

# ALÜMİNYUM ÜRETİM SÜREÇLERİNDE KULLANILAN ERGİTME VE TUTMA FIRINLARINA GENEL BİR BAKIŞ

Erman CAR

## ÖZET

İster birincil alüminyum üretimi, ister ikincil alüminyum üretimi, ister ise alüminyum döküm işlemlerinin belirli kademelerinde ergitme ve tutma (alasımlama ve rafinasyon) amaçlı, değişik tip ve tasarımlarda fırınlar kullanılmaktadır. Kullanım amacına göre oksidasyon ile minimum metalik alüminyum kaybı (curuf oluşumu), maksimum enerji verimi, maksimum proses verimi ve optimum ergonomik koşulları sağlayacak fırın seçimi ve işletmesi alüminyum tesislerinin önceliklerindendir.

Bu çalışmada, endüstriyel olarak yaygın kullanıma sahip fırın tipleri hakkında genel bir bilgi verilerek, kullanım amacı-fırın seçimi ilişkisi irdelenmekte ve buna ilişkin yeni teknolojik uygulamalar hakkında bilgi verilmektedir.

Anahtar kelimeler: alasımlama, enerji verimi, ergitme, rafinasyon, ısı transferi, ısı verim, oksidasyon.

## 1. GİRİŞ

Bugün dünyada demir-çelikten sonra (yaklaşık 1 200 000 000 ton/yıl) en çok üretilen ikinci metal alüminyumdur ( birincil ve ikincil beraber yaklaşık 45 000 000 ton/yıl). Bu çalışmada alüminyum endüstrisinin çeşitli aşamalarında kullanılan fırınlar hakkında genel bir bilgi verilirken, fırın tasarımı ve seçimi, özellikle curuf oluşumu nedeni ile metal kaybı ve enerji verimliliği açılarından irdelenmeye çalışılmıştır.

## 2. CURUF OLUŞUMU ve METAL KAYIPLARI

### Curuf Oluşumu

Birincil ya da ikincil ergitme, ergimiş metal transferi ve rafinasyonu süreçlerinde alüminyumun oksijene olan yüksek ilgisinden ötürü (oksidasyon) oluşan ve şarj malzemesinin özelliklerine, fırın tasarımı ve proses koşullarına bağlı olarak değişik oranlarda metalik ve metalik olmayan bileşikler içeren amorf yapıdır. Oluşan curufun temel bileşeni olan alüminyumoksit termodinamik kararlılığı yüksektir. 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.

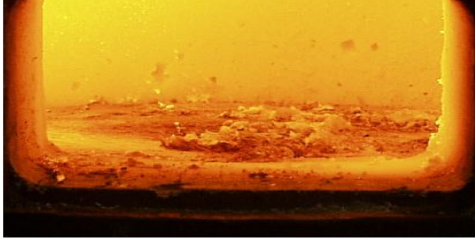
Oksidasyon ile metalik alüminyum kaybı süreci iki şekilde işler :

- metalik alüminyum doğrudan doğruya okside olarak alüminyumoksit dönüşür ve curuf olarak dışarı alınır ve
- bu süreç ile beraber curuf oluşumu ile oksit filminin yarattığı kafes benzeri yapılar, içine küçük alüminyum taneciklerini de alarak hapseder ve metal kaybına neden olur.

### 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.



**Şekil 1 : Curuf oluşumu ve gelişimi**

Sonuc 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 üzerindeki aşırı 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**

Ergitme prosesinin verimliliğini belirleyen iki temel parametre düşük ergitme kaybı ve düşük enerji tüketimidir. Alüminyum ergitme işlemlerinde doğal oksidasyon sonucu bir miktar metalin kaybı kaçınılmazdır. Çok küçük alüminyum tanecikleri ya da tozları baca gazları tarafından götürülebilir ya da kontrolsüz curuf oluşumu ile çok yükselen sıcaklıklarda yanarak kaybolur. Bu nedenle ergitme sırasında malzeme balansı hesaplamalarında aşağıdaki bağıntının kullanılması tavsiye edilir :

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

- $M_g$  : ergitme işlemine giren malzemenin miktarı (kg),  
 $M_{mc}$  : curuf içinden gerikazanılabilecek metalik alüminyumun miktarı (kg),  
 $M_u$  : Ergitilmiş metal miktarı (kg),  
 $M_y$  : Yanarak kaybolan metal miktarı (kg)  
 $M_c$  : Curuf miktarı (kg).

Külçe ergitme, sıvı metal taşıma ya da transferi ve döküm sürecinde oluşan zengin köpük % 50-90 arasında metalik alüminyum içerir. Buna karşın düşük fluks kullanımı ile (% 0.5-2) temiz hurda ergitmede oluşan beyaz curuf % 25-65 oranında metalik alüminyum içerir. Yüksek yüzey alanına sahip ve ince et kalınlıklı malzeme, nisbeten kirli hurda egitmede; % 5-10 fluks 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..

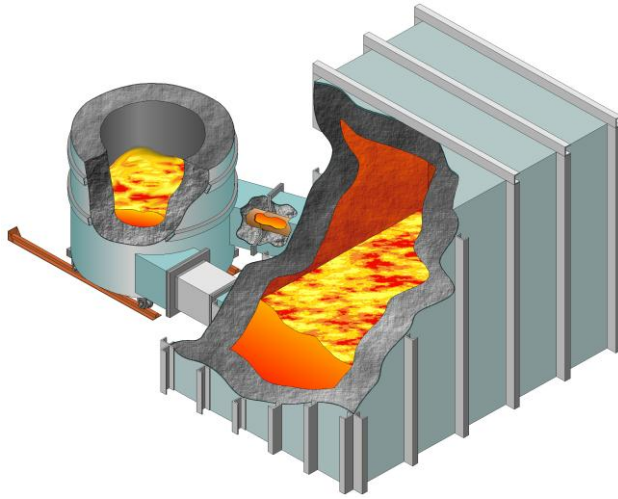
## ERGİYİK METAL BANYOSUNUN KARIŞTIRILMASI

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

Katı alüminyumun ısı iletim yeteneği, sıvı alüminyuma göre yaklaşık 2 kat daha fazladır. Bu durgun ergiyik içindeki sıcaklık dağılımının uniform olmasını güçleştirir. Uniform olmayan sıcaklık dağılımı, ısı iletiminin düşük olduğu anlamına gelir.

Ergiyiğin sirküle ettirilmesi ile ister ergitme ister tutma fırınlarında, güçlendirilmiş iletim sağlanarak bu sorunlar ortadan kalkar.

### Şekil 2 : Elektromanyetik pompa ile destekli reverber fırını:



Öte yandan yüzey alanı / ağırlık oranı yüksek olan ince kesitli hurdaların doğrudan alev ve yanma gazı temasını engelleyen balkonlu açık kamaralı fırınlarda, şarj kamarasına ya da şarj bölmesine, ana gövdeden sürekli sıcak sıvı metal beslenmesi ile ergitme kolaylaşır ve sürekli ergitme teknikleri uygulanabilir. Mekanik pompa uygulamalarında özel tasarlanmış girdap oluşturuvcu sistemler, elektromagnetik pompalarda, pompanın kendisi girdap oluşturarak, ince kesitli hurdaların, minimum atmosfer teması ile yani minimum oksidasyon ile ergiyik içine gömülerek

ergitilmesine olanak verir.

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 artırılması),
- refrakter ömrünü azaltan lokal sıcaklık dalgalanmalarının engellenmesi.

## YANMA HAVASININ ISITILMASI

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 ısı (available heat) %35 oranındadır.

Yanma bazlı, fosil yakıt ile çalışan alüminyum fırınlarında, enerji kayıplarının azaltılması ve kaybolan enerjinin geri kazanımı, fırın enerji verimliliği için önem taşımaktadır. Reverber tipli fırınlarda ergitme sırasında baca gazları önemli miktarda enerjiyi kaçak olarak taşımaktadır. Buna ilaveten fırın duvarlarından ve kapılardan da ısı kaybı oluşmaktadır. Verimli bir ısı geri kazanımında ilk öncelik, baca gazı kayıplarının azaltılmasına dayanır. Baca gazı sıcaklığı

arttıkça, gerikazanılabilir enerji miktarı da artar. Bununla birlikte yüksek baca gazı sıcaklıklarına, ergitme işleminin belirli aşamalarında ulaşılır. İlk şarj zamanı, baca gazı sıcaklığı düşüktür ve ergiyik ile şarj arasındaki sıcaklık farkı nisbeten yüksektir. Bu aşamada enerji yanma gazlarından şarj üzerine transfer edilir ve sonuç olarak baca gazı sıcaklığı düşüktür. Şarj ergimeye başladıkça, şarj ile fırın atmosferi arasındaki sıcaklık farkı düşmeye başlar, enerji transferi azalır ve baca gazlarının sıcaklığı yükselmeye başlar. Şarj tamamen ergidiğinde, ısı transferi minimuma ulaşır ve bu arada baca gazı sıcaklığı maksimum olur. Prosesin bu aşamasında, ergimiş metalin döküm sıcaklığına ulaşması için fırın ısıtılır ve baca gazları maksimum sıcaklığa ulaştığı için, maksimum enerjinin gerikazanımı mümkün olacaktır.

Fırına giren enerjinin miktarı yakıttan sağlanan kimyasal enerjinin miktarına ve yanma havasının entropisine bağlıdır. Burada ısı gerikazanımının anlamı, yanma havasının ısıtılması ile eş olmaktadır.

Alüminyum fırınlarında yaygın kullanım bulan yanma havası önısıtma cihazları reküperatör ve rejeneratörlerdir.

**Rekuperatörler**, sıcak yanma gazlarının enerjilerini, 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 prosedir. 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.

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 HAVASI OLARAK OKSİJEN KULLANIMI

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.



Burada akla şu soru gelebilir. Neden hava bedava iken oksijen satınalınır? Bu sorunun yanıtları aşağıda sıralanmıştır :

- 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. Çünkü 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.

- Yanma işleminin verimliliğinden dolayı atık gaz ve atık gazların kaçıracağı enerjinin miktarı, geleneksel sistemlere göre daha düşük olacaktır. Havada 3 adet inert azot molekülüne karşın, 1 adet oksijen molekülü vardır. Yanma sırasında azotun hiç bir katkısı yoktur, ancak

yanma için hava kullanıldığında, azotun da ısıtılması gerekecektir ve böylece bir miktar enerji azotun ısıtılması nedeni ile kaybolacaktır. Bu süreçte zehirli NO<sub>x</sub> gazı oluşmaktadır. Ancak yanma havası yerine oksijen kullanıldığında, bu sorun ortadan kalkacaktır. Oksijenli yanma sistemleri, geleneksel sistemlere göre yaklaşık %70 daha az (NO<sub>x</sub>) atık gaz üretir. Oksijenli sistemler ile rejeneratif sistemler karşılaştırıldığında, %5 fazla oksijenin yanma havası olarak kullanıldığı (tamamen oksijen kullanılan) sistemde, 1150 °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.

### 3. FIRINLAR

#### **Fırınlara Sınıflandırılması**

Fırınlara bütün metalurjik proseslerde yaygın kullanım alanı bulan, anahtar aygıtlardır. Bu çalışma da yalnızca alüminyum ergitme süreçlerinin çeşitli aşamalarında kullanılan ergitme, tutma, döküm ve rafinasyon fırınlarına ilişkin genel bilgi verilmeye çalışılacaktır.

#### Fırınlara İşlevlerine Göre Sınıflandırılması

Her ne amaçla kullanılırsa kullanılsın alüminyum fırınlarının tasarımında aşağıda sıralanmış kriterler temel önem taşır:

- Düşük yatırım maliyeti,
- Düşük enerji tüketimi,
- Minimum oksidasyon nedeni ile sıvı metal kaybı (minimum oksidasyona izin veren tasarım),
- Çevre ile dost,
- Yüksek kaliteli metal üretebilme,
- Kolay işçilik.

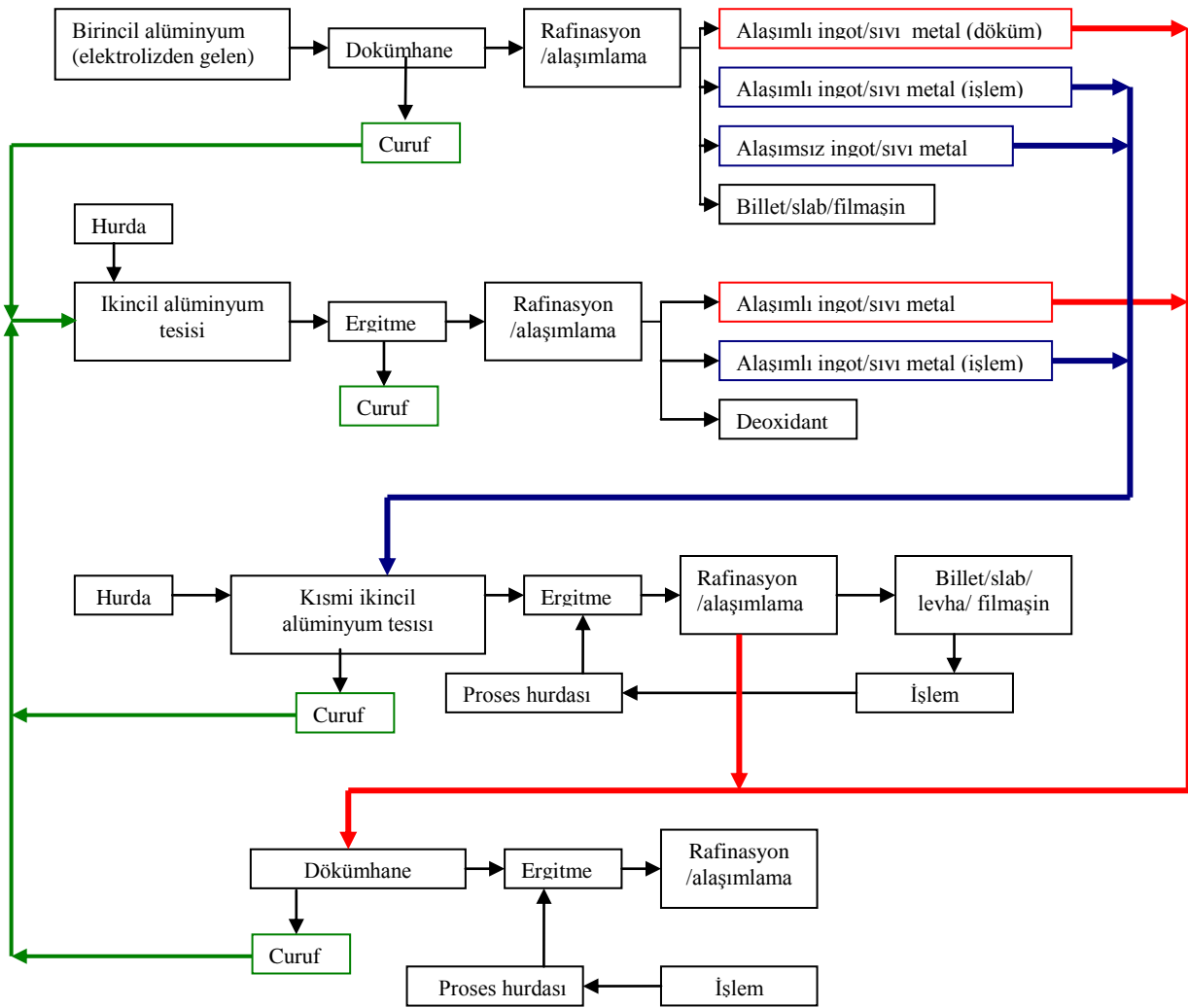
Birincil ya da ikincil kaynaklı külçe ve/veya hurda malzemelerin ergitilmesi ve zaman zaman alaşımlandırılması işlemleri ergitme fırınlarında yapılır. Ancak şarj malzemelerinin gerek gerek boyut anlamında gerekse içeriğindeki alüminyum dışı kirlilikler (hurda için) anlamında çok çeşitlilik göstermesi nedeni ile tek bir ergitme fırını tipi mümkün değildir. Üretilcek malzeme ve buna bağlı olarak kullanılacak hammaddelere bağlı olarak, farklı tiplerde **ergitme fırınları** (hatta ergitme teknolojileri) mevcuttur.

Ergitme sonrasında ergitilmiş metalin ya da birincil tesislerde ise elektroliz hücrelerinden gelen sıvı metalin rafinasyonu, alaşımlandırılması ve döküm sıcaklığına getirilmesi amacı ile **tutma fırınları** kullanılır.

Özellikle ikincil tesislerde ve zaman zaman da yüksek kaliteli (jant alaşımları gibi) alaşım hazırlamanın gerektiği birincil tesis dökümhanelerinde tutma fırınları fiziksel ve ergonomik açılardan verimli bir rafinasyon işlemine olanak vermez. Bu durumlarda tutma fırınlarının modifiye şekli olan **konverterler** kullanılabilir.

Son olarak ise, yarı ya da son ürün döküm işlemi öncesi, döküm makina ya da hattı ile uyumlu çalışabilecek, döküm ünitesine stabil sıvı metal sağlayabilecek **döküm fırınlarına** ihtiyaç duyulabilir.

**Şekil 3: Alüminyum tesislerinde metal trafiği:**



### **Fırınlarda Isıtma Şekline (ya da Yakıtlarına) Göre Sınıflandırılması**

**Yanma Bazlı Fırınlarda Isıtma** ya da ergitme için gerekli olan ısı fosil yakıtların yanması ile elde edildiği fırınlardır. Alüminyum üretim süreçlerinde kullanılan yakıtlar doğal gaz ve fuel oil'dir.

**Yanma**, yakıtın oksijen atomu ile tepkimeye girmesi ile gerçekleşir. Yanma tepkimesi sonucunda ısı açığa çıkar. Yakıtların çoğu karbon ve hidrojen içerir. Oksijenin kaynağı ise havadır (hava hacimce % 21 oksijen, % 78 azottan oluşur).

Mükemmel yanma, ancak yakıt ve oksijenin, gerektiği oranlarda karıştırılması ile mümkün olur. Eğer gerekenden fazla oksijen (ya da fazla hava) kullanılırsa, yakıcı alevi zayıf ve oksitleyici olacaktır. Bu hem yakıt kaybına hem de fırın atmosferinin oksidan olmasına neden olacaktır. Ters olarak gerekenden fazla yakıt kullanılırsa (düşük oksijen ya da yetersiz hava), yakıcı alevi zengin ancak redükleyici olacaktır. Yani yanma tamamlanamayacaktır.

Yanma verimi fırına giren ısı miktarının, fırında yararlı olarak kullanılan ısı miktarına oranıdır. Fırında yararlı olarak kullanılan ısı miktarı, başka bir deyişle giren ısı-kayıpları olarak da tanımlanabilir. Isı kayıpları fırın ve özellikle yakıcı sistemlere bağlıdır (baca, duvar, kapı, balkon kayıpları). Farklı ergitme ya da tutma sistemleri için, kaçak ısı miktarının tanımı ve

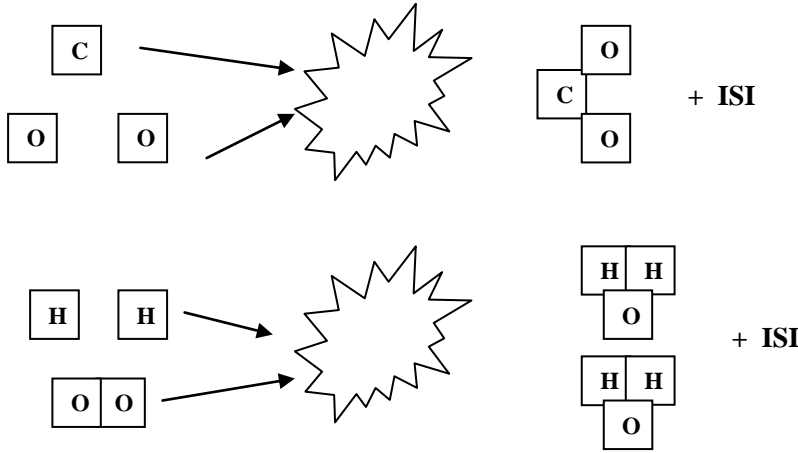
ölçümü zor olduğundan “yararlı ısı (available heat) terimi kullanılır. Yararlı ısı, giren ısıdan baca gazları ile kaçan ısı düşüldükten sonra elde edilen değerin bir yüzdesidir.

#### Şekil 4: Şematik olarak yanma reaksiyonları:

Temel yanma tepkimeleri :

Karbon + Oksijen = Karbondioksit + Isı

Hidrojen + Oksijen = Su buharı + Isı



Elektrik ile ısıtılan fırınlarda ise elektrik akımı ya da elektromanyetik alan ısı kaynağı olarak kullanılır.

**Reverber fırınlar**, metalurjik proseslerde kullanılan klasik fırın tiplerindendir. “reverber” kelimesinin anlamı yansıtma ya da yankılanma olarak Türkçe’ye çevrilebilir. Bu tip fırınlarda ısı iletimi büyük ölçüde fırın duvarlarından ve tavanından radyasyon ile iletildiği için bu adı almıştır. 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. 120 ton hacimsel kapasite ve 10 ton/saat ergitme gücüne sahip fırınlar günümüzde kullanılmaktadır.

Ancak ısıtma kontrolünün güçlüğü ve fırına hurda şarjında, şarjın alevle direkt temasından ötürü oksidasyona uygun ortamlardır. Bununla birlikte fırın içi basınç ve sıcaklığın yeterince kontrol edilmediği durumlar oksidasyonu hızlandırır.

Katı alüminyum mükemmel bir ısı ileticidir. Bu nedenle reverber tipli fırınlarda, katı şarja, ergitme başlangıcında yüksek miktarda ısı sağlanmalıdır. Fırına sağlanacak ısıнын ölçüsü yakıcı kapasitesinin, ergiyik alanına oranıdır (Kcal/m<sup>2</sup>, kW/m<sup>2</sup> etc.). Katı alüminyum şarj,

yakıcıdan gelen ısıyı hızla absorbe eder. Bu koşulda, yanma gazlarının sıcaklığı düşük olacaktır. Katı şarj ergimeye başladıktan sonra ise, ısı iletkenliği düşmeye başlar. Sıvı alüminyumun ısı iletkenliği, katı alüminyumun ısı iletkenliğinin yarısı kadardır. Yani katı şarj ergimeye başladıkça. Ergiğin absorbladığı ısı enerjisi çok büyük oranda azalır. Diğer bir deyişle ısı tranferi azalır.

Ergitme anaçlı kullanılan reverber fırınlarda, genellikle bir miktar sıvı metal fırın tabanında sürekli bırakılır. Fırın tabanında bırakılmış ergiyik içine yeni katı şarj edildiği zaman, ısı transferi oldukça sınırlıdır. Katı şarj ergimete başladıkçe, hem yüzey alanının küçülmesi hem de yakıcı ile şarj arasındaki sıcaklık farkının azalması nedeni ile, şarjın ısı iletkenliği yarıya kadar düşer. Yani şarjın ısı iletkenliğinin en yüksek olduğu katı halde, ergime için gerekli olan enerji maksimumdur. Bu nedenle reverber tipli fırınlarda, fırının ergitme verimliliği ve ergitme hızı (birim zamanda ergitebildiği katı şarj), katı şarjın ne kadar ısı absorblayabildiği ile doğrudan ilişkilidir. Reverber fırın uygulamalarında ergitme ya da tutma işlevlerine bağlı olarak fırın boyutları ve banyo derinliği, ergiyik banyoda karıştırma ihtiyacının (sirkülasyon pompası) hesaplanması için de bu soru temel sorudur. Çünkü, katı şarj nisbeten hızlı ergitildiği zaman, ergimiş alüminyumun sıcaklığının yükseltilmesi daha uzun zaman alır.

**Tablo 1 : Fırın Seçiminin Alüminyum Tesislerine Uygunluğu**

Fırınlar	İkincil tesisler		Kısmi ikincil tesisler		Dökümhaneler		Birincil tesisler	
	Erg.	Tut.	Erg.	Tut.	Erg.	Tut.	Erg.	Tut.
<b>Yanma bazlı fırınlar</b>								
Sabit reverber fırınlar	3	4	3	4	4	4	0	4
Üstten beslemeli fırınlar	3	0	3	0	0	0	0	0
Daire kesitli fırınlar	0	0	1	1	0	1	0	0
Açık balkonlu fırınlar	3	1	3	1	2	1	0	0
İkiz kamaralı fırınlar	3	1	3	1	2	1	0	0
Terletme fırınları	3	0	1	0	0	0	0	0
Tabandan ısıtmalı terletme fırınları	3	0	1	0	0	0	0	0
Kule fırınlar	0	0	0	0	3	0	0	0
Devrilebilir reverber fırınlar	3	4	3	4	4	4	0	4
Varil tipli fırınlar	2	0	2	0	0	0	0	0
Oval fırınlar	2	0	2	0	0	0	0	0
Pota fırınları	0	0	0	0	3	3	0	0
Döner fırınlar	4	0	2	0	0	0	0	0
<b>Elektrik ısıtmalı fırınlar</b>								
Elektrikli reverber fırınları	0	1	0	1	0	1	0	2
Elektrikli pota fırınları	0	0	0	0	2	0	0	0
Cekirdeksiz indüksiyon fırınları	2	0	2	0	3	0	2	0
Kanallı indüksiyon fırınları	1	2	1	2	1	2	0	1

0: kullanılmaz; 1: özel üretimlerde kullanılır; 2: sıkça kullanılır; 3: standart teknoloji; 4: temel teknoloji.

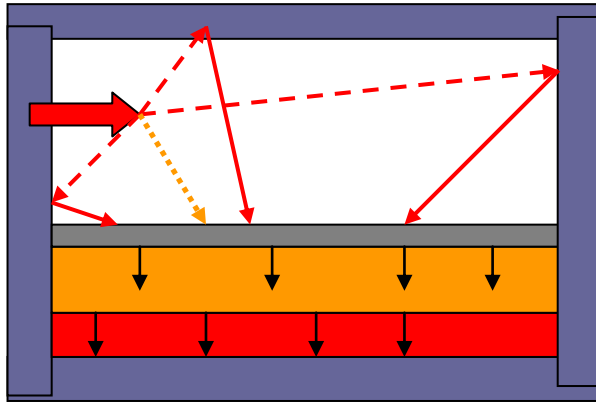


Ergitme için gerekli olan yüzey alanı seçilmiş banyo derinliği ki genellikle 500-600 mm. tavsiye edilir ve istenilen hacimsel kapasite verileri ile hesaplanabilir. Burada gelinecek ikinci önemli nokta yakıcı kapasitesinin seçimi olacaktır. Eğer fırına gerekenden fazla ısı verilirse, baca kayıpları ve curuf oluşturma eğilimi artacak, gerekenden daha az ısı verilirse ergitme süresi uzayacak ve prosesin ekonomikliğı kalmayacaktır.

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

- Düşük ısı verimliliği 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 –örneğı serbest demir-ayrılmazması,
- Büyük boyutlu fırınlarda curuf çekme operasyonunda yaşanan güçlükler olarak sıralanabilir.

#### Şekil 5: Reverber fırını içinde ısı dağılımı



Radyasyon, konveksiyon ve kondüksiyon dışındaki diğer önemli bir ısı transferi mekanizması da, fırın içindeki sıcaklık farklılıklarına büyük ölçüde bağlı olan ısı alışını absorblayan yüzeydir.

Fırın içindeki yaratılan ısının absorpsiyonu sıcaklık farklılıklarına ve ergiyik alanına büyük ölçüde bağlıdır.

Radyasyon ile ısı transferinin bileşenleri :

Alev ve yanma gazlarından ;

refrakter duvarlara ve ergimiş metal yüzeyine,

Rafrakter 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.

Reverber fırınların rafinasyon fırını (konverter) olarak kullanılabilme yetenekleri sınırlıdır.

Reverber fırınların dikdörtgene yakın şekli ve içinde ergimiş metal bulundurabilme özelliğı, ilk yatırım maliyetini arttırsa da, işletme sürecinde çok avantajlı bir tasarımıdır. Ancak sadece rafinasyon amaçlı kullanımının gerektiğı durumlarda, duvarlardan ısı kaybının minimum olduğu ve homojen rafinasyon yapmaya uygun daire kesitli ya da oval fırınlar tercih edilebilir. Daire kesitli ya da oval fırın terciğini belirleyen etmen ise curuf alma tekniğı ve buna bağlı olarak fırın kapısının tasarımıdır.

Özellikle, yalnızca ergimiş metali sıcak tutmak ve rafine etmek amaçlı kullanım gerekiyorsa, silindirik kesitli fırınlar (barrel-type furnace) tercih edilmelidir. Çünkü bu tip fırınlarda duvardan ısı kayıpları minimumdur ve rafinasyon ve curuf alma için fiziksel koşullar daha iyidir. Bu tip fırınlar sabit ya da kaldırılabilir şekilde tasarlanabilir. Şarj malzemesine göre, fırın kapısının boyutları değişebilir ve oval fırın tasarımı kullanılabilir. Genellikle geleneksel yüksek hızlı yakıcı sistemleri kullanılır.

#### Şekil 6: Üstten beslemeli fırın

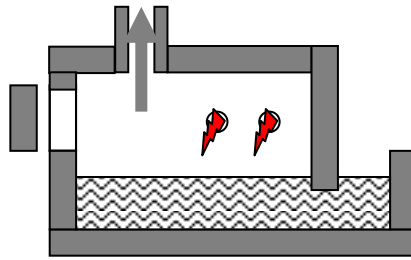
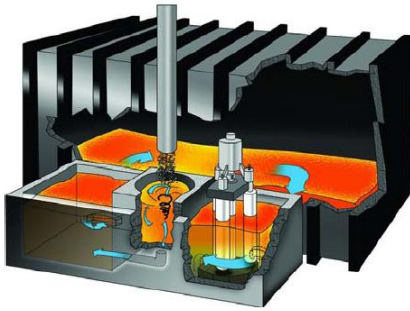


Tutma ve döküm fırınlarının tasarımı, çok fazla çeşitliliğe izin vermez. Ancak ergitme fırınlarında, ergitilecek malzemeye bağlı olarak, çeşitlilik olanaklıdır. Geleneksel Reverber tipi fırınlarda külçe, ingot ya da temiz ve yüzey/ağırlık oranı küçük hurdaların ergitilmesi mümkündür. Temiz ancak yüzey/ağırlık 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.

#### Şekil 7 : Balkonlu reverber fırını



**Balkonlu (side well) reverber fırınlar**, özellikle yüksek yüzey ağırlık/oranına sahip, yani ince kesitli hurdaların sürekli olarak ergitilmesine olanak veren, ana gövdeye ek olarak açık bir kamaranın da yer aldığı reverber tipli fırınlardır. Açık kamarada şarj odası (genellikle girdap yaratarak, ince kesitli hurdaların ergiyiğe batmasına olanak veren sistem), sirkülasyon pompası ve curuf alma odasından oluşur.

Özellikle hurda ergitilen fırınlarda hem metal kayıplarını hem de enerji tüketimini azaltmak için yeni tasarımlar yapılmıştır. Fırın içindeki sıcaklık kontrolü ve yanma havası ile yakıt oranlarının ayarlanması enerji tüketiminin düşmesine neden olmaktadır. Ergitme sürecinde ergiyik üzerinde oluşan curuf tabakasının minimizasyonu, daha iyi operasyon ile bir yere kadar düşürülebilir. Ancak doğrudan alev teması ile çalışan reverber fırınlarda, curuf

oluşumunun azaltılması, fırın içinde başta oksijen ve diğer oksitleyici yanma gazlarının varlığından ötürü sınırlıdır. Özellikle CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O ve O<sub>2</sub> gazları fırın içerisinde sürekli olarak alüminyum şarj ile sürekli temas halindedir. Özellikle yanma için hava kullanılan fırınlarda bu üç gazın kombinasyonlarının oranı , toplam yanma gazlarının yaklaşık % 30 kadarını oluşturur. Ergitme işlemlerinde oluşan curufun önemli bir bölümü bu gazlarla ergimiş alüminyumun teması nedeni ile oluşur. Bu sorundan kaçınmanın ilk denemesi balkonlu fırın tasarımı ile aşılmaya çalışılmıştır.

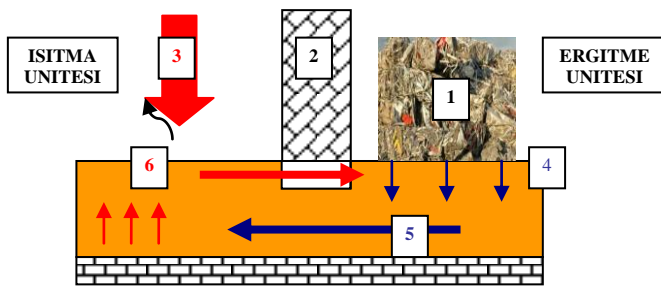
Elektro-manyetik ya da mekanik sirkülasyon pompası kullanımı ile, ana gövde ve balkon arasında sürekli ergimis metal sirkülasyonu yaratılır ve böylece ergitme hızı ve buna bağlı olarak enerji verimliliği artar.

Balkona sarj yapmak ve curuf çekimi, geleneksel fırınlara göre çok daha kolaydır.

**İkiz Kamaralı Fırınlr**, balkonlu fırınlar lak yakma ya da kurutma hattı ile entegre çalışarak UBC ve talaş gibi ince kesitli hurdaların ergitilmesinde başarı ile kullanılır. 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 doğurmuştur. Başka bir deyişle, ikiz kamaralı fırınlar, balkonlu fırınların bir üst modelidir. İkiz kamaralı fırınlar, ergitme kamarası ve ısıtma kamarası olmak üzere iki kamaradan oluşur. Fırının enerji ihtiyacı ısıtma kamarasına yerleştirilmiş yakıcılardan sağlanır. Ergitme kamarasında ise, ısıtma kamarasından gelen sıcak yanma gazlarının sirkülasyonunu sağlamak için fanlar yerleştirilmiştir. Katı metal şarjı alev temasının olmadığı ergitme kamarasına yapılır. Kısmi ön ısıtma ya da lak-boya yakma amaçlı olarak, ergitme ünitesi aynı zamanda bir rampa ile de donatılmıştır.

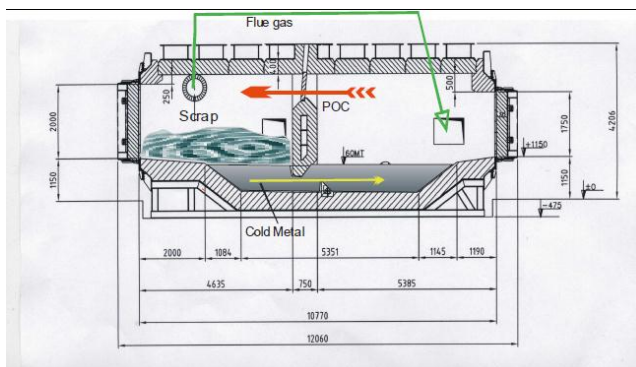
Şarj üzerindeki organiklerin uzaklaştırılması için, yanma gazları ısıtma kamarasından, banyo seviyesinin üzerindeki açıklık aracılığı ile ergitme kamarasına ulaşır. Böylece oksijensiz bir ortam olan ergitme kamarasında, yanma gazlarının taşıdığı ısı ile lak-boya yakma prosesi gerçekleşir. Bir anlamda ergitme kamarasından gelen yanma gazlarının içerdiği nisbeten çok az oksijen, hurdanın içerdiği organikleri yakar.

**Şekil 8 : İkiz kamaralı fırında malzeme akışı**



- 1: katı şarj
- 2: ısıtma ve ergitme ünitelerini ayıran separator duvar
- 3: ısı girişi
- 4: ergiyiğe batan soğuk metal
- 5: ısıtma ünitesine sirküle olan soğuk metal,
- 6:ergitme ünitesine sirküle olan sıcak metal.

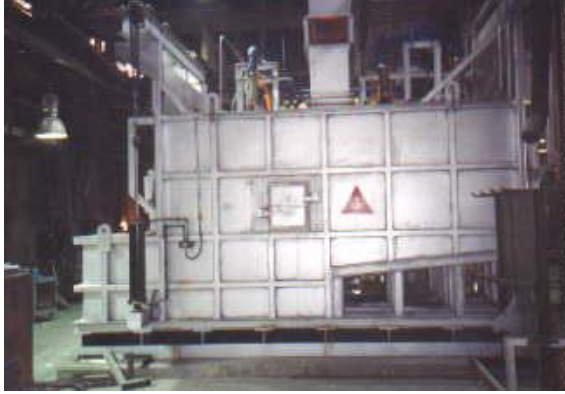
**Şekil 9 : İkiz kamaralı fırın**



İki kamara arasındaki ergimiş metal bağlantısı ise genellikle elektromanyetik, sirkülasyon pompaları ile sağlanmaktadır.

**Kuru gövdeli (terletme) fırınlar,** Kuru gövdeli-terletme fırınlarının (dry hearth, sweating or sloping hearth furnace) tasarımı da kule tipi fırınlara benzer. 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 amaçlı kullanımıdır. Genellikle iki kamara vardır. Her iki kamara ayrı yanma sistemleri ile donatılmıştır ve ayrı ayrı kontrol edilir.

**Şekil 10 : Kuru gövdeli, terletme fırını**



Eğimli ve içinde ergiyik bulunmayan kuru gövde ve bunun önüne yerleştirilmiş, içinde ergiyik bulunan ikinci gövdeden (tutma) oluşur.. Kuru gövdeli bölüme şarj yapılır. Alüminyumun ergime sıcaklığı diğer katışkılardan düşük olduğu için, önce ergimeye başlar ve eğimli rampanın yardımı ile ikinci bölmeye geçer. Ergime sıcaklığı daha yüksek olan demir, bakır ve pirinç gibi katışkılar ise ilk kamarada kalır ve sonra dışarı alınır. Özellikle kuru gövdeli

kamarada, ergiyik bulunmadığı için ertitme daha güçtür ve yakıcı alevinin şarja doğrudan teması nedeni ile oksidasyon riski yüksektir.

Bu riskleri minimize etmek amacı ile çeşitli geliştirmeler yapılmıştır. İnsinerator ilavesi ile, zehirli atık gaz ve partiküllerin tekrar yakılması bunların başında gelir. Son yıllarda doğrudan alev temasından kaçınmak ve yanma kaynaklı emisyonları minimize etmek için tavana yerleştirilen radian yakıcılı fırınlar kullanılmaya başlanmıştır..

**Yaş ve Kuru Gövdeli Kombine Fırınlar-Kule fırınlar (tower furnace/stack melter),** reverber fırınların modifiye edilmiş bir halidir. artan enerji fiyatlarına bağlı olarak, daha yüksek izolasyon ve özel şarj sistemi ile katı şarjın, fırın atık gazları ile ön-ısıtılmasına olanak veren ve böylece daha yüksek enerji verimi ile çalıştırılabilen tasarımlardır. Fırının kuleye benzeyen bölümünden özel şarj sistemi ile katı şarj beslenir. Katı şarjın altında kalan bölüm kuru gövdeli (dry hearth) bir fırın gibi davranır ve fırın atık gazları bu bölmede ön-ısıtma görevini yerine getirir. Burada kısmen ya da tamamen ergiyen alüminyum metal banyosuna (wet hearth) geçer. Bu tip bir tasarım, ertitilecek malzeme tipine bağlı olarak, geleneksel reverber tipli fırınlara göre çeşitli üstünlükler sağlar. Ön-ısıtma ile özellikle proses hurdası ertitmede bir tür ön-yakma ve ingot şarjında ise kurutma yapılmış olur. Şarjın temasta bulunduğu atık fırın gazları, yanma ürünü gazlar olduğu için oksijen içeriği düşük gazlardır.

**Şekil 11 : Kule tipi fırın**



Böylece şarjın curuf oluşturma eğilimi azalır. Ön-ısıtma nedeni ile küçük kapasiteli reverber fırınlara göre, ertitme hızı daha yüksektir. Küçük ergimiş metal tutma kapasitesi, göreceli olarak enerji kayıplarını azaltır. En önemli dezavantajı ise, şarj sistemine bağlı olarak, fırın kapısı ve dolayısı ile şarj boyutlarının sınırlı



olmasıdır. Basınçlı döküm yapan alüminyum tesislerinde yaygın kullanıma sahiptir.

**Elektrikli Reverber Fırınları**, ergiyik banyo üzerinde, çoğunlukla tavan refrakteri içine gömülmüş silisyum karbür kılıf içine yerleştirilmiş ya da farklı resistans elementi ve çelik konstrüksiyondan oluşan reverber fırınlarıdır. Gaz ısıtım fırınlarına göre, eritme için daha düşük yüzey gerektirdiği için daha küçük alana ve daha düşük metal yüksekliğine sahiptirler. Bu nedenle toplam fırın ağırlığı daha düşüktür. Isı transferi rezistanstan ve refrakter duvar ve tabandan ergiyik yüzeyine radyasyon ile gerçekleşir.

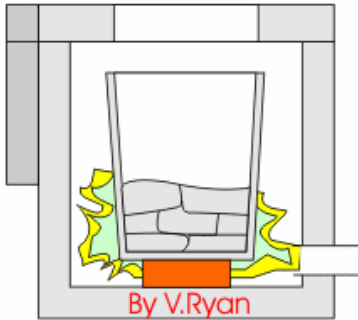
**Şekil 12 : Elektrikli reverber fırını**



Gaz yakıtlı fırınlarda olduğu gibi, yakıcı ünitesi bulunmadığından curuf oluşumu ve ergimiş metalin hidrojen gazı kapma riski daha azdır. Bununla birlikte daha yüksek izolasyon uygulamalarına uygundur ve bu nedenle enerji verimi daha yüksektir. Ancak fluks kullanımı, resistans ömrünü azaltacağından sınırlı olmak zorundadır. Elektrik fiyatları, ısıtma elemanının sınırlı ömrü, sınırlı ısı transferi ve eritme yeteneği nedeni ile genelde eritme amaçlı olarak tercih edilmezler. Yaygın olarak birincil tesislerde tutma fırını olarak kullanım alanı bulurlar.

**Potalı fırınlar**, çoğunlukla farklı alaşımlarda külçe ergiten, küçük dökümhanelerde eritme ve tutma amaçlı ve basınçlı döküm fabrikalarında döküm makinasının yanında tutma ve transfer amaçlı olarak kullanılırlar.

**Şekil 13 : Şematik gaz eritmeli pota fırını**



Küçük kapasiteli işletmeler düşük yatırım bedeli, esnek üretim şansı ve küçük kapasitesi nedeni ile tercih ederler. Gaz ve elektrik ısıtım olarak iki çeşittir. Refrakter bir çerçeve içine pota yerleştirilir. Pota malzemesi pik demir, grafit ya da silisyum karbür olabilir. Indirekt ısıtım fırınlardır. Gaz ısıtım potalı fırınlarda, özel tasarlanmış, kompakt ya da yüksek hızlı yakıcılar ısı kaynağı olarak kullanılır. Potanın ömrü sonlandığında yenisi ile değiştirilir. Gaz yakıtlı pota fırınları genellikle sabit fırınlardır.

**Şekil 14 : Elektrik ısıtım potalı fırınlar**



Pota çevresi boyunca silisyum karbür kılıf içine ya da serbest olarak, ısıtma elemanları yerleştirilir. Sabit ya da devrilebilir olabilir. Gaz ısıtım fırınlarından farklı olarak, seramik fiber malzeme kullanımı ile daha yüksek izolasyonu mümkündür.

Elektrikle ısıtımın getirdiği homojen ısı dağılımı ve minimum curuf oluşturma ve

hidrojen gazı kapma eğiliminden ötürü, daha çok tutma fırını olarak tercih edilir.

**Döner fırınlar**, alüminyum torna ve testere talaşları, küçük alüminyum hurda parçacıkları, önısıtma ya da lak ve boya giderme olanağı olmayan işletmelerde laklı ve boyalı hurdalar ile alüminyum curuflarının ergitilmesinde kullanılır. Ergitme prosesi ergimiş tuz banyosu altında ergitmedir. Ergimiş tuz banyosu yardımı ile minimum oksidasyon ile ergitme olanaklı olmaktadır.

Döner fırınlarda brulörden çıkan alev önce refrakter astarı ısıtmaktadır. Dönme hareketinin etkisi ile refrakter astar ergitme sürecinde emdiği ısıyı geri verir. Bu nedenle ısı verim oldukça yüksektir.

Klasik ergitme sürecinde, sıvı durumda oksit, yabancı bileşikler ve curuflar yüzey gerilimi nedeni ile biraraya gelememektedir. Ancak bu grupların, yüzey gerilimleri düşürülerek biraraya getirilmesi metal kalitesi için önemlidir. Flux/tuz bu etkiyi kimyasal olarak yaparken, fırının dönme hareketi de buna yardımcı olur.

En önemli dezavantajı diğer ergitme sistemlerine göre daha fazla (% 5-10) flux/tuz kullanımı ve bunların atıklarıdır (salt cake).

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 turbulans 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.

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.

Genellikle ötektik noktaya yakın derişimde ve düşük ergime sıcaklığına sahip bileşimde sodyum klorür ve potasyum klorür karışımları flux olarak kullanılır. Flux sıvı ya da katı metali örterek oksidasyonu engeller. Fluksa florid ilavesi ile de küçük metal damlacıklarının birleşerek büyümeleri sağlanarak, okside olmaları önlenebilir. Ergimiş alüminyum üzerinde oluşan oksit tabakası mekanik karıştırma, dönme hareketi ve fluxın kimyasal etkisi ile parçalanır.

**Devirmeli döner fırınlar**, özellikle yüksek enerji maliyetleri ve çevresel baskılar nedeni ile ikincil alüminyum endüstrinin gelişimine paralel olarak, döner fırın teknolojilerinde de ciddi değişimler yaşanmıştır.

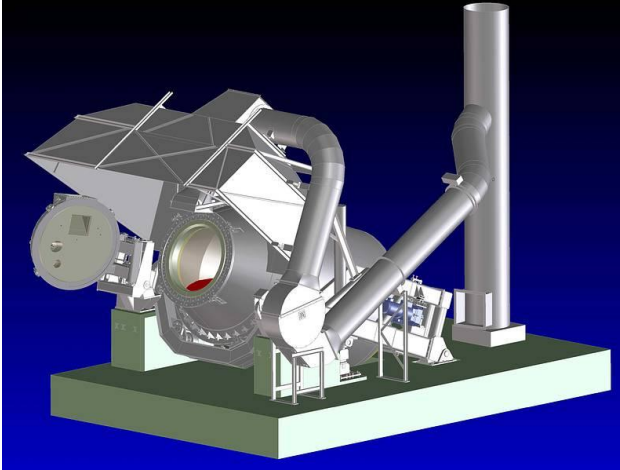
Alüminyumdan üretilen ürünlerde artan çeşitlilik, bunun sonucu olarak hurda tiplerinin çeşitlenmesi, ekonomik gerekçeler ve teknolojik gelişime bağlı olarak, tıpkı birincil metalurjik ekstraksiyon işlemlerinde düşük tenörlü cevherlerin işlenebilmesinin günden güne ekonomik olmaya başlaması gibi, düşük kaliteli hurdaların da işlenme zorunluluğu ortaya çıkmıştır. 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 yelpazasına sahip ve hiç ya da minimum tuz kullanımı ile ergitmenin olanaklı kılınması (kapalı konverter),
- 3- Düşük kaliteli hurdaların, ön işlem gerekmeksizin ergitilebilmesidir.

Devrilebilir döner fırınların “düşük kaliteli hurda işleme” yeteneklerine ilişkin kısa ama önemli bir analizi eklemekte yarar vardır: düşük kaliteli hurda, ergitme prosesinin tipi ve teknolojik düzeyine bağlı olarak yoğun miktarda metal dışı kirlilik (boya, lak, yağ vs.) ve/veya alüminyum dışı metaller (serbest demir, serbest çinko, serbest kurşun vs.) içeren hurdadır.

İkincil ergitme sürecinin en kritik süreci ergitme sürecidir. Çünkü metalik alüminyum kaybının kontrol edilebildiği ve tüm proses içerisinde enerjinin en yoğun kullanıldığı süreçtir. Bu nedenle hurdalara genellikle ön mekanik (kıрма, eleme) ya da pirometalurjik (lak giderme-kurutma) işlemleri uygulanır. Ancak bu ön-islemlerin uygun kapasitelerde seçimi ve ilk yatırım maliyetleri oldukça yüksektir. Oysa çağdaş döner fırınlarda, doğru kullanım ile bu ön-işlemlere gerek kalmaksızın düşük kaliteli hurda, doğrudan ve yüksek verim değerleri ile ergitilebilir. Bu döner fırınları ya da döner tipli konverterleri, diğer fırınlardan ayıran en önemli özelliktir.

#### Şekil 15 : Devrilebilir döner fırın:



Bu değişimler sonucu, daha etkin ve yüksek verimliliğe sahip ve reverber fırınlar ile karşılaştırıldığında yönetimi çok daha kolay ve kontrol edilebilir olan bir tür konverter tasarımına ulaşılmıştır. Bu tasarımın temel avantajları ve geleneksel sabit döner fırınlara üstünlükleri aşağıda sıralanmıştır :

- Ergitme sırasında kullanılan tuz ya da fluks gereksiniminin minimum olması,
- İşletme koşullarının iyileştirilmesi,
- Şarj içindeki başta serbest demir olmak üzere istenmeyen kirliliklerin uzaklaştırılması,
- Hurda şarjının kolaylaştırılması,
- Fırın duvar astarının katı şarj ile kendiliğinden temizlenmesinin sağlanması,
- Düşük enerji tüketimi ve yüksek ısı verim,
- Geleneksel fırınlara göre 2 ya da 3 kat daha fazla ergitme hızı.

**İndüksiyon fırınları**, kanallı ve çekirdeksiz olmak üzere iki çeşitlidir. Ancak bu çalışmada sadece çekirdeksiz indüksiyon fırınlarından sözedilecektir.

Çekirdeksiz indüksiyon fırınları üç ana parçadan oluşur :

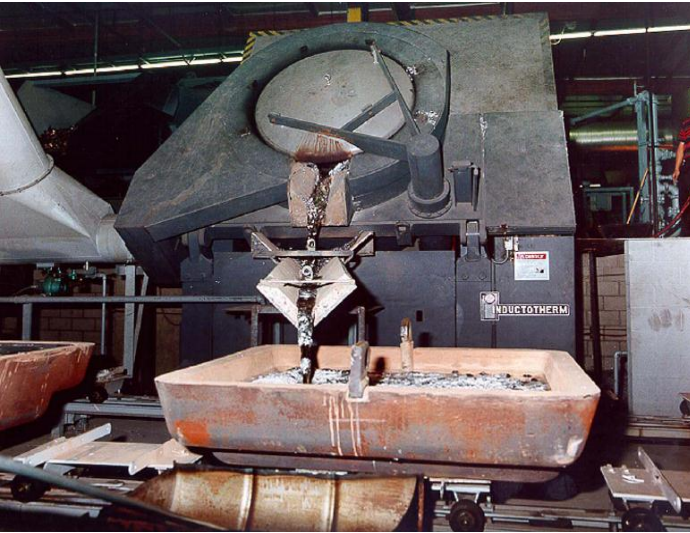
- Pota çevresine sarılmış, su soğutmalı bakır bobin,
- Metal haznesi ya da pota,
- Çelik dış gövde.

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.

Ergitilecek 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 ergitme malzemenin elektriksel direnci sayesinde oluşur.

### Şekil 16 : Çekirdeksiz indüksiyon fırını



İndüksiyon ile ergitme basit olarak bir enerji transferi yöntemidir.

Bir iletken içinden alternatif akım geçtiğinde, çevresinde alternatif manyetik alan oluşturur. Aynı şekilde iletken bir malzeme alternatif manyetik alan içine girdiğinde üzerinde bir akım akışı oluşur. Bu akım dışıya varolan manyetik alanı yok edici yönde zıt bir manyetik alan oluşturur. Dışarıdaki manyetik alan malzemenin içine ilerlerken, bu zıt yöndeki manyetik alandan ötürü zayıflar, bu nedenle akımın büyük bölümü yüzeye yakın oluşur. Zıt manyetik alanın şiddeti frekansın bir fonksiyonudur. Frekans arttıkça yüzeyde oluşan akım zıt manyetik alan yaratmakta

daha etkili olur.

Pota ve sabit bir haznenin çevresinde bulunan bakır indüksiyon bobini ve ocağın içindeki metal, indüksiyon ocağının ergitme için en gerekli en temel donanımını oluşturmaktadır.

Pota dışındaki indüksiyon bobininden geçirilen alternatif akımın sürekli yön değiştirmesi nedeni ile pota içindeki metal sürekli yön değiştiren elektro-manyetik değişken alanlar oluşturmaktadır. Malzemenin içinde oluşan bu indüktif elektrik alanları ise öz direnci aracılığı ile ısı enerjisine dönüşür.

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 ergitme gerçekleşir.

Ancak karıştırma hareketinin ölçüsü çok önemlidir.

Yetersiz karıştırma:

- Metal homojenliğini azaltır,



- Banyodaki sıcaklık farklılıklarını artırır
  - Talaş ve hafif hurdaların ergimesini zorlaştırır,
- Aşırı karıştırma:
- Astar aşınmasına neden olur,
  - Oksitlenme kayıplarını artırır,
  - Metal içinde curuf ve refrakter kalıntılarına neden olur,
  - Metalin gaz kapma olanağını artırır.

## Kaynaklar

1. U.S. Energy Requirements for Aluminium: Historical Perspective, Theoretical Limits and New Opportunities / William T. Choate – John A.S. Green / Prepared for: U.S. Department of Energy, Energy Efficiency and Renewable Energy Industrial Program / Prepared by : BCS Incorporated / February 2003
2. Energy and Environmental Profile of the U.S. Aluminium Industry / Prepared for: U.S. Department of Energy Office of Industrial Technologies / Prepared by: Energetics / July 1997
3. Hall Herault Centennial, First Century of Aluminium Process Technology / Warren S. Peterson – Ronald E. Miller / TMS 115th Annual Meeting / March 1986
4. Birincil ve İkincil Alüminyum Üretim süreçleri / Erman Car / TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası Alüminyum Komisyonu / Yayın No:2 / 1998
5. Aluminium Melting and Metal Quality Processing Technology For Continuous High Quality Castings / Scott Kennedy / Inductotherm / American Foundry Society / 2001
6. Guide to Energy Efficiency in Aluminum Smelters / Pierre Baillargeon – Dominique Leclerc - Hakim Zahar / A joint Project by The Aluminum Association of Canada – Natural Resources of Canada – Office of Energy – Canadian Industry Program for Energy Conservation (CIPEC) / April 1988
7. Efficient Process Heating in Aluminum Industry / U.S. Department of Energy, Energy Efficiency and Renewable Energy Industrial Program
8. Energy Efficiency and Environmental Impact of Melting Secondary Aluminium in Tilting Rotary Furnaces / John Simpson / Dross Engineering / Alusil Aluminium Recycling Conference / St Petersburg / April 2008
9. Modelling and Optimisation of a Pyrometallurgical Batch Reactor, Rotary Melting Furnace in Secondary Aluminium Industry / Bo Zhou – Yongxiang Yang – Markus A. Reuter / Department of Applied Earth Sciences – Delft University of Technology
10. Latest Developments in Recycling Aluminium Dross and Scrap Using Tilting Rotary Furnaces / John Simpson / Dross Engineering / Alusil Aluminium Recycling Conference / St Petersburg / April 2008
11. New Tools for Melting of Secondary Aluminium / H. Gripenberg – Lidingo – J. Ladin – Sunbyberg – O. Falk – Almhult – Niedermeier – Braunau – Inn / Aluminium / Volume 78 / September 2002
12. Handbook of Aluminium Recycling / Fundamentals, Mechanical Preparation, Metallurgical Processing, Plant Design / Christoph Schmidz / Vulkan - Verlag / 2006
13. Improved Aluminium Melting Using Pumping / B. Golchert – H. Metwally – P. King – C. Vild / Light Metal 2006
14. Large Capacity Melting System / C.Vild – A. Peel / Metaullics / Light Metal 2003
15. Advances in Molten Metal Pump Technology Expand the Capability of Aluminium Reverberatory Furnace Production / M. Bright – R. Chandler – R. Henderson / Metaullics / Light Metal 2007

16. New Developments in the Design of Twin Chamber Aluminium Melting Furnaces  
H.Walter Grab – Jan M. Migchielsen / Erzmetall 61 / 2008
17. Advanced Gas Technologies for Recycling and Remelting of Aluminium / P. Biedenkopf  
– V. Hackh – A. Kulkics / Linde A.G. / Metal Bulletin International Secondary Aluminium  
Conference / Milan-Italy / 2004
18. Improving Process Heating System Performance – Source Book for Industry / U.S.  
Department of Energy - Energy Efficiency and Renewable Energy
19. Combustion Handbook / North American / Volume 1
20. Aluminium Recycling / Mark E. Schlesinger / University of Missouri / CRC Press / 2007
21. Energy Savings Technology to Aluminium Melting / Cynthia K. Belt – Brian M. Golchart  
– Paul E. King – Roy D. Peterson – Joseph L. Tassandori / Light Metals 2006
22. Engineered Scrap Melting System / METAULLICS / [www.metaullics.com](http://www.metaullics.com)
23. Advanced in Molten Metal Pump Technology the Capability of Aluminium Reverberatory  
Furnace Production Rates / Mark A. Bright – Richard C.Chandler – Richard S. Henderson /  
METAULLICS / Light Metals 2007
24. A Control Strategy for High Production Aluminium Furnaces / Don Whipple / Bloom  
Engineering / 2004
25. Direct Charged Melters / Don Whipple / Bloom Engineering / 2004
26. Option for Optimizing Recoveries and Energy Consumption in Light-Gauge Scrap  
Recycling / Richard C. Chandler / METAULLICS
27. Furnace Design for Minimizing and Energy Losses Taking into Consideration  
Environmental Protection Requirements / Christoph Schmitz / ALUSIL / February 2008 / St.  
Petersburg
28. Birincil ve İkincil Alüminyum Üretim Sureçleri / Erman Car / TMMOB MMO Yayın  
No:2
29. Options for Optimizing Recoveries and Energy Consumption in Light Gauge Scrap  
Recycling / Richard C. Chandler / METAULLICS
30. A Melt Performance Comparison: Stack Melter v.s. Reverberatory Furnace / Daniel E.  
Groteke – John Fiber / 1999 / [www.moderneq.com](http://www.moderneq.com)
31. A Survey of Gas Side Fouling Heat Transfer Equipment / Final Report / W.J. Morner –  
J.W. Suiter / Prepared by: Jet Propulsion Laboratory / Prepare for: U.S. Department of Energy
32. Aluminium Technology, Applications and Environment / A Profile of a Modern Metal /  
Dietrich G. Altenpohl / 6<sup>th</sup> Edition / TMS 1999
33. Available Heat and Heat Transfer / Basic of Combustion / Don Whipple / bloom  
Engineering / Furnace Technology Workshop / Practical Knowledge for Improved Process  
Performance / TMS / February-March 2007 / Orkando
34. Ekstraktif Metalurji Prensipleri / Fuat Yavuz Bor / I.T.U. Kimya-Metalurji Fakültesi /  
Yayın No:1 / 1985
35. Impact of Good Metal Circulation and Furnace Operation for Increased Performances for  
Sidewell Furnaces / G. Riverin – W. Stevens – D. Bristol – Y. Kocaefe / Light Metal 2007