesi ve fırın sıcaklığının okuma toleransının geniş değerlerde seyretmesidir.

Deneyde; S₁ flaksı (KCl, NaCl, Na₃AlF₆) ve S₂ flaksı (KCl, NaCl, CaF₂) kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan her iki flaks patenti, hurda paketleri şarjı öncesi sıvı hali alacak şekilde pota içinde bekletilmiştir. Sıvı halini alan flaks karışımlarına hurda paketleri atılarak ergitme sağlanmıştır. Her deneyde flaks ve ergiyik hurda paketlerinin homojen teması için, meydana gelen banyo karıştırılmıştır. Böylece flaksın, metal banyo karıştırılması ile banyoda daha etkin olacağı düşünülmüştür. Her deneyde, döküme yaklaşırken, ergiyik metal ve curuftan (oksitlerden) oluşan dros, banyo üzerinden alınmıştır. Daha sonra potadaki metal tartılmak üzere metal kalıplara döküm yapılmıştır. Döküm sonrası alınan tartım, hurdanın lakı alınmış ve alınmamış ağırlığına göre yüzde olarak (%) hesaplanarak metal geri kazanımı hesaplanmıştır. Hurdanın lakı alındıktan sonraki yapılan hesaplamalarda verim daha yüksek çıkmıştır.

I. DENEY

UBC Hurdanın Başlangıç Ağırlığı	: 300 gr.
Lak Giderme İşlemi ile Giderilen Lak Ağırlığı	: 4,3 gr.
Lak Giderme İşlemi Sonrası Hurda Ağırlığı	: 295,70 gr. (300-295,70)
Döküm Sonrası Alınan (Hurda) Döküm Ağırlığı	: 248,45 gr.

$$\frac{248,45}{300} \times 100 = \%82,82 \quad \text{İlk tartım üzerinden metal geri kazanma verimi}$$

$$\frac{248,45}{295,70} \times 100 = \%84,02 \quad \text{Lak ağırlığı düşülmüş tartım üzerinden metal kazanma verimi}$$

Metal kaybı ise;

- İlk tartım üzerinden : %17,18
- Lak ağırlığı düşülmüş tartım üzerinden : %15,98'dir.

Çizelge 9.1. Deneyde UBC Hurdalara Uygulanan Flaks Tipi, Lak Giderme Sıcaklığı ve Ergitme Sıcaklıkları

Deney No	Kullanılan Flaks Tipi	Hurdaya Uygulanan Lak Giderme Sıcaklığı (°C)	Ergitme Sıcaklığı (°C)
1	S1	450	770-830
2	S2	450	770-830
3	S1	500	770-830
4	S2	500	770-830
5	S1	550	770-830
6	S2	550	770-830
7	S1	585	770-830
8	S2	585	770-830

10. DENEYSEL SONUÇLAR ve TARTIŞMA (İRDELEME)

Öncelikle UBC hurdasının kırpıntı haline getirilmesi, laboratuvar çalışmasında lak giderme ve ergitme işlemlerinde büyük kolaylık sağlamış ve verimi artırdığı gözlenmiştir. Endüstride ise UBC hurdasının kırpıntı haline getirilmesine gerek duyulmaz. Çünkü içecek kutularının hacimlerini kaldıracak tesisler mevcuttur. Bunun yanında ön işlem olarak lak giderme işlemi yapılarak bu hurdalarda boya ve kaplama tabakasının metal saflığına kötü yönde etkisi ve dolaylı olarak metalin mekanik özelliklerini kötü etkilemesi gerçeğinin yanında ergitme verimini de düşürmesi önlenmiştir. Böylelikle metal kazanma verimi artmıştır. (Çizelge 10.1)

Ayrıca lakı giderilmiş olan UBC hurdalarının ergitme işlemine tabi tutulmadan önce 2kp/mm^2 lik basma kuvveti ile preslenmiştir. Eğer preslenmeden ergitme yapılmış olsaydı, kırpıntılarının kaplamış olduğu hacim daha fazla olacak ve tuz banyosu içerisinde yoğunluk dengesi kurulamayacaktı. Ergitme esnasında kırpıntılar pota etrafına film şeklinde yapışarak oksitlenme olayı artacaktı. İşte bunları engellemek için ergitme öncesi UBC hurdaları preslenmiştir.

Çizelge 10.1. Deney Sırasında Yapılan Ön işlem ve Ergitme Sonrasında Alınan gr. Cinsinden Ağırlık Değerleri.

Deney No	Deneyde Kullanılan UBC Hurdanın Başlangıç Ağırlığı (gr.)	Lak Giderme İşlemi ile Giderilen Lak Ağırlığı (gr)	Lak Giderme İşlemi Sonucundaki UBC Hurda Ağırlığı (gr)	Döküm Sonrası Alınan Tartım (gr)
1	300	4,3	295,70	248,45
2	300	6,7	293,30	261,00
3	300	6,96	293,04	273,68
4	300	6,65	293,35	260,94
5	300	5,81	294,19	282,64
6	300	7,53	292,47	251,32
7	300	7,50	292,50	261,87
8	300	6,48	293,52	258,33

Tuz banyosu olarak kullanılan flaksların farkları; içerdikleri NaCl-KCl oranlarına bağlı olmaktadır. Bu anafaz içindeki florür içerikleri NaF, KF, CaF₂, Na₃AlF₆ ile farklı oranlarda karışımları ile birlikte etkileri de ergitme süreci içinde farklı sonuçlar vermelerine neden olmaktadır. Eğer tek tip flaks kullanılsaydı yapılan deneylerde verim karşılaştırması yapılmayacaktı. Buradan yola çıkarak tuz banyosunda kullanılan flaksın, metal kazanma verimine etkisi olduğu açıkça görülmektedir.

Yapılan 8 deneyde kullanılan iki çeşit flaks için %82,82 ile %94,21 arası değişen metal geri kazanım yüzdesine ulaşılmıştır (Çizelge 10.2).

S1 flaksının kullanıldığı UBC hurdasında 550°C lak giderme sıcaklığında metal kazanma veriminin artarak en yüksek değeri olan %94,21'lik verime ulaştığı görülmüştür. Ayrıca bu sıcaklık değerinde %5,79 metal kaybı ile en düşük metal kaybının olduğu ortaya çıkmıştır. 450°C, 500°C, 585°C'lik lak giderme sıcaklıklarında metal kazanma veriminin 550°C'ye göre yüksek olmadığı yapılan 8 deneyde gözlenmiştir (Çizelge 10.2 ve Çizelge 10.3).

Endüstride aynı patentli S1 flaksı ile döner fırınlarda yapılan üretimde metal kazanma verimi yaklaşık olarak %90'dır. Bu deneysel çalışmada daha önce belirttiğimiz gibi laboratuvar koşulları altında aynı flaks çeşidiyle %94,21 verime ulaşılmıştır. Böylece yapılan bu laboratuvar çalışmasında, %4,21 daha iyi sonuca varılmıştır.

Endüstriyel ölçekte %5 florür içeriği ile yapılan döner fırınlardaki verim en çok %85-%90'a çıktığı görülmektedir. E.M.P. teknolojisi ile tuz kullanmadan yapılan endüstriyel çapta üretim ile hemen hemen aynı sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlar %87 ile 91 arasındadır. Van Linden laboratuvar çalışmasında ise yapılan deneylerde ele alınan en önemli parametre florür içerik oranları ile florür çeşitleridir. (J.A.S Tenorio, F. Marchini ve A.M. Barros, 1995).

S2 flaksının artan lak giderme sıcaklığı ile aynı tür UBC hurda üzerinde bu sefer %87 en yüksek değer olarak metal kazanma verimine 450°C lak giderme sıcaklığında ulaştığı saptanmıştır. Ayrıca 500°C'de ise, %0,02'lik bir farkla (%86,98) en yüksek verimi takip

etmektedir. Ve bu sıcaklık değerlerinde ortalama %13,01 metal kaybı olduğu ortaya çıkmıştır (Çizelge 10.2 ve Çizelge 10.3).

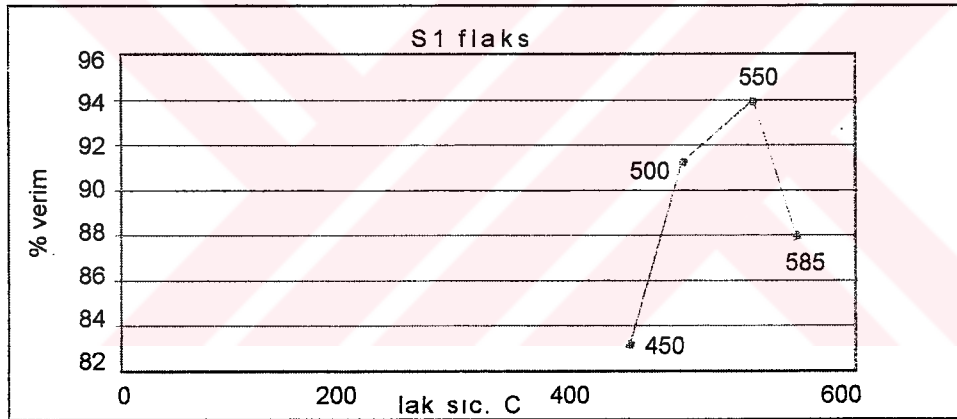
S1 ve S2 flaks patentleri karşılaştırıldığında metal kazanma verimi olarak S1 flaksının daha iyi sonuç verdiği, S2 flaksının S1 flaksına oranla daha düşük değerlerde seyrettiği gözlemlenmiştir. Ancak bu sonuç S2 ile elde edilebilecek en iyi sonucun alındığı sıcaklıktan daha yüksek olmaktadır. Yüksek sıcaklık, yüksek enerji ile yüksek maliyet demektir. Dolayısıyla enerji maliyetlerinin yüksek olduğu bölgelerde, uzun vadede yüksek verimini yüksek sıcaklıkta gösteren flaks yerine düşük sıcaklıkta (S1 flaksa göre) optimal geri kazanımı veren flaks tercih edilebilir.

Çizelge 10.2. Deney Sonucunda Elde Edilen Metal Kazanma Verim Değerleri

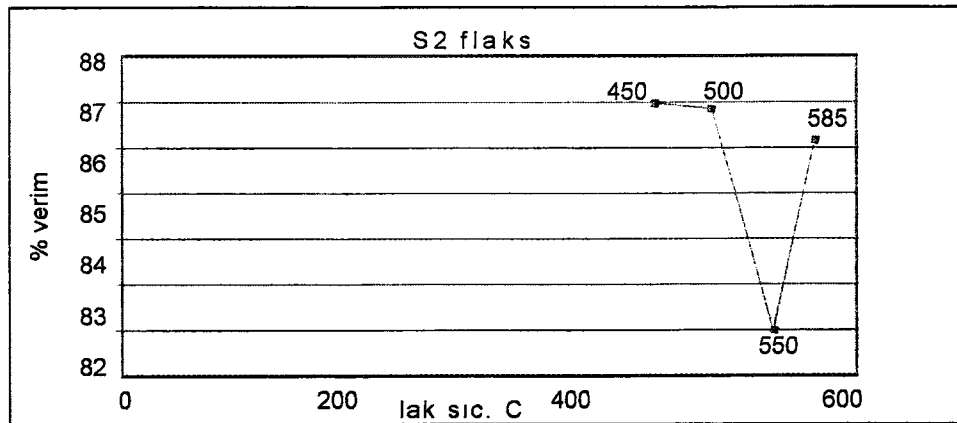
Deney No	Kullanılan Flaks Tipi	Hurdaya Uygulanan Lak Giderme Sıcaklığı (°C)	Lak Giderme İşlemi ile Giderilen Lak Ağırlığı (gr)	Metal Geri Kazanma Verimi (%) - İlk Tartım Üzerinden	Metal Kazanma Verimi (%) - Lak Ağırlığı Düşülmüş Tartım Üzerinden
1	S1	450	4,3	82,82	84,02
2	S2	450	6,7	87,00	88,98
3	S1	500	6,69	91,22	93,25
4	S2	500	6,65	86,98	88,95
5	S1	550	5,81	94,21	96,07
6	S2	550	7,53	83,77	85,93
7	S1	585	7,50	87,29	89,52
8	S2	585	6,48	86,11	88,01

Çizelge 10.3. Deney Sonucunda Ortaya Çıkan Metal Kayıpların (%) Yüzde Olarak Değerleri

Deney No	Kullanılan Flaks Tipi	Hurdaya Uygulanan Lak Giderme Sıcaklığı (°C)	Lak Giderme İşlemi ile Giderilen Lak Ağırlığı (gr)	Metal Kaybı (%) - İlk Tartım Üzerinden	Metal Kaybı (%) - Lak Ağırlığı Düşülmüş Tartım Üzerinden
1	S1	450	4,3	17,18	15,98
2	S2	450	6,7	13	11,02
3	S1	500	6,69	8,78	6,75
4	S2	500	6,65	13,02	11,05
5	S1	550	5,81	5,79	3,93
6	S2	550	7,53	16,23	14,07
7	S1	585	7,50	12,71	10,48
8	S2	585	6,48	13,89	11,99



Şekil 10.1. S1 Flaksının artan lak giderme sıcaklığı ile alınan metal geri kazanma verimi



Şekil 10.2. S2 Flaksının artan lak giderme sıcaklığı ile alınan metal geri kazanma verimi

11. SONUÇ

Alüminyum hurda ve artıklarının geri dönüşümü için kullanılan yeniden ergitme sistemlerinde çevreye mümkün mertebede en az zararı vererek metal geri kazanım oranını arttırmak, enerjiyi verimli kullanmak ve tüm bu istenenleri ekonomiklik ilkesinden sapmadan yapmak için tekrar ergitmede kullanılan fırınlara ek sistemler eklenmektedir. Elektromanyetik- mekanik metal sirkülasyon sistemleri, nitelikli gaz atığını sirküle eden fan sistemleri, yeniden yanma odaları, saf oksijeni farklı ateşleme şiddetleri bakımından ekonomiklik sağlayan brülör sistemleri ile geleneksel tekrar ergitme sistemlerine göre büyük ölçüde verim artışı kaydedilmektedir. Bu sistemlerin eklendiği her farklı ergitme fırınının diğer fırınlara göre ve kendi içinde eskisine nazaran daha ekonomik olduğu anlaşılmıştır.

Uygulanan teknolojik gelişmeler ile reverber fırınları çeşitli modifikasyonlara uğramış ve bu fırınlarda metal kazanma verimi arttırılarak enerji tüketimleri düşürülmüştür. Fırında oluşan nitelikli atık gazın sirküle edilerek; ayrı bir tekrar yanma ünitesine gerek kalmamasının sağladığı yatırım maliyetleri ile tasarrufu sağlanmış ve nitelikli atık gazda kalan enerji sonuna kadar kullanılmıştır. Bu düzenlemelerle, modifiye edilmiş reverber fırınlarında metal kazanma oranı edilmemiş türüne göre %10 olarak artmıştır. Bu, reverber fırınlarının kullanımlarını yaygınlaştıran en önemli faktörler arasında sayılabilir. Ayrıca bu sistemde kirli hurda ve temiz hurda işlenebilmektedir. DHF/CWF ile karşılaştırıldığında hurda esnekliği ortak bir avantaj olmakla birlikte modifiye edilmiş reverber fırınında (oksi-yakıt brülörlü, gaz sirkülasyon sistemli) kirli hurdadan temiz hurdaya gidildikçe metal kazanma verimi %98.2'leri bulmaktadır. Bununla birlikte ergitme hızı (t/saat) da farklılık gösterir (DHF-CWF ort hız 1.87 t/saat iken modifiye edilmiş reverber fırınında bu değer 1.23 t/saat olmaktadır.). Reverber fırınlarına baktığımızda bu fırınların dizayn esnekliğinin yapılan çalışmalar itibariyle çok fazla olduğu gözlemlenmektedir. Reverber fırınlarına eklenen brülör sistemleri, fırın atmosfer gazları sirkülasyon düzenekleri, nitelikli atık gazı tekrar yakına üniteleri ve bunlara ilaveten sıvı sirkülasyonu fazlalaştırıcı elektromanyetik ya da mekanik tip karıştırıcılar ile bu fırın tipi üzerinde yapılan çalışmaların her türlü verime etkili olduğu görülmektedir. Bu nedenle ülkemizde de ekonomik ve doğaya saygılı ikincil alüminyum üretimi için bu fırınların kullanımı sahip oldukları yüksek dizayn

esnekliği ile yaygınlaşmakta ve tercih edilmektedir DHF- CWF; DHF (Dry Hearth Fırını) - CWF (kapalı kuyu fırını} sistemi bu veriler doğrultusunda tercih edilmemeli, geleneksel reverber fırınları tercih edilmemeli, modifiye edilmiş reverber fırınları tercih edilmelidir.

Döner fırın teknolojisine bakıldığında bu fırınlardaki gelişmelerin de reverber fırını gelişimine paralel gittiği görölmektedir. Kullanılan geleneksel döner fırınların %83 metal geri kazanımı, bu fırına konan gelişmiş brölör sistemleri ile (örneğin LEAM©) yukarı çekilmiş, ısı verimini yükseltmiş ve üreticilerin hassas oldukları yakıt tüketimi düşürölmüştür. (LEAM © ile ısı verimi %35'den %71'e çıkarak 2 misli artmış, yakıt tüketimi 3.06 GJ/t (850 kWh)'dan 1.512 GJ/t'a (420 kWh) düşürölmüştür.) Modifiye edilmiş döner fırınlarla elde edilen bu sonuçlarla üreticiler özellikle kirli hurda işleme kabiliyetinin yüksek oluşu nedeniyle bu fırınları modifiye edilmiş reverber fırınları kadar tercih etmektedirler. Bununla birlikte döner fırınlarda göze çarpan en büyük kusur tuz kullanımı ile gelen atık tuzun imha problemidir. Bu problem bugün çevre olgusunun yüksek önem taşıdığı ölkelerde üreticilere mali yükümlölükler getirmektedir. Bunun yanında tuzun %100 olarak geri dönüşümü deneysel olarak elde edilmiştir. Tekrar kullanabilme kolaylığının sağlanması ile döner fırınların kullanımının daha da artacağı ve gelenekselleşmiş bu modelin az önce belirtilen modifiye edilmiş reverber fırınlarıyla her zaman rekabet içinde olacağı saptanmaktadır.

Döner Plazma Fırınları ise; karışık hurdaların tekrar elde edilmesinde kullanılıyor. Bu fırında her saat için 50 kg. malzeme işlenebiliyor. Bu fırınlarda kullanılan Roney-Nikel katalizörleri, tipik nükleer atıklar ve hurdaların tekrar elde edilmesinde yüksek verim elde edilmesini sağlamaktadır.

DHF (Dry Hearth Fırını) -CWF (kapalı kuyu fırını) ile oluşturulan ikili sistem temiz, kirli hurdayı ve demir içerikli hurdaları işleyebilmektedir. Geleneksel reverber fırınına göre daha yüksek metal geri kazanımı (DHF=%89, CWF=%92.7 DHF-CWF ort= %90.85 geleneksel reverber fırını = %80) verir. DHF-CWF ile oluşturulan ikili sistemin daha düşük enerji maliyeti vardır (DHF = 3.73 GJ/t) CWF=3.20 GJ/t ort=3.45 GJ/t, konvansiyonel reverber fırını 11.4 GJ/t). Geleneksel reverber fırını ayrıca, temiz hurda işleyebilmekte kirli hurdayı işleyememektedir.

DHF-CWF sistemi, geleneksel döner fırın ile karşılaştırıldığında da üstündür. (Döner fırın da yakıt tüketimi 4.63 GJ/t iken DHF-CWF sisteminde bu 3.45 GJ/t'dir) Metal geri kazanım yüzdesi ise geleneksel döner fırınlarına göre ortalama %7.9 daha yüksektir. DHF-CWF sistem modelinde her çeşitteki alüminyum hurdası işlenebilmektedir. Ergitme işlemi süresince karşılaşılan organik içeriklerin kontrolünün sisteme eklenen (fume) toz-is pirolizi ve artık organiklerin tekrar yanma sistemi ile yapılması, reküperatör ve sıcak gaz dönüşümünün bulunması, ayrıca yanma ürünleri de atmosfere verilmeden önce filtre edilmesi özellikleri bu sistemin geleneksel döner fırın ve reverber fırınına göre üstünlüğü açıktır ve her türlü (demir içerikli, temiz - kirli hurda) hurdayı işleyebilmesi ile üreticiler tarafından tercih edilmektedir.

DHF-CWF sistemi indüksiyon fırını ile karşılaştırıldığında metal kazanma verimi hemen hemen aynıdır. Fakat enerji maliyeti DHF-CWF sisteminin neredeyse iki katına eşittir (DHF-CWF ort = 3.45 GJ/t indüksiyon 6.49 GJ/t). İndüksiyon fırınlarının sadece temiz hurda işleyebildiği düşünüldüğünde DHF-CWF sistemi ön plana yine geçmiştir.

Fırın sistemlerine eklenen yeni dizaynların yanında, metal geri kazanım oranını arttırmak üzere kullanılan tuzla ergitmenin bu verimi arttırdığı, yapılan deneysel çalışma ile görülmüştür. Deneyde Na_3AlF_6 ve CaF_2 'yi ayrı ayrı içeren ve ana matriksi KCl ve NaCl den oluşan S1 ve S2 flaks karışımları UBC (kullanılmış alüminyum meşrubat kutuları) hurdası üzerinde denenmiş ve S1 flaksı ile yapılan denemede laboratuvar koşulları altında %94,21 verime çıkılmıştır. S1 flaksının, S2 ,ye göre daha yüksek verime çıktığı görülmüştür. Ancak bu sonuç S2 ile elde edilebilecek en iyi sonucun alındığı sıcaklıktan daha yüksek enerji ile yüksek maliyet demektir. Dolayısıyla enerji maliyetlerinin yüksek olduğu bölgelerde, uzun vadede yüksek verimini yüksek sıcaklıkta gösteren flaks yerine düşük sıcaklıkta optimal geri kazanımı veren flaks tercih edilebilir.

Sonuç olarak; alüminyum içecek kutularının hafif olmaları ve az yer kaplamaları dağıtımda enerji tasarrufu sağladığı gibi, yeniden dönüş yolu ile tekrar değerlendirilebilmeleri sahip olduğu yüksek değer dolayısıyla ekonomik bakımdan önemlidir. Bu özellikleri çevre ile ilgili yükümlülükleri karşılamak için çok elverişli şartlar oluşturmaktadır.

Hurda malzemelerden alüminyumun tekrar kazanımı alüminyum metaline çevreye duyarlı bir nitelik kazandırmaktadır. Genelde toplumda çevre bilincinin geliştiğı ve bu bilincin daha da artacağı ileriki yıllarda, alüminyum metali önemini kaybetmeyecektir.

Dünyadaki gelişmelere paralel olarak ülkemizde de gerek alışveriş merkezlerinde ve gerekse yerleşim alanlarında alüminyum kutu toplama merkezleri kurulması, yerel yöneticilerin de halkı bilinçlendirmesi yönünde çalışmalar yapmaları faydalı olacaktır. Ayrıca bilinçlendirme faaliyetlerinin daha ilköğretimden başlatılması ve ilgili derslerle çevreye karşı daha bilinçli nesil geliştirilmesi amaçlanmalıdır. Bu konuda yapılabilecek özverili çalışmalara öncelikle bilim adamlarının, çeşitli kamu kurum ve kuruluşlarının ve iş adamlarının maddi ve manevi destekleri son derece önem arz etmektedir. Hem doğa kaynaklarımızın korunmasını sağlayacak hem de ülkemizin gelişmesi yönünde imkanlar sunabilecek böylesi birçok potansiyelimizin harekete geçirilmesi gerekmektedir.



KAYNAKLAR

- [1]. Akıncı, H., (1978), “Dross’lardan Alüminyum’un Geri Kazanılması ve Döner Fırın Yöntemi”, Birinci Ulusal Alüminyum Sanayii Kongresi, 14-16 Aralık 1978, Seydişehir/Konya.
- [2]. Arslan, İ.H., (1996), “Gümrük Birliğine Girerken Türk Alüminyum Sektörü ve Alınması Gereken Tedbirler”, Metal Dünyası, 33: 14-17.
- [3]. Butnariu, I., Bratu C. Ve Soroni, L., (1995), “the Decrease of Losses Due to Burning on the Remelting of Non-Ferrous Alloy Waste”, Second International Conference on the Recycling of Metals, ASM International, 277-280.
- [4]. Çiğdem, M., (1997), “Alüminyum ve Enerji”, Alüminyum Dünyası, Türkiye Alüminyum Sanayicileri Derneği (TALSAD) Yayınları, 7: 20-23.
- [5]. Çolakoglu, A.K., (1998), “Alüminyum Geri Kazanmasında Tekrar Ergitme Sistemlerindeki Gelişmeler”, Bitirme Tezi, YTÜ Metalurji Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- [6]. Eco Melt Alüminyum Geri Kazanım, Üretim ve Pazarlama A.Ş.(1998), Tanıtım Kataloğu, İstanbul.
- [7]. Ernergy Efficiency Office, (1991), “Recuperative Aluminium Recycling Plant-A Demonstration at J McIntyre (Aluminium) Ltd.”, New Practice-Report, April 1991.
- [8]. Ernergy Efficiency Office, (1994a), “Oxy-Fuel Melting of Aluminium-A Demostration at the Brock Metal Company Ltd.”, New Practice-Report, April 1994.
- [9]. Ernergy Efficiency Office, (1994b), “Melting Secondary Aluminium”, Energy Consumption Guide, June 1994.
- [10]. Etibank., (1993), Alüminyum, Seydişehir Alüminyum Fabrikası, Seydişehir/Konya.
- [11]. Fifnkes, C., (1996), “Salt Flux Smelting in Rotary Furnaces”, 4th OEA Congres, 26 February 1996, Vienna.

- [12]. Gözen, M., (1997), “Bilgi Toplumu ve Alüminyum”, Alüminyum Dünyası, Türkiye Alüminyum Sanayicileri Derneği (TALSAD) Yayınları, 7:8-13.
- [13]. Gripenberg, H., Gräb, H.W., Müllerthann, M., ve Flesch, G., (1995), “Aga/Hoogovens Salt Free Process for Recovery of Aluminium From Dross and Aluminium Containing Materials”, Second International Conference on the Recycling of Metals, ASM International, 223-226.
- [14]. Gronostajski, J., Kaczmar, J.W., Marciniak, H., Matuszak, A. ve Golonka, D., (1995), “Recycling of Aluminium Alloys by Difusion Bonding Process”, Second International Conference on the Recycling of Metals, ASM International, 287-294.
- [15]. Harnett, I., (1996), “Secondary Aluminium Usage in the Auto Industry: Meeting the Challenge”, Metal Bulletin’s 5th International Secondary Aluminium Conference, 8-10 May 1996, Amsterdam/Netherlands.
- [16]. Hengelmolen, A., (1996a), “The Three E’s of Remelting Systems Design: Environment Aspects, Economics, Ergonomics”, Metal Bulletin’s 5th International Secondary Aluminium Conference, 8-10 May 1996, Amsterdam/Netherlands.
- [17]. Hengelmolen, A., (1996b), Furnaces for the Aluminium Industry, Handbook, Amsterdam/Netherlands.
- [18]. Hoffelner, W., Burkhard, R. Ve Sun, H., (1995), “Recent Results In Recovery of Metals with a Rotating Hearth Plasma Furnace”, Second International Conference on the Recycling of Metals, ASM International, 237-241.
- [19]. Lewinski, A.V., (1996), “New Challenges for Secondary Aluminium Industry”, Metal Bulletin’s 5th International Secondary Aluminium Conference, 8-10 May 1996, Amsterdam/Netherlands.
- [20]. Malhatun, İ., (1998), “Alüminyum Ergitme Kayıpları”, Bitirme Tezi, YTÜ Metalurji Mühendisliği Bölümü, İstanbul.

- [21]. Middleton, J.R. ve Mills, J.R., (1995), "Computer Integrated Manufacturing Technology for Optimisation of Aluminium Recycling", Second International Conference on the Recycling of Metals, ASM International, 103-110.
- [22]. Nijhof, G.H. ve Steenpoorte H.E., (1995), "The Separation of Aluminium Out of Household Waste Using The Eddy Current Technique and Re-Use of the Metal Fraction", Second International Conference on the Recycling of Metals, ASM International, 85-92.
- [23]. Özdemir, A., (1991), Alüminyum'un Ekonomik Olarak Değerlendirilmesi, Bitirme Tezi, İTÜ Metalurji Mühendisliği Bölümü.
- [24]. Pownall, M., (1996), "Integrated System for the Complete, Salt-Free Recycling of Aluminium", Metal Bulletin's 5th International Secondary Aluminium Conference, 8-10 May 1996, Amsterdam/Netherlands.
- [25]. Rooy, L.E. ve Linden, V.J.H.L., (1990), "Recycling of Aluminium", "Properties and Selection: Non-Ferrous Alloys and Special Purpose Materials", Metals Handbook, (2): 1205-1213.
- [26]. Scharf, R., (1996), "Developments in Energy-Efficient Aluminium Recycling Technology", Metal Bulletin's 5th International Secondary Aluminium Conference, 8-10 May 1996, Amsterdam/Netherlands.
- [27]. Taptık, Y. ve Aydın, S., (1991), "Recycling Olgusu, Gerekliliği, Uygulama İlkeleri ve Ekonomiye Katkısı", Metalurji Dergisi, 76: 31-40.
- [28]. Tenorio, J.A.S., Marchini, F. ve Barros, A.M., (1995), "Effect of Saline Flux Composition on the Recycling of UBC and Aluminium Chips", Second International Conference on the Recycling of Metals, ASM International, 419-425.
- [29]. Thijssen, N.J.W. ve Haastrecht, G.C.V., (1995), "Systematic Approach to the Recycling of Steel and Aluminium", Second International Conference on the Recycling of Metals, ASM International, 155-162.

- [30]. Toker, A.F., (1985), Alüminyum Hurda, Dross ve İşlem Artıklarının Değerlendirilmesi, Bitirme Tezi, İTÜ Metalurji Mühendisliği, İstanbul.
- [31]. Uzar, Ü., (1994), Alüminyum Hurda ve Atıkların Yeniden Değerlendirilmesi, Bitirme Tezi, İTÜ Metalurji Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- [32]. Ünlü, N., (1992), “Alüminyum Hurdalarının Geri Kazanılması”, Metalurji Dergisi, 74: 5-11.
- [33]. Ünlü, n., Yıldırım, S. Ve Eruslu N., (1996), “Kullanılmış Alüminyum Kutuların ve Otomotiv Parçalarının Alüminyum Hurda Kaynağı Olarak Değerlendirilmesi”, Metal Dünyası, 33: 27-36.
- [34]. Var, S., (1997), “Ekolojik Açıdan Alüminyum Folyo Paketleme”, Alüminyum Dünyası, Türkiye Alüminyum Sanayicileri Derneği (TALSAD) Yayınları, 7: 24-29.
- [35]. Yıldırım Y., (1981), Alüminyum Alaşımları, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Metalurji Mühendisliği, İstanbul.
- [36]. Yıldız, K. Ve Alp, A. (1998), “Yeniden Değerlendirilebilir Metal: Alüminyum”, Metalurji Dergisi, 112: 3-6.
- [37]. Yılmaz, T., (1996), “Kullanılmış Alüminyum Meşrubat Kutularının Geri Kazanılmasının Ekonomik Etüdü”, Metal Dünyası, 33: 45-50.
- [38]., (1987), “Alüminyum Recycling Set For Continued Growth”, Metal Bulletin, 31 March 1987, 17-18.
- [39]., (1990), “New Canadian Aluminium Recycling Furnace Cuts Costs Improves Recovery”, Light Metal Age, April 1990, 19-20.
- [40]., (1992), “Türkiye Alüminyum Sanayii’nde İki Dernek ALSİAD ve TALSAD”, Metalurji Dergisi, 80: 8-11.
- [41]., (1995), “Avrupa’da 1994’te Daha Fazla Alüminyum İçecek Kutusu Tüketildi ve Geri Kazanıldı”, Alüminyum Dünyası, Türkiye Alüminyum Sanayicileri Derneği (TALSAD) Yayınları, Aralık 1995.

- [42]., (1996), “Metaullics Systems Co.” www.metaullics.com/toc.html., İnternet Sayfası, Copyright©.
- [43]., (1998), “Alüminyum Meşrubat Kutularının Geri Dönüşüm Oranları 1996’da %5,7 Arttı”, Alüminyum Dünyası, Türkiye Alüminyum Sanayicileri Derneği (TALSAD) Yayınları, 8: 11-12.



ÖZGEÇMİŞ**Doğum Tarihi** 11.04.1972**Doğum Yeri** Salihli / MANİSA**Lise** 1986 - 1989 Salihli Lisesi**Ön Lisans** 1989 - 1991 Anadolu Üniversitesi
Bilecik Meslek Yüksek Okulu
Maden Programı**Lisans** 1993-1996 Yıldız Teknik Üniversitesi
Kimya-Metalurji Fakültesi
Metalurji Mühendisliği Bölümü**Çalıştığı Kurum**

1996 - Devam ediyor M.E.B. İstanbul İl Milli Eğitim Müdürlüğü
Yaşar Doğu İlköğretim Okulu
Sınıf Öğretmeni