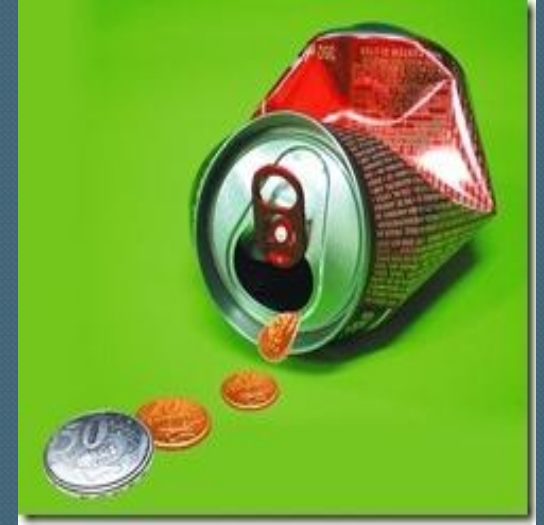


# İKİNCİL ALÜMİNYUM ÜRETİMİNDE FIRIN SEÇİMİ



**Erman CAR**

**3.Endüstriyel Fırınlar ve Refrakter Sempozyumu  
29-30 Nisan 2010  
Sakarya Üniversitesi**

Alüminyum metalinin en önemli özelliği, temel karakteristiklerini kaybetmeden defalarca yeniden değerlendirilebilmesi / üretilebilmesidir. Bu nedenle alüminyum endüstrisi, “sürdürülebilir kalkınma” kavramı içinde tipiktir ve özel bir öneme sahiptir. Bu özellik nedeni ile, alüminyum yeniden değerlendirildiğinde ekonomik, çevresel ve sosyal yararlar sağlar.

### **Ekonomik yararlar,**

- Bir ton ikincil alüminyum eldesi için harcanan enerji, 1 ton birincil alüminyum için harcanan enerjinin % 5'i kadardır.
- Yeniden değerlendirme ile rasyonel hammadde kullanımı ve buna bağlı olarak doğal kaynakların korunması sözkonusudur.

### **Çevresel yararlar,**

- İkincil alüminyum üretiminde salınan kirli gaz miktarı, birinci alüminyum üretim sürecinde salınan kirli gaz miktarına göre % 95 daha düşüktür.
- Boksit madenciliği ve alümina üretim süreçlerinde oluşan zararlı atıklar ve yüksek su kullanımı, ikincil süreçte oluşmaz.

### **Sosyal yararlar,**

- İkincil alüminyum üretimi bir endüstridir ve hurda toplayıcılarından ergiticilere ve bunları destekleyen diğer yan endüstrilerle beraber çok ciddi iş alanı yaratır.



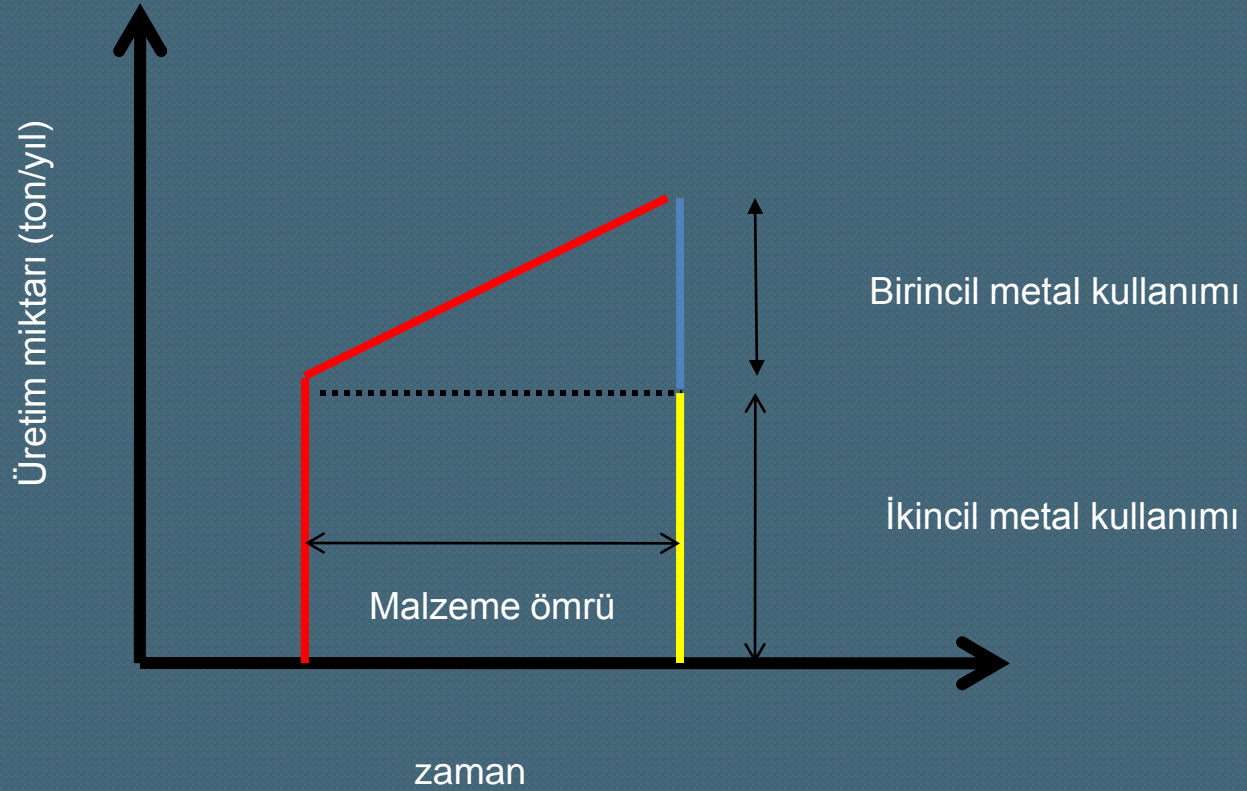
# YENİDEN DEĞERLENDİRME

Yeniden değerlendirme (recycling), malzemenin yeni-eski-yeni dönüşüm çevrimidir ve bir prosestir. Yani yeni üretilir, ömrünü doldurur eski olur, diğer malzemelerle birlikte toplanır, gruplandırılır, ayrılır ve ergiticilere geri döner. Ergitme sonrası ikincil yeni olarak tekrar çevrime katılır.

Diğer bir deyişle malzeme çevrimini son aşaması olan hurdadan geri kazanıldığında tamamlar. Sonuçta yeniden değerlendirme (recycling), toplama, gerikazanım (recovery=upgrading) ve yeniden ergitme (remelting) işlemlerini kapsayan bir süreçtir. Recycling sözcüğü Türkçeye geridönüşüm olarak çevrilmiştir. Ancak geridönüşüm terimi recycling sürecindeki prosesleri içermediğinden ve süreci dikkate almadan yalnızca sonucu tanımladığından bu yazıda yeniden değerlendirme terimi kullanılacaktır.

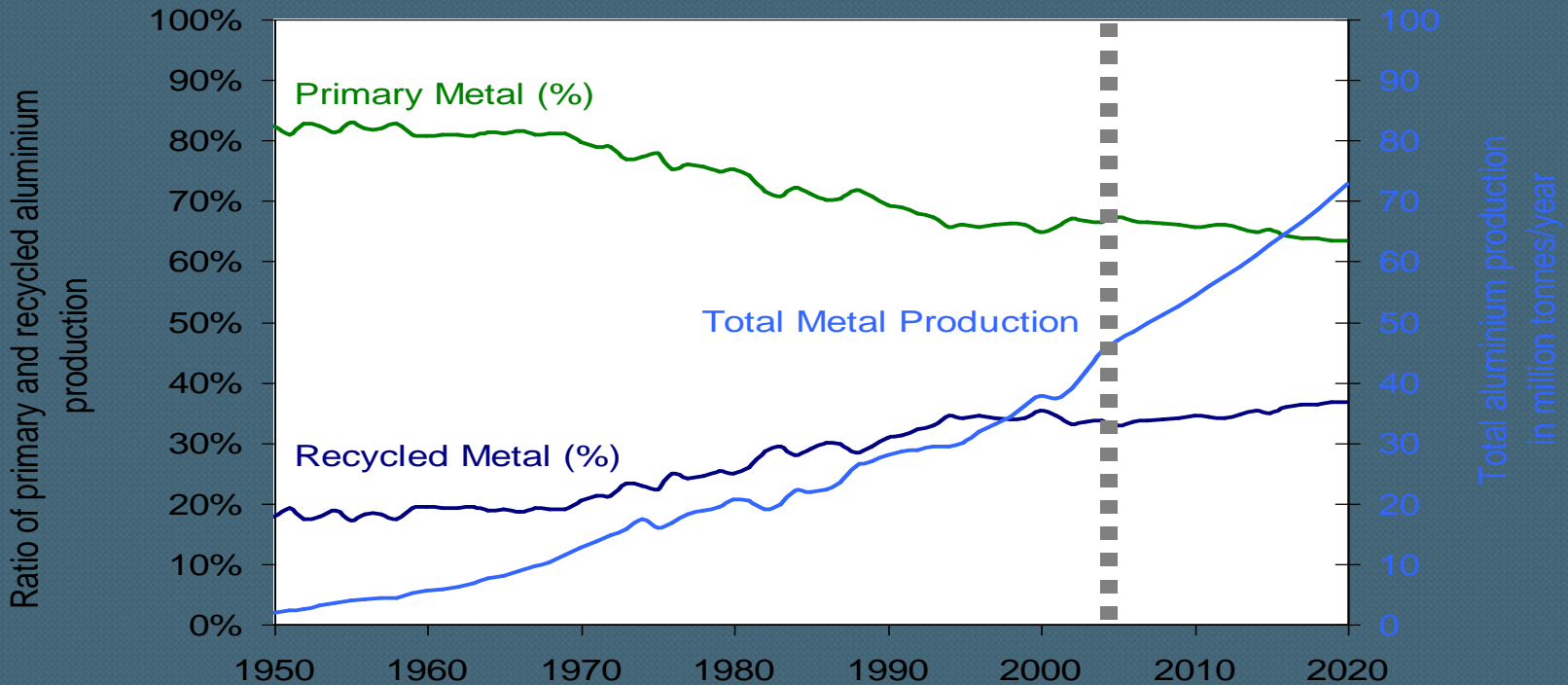
Proses etme farkından ötürü zaman zaman recycling 'yerüstü madenciliği' olarak tanımlanır.

Şekil : İkincil üretimin toplam üretimdeki payı:



Yukarıda sayılan tüm ekonomik, çevresel ve sosyal yararların ışığında, alüminyum üreticileri için temel amaç, kullandıkları hammadde kombinasyonu içinde, kaliteden ödün vermeden ikincil malzeme miktarını arttırmaktır. Nitekim hedef 2020 yılında dünya alüminyum üretiminin üçte birinin ikincil kaynaklardan sağlanmasıdır. Ticari kalite ve yaygınlıkta alüminyum üretiminin başladığı 1890'lı yıllardan günümüze kadar üretilen alüminyum miktarı yaklaşık 600 000 000 ton'dur. Yani ikincil alüminyum üreticileri 600 000 000 tonluk bir hammadde kaynağına sahiptir ve bu değer gelecek 15 yıldaki birincil alüminyum miktarına eşittir.

Toplam dünya alüminyum üretimi içinde ikincil üretimin payı 1950'li yıllarda % 20 lerde iken bugün % 30'lara ulaşmıştır ve hedef 2020 yılında bu payı % 40'lara çıkartmaktır. Özellikle sınırlı enerji kaynaklarında sahip Güney Amerika ve Avrupa ülkelerinde çok yüksek oranlarda hurda toplama yeteneğine sahip toplama ağları kurulmuş ve “yeniden değerlendirme” bilinci toplumun tüm katmanlarına yayılmıştır.





Tablo : Birincil ve ikincil alüminyum endüstrilerinin karşılaştırılması

<b>Birincil alüminyum endüstrisi</b>	<b>İkincil alüminyum endüstrisi</b>
Yüksek yatırım maliyeti	Düşük yatırım maliyeti
Uzun üretime geçme süreci	Kısa üretime geçme süreci
Yüksek enerji tüketimi	Enerji tasarrufu
Doğal boksit kaynaklarının hammadde olarak kullanımı	Boksit kaynaklarının kullanımında tasarruf
Yüksek oranda kirli gaz salınımı	Düşük oranda kirli gaz salınımı

Tablo : Birincil ve ikincil üretimlerde enerji tüketimi

	1 ton birincil alüminyum külçe için	1 ton ikincil alüminyum külçe için
<b>Enerji tüketimi</b>		
Toplam (MJ)	193,702	10,321
Yenilenebilir enerji (MJ)	57,352	452
Fosil yakıtlardan sağlanan enerji (MJ)	136,350	9,869
Kömür (MJ)	50,807	937
Petrol (MJ)	21,268	1,319
Doğal gaz (MJ)	36,335	7,151
Nükleer enerji (MJ)	8,282	419
Diğer enerji (MJ)	0	44
Boksit madenciliği + alümina üretimi(MJ)	19,657	0
<b>Sera gazı salınımı</b>		
CO <sub>2</sub> (kg)	10,470	620
Perflorokarbon (kg)	0.30	0
PFC, CO <sub>2</sub> eşdeğeri (kg)	2,227	0



Malzeme akışı açısından bakıldığında yeniden değerlendirme kavramı iki grupta incelenebilir:

- Kapalı döngü yeniden değerlendirme** : Orjinal ürünün kendi hurdasından üretilmesi (örneğin alüminyum meşrubat kutularının yeniden ergitilerek tekrar meşrubat kutularına çevrilmesi),

- Açık döngü yeniden değerlendirme** : Hurdalardan orijinal ürün yerine daha düşük kaliteli ikinci bir ürün üretimi (örneğin alüminyum profil hurdalarından Al-Si döküm alaşımı üretimi).

## İkincil Hammaddeler

İkincil alüminyum endüstrisinin hammaddeleri aşağıdaki gibi sınıflandırılır:  
**İşlem hurdası** (process scrap,runaround scrap) : Alüminyum son ürün üretim sürecinde oluşan işlem hurdalarıdır.

**Eski hurda** (old scrap=capital scrap) : Kullanım ömrünü doldurmuş alüminyum ürünlerdir.

**Curuf** (dross) : Alüminyum ergitme, rafinasyon ve aktarma süreçlerinde oluşan metalik alüminyum ve oksit karışımlarıdır.

Birincil hammaddeler genellikle –kimyasal anlamda uniform olmasalarda- tanımlanabilir ve belirli kimyasal bileşimde ya da kombinasyondadır.

Buna karşın, ikincil malzemeler genellikle tanımlanabilen malzemeler değildirler ve kendileri dışında bir çok diğer malzemelerle ve kirliliklerle beraber bulunurlar. Bu nedenle toplandıktan sonra proses edilmeleri gerekir. Yani toplanırlar, gruplanırlar, ayrılırlar, çeşitli hazırlama işlemlerine tutulurlar ve ergitilirler.

Bu anlamda ikincil alüminyum üretimi teriminin tanımlarında birisi de YERÜSTÜ MADENCİLİĞİ'dir.

## İkincil Alüminyum Üretim Süreci

İkincil alüminyum üretim süreci iki aşamalı bir prosestir:

- Hurda hazırlama ve ön-işlemler
- Ergitme, rafinasyon ve döküm.

Hurda hazırlama işlemlerinin amaçları:

- Standart olmayan ikincil hammaddeleri çeşitli ara prosesler ile uniform hale getirmek.
- Metaldışı kirililikleri uzaklaştırarak, sonraki aşama olan yeniden ergitme aşamasının ve doğal olarak toplam prosesin verimliliğini yükseltmek,
- Düşük özgül ağırlığından ötürü, taşınması ve ergitme fırınlarına beslenmesi sorunlu olan hurda yığınlarını forma sokmak,
- Gruplama ve ayırma proseslerinin mekanizasyonunda, hurdaları proses edilebilir forma getirmek,
- Yeniden ergitme aşamasında metal kayıplarını azaltmak için gerekli fiziksel formu sağlamak olarak sıralanır.

Hurda hazırlama ve hurda ön-işlemlerini üç grupta incelemek olanaklıdır:

**Mekanik ön-işlemler**, alüminyumun diğer metaller ve fiziksel kirliliklerden temizlenmesi için farklı tiplerdeki kırıcı ve parçalayıcı (shredder) yardımı ile boyutlarının küçültülmesi işlemlerini kapsar. Bu sistemler aynı zamanda eddy-current ve magnetik separatörler, havalı ayırıcı ve vibrasyonlu elekler ile de desteklenir. İnce kesitli ve temiz hurdaların preslenerek balya ya da briket formuna getirilmesi de bu başlık altında görülmelidir. Ek olarak soğuk curufun kırma-öğütme ve eleme ile zenginleştirilmesi işlemleri de mekanik ön-işlemlerdir.

## Şekil : Şematik mekanik hurda hazırlama:



Parçalayıcı  
(shredder)



Kırıcı-parçalayıcı  
kombinasyonu

Şarja hazır,  
parçalanmış hurda





Mekanik temizleme işlemleri hem pirometalurjik hem de hidrometalurjik temizleme işlemlerinin de aynı zamanda ilk kademesidir.

**Pirometalurjik ön-işlemler**, eritme sırasında metal kaybını ve fiziksel kirlilikler ve flux kullanımından kaynaklanan kirli gaz salınımını azaltmak için uygulanan lak, boya ve yağ giderme ve kurutma işlemlerini kapsar. Bu işlemler öncesi hurdalara mekanik temizleme işlemleri uygulanır ve ardından pirometalurjik işlemin verimini arttırmak için boyut küçültülür. İşlem kamara, döner ya da akışkan yatak tipli fırınlarda gerçekleşir.

**Hidrometalurjik ön-işlemler**, su kullanılarak curuflar için liç ve özgül ağırlık farkına göre alüminyumdan daha yoğun bakır ve demir gibi metallerin ayrıştırılmasında uygulanır.



## El ile hurda ayıklama (Sigma-Çin)



## Hurda hazırlama yöntemlerini karşılaştırılması

	Mekanik hurda hazırlama	Pirometalurjik hurda hazırlama	Hidrometalurjik hurda hazırlama
Metal verimliliği	Yüksek	Düşük	Yüksek
İlk yatırım maliyeti	Yüksek	Yüksek	Yüksek
Ekonomik kapasite	Büyük	Sınırlı	Büyük
İşçilik	Yüksek	Düşük	Yüksek
Enerji tüketimi	Yüksek	Düşük <sup>1</sup>	Yüksek
Malzeme kalitesi	Homojen	Çeşitli	Homojen

## Ergitme

Hurda hazırlama işlemi görerek alüminyum-dışı metalik ve/veya metalik olmayan kalıntılardan temizlenmiş olaan hurdalar ergitme fırınlarına gelir.

Alüminyum hurda ergitme fırınlarının seçiminde aşağıdaki temel noktalar dikkate alınmalıdır:

- Fırın üretkenliği, saateki ergitme hızı,
- Enerji verimliliği,
- Metal kaybı,
- Kirli gaz salınımı,
- İşletme kolaylığı,
- Bakım kolaylığı,
- Çalışma ortamının temizliği,
- Ürün kalitesi.



## Reverber ergitme fırınları (SİSTEM-TEKNİK)



## Curuf Oluşumu

Bilindiği gibi alüminyum metalinin en kararlı hali alüminyum oksit halidir ve doğada bu formda bulunur. Ekstraktif metalurji teknikleri ile üretilen metalik alüminyum sürekli olarak bu en kararlı haline dönme eğilimindedir. Alüminyumun oksijene olan bu yüksek ilgisi sonucu aşağıdaki reaksiyon gerçekleşir:



Bu reaksiyon ekzotermik bir reaksiyondur.

Özellikle ikincil ergitme proseslerinde, ergitme verimini ve dolayısı ile ergitme ekonomisini doğrudan etkileyen temel kriter curuf oluşumu ve buna bağlı olan metal kayıplarıdır. Oksidasyon ile curuf oluşumu tersinir olmayan bir tepkimedir ve sıvı metal kaybı ile birlikte curuf oluşumunun temel nedenidir.

Oksidasyon ile metalik alüminyum kaybı süreci iki şekilde işler :

- metalik alüminyum doğrudan doğruya okside olarak alüminyumokside dönüşür ve curuf olarak dışarı alınır ve

- bu süreç ile beraber curuf oluşumu ile oksit filminin yarattığı kafes benzeri yapılar; içine yüzey gerilimi düşük, küçük alüminyum taneciklerini de alarak hapseder ve metal kaybına neden olur.

Curuf oluřum düzeyi aşağıdaki kriterlerle doğrudan iliřkilidir:

- şarj malzemesinin yüzey alanı/ağırlık oranı,
- şarj malzemesinin fiziksel kirlilik düzeyi,
- Ergitme sıcaklığı,
- şarj malzemesinin kimyasal kompozisyonu ya da alaşım elementleri,
- şarj malzemesinin formu,
- Ergimiş banyo üzerindeki koruyucu oksit tabakasının kurulması,
- Özellikle direkt alev ile çalışan reverber fırınları ailesinde, yakıcının hava / yakıt oranının ayarlanması,
- Fırın iç basıncının kontrolü,



## Flakslama

İhtiyaca uygun olarak hazırlanmış bir tuz kombinasyonunun üç temel işlevi vardır:

- Ergimiş metali, oluşması kaçınılmaz olan doğal oksit filmi dışında aşırı oksidasyondan korumak,
- Düşük yüzey gerilimine sahip alüminyum damlacıklarının birleşmesini sağlayarak (yüzey gerilimlerini büyüterek), curuf kafes yapısı içine kaçmasını engellemek,
- Oksit parçacıklarında oluşan curuf tabakasının, metal ile kolayca ayrılmasını ve böylece fırın dışına kolaylıkla alınmasını ve sıvı metalin temizlenmesini sağlamaktır.

Sonuç olarak hurda hazırlama, fırın tasarımı ve operasyon kalitesi ile doğrudan ilişkili olan curuf oluşumu ve bunun doğal sonucu olarak sıvı metal kaybının anlamı :

- kaybedilen her gram alüminyum para kaybı demektir,
- ergiyik banyo üzerinde gerekenden fazla oluşan curuf tabakası, fırın içinde ısı iletiminin düşmesi yani daha fazla enerji tüketilmesi demektir,
- aşırı curuf oluşumu, metalin rafinasyonu için daha fazla proses uygulanması, yani zaman ve para kaybı demektir,
- curuf atıklarının ve curuf oluşumu sırasında açığa çıkan kirli gazlar, daha fazla çevresel problem demektir.

# Ergitme Kayıpları

$$M_g + M_{mc} = M_u + M_y + M_c$$

$M_g$  : ergitme işlemine giren malzemenin miktarı (kg),

$M_{mc}$  : curuf içinden gerikazanilabilecek metalik alüminyumun miktarı (kg),

$M_u$  : Ergitilmiş metal miktarı (kg),

$M_y$  : Yanarak kaybolan metal miktarı (kg)

$M_c$  : Curuf miktarı (kg).

Yüksek yüzey alanına sahip ve ince et kalınlıklı malzeme, nisbeten kirli hurda ergitmede; % 5-10 flux kullanımı ile oluşan siyah curuf ise %15-35 arasında metalik alüminyuma sahiptir. Buna karşın tuz altında ergitmenin yapıldığı döner fırın operasyonlarında %7-10 flux kullanımı ve ergitme sonrası % 0,5-0,7 kriyolit kullanımı ile oluşan tuz kekinin metal içeriği % 8-15 arasındadır. Bu curufların tümü aynı zamanda ikincil üreticiler için hammaddedir.

## **Ergiyik Metal Banyosunun Karıştırılması**

Ergimiş metal banyosunun karıştırılması –metal sirkulasyonunun yaratılması- uygulaması reverber fırınlarda uzun zamandır kullanılan ve neredeyse fırının vazgeçilmez bir parçası haline gelmiş uygulamalardır.

Ergimiş alüminyumun mekanik ya da elektromanyetik pompalar aracılığı ile karıştırılması, ergiyik yüzeyindeki sıcak alüminyumun banyonun derinliklerine, derinde bulunan soğuk alüminyumun ise yüzeye sirküle olmasını sağlayarak ergitme verimliliğini artırır.

Reverber fırını içine, ergiyik üzerine katı şarj yapıldığında, katı alüminyumun özgül ağırlığının, ergiyik alüminyumdan daha yüksek olması nedeni ile, katı şarj dibe çöker. Bu süreç iki negatif etki yaratır. Birincisi transfer olan ısı, aktı şarjı eritmek yerine, ergiyiğin sıcaklığını yükseltmek için harcanır. İkincisi ergiyik sıcaklığının artışı ile , yüzeydeki oksit tabakasının kalınlığı artar ve bu tabaka yalıtkan etki yaparak, ısıнын katı şarja ulaşmasını engeller. Karıştırma hareketi ile ergiyik sirküle ettirilerek, transfer olan ısıнын katı şarja ulaşması sağlanır ve böylece hem ergitme hızlanır, hem yüzeydeki curuf tabakasının kalınlığı minimumda kalır. Sonuç olarak ısıtransfer oranı ve dolayısıyla ergitme ve enerji verimliliği artar.

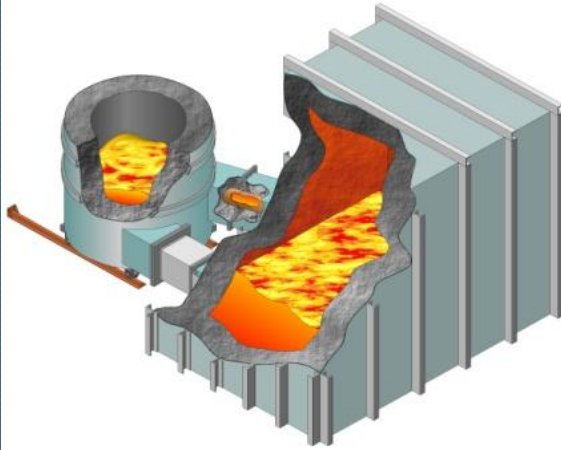
Ergime sırasında, fırın içindeki ergiyiğin sirküle edilmesinin gertireceği bir çok yarardan sözedilebilir. Öncelikle karıştırma katı şarj ile sıvı ergiyik arasındaki ısı iletimini hızlandırır. Yüksek kapasiteli bir çok alüminyum tesisi, geniş yüzeyli ve derin metal banyolu fırınları tercih ederler. Özellikle alaşımlı alüminyum üretiminde kullanılan alaşım elementleri (Si, Cu, Fe, Mn, Mg) ergiyik içinde geç çözünen, Si ve Mg hariç ağır metal olmaları nedeni ile segrege olma eğiliminde olan malzemelerdir. Bu eğilim nedeni ile durgun ergiyik içinde çabuk ergimeleri / çözünmeleri ve homojen dağılmaları zordur.

Pompa teknolojisinin en yaygın kullanıldığı alan, ince kesitli hurdaların ergitilmesidir. Bu tip hurdalar daha ucuz hurdalardır, ancak geleneksel fırınlarda ergitildiğinde yüksek metal kaybına neden olurlar.

Yüksek et kalınlığına sahip hurdalarda, ergitme sırasında, sıcak gaz ya da alev teması ile hurda yüzeyinde oluşan oksit tabakasının yarattığı gerilim, kırılarak düşük metal kaybı ile ergitme olanaklı iken, ince kesitli hurdalarda bu gerçekleşemez. Özellikle yüksek magnezyum ve boya, yağ, lak gibi kirlilik içeren hurdalarda, bu oksit tabakasının kalınlığı artarak, bariyer oluşturur. Böylece metalik alüminyum oksit kafesi içinde hapsolarak, kaybolur. Ancak pompa teknolojisi ve sirkülasyonun yardımıyla fırına entegre edilebilen girdap yaratıcı şarj alanı sayesinde ince kesitli hurdalar düşük metal kaybı ile eritilebilir.



Yukarda sözü edilen avantajlar, ergiğin karıştırılması ile elde edilebilecek genel yararlardır. Karıştırma yöntemi ister mekanik pompa ile ister elektromanyetik olarak ya da elektromanyetik pompa ile, ister inert gazlarla, ister el ile yapılsın az ya da çok fayda getirecektir. Ergimiş metalin fırın içindeki hareketi, her durumda az ya da çok ısı transferinin artmasına neden olacaktır.



Elektromanyetik pompa kullanıldığında, pompanın kendisi aynı zamanda şarj alanı işlevi de görür. Banyo sirkülasyonunun getireceği yararlar aşağıda sıralanmıştır:

- ergitme hızının artması,
- enerji tüketiminin düşmesi,
- daha az curuf oluşumu ve dolayısıyla metal kaybı,
- daha iyi alaşımlandırma ve homojen alaşım eldesi,
- ergiyik içindeki sıcaklık farklarının minimizasyonu (ısı iletiminin arttırılması),
- refrakter ömrünü azaltan lokal sıcaklık dalgalanmalarının engellenmesi.

## Yanma Havaının Isıtılması

Soğuk hava yakıcı sistemleri, uzun zamandan beri kullanılan geleneksel yakıcı tiplerindedir. Yakıt ve yanma havası olarak “hava”nın kullanıldığı yakıcılardır. Doğal gazın kullanıldığı, yüksek hızlı, soğuk havalı yakıcı sistemlerde bulunabilir ısıs (available heat) %35 oranındadır.

**Rekuperatörler**, sıcak yanma gazlarının enerjilerine, yanma havası üzerine bir temas yüzeyi aracılığı ile transfer ettikleri cihazlardır. Yanma havası ısınmaya başladıkça, doğal olarak, yanma gazlarının sıcaklığı düşmeye başlar. Sonuç olarak baca gazları sistemi düşük sıcaklık ve dolayısı ile düşük enerjili olarak terkeder.

**Rejenerasyon** ise rekuperasyona göre daha karmaşık bir prosesdir. Sistem aralıklı olarak çalışan iki yakıcıdan meydana gelir. Yakıcının birisi yanma halinde iken, baca gazları seramik jeneratör içinde, yanma havasını ısıtmak için toplanır. Yakıcı kapasitesine göre ilk yakıcı durur ve ikinci yakıcı çalışmaya başlar.



## Rejeneratif yanma sistemi (SİSTEM-TEKNİK)



Rejeneratif sistemlerin çıkış mantığı, soğuk hava yakıcıli ertitme sistemlerinde, çok yüksek olan baca gazları ile taşınan enerjinin gerikazanımı üzerinedir. Tipik olarak, baca gazları ile kaçan ısıнын yaklaşık % 80'i rejeneratif sistemlerde geri kazanılarak, yanma havasının ısıtılması için kullanılabilir. Soğuk havalı yakıcılarla karşılaştırıldığında % 35'den fazla yakıt tüketiminde azalma görülmüştür.

## Yanma Havası Olarak Oksijen Kullanımı

Yanma, yakıt ile oksidan arasında ısı oluşturan bir kimyasal reaksiyondur. Oksidan olarak genellikle hava kullanılır (havanın % 21'i oksijendir). Yanma havası içindeki oksijen konsantrasyonu %21'i geçtiği zaman "oksijence zenginleştirilmiş hava" tanımı kullanılır. Yanma havası içinde oksijen konsantrasyonunun artması, yanma ürünü gazlarda azotlu bileşiklerin azalması ve aynı zamanda azotlu bileşiklerle kaçan ısıнын azalması, yani sistemin ısı veriminin artması anlamına gelir.

Oksijen ile zenginleştirilmiş yanma havası kullanıldığında, alev sıcaklığı yükselecek, bu da ısı iletimini arttıracaktır. Doğal gaz ile çalışan sistemlerde, geleneksel yakıcılarda maksimum alev sıcaklığı 1850°C iken, yanma havasında oksijen kullanımı ile alev sıcaklığı 2700°C'ye kadar yükseltilebilir. Bu radyasyon ile ısı iletiminin artması anlamına gelir. Yakıcı alevinden şarj üzerine radyasyon ile ısı iletimi, oksijen kullanılan yakıcılarda, hava kullanılan geleneksel yakıcılara göre 4 kez daha yüksektir. Artan ısı iletimi hem fırının ergitme hızını arttıracak hem de enerji tüketimini azaltacaktır.

Alüminyum üretim süreçlerinde kullanılan, yanma bazlı ergitme ya da tutma fırınlarında çok çeşitli ısı kayıpları mevcuttur. Yanma havası olarak oksijen ile zenginleştirilmiş ya da tamamen oksijen kullanılan sistemlerin amacı bu kayıpları minimize etmektir. Özellikle, hava yerine oksijen kullanımı ile yanma havasındaki azot gazı elimine edilerek, yanma gazlarının miktarı ve tehlikeli  $\text{NO}_x$  oluşumu önlenabilir. Yanma gazı olarak saf oksijenin kullanıldığı sistemlerde, atık gaz miktarı yaklaşık olarak % 30 düşer. Oksijenli sistemler ile rejeneratif sistemler karşılaştırıldığında, %5 fazla oksijenin yanma havası olarak kullanıldığı (tamamen oksijen kullanılan) sistemde,  $1150\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de bulunabilir ısı oranı % 72'dir. İdeal yanma için stokiometrik olarak yakıt hava oranı 1:2'dir.

Özellikle yeni kuşak döner fırınlarda oksijenli yakıcı sistemlerin kullanımı çok önemli avantajlar doğurmuştur.

# FIRINLAR



İkiz kamaralı fırınlar  
(SİSTEM-TEKNİK)



## İkincil Tesisler için Fırın Seçimi

Fırın tipi	İkincil ergitme tesisleri
<b>Reverber ailesi</b>	
Reverber fırınlar (sabit) (stationary reverbaratory furnace)	3
Üstten beslemeli fırınlar (top loading furnace)	1
Balkonlu fırınlar (side-well furnace),	3
İkiz kamaralı fırınlar (twin chamber furnace),	2
Terletme fırınları (Dry hearth furnace),	3
Reverber fırınlar (devrilebilir) (tiltable reverb furnace),	3
Silindir kesitli fırınlar (barrel-shaped furnace),	3
Oval fırınlar (oval furnace)	3
<b>Çekirdeksiz indüksiyon fırınları (coreless type induction furnace),</b>	1
<b>Döner fırınlar (Rotary drum furnace).</b>	4

Reverber fırınlar, metalurjik proseslerde kullanılan klasik fırın tiplerindendir. “Reverber” kelimesinin anlamı yansıtmak ya da yankılanmak olarak Türkçe’ye çevrilebilir. Bu tip fırınlarda ısı iletimi büyük ölçüde fırın duvarlarından ve tavanından radyasyon ileiletidiğı için bu adı almıştır. Geleneksel Reverber fırınlar külçe, T-bar ve temiz ve et kalınlığı yüksek hurdaların ergitilmesine uygundur.

Farklı uygulamalar için, farklı tip Reverber fırınlar geliştirilmiştir. Ergitme amaçlı olarak yaygın olarak kullanıldığı gibi, tutma ve döküm fırını olarak zaman zaman ayrı zaman zaman da birlikte kullanılabilir. Dikdörtgen ya da kare formunda, refrakter malzeme ile izole edilmiş çelik gövdeli fırınlardır. Genellikle yakıcılar doğal gaz ve fuel-oil ile çalışırlar. Özellikle eski Sovyet ülkelerinde ve Amerika’da elektrik ısıtmalı tutma amaçlı Reverber fırınlar hala kullanılmaktadır. Fırınlar bir ya da birden fazla yakıcı ile donatılmıştır. Yakıcılar fırın açıklıklarından baca gazları ile birlikte kaçan ısıyı tolere ederek, ergitme /tutma işlemleri için gerekli enerjiyi sağlarlar. Yakıcı alevinin doğrudan sağladığı ısı ile ergitme ve tutma işlevleri yerine getirilir (direct heating). Özellikle hurda ergitme işleminde, klasik Reverber fırınların performansı tatmin edici değildir ve fırın tasarımı gelişimi için verimli metal ve enerji değerleri ile çalışabilme zorunluluğu, spesifik bir alan olmuştur.

Radyasyon ile ısı transferinin bileşenleri :  
Alev ve yanma gazlarından ;  
refrakter duvarlara ve ergimiş metal yüzeyine,

Refrakter duvarlardan ;  
ergimiş metal yüzeyine ve yanma gazlarına.  
Maksimum ısı transferini sağlayabilmek için  
aşağıdaki değişkenler maksimize edilmelidir:

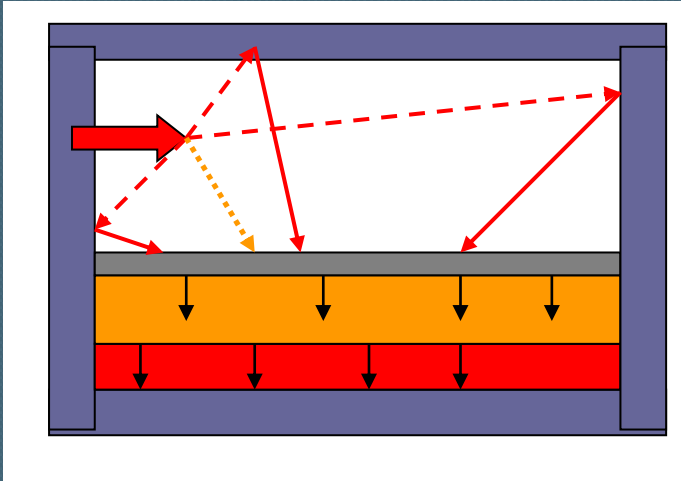
- Refrakter yüzey sıcaklığı,
- Ergimiş metal yüzey alanı.

Ergimiş metal yüzeyinde oksidasyon sonucu sürekli bir curuf tabakası oluşur. Curuf alma işleminden sonra ince olan bu tabaka, proses koşullarına bağlı olarak ve zamanla kalınlaşır. Bu oluşan curuf tabakası üzerinde ısı transferi kondüksiyon ile gerçekleşir.

Kondüksiyon ile ısı transferinin bileşenleri :

- curuf yüzeyinden metal yüzeyine,
- ergimiş metalin üst yüzeyinden yanma odasının tabanına,

Son iki bileşen ile tanımlanan ısı transferinde kondüksiyon ve konveksiyon mekanizmaları birlikte çalışır.





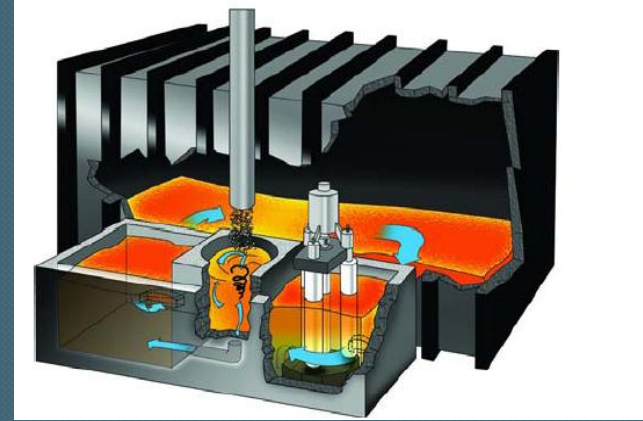
Özellikle ergitme uygulamalarında Reveber fırınları için aşağıda sıralanmış sorunlar sürekli yaşanmaktadır :

- Düşük ısı verimlilik ve buna bağlı olarak yüksek enerji gideri,
- Düşük ısı transferi ve buna bağlı olarak uzun ergitme süresi yani düşük ergitme hızı,
- Özellikle büyük yüzey alanına sahip, ince kesitli hurdaların ergitmesinde, curuf oluşumu nedeni ile yüksek metal kaybı,
- Fırın izolasyonunda yaşanan güçlükler,
- Alüminyum dışı kirliliklerin –örneği serbest demir-ayrılammaması,
- Büyük boyutlu fırınlarda curuf çekme operasyonunda yaşanan güçlükler olarak sıralanabilir.



Tutma ve döküm fırınlarının tasarımı, çok fazla çeşitliliğe izin vermez. Ancak ergitme fırınlarında, ergitilecek malzemeye bağlı olarak, çeşitlilik olanaklıdır. Geleneksel Reverber tipi fırınlarda külçe, ingot ya da temiz ve yüzey/ağırlık oranı küçük hurdaların ergitilmesi mümkündür. Temiz ancak yüzey/ağırlık oranı yüksek olan, dağınık formdaki haddehane ya da ekstrüzyon proses hurdaları için üstten beslemeli fırınlar (top-loading furnace), şarj kapısının büyüklüğü ve besleme kolaylığı açısından tercih edilebilir. Üstten beslemeli fırınlar özel şarj sepetleri ve bu sepetlere uygun vinçlerle desteklenmiştir. Bir defada 20 tona kadar şarj yapılabilir. Şarj kapağının çevresi, ergitme ve yükleme sırasında minimum distorsiyon için su ya da hava ile soğutulur. Bir defada yüksek miktarlarda şarj yapılabilmesinden ötürü, geleneksel fırınlarda olduğu gibi, şarj kapısının sık açılıp kapanması söz konusu değildir. Bu da ergitme süresinin kısalmasına neden olur. Geleneksel yüksek hızlı yakıcı sistemleri kullanılabilirse de, rejeneratif yanma sistemleri, yüksek enerji verimi nedeni ile tavsiye edilir.

**Balkonlu (side wall) reverber fırınlar**, özellikle yüksek yüzey ağırlık/oranına sahip, yani ince kesitli hurdaların sürekli besleme tekniği ile şarj edilerel, ergitilmesine olanak veren, ana gövdeye ek olarak açık bir kamaranın (balkon-side well) yer aldığı reverber tipli fırınlardır. Açık kamarada şarj odası (genellikle girdap yaratarak, ince kesitli hurdaların ergiye batmasına olanak veren sistem), sirkülasyon pompası ve curuf alma odasından oluşur. Elektromanyetik pompanın kullanıldığı sistemlerde ise pompanın kendisi şarj odası fonksiyonunu görür.



**İkiz Kamaralı Fırınlar**, balkonlu fırınlar lak yakma ya da kurutma hattı ile entegre çalışarak UBC ve talaş gibi ince kesitli hurdaların ergitilmesinde başarı ile çalışır. Ancak lak yakma ve kurutma işlemi uygulanmayan hurdalar için aynı ölçüde başarılı değildir. Ancak şarj malzemelerinin sınırlı oluşu, ergitme kapasitesinin düşük oluşu ve açık balkon nedeni ile enerji kayıpları, iki kapalı kamaradan oluşan ikiz kamaralı fırınların tasarımı ihtiyacını düşürmüştür. Başka bir deyişle, ikiz kamaralı fırınlar, balkonlu fırınların bir üst modelidir.





**Kuru gövdeli (terletme) fırınları**, özellikle ikincil alüminyum tesislerinde, alüminyum hurda ile birlikte olan, serbest demir, bakır ve pirinç gibi istenmeyen metallerin ayrıştırılması her zaman sorunludur. Terletme fırınlarında, bu istenmeyen katışkılar termomekanik olarak ayrılır. İkinci bir işlevi ise ingot ve t-bar eritmede nem giderme/kurutma amacı ile kullanımıdır ve sıvı metalin tutulduğu ana kamaraya entegre çalışır.





## Döner Fırınlar

Çok çeşitli hurda ergitebilmelerinden ötürü çok amaçlı ergitme fırınları” olarak tanımlanır. Fırın tasarımının yüksek ısı transferine izin vermesi, dönme hareketi ve flux kullanılabilmesi curuf dahil çok farklı hurdaların ergitilmesine uygundur.

Son 15 yılda geliştirilen devrilebilir ve yanma havası olarak oksijenin kullanıldığı yakıcı sistemlerle donatılan döner fırınlarda hem ısı transfer oranları daha da iyileştirilmiş, flux kullanım miktarı azaltılmış ve yakıcı aynı zamanda “afterburner” gibi çalışarak, daha az kirli gaz salınımına izin veren tasarıma ulaşılmıştır.

Döner fırın yatay ve refrakter astarlı bir silindir şeklindedir. Proses süresince fırın döner. Enerji kaynağı gaz ya da sıvı yakıtlardır. Eksoz gazları fırın sonundaki bacadan dışarı atılır. Isı transferi alevden şarja direkt olarak radyasyon ve konveksiyonla, indirekt olarak da dönme sırasında refrakter astardan kondüksiyon ile gerçekleşir.

Prosesin karakteristiği Alev ile şarj arasındaki geniş temas yüzeyi ve baca gazları ile şarj arasındaki kütle transferidir. Alüminyum şarjın oksidasyonu kullanılan flux/tuz ile kontrol edilebilir.

Döner fırın içinde ısı iletimi üç bileşenden oluşur :

- Sıcak gazlardan radyasyon ile ısı iletimi, sıcak gazlardan gelen ısı fırın duvarları ve fırın içindeki metal tarafından tutulur. Radyasyonla ısı iletimini arttırmanın yolu alev sıcaklığını yükseltmektir. Ancak yüksek alev sıcaklığı, dengesiz ısı dağılımına neden olacağı için fırın refrakter astarın zarar görmesine neden olur. Bu nedenle oksijenle zenginleştirilmiş yanma havası kullanımı tercih edilir.
- Sıcak gazlardan konveksiyon ile ısı iletimi, sıcak gazlardan gelen ısı fırın duvarlarına, fırın içindeki metal ve tuza ulaşır. Konveksiyon ile ısı iletimi verimini arttırmak için ısıнын dağılım hızı ve türbülans ile dağıtılması önemlidir ve fırın tasarımında dikkate alınmalıdır.
- Üçüncü ısı iletimi bileşeni ise fırın duvarı ile fırın duvarını örten malzeme arasındadır. Dönme hareketi nedeni ile fırın duvarları sürekli malzeme ile kaplıdır. Fırın duvar sıcaklığı malzemenin sıcaklığından yüksek olduğunda, fırın duvarından malzemeye ısı iletimi olanaklı olmaktadır.

Ergitme sırasında konveksiyon ile ısı iletimi radyasyonla ısı iletiminden daha yüksektir. Çünkü fırın duvar sıcaklığı her zaman yüksek tutulamaz ve ısıнын bir bölümü hurdanın içerdiği kirlilikler tarafından tutulur.



## **Devrilebilir Döner Fırınlar**

Özellikle alüminyumdan üretilen ürünlerde artan çeşitlilik, yani hurda tiplerinin çeşitlenmesi ve ekonomik gerekçeler ve teknolojik gelişime bağlı olarak, tıpkı birincil metalurjik ekstraksiyon işlemlerinde düşük tenörlü cevherlerin işlenebilmesinin günden güne ekonomik olmaya başlaması gibi, düşük kaliteli hurdaların da işlenme zorunluluğu doğmuştur.

Bu değişimler üç temel gerekçeye dayanır :

- 1.Yüksek performanslı (yüksek ergitme yeteneği, düşük enerji tüketimi ve metal kaybı) ergitme ünitesi gereksinimi,
- 2.İkincil alüminyum endüstrisinin gelişimine ve hurda bulunabilirliği ve klasifikasyon tekniklerine bağlı olarak alüminyum curuf dahil olmak üzere geniş hammadde kullanım yelpazesine sahip ve hiç ya da minimum tuz kullanımı ile ergitmenin olanaklı kılınması,
- 3.Düşük kaliteli hurda ergitebilme yetenekleri,



## İndüksiyon Fırınları



Çekirdeksiz indüksiyon fırınları üç parçadan oluşur :

- Pota çevresine sarılmış, su soğutmalı bakır bobin,
- Metal haznesi ya da pota,
- Çelik dış gövde.

Potanın çevresinde su soğutmalı bakır bobin yerleştirilmiştir. Bobine gelen alternatif akım ile şarj malzemesinin içinde indüklenmiş akım oluşturulur. Manyetik alanın etkisi ile ergimiş metal üzerindeki akım etkileşimleri karıştırma etkisi doğurur. Karıştırmanın hızı güç arttıkça ve frekans düştükçe artar.

En önemli avantajı doğrudan alev teması olmadığı için, sıcaklık kontrolü ve sınırlı oksidasyon ile ergitme yapabilmesidir. Her bir döngüde fırın tam olarak boşaltılabildiği için rahatlıkla alaşım değiştirilebilir. Aynı güç ünitesine bağlı, iki pota ile çalışan sistemlerde, potaların bir tanesi tutma ya da döküm fırını işlevi görür.



Temel çalışma ilkesi, ertitilecek malzeme sekonder sarım olarak davranır. Yani düşük voltajlı, yüksek amperli akım malzemeyi indükler. Sekonder sarım malzemenin kendisidir ve ısı transferi kondüksiyonla gerçekleşir. Isınma ya da ertitme malzemenin elektriksel direnci sayesinde oluşur. İndüksiyon ile ertitme basit olarak bir enerji transferi yöntemidir.

İndüksiyon bobinindeki elektriksel akım akışlarının etkileşimi sonucu, fırın içindeki manyetik kuvvetler sabit değildir. Bu kuvvetlerin değeri bobinin merkezinde en büyük değerdedir. Bu özellik indüksiyon bobini boyunca eşit olmayan bir manyetik kuvvet dağılımına yolaçar. Sonuçta bobin sabit olduğundan metal hareket eder.

Karıştırma hareketi uygulanan güç ve frekansa bağlıdır.

- Güç arttıkça karıştırma hareketinin ölçüsü artar,
- Frekans arttıkça karıştırma hareketinin ölçüsü azalır,
- Fırın boyutu arttıkça karıştırma hareketinin ölçüsü artar.

Ocak içinde oluşan karıştırma hareketi ile oksitlenme kayıpları minimize olur, fırın içinde sıcaklık ve bileşim dağılımı homojen olur ve seri ertitme gerçekleşir.

Ancak karıştırma hareketinin ölçüsü çok önemlidir.

Yetersiz karıştırma:

- Metal homojenliğini azaltır,
- Banyodaki sıcaklık farklılıklarını arttırır
- Talaş ve hafif hurdaların ergimesini zorlaştırır,

Aşırı karıştırma:

- Astar aşınmasına neden olur,
- Oksitlenme kayıplarını arttırır,
- Metal içinde curuf ve refrakter kalıntılarına neden olur,
- Metalin gaz kapma olanağını arttırır.

İkincil ergitme sürecinin en kritik aşaması olan ergitme işleminde, kullanılacak hurda tipi ya da tiplerine uygun fırın seçimi, prosesin toplam maliyetini belirleyen en önemli faktördür. Özellikle bulunabilir hurda miktarı, kalitesi ve hurdaların temizlenme düzeyi dikkate alınmalıdır. Minimum metal kaybı, enerji tüketimi ve kirli gaz salınımı ile ergitme yapmanın temel şartları bunlardır.