

## 1.GİRİŞ

Elektrik ark fırını, çelik yapımında kullanılan modern tekniklerden biridir. Elektrik ark fırınlarında sıcak metal kullanılmaz. Yani bu fırınlar soğuk metallerle doldurulurlar. Bunlar genellikle çelik hurdalardır (belirli bir süre kullanıldıktan sonra kullanma ömrünü tamamlamış malzemeler). Bununla birlikte çelik üretiminde demir cevherinden üretilen işlenmemiş sünger gibi malzemelerde kullanılır.

Elektrik ark fırını iki hareketli elektrot arasında bir elektrik arkının oluşması ile meydana gelmektedir. Bu yöntem, elektrod ile eriyen malzeme arasında oluşan bir ark sayesinde ergitme fırınlarında kullanılmaktadır.

Eğer bir elektrik kaynağına bağlanan iki elektrod birbirleri ile temas içinde bulunup ve daha sonra ayrı ayrı hareket ederlerse, aralarında bir elektrik arkı oluşacaktır. Elektrodların daha fazla hareket etmesi temas noktalarındaki direnci arttırır, bu nedenle artan güç temas serbestliğini başlatır ve sıcaklık önemli bir değere çıkar (Edneral, 1979).

Elektrik ark fırınlarında AC ve DC arklar kullanılabilir ve ark voltajının ani düşüşü, düşük oranlarda olduğundan gerekli sıcaklığı meydana getirmek için çok yüksek akımlara ihtiyaç duyulur.

Elektrodlar, ark fırınlarında ergitilen malzemelerin ergitme aralıklarında elektrik akımının iletilmesini sağlar. Genellikle düşük elektrik kayıplarına ve yüksek akım yoğunluklarına sahip olduklarından dolayı, elektrik ark fırınlarında karbon ve grafit elektrodlar kullanılmaktadır(Jones, 2005) .

Genel olarak modern elektrik ark fırınları her ergitme işleminde 150 ton malzeme ergitebilirler ve bu işlemde 90 dakika alır.

Diğer ısıtma yöntemlerine göre elektrik fırınlarının çok önemli avantajları vardır. Elektrik fırınlarının diğerlerine göre daha randımanlı olmasının nedenlerinden bir kaç; kontrollerinin daha düzenli ve kolay olması ve ergitilen malzemenin kirlilik derecesinin az olmasıdır. Isı doğrudan istenilen noktaya iletilebilir. Fırın sıcaklığının güvenli kontrolü, elektrik ısısının kademeli ve kontrollü denetimi ile elde edilebilir. Elektrik fırınları, ısı oluşumunda malzeme içindeki impüritelerin yani istenmeyen kirlenici elementlerin üretim alایشına karışmasına yol açmaz. Sonuç olarak ısının, vakum ya da koruyucu gaz ortamında oluşması kolaylıkla sağlanabilir. Bütün bu avantajlar, uygun bir gücün ayarlanması ve doğru bir kontrolün sağlanması ile elektrik fırınlarının kullanımındaki artışın nedenlerini açıkça ortaya koymaktadır.

Elektriğin kullanılması ile ısı oluşumunun birkaç yöntemi vardır ve bu bölümde en önemli üç yöntem incelenecektir.

1. Enerji üretimi için direnç tellerinden elektrik akımının geçirilmesi, kolay ve çok kullanılan yöntemlerden biridir. Burada ısı doğrudan iletilmesi gereken yerlere kolaylıkla ulaştırılabilir ve belli yer ve noktaları bu yolla kolaylıkla ısıtılması sağlanabilir.
2. Isı, hareket edebilen iki elektrot arasında bir ark oluşması ile meydana gelmektedir. Bu yöntem ısının kısa sürede yüksek konsantrasyonlarda elde edilmesini sağlamaktadır ve ark fırınları özellikle metalleri ergitmek amacıyla kullanılmaktadır.
3. Eğer bir metal bir AC indüksiyon alanı ile çevrelenirse, metalde kılıf etkisi sonucunda ısı meydana gelir. Bu yöntemle metal içindeki sıcaklığın düzenli kontrolü sağlanabilmektedir.

Elektrik ark fırını, 1899 yılında Fransız P.L.T. Heroult tarafından bulunmuş ve ilk kez 1910'da Rusya Bolshevik'de kurulmuştur.

1925-26 yıllarında ilk Heroult fırınları servisi Sovyetler Birliğinde kuruldu, bu fırınlar 250 kg kapasiteye sahipti. Endüstriyel gelişim yıllarında, Sovyetler Birliğinde kapasiteleri 0,5 ile 200 t arasında değişen yüzlerce Heroult fırınları yapıldı. En büyük kapasiteye sahip Heroult fırını USA'da yapılan 360 ton kapasiteli olan fırındı (Edneral, 1979).

XX. yüzyılın sonlarında ve XXI. Yüzyılın başlarında, çelik ve ferro alaşımlarının üretimlerinde kullanılan, enerji tüketimleri 400-750 kWh/t arasında değişen; bazıları oldukça yüksek bir üretim kapasitesine sahip olan Heroult tipi elektrik ark fırınları üretilmiştir (Yıldırım ve diğ, 2001a).

## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

### 2.1. Elektrik Fırınları

#### 2.1.1. Tanıtılmaları ve Faydaları

Birden fazla metalin birlikte ergitilerek karıştırılması ( alaşım elde edilmesi ) işlemi çeşitli usullerle yapılmaktadır. Enerji kaynağı olarak katı, sıvı ve gaz yakıt veya elektrik akımı enerjisi kullanılmasına bağlı olarak imal edilen çeşitli fırın türleri vardır. Bu bölümde yalnız elektrik fırınlarından bahsedilecektir.

Elektrik fırınları, elektrik enerjisinin ısıya dönüştürülmesi esasına dayanan fırınlardır. Bu fırınların ilk tesis, işletme ve bakım masrafları diğer eritme fırınlarına göre oldukça pahalıdır. Fakat sağladıkları avantajlar bu masrafları büyük ölçüde telafi eder.

Elektrik fırınlarının faydaları şöyle özetlenebilir;

- a) Gaz, sıvı ve katı yakıt bulunmadığından kül, duman vb. artıklar olmaz ve metale yabancı madde karışmaz. Fosil yakıtlar kullanılmadığı için ürünün bileşimine kükürt geçişmez.
- b) 2500-3000 °C gibi yüksek sıcaklıklara ulaşılabilir. Ayrıca sıcaklık kolaylıkla ayarlanabilir fırın istenilen sıcaklıklarda yeterince ve kontrollü olarak tutulabilir.
- c) İşletim ve kullanmaları kolaydır.
- d) Değişik kapasitelerde elektrik fırınları yapılabilir.
- e) Bileşim oranları kolay ve çabuk kontrol edilebilir ve metal kaybı çok azdır.
- f) Bu fırınlarla, diğer fırınlara göre standartlara uygun çok daha kaliteli alaşımlar elde edilebilir.

**Tablo 2.1.** Çeşitli metal eritme fırınlarının enerji tekniği bakımından karşılaştırılması.

Fırın Tipi	Enerji Kaynağı	Sarfıyat	Toplam Verim %
Kupol Fırınları	Kok	100-150kg	27-45
Ark fırınları	Elektrik	610-660 kW/saat	59-65
Endüksiyon fırınları	Elektrik	590-650 kW/saat	60-66
Direnç fırınları	Elektrik	780-870 kW/saat	45-50

Elektrik fırınları bugün çok geniş bir kullanım alanına sahiptirler. Doğrudan doğruya soğuk metal ve alaşımları ergittikleri gibi, daha ekonomik fırınlarda (kömürle çalışan kupol fırınlarında) ergitilen metalin sıcaklığını yükseltmekde de kullanılırlar. Tablo 2.1’de çeşitli ergitme fırınlarının enerji sarfiyatı ve verimleri bakımından mukayesesi verilmektedir.

Elektrik fırınları, elektrik enerjisini ısıya çevirme prensipleri bakımından üçe ayrılırlar.

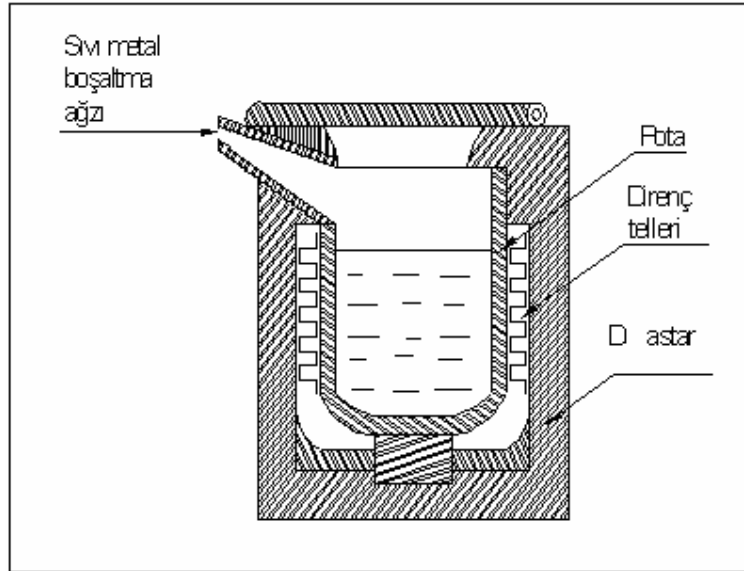
Bunlar;

- a) Elektrik direnç fırınları,
- b) Endüksiyon fırınları,
- c) Elektrik ark fırınlarıdır.

### 2.1.2. Elektrik Direnç Fırınları

Elektrik direnç fırınlarında ısı, direnç telleri ile sağlanır. Bu fırınlarda 1150 °C ye kadar sıcaklık elde edebilse de bunlar, 800 °C den daha düşük sıcaklıklarda ergiyen metallerin ergitilmesinde kullanılırlar. Direnç fırınlarının; ısıtma şekline göre vasıtalı-vasıtasız, metal haznesi bakımından da potalı ve tavalı çeşitleri vardır.

Potalı direnç fırınlarında direnç telleri Şekil 2.1.a’da görüldüğü gibi pota etrafına sarılmaktadır. Bu tellerde açığa çıkan ısı dolaylı olarak metali ısıtır. Direnç tellerinin yüksek ısıya dayanıklı ve oksitlenmez nikel-krom alaşımlı tellerden olması gerekmektedir. Pota ise eritilecek metalin cinsine göre grafit veya demirden olabilir (Ersümer, 1981; Yıldırım ve diğ, 2001b).

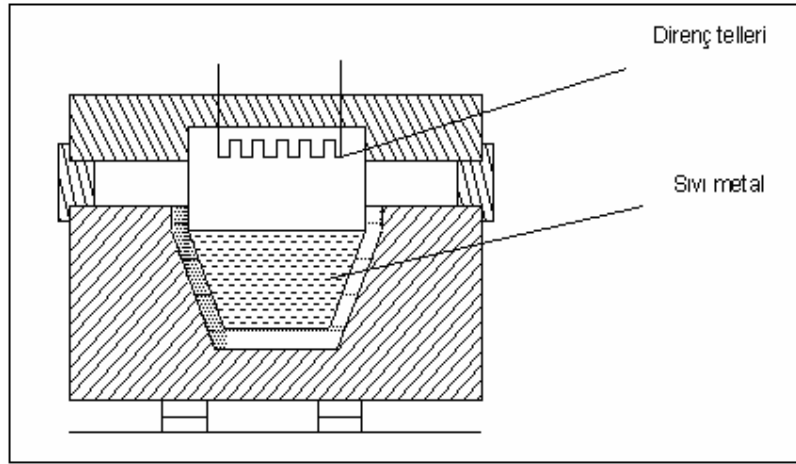


Şekil 2.1.a. Potalı direnç fırını

Bazı tip direnç fırınlarında (vasitasız fırınlar) direnç metalin kendisidir. Metal ise elektrodlar ile temas halindedir. Bu tip fırınlar elektriği kötü ileten metallerin ergitilmesinde kullanılır.

Tavalı direnç fırınlarında ise direnç telleri Şekil 2.1.b' de görüldüğü gibi tavana asılı olabilir. Metal haznesi makaralar üzerinde dönebildiğinden dirençlerde açığa çıkan ısı radyasyon ve konveksiyon yoluyla metali ısıtır.

Direnç fırınlarından potalı olanlar, tavalılara göre daha fazla kullanılmaktadır.



Şekil 2.1.b. Tavalı direnç fırını

### 2.1.3. Endüksiyon Fırınları

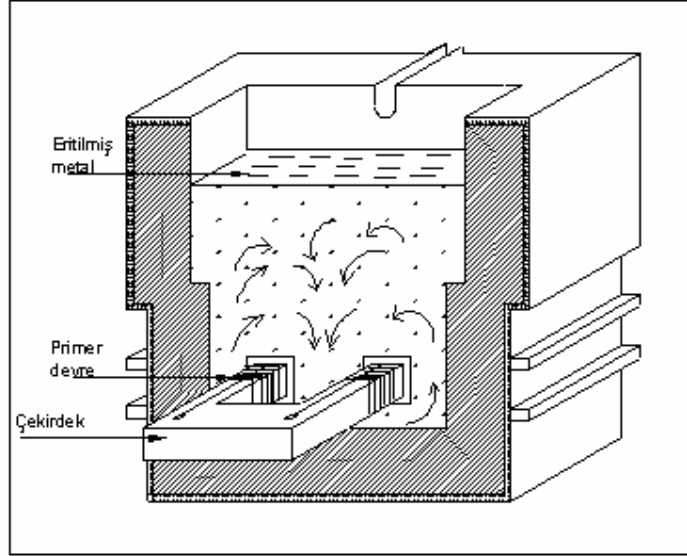
Endüksiyon fırınları, dalgalı akımla ve transformatör prensibine göre çalışan fırınlardır. Elektrik enerjisini endüksiyon yolu ile ısı enerjisine çevirirler.

Endüksiyon fırınları ısıtma şekline göre, çekirdekli ve çekirdeksiz olmak üzere ikiye ayrılırlar.

#### 2.1.3.1. Çekirdekli (kanallı) endüksiyon fırınları

Bu fırınlarda primer devreyi çekirdekli bobin, sekonder devreyi de metal meydana getirir. Sıvı metal, primer devreyi meydana getiren çekirdekli bobin etrafında bir kanal oluşturur. Şekil 2.2'de çekirdekli bir endüksiyon fırını görülmektedir. Bu fırınlarda kanallı

teşkil edecek sıvı metalle işe başlamak gerekir. Onun için çekirdeksiz endüksiyon fırınları daha çok tercih edilir (Bcira, 1980).



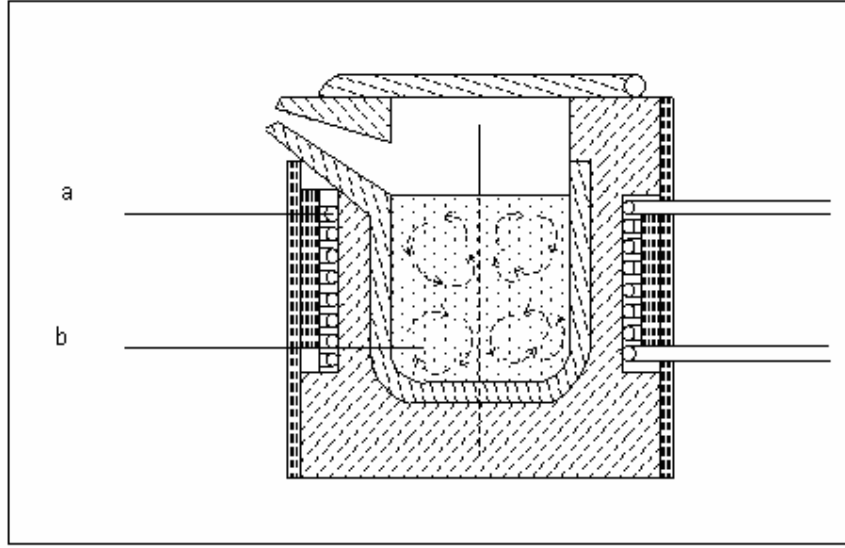
Şekil 2.2. Çekirdekli (kanallı) endüksiyon fırını

Endüksiyon fırınlarında endüksiyonun şiddeti elektrik akımının frekansına ve manyetik alanın şiddetine bağlı olduğu için demir çekirdek kullanılarak manyetik alan kuvvetlendirilir.

### 2.1.3.2. Çekirdeksiz Endüksiyon Fırınları

Bu tip fırınlarda bakır pota, Şekil 2.3'de görüldüğü gibi saf su soğutmalı bakır bobin ile çevrilidir. Potayı saran bakır bobin primer devreyi, pota içindeki metal ise sekonder devreyi meydana getirir. Potadaki metal aynı zamanda çekirdek vazifesi de görür.

Kullanım alanlarına göre, şebeke frekanslı (50 Hz), orta frekanslı (500-3000 Hz) ve yüksek frekanslı ( 1000- 10000 Hz ) endüksiyon fırınları vardır (Fidaner, 1979; Yıldırım ve diğ. 2001c).



Şekil 2.3 Çekirdeksiz endüksiyon fırını

### 2.1.3.3. Endüksiyon Fırınlarının Avantajları

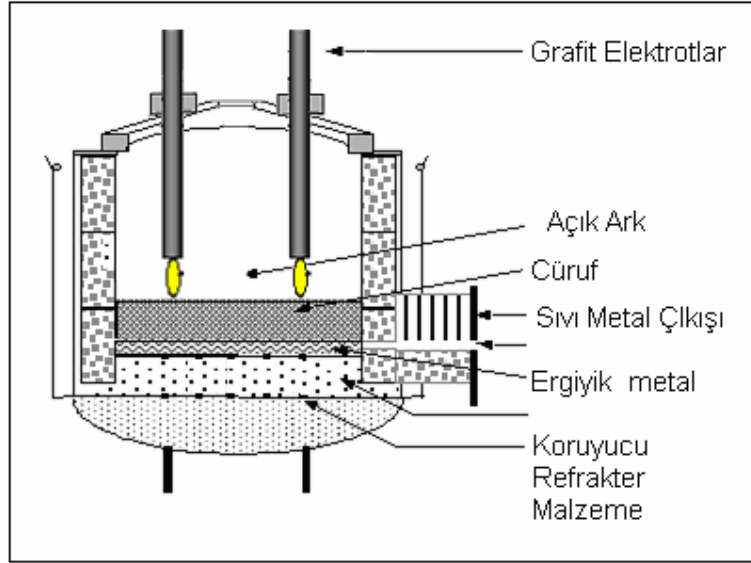
Bu fırınların avantajları şu şekilde sıralanabilir;

- 1- Bu fırınlarda elektroda ihtiyaç yoktur.
- 2- Fırında oluşan elektromanyetik akımın etkisi ile Şekil 2.2 ve Şekil 2.3'de görüldüğü gibi sıvı metalde hareket meydana geldiğinden homojen bir karışım vedağılım elde edilebilir.
- 3- Ergitilen metale yabancı madde karışmaz.
- 4- Düşük frekanslı (50 Hz) olanlarının işletme maliyetleri azdır.
- 5- Ergitme haznesini aşırı ısıtarak istenen sıcaklığa erişmek mümkündür.

Katı metali sıvı hale getirmek için gereken ısı, sıvı metalin ısını muhafaza etmek için gereken ısıdan çok daha fazla olduğu için bu fırınlarda, ergitmenin başlangıcında sıvı metale ihtiyaç vardır. Onun için devamlı çalışmalarda potadaki metalin % 25-30'u bir sonraki şarj için bırakılmalıdır. Bu husus ise, bu fırınlar için bir dezavantajdır (Bcira, 1980).

#### 2.1.4. Elektrik Ark Fırınları

Isı, iki hareketli elektrot arasında bir elektrik arkının oluşması ile meydana gelmektedir. Bu yöntem, eriyen elektrot ile ergiyen malzeme arasında oluşan darbeli ark sayesinde, metal ergitme fırınlarında kullanılmaktadır. AC ve DC arklar kullanılabilir ve ark voltajının ani düşüşü, düşük değerlerde olduğundan (bazen 50 V'un altında) gerekli sıcaklığı meydana getirmek için çok yüksek akımlara ihtiyaç duyulur. Şekil 2.4 'de elektrik ark fırınının elemanları gösterilmektedir (Edneral, 1979).



Şekil 2.4. Elektrik ark fırınının elemanlarının gösterimi

Verimli ve tutarlı olmak gerektiğinden ark fırınları, hurda malzemeleri içeren metallerin hacimsel olarak ergimelerini sağlamak için kullanılırlar. Çok yüksek kalitedeki metallerin üretilmesi için vakum ya da koruyucu pasif gaz atmosferli ortamlar kullanılmalıdır.

Çoğu ark fırınları karmaşık bir mekaniğe ve karmaşık bir elektrik kontrol ünitesine sahiptir. Fırınlar genellikle eğimli olmalıdır ve bunun için çeşitli hız motorları kullanılmalıdır. Ark, hareketli elektrot ve ergiyen malzeme arasında darbelerdir. Darbe ergime esnasında ark boyunu korumakta yardımcı olur. Bu olay genellikle bir tristörlü motor vasıtasıyla kontrol edilmektedir.

Çoğu geniş ark fırınları ana frekanstaki güç miktarlarında üç elektrot ile kullanılırlar. Alternatif akımda çalışıldığında, üç fazın kullanılması arkın daima hazır durumda bulunmasını

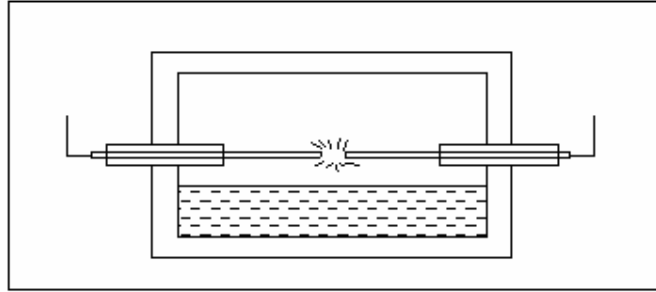
ve sürekliliğini korumasını sağlar. Bir adet hareketli elektrot kullanılarak oluşturulan fırınlara, ana fazlar arasındaki gücün yayılması ve sürekli bir arkın oluşması için doğrudan akım verilir.

Ergime olması için, metal ile temas içinde bulunan hareketli bir elektrot sayesinde, ark darbeleri hale gelir. Hareketli elektrot arkın korunması için kontrol edilir ve ark uzunluğunu ayarlar. Eğer ark sönerse, hareketli elektrot, tekrardan ark oluşturması için metale temas ettirilir (Jones, 2005).

Elektrik ark fırınları ergitme ortamına ve ergitme şekline göre; vasıtalı, vasıtasız ve vakumlu ark fırınları olmak üzere üçe ayrılır;

#### 2.1.4.1. Vasıtalı (endirekt) ark fırınları

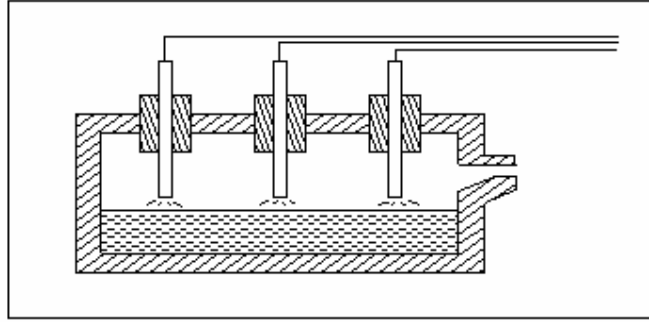
Vasıtalı ark fırınlarında ark, Şekil 2.5’de görüldüğü gibi elektrotlar arasında oluşur. Metal haznesi dişliler vasıtası ile dönebildiğinden, ısı her tarafa eşit olarak yayılarak metali ergitir.



Şekil 2.5. Vasıtalı ark fırını

#### 2.1.4.2. Vasıtasız (direkt) ark fırınları

Bu fırınlarda ark, Şekil 2.6’ da görüldüğü gibi elektrot ile metal arasında oluşur. Direkt ark esnasında meydana gelen yüksek sıcaklık metali ergitir. Bu tip fırınlarda ergitme ortamının yalıtkan maddelerle iyice izole edilmesi gerekir (Çavuşoğlu, 1981).

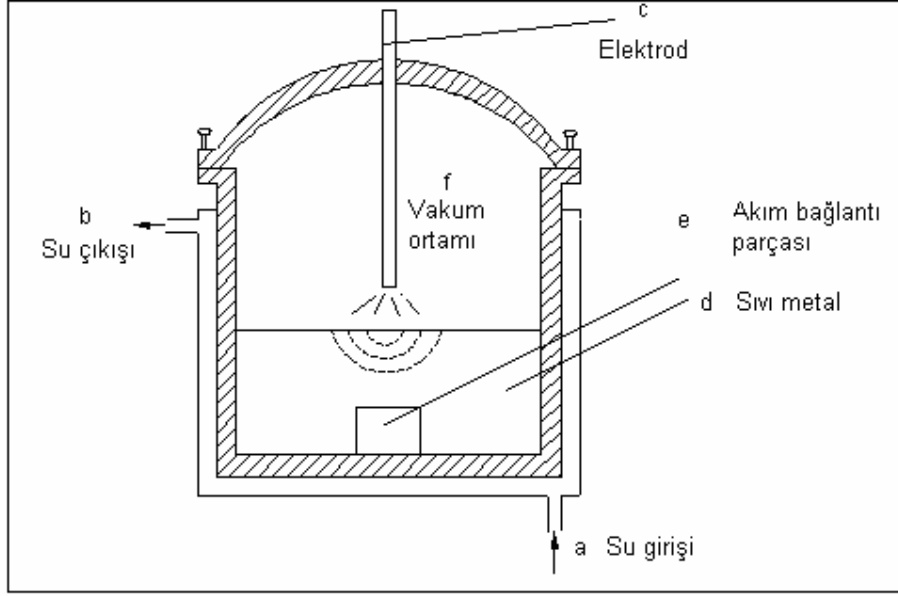


**Şekil 2.6.** Vasitasız ark fırını

### **2.1.4.3. Vakumlu ark fırınları**

Vakumlu ark fırınları açık ark fırınlarının değişik tipidir. Elektrik ark fırınları ile ergitme, açık havada yapılabildiği gibi, vakumlanmış bir ortamda veya vakumlanarak soy gaz doldurulmuş bir ortamda da yapılabilir. Vakumlu ark fırınları, erime sıcaklığı yüksek olan molibden, titanyum, tungsten gibi metallerin eritilmesinde kullanılırlar. Oksitlenmenin önüne geçilebildiği için vakumlu ark fırınları ile; açık ark fırınlarına göre daha kaliteli olan alaşımlar üretilebilir.

Bazı tip fırınlarda su soğutmalı tungsten elektrod kullanılmaktadır. İçinde metal ergitilecek olan pota, su soğutmalı bakır veya çelikten olabilir. Bu fırınlarda Şekil 2.7'de belirtildiği şekilde elektrot ile potadaki metal arasında direkt ark oluşur. Elektrik akımı ayarlanarak ve elektrot aşağı-yukarı hareket ettirilerek metal ergitilir (Winkler, 1980).



Şekil 2.7. Vakumlu ark fırını

## **2.2. ELEKTROTLAR, ELEKTRİK ARKI VE FIRINLARIN ELEKTRİK DONANIMLARI**

### **2.2.1. Elektrotlar**

Elektrotlar, ark fırınlarının ergime sıcaklık aralıklarında, elektrik akımının iletilmesini sağlayan organlardır. Sağlanan enerjinin oldukça büyük bir kısmı elektrotlarda ve elektrotların temas bölgelerinde kaybolduğundan, elektrotların kalitesinin ve akımın oluşum şeklinin çok büyük önemi vardır.

Elektrik kaybını minimuma indirmek için elektrotlar, mümkün olan en düşük elektrik direncine sahip olmalıdır.

Elektrot malzemesi çok fazla gözenekli olmamalıdır. Çünkü gözenekler, atmosferik ortamda sıcak elektrot'un aşırı oksidasyonuna neden olurlar. Fırının eğilmesi esnasında oluşan hafif darbelerle elektrotlarda kırılmanın görülmemesi için, bunların kendi ağırlıklarını kaldırabilecek yeterli bir dirence sahip olmaları gerekmektedir.

Elektrot kısaçaları ve elektrotlar arasındaki temasın yeterince sıkı olması için elektrotların düzenli bir geometrik şekle sahip olmaları gerekir.

Elektrot tasarımı, çalışma esnasında elektrotta yanmanın önlenmesini sağlamalıdır.

Elektrik fırınlarında karbon ve grafit elektrotlar kullanılmaktadır. Çoğu durumlarda grafit elektrotlar karbon elektrotlara göre daha avantajlıdır. İki elektrot çeşidi de düşük elektrik kayıplarına ve yüksek akım yoğunluklarına sahip olduklarından diğerlerine göre 4,5 kat daha fazla elektrik iletkenliğine sahiptirler. Grafit elektrotlar yüksek sıcaklıklarda oksit oluşturabilirler ve bir ton çelik için tüketen elektrot, sadece karbon elektrotun yarısı kadardır. Bu nedenle, gerçekte karbon elektrotlardan iki kat daha pahalı olmalarına rağmen çoğunlukla grafit elektrotlar kullanılmaktadır (Jones, 2005).

Karbon ve grafit elektrotlarının bazı karakteristikleri Tablo 2.2' de verilmektedir.

**Tablo 2.2.** Karbon ve grafit elektrotların bazı karakteristik özellikleri.

	Karbon	Grafit
Elektrik direnci, Ohm (mm <sup>2</sup> /m)	40-60	8-13
Oksidasyonun başlama sıcaklığı, °C	400-500	600
Kül içeriği, %	5,0-7,0	0,2-1,3
Yoğunluk, (g/cm <sup>3</sup> )	1,9-2,0	2,1-2,23
Porozite, %	20-25	27-32
Sıkıştırma gücü, (kgf/cm <sup>2</sup> )	150-300	150-350
Isı iletimi, 1000 °C de kcal / m h °C	50	100

Sıcaklığın artması ile karbon elektrotun elektrik direnci azalırken, grafit elektrotun elektrik direnci ise 600-800 °C' de azalır.

Grafit elektrotların yapımında kullanılan karışım, düşük kül içeriği bulunan malzemelerden (petrol ya da zift) ve katran ziftinden meydana gelmektedir. Grafit elektrotlar, 1300 °C sıcaklıktaki gaz fırınlarında öncelikli olarak ve 2500 °C sıcaklıktaki direnç fırınlarında ise ilave olarak yanarlar. Yüksek sıcaklıklardaki yanmalar grafit kristalinin kabalaşmasına ve uçucu yapı kirletici elementlerin azalmasına neden olurlar. Elektrot imalatında elektrik enerjisinin kaybı 8000 kWh/t kadardır.

Fırın içerisindeki işlem esnasında elektrotlar, elektrik arkı ile atomlara ayrılırlar ve fırın içerisindeki gaz ile yavaş yavaş oksidasyona neden olarak yanarlar. Bazı zamanlarda elektrot o kadar kısa olur ki, ark uzunluğunu koruyamaz. Böyle durumlarda elektrot yenisiyle değiştirilir.

Artık elektrot kaybının azalması için elektrotlar, kısa silindirik kısımlar şeklinde yapılırlar. Elektrot kısımları, konik yada silindirik vidalara sahip memeler tarafından birbirleri ile birleştirilebilirler. Memeler mekanik gücü yükseltmeye yarayan özel parçalardan yapılmaktadır (Edneral, 1979).

### **2.2.2. Elektrik Arkı**

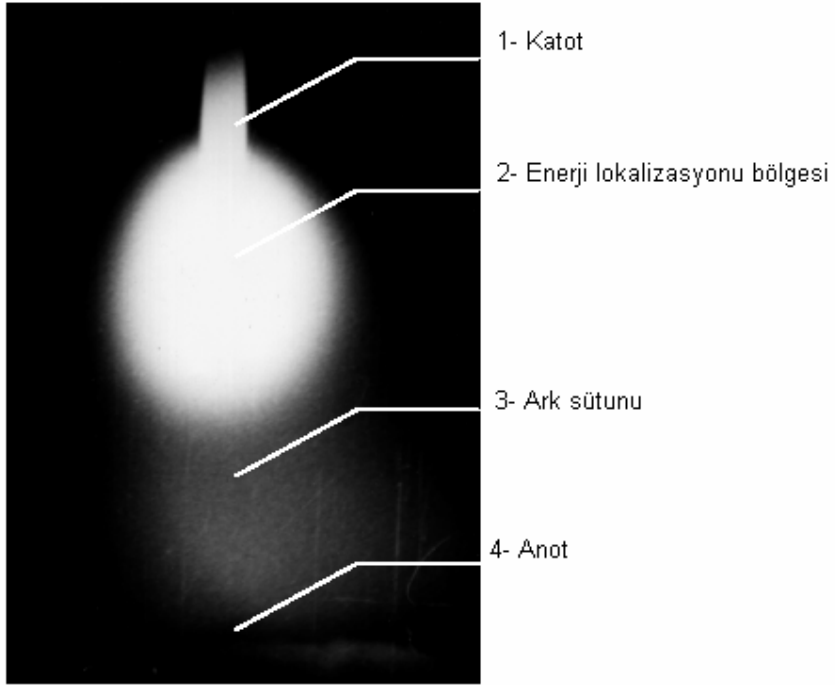
Elektrik arkı, metal ve oksitlerin buharlaşmasından ve gazın iyonlaşmasından dolayı meydana gelen akım geçişi vasıtasıyla elektriğin dışarı çıkmasının bir çeşididir.

Eğer bir elektrik kaynağına bağlanan iki elektrot birbirleri ile temas halinde bulunup ve daha sonra ayrı ayrı hareket ederlerse, aralarında bir elektrik arkı oluşacaktır. Elektrotların daha fazla hareket etmesi temas noktalarındaki direnci arttırır, bu nedenle artan güç, temas

serbestliğini başlatır ve sıcaklık önemli bir değere çıkar. Elektrik arkının oluşmasında hem doğru akım hem de alternatif akım kullanılabilir (Anikeev, 1995).

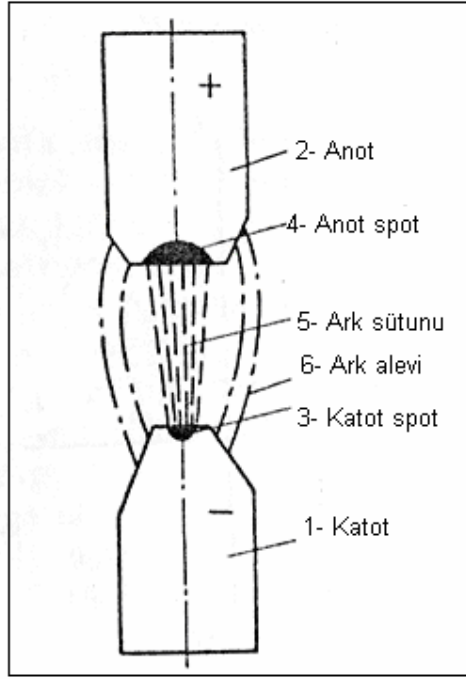
Elektrik arkı olayı 1803 yılında V.V. Petrov tarafından keşfedilmiştir (Edneral, 1979).

şekil 2.8’de ark oluşumu yüzeysel olarak gösterilmektedir. Ark sütununun zemine karşı olan parlak ışığı, enerji oluşumunun küresel katot bölgesindeki yerini tayin ederek karakterize olmasını sağlar. Bu bölgenin boyutu, basınç azaldıkça artar, bu durumda akım da artar. Gaz, büyük iyonlaşma potansiyeli ile kullanıldığı zaman ark birkaç santim uzayabilir (Anikeev, 1995).



**şekil 2.8** Ark oluşumunun gösterimi

Bir elektrik arkının oluşum şeması şekil 2.9’da gösterilmektedir. Bir ark; katot ve anot spotuna, ark sütununa ve ark flamasına sahip olmalıdır. Aşağıda bu ark öğeleri ayrı ayrı ele alınmıştır (Edneral, 1979).



Şekil 2.9. Elektrik arkının oluşum şeması

#### 2.2.2.1. Katot Spot

Isı yayılımı sonucu katot, elektronlarını yayar. Sıcaklık 3000 °C ya da üzerine ulaştığında, elektron yayılımı esasen katot spotta meydana gelir. Metalik bir elektrot üzerinde katot spot, sabit bir şekilde hareket eder. Bu hareket çalışma fonksiyonunu düşürür. Enerjinin büyük miktarı katot spotta serbest kalır (Edneral, 1979).

#### 2.2.2.2. Ark Sütununun Katot Bölgesi

Katot bölgesinin uzunluğu, elektronların serbest yol uzunluğu ile belirlenir. Düşük basınçta katot bölgesi daha uzundur. Katot bölgesinde ve gaz iyonlaşmasında elektronlar yüksek bir enerjiye sahiptirler. Gazdaki pozitif iyonlar katodu bombardımanlar ve bu nedenle de katot sıcaklığı artar. Ark enerjisinin % 10'u katot bölgesinde gerçekleştirilir (Anikeev, 1995).

### 2.2.2.3. Pozitif Geçiş Sütunu

1200 K' in üzerinde bir sıcaklığa sahip olan ark plazmasının bu bölgesinde elektrik, elektronlar tarafından transfer edilir. Ark sütunu nötr gaz moleküllerinden, pozitif iyonlardan ve moleküllerden meydana gelir.

Çelik yapımında ve cevher ergitmede kullanılan elektrik fırınlarındaki ark, katı metal artıklarının, alaşımların ve dökümün yüzeyi ile bir karbon elektrot arasında yanmaktadır. Bir alaşımdaki bütün elementlerin (demir, manganez, silisyum, kalsiyum) erime ve buharlaşma noktaları, ark sıcaklığından düşüktür, sonuç olarak bir alaşımdaki bütün elementlerin buharlaşması daima ark atmosferinde meydana gelmektedir. Atmosferik geçişe karşı vakum ortamında ark, gerilimde kayda değer herhangi bir artış olmazsa uzun olabilir (Winkler, 1971).

### 2.2.2.4. Anodik Bölge

Voltaj düşmesi ile anodik bölgenin uzunluğu, katodik bölgenin uzunluğundan daha küçük olur. Yaklaşık olarak enerjinin % 30'u anodik bölgede ortaya çıkar.

Anot spot bölgesinde, katı ya da sıvı metal, elektronlar tarafından bombardımana uğratılır. Çarpışmada, elektronlar değişik voltaj bölgelerinde gezindiği zaman enerji elde edilir ve elektronların işlevi anoda verilir.

Ark fırınlarında katot, katı ya da sıvı metal ile karbon elektrot arasında bulunan bir alternatif akım tarafından beslenir. Elektrotlar arasındaki boşluk parlak bir flama tarafından çevrelenir. Bu parlak bölge yüksek bir kimyasal aktiviteye sahiptir. Difüzyon olayı aynı zamanda ark sütununda meydana gelebilir. Partiküllerin iyonlaşması, çözünme ile paralel olarak devam eder.

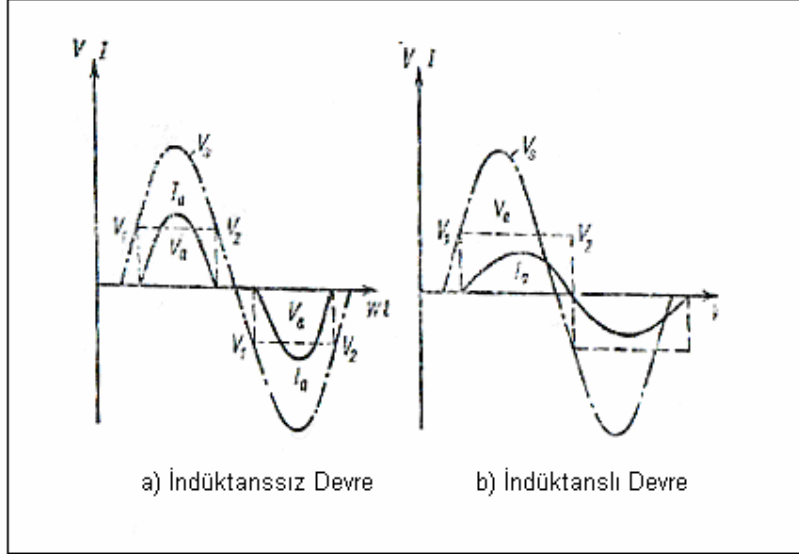
Ark yandığından dolayı kararlı bir ark sıcaklığı, gazın iyonlaşma potansiyeli ile orantılıdır ve bu olay aşağıdaki denklemde verilmektedir.

$$T_a = 800 V_i$$

Akım büyüklüğü, basınç, soğutma durumu ve bazı diğer faktörler ihmal edildiği halde bu formülle, kabaca ark sıcaklığı tahmin etmek mümkündür.

Çoğu çelik imalatında kullanılan ark fırınları, alternatif akımla çalıştırılır.

Alternatif akımda devre voltajı ve akım, maksimum değere ulaşır ve daha sonra her bir yarım periyot ta sıfırdan geçer. Ana voltaj, ark voltajı ve ani akım eğrisi Şekil 2.9' da gösterilmektedir. Sıfırdan geçtikten sonra ana voltaj artar, ama tutuşma gerilimi olan  $V_1$  ark gerilimine ulaşana kadar ark tutuşmayabilir. Bu durumda devrede akım görünür.



Şekil 2.9. Ark akımı  $I_a$ , ark voltajı  $V_a$  ve ana voltaj  $V_s$  eğrilerinin gösterimi

Ana voltaj sıfırdan geçmeden önce ark,  $V_2$  voltajında söner. Bu durumda devrede akım görünmez. Sıfırdan geçtikten sonra, bütün anlatılanlar tekrarlanır.

#### 2.2.2.5. Aralıklı Ark Yanmaları

Duraklama zamanı, diğer faktörlere bağlı olarak oluşur. Eğer ark iki karbon elektrot arasında oluşuyorsa, her bir elektrot katot ve anot olduğundan duraklama zamanı geniş olmayacaktır. Eğer karbon katotlu bir ark fırınında olduğu gibi, elektrot ve metal arasında bir ark oluşursa, elektron yayılımı, iyonlaşma ve hava aralığının geçirgenliği nedeniyle ark yanar ve bu nedenle de metal ısınır. Metalik yükleme işlemi başlangıçta soğuktur ve metal, yüksek termal iletkenliğine sahiptir bu nedenle ısı, soğuyan kısımlarda oluşan ark ile ısınan kısımlardan çabucak transfer edilir. Polaritedeki değişiklik nedeniyle, metal katot olduğu zaman, metalin sıcaklığı elektron yayılımı için yetersiz olur ve ark yarıda kesilir.

Transformatör gücünün tam olarak kullanılmaması ve bu nedenle de ergime periyodunun uzatılmasından dolayı oluşan karasız bir ark sakıncalıdır. Sürekli ve düzgün bir arkin oluşması için devreye seri indüktörler bağlanır (Klain ve Wimmer, 1995).

Eğer ark akımı  $I_a$  ise, indüktördeki potansiyel elektromanyetik enerji,  $LI^2/2$  dir. Akım artarken potansiyel elektromanyetik enerji de artar ve elektromotor kuvveti daha büyük olur, akım hızı değişir; elektromotor kuvveti,  $L=0$ ' dan daha düşük akımların oluşması nedeniyle ana voltaja zıt yönde oluşur ( Şekil 2.10.a ve b ).

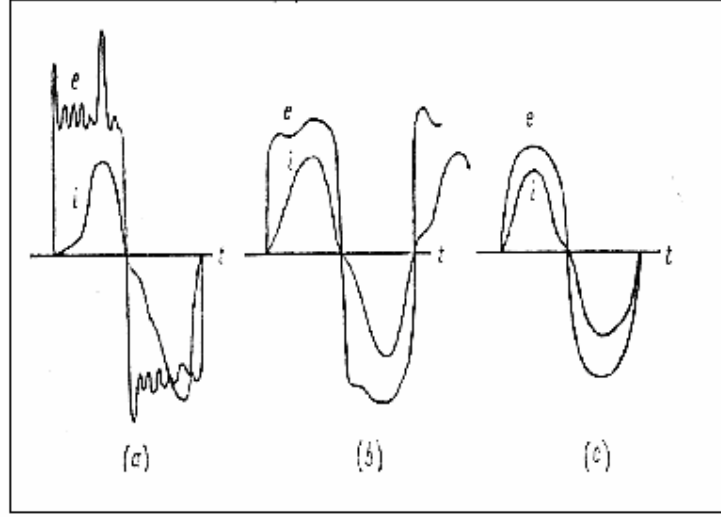
Akımda azalma başladığında, zıt elektromotor kuvveti ana voltaja uyar ve böylelikle akım düşüşü önlenir ve devredeki potansiyel elektromanyetik enerji, arktaki ve devre direncindeki ısıya transfer edilir. Eğer devrenin indüktansı yeterli büyüklükteyse, ark aynı elektrot potansiyeli ve aynı akım yönü ile sürekli yanar, fakat ana voltaj negatif olur (Şekil 2.10.b).

Şekil 2.10' da görülen ark akımı ve gerilimi, endüstri fırınlarının osilografisidir.

Şekil 2.10.a' da görülen eğri, katı eğriye periyodudur. Ark voltaj salınımları ilk yarıdaki periyotta kuvvetlidir ve ark kesilebilir. Yukarıda ince bir cüruf tabakası olduğundan elektrotlar yüklemeye esnasında ve merkezdeki ergimiş metal banyosuna uzanırken kesilerek, osilografi modelini değiştirirler (Şekil 2.10.b). Ark voltajı kararlı duruma getirilir ve ark yarıda kesilmez.

Ark sütunu, az oranda soğutulur ve tutuşma gerilimi diğerlerine göre daha düşük olur. Ark tutuşma gerilimi sabittir, tutuşma ve sönmeye aynı çıkıntılar oluşmaz ve voltaj eğrisi bir yamuğu andırır.

Isı periyodu azalırken metal, elektro iletken bir cüruf tabakası ile kaplandığı zaman ve yüklenen parçalar katı olmadığı zaman, ark voltajı osilografisi pürüzsüz ve yakın boşluklar oluştururlar (Şekil 2.10.c). Zayıf soğutma durumlarında ark yanar. Artan akım periyodu esnasında, ark sütununun de-iyonizasyonu yarım periyodun sonunda öyle yavaşlar ki, polaritedeki değişiklik esnasında devredeki akım akışının korunması için sütundaki partiküller yeterince yüklenir. Periyodun tamamlanması esnasında ark boşluğunun direnci sabit kalır. Voltaj eğrisi boşluklu olurken, ark akım eğrisi de boşluklu olur.



Şekil 2.10. Çelik üretim fırınlarında ark akımı ve geriliminin osilografisi

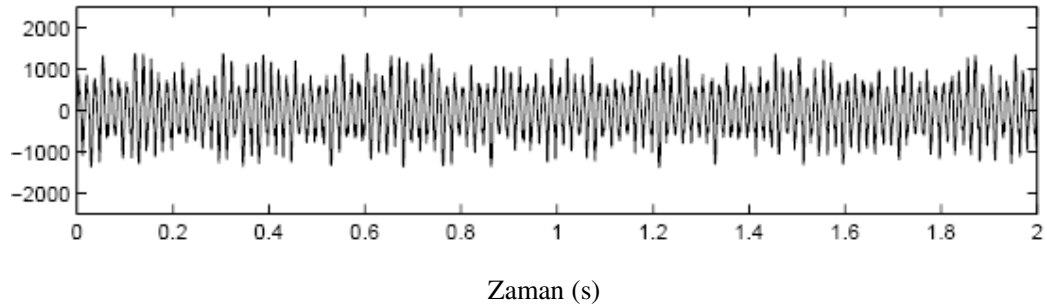
Elektrot malzemelerine bağlı ark tutuşmasının sağlanması için düşük gerilimler (V) gerekmektedir. Elektrotlara göre bazı gerilimler Tablo 2.3' de verilmektedir (Edneral, 1979).

Tablo 2.3. Elektrotlara göre gerilimler

Karbon-karbon	17 Volt
Karbon elektrot- metal	26 Volt
Karbon elektrot-ana cüruf	9 Volt
Karbon elektrot-asit cüruf	30 Volt

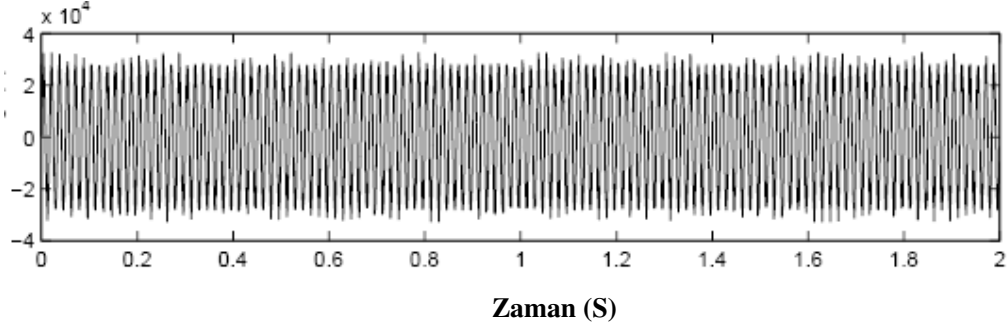
Şekil 2.11.a ve b' de akım ve gerilimin lojistik modellemesi gösterilmektedir.

Akım



Şekil.11.a. Akımın lojistik modellemesi

### Gerilim (V)



Şekil 11.b. Gerilimin lojistik modellemesi

Eğer banyo, asit cüruf ile örtülürse, düşük bir indüktans ile ark pürüzsüz olarak yanar. K.K. Khrenov'a göre kalsiyum (ana cüruftaki baş element), demirden daha düşük bir iyonizasyon potansiyeline sahiptir ve bu nedenle de ark boşluğundaki iyonizasyon şiddetlenebilir ve arkın kararlılığı artabilir (Heydt ve diğ., 2005).

Akım, gerilim ve alternatif akım direnci arasındaki bağıntı, Ohm kanunu ile açıklanmaktadır.

$$I = \frac{V}{\sqrt{r^2 + X^2}} = \frac{V}{\sqrt{r^2 + (\omega L)^2}}$$

r = Ark ve tesisat kablolarının ohmik direnci,

X = Devre reaktansı,

$\omega$  = Açısal frekans,

L = Devre indüktansı.

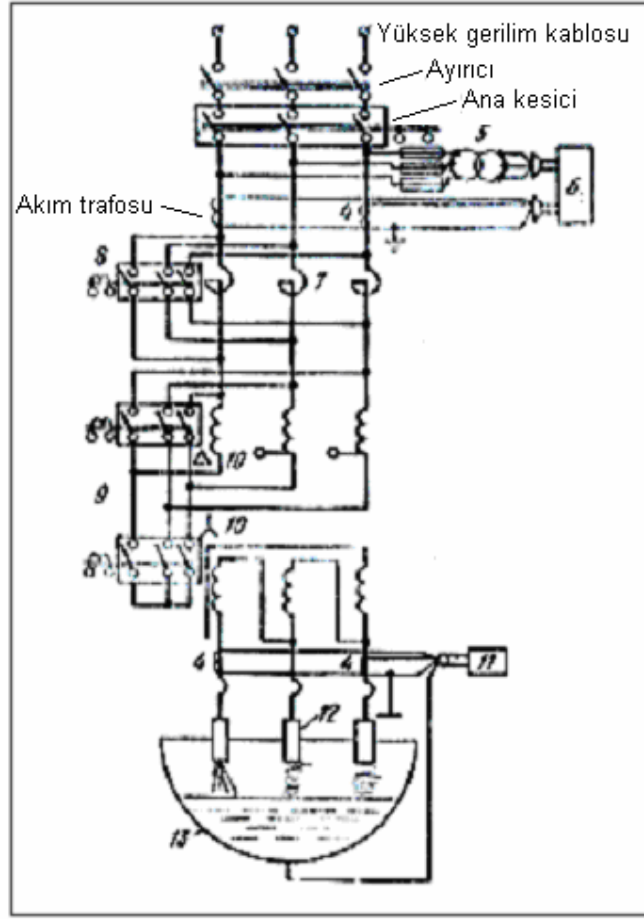
Böylelikle bir ark fırınına uygulanacak olan akım, gerilim ve akımın empedansı tarafından belirlenir. Devre direncinin düşük olması nedeniyle, akımın artması için, gerilim ve indüktans verilir. Bu olayın başarılması için elektrotların daha da aşağıda olması gerekmektedir (Heydt ve diğ., 2005).

### 2.2.3. Fırınlarnın Elektrik Donanımları

Elektro elik üretim fırlarının, bölgesel g istasyonlarındaki enerjiyi ya da birkaç g istasyonunun birleşimi olan bir g şebekesindeki enerjiyi kullanması gerekebilir. Elektrik enerjiyle çalışan fırlar, elektriği çok fazla tkütirler. Bir fırlanın çalışma gerilimi 100-800 V arasındadır ve çalışma akımı 10,000 Ampere kadar ulaşmaktadır. Enerji, 110 kV' un üzerindeki bir gerilimde çalışan elik üretim atölyesi için uygundur. Bu yüksek voltaj, fırlın transformatrlnn primer sargısını besler (Jang ve Wang, 1998).

Şekil 2.12'de üç fazlı ark fırlınının basitleştirilmiş elektrik devresini göstermektedir. Bir atölyede sadece bir yada iki fırlın ile birlikte bütün elektrik donanımları fırlının yakınına monte edilir ve enerji yüksek gerilim kablosundan geçerek iletilir.

Yüksek voltaj dağıtım nitesi adını alan bölüm, bütün yüksek gerilim ekipmanlarına yetecek kadar yere sahip olduğu müddetçe, çok fazla fırlına sahip olan atölyelerde, sadece transformatrlar ve kontrol panelleri elektrik ark fırlınının yakınına monte edilir. Yüksek gerilim kabloları yeraltından geçerek, akımı fırlın transformatrlne ulaştırır (Collantes, 1997).

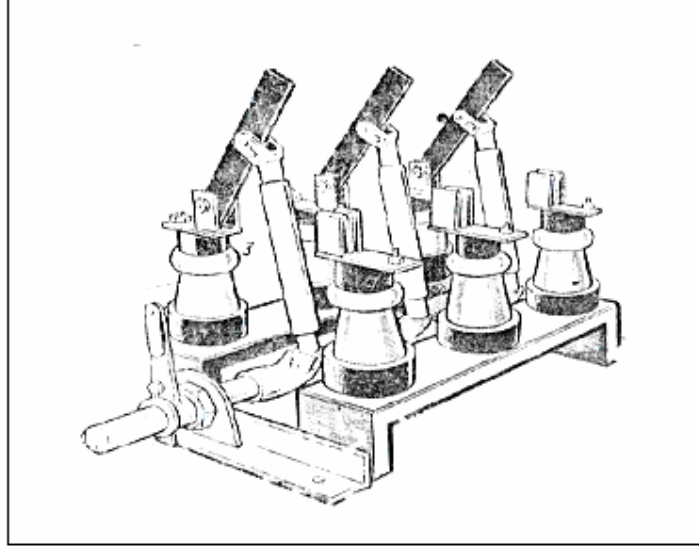


**Şekil 2.12.** Elektrik ark fırınının akım devresi. 1- Yüksek gerilim kablosu; 2- Ayrıcı; 3- Ana kesici; 4- Akım transformatörü; 5- Gerilim transformatörü; 6- Ölçü aletleri ve koruyucu röle; 7- Sabitleyici indüktans; 8- Anahtar; 9- Gerilim anahtarlama; 10- Fırın transformatörü; 11- Röleler, ölçü aletleri ve kontrol aletleri; 12- Elektrotlar; 13-Metal

### 2.2.3.1. Ayrıcı

Ayrıcılar, devrede görünür bir kesme yapmak için ve fırın devresindeki onarımlar için elektrik fırınının anahtarını kapatmaya yararlar.

Bir ayırıcının, sabit ve kesici temas yerleri bakırdan yapılır (Şekil 2.13). Havalı bir ayırıcı, yüksüz durumda kesme yaparak, açma kapama anahtarı olarak kullanılabilir (Vardan ve diğ, 1996).

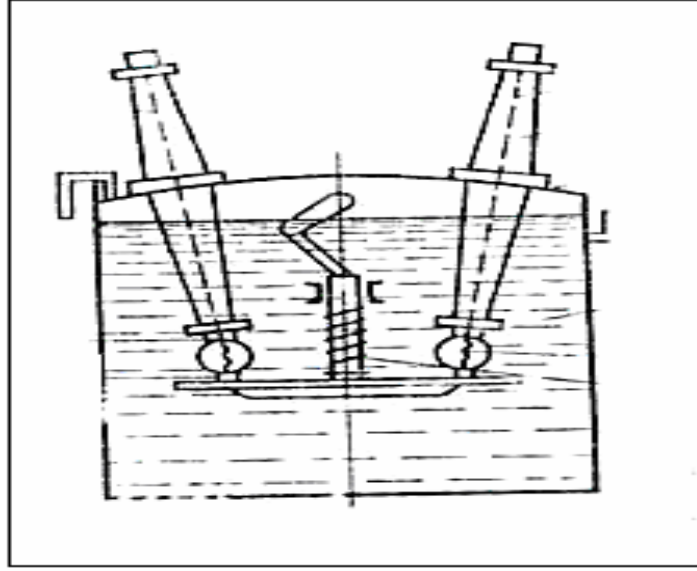


Şekil 2.13. Üç kutuplu ayırıcı

### 2.2.3.2. Ana Otomatik Kesici

Yüksek gerilim kesicileri, yük altında yüksek voltajlı elektrik devresini kesmeye yarar. Yağlı kesiciler, çelik imalatı yapan fabrikalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bir yağlı kesici (Şekil 2.14), bir tank, kapak ve taşıyıcı porselen yalıtıkandan meydana gelmektedir. Tank, mineral transformator yağı ile dolar.

Yük altında kesicinin anahtarı kapatıldığında görünen elektrik arkını söndürmek amacıyla yağ kullanılmaktadır. Arkın söndürülmesi esnasında hidrojen ve başka diğer gazlar ortaya çıkmaktadır. Yağ, temas noktalarını ve oluşan gazları soğutur. İlâvetende yağ, akımı ileten bölümleri yalıtma görevini üstlenir.



Şekil 2.14. Yağ kesici

Arkın sönmesi esnasında gaz patlamalarını önlemek için, kapak ve yağ yüzeyi arasında bir boşluk bırakılmalıdır oluşan ve patlamaları önlenen gazlar, bir gaz boşaltım borusu ile dışarıdaki havaya karışır.

Akım, temas çiftinin solundan, yalıtılmış bir hareket çubuğu yolu ile akar ve daha sonra sağ taraftaki temas çiftinden zıt yöndeki kısma bakır yolu ile geçer (Edneral, 1979).

### 2.2.3.3. Akım Ve Gerilim Transformatörünün Ölçümü

Fırın trafosunun yüksek gerilimi; ampermetre, voltmetre, wattmetre ve pasif yük ölçeri gibi ölçü aletleri ile ölçülür. Akım ve gerilim ölçümleri ile kullanılan aygıtlar (gerilim altındaki röleler) transformatörler sayesinde korunur.

Akım transformatörü ölçümü yük akımını sabitleyici indüktans ve yağ kesicisi arasında yer alırken, gerilim transformatörü ölçümü yağ ayırıcı ve havalı kesici arasına monte edilir.

Elektrot hareketinin otomatik kontrolü ve ölçüm aletlerinin bağlanması için, akım transformatörü, fırın transformatörünün sekonder tarafındaki hareketli kola bağlanır (Montanari ve diğ.,1994).

### 2.2.3.4. Fırın Transformatörü

Fırın transformatörü düşük gerilimdeki enerjiyi yüksek gerilime dönüştürür. Fırın transformatörü, güç transformatöründen daha etkilidir. Fırın transformatörü, arkın tutuşması

esnasında sık sık oluşan kısa devrelere dayanmalıdır. Bu nedenle, transformatör sargıları güçlü bağlantılara ve çok kuvvetli yalıtımlara sahip olmalıdır, aynı zamanda da çok yüksek akımlara dayanabilmelidir. Güçlü fırın transformatörleri, yağ soğutma sistemine sahiptir. Isınan yağ, transformatörün dışında bulunan su soğutucusuna daldırılan bir bobin içinden geçerek transformatör tankından pompalanır.

Transformatör içindeki yağın sıcaklığı 75-80 °C'nin üzerine çıkmamalıdır, aksi takdirde yalıtımın ömrü çok kısa olur. Yağın yedek olarak tutulması için, transformatörün üzerine küçük bir tank yerleştirilir. Bu tank, hava ile yağ arasındaki temas alanını minimuma indirmek için, transformatörü daima yağ ile doldurur(Nadira ve Patrick, 1988) .

### **2.2.3.5. Ark Akımını Sabitleyici İndüktans**

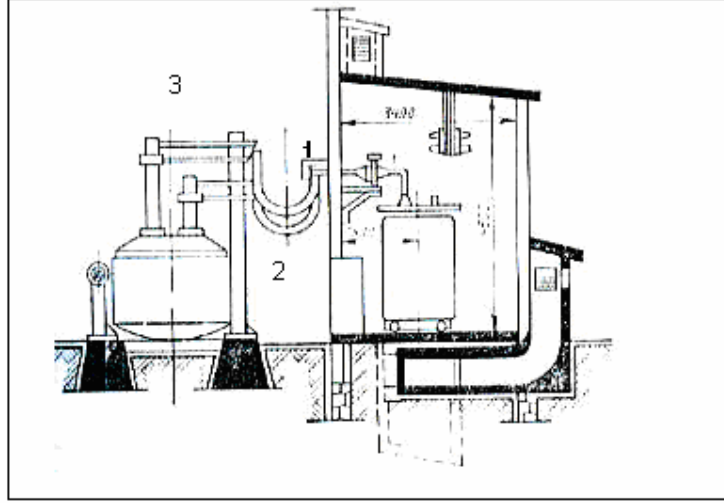
Sabitleyici indüktans, fırın transformatöründen önce bağlanır. Sabitleyici indüktansın amacı, devrede ek bir indüktans kullanılarak ve elektrotun metal ile temas etmesi ile kısa devrede akım artışını sağlayarak, elektrik arkının kararlı bir duruma gelmesine yardımcı olmaktır.

Sabitleyici indüktans transformatöre benzemez. Bu indüktans sadece primer gerilim sargılarına sahiptir. Nüveler ve sargılar, transformatör yağı ile doldurulan bir tabaka ile korunur. Aslında sabitleyici indüktans, bir direnç ve bir indüktanstan oluşmaktadır (Montanari ve diğ,1994).

### **2.2.3.6. Sekonder Devre**

Sekonder devre, fırın transformatörünün sekonder uçlarından elektrota bağlanan devre iletkenlerinden meydana gelmektedir. Elektrik kayıplarını minimuma indirmek için, fırın devresinin bu bölümü mümkün olduğunca kısa mesafeli yapılmalıdır.

Şekil 2.15 deki diyagramdan da görüldüğü gibi, sekonder devre üç bölümden meydana gelmektedir: Bnlar; fırın bloğunun dışındaki uçlara, transformatörün sekonder uçlarının bağlanması için gereken düzenek (1); elektrot tutucu kolu için esnek bir kablo bağlantısı (2) ve tutucu kolunun üzerindeki su soğutucu tüpleri (3) (Edneral, 1979) .



Şekil 2.15. Ark fırının sekonder devresi

### 2.2.3.7. Güç Kabloları

Su soğutmalı güç kabloları, sadece sekonder devresinde esnek bir bağlantı sağlar. Bu kablolar, fırın yüklendiği zaman, kapak ve elektrot kollarının salınımını ve elektrot kollarının aşağı yukarı hareketini sağlamak için esnek olmalıdır. Güç kablolarının yakın temas sağlamaları için bağlantılar gümüş tabakadan yapılır. Kabloların her iki ucu bakıra lehimlendiğinden güç kabloları, silindirik bir yapı şeklinde bakır telden meydana gelir. Kablonun dışına sarılan plastik örtü, su soğutmasına izin verir (Vardan ve diğ, 1996)

### 2.2.3.8. Isının Otomatik Kontrolü

Bir elektrik fırını için uygulanan güç, ısı süresince değişiklik gösterir. Bu değişiklik, ark akımı ya da sekonder gerilimi tarafından ayarlanmalıdır. Gerilim, transformatörün primer sargısı üzerindeki anahtarlama değişiklikleri ile ayarlanır. Yapılan anahtarlamalarda çalışıldığı zaman uygulanan güç, ark akımının kontrolü ile ayarlanmaktadır.

Verilen gerilimde ark akımı metal ile elektrot arasındaki boşluğun değiştirilmesi ile ayarlanabilir.

Elektrotlar hem elle ve hem de otomatik olarak hareket ettirilebilirler. Bütün modern fırınlar üç faz kontrollü bir sisteme sahiptir.

Uygun bir kontrol ve bir dişli düzeneği ile elektrodu aşağı ve yukarı hareket ettirmek için bir motor kullanılır. Kontrol sistemi, elektrodun aşağı yukarı hareketi için motor anahtarlarını düzenleyen ve fırındaki elektrik değişikliklerini ayarlayan bir düzendir (Jones, 2005).

Isının her bir periyodu, otomatik elektrik kontrolü için özel gereksinimlere sahiptir. Ergime periyodu esnasında arklar çok kararsız bir şekilde yanarlar. Ark, soğuk olarak yüklenen başka bir parçadan atlama yapar. Akımın aniden yükselişi, kısa devre oluşumu ve güçteki ani artış nedeni ile yüklenen parçalar elektrotun en altına inerler.

Oksitleme periyodu esnasında arklar çok kararlı bir şekilde yanar. Ama akım, banyo ısısı nedeniyle önemli bir derecede kararsız hale geçer. Yüksek frekansa neden olan bu akım salınımları % 20 kadar yükselebilir. Azalan periyot esnasında arklar tamamen yanar ve otomatik kontrol çok uygun bir durumda çalışır. Periyot esnasında kontrolün ana fonksiyonu, elektrotlar yolu ile banyodaki karbürizasyonu önlemek için kısa devreyi yok etmektir.

Çelik üretimindeki ark fırınları, aşağıdaki ihtiyaçları karşılamalıdır.

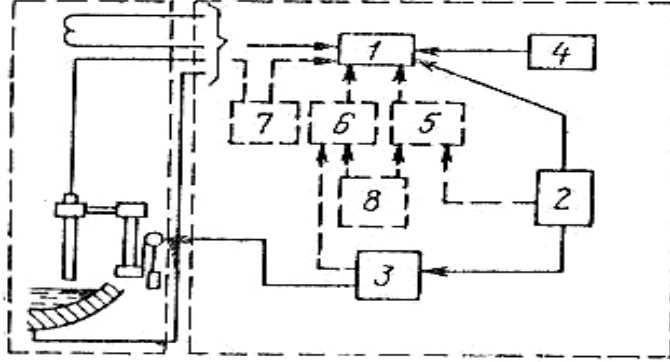
- a) Kontrol değişiklikleri bakımından yüksek bir hassasiyete sahip olmalıdırlar.
- b) 1-3 saniye içinde kısa devreyi önlemek için hızlı bir tepki özelliğine sahip olmalıdır.
- c) Güç devamlılığını ayarlamalıdır.
- d) Otomatik olarak ark tutuşmasını sağlamalıdır.

Kontrol değişkenleri olarak akım, gerilim, elektrik gücü ve ark uzunluğundan yararlanılmaktadır. Kontrol sisteminin sahip olduğu bazı istenmeyen davranışların sonucu bu değişkenler kullanılmaktadır. Örneğin eğer güç, kontrol değişkeni olarak alınırsa, fırın düşük bir elektrik verimliliğinde ve düşük bir güç faktöründe çalışacaktır. Eğer akım kontrol değişkeni ise muhtemelen elektrot kırılması ve metalin karbürizasyonu oluşacaktır. Eğer elektrotlardan biri kısa devre olursa, devrenin bağlantısı kesilecek, akım sıfır olacak ve üç elektrotta aşağı doğru inecektir. Bu süre içinde elektrotlar aşağı inerken, ne katı yükleme parçaları ile temas ederek kırılır ne de metal karbürü oluşturur.

Uygulanan geniş güç değişiklikleri ve kararsız çalışma sonucunda güç sınırında oluşan gerilim salınımları, gerilimin kontrol parametresi olarak kullanılmasını engeller.

Kontrol için en uygun değişken, fırın akımı için uygulanan gerilimin oranıdır. Bu tip kontroller arkın otomatik olarak tutuşmasını ve yeterli bir elektrik kontrolü sağlar.

Bir ark fırınının otomatik olarak elektrik kontrolü, Şekil 2.16 deki diyagramda gösterilmektedir (Edneral, 1979).



Şekil 2.16. Ark fırınının otomatik kontrol diyagramı

Herhangi bir kontrol sistemi aşağıdaki ana öğeleri içermektedir: Bunlar; bir komparatör (1); bir amplifikatör (2); bir aktuatör (3) ve bir tespit ünitesi. Komparatör genellikle tespit ünitesinin kontrolü ile sinyalleri karşılar ve ölçüm yapar. Komparatör, amplifikatörü ve daha sonra da aktuatörü besler. 5, 6 ve 7 numaralı öğeler, ana devredeki geri beslemeyi sağlamak için yardımcı stabilize üniteleridir.

### 2.2.3.9. Elektrot Tutucuları ve Kontak Pedleri

Elektrot tutucuları güç kaynağı ve grafit elektrotlar arasındaki son bağlantı noktasıdır. Elektrot tutucuları çok zor mekanik olaylara karşı (titreşim, bükülme vb.) ve sekonder akımdan dolayı oluşan sıcaklık ile yüz yüze kalan parçalardır. Tipik elektrot tutucuları, fabrikalarda üretilen bakır plakalardır.

Kontakt pedleri daha küçük ve sadece elektroda temas eden yerlerde kullanılır. Elektrotlar temas alanından itibaren fırına doğru itilir. Kontakt pedlerinin olduğu durumlarda, elektrod geriye doğru çekilir ve tutucu pedlere temas etmesi sağlanır. Elektrik akımı transferi en az 7.5 ya da 10 cm kalınlığında olan kontakt pedleri ile elektrot arasında olur. Elektrod ve kontakt pedleri arasında ark oluşumunu engellemek için pedler çok iyi sıkıştırılmalıdır. Bu bölgede teması engelleyen bir durum olduğunda (kir vb.) direnç oluşur ve bu dirençte elektrot tutucu ve kontakt pedlerinde aşırı ısınmadan dolayı hasara neden olur.

Elektrot çapına bağlı olarak soğutma suyu gereksinimi yaklaşık olarak dakikada 2 ya da 40 galon arası değişen değerlerde olur. Soğutma suyunun kalitesi, elektrot tutucularındaki sıkma miktarı ve temiz temas bölgesi gibi faktörlere göre soğutma suyunun miktarı değişebilir (Jones, 2005).

## **2.3. MEKANİK SİSTEMLER**

Mekanik sistemler, elektrik ark fırınının çalışmasında çok önemli bir yere sahiptir. Bu sistemlerin bir kaçı, aşağıdaki sistemlere bağlıdır.

### **2.3.1. Hidrolik Sistem**

Hidrolik sistem üruf kapısının aşağı yukarı hareketini, fırının ileri geriye doğru yatmasını, elektrot kollarının hareketini ve her bir yardımcı sistemin hareketini içeren elektrik ark fırını hareketlerinin hepsi için hareket gücü sağlar. Hidrolik sistem merkez depo, filtreler, bir akümülatör, hidrolik valf ve hidrolik borulardan meydana gelmektedir. Hidrolik sıvı, valflardan geçerken, hidrolik silindirler çeşitli mekanik birleşmelerin hareketini sağlamak için büzülür ya da uzar. Daire içine verilen basınç ve akıcı sıvı yetersizse hareketin oluşması mümkün değildir. Böylece düşük sıvı seviyesi, düşük akümülatör basıncı, sistem sızıntıları, sıvı azalması ve aşınma gibi mekanik birleşmedeki sorunlar performansın düşmesine neden olur.

### **2.3.2. Su Soğutma Sistemi**

Elektrik ark fırını çalışmalarının ayrılmaz parçası olan bir diğer sistem su soğutmalı sistemdir. Genellikle birkaç soğutma sistemi vardır. Bazı çalışmalarda, aşırı derecede yüksek kalitede soğutma suyu gerekmektedir. Transformator soğutucusu, delta kapatma soğutucusu ve elektrot tutucusu soğutucusu bütün uygulamalarda kullanılır. Donanım parçaları suya karşı duyarlı olduğundan genellikle bu sistemler kapalı bir devreden meydana gelirler. Kapalı devredeki su, ısının yok edilmesi için ısı değişiminin olduğu bölgelerden geçer.

### 2.3.3. Yağlama Sistemi

Birçok modern fırın, değişik hareketler için yağlama işlemi yapan otomatik bir sisteme sahiptir. Örneğin, her bir kapak sarkacı yağlanmaktadır. Silindirik mil yatağı gibi, fırın çalışmasını etkileyen çoğu parça, periyodik olarak el ile yağlanır (Jones, 2005).

## 2.4. REFRAKTERLER

Bir elektrik ark fırınının ergitme potası, çevresindeki ısı kaybının düşük olmasının ve ergimiş metal banyosu homojenliğinin sağlanması için refrakterlerle kaplanır. Kaplanan başlıca bölümler merkez, duvarlar ve çatıdır. 100 tonluk bir fırın için kaplamanın genel görünümü de gösterilmektedir.

Elektrik arkının olduğu bölgedeki sıcaklık birkaç bin santigrat dereceye ulaşabilir. Kaplama arktan tamamen uzak mesafede olduğu halde, yaklaşık 1700 °C gibi yüksek sıcaklıklara dayanıklı olmalıdır. Bu nedenle de refrakter malzemeler yüksek ergimezlik özelliğine sahip olmalıdırlar.

Kaplamadaki refrakterler yüksek basınca karşı dayanıklı olmalıdır; bu koşullar altında çoğu refrakter, belirlenen ergimezlik sıcaklıklarından daha düşük sıcaklıklarda yumuşarlar. Bu nedenle yük altında yumuşama sıcaklığının bilinmesi gerekir. Bu olay, 20 N/cm<sup>2</sup>'lik yükte belirlenir.

Refrakter malzeme yüksek mekanik dayanıma sahip olmalıdır.

Fırın kaplaması, sık sık tekrarlanan sıcaklık değişikliklerine maruz kalır. Soğuk yükleme ile temas halinde bulunması ve soğuk hava akışı nedeni ile fırın refrakterleri büyük bir ısı değişme kararlılığı göstermelidir.

Fırın kaplaması ergimiş metal, cüruf ve sıcak gazlar ile temas halindedir. Sıcak cüruf ile refrakterlerin teması kaplamanın aşınması nedeni ile kimyasal bir reaksiyona neden olabilir. Bu nedenle fırın refrakterleri yüksek bir kimyasal kararlılığa sahip olmalıdır.

Fırın kaplamasının ömrü, ısınma ya da soğuma esnasındaki refrakterin genleşme ya da büzülme derecesine bağlıdır. Kaplama yapıldığı zaman, birleşme yerlerinde tuğlalar arasında mesafe olmalıdır. Aksi takdirde tuğlalar genişleme esnasında ezilir, ya da kaplama, büzülme esnasındaki dayanımını kaybeder.

Eğer kaplama düşük bir termal iletkenliğe sahipse, fırının ısı kaybı ve elektrik enerjisi yüksek olmayacaktır.

Refrakterlerin termal iletkenliği sıcaklık ile artar, nadir hallerde sıcaklığın artması ile termal iletkenliği düşen refrakterler de vardır.

Sonuç olarak fırın refrakterleri düşük elektrik iletkenliğine sahip olmalıdır.

Modern yöntemlerde elektrik fırınlarının kaplanması için bir çok uygun refrakter, magnezit, magnezit-kromit, dolomit ve slikalardan oluşmaktadır. Asbest ve düşük ağırlıklı tuğlalar, ısı yalıtımlı malzemeler olarak kullanılırlar. Kömür katranı, zift ve çözünür cam, yapıştırıcı olarak kullanılabilir (Edneral, 1979).

#### **2.4.1. Duvarların Kaplanması**

Bazı ülkelerde özellikle Doğu Avrupa ülkelerinde fırın duvarlarının temel kaplaması, geniş yanmaz magnezit-kromit tuğlalardan yapılır.

Duvar kaplaması toprak kümesinin sıkıştırılmasından sonra başlar. Duvar kaplamasının temeli ısının izole edilmesidir. Tabaka ilk olarak asbest ile kaplanır, bu tabakaların yüzeyleri sıkıştırıldıktan sonra ateş tuğlaları yerleştirilir. Isı yalıtım tabakasının sağlamlığını arttırmak için, dikey köşe demiri parçaları (30×30 mm) iç yanlardaki tabakalara kaynak edilir. Tuğlanın magnezit kısmı, küçük boyutlu fırınlarda 230 mm, orta boyutlu fırınlarda 345 mm, büyük boyutlu fırınlarda ise 460 mm alınır(Edneral, 1979).

#### **2.4.2. Fırın Banyosunun Boyutu ve Transformatör Gücü**

Eğer bir elektrikli çelik üretim planı doğru olarak tasarlanırsa, her ton çelikte elektrodların, refrakterlerin ve elektrik enerjisinin tüketiminin düşük olması ve yüksek verimliliğe sahip olması gerekmektedir. Diğer taraftan, yapılan plan farklı derecelerde çelik imal edildiği zamanda meydana gelen metalurjik yöntemlere uygun olmalıdır (Jones, 2005) .

Bu gereksinimlere göre;

- (a) Bir güç transformatörü konulmalı,
- (b) Yüksek termik ve elektrik enerjisi sağlanmalı,
- (c) Kaplamanlar yüksek derecedeki refrakterlerden yapılması,
- (d) Metalurjik yöntemlerde uygun durumun sağlanması için, banyo boyutları arasında en iyi şekilde ilişki kurulmalıdır.

### 2.4.3. Fırın Astarları

Ark fırınları asit veya bazik olarak astarlanırlar. Asitli proseste (ekseriya dökümler için) cidarlar ve taban silikat tuğlalarıyla astarlanmıştır. Taban kısmında tuğlalar o şekilde dizilir ki üstü silis kumuyla sıvandığında dipte bir kase şekli oluşacak şekilde dizilir. Çelik ingot imalinde fırın tasfiye ve diğer metalurjik operasyonların uygulanmasında en iyi neticeyi alabilmek için, bazik olarak astarlanır.

Değişik refrakter üreticisi fabrikalar benzer astarlar için oldukça değişik yöntemler önermektedir. Fırınların astarlanmasında kullanılan refrakter maddeler büyük bir temizlik içerisinde ve dikkatle seçilmelidir (Edneral, 1979).

### 2.4.4. Yeni Taban Yapımı

En iyi kalitedeki ateş tuğlasının birinci sırası, elle veya tokmakla yavaşça yerine oturtulur. Asit tabanlar için, tuğlalar üzerine beyaz ve kuru silikat kumu serpilir.

Tuğlayı yerleştirirken silikat boşluklardan aşağı kaçır ve tamamen kapatılmış bir taban meydana gelir. Yalnız büyük fırınlar için ikinci ateş tuğlası sırası aynı şekilde yerleştirilir. Sıkı bir taban elde edebilmek için ikinci sıradaki ateş tuğlaları arasındaki boşlukları doldurmak gerekir. Asit tabanlarda bu iş beyaz ve kuru silikat kumu, bazik fırınlarda ise toz halinde manyetit veya dolomit kullanılarak yapılır. Tokmaklarken boşluklardan yalnız kuru ve toz maddenin geçtiği bilinmelidir. Asit tabanlarda son tuğla sırası üzerine tüm derinliğin üçte ikisi kadar silikat karışımı dövülmelidir. Bazik tabanda ise (10-15 cm)'lik çubuklarla dövmek ve sonra iyice ısıtmak gerekir.

Kullanılan refrakterlere veya ergime derecelerine göre bazı curuf akışkanlığını arttıran maddelerini birbirleriyle belirli oranlarda karıştırmak gerekir. Ark voltajını elde edebilmek ve otomatik elektrot kontrol mekanizmasını çalıştırabilmek için çelik hurda ve ergimiş metal gövde vasıtasıyla toprağa bağlanmıştır. Ergiyik geçirgen değilse geçici olarak hurdanın içine çubuk sokularak çelik gövde ile birleştirme sağlanır. Gövde astarını yaparken (6-9 mm) veya 7.5 veya 20 cm'lik yumuşak çelik çubuklarını eşit aralıklarla gövde etrafına yerleştirilmesi tavsiye edilir (Edneral, 1979).

## 2.5. Fırının Çalışma Yöntemi

Elektrik ark fırını, sıcaklığın kullanılması ile çelik yığınlarını eriten bir ertitme yöntemidir. Elektrik ark fırınının çalışma devresi, darbeli devre olarak isimlendirilir ve bu devre aşağıdaki işlemleri düzenler.

- Fırının yüklenmesi
- Erime
- Arıtma
- Cürüflama
- Boşaltma

Modern yöntemlerin darbeli devredeki amacı, 60 dakikadan daha az bir sürede işlemi tamamlamaktır. Bazı çift potalı fırınlar darbeli devre vasıtası ile 35-40 dk arasında işlemi tamamlayabildiler(Jones, 2005) .

### 2.5.1. Fırının Yüklenmesi

Herhangi bir ısının elde edilmesindeki ilk basamak, üretilecek çelik sınıfını seçmektir. Genellikle her bir üretim değişikliği için önceden bir program geliştirilmektedir. Böylece ertitme işlemi, üretim değişiklikleri için geliştirilen programlarla tanımlanır.

Hurda bölümü teknisyeni, ertitme ihtiyacına göre hurda hazırlar. Yükleme deposunun hazırlanışı önemli bir işlemdir. Bu işlemle sadece uygun bir ertitme kimyasalı sağlanmaz aynı zamanda iyi bir ertitme durumu da sağlanır. Hurdalar, pota kapağını ve kenarlarını elektrik ark ışınımından korurken, ocakta bulunan çeliğin hızlı bir şekilde sıvı bir havuz haline gelebilmesi için yoğunluk ve büyüklüklerine göre tabaka halinde olmalıdır.

Diğer yandan, su soğutma panellerinin içindeki alevin geriye üflenmesi sonucunda, geniş ve ağır hurda parçalarının brülör portlarının önünde doğrudan olarak durmaması sağlanır ve elektrotlar kırılğan olduklarından hurda çökmesini minimuma indirir. Yükleme karbon ve kireç içerebilir yada bunlar sıcaklık esnasında fırın içine enjekte edilebilir.

Herhangi bir darbeli devredeki ilk basamak hurdanın içeriye yüklenmesidir. Kapak ve elektrotlar kaldırılır ve fırın içine hurdaların aktarılması için fırının bir kenarı yatırılarak hurda yükleme vincinin kullanımına izin verilir. Pota, alt kısmındaki iki aparatın çekilmesi ile açılır.

Vinç, hurda potasını kaldırır ve hurdayı fırın içine döker. Kapak ve elektrotlar eski yerlerine getirilir. Kapak indirilir ve daha sonra hurdada bir ark oluşması için elektrotlar indirilir. Böylelikle ergime başlar. Hurdanın dökülme sayısı, hurdanın yoğunluğuna ve fırının hacmine bağlıdır. Çoğu modern fırınlar, minimum geri besleme ile çalışmaları için tasarlanmışlardır. Bu bir avantajdır. Çünkü yükleme işlemi zaman kaybına yol açmaktadır. Bu zaman kaybının en aza indirilmesi, fırının en yüksek verimliliğe ulaşmasına yardımcı olur. Ek olarak fırın kapağının her açılışı enerji kaybına neden olmaktadır. Kapak her açıldığında yaklaşık olarak 10-20 kWh/ton enerji kaybı oluşur (Jones, 2005).

### **2.5.2. Ergime İşlemi**

Ergime periyodu, elektrik ark fırınının çalışma merkezidir. Elektrik ark fırını yüksek etkili ergime cihazlarında geliştirilir ve modern tasarımlarda fırının maksimum ergime kapasitesine odaklanılır. Ergime işlemi elektrik ark fırınının maksimum kapasitesinde meydana gelir. Ergime olayı fırın içerisindeki enerjinin kullanılması ile meydana gelir. Bu enerji kimyasal ya da elektrik enerjisi olabilir. Grafit elektrotlar yolu ile elektrik enerjisinden faydalanılır ve bu olay genellikle ergitme işleminde çok geniş bir yere sahiptir. Orta voltajlı darbeli elektrik akımı, hurda içindeki elektrotun hareketine göre seçilir. Genellikle, hurda içindeki elektrot hızı için potanın üzerine hafif hurdalar yüklenir. Yaklaşık olarak hurdanın % 15'i ilk hareket periyodu esnasında erir. Birkaç dakika sonra darbeli ark uzunluğunun kapağa zarar vermeden kullanılabilmesi için, elektrotlar hurdaya yeterince nüfuz edecektir. Ark uzunluğunda, hurdaya gücün geçişi maksimum olacaktır ve metalin sıvı havuzu, fırının merkezinde şekillenecektir. Ergime başlangıcında ark dengesiz ve kararsız durumdadır. Burada, akımdaki geniş salınımlarının, elektrotların hareketi ile eşitlendiği gözlemlenmektedir.

Kimyasal enerji, oksijen-yakıt yanıcıları içerikli kaynaklar yolu ile uygulanabilmektedir. Oksijen-yakıt yanıcıları, hava ve bir oksijen karışımı ya da oksijenin kendisi kullanıldığında doğal gazı yakar. Isı, bir tutuşmanın oluşması ile iletilir ve alev ısınımı ile hurdaya iletilir. Isı, iletkenlik sayesinde hurdaya transfer edilir. Geniş hurda parçalarının banyo içindeki ergime süreleri, kısa parçalardan daha uzundur (Jones, 2005).

### 2.5.3. Arıtma İşlemi

Elektrik ark fırınlarında arıtma işlemi, çeliklerden fosforun, kükürdün, silisyumun, manganez ve karbonun yok edilmesini sağlar. Son zamanlarda, özellikle hidrojen ve azot gazlarının çelikte çözünmeleri kaygıya yol açmaktadır. Genel olarak arıtma işlemlerinde aşağıdaki ergitme yöntemleri kullanılır. Bu arıtma reaksiyonlarının hepsi, oksijenin elde edilebilmesine bağlıdır. Arzu edilen darbe seviyesi için banyodaki karbon içeriği çok düşük olduğu için ergime sonunda oksijen iğneler oluşturur. Arıtma esnasında yok olan bileşiklerin çoğu karbondaki oksijen ile yüksek benzerliğe sahiptir. Böylece oksijen, cüruf içinde yüzen oksitlerle ve çeliğin dışında bulunan oksijene ilgisi yüksek bu elementlerle tercihi tepkimeye girer.

Modern ark fırını çalışmalarında, özellikle cüruf ve ısı altındaki ergimiş çeliğin önceki sıcaklıkta tutulması ile yapılan bu işlemlerde oksijen, ısının çoğunu banyo içinde harcayabilir. Sonuç olarak ergitme ve arıtma işlemlerinin çoğu aynı zamanda gerçekleşmektedir.

Fosfor ve kükürt genelde çelik için belirlenenlerden daha yüksek konsantrasyonlardaki fırın yüklemesinde meydana gelir ve yok edilmelidir. Ne yazık ki, yok edilen fosfor için uygun olan şartlar, sülfürün yok edilmesi için gerekli olan şartların tersidir. Bu nedenle, bu malzemeler çelik içinde geriye dönebilen cüruf fazı içine itilirler. Cüruf içinde fosforun tutulması banyo sıcaklığının ve cürufta bulunan FeO seviyesinin bir fonksiyonudur. Daha yüksek sıcaklıklardaki ya da düşük FeO seviyesindeki fosfor, banyo içinde kalan cürufa geri dönecektir. Giderilen fosfor genellikle mümkün olan en düşük ısı seviyesinde dışarıya taşınır. Uygulamadaki düşük ısı fosforun giderilmesi için çok faydalıdır çünkü, ısı tamamen düştüğünde oksijen banyo içinde iğneler halinde bulunabilmektedir. Cüruf sıcaklığının düşmesi, önceki ısı seviyesinde taşınan FeO içeriğinin artmasına yol açacaktır. Böylelikle bu olay fosforun giderilmesine yardımcı olacaktır. Cüruf içerisindeki yüksek kalsiyum içeriği de, cüruf viskozitesinde bir azalmayayol açarak fosforun giderilmesine yardımcı olmaktadır.

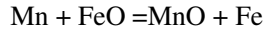
Eğer düşük fosfor seviyeleri belirli çelik sınıfları için gerekiyorsa, ergime esnasında düşük oranda fosfor içeren hurdalar kullanılmalıdır.

Kükürdün cüruftan yok edilmesi, temel olarak kükürt giderme işlemidir. Cüruf ve metal arasındaki kükürt bölümü, cüruftaki kimyasallara bağlıdır ve bu bölüm düşük oksidasyonlu çeliklerde tercih edilir.

Özellikle banyodaki oksidasyon seviyesinin yüksek olmasından dolayı modern uygulamalarda elektrik ark fırınlarında kükürdün giderilmesi işlemi zordur. Genelde bu bölümün oranı elektrik ark fırını işlemleri için 3-5 arasındadır.

Banyodaki metal içeriğinin kontrolü, üretim sonundaki oranların belirlenmesinde önemli bir yere sahiptir. Genellikle ergitmede amaç, kalıntı elementlerin üretim sonunda banyoda belirlenenden daha düşük seviyelerin bulunmasıdır. Oksijen, cürufta metal oksit şeklinde mangan, silisyum fosfor ve varsa ya da deoksidasyon için ilave edilmişse, alüminyum ile reaksiyona girer. Bu metaller, karbondan önce oksijen ile reaksiyona girerler, ve oksijeni kendilerine bağlarlar. Aynı zamanda da banyodaki demir miktarının iyi duruma gelmesi sonucunda FeO ile de reaksiyona girerler ve demire bağlı oksijeni kopararak çelik üretimine katkıda bulunurlar.

Örneğin :



Mangan bu reaksiyon doğrultusunda, oksijene demirden daha yüksek olan afinitesi ile demire bağlı oksijeni kendisine bağlar. Mangan oranı banyo içerisinde % 0,06'dan daha düşük değerler alabilir.

CO'nun üretilmesi için banyodaki oksijen ile karbonun reaksiyonu, banyo için gereken enerjiden daha ucuz olduğundan ve birkaç önemli arıtma reaksiyonunu meydana getirdiğinden dolayı önemlidir. Modern elektrik ark fırın çalışmalarında, karbon ile oksijen kombinasyonu, fırına giren ısının % 30-40 'ını kullanabilir. Karbon monoksitin değişimi, cürufun köpürmesi için çok önemlidir. Cüruf içerisinde bulunan CO kabarcıkları, arkın örtülmesine yardımcı olur ve köpürmeye neden olarak cürufta bir akıcılık oluşturur. Bu olay termal verimliliği düzeltir ve bir banyo oluşturulduktan sonra fırında yüksek ark voltajında çalışmalar yapılabilir. Ark örtüsü, arkta azot erimesini önlemeye yardım eder.

Eğer CO'nin oranı çelik banyo içerisinde yavaş yavaş artarsa, çelikteki hidrojen ve azot yok olur. Önceki darbeli fırınlarda çelikteki azot seviyesinin 50ppm'e kadar düşürülebilmektedir. Düşük darbeler, düşük azot seviyesini korumak için yararlıdır. Çelikteki yüksek oksijen potansiyeli, düşük azot seviyesi için yararlıdır.

1600 °C'de, saf demirdeki azot maksimum 450 ppm kadar bir miktarda eriyebilir. Genellikle çelikteki nitrojen seviyesi 80-100ppm arasında olur. Dekarbürizasyon, hidrojenin giderilmesine yardım eder (Edneral, 1979; Yıldırım ve diğ, 2001a).

#### **2.5.4. Cürüflama İşlemi**

Cürüflama işlemi, fırındaki yapı kirlenici elementlerin yok edilmesi için uygulanmaktadır. Ergitme ve arıtma işlemleri esnasında, banyo içerisinde bulunan istenilmeyen elementlerin çoğu oksitlenir ve cürufa geçer.

Banyo sıcaklığı düşük olduğunda bile, bu yöntemle cüruf içindeki fosforun yok edilmesi, önemli avantajlarından bir tanesidir. Fırın geriye doğru yatırılarak cüruf fırının dışına alınır. Cürufun kaldırılması ile fosfor mümkün olduğunca yok edilmiş durumda olmaktadır.

Cürufun köpürmesi esnasında, köpürme işlemine yardımcı olan karbon monoksiti üretmek için cüruf içine karbon enjekte edilerek, FeO azaltılır. Eğer yüksek fosfor cürufu, bu işlemle yok edilmeseydi, fosfor kalıntıları meydana gelecekti. Cüruf köpürtme işlemi esnasında cüruf, elektrik ark fırınındaki seviyeyi aşabilmekte ve fırından dışarı doğru taşmaktadır (Jones, 2005).

Tablo 2.4’de elektrik ark fırını cürufunun tipik özellikleri gösterilmektedir.

**Tablo 2.4.** Elektrik ark fırını cürufunun tipik özellikleri

Bileşik	Kaynak	Oluşum oranı
CaO <sub>2</sub>	Yükleme	% 40-60
SiO	Oksidasyon Ürünü	% 5-15
FeO	Oksidasyon Ürünü	% 10-30
MgO	Yükleme	% 3-8
CaF <sub>2</sub>	Sıvı Cüruf Yükleme	
MnO	Oksidasyon Ürünü	% 2-5
S	Çelikten Absorbe	
P	Oksidasyon Ürünü	

### 2.5.5.Boşaltım Sistemi

İstenilen çelik oluşumu ve sıcaklığı fırında elde edilir edilmez boşaltım deliği açılır, fırın yatırılır ve bir sonraki işleme geçmek için çelik dökülür. Boşaltım esnasında alaşım elemanı eklenmesi, istenilen çelik cinsine ve banyo analizine dayanarak yapılır. Diğer yöntemlere geçmeden önce, düşük oksijen içeriği için çeliğe oksitleme yapılabilir (Jones, 2005).

## 2.6. Elektrik Ark Fırınında Çelik Üretimi ve Üretilen Çeliğin Kimyasal Yapısı

Yüksek kalitede çelik üretimi, metalurjik yöntemler, fiziksel metalurji ve ilgili bilim dallarının başarılarına dayanan teknoloji bilgisinin dışında, dikkatlice çalışmayı da gerektirmektedir.

Yüksek kalitede çelik üretiminde, mühendisler ve eritme işlemi bakımından deneyimi olan kişiler çok önemlidir. Bu kişiler kullanılan ekipmanları, üretim ekonomisini ve temel teknolojiyi çok iyi bilmelidirler.

Üretim işlemlerinin hepsi, çelik imalat fırınının banyosunda meydana gelmektedir. Oksidasyonu ve indirgenen reaksiyonu yöneten fiziko kimyasal ilişkiler, ergime teknolojisinde göz önüne alınmaktadır. Çelik üretimindeki ana yöntem karakteristikleri aşağıda tartışılmıştır (Othmer, 1980).

### 2.6.1. Karbon Oksidasyonu

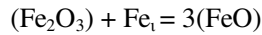
Çeliğin dekarbürizasyonu, çelik üretiminde ana yöntemdir. Ark fırınında karbon oksidasyonu, banyonun ısınmasına, metalik olmayan kalıntıların arıtılmasına, ısı ve oluşum eşliğine yardımcı olur.

Metal ergimesinde oksijen ve karbon arasındaki reaksiyon, aşağıdaki safhaları içeren bir heterojen arıtma yöntemidir. BU da;

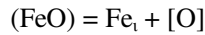
- a) Metal cürufun ara yüzeyine, cüruftaki FeO'nun geçişi;
- b) Metale cüruftaki oksijenin geçişi,
- c) Metal bünyesindeki oksijenin ara yüzeyde arındırılması,
- d) Metal bünyesindeki karbonun oksidasyonu,
- e) Gaz fazında karbon oksidasyonunun (CO) oluşturduğu gazın arındırılması, şeklinde gerçekleşir

### 2.6.2. Cüruftan Metale Oksijenin Geçişi.

Cüruftaki oksijen, ara yüzeydeki metal cürufuna geçer. Aşağıdaki reaksiyon ara yüzeyde meydana gelmektedir.



Metale oksijenin geçişi:



Birinci denklemdaki hematitten wüstite geçiş manyetit arafazı üzerinden gerçekleşmektedir (Yıldırım ve diğ 2001a).

Bu reaksiyonun dengesi, metaldeki oksijen içeriği ve cürufun oksitlenmesine bağlıdır. Cürufun oksitlenmesi, verilen bir oluşumun cürufu ile temasta bulunan metaldeki oksijenin denge konsantrasyonu olarak bilinir. Cüruf ile metal arasındaki oksijen dağılımı aşağıdaki bağıntıya uymaktadır.

$$L_o = \frac{[\%O]}{a_{FeO}}$$

Burada  $L_o$ , aşağıdaki bağıntıda bulunan sıcaklığa bağlı, oksijen dağılımının katsayısı ve demir oksidin aktivitesidir.

$$\log L_o = -\frac{6400}{T} + 0,756$$

Demir oksitin aktivitesi cürufun oluşumuna bağlı iken, metaldeki oksijen konsantrasyonu, metal yüzdesine tekabül eder. Asidik cüruftaki demir oksitin aktivitesi, FeO'nun konsantrasyonuna eşit olarak alınır; esas cürufta  $a_{(FeO)} = \gamma_{FeO} (FeO)$  dır, burada  $\gamma_{FeO}$ , cüruftaki FeO'nun aktivitesidir.

### 2.6.3. Fosfor Oksidasyonu

Fosfor, çeliğin özelliklerini zayıflatmaktadır. Yüksek konsantrasyonlarda, fosfor, çeliği kırılgan hale getirir, çelik bu durumda düşük sıcaklıklarda deformasyon çatlamlarına maruz kalır.

Kaliteli bir çelikte fosforun zararlı etkileri iki kısımda incelenir. Bunlardan ilki, fosforun katı ve sıvı çizgileri arasındaki bölgeyi genişleterek, çeliğin katılaşması esnasında, fosfor segregasyonu oranını arttırmasıdır.

İkincisi ise, fosforun ısı işlemlerle dengeli yapı oluşumunu sağlaması için, düşük difüzyon katsayısına sahip olması nedeniyle, yüksek sıcaklıklarda uzun tav süreleri seçilerek beklenmesini gerektirmesidir (Yıldırım ve diğ, 2001c).

### 2.6.4. Atık Gaz Uzaklaştırma Sistemi

Geçmişte yapılmış atık gaz uzaklaştırma sistemleri fırın operatörünün fırın içerisinde olanları görmesini sağlamak için yapılmıştır. Elektrik ark fırınlarının yapıldığı ilk günlerden

itibaren atık gaz sistemleri çok gelişmiştir ve günümüzde en modern EAF ları 4 delikli fırının gövdesine monte edilmiş gaz uzaklaştırma sistemlerini kullanırlar. 4 delikli demekle burada anlatılmak istenen elektrot için olanlardan hariç atık gazların uzaklaştırılmasını sağlayan, ayrıca bir deliğin daha bulunmasıdır. Tek elektrotlu doğru akımlı elektrik ark fırınların da duman uzaklaştırma deliklerinin sayısı bazen iki tane de olabilir (Edneral, 1979).

Fırın içerisinde miktarda duman bırakmak aşağıdaki nedenlerden dolayı avantaj sağlar:

1. Uygun kirlilik kontrolünü sağlanabilir.
2. Fırın içerisindeki aşırı gaz ortamı, fırın operatörünün fırını doldurmasını zorlaştırır.
3. Elektrot çevresindeki aşırı gaz ortamı borularda ve diğer sistemlerde (fırın kapağı refrakterleri, elektrot sprej soğutucusunda tıkanmalara, elektrotta aşınmaya vb.) hasarlara neden olabilir.
4. Elektrot tutucusundaki aşınmadan dolayı elektrotta eğilmeler meydana gelebilir.
5. Fırın tepesinde biriken CO gazından dolayı patlamalar meydana gelebilir.
6. Aşırı miktarda birikmiş olan toz elektrotlar arasında ark oluşmasına yol açabilir.

### 3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada yaklaşık 5 kg metal ergitme kapasiteli, laboratuvar tipi bir elektrik ark fırınının üretimi tasarlanmıştır. Bu fırın aşağıda belirtilen elemanlardan meydana gelmiştir. Bunlar sırasıyla:

- 1- Doğru akım trafosu,
- 2- Pota,
- 3- Kol hareketini sağlayan mekanizma,
- 4- Elektrot tutucu kollar,
- 5- Elektrotlar.

#### 3.1. Küçük Boyutlu Bir Elektrik Ark Ergitme Fırınının Üretimi

Elektrik ark fırını imalatı için gerekli olan bütün bilgiler toplandı ve bu bilgiler ışığında fırın boyutu tasarlandı. Bu elemanların temin ve montajı aşağıda açıklanmıştır.

##### 3.1.1. Doğru Akım Trafosu

Elektrik ark fırını yapımında kullanılacak olan trafonun büyük bir önemi vardır. İdeal ergitme yapabilmek için ark oluşumunun mükemmel olması gerekmektedir. Arkın kesintisiz devam edebilmesi için de kullanılan trafonun yeterli kapasitede olması gerekir. Doğru akım trafosu olarak, atelyemizde bulunan toz altı kaynak makinesinin trafosu aradığımız özelliklere uygun olduğundan, küçük boyutlu bir elektrik ark fırınının çalıştırılması için bu trafonun kullanılmasına karar verildi. Aşağıda, kullanılan doğru akım trafonun özellikleri verilmektedir.

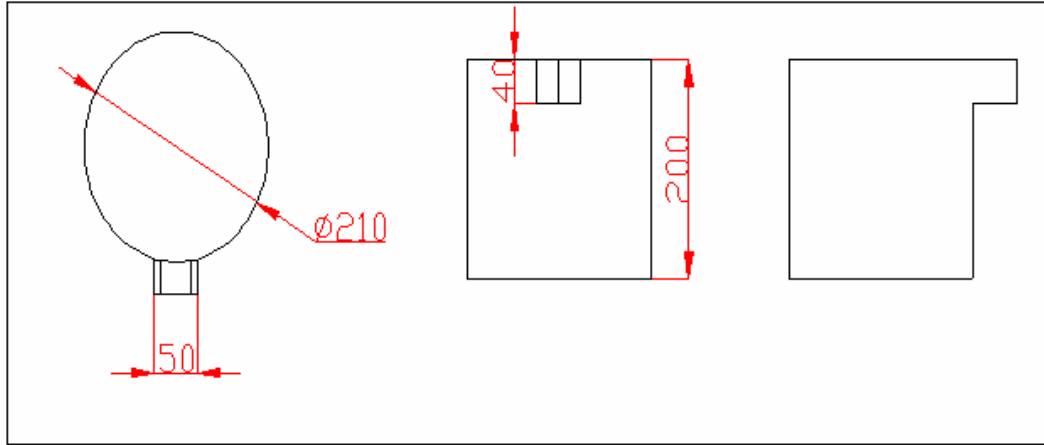
**Tablo 3.1** Kullanılan doğru akım trafosunun genel özellikleri

Çalışma gerilimi	380 V
Boştaki gerilim	DC 27-55
Kaynak akımı	max 1200 A
Frekans	50 Hz
Kaynak akımı için güç	55 kVA

### 3.1.2. Pota

Pota yapımı için öncelikle pota zırhı olarak sacdan bir kalıp hazırlandı ve zırhın içi refrakter malzeme ile kaplandı. Üreteceğimiz elektrik ark fırınının boyutu, kullanılan pota boyutu ile orantılı olması gerektiğinden, 5-10 kg'lık metali sıvı hale getirebilecek kapasitede bir pota seçimi uygun bulundu.

Öncelikle 1 mm kalınlığındaki sac bükülerek, çapı 210 mm ve derinliği 200 mm olan bir pota kalıbı elde edildi. Daha sonra 210 mm çapında işlenen diğer bir sac, bükülen sacın tabanına kaynatıldı. Üretilen pota kalıbının üst kısmına, rahat bir şekilde döküm yapabilmek için döküm ağızı açılarak, astar malzeme döşenmesi için hazır hale getirildi. Şekil 3.1.a 'da potanın üst, ön ve yan görünüşleri verilmektedir.



Şekil 3.1.a. Pota kalıbının üst, ön ve yan görünüşleri

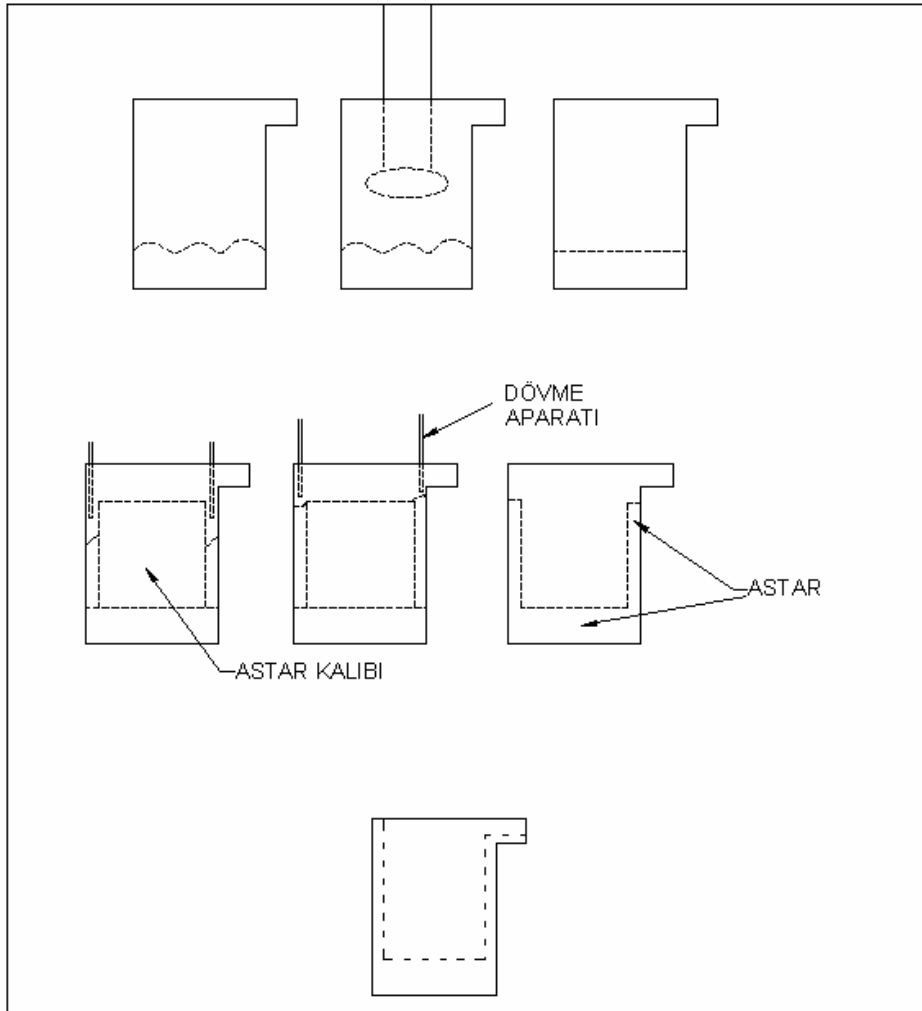
Pota boyutu küçük olarak düşünüldüğü için, potanın ayrıca refrakter tuğlayla örülmesi gereksiz görülmüştür. Bu nedenle pota kalıbının içine doğrudan ve sadece direk olarak astar döşenmesi uygun bulunmuştur.

Astar oluşumunda manyezit, astar kumu, kalıp boyası ve cam suyu kullanıldı. Manyezit ve astar kumu temiz bir zeminde karıştırıldı. Karıştırma esnasında topak haline gelen kumların ezilmesine dikkat edildi. Daha sonra bağlayıcı malzeme olarak camsuyu, bu karışıma eklendi ve son olarak da kalıp boyası eklenerek astar oluşumu tamamlandı.

Pota kalıbının içerisine astar, kısım kısım dökülerek dövüldü. Bu şekilde pota tabanı oluşturuldu. Döküm esnasında, pota içerisinde yüksek sıcaklığa ve basınca en çok maruz kalan bölge taban bölgesi olduğu için, astar döşenirken taban bölgesinin astar kalınlığına dikkat

edilmeye özen gösterildi. Bu kuralı göz önünde bulundurularak, taban astar kalınlığı 45 mm olarak döşendi. Taban oluşturulduktan sonra, taban astarın üzerine bir kalıp konulup, kalıbın etrafına astar malzemesi kısım kısım dökülerek dövüldü.

Bu şekilde pota kalıbının kenar astar kalınlığı 15 mm olarak döşenmiş oldu. Daha sonra kalıp çıkartıldı ve döküm ağız astarla döşendi. Astarla döşenen pota kalıbı son olarak sinterlenerek pota haline getirildi. Şekil 3.1.b’de bu anlatım şekiller ile gösterilmektedir.



**Şekil 3.1.b.** Pota kalıbının astar ile döşenmesi

Üretilen potayı yerleştirmek için kenar uzunluğu 65 cm ve yüksekliği 70 cm olan tekerlekleri serbest hareket edebilen kare bir masa imal edildi ve masanın ön tarafına rumanlar

yerleştirildi. Potanın yan taraflarına kaynak edilen demir çubuklar yardımıyla, pota rumanlara oturtuldu. Şekil 3.1.c 'de bu anlatım resimlendirilmiştir.

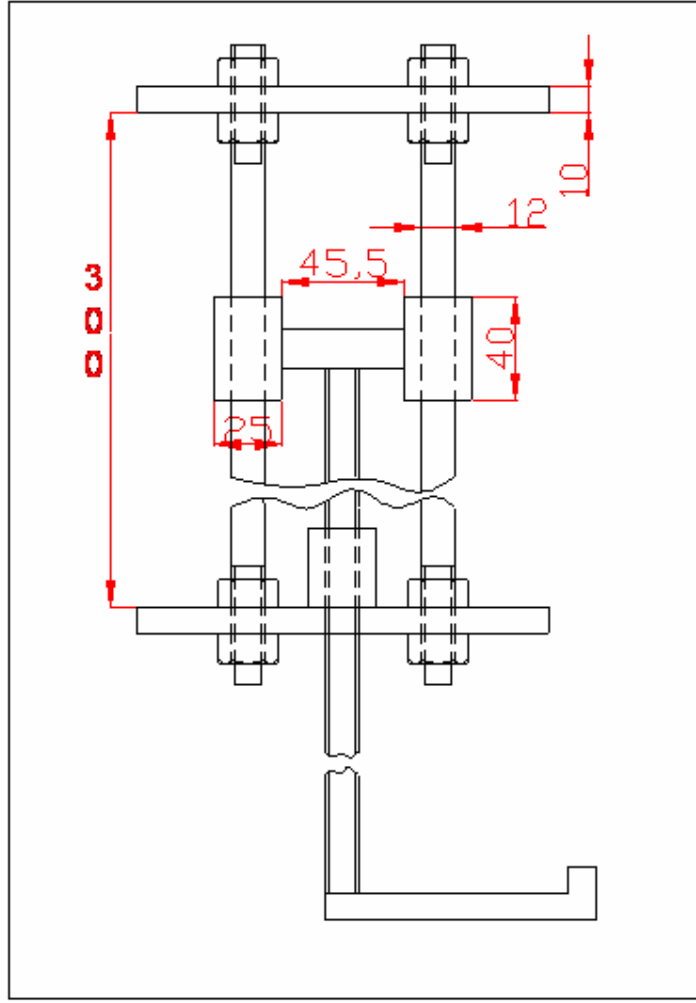


Şekil 3.1.c. Potanın masaya yerleştirilmesi

### 3.1.3. Kol Hareketini Sağlayan Mekanizma

Üretilen fırın iki elektrotlu olacağından, elektrotların hareketi için iki hareket mekanizması oluşturulması gerekmektedir. Elektrotlardan biri, pota içerisindeki malzemeye sürekli temas edecek, diğeri ise arkın oluşturulması için istenilen hareketi sağlayabilecek konumda olmalıdır.

Şekil 3.2.a' da pota içerisindeki malzemeye sürekli temas edecek olan elektrot için geliştirilen mekanizmanın çizimi görülmektedir.

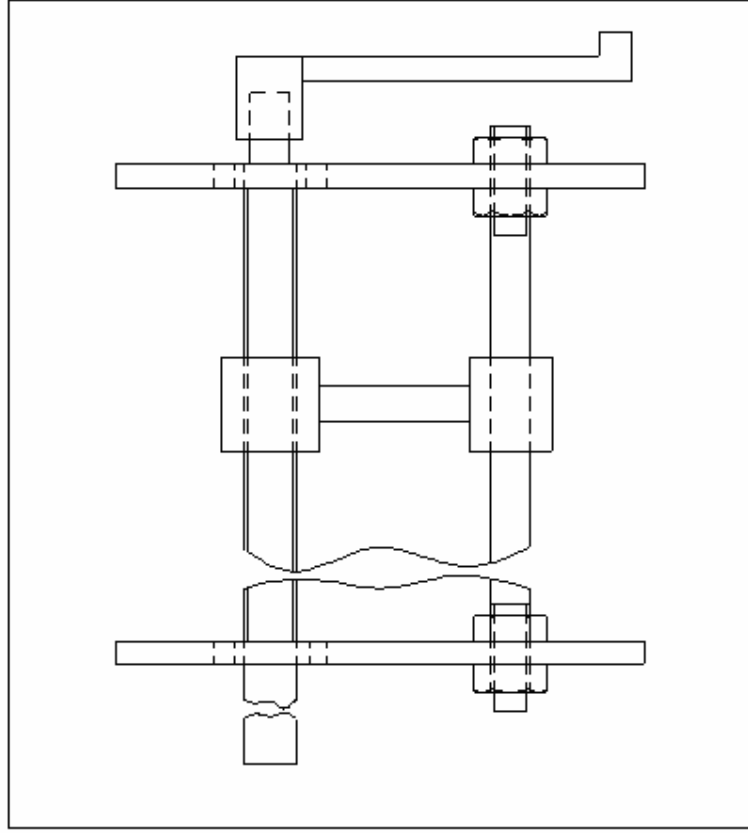


Şekil 3.2.a. Sürekli temas halindeki elektrod mekanizmasının yandan görünüşü

Şekilden de anlaşıldığı gibi 12 mm çapındaki iki demir çubuk, 10 mm kalınlığındaki 150×40'lik levhaya vidalar yardımıyla yerleştirildi. 25 mm çapında ve 40 mm uzunluğundaki çubukların ortasına 12mm çapında delik açılarak, 12 mm çapındaki çubuklar geçirildi. Böylelikle elektrot, malzeme ergidikçe serbest olarak aşağıya doğru hareket edebilecek konuma getirildi. Bu serbest hareketin sonucunda bütün ağırlığın elektroda verilmemesi ve elektrodu istenilen yerde sabitleyebilmek için, iki demir çubuk arasına vidalı ve kollu bir aparat yapıldı.

Bu mekanizmaya elektrot tutucu kollar yerleştirildikten sonra dengenin sağlanması için gerekli olan ağırlık diğer tarafa konulmalıdır.

Pota içerisinde yukarı aşağı hareket eden elektrodun yandan görünümü Şekil 3.2.b'de gösterilmektedir.



Şekil 3.2.b. Sürekli hareket halindeki elektrod mekanizması

Sürekli temas halindeki elektrot mekanizması ile aralarındaki tek fark, bir adet dişli çubuğun lama demire rumanlar vasıtası ile tutturulmasıdır. Bu mekanizmaya elektrod tutucu kolları takıldıktan sonra, elektrod hem kol hem de motor yardımı ile yukarı aşağı hareket edebilecektir. Dişli çubuğun alt kısmına kasnak takılarak motora bağlanmaktadır. Motor kullanmadaki amaç, malzeme ergidikten sonra elektrodu yukarı kaldırmak için zaman kaybetmemektir.

Elektrot malzemeye temas ettiği anda ark oluşumu için bir miktar geri çekilmelidir. Bu olayı gerçekleştirebilmek içinde resmin üst tarafındaki kol kullanılır. Böylelikle malzeme ergidikçe elektrot aşağı ve yukarı kaldırılır. Bu hareket, malzeme sıvı hale gelene kadar devam eder. Diğer elektrot malzemeye sürekli temas ettiği için, hareket halindeki elektrot mekanizmasının önemi büyüktür. Şekil 3.2.c' de motor mekanizmasının fotoğrafı gösterilmektedir.



Şekil 3.2.c. Mekanizmanın motor bağlantısı

### 3.1.4. Elektrot Tutucu Kollar

İmal edilecek elektrot tutucu kolların birkaç önemli özelliği göstermesi istenir. İlk öncelikle elektrot tutucu kollar, akımı doğrudan elektrotlara ileteneğinden dolayı, akım kayıplarını önlemek için bu kolların elektrik iletkenliğinin çok iyi olması gerekir. Ayrıca kol hareketini sağlayan mekanizmalara, akımın iletilmemesi için yalıtkan malzeme kullanılmalıdır. Son olarak da kollar elektrotları sıkı bir şekilde tutmalıdır.

Kolların akımı iyi iletmesi gerektiğinden dolayı, kol imalatında bakır baralar kullanılmıştır. Kullanılan trafonun maksimum kapasitesi 1000A olduğu için, kullanacağımız bakır baranın kalınlığı ve genişliği de 1000 A kapasiteye kadar akımı iletcek değerde seçilmiştir. Tablo 3.2’ de bakır bara boyutları ve karşılığındaki akım değerlerinden birkaç örnek verilmiştir.

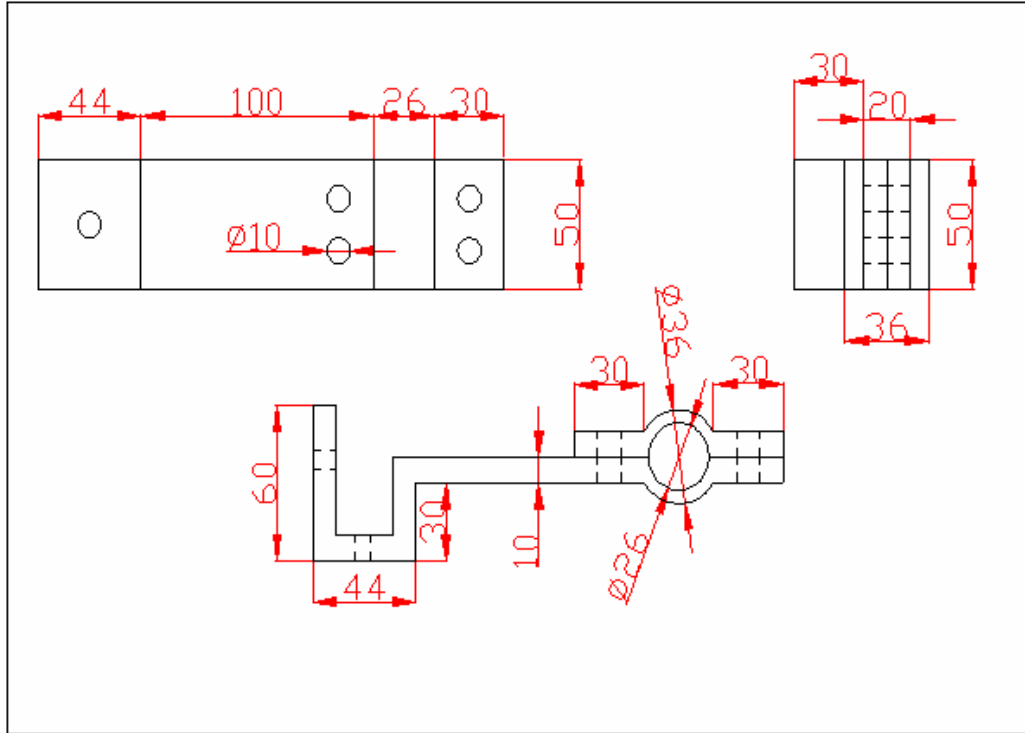
**Tablo 3.2.** Bakır bara boyutlarının karşılığındaki akım değerleri

Bakır bara	$50 \times 10 = 500 \text{ mm}^2$	1025 A
Boyalı bakır bara	$50 \times 10 = 500 \text{ mm}^2$	1800 A
Bakır bara	$50 \times 5 = 250 \text{ mm}^2$	700 A

Bu değerler içerisinde kullanılan trafo ve ark ocağı için en uygun olanı 50×10' luk bakır bara olmuştur.

Kol hareketini sağlayan mekanizmalar ile elektrot tutucu kollar arasında yalıtkan bir malzeme kullanılması gerekir, aksi taktirde akım bütün mekanizmaya yayılır. Bakır baradan geçen akım, baranın bir miktar ısınmasına neden olmaktadır. Bu yüzden de yalıtkan malzemenin seçiminde malzemenin ısı dayanımına dikkat edilmelidir. Bu özellikler göz önüne alındıktan sonra, yalıtkan malzeme olarak reçineden yapılmış ısı dayanımı yüksek olan izalatörlerin istenilen düzenek için uygun olduğuna karar verilmiştir.

Kolların, elektrodları sıkı bir şekilde tutması için bakır baralar Şekil 3.3.a' da gösterildiği gibi işlenerek hazırlanmıştır.



Şekil 3.3.a. İşlenen bakır baranın yandan, önden ve üstten görünüşleri

İşlenen bakır baraların arka tarafına izalatör konularak akımın sadece kollarla sınırlı kalması sağlanmıştır. Kollar hareket mekanizmalarına monte edilmiş ve trafodaki artı ve eksi uçlar kollara yerleştirilmiştir ( Şekil 3.3.b ve 3.3.c ).



Şekil 3.3.b. İzolatör, bakır bara ve hareket mekanizmasının birleşim fotoğrafı



Şekil 3.3.c. Elektrot tutucu kolların fotoğrafı

### 3.1.5. Elektrotlar

Elektrik ark fırınlarında genel olarak grafit elektrot kullanılmaktadır. Bu çalışmada da doğrultuda elektrot seçimi grafit olarak yapıldı. İstenilen boyutta grafit elektrot bulunamadığından dolayı kare şeklinde gelen uzun elektrotlar tornada işlenerek, bunlardan 30 mm çapında 300 mm uzunluğunda iki adet elektrot oluşturuldu. Elektrotların uç kısımları sivriltilerek arkın daha kolay oluşması sağlandı. İşlenen elektrotlar, tutucu kollara yerleştirildi ve fırın çalışabilir hale getirildi.

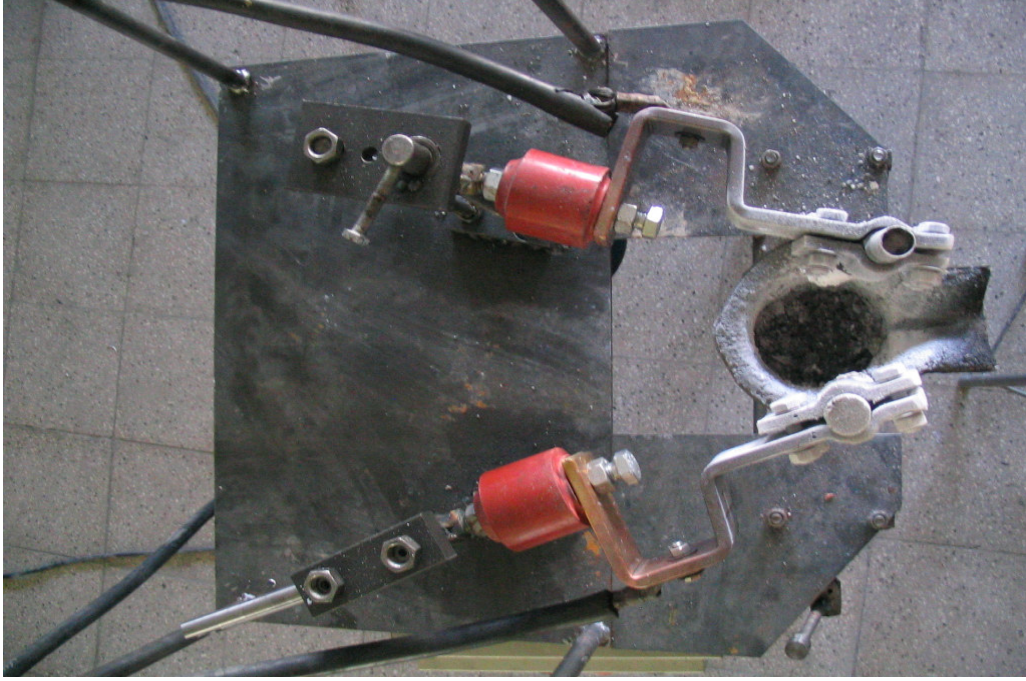
### 3.2. Üretilen Elektrik Ark Fırınının Çalışma Prensibi

Fırın çalıştırılmadan önce gerekli olan bağlantılar kontrol edildi ve ergitilecek malzeme olarak, düşük sıcaklıkta ergiyebilen alüminyum seçildi. Alüminyum pota boyutlarına sığacak şekilde kesildi ve potaya yerleştirildi. Sürekli temas halinde olacak olan elektrot, alüminyuma temas ettirildi. Hareket halinde olacak olan elektrot da motor yardımıyla alüminyum malzemeye yaklaştırıldı. Trafo çalıştırıldı ve elektrotlara yaklaşık 600 A verildi ve böylelikle elektrotlar akımla yüklenmiş oldu.

Hareket halindeki elektrot kol yardımıyla malzemeye temas ettirilip bir miktar geri çekildi. Elektrodun geri çekilmesi ile ark başladı. Alüminyum ergidikçe ark boyu uzadığından, arkın kesilmemesi için hareketli elektrot yavaşça aşağıya doğru indirildi. Hareketli elektrod da oluşan ark ile o bölgedeki alüminyum sıvı hale getirildi. Sıvı hale gelen alüminyum, etrafında katı halde bulunan alüminyumları da içine çekerek onları da sıvı hale getirdi. Bu arada ark kesintisiz olarak devam etti.

Sürekli temas halindeki elektrodun temas ettiği katı haldeki alüminyum da yavaş yavaş sıvı hale geldikçe, temas halindeki elektrot aşağıya doğru indirildi. Artık pota içindeki alüminyum tamamen sıvı hale getirildi. Elektrodun sıvı haldeki alüminyum üzerinde ark oluşturmaya devam etti. İstenilen sıcaklık tahmin edildikten sonra trafonun enerjisi kesilerek sürekli temas halindeki elektrot yukarı çekildi. Hareket halindeki elektrod da motor yardımı ile yukarı çekildi. Pota eğdirilerek sıvı halindeki alüminyum kalıba döküldü.

Üretilen elektrik ark fırınının ayrıntılı fotoğrafları Şekil 3.4.a,b ve c' de verilmektedir.



Şekil 3.4.a. Üretilen ark fırınının üstten görünümü



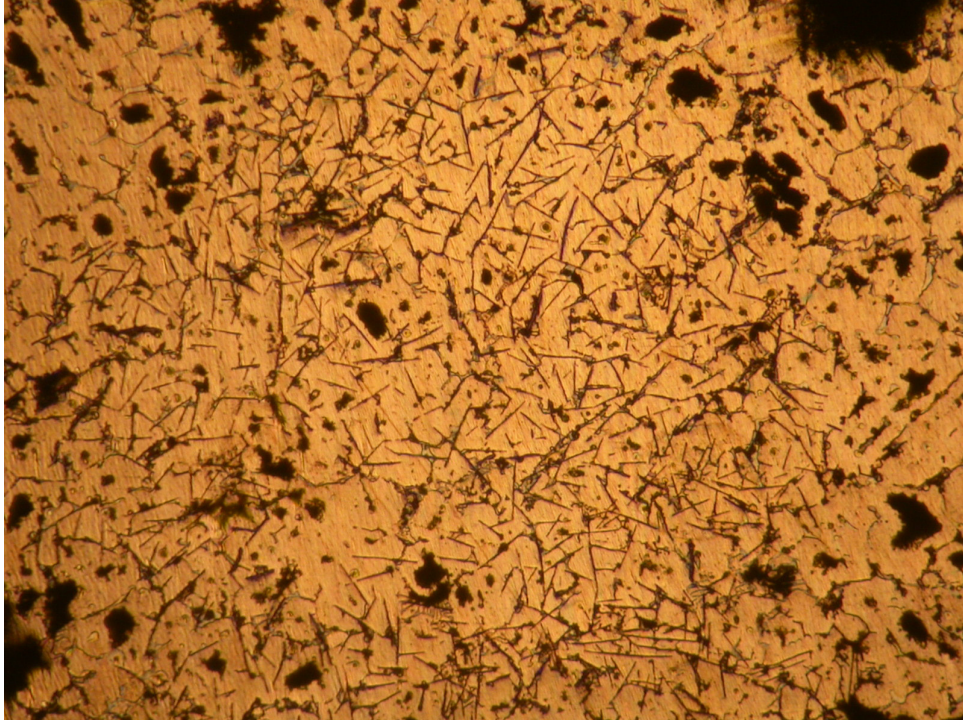
Şekil 3.4.b. Üretilen ark fırınının arkadan görünümü



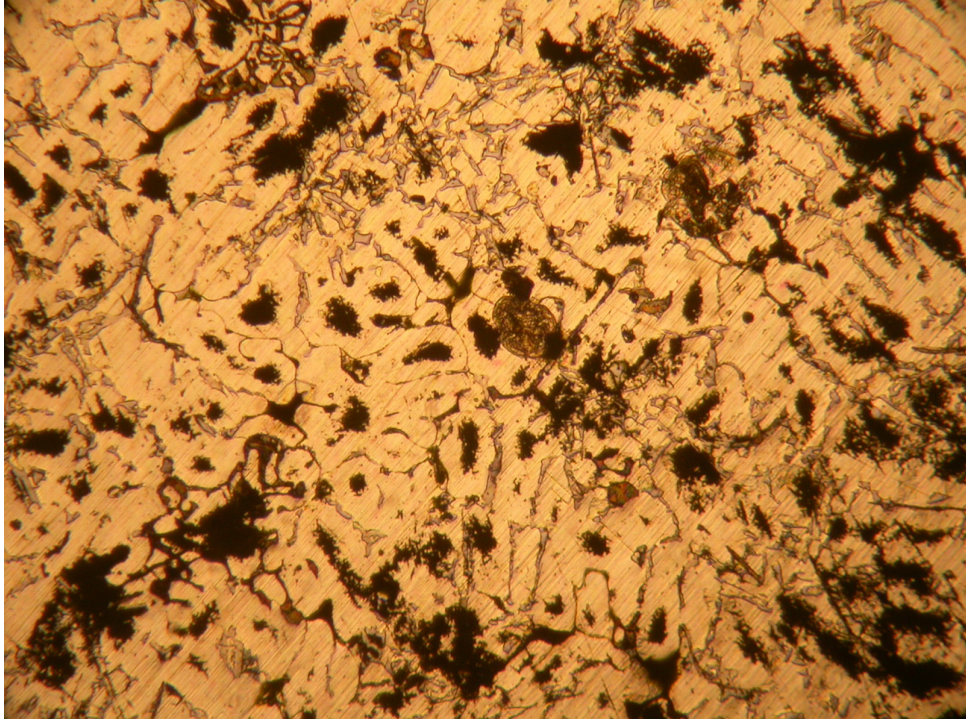
**Şekil 3.4.c.** Potanın iç görünümü

### 3.3. Döküm Öncesi ve Sonrası Mikro Yapının İncelenmesi

Alüminyum ergitilmeden önce, mikroyapı incelemesi için bir numune alındı. Ergime işleminden sonra kalıptan çıkarılan alüminyumdan da bir numune alındı. Alınan numuneler zımparalanıp parlatıldıktan sonra Keller çözeltisi hazırlanılarak dağlandı. Keller çözeltisi hazırlanırken 2 ml HF, 3 ml HCl, 5 ml HNO<sub>3</sub> ve 190 ml su kullanıldı. Dağlama işleminden sonra mikroskopta incelenerek Şekil 3.5.a ve b' de gösterilen fotoğraflar çekildi.



Şekil 3.5.a. Döküm öncesi alüminyumun mikro yapısı

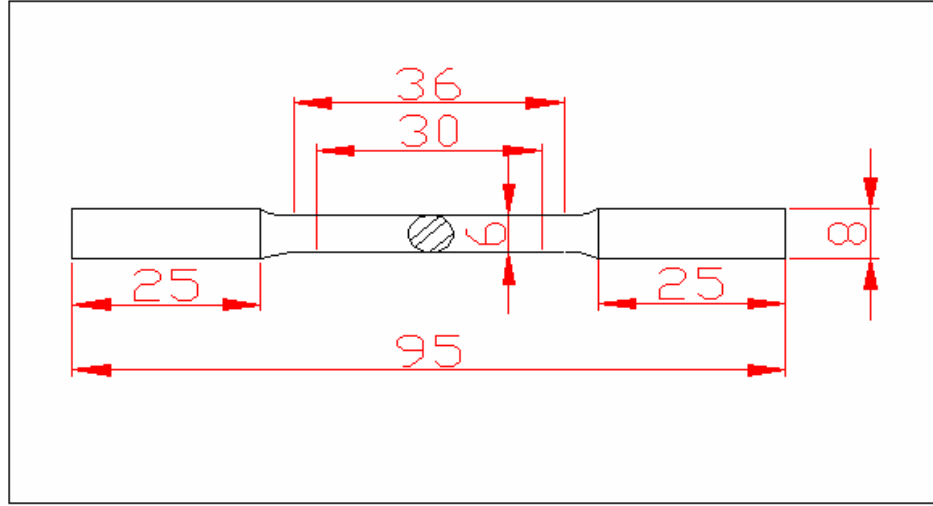


**Şekil 3.5.b.** Döküm sonrası alüminyumun mikro yapısı

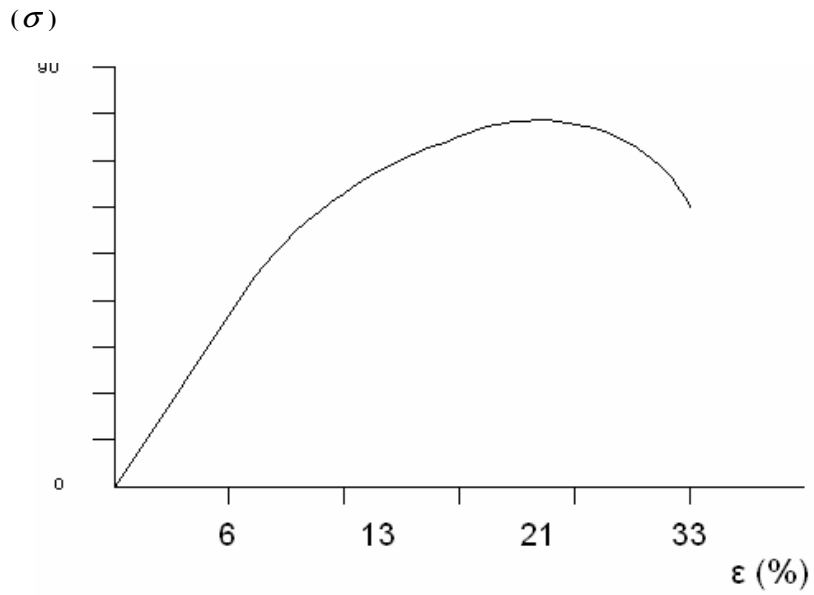
Şekillerden de anlaşılacağı gibi, döküm sonrasında tane boyutunda küçülme olmuştur. Fırın boyutunun küçük olması nedeni ile, burada grafit elektrodun malzemeye etkisinin minimum değerde olduğu söylenebilir.

### 3.4. Döküm Öncesi Ve Sonrası Çekme Deneyi Uygulaması

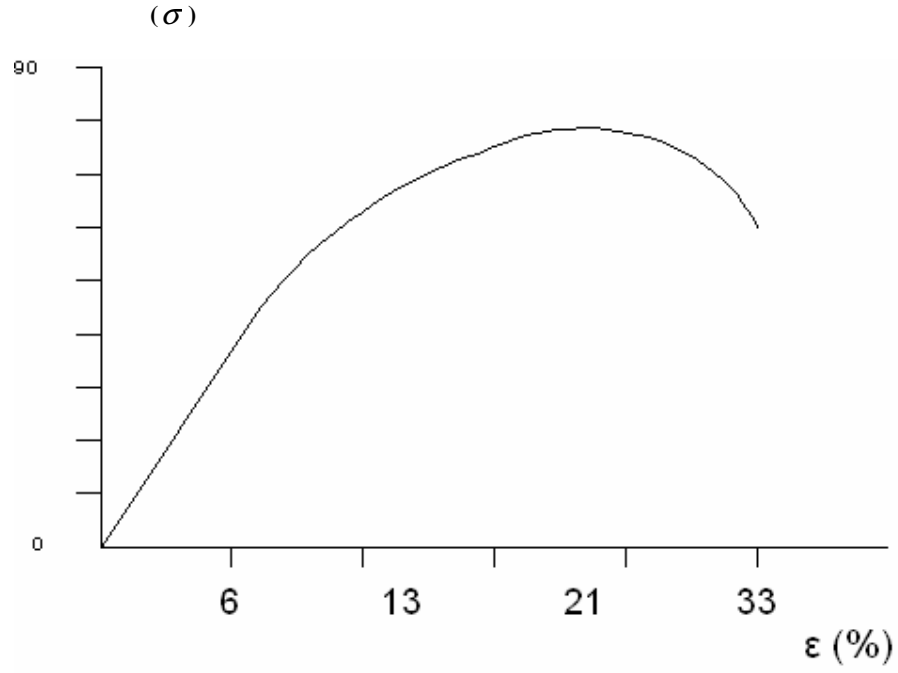
Döküm öncesi ve döküm sonrası alınan numuneler Şekil 3.6.a' daki gibi işlendi. Üniversal çekme makinasın da işlenen numuneler çekilerek Şekil 3.6.b ve c' deki  $\sigma$  -  $\epsilon$  diyagramları elde edildi.



Şekil 3.6.a. Alüminyum çekme numuneleri



Şekil 3.6.b. Dökümden önce alınan numunelerin çekme diyagramı



Şekil 3.6.c. Dökümden sonra alınan numunenin çekme diyagramı.

Numuneler çekildikten sonra, döküm öncesi alınan numunenin kopma dayanımı 1900 N, döküm sonrası alınan numunenin kopma dayanımı ise 2100 N olarak belirlenmiştir. Maksimum çekme gerilmesi döküm öncesi numunede 2150 N, döküm sonrası numunede ise 2300 N olarak belirlendi. Formüller aşağıda verilmektedir.

Çekme gerilmesi  $\sigma = \frac{F}{A_0}$

Yüzde uzama  $(\%) e = \frac{\Delta l}{l_0} 100$

Çekme deneyinde numunenin maksimum uzama değeri 1 mm'dir.

$A_0 = \frac{\pi}{4} d_0^2$  dir.

#### 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

İmal edilen küçük boyutlu elektrik ark fırını ile düşük ergime sıcaklığına sahip metal numunelerin ergitilebileceği görülmüştür. Boyutu nedeniyle, laboratuvar ortamlarında deney amaçlı kullanımında bir problem görülmemiştir.

Elektrot tutucu kollar, gerekli oranlarda bakır bara kullanılması nedeni ile az oranda ısınma göstermiştir. Bu nedenle soğutucu sistem kullanılmasına gerek duyulmamıştır.

Pota boyutunun küçük olması grafit elektrodun numuneye olan etkisini minimuma indirmektedir. Böylelikle istenilen oranlarda alaşım elde edilmesinde herhangi bir sorun yaşanmamıştır.

Yapılan pota, ısı kayıplarını en az seviyeye indirdiği için, ergiyen malzeme fırın içerisinde uzun bir süre sıvı halde kalabilmiştir. Bunun sonucunda küçük miktardaki dökümler için taşıyıcı pota kullanılmasına gerek duyulmamıştır.

Yaklaşık 1-1,5 kg alüminyum 5-10 dakika içerisinde sıvı hale getirilmiştir. Bu da fırın sıcaklığının 5-10 dakika içerisinde yaklaşık 1000 °C' ye ulaştığını göstermektedir.

Metaller ısındıkça elektrik iletkenliği azaldığına göre, pota içerisine yerleştirilen malzeme ergidikçe elektrik iletkenliği azalacaktır. Bunun sonucunda trafo daha fazla akım çekmeye çalışmaktadır. Bu kural göz önünde bulundurularak, trafo ya da kabloların ısı durumu sürekli kontrol altında tutulmuştur. Kullanılan trafo her zaman ergitilecek malzeme için yeterli kapasitede olmalıdır, Aksi halde, sargılarına zarar verilebilir.

Döküm sonrası potanın ve elektrotların temizlenmesine dikkat edilip özen gösterilmiştir. Eğer potanın içinde önceki dökümden kalan artık malzemeler bulunsaydı, yapılan dökümün alaşım içeriği istenilen özelliklerde olmayabilirdi. Döküm sonrası elektrotların uçlarında malzeme artıkları donarak kalabilmektedir. Bu da bir sonraki dökümde arkın başlamasını geciktirmektedir.

Kolların hareketini sağlayan mekanizmalar daha iyi tasarlanarak, elektrot salınımlarının engellenmesi önemli avantajlar sağlayabilir. Bu tasarımda, elektrot salınımları ne yazık ki maddi imkânsızlıklar yüzünden engellenememiştir.

Grafit elektrotlar kırılma özelliğe sahip oldukları için, işlenmesi esnasında sorunlar yaşanmaktadır. Sanayi tipi elektrik ark fırınlarının elektrot çapı büyük olduğundan kare kütükler halinde gelen elektrotlar hafif yuvarlatılarak fırına takılmaktadır. Ürettiğimiz küçük boyutlu fırında ise elektrod çapı 30 mm'ye kadar düşürülmüştür. Bu nedenle elektrotların malzemeye yavaş bir şekilde temas ettirilmeleri gerekmiştir.

Yalıtkan malzeme olarak, ısıdan etkilenecek işlevini yerine getirmeme olasılığı dikkate alınarak, ısıya dayanıklı bir malzeme seçilmesine özen gösterilmiştir.

Dökümden önce elektrik bağlantıları dikkatle kontrol edilmiş, kabloların sıkı bir şekilde bakır baralara temas etmeleri sağlanmıştır. Böylece kablolarda aşırı ısınma probleminin önüne geçilmiştir. Aynı kontrol; grafit elektrotların bakır tutucuya olan bağlantısında da yapılmıştır. Arada oluşan küçük bir boşluktan elektrot arkı oluşmaması için, bakır tutucunun elektrodu sıkı bir şekilde sarması sağlanmıştır. Bu da bakır tutucunun erimesine yol açabilir.

Pota yapımında pota iç astarının kalın olması ısı kayıplarının önlenmesi ve döküm homojenliği açısından önem taşıdığından, astar oluşturulurken kalınlığa dikkat edilmiştir.

Döküm esnasında çıkan dumanlardan korunma yolları geliştirilmelidir. Dökümü yapan ve elektrik ark fırınında çalışan kimse işçi sağlığı ve iş güvenliği talimatları çerçevesinde, en azından bir maske kullanmalıdır ya da burada olduğu gibi havayı içine çeken filtreli cihazlar potaya yakın bir yere konarak çalıştırılmalıdır.