

ANTALYA E.M.S.İ.M. DE KULLANILAN
DALDIRMALI TİP KALSİYUM KARPİT FIRINININ
ISI DENGESİ VE ENERJİ EKONOMİZASYONU

Semih Gökhan KUŞHAN

Yüksek Lisans Tezi

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

1993

ANTALYA E. M. S. I. M. DE KULLANILAN DALDIRMALI
TIP KALSİYUM KARPIT FIRINININ ISI
DENGESİ VE ENERJİ EKONOMİZASYONU

Semih Gökhan Kuşhan

Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı
Enerji Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Prof. Dr. Kemal Taner

Şubat = 1993

Semih Gökhan Kuşhan'ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "Antalya E.M.S.I.M.'de Kullanılan Daldırmalı Tip Kalsiyum Karpit Fırınının Isı Dengesi ve Enerji Ekonomizasyonu" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

.8.1.4.1.1993

Üye: Prof. Dr. Kemal TANER

Üye: Prof. Dr. Macit YAMAN

Üye: Doç. Dr. Berrin Erboğ

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 14. NİSAN 1993 gün ve 348-15... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Enstitü Müdürü
Prof. Dr. Rüstem KAYA

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 $CaC_2 - CaO$ sistemi.....	3
2.2 Karpit ünitesinin akım şeması.....	8
2.3 Karpit fırının basit gösterimi.....	15
2.4 Oyuk elektrot sisteminin şematik diagramı.....	23
3.1 Fırın tipleri.....	27
3.2 Taban elektrot bağlantılarıg.....	31
5.1 Kalsiyum Karbür Üretim Prosesi.....	36
5.2 Kireç fırınında enerjinin kullanımı.....	51
5.3 Kok kurutma fırınının enerji kullanımı.....	54
5.4 Karpit fırın ünitesinde enerjinin kullanımı	58
6.1 Ark Fırını Soğutma Isısından Yararlanma Olanakları..	62

TABLOLAR DİZİNİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 16°C ve 762 mmHG'de Gaz Verimi.....	4
2.2 Kimyasal Analiz.....	10
2.3 Üstü Açık Karpit Fırını İçin İşletim Verileri.....	16
2.4 Hammaddenin Kimyasal Analizi.....	16
2.5 Alınan Karpitteki Hammadde Dağılımı.....	17
2.6 Üstü Açık Bir Fırının Bacasından Bir Toz Örneğine Hesap Edilen Parçacık Boyutları.....	20
2.7 Üstü Açık ve Üstü Kapalı Fırınlar Arasında Karşılaş tırma Verileri.....	21
2.8 İnce Malzeme Kullanıldığında Fırın Karakteristikle rindeki Değişim.....	24
2.9 Tane Büyüklüğüne Göre Gaz Verimi.....	25
3.1 Elektrot Ergitme Fırınlarının Endüstriyel Kullanım ları.....	28
5.1 5 numara Fuel-oilin Bileşenleri.....	40
5.2 Kireç Fırını ve Kuru Baca Gazları.....	44

SIMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SimgelerAcıklamalar

T	Sıcaklık (K)
C _p	Sabit Basınç Özgül Isısı (kj/kgK)
T	Sıcaklık Farkı (K)
n	Termik Verim
e	Toplam Tüketilen Enerji (kj/kg)
C	Bir Yıllık Yakıt(elektrik) Tük. tm.
M	Kütle (kg)
H _u	Kalorifik Değer (kj/kg)
H	Entalpi (kcal)
G	Ağırlık (gr)
g	Molekül Ağırlığı (molgram)
Q	Debi (kg/h)
P	Günlük Üretim Miktarı (kg/gün)
C _{su}	Suyun Özgül Isısı (kj/kgK)
L _{min}	Minimum Hava İhtiyacı
O _{min}	Minimum Oksijen İhtiyacı
L	Hava İhtiyacı
Φ	Hava Fazlalık Katsayısı
d	Yoğunluk
q	Kullanılan Enerji

Kısaltmalar

kif	Kireç Fırını
f.o	Fuel-oil
min	Minimum
B.G	Baca Gazları
kof	Kok Kurutma Fırını
kkg	Kok Kurutma Baca Gazları
kü	Karpit Ünitesi
as	Asetilen Gazı
kkd	Kok Kurutma Fırınında Kazanılması Mümkün Olmayan Enerji
bg	Baca Gazı

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

Simgeler

bgkof

kkf

Açıklamalar

Kok Kurutma Fırını Baca Gazları

Kok Kurutma Fırını

SUMMARY

The heat balance that is used in all kinds of furnaces, is very important. It is a procedure that leads to appear the energy consumed and separated by means of several ways or the energy used by productions against the energy given to the plant.

The annual average consumption of A.E.M.S.I.M. is 200×10^6 kWh and this plant is supplying 60% of general requirement of Türkiye. It is possible to develop thermal efficiency according to the general consumption if suitable projects are made up.

A purpose of this study is to calculate the actual efficiency and heat losses of the commercial calcium carbide furnace and to illustrate the essential amount of the energy released. Furthermore it is aimed that the usage of the energy released as a supply for heating of greenhouses and also to get warm water for general use and heating actually another usage of energy released should be to produce electric.

All plants and companies those are related with government, have not to avoid to spend much money for the short time to build new heat centrals to use the heat released instead of to release it into the ambient.

ÖZET

Isı dengesi hemen hemen bütün fırınlarda kullanılan çok önemli bir hesaptır ve çeşitli enerji kaynaklarından alınan enerjiyi ve üretim esnasında harcanan veya çeşitli yollarla kaybolan ve dağıtılan enerjiyi liste halinde ortaya çıkartıp gösteren bir metod teşkil eder.

Ülkemizdeki kalsiyum karbür ihtiyacının %60'ına cevap veren Antalya Elektrometallurji Sanayii İşletmesi Müessesesinde yılda ortalama 200000 kWh enerji tüketilmekte olup uygun bir projelendirme ile oluşturulacak ısı tesisleri kullanılmak sureti ile bu tüketime karşılık fırının verimi büyük oranda artacaktır.

Bu çalışmada amacımız, fırının güncel verimini ve ısı kaybını gözler önüne sermek ve mevcut ısı kaybını, bir ısı kaynağı haline getirip, seracılıkta ısınma ve kullanma amacı ile sıcak su elde edebilmede hatta elektrik enerjisi üretmede kullanılabileceği gerçeğini ifade etmeye çalışmaktır.

Kamu iktisadi teşekküllerinin, devletin üzerine yük olduğu ve her geçen sene daha çok zarar ettikleri konusunun, sıkça dile getirildiği şu günlerde, fabrikaların ısı harcamalarını gözden geçirmeleri ve kısa vadeli masraflardan kaçınmadan uzun vadede kar getirecek atılımlar yapmaları gerekmektedir.

TEŐEKKÜR

Bu çalıőmanın hazırlanmasında yaptıkları yardım ve gösterdikleri ilgiden dolayı baőta danıőmanım ve değerli hocam Prof.Dr.Kemal TANER olmak üzere Antalya Elektrometalurji Sanayii işletmesi MÜessesesi tüm çalıőanlarına, değerli hocam Doç.Dr.Hikmet KARAKOÇ 'a teőekkür eder saygılar sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
SUMMARY	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
SIMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
2. KALSİYUM KARBÜR VE KULLANIM ALANLARI	3
2.1. Kalsiyum Karbür ve Kullanım Alanları	3
2.2. Kalsiyum Karbürün Üretimi	6
2.2.1. Tarihi gelişmeler	6
2.2.2. Hammaddeler ve yardımcı ekipman	7
2.2.3. Kireç fırını	8
2.2.4. Kok ön hazırlama ünitesi	10
2.2.5. Karpit fırını	12
2.2.5.1. Karpit fırın ünitesi	13
3. ARK FIRINLARI	27
3.1. Fırının Çalışması	28
3.2. Fırının Kısımları	32
3.2.1. Kapak	32
3.2.2. Dağıtıcılar	32
3.2.3. Transformator	33
4. ISI DENGESİ	35
5. KALSİYUM KARBÜR FIRINININ ISI DENGESİ HESABI	36
5.1. Kireç Ön Hazırlama Ünitesi	36
5.1.1. Enerji girdisi	37
5.1.1.1. Tüketilen enerji	37
5.1.2. Giren enerjinin kullanım alanları	38
5.1.2.1. CaO in meydana geldiği kimyasal reaksiyonun	38
5.1.2.2. Soğutma suyuna giden ısı	39
5.1.2.3. Artık gazlarda bacadan dışarı atılan ısı	40
5.1.2.4. Nemin buharlaşmasına giden ısı	46
5.1.2.5. CaO oluşumu esnasında CO ² ile dışarı atılan ısı	48
5.1.2.6. Radyasyon, konduksiyon ve diğer vasıtalarla	50
5.1.2.7. Kireç fırınının termik verimi	50
5.2. Kok Ön Hazırlama Ünitesi	51
5.2.1. Enerji girdisi	51
5.2.2. Enerjinin kullanım vasıtaları	52
5.2.2.1. Nemin buharlaşmasına giden ısı	52

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
5.2.2.2. Baca gazları ile dışarı atılan ısı	53
5.2.2.3. Radyasyon, konveksiyon kondüksiyon ve diğer vasıtalarla dışarıya atılan ısı	54
5.2.2.4. Fırının termik verimi .	54
5.3. Kalsiyum Karbür Fırın Ünitesi	55
5.3.1. Enerji Gidisi	55
5.3.2. Giren Enerjinin Kullanım Alanları	56
5.3.2.1. CaC oluşum ısısı	56
5.3.2.2. Soğutma suyuna giden enerji ..	56
5.3.2.3. Asetilen gazı ile dışarı atılan enerji	57
5.3.2.4. Radyasyon konveksiyon kondüksiyon ve diğer yollarla dışarıya atılan enerji	58
5.3.2.5. Kalsiyum karbür fırınının termik verimi	58
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	59
6.1. Kalsiyum Karbür Fırın Ünitesi	59
6.1.1. Asetilen gazı ve reaksiyon sonucu açığa çıkan gazların enerjisinin yeniden kazanmak için alternatif metodlar	59
6.1.1.1. Asetilen gazından yararlanmak için öneriler	60
6.1.2. Soğutma suyundan yararlanmak için alternatif öneriler	61
6.2. Kök ve Kireç Fırınları Baca Gazlarından Yararlanma Olanakları	62
KAYNAKLAR DİZİNİ	64
EKLER	65

1. GİRİŞ

Antalya Elektrometalurji Sanayii İşletmesi Müessesesi'nde kalsiyum karpit üretiminin gerçekleştirildiği daldırmalı tip ark fırınının ısı kayıpları ile bu kayıpların azaltılması konulu çalışmamı genel olarak altı ana başlık altında gerçekleştirdim.

Bu çalışmada kullanılan üretim ve işletim verileri A.E.M.S. işletmesinin 1991 yılı üretim bilançosundan yararlanılarak tespit edilmiştir. verileri

Birinci bölümde "Antalya E.M.S.İ.M.'de Kullanılan Daldırmalı Tip Kalsiyum Karpit Fırınının Isı Dengesi ve Enerji Ekonomizasyonu" konulu çalışmamız hakkında genel bir bilgi verilmiştir.

Kalsiyum karpit ve kullanım alanları olarak oluşturulan ikinci bölümde ticari kalsiyum karpitin arz - talep durumu, genel olarak sanayiinin hangi kısımlarında ihtiyaç duyulduğu, üretim metodu, tarihi gelişmeleri hammadde ve yardımcı ekipman durumu, fırının işletilmesi ve fırın tipleri hakkında bilgi verilmeye çalışılmıştır.

Üçüncü bölümde ise genel olarak ark fırınları hakkında bilgi verilmeye çalışılmış ve çalışmamızın konusu olan daldırmalı tip ark fırını hakkında bilgi vermek hedeflenmiştir.

Isı dengesi hemen hemen bütün fırınlarda çok önemli bir hesap olup, bu hesap yapılırken hangi kriterlerin baz alındığı ve hesap şekli dördüncü bölümde verilmiştir.

Bu kriterlere ve fırının 1991 yılı üretim bilançosuna göre fırının

Isı dengesi hesabı beşinci bölümde yapılmaya çalışılmıştır.

Altıncı bölümde ise söz konusu ısı dengesi hesabına

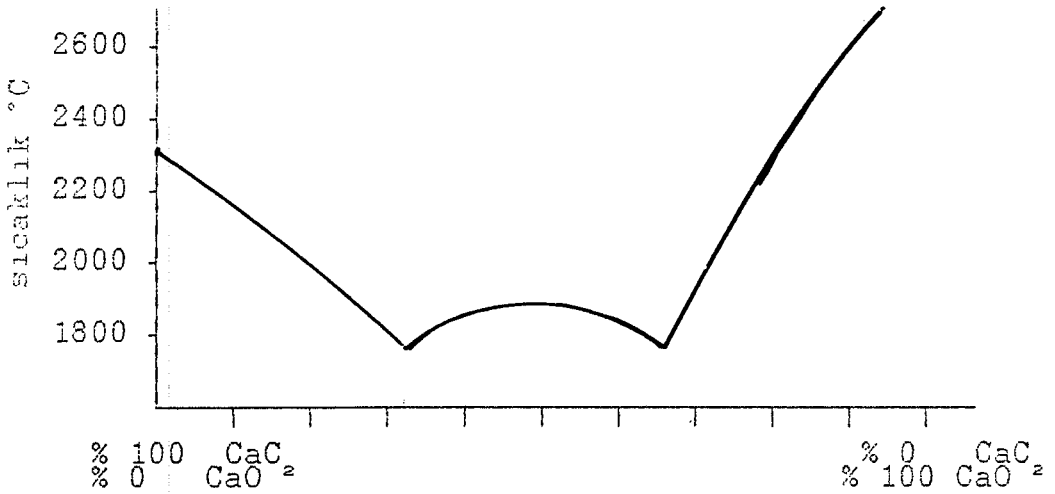
göre bulunan sonuçlar irdelenerek alternatif metodlar incelenmeye çalışılmış ve buna göre bir değerlendirme yapılmıştır.

2. KALSİYUM KARBÜR VE KULLANIM ALANLARI

2.1. Kalsiyum Karbür ve Kullanım Alanları

Genelde karpit olarak adlandırılan ticari kalsiyum karbür içerisinde dolgu bileşenlerinden ortaya çıkan pisliklerle beraber CaC_2 ve CaO ihtiva eden kırmızımsı kahverengiye çalan karistalin bir maddedir. Bu pisliklerin miktarı karpitin rengine etki eder. Saf CaC_2 beyaz renktedir.

Bu nedenle kalsiyum karbür CaC_2 - CaO sisteminin bir parçasıdır ki bu sistemin sıvı hali Şekil 2.1' de gösterilmiştir.



Şekil 2.1: CaC_2 - CaO Sistemi (Robiette, 1973)

%68 ve %35 CaC_2 oranlarında iki ötektik karışım oluşturulmuştur. Bunlara denk gelen ergime değerleride sırasıyla 1750°C ve 1800°C dir. Kimyasal formülü CaO , CaC olan bir orta karışım yaklaşık %50 CaC_2 oranında oluşturulmuştur. Karpit , aşağıdaki denkleme göre suyla irtibata geçirildiğinde yüksek bir saflıkta Asetilen gazı meydana getirir. Bu denklem şu şekilde ifade edilir (Robiette 1973).



Karpitin bu özelliği ona kimyasal bir madde hüviyeti kazandıran önemli bir özelliktir. Endüstride karpit CaC

yüzdesine göre tercih edildiğinden üretilen asetilen'in hacmi karpitin kalitesini belirleyen bir ölçü olarak dikkate alınır. Gaz verimi olarak ifade edilen, üretilen gazın hacmi, ya ft^3/lb ya da lt/kg olarak boyutlandırılır. Fakat bu boyutlandırma standard basınç ve sıcaklık şartlarına göre yapılır [sırasıyla 60°F (15.6°C) ve 30 inçHG (762 mmHG)]. Ticari karpit $4,8 \text{ ft}^3/\text{lb}$ ($300 \text{ lt}/\text{kg}$) gaz verimine sahiptir ki bu değer $\%80-85 \text{ CaC}_2$ 'ye denktir (Robiette 1973).

Asetilen gazının yoğunluğu $14,38 \text{ standard ft}^3/\text{lb}$ ($898,75 \text{ lt}/\text{kg}$) alınarak, CaC_2 yüzdesi ve gaz verimi arasında aşağıdaki tablodaki gibi bir ilişki kurulur.

Asetilen gazının, gazın parlak bir ışık elde etmek için havanın içinde yandığında aydınlatma kaynağı olarak kullanılmasından, metal ve alaşımları kesecek kadar yüksek bir sıcaklığın elde edilmesi için oksijen içerisinde yanmasına kadar birçok kullanım alanı vardır. Asetilen aynı zamanda içerisinde çözücü ve plastik yapıcı maddeler içeren bir çok organik bileşiğin ve polivinilklorür, asetat grupları ve neopren tipine ait sentetik kauçukların sentezleri için temel bir madde olarak da kullanılır.

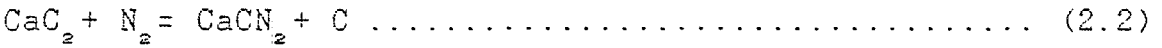
TABLO 2.1. 16°C ve 762 mmHG 'de Gaz Verimi (Robiette, 1973)

ft^3/lb	lt/kg	$\% \text{CaC}_2$
5,841	384,8	100
5,4	312,3	85,61
4,9	306,3	83,89
4,8	299,7	82,17
4,7	293,5	80,46
4,6	287,3	78,75
4,5	280,9	77,03
4,4	274,5	75,34
4,3	268,1	73,62
4,2	261,7	71,90
4,1	255,3	70,2
4	249,0	68,48

İkinci dünya savaşının sonunda kimyasal endüstri karpit üretiminin yaklaşık $\%60$ 'ını tüketmekte idi. Kimyasal amaçlar için petroleum kütlelerinin kırılmasından elde edilen doyma-

miş hidrokarbon gazlarının (özellikle etilen gazı) karpitten türeyen asetilen gazının yerini alması, karpit üretimini ciddi bir şekilde etkiledi ve bu da inşa edilen karpit fırınlarının azalmasına neden oldu.

Asetilen gazının gelişmemiş ülkelerde, balıkçı teknelerinde aydınlatma için kullanılması gibi çok sınırlı bir kullanımından başka karpit, direk uygulamalarla sınırlandırılmıştır. Bunların en önemlilerinden bir tanesi aşağıdaki denklemden de görüleceği gibi, karpitin kalsiyum klorid veya kalsiyum florid gibi bir katalizatörün eşliğinde nitrojen ile reaksiyona girmesi sonucu elde edilen kalsiyum siyanürün oluşumudur (Robiette, 1973).



Bu reaksiyon yüksek derecede egzotermik olup, bir defa başlaması için herhangi bir ısı kaynağına gerek yoktur.

Karpit, soda külü ve kirece oranla yüksek maliyetine rağmen; şimdiki döküm teknolojisinde dökme demir için, kükürttten arındırma vasıtası olarak kullanılır. Bunun sebebi dökme demirde oluşan sıcaklık kayıplarındaki küçük etkilere göre çok az bir karpit ilavesiyle, çok düşük oranlı bir kükürt bileşenine erişilebilmesidir.

Kükürttten arındırma işlemi, ince karpitin bir karbon tüpünün içerisinden eriyiğin içerisine doğru döküm potası içinde yapılır. Alternatif olarak, demirin yüzeyinden curufun kaldırılmasından sonra ince taneli karpit (0.012'den 0.028 inç'e kadar) dökme demirin yüzeyine doğru fırlatılır ve hava delikli bir tapa içerisinden döküm potası tabanına doğru karpitin demirle kontak haline getirilmesi için üflenir.

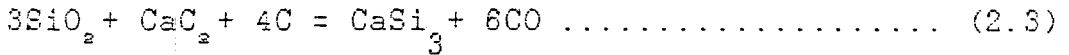
Karıştırmanın diğer metodları, bir sarsıntı kepçesinin ve dökme demirin içine dalmış vaziyette bir karıştırıcının kullanımını içine alır. Sülfürün 0.005'den daha düşük olan en son bileşim yüzdesi kırıntı tipi karıştırıcı kullanılarak

belli olur ve kalsiyum karbür ilavesi demirin kükürt yüzdesinin yaklaşık on katı kadar yapılır. Dügümlü ya da yumuşak demirin yapısı içinde büyük oranda desülfürize edilmiş demir ile beraber ilave edilen magnezyum miktarını önemli şekilde muhafaza eden koruyucular da vardır.

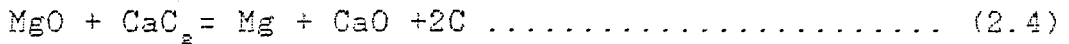
4,1 ft³/lb(256 lt/kg)'da yaklaşık olarak %70 kadar CaC ihtiva eden düşük ergimiş karpit dökme demir fırınlarında sınırlı bir kullanım alanı bulmuştur. Karpit bu fırına şarj edilir, bir desülfürizasyon ve rekarbürizasyon vasıtası fonksiyonu görür.

Diğer direk metallurjik uygulamalar ise şu şekildedir :

- A) Kalsiyum karbürün kok ve kuartz ile ergitilmesi ile kalsiyum silikatın oluşması.



- B) Magnezyumun, 1100°C civarında bir sıcaklıkta ve yaklaşık olarak 1 mmHG'lık bir basınçta ya magnezya ya da dolomiti karpit ile ergitilerek elde edilmesi.

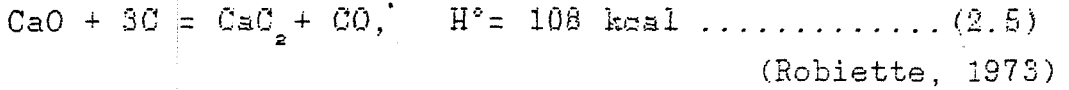


(Robiette, 1973)

2.2. Kalsiyum Karbürün Üretimi

2.2.1. Tarihi gelişmeler

Kalsiyum karbür geçmişi 1802'li yıllara yani Amerika'lı Bilim Adamı Robert Hare'ın kireç ve magnezyumdan oluşan bir karışımı bir antrasit yatağında kendi geliştirmiş olduğu oxihidrojen üfleme borusu ile eriterek birleştirmeye çalışırken kazayla bileşiği elde etmesine kadar uzanır. 1892 yılına kadar Fransız Bilim Adamı Henri Moissan ve Kanada'lı bir mühendis olan Thomas L. Wilson, birbirlerinden bağımsız olarak kok ve kireçten olan bir karışımı aşağıdaki denkleme göre bir elektrik fırını içerisinde birlikte ergiterek karpit yapısı için görece basit bir prosesi buldular.



1850°C civarında yüksek sıcaklıkta başlayan reaksiyon yüksek miktarda endotermiktir ve 2300°C'ın üzerinde CaC₂ kalsiyum buharına ve karbona ayrışır.

Wilson, tek fazlı bir fırının dikey hareketli bir elektrodu ve sabitlenmiş karbon göbeği arasında karbon ve kireçten oluşan bir karışımı beslemek sureti ile bir karpit bloku elde etmiştir. Bu kesikli ya da "BLOK PROSESİ" ni kullanarak, %90-95'lik karpit yüzdesine sahip bir CaC₂'yi elde etmede zorluk çekmemiştir. Wilson'un 1892 yılının aralık ayında North Carolina'da Leakswille yakınlarındaki Spray'de bir alüminyum işletmesinde elde ettiği ilk blok karpitten bu yana elektrik kaynağına göre dengeli bir yük veren modern üç-fazlı büyük üniteler hariç, temelde proses değişmemiştir. Bundan başka, dolguya fazladan kireç ilave edilmesi ürünün ergime noktasını düşürür. Böylece "ÇALIŞTIRMA PROSESİ" olarak adlandırılan ve fırından %80-85 civarında CaC₂ ihtiva eden karpitin üretimine olanak sağlayan ve süreklilik arzeden bir temel mevcuttur.

2.2.2. Hammaddeler ve Yardımcı Ekipman

Ticari çapta karpit üretimi için gerekli başlıca materyal iyi kalitede kireç, kullanışlı bir karbon kaynağı ve bol miktarda elektrik üreten bir kaynaktır. İlaveten karpit fabrikasının demiryolu, yol veya deniz taşımacılığı yeterli olan bir yerde tercih edilmelidir. Ayrıca kömür, gaz, yakıt ve su gibi yardımcı maddelerin temin edilmesi için uygun bir yerde kurulmalıdır.

Bir karpit fabrikası dört alt kademeye bölünebilir.

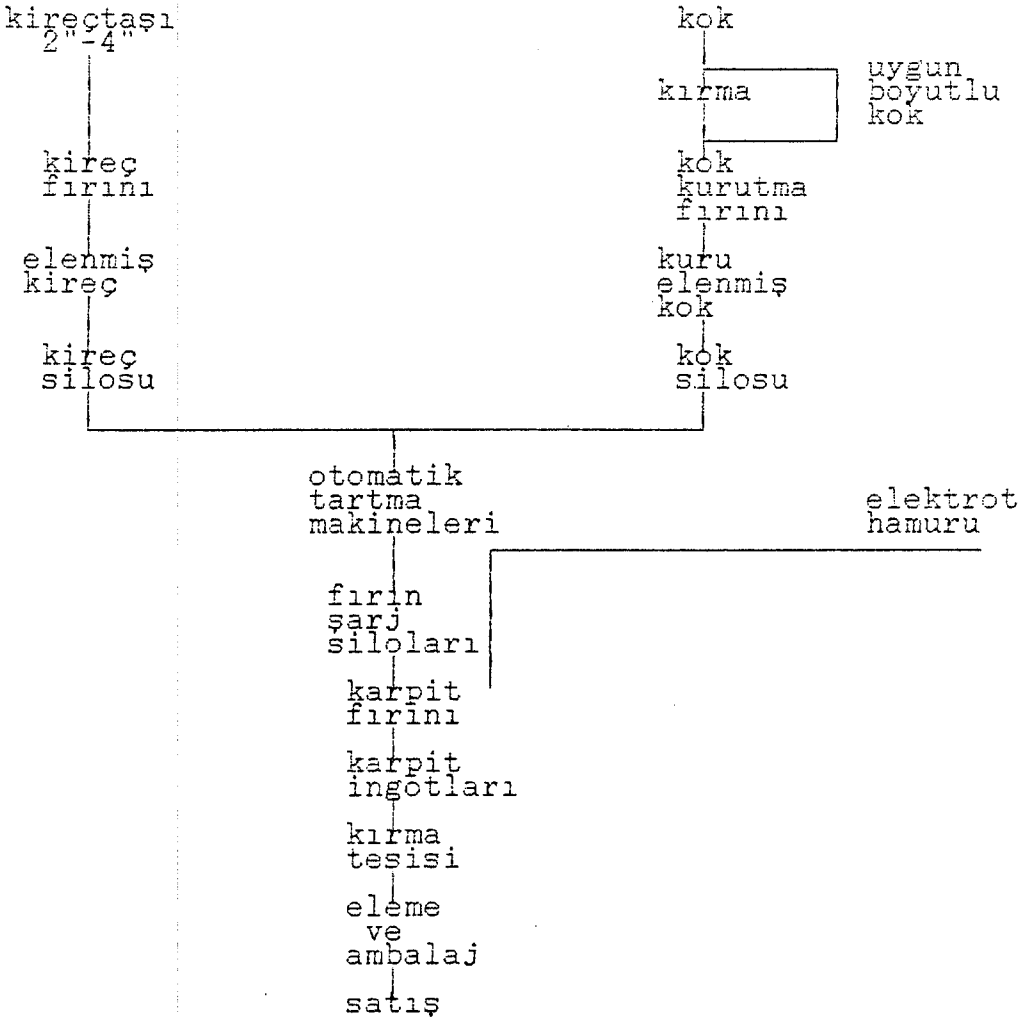
- a) Kireç Ünitesi
- b) Kok Ön Hazırlama Ünitesi
- c) Karpit Fırını Ünitesi
- d) Kıрма Eleme Paketleme ve Dağıtım

Şekil 2.2, kısımların birbirine nasıl bağlandığını

göstermektedir. Aynı zamanda bir karpit fabrikasında operasyonların gidişatını şematize etmektedir.

2.2.3. Kireç Fırını

Çoğu karpit fabrikaları, karpite ilave edilen kirecin mümkün olduğunca taze yanmış olarak, rutubetten ve toz oluşumunun diğer etkenlerinden etkilenmemiş olarak işlem görmesi için kendi kireç yapım olanaklarına sahiptir ki toz oluşumunun diğer etkenleri, kirecin uzun mesafelerden getirilmesi durumları söz konusu ise aşırı kullanım gibi durumları içerir. Yani sarfiyat ve maliyet fazla olur.



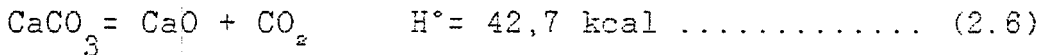
Şekil 2.2: Karpit Ünitesinin Akış Şeması. (Robiette, 1973)

Kireç genellikle ya dikey bir mil ya da yatay döner bir kurutma fırınında tercihen %97'nin üzerinde kalsiyum karbonat, %1 'den az silika ve %0,03'ü aşmayacak fosfor içeren kireç taşından elde edilir.

Dikey fırınlar daha verimlidirler ve karpit fırınına taşınması zorunlu olan daha ince malzeme üretirler. Ayrıca birbirlerinin aksine oldukça geniş besleme yeri boyutuna sahip döner fırına karşın dikey bir fırın, normalde düzensiz kalsinasyon, sinterleşme ve şarjın köprüleşmesinden kaçınmak için boyutlandırılmış birşarj gerekmektedir.

Döner fırın genellikle gaz,yakıt veya pulverize kömür ile yakılır. Düşey fırın gaz,yakıt ve kireç taşı ile kokun bir karışım şarjı ile yakılır. Her iki tip kurutma fırınının yakıt gereksinimi karpit fırınıının üstü kapatıldığı zaman fırın gazı ile arttırılır.

Karpitin oluşumu için kireç taşının doğrudan kullanılması karpit fırınında meydana gelen kalsinasyon prosesi nedeni ile güç sarfiyatında artışa neden olur.



Buna ilaveten elektrot ve karbon sarfiyatı reaksiyonun gereği olarak karbon çözeltisi ile arttırılır.



(Robiette, 1973)

Karpit fabrikalarında asetilen üreten tesislerden kireç hidrat formunda da kireç elde edilebilir. Bu da karpit fabrikalarında alternatif olarak mevcuttur. Asetilen üretim metodu esnasında, su ilavesinin kontrolü ya kuru bir hidrat ya da bir kireç üretir.

Kalsiyum hidroksit her durumda karpit fırınına ister yalnız başına isterse kömür ihtiva eden bir briket karışım halinde briket haline getirilir ve beslenir. Bu yüzden kirecin karpit üretim prosesinde elektrik fırını yolu ile asetilen gazına dönüşen karbon atomunu taşıma görevini üstlendiği

de görülebilir.

Kireç içerisinde pislikler oluştuğu için asetilen, üreticilerden alınan kirecin yeniden çevrim miktarı %50 CaO ile sınırlandırılmıştır. Bu Tablo 2.2'de test sonuçlarında gösterilmiştir. Bu tablo karpit, sönmemiş kireç ve kok'dan meydana getirilmiştir. Karpit üretilmiş, çamuru kurutulmuş ve briket haline getirilerek fırına yeniden doldurulmuştur. Bu çevrim dört defa yapılmıştır.

Tablo 2.2: Kimyasal Analiz (%). (Robiette, 1973)

	saf kireç	1. periyod	2. periyod	3. periyod	4. periyod
Top. CaO	97,27	94,53	92,76	90,84	88,85
SiO ₂	0,92	2,75	3,66	4,8	5,3
Al ₂ O ₃	0,11	1,44	2,92	3,6	5,2
Fe ₂ O ₃	0,11	0,33	0,17	0,18	0,17
MgO	1,12	0,48	0,09	0,03	0,04
Kayıplar	0,47	0,47	0,4	0,55	0,54

2.2.4. Kok ön hazırlama ünitesi

Karpit üretiminde kullanılan kok veya herhangi bir karbonlu malzeme için temel gereksinim yüksek bir sabit karbon yüzdesi ve düşük sülfür ve fosfor yüzdesidir. Bu son iki elementin de karpitde sözü geçer ve suyla münasebete geçince hidrojen sülfat ve fosfin ortaya çıkarır ki bunların ikisi de asetilen gazı içerisinde arzu edilmez.

Karbonlu redüktantın seçimine etki eden diğer faktörler

- Elektrik dirençliliği
- Reaktifliği
- Gevrekliliği
- Fiyat ve işe yararlılığıdır.

Yüksek bir elektrik dirençliliği, karpit fırınının kapa-

sitesinde önemli önemli bir etkisi olduğu için dikkate alınması gereken bir husustur.

Karbonlu indirgeme elemanının kolay toz haline gelirliliği (karpit fırınına beslenmezden önce) çok önemlidir çünkü karbon çok ince bir şekilde elenmezse şarjın tıkanmasına ve böylece karpit oluşum reaksiyonu esnasında oluşan gazların çıkışına engel olabilir. Bu bağlamda yumuşak ve toz haline gelebilir karbonlu indirgeme elemanları ki bunlar, mangal kömürü ve petrolium koklarının bir kısmı gibi elemanlardır; oldukça büyük elek kayıplarına bu da karpit fırınına düşük ürün verilmesine neden olur.

Reaktivlik için bir özgül ölçü çubugu yoktur. Ancak bunun haricinde karpit fırını içindeki reaksiyonun oranı ve güç sarfiyatı hakkında dönem dönem elde edilen sonuçlar vardır. Reaktivite terimi genelde normal alanlarda oksijenle reaksiyonu için kapasiteyi ifade eden kok reaktivitesi dergildir. Bir karpit fırınındaki reaksiyonun mekanizması bir CaC_2/CaO dökme çözeltisinden oluşan bir dökme kireç banyosu içerisindeki karbonun çözeltisi olarak kabul edildiği için, reaksiyondan oluşan karpitin sınırlama faktörü oranı dökme kireç ile kontak halindeki karbonun yüzey alanı ile ayarlanır. Bu bakımdan karbonlu indirgeme elemanları yüksek yüzey alanına sahiptirler. Normalde karpit yapımındaki kirece doğru yüksek bir reaktivlikleri vardır. Reaktivitede azalan sıraya göre karbonlu indirgeme elemanları şöyledir.

- a) Petrolium Koku
- b) Mangal Kömürü
- c) Gaz Koku
- d) Antrasit

Nihai seçim, bir ekonomik uygunluk aramak ve yukarıda sözü geçen gereksinimlerin çoğunu karşılamak için fit ve mevcudiyete dayanmakla beraber redüktantın seçimi genelde bir gaz koku veya bunun diğer karbonlu indirgeme vasıtalarının birisi veya birkaçı ile biraraya gelmesinden oluşan bir

karışım olbilir.

Şarj tartım makinaları, karpit fırını şarj hoperleri içine verilen kokun ağırlığını brüt olarak tarttığı için ve kokun içindeki karbon sabitlenemediğinden dolayı, kokun kalitesinin standart şartlarda olabilirligi konusu en önemli konudur. İşte bu ve diğer sebeplerden ötürü kok, tartım makinesine gitmeden önce kurutulur. Amaç koktaki nemin oranının %2'den daha yüksek olmamasını sağlamaktır.

Kullanılan kurutucu tipi, yatay döner tip veya kokun tepeden içeriye beslendiği, tutuşma noktasından aşağıya doğru termostatik olarak kontrol edilen bir sıcaklıktaki yanmış gazın yukarıya doğru olan hava akımı arasından yerçekimiyle içine düştüğü sıcaklığa dayanıklı düz bir şaft olabilir. Dikey tip kurutucu döner tipe nazaran tercih edilebilir. Çünkü dikey tip kurutucuda elde edilen ince malzeme miktarında önemli bir düşüş vardır. Bir örnek olarak gaz koku ile çalışan bir karpit fabrikasında döner tip bir kurutucudan dikey kurutucuya geçiş ince malzeme yüzdesini %13'den %4'e düşürür (ince malzeme ile kastedilen -1/8 inç).

2.2.5. Karpit fırını

Daha önce açıklandığı gibi fırın içerisinde şarjın önünde blok yapmak ve gazı çıkışını engellemekten başka bir iştirakleri olmayan ince kok ve kireç, karpit oluşumu için hazırlanmadan önce mümkün olan en son kademede elenmek sureti ile taşınırlar.

Karpit fırını içerisine gönderilen malzemeler hakkındaki en önemli nokta hepsinin uniform kalitede olmasıdır. Ateşleme kaybı, başka bir ifade ile kireç'teki karbonat ve kok'taki nem, fırına şarj edilen kalsiyum oksit/karbon oranının üzerinde yetersiz bir kontrole yol açar. Bu da karpit yapımında açığa çıkan gazın başka bir ifade ile kalitenin kontrol edilmesinde temel faktör olduğu için karpit kalitesinde büyük dalgalanmaların oluşmasına neden olur. Bu sebep-

le, kirecin ateşleme ya da kokun nem oranı %1 ila 2 arasında sabit tutulur. Bu limitler arasındaki oynamalar iyi karpit yapımında hissedilir zorluklara neden olmaz. Bunlar güç sarfiyatını arttırabilir fakat kalite kontrol altında olur.

Karpit fırınının şarjı kirecin ağırlığı için üç bölüm ve kokun ağırlığı için iki bölümden oluşur. Bu şarj asıl kireç ve kok silolarından, dolun silolarına verilen otomatik tartım makineleri ile hazırlanır.

Kok ve kireç kalitesindeki değişmelere ilaveten iki malzemenin doğru hazırlanması ve fırın beslemesi için üniform karışımın oluşturulması konusu çok önemlidir. Büyük tane boyutuna sahip birtek malzemenin kendi içinde karışımı zor olduğu gibi, iki maddenin ve hatta hepsifarklı yoğunluklarda olan karbonlu redüktantlardan oluşan bir karışım kullanılıyorsa ikiden fazla maddenin üniform olarak karışmasında çok daha zordur. Bu şarj segregasyonu probleminin üstesinden gelebilmek için, karpit fırını şarj silolarınının alçak ve geniş olmaksızın uzun ve dar olması tercih edilir.

Fırına beslenen kirecin ve özellikle kokun boyutları, şarj segregasyonunun derecesini etkilediği için büyük önem taşır. Bu boyut oranı şarjın elektrik direnci üzerinde belirgin bir şekilde etki eder. Eğer kok çok büyükse şarj direnci azalır ve elektrodlar yüzeye doğru yükselmeye meylenir bu da aşırı ısı kaybına yol açar. Kok ve kireç için arzu edilen boyutlar 1/2 ila 1 inç (12 ila 25 mm) ve kireç için 2 ila 3 inç (50-75 mm) ölçüleri arasındadır.

2.2.5.1. Karpit fırın ünitesi

Şarj direnci, başka deyişle "K" faktörü bağıl olarak yüksektir. Örneğin %75 lik ferro silikondan daha yüksektir. Bu, dolaylı olarak istenilen, iyi bir güç faktöründe çalıştırılabilen büyük fırınların inşasının mümkün olabileceği anlamına gelir.

Karpit fırını boyutları 5000 kVA'dan 70.000 kVA'lık

trifaze ünitelere kadar değişkenlik gösterir. orjinal olarak 2000 kVA'dan 6000 kVA'ya kadar olan küçük fırınlar, dikdörtgen kesitli fırın gövdeleri içinde dogrusal olarak dizilen üç elektrod şeklinde inşa edilirdi. Bununla beraber üç elektrodun bir dogru halinde düzenlenmesi ile oluşan ölü faz ya da elektriksel asimetriği önlemek için günümüzde üçgen elektrod düzenlemesi kullanılır ve modern karpit fırınları ferroalaşımların üretiminde kullanılan daldırmalı ark tipi fırınlara benzer. Silindirik bir çelik levha gövdesi içerisinde dikey olarak asılı, kendinden pişme tipli (self-baking) ya da soderberg tipli elektrodlarla oluşturulmuşlardır.

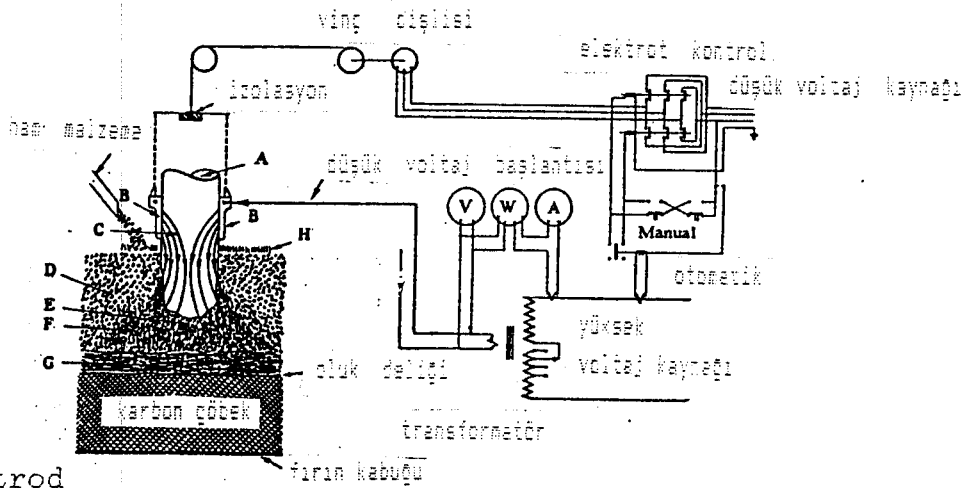
Elde edilen alaşımı içermesi açısından, bir karbon blok göbeği ihtiva etmesinden ötürü sıkça ihtiyaç duyulan bir ferro alaşım fırınından farklı olarak, karpit fırını bir alt göbek ve normal egimli ateş tuğlaları sırası ile desteklenmiştir. Bir karpit fırını içerisindeki gevşek antrasitin bir alt tabakası pahalı karbon blok göbeğinin yerini alabilir. karpit üretim işlemi sırasında antrasitin daha üst tabakaları şarj içerisindeki kireç ile reaksiyona girer ve karpit oluşur ve içerisinde reaksiyonun olduğu kendinden oluşumlu bir reaksiyon zonunu meydana getirir. Antrasit yatağının daha alttaki kısmı fırının işleyişinin bir operasyonu olarak karpit oluşum zonunda iletilen ısı ile kısmen grafitleşme eğilimi gösterir.

Gevşek antrasitin kullanımından etkilenen başlangıç göbek bedel tutarına rağmen, yine de bir çok karpit üreticisi fırınları içerisinde bir karbon göbeği tesis etmegi tercih ederler. Çünkü bir karpit fırınında ferro silikon yapısına dönüşüm ve buna bağlı olarakta iki maddeye talep olmaktadır. Tipik bir karpit fırını 9.1 m'lik (30 ft) bir dış kabuk çapına ve boydan boya 4m'lik (13 ft) bir derinliğe sahiptir. Ayrıca her biri 1220 mm(48")çapında üç elektrodu vardır. Böyle bir üniteden 17.000 kW'lık bir yükte çalışmada 300 lt/kg gaz verimine sahip karpitten yaklaşık 120 tonluk bir

üretim sağlanır.

FIRININ İŞLETİLMESİ :

Genel şarj karışım silolarından fırına beslenen kok/ki-reç karışımında önce bahsi geçen ergitme zonuna (alanına) iner kireç ergir ve kimyasal reaksiyonla katı karbonu çöze-rek CaC_2 / CaO eriyik çözeltisine dönüşür. (Şekil 2.3'e bakı-nız.)



- A. Elektrod
- B. Kontak Ayacı
- C. Akış Yönü
- D. Kireç-Kok Karışımı
- E. Sıvı kireç-Kok gazı Bölgesi
- F. Karpit Oluşum Bölgesi
- G. Sıvı Kireç/Karpit Karışım Havuzu (%20/%80)
- H. Yanarak Karbondioksit Dönüşen Karbonmonoksit

Şekil 2.3: Karpit Fırınının Basit Gösterimi (Robiette, 1973)

Eriyik çözeltisi, bir elektrik delme cihazı ile yada "stinger" ile fırından akıtılır. Bu elektrik delme cihazı ana fırın transformatörünün fazlarından birisine bağlanır ve 2 ila 3 inç (50 - 75 mm) çaplı grafit bir çubuktan ibarettir ve fırının deliğe yakın olan delici baranın ucu arasında bir ark çakacak şekilde bağlantı yapılır. Böylelikle karpit erigi içine doğru bir geçiş yolu açılır ve bu karpit erigi, fırın akış deliği altında bir ray sistemi üzerinde hareketli demirden soğutma ve gazları içesine akar.

Büyük fırınlar 20 MW daha büyük yüklerde çalışan fırın-lardır. Genellikle akış, ray hattı üzerinde yavaş hareket

eden konveyörlere olur. Örneğin, Birleşik Karpit Ortaklığı'nın Asthabula'daki santralinde 22 - 24 MW gücündeki karpit fırınlarında karpitin akışı akım-deliginden geçerken dolumuna mücadele edecek bir hızda akım-deliginin altında hareket halinde hareket edecek şekilde dezenlenmiş ve sabitlenmiş soğutucu kaplara devamlı olarak olmaktadır ve bu kaplar fırın etrafında dairesel bir boşaltım tekeri üzerinde hareket ederler. Dolan soğutma-kabı çevrimini tamamladığı zaman hemen hemen yeniden akışdeliginin civarına gelir ve karpit katılaşma için yeteri kadar soğur daha sonra kalıp katı karpitin konveyöre boşaltılması için durur ve konveyör karpiti nakleder.

Tablo 2.3: Üstü Açık Karpit Fırını İçin İşletim Verileri (Robiette, 1973)

Fırın Yüğü		16000 kW
Karpitin Tonu Başına Kireç Tonajı		0,9136
Karpitin Tonu Başına Kok Tonajı		0,5743
Karpitin Tonu Başına Elektrod Hamuru Tonajı		0,027
Karpitin Tonu Başına Elektrod Zarfı Tonajı		0,001
Karpitin Tonu Başına Kullanılan Enerji		3300 kWh
Karpitin Kalitesi		300 lt/kg

Tablo 2.4: Ham Malzemenin Kimyasal Analizi (Robiette, 1973)

%	kireç	kok	elektrod hamuru
SiO ₂	1,46	2,61	2,8
Fe ₂ O ₃	0,41	2,13	1,5
Al ₂ O ₃	0,41	2,86	1,46
CaO	92,73	1,13	0,33
MgO	0,7	0,19	0,16
SO ₃	ihmal	0,99	0,25
S	ihmal	0,63	0,43
P ₂ O ₅	ihmal	0,09	0,12
V.M.	ihmal	0,69	17,75
F.M.	ihmal	89,26	74,98
Alkaliler	ihmal	0,22	0,22
CO ₂	ihmal	ihmal	ihmal

Tablo 2.3'de üstü açık bir karpit fırınındaki tipik çalıştırma bilgileri verilmiştir.

Kullanılan hammaddelerin kimyasal analizleri tablo 2.4'de verilmiştir. Boşaltılan karpitin 100 tonu başına oluşan hammadde dağılımı da tablo 2.5'de gösterilmiştir.

Tablo 2.5: Alınan Karpitteki Hammadde Dağılımı (100 ton için) (Robiette, 1973)

%	Kireç	Kok	Elektrot Hamuru	Elektrot Zarf Çeligi	Toplamlar	Karpit
SiO ₂	1,33	1,5	0,08	---	2,91	1,75
Fe ₂ O ₃	0,37	1,22	0,04	0,14	1,77	0,63
Al ₂ O ₃	0,37	1,18	0,04	---	1,59	1,19
CaO	84,72	0,65	0,01	---	85,38	12,85
MgO	0,64	0,11	---	---	0,75	ihmal
SO ₃	---	0,57	0,01	---	0,58	---
S	---	0,36	0,1	---	0,37	---
P ₂ O ₅	---	0,05	---	---	0,05	---
V.M.	---	0,4	0,48	---	0,88	---
F.C.	---	51,26	2,02	---	53,28	0,87
Alkal.	---	0,13	0,01	---	0,14	---
CO ₂	3,93	---	---	---	---	---
CaC ₂	---	---	---	---	---	82,71
Toplam	91,36	57,43	2,7	0,14	151,63	100

Hammadde içerisinde bulunan yabancı maddeler hakkındaki temel hususlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

Silika, karpitin içerisine yavaş yavaş girer, muhtemelen demir oksit ve aliminyum ile birleşir. Bu oksitten arta kalanlar metalik duruma dönüşürlar ve karışık bir ferro-silikon yapısını oluştururlar ve bundan dolayı sadece enerji tüketimi bakımından değil ayrıca elde edilen ferro-silikonun işlemede de bazı işletimsel güçlüklerle de yol açar ki bu ferrosilikon normalde karpitin fırından alınma akım çizgisi

üzerinde fırından boşalır. Ferro-silikonun soğuma noktasının yüzlerce derece üzerinde bulunma(büyük miktarda boşalım olduğunda)soğuması için gerekli zamanın geçmesinden önce demirden soğutucu vagonu boydan boya kesebilir. Karpit fırınlarında oluşturulan ferrosilikon,% 14-16 civarında silikon ihtiva eder.

Karpitin erime sıcaklığında buhar halinde bulunan magnezya, metalik magnezyuma dönüşür ve magnezya buharı, fırın çevresi etrafında hemen hemen tamamen saf magnezyum oksidin kırıntıları haline dönüşerek kısmen reoxide olduğu (yeniden oksidasyona uğradığı) ve şarj düzeyinde MgO oluşacak şekilde kısmen yakıldığı üst, katı şarj tabakası boyunca yukarı doğru yükselir. Böylece fırın gazları içerisindeki ince toz miktarında bir artış olur. Oldukça fazla enerji tüketimine neden olmasının yanısıra hammadde içerisinde çok miktarda magnezya bulunması karpit fırınında şiddetli patlamalara da kısmen neden olabilir.

Kükürt ve fosfor da kısmen uçucu gaz haline getirilirler ve üretilen asetilen gazı içerisindeki karışımların uçucu hale geçmesinde bir azalmaya sebep olurlar. Bunlar katalitik prosesinde zehir rolü oynarlar ve kaynak işlemini engelledikleri söylenir. yeterli konsantrasyon gerçekleşirse bunlar kendiliğinden tutuşabilir ve böylece asetilenin tutuşmasına neden olabilirler.

Üstü açık elektrik fırınlarında kalsiyum karbür üretimi her zaman bir toz problemini de ortaya çıkarır. Bu nedenle karpit fırınları genellikle insan topluluklarından uzak bölgede kurulurlar. İnsanların yaşadığı durumda, tozun çevreleyen atmosfere bırakılması minimum rahatsızlığa yol açar.

Bir karpit fırınından bırakılan reaksiyon gazı miktarı, üretilen karpitin tonu başına 15000 ft^3 (425 nm³) kadardır ve karışım şarjının yüzeyine oldukça büyük miktarda toz ve duman taşır. Üstü açık fırınlarda fırın gazının, kok/kireç

karışım şarjının üzerinde yanmasına izin verilir ve sonunda fırın bacasından atmosfere boşaltılır.

Yanmayan gaz kompozisyonu hacim olarak :

Karbonmonoksit	%88
Karbondioksit	%4
Hidrojen	%3
Metan	%1
Artık kalan	%4

Bu gaz kompozisyonu yaklaşık olarak 300 Btu/ft^3 (2670 kcal/Nm^3) lük bir kalorifik değere sahiptir.

Hidrojen ve hidrokarbonlar şarj içindeki kokdan ve ayrıca elekhamurunun ziftli bağlayıcısından gelir. Hidrojenin bir kısmında şarjın neminden ortaya çıkar. Fırın gazından geriye kalanları oksijen ve nitrojenin küçük miktarları oluşturur.

Bundan dolayı karpitin tonu başına, teorik yanmış gaz hacmi 40.5 s.c.f (1088 Nm^3) olmaktadır. Fakat şarjın üzerine çekilen havanın seyreltilmesi ile bu değer 40 ile 50 kat artabilir.

Bir üstü açık karpit fırınından çıkan toz miktarı şarj edilen hammaddelerin yaklaşık olarak %3.5-5.5 'i kadar olabilir. Yayılan gazın tipik kimyasal analizi şöyledir.

SiO_2	% 6,02
R_2O_3	% 7,95
CaO	% 53,04
MgO	% 10,99
C	% 13,70
CO_2	% 4,0
P_2O_5	% 0,16
SO_3	% 3,61

Tozun parçacık boyutları 10 mikronun altındadır. Mikron cinsinden parçacıkların mevcut boyut oranları aşağıda gösterilmiştir. Bu boyutlar üstü açık bir karpit fırın bacasından alınan bir toz örneğine bağlı olarak saptanmıştır. Yani bu

toz örneği referans alınmıştır.

ÜSTÜ KAPALI TIP FIRIN :

Bundan önce üstü açık tip fırının bahsinde ele alınan durumlar şunu açıkça gösteriyor ki fırının üzerini bir çatı ile kapatmak ve yanmayan reaksiyon gazını biriktirmek büyük kazanç sağlamaktır. Üstü açık bir fırında bu gazlar şarj düzeyi üzerinde kullanışsız bir şekilde yanarlar ve bu da yüksek bir sıcaklığa neden olur ki bu sıcaklık elektrod tutucularının ve akım taşıma aparatının (ekipmanının) ömrünü kısaltır.

Tablo 2.6: Üstü açık bir fırın bacasından alınan bir toz örneğine göre hesap edilen parçacık boyutları (Robiette, 1973).

Boyut Aralığı (mikron)	Parçacık Sayısı	%	Boyut Aralığı (mikron)	Parçacık Sayısı	Kümülatif %
(+)10	ihmal	ihmal	+10	ihmal	ihmal
8-10	13	1,2	+8	13	1,2
6-8	33	2,9	+6	45	4,1
5-6	40	3,6	+5	85	7,7
4-5	45	4	+4	130	11,7
3,2-4	45	4	+3,2	175	15,7
2,2-3,2	33	2,9	+2,2	208	18,7
1,6-2,2	11	1,1	+1,6	247	22,1
1,1-1,6	16	1,5	+1,1	263	23,5
0,8-1,1	12	1,1	+0,8	275	24,7
0,4-0,8	31	2,8	+0,4	306	27,3
(-)0,4	55	4,9	-0,4	361	32,2
Toplam	1114	100			

Kapalı tip bir fırın içinde, bu problemler elimine edilmiştir ve yanmayan karbonmonoksit zengin gazı fırından çekilir. Soğutma ve temizlemeden sonra gaz ya yakıt olarak kullanılır yada örneğin metil alkolünün üretimi için yapılan kimyasal sentezlerde kullanılır. Temelde gazın % 90'ı tutulur ve 4,8 ft³/lb (300 lt/kg)'lık karpitin tonu başına söz konusu gazın ısı değeri:

$$300 \text{ Btu/s.c.f.} * 0,9 * 15000 \text{ s.c.f.} \\ = 4050000 \text{ Btu/ton} (1,02 * 10^6 \text{ kcal/ton}) \text{ karpit}$$

ki bu değer karpit üretiminde gerekli olan kirecin kalisine edilmesi için gerekli olan yakıtın kalorifik değerinin % 70'ini temsil eder.

Kireç-kok fırını karpit fırınına karışım depoları ile birleştirilen tüplerin içerisinden beslenir ve çatının içerisinden geçer ki bu çatı ta tuğla kubbeden yada elektrod- lar, şarj tüpleri gaz off-take için gerekli olan sealed openingsli su soğutmalı panel olabilir. Karpitin aşırı ısınarak, şiddetli patlamalara yol açmaması için şarjın sinterleşmesi ve bir köprü oluşturmamasından kaçınmak gerekir. Isıdan faydalanılmasından yada fırın gazının kimyasal değerinden ayrı olarak, hammadde ve elektrik kullanımı konusunda bir gelişme sağlanmıştır. 4. Uluslararası Elektro-ısı kongresinde Tomonari'nin sunduğu bir bildirden alınma bu bilgi Tablo 2.7 'de gösterilmiştir. Bu tablo birisi açık-tip fırınlar ve diğeri de kapalı tip fırınlar ihtiva eden iki ayrı santralin bağlı performansları için işletim verilerini sağlamaktadır.

Tablo 2.7: Üstü Açık ve Üstü Kapalı Fırınlar Arasında Karşılaştırma Verileri (Robiette, 1973).

	$1 \cdot 20 \cdot 10^3$ kW	
	$4 \cdot 10 \cdot 10^3$ kW	
fırın kapasitesi	$1 \cdot 6 \cdot 10^3$ kW	$2 \cdot 23 \cdot 10^3$ kW
fırın tipi	açık	kapalı
yıllık üretim	88300 ton	106200 ton
1 ton karpit başına kireç miktarı	0,94	0,921
1 ton karpit başına karbonlu malzeme mik.	0,61	0,583
1 ton karpit başına elektrik gücü	3,243 kWh	3 kWh
1 ton karpit başına elektrotlar	0,025	0,025
1 ton karpit başına işçinin çalıştığı gün	0,97	0,24
karpit kalitesi	300 lt/kg	300 lt/kg

Düşük elektrik-gücü sarfiyatına rağmen bu tip (kapalı tip) fırınların boyutlarının büyük olması söz konusudur fakat kireç ve kok kullanımında azalma sağlaması gibi fırın üzerine çatı koymakla elde edilen kesin avantajlar söz konusudur. Aynı zamanda işçilik gereksiniminde de mevcut bir azalış söz konusudur (karpitin tonu başına bir işçinin çalışma saatinde büyük bir azalış olduğu kanıtlanmıştır). Çünkü modern üstü-kapalı karpit fırınları oldukça iyi bir şekilde otomatize edilebilirler.

Bu noktada normal boyutların altında olan ve çok miktardaki kireçten ve fırın şarj bileşenlerinin elenmesi süresince elde edilen karbonlu maddelerden faydalanılması hakkındaki gelişmelerden söz etmek gerekir. Hem normalden küçük ebatlardaki kireç hem de fırına girişinden önce de bir elemenden geçen kireçtaşı, zirai amaçlar için kullanışlıdır. Diğer taraftan ince kok sınırlı bir satış değerine sahiptir; ya bu değer aşağıya düşürülmelidir yada karpit fabrikasının başka bir kısmında kullanılmalıdır. Bu bağlamda eğer bir karpit fabrikası kendi elektrod hamurunu oluşturursa hamur içerisindeki kalsine edilmiş antrasitin bir kısmı kuru ince kok ile yer değiştirebilir. Bu uygulamanın tek dez avantajı şudur: İnce kok genellikle kalsine edilmiş antrasitten daha yüksek bir kül hacmine sahiptir ve bu da elektrod hamurunun kül hacmini arttırır. Bu ciddi bir önem taşımamakla beraber hamuru başka amaçlar için elektro-metalurji kullanıcılarına satılması durumunda önem kazanabilir. Pulverize yakıtlı bir kireç fırınında kömürün bir kısmının yerini alan ince kokun kullanımı ciddi erozyon problemlerine yol açar ve bilyalı değirmen ve ateşleme fanında ivmesel aşınmaya neden olur. 2. Dünya savaşı sırasında İngiltere'deki bir karpit fabrikasında fırın şarjı içindeki kokla yer değiştirmesi için zift gibi bir bağlayıcı kullanılarak ince kokun briketleştirilmesi karpit fırını içinde kullanımda uygun sonuç verdiği görülmüştür ve bu uygulama başarılı olduğu için benimsenmiştir.

bir elektroda bırakılır. Fırın gazının az bir miktarı ince malzeme ile beraber elektrottan aşağıya doğru yeniden sirküle edilir. Sızdırmaz gazla alternatif olarak nitrojen veya argon gazı kullanılabilir fakat karpit fırın gazı normalde daha uygun bulunur.

Elektrot içine beslenen ince karışım miktarı fırına beslenen toplam malzemenin % 25'i kadardır.

İnce malzeme kullanıldığında elektrot sarfiyatı ve enerji sarfiyatında önemli bir azalma sağlanır (Robiette, 1973).

Tablo 2.8: İnce Malzeme Kullanıldığında Fırın Karakteristiklerindeki Değişim.

	Fırın Yükü (kW)	Verim kWh/lb (kg)	Elektrotlar lb/ton (kg)	İnce Malzeme %
İçerideki elektrotlarla donatılmamış üç fırın	12750	1,43 (3,14)	53 (24,1)	0
İçerideki elektrotlarla donatılmış üç fırın	20822	1,41 (3,10)	36,3 (16,5)	13,2

Karpit şarjının kapalı tip fırından çıkan serbest fırın gazı, yanmış oksijen kullanan dikey millerde 800-850 °C'a kadar ön ısıtmaya tabi tutulur. Standard kok-kireç karışımını ön ısıtmaya tabi tutmak enerji sarfiyatını bir soğuk, kaba şarj için olan olan değerden yani 3430 kWh'den ton başına 3025kwh'e düşürür.

Enerji sarfiyatındaki bu % 11-12'lik düşüşün yanısıra elektrot sarfiyatında da yaklaşık % 10'luk bir azalış olur.

KIRMA, ELEME ve SEVKİYAT :

Bu karpit üretiminin son aşamasıdır. Boyutuna göre soğutulmuş karpit külçesi ya direk olarak bir konkasöre gider, veya ilk olarak, ilk öğütücüyü beslemek için uygun

boyutlarda parçalara bölündüğü bir çelik kırma tablası üzerine düşürülür. İlk aşamada karpit konkasörleri genellikle Blake tipi ağızlı kırıcılar olup, daha sonra ya ikinci bir ağız yada döner konkasör gelir. Karpit normalde 3-5 in (10-125 mm)civarına kadar küçültülür ve kazana giderken, üzerine ferro-silikon ile kırıcıya giren diğer ferro alaşımları alan bir elektromagnetten geçer. Öğütülen karpit daha sonra ingiliz standartlarına göre aşağıda dökümü yapılan boyut derecelerine göre elenir.

1 - 2 mm	15 - 25 mm
2 - 4 mm	25 - 50 mm
4 - 7 mm	50 - 80 mm
7 - 15 mm	80 - 120 mm

Yukarıdaki ölçüler Birleşik Krallık için tipik değerlerdir fakat bu ölçüler gönderilecek ülkenin yada tüketicinin talebine göre değiştirilebilir.

Normalden büyük ebattaki yeniden bir çekiçli değirmene döner eleğin şasesi üzerine yeniden sirküle edilir ki bu elek en büyük elek açıklığına sahip elektir. Önceden verilen elek derecelerine göre 120 mm olabilir.

Tablo 2.9: Tane Büyüklüğüne Göre Gaz Verimi
(Robiette, 1973)

Boyutlar (mm)	Gaz Verimi 3 ft/lb (60°F ve 3 inç basıncında) (tolerans - % 5)	Metrik Eşdeğeri 1t/kg (15,55°C ve 762mmhg basıncında)
15-120	4,80	300
7-15	4,64	290
4-7	4,63	277
2-4	4,21	263
1-2	3,98	248

Eleme ve kırma işlemi boyunca karpitin bir kısmının söndürülmesinin, atmosfer içindeki rutubetle olmasından kaçınılamaz. Bu bağlamda küçük ebatlı karpitin ağırlığı ile

ilgili olarak daha küçük bir yüzey alanına sahip olması onun büyük parçalara oranla daha fazla bir sönüm kabiliyeti olmasına yol açar. Bu faktör önceden bahsi geçen İngiliz Standardından alınmıştır. Tablo 2.9'da gösterilmiştir.

Karakteristik aynı zamanda karpitten bırakılan asetilen gazı içindeki pislik miktarı hakkında da sınırlama getirir.

Sülfür Bileşikleri :

Hidrojen sülfat olarak ifade edilir, H_2S hacimce 0,15'den daha fazla değildir.

Fosfor Bileşikleri :

Fosfin olarak ifade edilir, PH_3 % 6'dan daha büyük bir hacim teşkil etmez.

Arsenik Bileşikleri :

Arsin olarak ifade edilir, AsH_3 0,001'den daha büyük bir hacim teşkil etmez.

Nitrojen Bileşikleri :

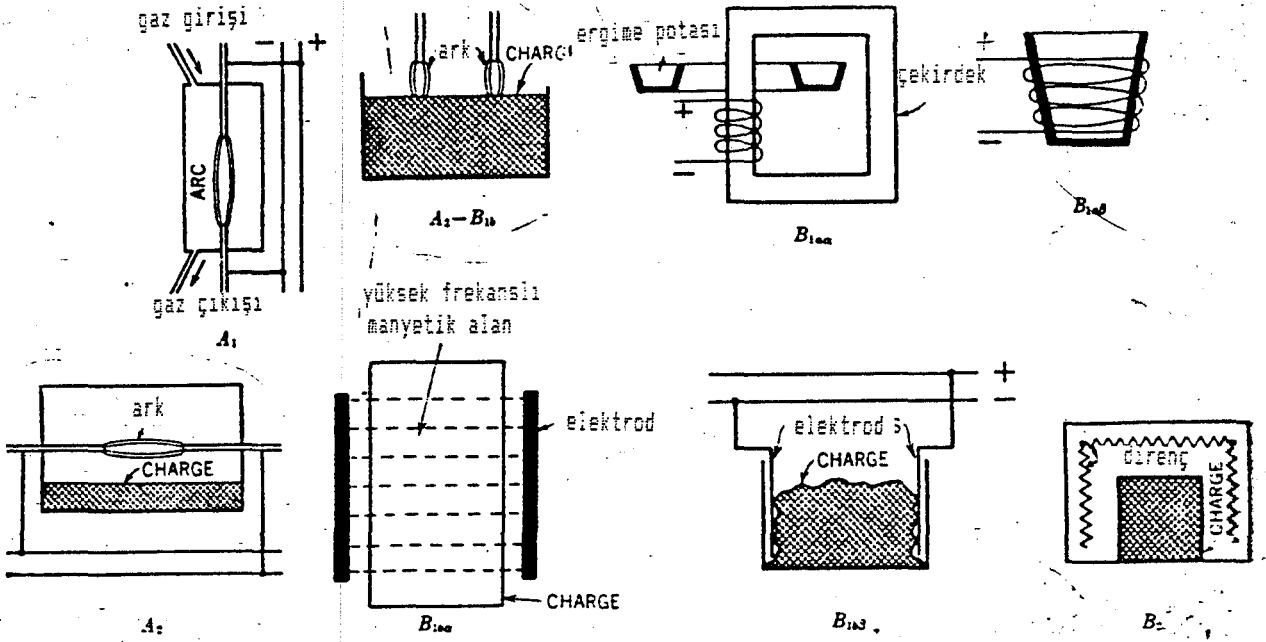
Amonia olarak ifade edilir, NH_3 0,10'dan daha büyük bir hacim teşkil etmez.

Karpit boyutları ayrıldıktan sonra en son olarak depolandıkları silodan verniklenmiş (lakelenmiş) çelik bidonların içerisine otomatik tartım makineler ile boşaltılarak paketlenir. Söz konusu çelik bidonlar 50 kg veya 100 kg kapasiteli olabilirler.

Tabiki bidonlama karpit karpit bedeli bakımından önemli bir faktör olabileceği için, daha büyük kapasiteli bidonlar da kullanılabilir. Bidonlamadaki modern imalat tekniği şudur: Tüketicinin aralıklı ve az miktardaki devamlılık arz etmeyrn talepleri durumunda bidon kullanımını sınırlamaktır. Büyük sevkiyatlar 5tonluk yada daha büyük kapasiteli döndürülebilir çelik kontaynırlarla yapılır. Tabiki bu da büyük bir karpit fabrikası için gözönüne alınabilir bir tasarruf sağlar.

3. ARK FIRINLARI

Bu bölümde esas olarak şekil 3.1'de şematik olarak görülen ark fırınları açıklanacak olup, bu şekilde A-B akımın elektrodlardan birisinin ucundan diğerine şarjın içinden geçtiği direkt ark fırını ve A indirekt - ısı ark fırınıdır.



- A : Direkt ısıtmalı ark fırını
 1
 A : Dolaylı ısıtmalı ark fırını
 2
 A-B : Direkt ısıtlı ark fırını (akım şarj üzerinden geçer)
 2 1b
 B -B : İndüksiyon fırınları
 1aa 1ab
 B -B : Direkt direnç fırınları
 1ba 1bb

Şekil.3.1: Fırın Tipleri (Paschkis, Persson 1960)

Ark fırınları temel olarak; çelik, nikel ve alaşımlar gibi metalleri eritmede ve elektrokimyasal amaçlar için kullanılırlar.

Fırın içerisinde metalleri eritmek için, elektrod ve banyo arasında bir yada çeşitli arklar meydana getirilir. Oluşan bu arkları açık olarak yanar ve bu fırınlara, bu nedenle açık ark fırınları denir. Ferroalaşım eritme fırın-

ları ve bazı elektrokimyasal fırınları içerisinde (fosfor gibi) elektrodlar şarj içerisine hayli büyük bir derinliğe kadar dalarlar. Bundan dolayı bu fırınlara daldırmalı-ark fırınları denir. Bu isim pratikte yükleri direnç-tipi olan fırınlar için de kullanılır. Kısaca arkfırınları iki tiptir. Bunlar, açık-ark fırınları ve daldırmalı-ark fırınlarıdır.

Tablo 3.1: Elektrod Ergitme Fırınlarının Endüstriyel Kullanımları (Paschkis, Persson 1960)

FIRIN TIPI	METOD ve ÜRÜN
DİREKT ARK	METAL OLMATAN MALZEMELER : Corundum Dökme beton Kalsiyum karbür Fosfor Curuf ERGİTME : Demir filizi Bakır filizi Ferroalaşım lar: kromium, mangan ez, molibden, silikon, tungsten, vanadium, boron
İNDİREKT ARK	ERGİTME : Yüksek-alasım celigi Demir (özellikle dökümhanelerde) Pirinç Bronz
DİRENÇ	CAM
ELEKTROLİTİK HÜCRE	ELEKTROLİZ ile ÜRETİM : Alüminyum Mangan ez Kalsiyum Sodium Lityum
TÜKENİR ELEKTROD	HOŞLUK veya ÖZEL ATMOSFERLER İÇİNDE ERİTİLEN TİTANYUM, BORON VE BENZER PAHALI METALLER
SKULL TİP	BÜTÜN KAPLAMA MALZEMELERİ İLE REAKSİYONA GİREN MAZEMELERİ METAL YIĞIN İÇİNE DÖKMEK ve TASNİF ETMEK İÇİN

Bu iki tip fırın arasında büyük benzerlikler olup, Antalya Elektrometalurji Sanayii İşletmesi Müessesesinde karpit üretimi için kullanılan fırın ikinci tip fırındır ve bu bölümde esas itibarı ile incelenecek olan, bu tip fırınlardır.

3.1. Fırının Gelişmesi

Elektrik ergitme metodlarında, göbek ile elektrod ucu

arasında bölgelerle sınırlanan akım iletim yolları olması istenir. Bundan dolayı elektrodlarla şarj arasından geçen akım çok az yada hiç olmayacak şekilde voltaj ayarlanır. Eğer belli bir maximum voltaj aşılsa ve elektrodlar arasındaki akım arttırılırsa elektrod uçlarından göbeğe doğru olan elektrik akığında oldukça büyük bir elektrod hareketi gerekeceğinden, akımı ayarlamak zorlaşacaktır. Çok ender görülen yüksek voltaj durumlarında elektrodlar pratikte şarjın içerisinde altlarında açık alanlar bırakarak yukarı doğru çekilirler.

Arzu edilen reaksiyonun olabilmesi için yüksek enerji yoğunluğu gerektiğinden dolayı, gerçek reaksiyon zonunun, en iç tabakanın bağlı olarak yüksek iletkenliğe sahip olduğu yerde kubbe şeklinde oluşması ve oluşan bu kubbenin, elektrik dirençliliğinin azalan katmanlarla sarılması mümkündür. Bu kubbenin büyüklüğü toplam güce bağlıdır. Voltaj ve akım değeri büyüdükçe yükseklik ve genişlik artar. Reaksiyon bölgesinin içerisinde bir miktar erimemiş, başka bir ifadeyle, kısmen reaksiyona uğramış şarj olabilir yada boş olabilir. Çünkü ergimemiş bir madde merkeze doğru akacaktır.

Tam randımanlı ve iyi dizayn edilmiş üç fazlı fırınlarında merkez seviyesine yakın birbirine bitişik üç reaksiyon bölgesi vardır. Her reaksiyon zonunun tabanında sıvı metal toplanır. Üç adet havuz meydana gelir fakat bu üç havuz bir tek akış deliğinden akabilecek şekilde birbiriyle irtibatlıdır. Bazen işletim de akıcılık olması için iki yada daha fazla akış deliği oluşturulabilir. Yani işlem esnasında esas akış deliği tamir ediliyor yada esas akış oluğundan mal almak problem teşkil ediyorsa diğer oluklar kullanılabilir.

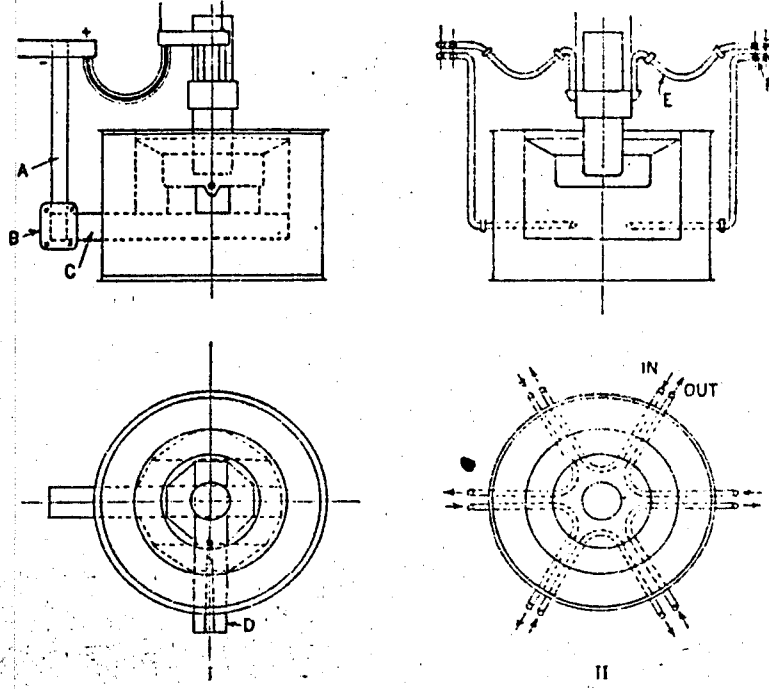
Kimyasal reaksiyon esas olarak reaksiyon zonunda meydana gelir ve sıvı madde merkeze doğru damlayarak akar, bunun bir kısmı gaz olarak fırın bileşenlerinin içerisinde sızar. Gazlar reaksiyon zonunu yüksek sıcaklıkta terettiği için şarjın ön ısıtmasını sağlarlar. Yukarıya doğru akışta ısı-

larının bir kısmını, şarjla transfer ederler. Yoğuşmaya müsait gazlarda şarjın soğuk kısımlarında yoğuşarak çok sert çöküntüler meydana getirirler. Meydana gelen bu çöküntülerin ya mekanik yollarla yada bir manivela kolu ile kırılması gerekir. Yani bir ferroalağım fırınının anlaşılabilmesi, fırın içerisindeki termodinamik, ısısal transfer, kimyasal ve elektriki durumların anında düşünülmesi ile mümkündür.

Yukarıda yapılan genel açıklamadan, gaz ve hareket eden şarj arasındaki ısı değişimi bakımından, reaksiyon zonu üzerinde oluşan şarj sütununun yüksekliğinin fazla olması arzu edilir gibi bir anlam çıkabilir. Bu doğrudur fakat şarj sütununun yüksekliğinin çok fazla olması da oldukça çok miktarda ürünün reaksiyon zonundan, şarjın soğuk kısımlarına göre yer değiştirmesine ve bu da sinterleşmeye yol açar. Bu durumda şarjın üniform durumu da bozulur.

Reaksiyon zonunda elektroddan merkeze doğru olan akım çizgilerinin dağılımı tam olarak bulunamaz. Bununla beraber, en büyük akım yoğunluğunun, oluşan kubbenin iç yüzeyinde meydana geldiği düşünülebilir. Bu bölgede ısı üretimi artarsa, reaksiyon oranı artacaktır ve bu oran aşırı bir değere ulaşırsa o zaman gaz değişimi çok şiddetli olacak ve katı parçacıklar bile aşınarak şarjın çatlaklarına doğru sıkışacaklardır. Bu durumda da operatörlerin felaket olarak adlandırdıkları volkanvari bir patlama meydana gelebilir. Böyle bir patlamadan kaçınmak için, reaksiyon zonedeki enerji sınırlı tutulmalıdır. Bu tür patlamalar, aynı zamanda şarj içindeki nemin fazla olmasından da meydana gelebilir.

Burada kullanılan enerjinin büyük bir kısmı elektrik enerjisinden ısı enerjisine dönüştüğü için, reaksiyon odacığının büyüklüğünü bilmek, fırının hem dizaynı hem de işletilmesi bakımından ön hesaplamalara kolaylık sağlayacaktır.



Şekil 3.2: Taban elektrodları bağlantıları
 I) karbon bağlantısı, A. bakır toplama çubuğu; B. bağlama çenesi; C. karbon çubuk; D. meme. II) E. su soğutmalı esnek kablo F. yuvarlak çubuk (Paschkis, Persson 1960).

Daldırmalı ark fırınlarının davranışlarını anlamak için sadece reaksiyon oranı ile sıcaklık arasında belirgin bir ilişki olduğunu bilmek yeterli olacaktır. Aslında bu tip bütün fırınlarda reaksiyon oranları, oranın büyük ölçüde büyüdüğü denge sıcaklığına göre pratik olarak ihmal edilebilir (termodinamik bağantılara göre).

Bu karakteristik nedeni ile şarj seviyesinin altında elektrod sıcaklığı önemli değildir. Bu bölgede elektrodun meydana getirdiği bir ısı şarj içerisinde dağıtılır. Ön ısıtma miktarı ve kısacası bu bölgedeki şarj sıcaklığı akım yoğunluğu ile artar. Bununla beraber, şarjın ön ısıtıldığı sıcaklık, elektrot tutucusu ile şarj seviyesi arasındaki bölgedeki şartlarla sınırlı tutulabilir. Elektrot akım yoğunluğu arttıkça elektrot güç sarfiyatı da artar. Bu da elektrodun yüzey sıcaklığının artmasına yol açar. Bu sıcaklık belli bir seviyeye ulaştığında, yüzey önemli bir oranda oxidize olmaya başlar.

Böylece, elektrot içindeki akım yoğunluğu, ortaya çıkartılan elektrod yüzey alanından bulunabilir. Ayrıca, tecrübeler maximum voltaj ve maximum güç arasında tanımlı bir

metodla bir bağıntı kurulabileceğini göstermiştir.

3.2 Fırının Kısımları

3.2.1 Kapak

Daldırmalı-ark fırınlarında kapakların kullanılması artmaktadır. Çünkü bunlar hem temizliği sağlarlar hem de reaksiyon sonucu açığa çıkan gaz ürünlerinin kolay toplanmasını sağlarlar.

Ek.4'de iki tip kapak dizaynı gösterilmiştir. Birinci şekil, esas olarak bir su soğutmalı çelik yapıdan oluşan kapakın kullanıldığı bir fırının resmidir. İkinci şekilde ise, elektrotların civarındaki manyetik akım kayıplarını ve kaçak akımı azaltacak şekilde yerleştirilen kapakın kullanıldığı fırın görülmektedir.

Ek.4 b'deki su soğutmalı kapak, herbiri diğer ikisinden izole edilmiş üç sektöre ayrılmıştır. Bunun nedeni, şarj maddesinin elektrotların etrafından beslenmesi ile, elektrotlar arasında oluşan akım yolunun önüne geçmektir.

Bu tür fırınlarda gaz toplama sistemi, hem gazın tozdan arınarak dağılmasını sağlamak hem de elektrot portlarından ve besleme oluklarından hava kaçağını önleyerek, fırın basıncına az da olsa bir katkıda için önemlidir. Fosfor fırınları, metal fosforu sıvı formda biriktirmek ve yoğunlaştırmak için ilave ünitelere sahiptirler.

3.2.2. Dağıtıcılar

Ferroalaşım fırınlarında yoğun akım gerekliliği, dağıtıcıların dizaynını çok önemli kılmaktadır. Genellikle gerekli olan dağıtıcı kesiti, onun sıcaklık artış kabiliyeti ile belirlenir. İyi dizayn edilmiş ve havalandırılmış bir dağıtıcı sisteminde, maksimum akım yoğunluğu 1200 amper/inç²'den daha düşük olacaktır. Şayet akım üniform olarak dağılmışsa 300°'lik bir sıcaklık artışına sebep olacaktır.

Üç fazlı fırınlarda özel gereksinimler değişim gösterdiğinden, çeşitli farklı tiplerde dağıtıcı dizaynları mevcuttur. Fosfor fırınları diğer tip daldırmalı ark fırınlarına göre daha yüksek voltajlarda çalışırlar. Bu fırınlar diğer ergitme fırınlarından daha büyük bir miktarda reaktansı kaldırabilirler ve böylece bir doğru olarak birleştirildiklerinde, ileticiler transformatörden gelen akımı üç elektrodun her birine dağıtabilirler. Bu operasyon akımı taşımak için gerekli bakır miktarını minimize eder. Ulaşılan yüksek güç faktörü nedeni ile, bu tip fırında ölü faz olayından bahsedilmemiştir.

Ferromanganez gibi diğer ergitme operasyonları daha düşük voltajlar da gerçekleştirilir. Güç faktörü ve verim için, reaktansın çok düşük tutulması gerekir.

3.2.3. Transformatör

Ferroalaşım fırınlarında kullanılan transfor motorlar, genelde ısmarlama imal edilirler. Bunların en önemli karakterleri yüksek akım uygulandığı için düşük voltajlı bobinleri ve piring kaplama kutuplarıdır. Eğer bir fırında tek bir ürün üretiliyorsa ve voltaj gereksinimleri iyi biliniyorsa 6 adet elektrik bağlantısı (% 5 voltaj aralıklı yapılı): 2 adedi normalden düşük ve 4 adedi yeterlidir. Eğer ürün yeni, yada çeşitli ürünler üretilmekte ise voltaj intervali daha geniş olmalıdır. En düşük voltajlı bağlantılar düşük üretim kapasitesine göre de belirlenebilir. Elektrikle ergitme fırınlarında elektrik bağlantılarının değiştirilmesi yük altında yada devrenin kapatılması ile yapılabilir.

Ergitme fırınlarında kutupların reaktansı nispeten düşüktür; bununla beraber trafonun sekonder sargı voltajlarında düşüktür ve bu nedenle trafonun reaktansı imalatın müsaade ettiği derecede düşük olmalıdır. Reaktans genelde enyüksek voltaj kademesinde ve nominal KVA, gücünde yüzde voltaj düşüşü olarak ifade edilir.

Çeşitli kademeler için ohm'ik değerde (rezistans) değişim çok küçüktür. En yüksek voltaj kademesi 130 Volt olan 6000 KVA'lık bir trafoda % 3,5'lik bir reaktans, 0,000095 ohm'luk bir induktans verir ki bu toplam fırın reaktansının % 10'u civarında olacaktır. Transformatorün primer devresinde voltaj kademelerine gereksinme olduğundan, daldırmalı ark fırınlar için imal edilen trafolar, aynı güçlü normal trafolardan daha büyüktürler.

Kullanımın kolaylığı için üç trafoda yüksek voltaj tarafında yıldız ve delta bağlantı uçları olmalıdır.

Genelde üç fazlı ısıtma fırını üç adet monofaze trafo ile çalışır. Eğer bir trafoda devre dışı kalma olayı oluşursa, fırın daha düşük güçte (yaklaşık maksimum yükün % 58'inde) çalışır. Böylece tamirat süresince fırının stop etmesine gerek kalmaz. Düşük güçte çalışma esnasında delta bağlantısı açıktır.

4. ISI DENGESİ

Isı dengesi hemen hemen bütün fırınlarda kullanılan çok önemli bir hesaptır. Bilindiği gibi iş ve ısı prensipte enerjinin kullanımı ve sonucudur. Isı dengesi çeşitli enerji kaynaklarından alınan enerjiyi ve üretim esnasında harcanan veya çeşitli yollarla kaybolan ve dağıtılan enerjiyi liste halinde ortaya çıkartıp gösteren bir methodur. Burada gerçek olan alınan enerjinin, harcanan ve çeşitli yollarla kaybolan ve dağıtılan enerjiye büyüklük olarak denk olmasıdır (Butts, 1978).

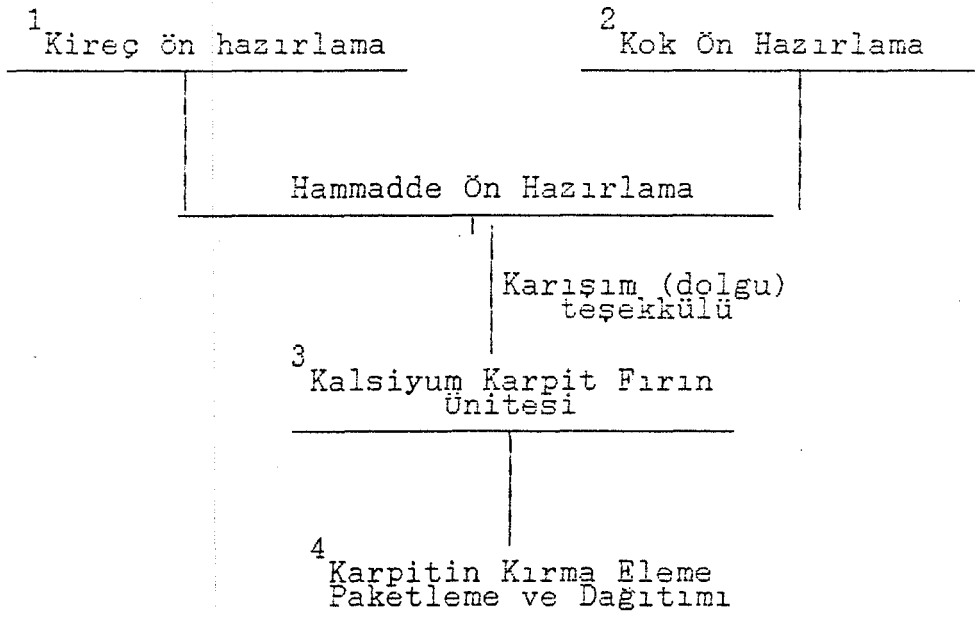
Endüstride kullanılan her çeşit fırın projelendirilirken alınacak enerjinin, fırının termik veriminin üretim ve destek metodlarının belirlenmesinde ısı dengesi yapılmak zorundadır. Fırınlarda ısının kaybolması veya dağıtılması radyasyon, konveksiyon ve kondüksüyon ile olur. Yani toplam ısı ile faydalanılan ısı arasındaki fark radyasyon, konveksiyon ve kondüksüyonla kaybolan veya dağıtılan ısıdır. Isı dengesi metodu ile listede bulunan ve bilinmeyen herhangi bir enerji büyüklüğü bulunabilir. Fakat şu bir gerçektir ki bu bilinmeyenin hesabi belli bir güvenilirliğe sahiptir. Yani projelendirme hesabında kullanılan enerji büyüklüğü ile uygulamadaki enerji büyüklüğü tamamıyla denk olamaz, aralarında belli tolerans sınırları içinde kalan farklılıklar olabilir. Projeye uygulamanın birlikte olması gerektiği nokta, listedeki enerji büyüklükleri arasındaki orandır. Elbetteki bir projenin başarıluluk derecesi gerçekte olan yakınlığıdır.

Burada Etibank Antalya Elektrometalurji Sanayii İşletmesi Müessesesi'nde kalsiyum karbür üretimi amacıyla halen kullanılmakta olan 14 MW güç kapasiteli daldırma tipi ark fırınının ısı dengesi hesabı yapılmaya çalışılacaktır. Amacımız bu metod yardımıyla ısının kaybolduğu yerleri ve kaybolma yollarını tespit etmek ve bu ısı kaybını azaltma yollarını araştırmaktır.

5. KALSİYUM KARBÜR FIRINININ ISI DENGESİ HESABI

Bir önceki konuda ısı dengesinin kelime anlamı olarak ne ifade ettiği ve herhangi santral yada ünite için ısı dengesinin nasıl yapılacağına dair bilgiler verilmiş ve konuya bir giriş yapılmıştı. Şimdi bu bilgilerimizin ışığında Antalya Elektrometalurji Sanayii İşletmesi Müessesinde kullanılan ve 14 MW güç kapasiteli daldırma tipi ark fırını-mızda gerçekleştirilen kalsiyum karbür üretimi için ısı dengesi hesabını yapmaya çalışalım.

Kalsiyum karbür üretimi "Üretim Prosesi" olarak bir kavram altında toplanabilecek dört ana ünitenin ortak çalış-ması sonucu gerçekleştirilir.



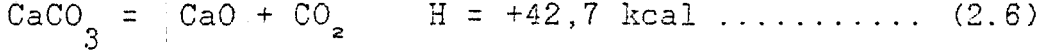
Şekil 5.1: Kalsiyum karbür üretim prosesi

Kalsiyum karbür üretimi için ısı dengesi hesaplanırken bu dört ünite için ayrı ayrı zaruridir.

5.1. Kireç Ön Hazırlama Ünitesi

Müessesede hali hazırda CaCO_3 'den CaO 'ya dönüşüm için kullanılan kireç fırını dikey tip bir fırın olup bu fırında

yakıt olarak fuel-oil kullanılmaktadır. Bölüm 2.2.3'de de belirtildiği gibi söz konusu dönüşüm işleminin kimyasal ifadesi (Denklem 2.6) ;



şeklindedir. Denklemden de görüleceği gibi dönüşüm endotermik bir reaksiyonun sonucudur ve;

"1 mol CaO oluşumu için 42,7 kcal enerjiye ihtiyaç vardır." şeklinde ifade edilir.

5.1.1. Enerji girdisi

Şimdi 1 kg CaO oluşumu için ne kadar enerji tüketilmektedir bunun hesabını yapalım.

5.1.1.1. Tüketilen enerji

Fırına birim CaO oluşumu başına verilen ısı; fırının yıllık fuel-oil tüketimi ve CaO oluşumu ile kullanılan fuel-oil'in ısıl değerinden bulunabilir.

Buna göre;

Fırının bir yıllık fuel-oil tüketimi C_{kif} ,
(1991 yılı baz alınarak)

$$C_{\text{kif}} = 2380 \text{ ton/yıl}$$

ve;

CaO üretimi (1991 yılı baz alınarak)

$$M_{\text{CaO}} = 15000 \text{ ton/yıl}$$

Birim kg başına gerekli fuel-oil miktarı:

$$M_{\text{f.o}} = \frac{C_{\text{kif}}}{M_{\text{CaO}}} \dots\dots\dots (5.1)$$

buradan,

$$M_{\text{f.o}} = \frac{2380}{15000} = 0,1587 \text{ kg f.o} / \text{kg CaO}$$

bulunur.

Kullanılan fuel-oilin kalorifik degeri 46000 kjoule/kg alındığında birim üretim başına CaO oluşumunda tüketilen toplam enerji;

$$e = M_{f.o} \cdot H_{u f.o} \text{ kJ/kg CaO} \dots\dots\dots (5.2)$$

buradan,

$$e = 0,1587 \frac{\text{kg f.o}}{\text{kg CaO}} \times 46000 \frac{\text{kJ}}{\text{kg f.o}}$$

buradan da,

$$e = 7300,2 \text{ kJ / kg CaO}$$

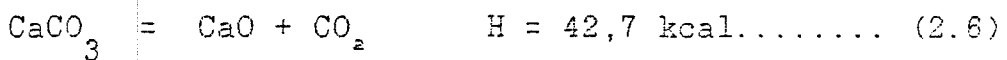
bulunur.

Bu deger 1 kg CaO oluşumu için harcanan kjoule degeridir.

5.1.2. Giren enerjinin kullanım alanları

5.1.2.1. CaO in meydana geldiği kimyasal reaksiyonun oluşması için kullanılan ısı

CaO'din oluştuğu kimyasal reaksiyon denklemini bir kez daha yazalım.



buradan,

1 kg CaO'in mol sayısı,

$$M_{\text{CaO}} = \frac{G_{\text{CaO}}}{\epsilon_{\text{CaO}}} \dots\dots\dots (5.3)$$

buradan da,

$$M_{\text{CaO}} = \frac{1000}{56} = 17,143 \text{ mol}$$

ve,

$$q_{CaO} = M_{CaO} \cdot H^{\circ} = 17,143 \text{ mol} \times 42,7 \text{ kcal}$$

böylece,

$$q_{CaO} = 762,5 \text{ kcal/kg}$$

$$q_{CaO} = 762,5 \text{ kcal/kg} \times 4,187 \text{ kJ/kcal}$$

$$q_{CaO} = 3192,5875 \text{ kJ/kg CaO}$$

yani; 1 kg CaO oluşması için 3192,5875 kjoule ısı gerekmektedir. Dikkat edilmelidir ki 1 kg CaO oluşması için gerekli olan ısı q_{CaO} ile 1 kg CaO oluşturmak için harcanan ısı arasındaki fark ihmal edilemeyecek kadar büyüktür ve esasen önlem alınması gereğini açıkça vurgulamaktadır (yukarıdaki hesaplamalarda 4,187 enerji birim dönüşüm katsayısıdır).

5.1.2.2. Soğutma suyuna giden ısı

Kireç fırınının soğutması dalgıç pompalarla, fabrika çevresinden akan suyun basılarak ve devridaim pompaları ile devamlı dolaşımı sağlanarak gerçekleştirilmektedir. Isınan su, işçi banyoları sıcak su tesisatına gitmektedir.

Kireç fırınınının soğutma suyunun ne kadar enerji götürdüğü aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$q_{ss} = 24 \frac{Q}{P_k} C_{su} T \dots \dots \dots (5.4)$$

Bu denklemde;

Q : Soğutma suyunun debisi (kg/saat)

P_k : Bir günde üretilen kalsiyumoksit miktarı (kg)

C_{su}^k : Suyun özgül ısısı kJ/kgK)

T :Suyun giriş çıkış sıcaklıkları arası fark (K)

Denklemde değerleri yerlerine koyarsak;

$$q_{ss} = 24 \frac{Q}{P_k} \cdot C_{su} T = 24 \frac{300}{100000} \times 4,18 \times 52$$

buradan,

$$q_{ss} = 15,65 \text{ (kj/kgCaO)}$$

bulunur.

5.1.2.3 Atık gazlarda bacadan dışarı atılan ısı

Kireç fırınında yakıt olarak fuel-oil kullanılmakta olup fuel-oilin yanması sonucu oluşan yanma ürünleri dışarı atılmaktadır.

Yanma ürünleri olarak dışarı atılan bu gazların aldığı ısıyı hesaplamak için, yakıt olarak kullandığımız fuel-oil bileşenlerini, miktarlarını ve ayrıca bunların yanma denklemlerini bilmemiz gerekmektedir. Fuel-oil bileşenleri, miktarları ve yanma reaksiyon denklemleri tablo 5.1'de verilmiştir (Kuşhan, 1983).

Tablo 5.1: 5 numara fuel-oil in bileşenleri

Bileşen	%	Yanma reaksiyon denklemi
C	85,3	$C + O_2 = CO_2$
H	12,1	$2H_2 + O_2 = 2H_2O$
S	2,0	$S + O_2 = SO_2$
O_2	0,6	O_2

Hava gereksinimini hesaplamadan önce gerekli minimum oksijen miktarını hesaplamamız gerekmektedir;

$$O_{min} = 22,39 \text{ (C/12,01 + H/4,032 + S/32,06 - O/32,0) (5.5)}$$

(Kuşhan, 1983)

$$O_{min} = 22,39 \text{ (0,853/12,01 + 0,121/4,032 + 0,02/32,06 - 0,006/32,0)}$$

$$O_{min} = 0,1014 \times 22,39$$

$$O_{min} = 2,271 \text{ m}^3$$

buradan,

$$L_{\min} = \frac{1}{0,21} O_{\min} \dots \dots \dots (5.6)$$

(Kuşhan, 1983)

$$L_{\min} = 4,7619 * O_{\min}$$

$$L_{\min} = 4,7619 * 2,271$$

$$L_{\min} = 10,814 \text{ m}^3$$

Söz konusu kireç fırını, dikey bir fırın tipi olup, yanma ideal bir yanmaya yakın kabul edilebilir. Bu yüzden hava fazlalık katsayısı $\Phi = 1,3$ olarak alınabilir. Bu durumda hava ihtiyacı;

$$L = \Phi \cdot L_{\min} \dots \dots \dots (5.7)$$

Değerleri yerine koyduğumuzda;

$$L = 1,3 \times 10,81 \text{ m}^3$$

buradan,

$$L = 14,053 \text{ m}^3 \text{ bulunur.}$$

Bu durumda 5.5, 5.6, 5.7 denklemleri kullanılarak fırındaki yanma olayı için bulunan değerleri listelersek, minimum O_2 ihtiyacı;

$$O_{2\min} = 2,271 \text{ m}^3$$

minimum hava ihtiyacı;

$$L_{\min} = 10,814 \text{ m}^3$$

gerçek hava ihtiyacı ($\Phi = 1,3$);

$$L = 14,053 \text{ m}^3$$

olarak bulunur.

Şimdi yakıtın yanması sonucu açığa çıkan gazların yani baca gazlarının miktarlarını hesaplayalım.

Fuel-oilin yanması sonucu CO_2 , H_2O ve SO_2 gazları açığa çıkacaktır. Ayrıca yanma için gerekli oksijen kullanıldıktan sonra bir miktar O_2 fazla yanma durumuna bağlı olarak arta kalacaktır. Tabiki O_2 'yi ihtiva eden havanın içinde olan bir miktar da N_2 gazı kuru baca gazları içerisinde mevcuttur. Baca gazları içindeki CO_2 miktarı, (Kuşhan, 1983)

$$\frac{M_{\text{CO}_2}}{M_{\text{C}}} \cdot C = M_{\text{CO}_2} \dots \dots \dots (5.8a)$$

formülüyle hesaplanır. Burada M_{CO_2} ve M_{C} sırasıyla CO_2 ve C'nin molekül ve atom ağırlıklarıdır.

$$M_{\text{CO}_2} = \frac{44}{12} \times 0,853$$

buradan,

$$M_{\text{CO}_2} = 3,128 \text{ kg}$$

bulunur. Aynı formül kullanılarak,

$$M_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{M_{\text{H}_2\text{O}}}{M_{\text{H}_2}} \times H \dots \dots \dots (5.8b)$$

Değerleri yerine koyduğumuzda;

$$M_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{18}{2} \times 0,121$$

buradan da,

$$M_{\text{H}_2\text{O}} = 1,089 \text{ kg}$$

bulunur. Aynı şekilde;

$$M_{\text{SO}_2} = \frac{M_{\text{SO}_2}}{M_{\text{S}}} \times S \dots \dots \dots (5.8c)$$

Formülde değerleri yerlerine koyduğumuzda;

$$M_{SO_2} = \frac{64}{32} \times 0,02 = 0,04 \text{ kg}$$

buradan;

$$M_{SO_2} = 0,04 \text{ kg}$$

bulunur. Yanmadan artık kalan O_2 miktarı ise;

$$M_{O_2} = O_{2\min} \cdot (\Phi - 1) \cdot 0,21 \dots\dots\dots (5.9)$$

(Butts, 1978)

$$M_{O_2} = 2,271 \text{ m}^3 \times 0,3 \times 0,21$$

buradan;

$$M_{O_2} = 0,143 \text{ m}^3$$

bulunur. Normal şartlarda kuru havanın yoğunluğu,

$$d_{k.h} = 0,001193 \text{ gr/cm}^3$$

olarak kabul edildiğinde;

$$M_{O_2} = 0,143 \times 0,001193$$

buradan da;

$$M_{O_2} = 170,6 \times 10^{-3} \text{ kg}$$

bulunur. Baca gazlarındaki N_2 miktarı;

$$M_{N_2} = O_{2\min} \cdot \Phi \cdot 0,79 \dots\dots\dots (5.10)$$

buradan;

$$M_{N_2} = 2,271 \text{ m}^3 \times 1,3 \times 0,79 = 2,332 \text{ m}^3$$

ve;

$$M_{N_2} = 2,332 \times 0,001193 \times 10^6$$

buradan da;

$$M_{N_2} = 2,782 \text{ kg}$$

bulunur.

Kuru baca gazları ve miktarları Tablo 5.2'de gösterilmiştir (1 kg fuel-oil'in yanması sonucu)

Tablo 5.2: Kireç fırını ve kuru baca gazları (Karakoç, 1987)

Baca Gazları	Baca Gazları Kütlesel miktarları (kg)	Kütlesel Yüzde (%)
CO ₂	3,128	43,4
H ₂ O	1,089	15,1
SO ₂	0,04	0,55
O ₂	0,1708	2,37
N ₂	2,782	38,6
Toplam	7,2096	100,0

Tablo 5.2'de görüldüğü gibi bir kg fuel-oilin yanması sonucu açığa çıkan kuru baca gazının toplam değeri 7,2096 kg olmaktadır.

Yanma sonu sıcaklığı T₂ (673 K) ve baca çıkış sıcaklığı T₁ (283 K) olmak üzere, baca gazları ile dışarı atılan enerjiyi ifade eden denklemi oluşturmak için önce genel ısı denklemini yazalım.

$$Q_x = M_x \cdot C_{px} \cdot T \dots \dots \dots (5.11)$$

Bu denklemde Q_x, herhangi bir gazın götürdüğü ısı, M_x gaz kütlesi ve C_{px} herhangi bir gazın sabit basınç özgül ısısı olup sıcaklığın bir fonksiyonudur (kJ/kgK). T'de sıcaklıklar arasındaki farktır (K) (Öztürk, 1987).

Buna göre Ek.5' de verilen ve sıcaklığın birer fonksiyonu olan sabit basınç özgül ısı ifadelerinden yararlanarak (Öztürk, 1987),

Baca gazlarının toplam özgül ısı ifadesi,

$$\int_{\theta_1}^{\theta_2} C_{p_{B.G}}(\theta) 100 d\theta = \left[\int_{\theta_1}^{\theta_2} C_{p_{CO_2}}(\theta) d\theta + \int_{\theta_1}^{\theta_2} C_{p_{H_2O}}(\theta) d\theta \right. \\ \left. + \int_{\theta_1}^{\theta_2} C_{p_{SO_2}}(\theta) d\theta + \int_{\theta_1}^{\theta_2} C_{p_{O_2}}(\theta) d\theta \right. \\ \left. + \int_{\theta_1}^{\theta_2} C_{p_{N_2}}(\theta) d\theta \right] \dots \dots \dots (5.12)$$

şeklinde yazılabilir. Buradan ,

$$\int_{\theta_1}^{\theta_2} C_{p_{B.G}}(\theta) 100 d\theta = \frac{0,434 \times 100}{44} \int_{\theta_1}^{\theta_2} (-3,7357 + 30,529 \cdot \theta^{0,5} - 4,1\theta \\ + 0,024\theta^2) d\theta + \frac{0,151 \times 100}{18} \int_{\theta_1}^{\theta_2} (32,238 \\ + 0,19234\theta + 0,10555\theta^2 - 0,0035952\theta^3) d\theta \\ + \frac{0,55 \times 4,18}{64} \int_{\theta_1}^{\theta_2} (11,83 + \frac{6,05}{100} \theta - 85,6\theta^{-2}) d\theta \\ + \frac{2,37 \times 4,18}{32} \int_{\theta_1}^{\theta_2} (8,27 + 0,025\theta + 18,77\theta^2) d\theta \\ + \frac{38,6 \times 4,18}{28} \int_{\theta_1}^{\theta_2} (6,5 + 0,1) d\theta$$

Denklem 5.12'deki integraller alınıp sınır değerleri yerine koyulduğunda ($\theta=T/100$),

$$\int_{283}^{673} C_{p, B.G} (T) dT = 996,83 \text{ kJ/kg gaz}$$

bulunacaktır. Buradan da,

$$q_{B.G} = M_{B.G} \cdot \int_{283}^{673} C_{p, B.G} (T) dT \dots\dots\dots (5.13)$$

Denklem 5.13'de $M_{B.G}$ için aşağıdaki gibi bir yaklaşım yaparak;

$$M_{B.G} = M_{B.G} \cdot M_{f.o} \dots\dots\dots (5.14)$$

denklem 5.14'de değerleri yerine koyduğumuzda,

$$M_{B.G} = 7,2096 \frac{\text{kg B.G}}{\text{kg f.o}} \times 0,1587 \frac{\text{kg f.o}}{\text{kg CaO}}$$

ve,

$$M_{B.G} = 1,144 \frac{\text{kg B.G}}{\text{kg CaO}}$$

şimdi de $M_{B.G}$ değerini denklem 5.13'de yerine koyalım:

$$q_{B.G} = 1,144 \times 996,83$$

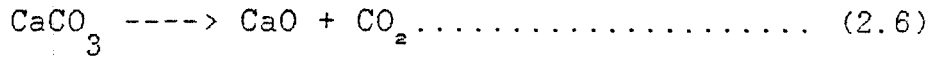
ve,

$$q_{B.G} = 1140,54 \text{ kJ/kg CaO}$$

bulunur.

5.1.2.4. Nemin buharlaşmasına giden ısı

CaCO_3 bulunan nem yaklaşık olarak % 0,65 civarında olmaktadır. Denklem 2.6'dan yararlanarak bir kilogram CaO oluşumu için kaç kg CaCO_3 kullanıldığı kolayca bulunabilir.



(40 + 12 + 3x16) mol gram ----> (40 + 16) mol gram

100 ----> 56

Buradan, 1 kg CaO oluşması için

$$\frac{100}{56} = 1,786 \text{ kg CaCO}_3$$

kullanıldığı bulunur. Buradan 1,786 kg CaCO₃'ün içerdiği nem kütlesi;

$$M_{\text{H}_2\text{O}} = 1,786 \times 0,0065 = 0,01160 \text{ kg}$$

ve genel ısı denkleminde;

$$q_{\text{H}_2\text{O}} = M_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \int_{T_1}^{T_2} C_{p_{\text{H}_2\text{O}}} \cdot (T) dT \text{ (5.15)}$$

C_{p_{H₂O}} için Ek.5'deki sıcaklığın fonksiyonu olan ifadeyi denklemin 5.15' de yerine koyduğumuzda;

$$q_{\text{H}_2\text{O}} = 0,01160 \text{ kg} \times \int_{T_1}^{T_2} \left(32,238 + 0,19234 \frac{T}{100} + 0,10555 \frac{T^2}{100000} - 0,0035952 \frac{T^3}{10000000} \right) dT \text{ (5.16)}$$

(5.16) ifadesini sadeleştirirsek;

$$q_{\text{H}_2\text{O}} = 0,374 \int_{T_1}^{T_2} dT + 2,231 \times 10^{-5} \int_{T_1}^{T_2} T dT + 1,224 \times 10^{-7} \int_{T_1}^{T_2} T^2 dT - 4,17 \int_{T_1}^{T_2} T^3 dT \text{ (5.17)}$$

buradan;

$$q_{H_2O} = 0,374 (T_2 - T_1) + 1,1155 \cdot 10^{-5} \cdot (T_2^2 - T_1^2) + 4,08 \cdot 10^{-9} \cdot (T_2^3 - T_1^3) - 1,043 \cdot 10^{-11} \cdot (T_2^4 - T_1^4) \dots \dots \dots (5.18)$$

Denklem 5.18'de sıcaklık değerlerini yerine koyarsak;

$$q_{H_2O} = 0,374 (333 - 296) + 1,1155 \cdot 10^{-5} (333^2 - 296^2) + 4,08 \cdot 10^{-9} (333^3 - 296^3) - 1,043 \cdot 10^{-11} (333^4 - 296^4)$$

buradan,

$$q_{H_2O} = 14,594 \text{ kJ/kg CaO}$$

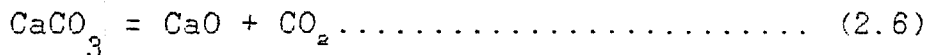
bulunur.

5.1.2.5. CaO Oluşumu Esnasında CO₂ ile Dışarı Atılan Isı

CaCO₃ (kalsiyum karbonat) kullanılarak CaO elde edilirken oluşan CO₂, kireç fırınından dışarıya verilmektedir. Bu da CO₂ gazının baca çıkış sıcaklığı uyarınca CaO oluşumunda, bir başka enerji kayıp tipidir. Bundan dolayıdır ki, enerji bilançosu yapılırken CO₂ gazının almış olduğu ısı enerjisi de göz önüne alınmaktadır.

CO₂ gazı ile kaybolan ısının hesaplanabilmesi için önce 1 kg CaO oluşumu sonunda açığa çıkan CO₂'nin kütlesini hesaplayalım.

Denklem 2.6'yı tekrar yazarsak ;



Bu denklemden de göreceği gibi 56 mol gram CaO oluşması durumunda 44 gram CO₂ açığa çıkmaktadır.

Bu durumda 1kg CaO oluştuğunda açığa çıkan CO₂ kütlesi;

$$M_{CO_2} = \frac{44}{56} = 0,786 \text{ kg CO}_2/\text{kg CaO}$$

olarak bulunur. Genel ısı denkleminde;

$$q_{CO_2} = M_{CO_2} \cdot C_{P_{CO_2}} \cdot T \dots\dots\dots (5.19)$$

ve,

$$q_{CO_2} = M_{CO_2} * \int_{T_1}^{T_2} C_{P_{CO_2}} (T) dT \dots\dots\dots (5.20)$$

Bu denklemde T_1 sıcaklığı çevre sıcaklığıdır ve $17^\circ C$ ($290 K$) olarak ölçülmüştür. T_2 sıcaklığı ise, kireç fırını çıkışındaki gaz sıcaklığıdır ve değeri $410^\circ C$ ($683 K$) olarak ölçülmüştür. Denklem 5.20'nin sağ tarafında, $\theta = T/100$ dönüşümünü yaparak ifadeyi açarsak,

$$\int_{\theta_1}^{\theta_2} C_{P_{CO_2}} (\theta) 100 d\theta = \frac{100}{44} \int_{\theta_1}^{\theta_2} (-3,7357 + 30,529 (\theta)^{0,5} - 4,1034\theta + 0,024198 (\theta)^2) d\theta \dots\dots (5.21)$$

yukarıdaki integrali aldığımızda,

$$\int_{\theta_1}^{\theta_2} C_{P_{CO_2}} (\theta) 100 d\theta = -8,49 (\theta_2 - \theta_1) + 46,256 (\theta_2^{1,5} - \theta_1^{1,5}) - 4,66 (\theta_2^2 - \theta_1^2) + 0,01833 (\theta_2^3 - \theta_1^3) \dots (5.22)$$

Şimdi de $\theta_2 = 6,83$ ve $\theta_1 = 2,90$ değerlerini yerine koyalım.

$$\int_{\theta_1}^{\theta_2} C_{P_{CO_2}} (T) dT = 391,05 \text{ kJ/kgCaO}_2$$

Bu ifadeyi denklem 5.20'de yerine koyarsak,

$$q_{CO_2} = 0,768 \text{ kg CO}_2 / \text{kg CaO} \times 391,05 \text{ kJ/kg CO}_2$$

$$q_{CO_2} = 307,37 \text{ kJ/kgCaO}$$

olarak bulunur.

5.1.2.6. Radyasyon, Kondüksiyon ve Diğer Vasıtalarla Dışarıya Atılan ve Tekrar Kazanılmayan Isı

Şu ana kadar hesaplamaya çalıştığımız ısı kullanım vasıtaları CaO oluşumu için fuel-oil sıvı yakıtını yakmak sureti ile fırına vermiş olduğumuz enerjinin belli bir miktarını teşkil eder işte verilen enerji ile kullanılan enerji arasındaki farklılık için, "fırından radyasyon, kondüksiyon, konveksiyon ve diğer yollarla kaybolmuştur" demek yanlış olmayacaktır. Her türlü ünite için bu kaybı mümkün olduğu kadar azaltmak ünitenin termik bakımdan verimliliğinin artması anlamına gelir.

Radyasyon, konveksiyon, kondüksiyon ve diğer vasıtalarla kaybolan enerji, fuel-oilden elde edilen enerjiden, yukarıda tek tek hesaplanan kayıpların kümülatif toplamını çıkartarak bulunur. Yani;

$$q_{d.kif} = e - (q_{CaO} + q_{s.s} + q_{BG} + q_{H_2O} + q_{CO_2}) \dots (5.23)$$

$$q_{d.kif} = 7300 \text{ kj/kgCaO} - (3192,5875 + 15,65 + 1140,54 + 14,594 + 307,37) \text{ kj/kg}$$

$$q_{d.kif} = 2629,26 \text{ kj/kgCaO}$$

5.1.2.7. Kireç fırınının termik verimi

Yukarıdaki bölümde de bahsedildiği gibi fırının bir termik verimliliği söz konusudur ve bu değer, kayıpların az olduğu oranda artacaktır. Şimdi yukarıda enerji bilançosunu yapmaya çalıştığımız kireç fırınının termik verimini hesaplayalım.

$$\eta_{Tkif} = \frac{q_k}{e} \dots \dots \dots (5.24)$$

Bu denklemde,

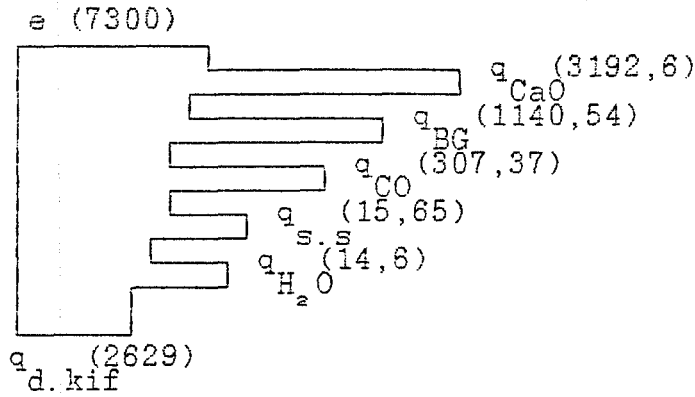
$$q_k = q_{CaO} + q_{s.s} + q_{BG_2} + q_{H_2O} + q_{CO} \dots \dots \dots (5.25)$$

buradan,

$$\eta_T = \frac{4670,74}{7300} = 0,639 \text{ (\% 63,9)}$$

bulunur.

Bu değer, kireç fırınına verilen 7300 kJ/kg CaO enerjinin, ancak % 64'ünün 1 kg CaO üretmek için kullanılabildiğini göstermektedir. Kireç fırını için enerjinin kullanımı Şekil 5.1' de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.2: Kireç fırınında enerjinin kullanımı

5.2. Kok Ön Hazırlama Ünitesi

Antalya E.M.S.İ Müessesesinde üretimde kullanılan kok kömürünün kurutma işlemi için kullanılan fırın yatay ve her iki ucundan yataklanmış döner tip bir fırındır. Yakıt olarak fuel-oil kullanılmakta olup bir brülör ile yakıt hava karışımı alev üfleme ile tutuşturularak yanma sağlanır.

5.2.1. Enerji girdisi

Kireç fırını bahsinde kullanılan yöntemden hareket edilerek, fırının bir yıllık fuel-oil tüketimi;

$$C_{KOF} = 780 \text{ Ton/yıl (1991 yılı baz alınmıştır.)}$$

ve fırında bir yılda kurutulan kok miktarı (1991 yılı baz alınmıştır.)

$$M_{KOF} = 30.000 \text{ Ton/yıl}$$

1 kg kok kurutmak için gerekli fuel-oil miktarı;

$$M_{f.o} = \frac{C_{KOF}}{M_{KOF}} = 0.026 \text{ kg fuel-oil/kg kok}$$

Toplam tüketilen enerji; ($H_u=46.000 \text{ kJ/kgK}$)

$$e = M_{f.o} \cdot H_{u,f.o} = 1200 \text{ kJ/kgCaO}$$

5.2.2. Enerjinin kullanım vasıtaları

5.2.2.1. Nemin buharlaşmasına giden ısı

Antalya Elektrometalurji Sanayii İşletmesi Müessesesi karpit üretimi için gerekli olan kok kömürü, kurutmaya girmeden önce yaklaşık % 19 civarında bir neme sahiptir.

Bu durumda 1 kg kokun üzerindeki nemin kütlesi;

$$m_{nem,kof} = 1 \text{ kg} \times 0,10 = 0,1 \text{ kg}$$

bu durumda 1 kg kokta nemin buharlaşması için verilen ısı;

$$q_{nem,kof} = m_{nem,kof} \cdot \int_{T_1}^{T_2} C_{p,H_2O}(T) dT \dots\dots\dots (5.26)$$

Ek.5'de verilen $C_{p,H_2O}(T)$ fonksiyonunu denklem 5.26'da yerine koyarsak;

$$q_{nem,kof} = 0,1 \frac{\text{kg nem}}{\text{kg kok}} \int_{T_1}^{T_2} 32,238 + 0,19234 \frac{T}{100} + 0,10555 \frac{T^2}{100000} - 0,0035952 \frac{T^3}{10000000}$$

$$q_{nem,kof} = 3,224 (T_2 - T_1) + 9,617 \times 10^{-5} (T_2^2 - T_1^2) + 3,518 \times 10^{-7} (T_2^3 - T_1^3) - 8,988 \times 10^{-11} (T_2^4 - T_1^4) \dots (5.27)$$

Kok kurutma fırınına girişte kokun sıcaklığı $T_1 = 293 \text{ }^\circ\text{K}$ (Antalya için ortalama sıcaklık) ve çıkışta da $T_2 = 353 \text{ }^\circ\text{K}$ olmaktadır. Bu değerleri 5.27 denk.'de yerine koyduğumuzda;

$$q_{nem,kof} = 3,224 (353,15-293,15) + 9,617 \times 10^{-5} (353,15^2-293,15^2) + 3,518 \times 10^{-7} (353,15^3-293,15^3) - 8,988 \times 10^{-11} (353,15^4 - 293,15^4)$$

$$q_{nem,kof} = (193,44 + 3,729 + 6,632 - 0,734) \text{ kJ/kg kok}$$

$$q_{nem,kof} = 203,067 \text{ kJ/kg kok}$$

olarak bulunur.

5.2.2.2. Baca gazları ile dışarı atılan ısı

Kok kurutma fırınında da, kireç fırınında olduğu gibi No:5 orta tip fuel-oil yakıt olarak kullanılmaktadır. Bundan dolayı da 1 kg fuel-oil yakıldığında açığa çıkan baca gazları, bunların miktarları kütleliel yüzdeleri ve toplam baca gazı kütlesi kireç fırını ile aynıdır.

Buna göre,

$$\int_{T_1}^{T_2} C_{p,b.g,kof}(T)(dT) = 996.83 \text{ kJ/kg gaz}$$

Baca çıkış ve yanma sonu sıcaklıkları da kireç fırını için alınan değerlerle aynıdır.

$$m_{kkbg} = \frac{M_{kkfo}}{M_{bg}} \dots \dots \dots (5.28)$$

Denklem 5.28' de değerleri yerine konulursa,

$$m_{kkbg} = 0.57 \text{ kg bg /kg kok}$$

bulunur.

Buna göre, 1 kg kok kurutma durumunda açığa çıkan baca gazlarının götürdüğü enerji,

$$q_{b.g.kof} = m_{kkg} \cdot \int_{T_1}^{T_2} C_{P,b.g.kkf} (T) (dT) \dots \dots \dots (5.29)$$

buradan;

$$\begin{aligned} q_{b.g.kof} &= 0.57 \times 996.83 \\ &= 568.19 \text{ kJ/kg kok} \end{aligned}$$

bulunur.

5.2.2.3. Radyasyon. konveksiyon. kondüksiyon ve diğer vasıtalarla dışarıya atılan ve tekrar kazanılamayan ısı

$$q_{k.k.d} = e_{k.k} - (q_{nem,kok} + q_{G.G.kok})$$

$$q_{k.k.d} = 1200 - (203,067 + 568,19)$$

$$q_{k.k.d} = 428,743 \text{ kJ/kg.kok}$$

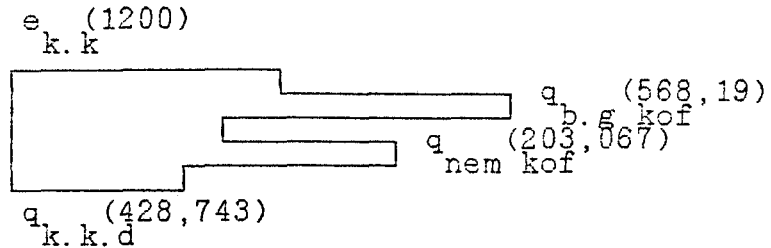
bulunur.

5.2.2.4. Fırının termik verimi

$$\eta_{T.k.k.f} = \frac{q_{k.k}}{e_{k.k}}$$

$$\eta_{T.k.k.f} = \frac{771,257}{1200} = 0,643 \text{ (%64,3)}$$

bulunur. Enerjinin dağılımı Şekil 5.2' de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.3: Kok kurutma fırınının enerji kullanımı

5.3. Kalsiyum Karbür Fırın Ünitesi

Antalya Elektrometalurji Sanayii İşletmesi Müessesesinde kullanılan fırın ünitesi, daldırmalı tip ark fırını olup, 14 MW güç kapasitesine sahiptir.

Önceki konularda bahsi geçen ön hazırlama yöntemleri ile hazırlanan hammadde (kok ve kireç), konveyör bantlarla bunkerlere gelir ve orada depolanır. Bu bunkerlerden basküle gider. Burada kok ve kireç uygun oranda tartılarak karışım silolarına gider. Karışım silolarından da fırın içerisine beslenir.

Karışımın fırın içerisinde ergimesi, elektrik enerjisi ile olmaktadır. T.E.K 0,86 cos ϕ si ile elektrik enerjisini vermekte ve alınan bu elektrik fabrika alanında bulunan bir trafo merkezindeki transformatör, kesici, yolverici ve kablolarla fırına gelmekte ve fırın önündeki başka bir transformatörle elektrodalara gelmektedir.

Fırınımız önceki konularda da belirtildiği gibi üç fazlı bir fırın olup, daldırmalı ark fırınıdır. Sahip olduğu elektrik gücü ile bağlantılı olarak, 14 MW güç kapasitelidir, Yani fırının maximum elektrik gücü 14 MW olabilir. Tabiki bu bir pik değerdir ve bu değere ulaşılması istenmeyen bir durumdur.

Elektrik enerjisi fırına transformatörden sonra tevzi (dağıtım)plakaları ve flexible kablolar vasıta ile girer.

5.3.1 Enerji girdisi :

1 kg CaC₂ (ticari kalsiyum karbür)'in oluşması için fırına verilen yıllık elektrik enerjisi;

$$C_{KÜ} = 265,105 \text{ kWh (1991 yılı değerlerine göre)}$$

ve CaC₂ üretimi,

$$M_{CaC_2} = 25000 \text{ Ton/yıl (1991 yılı değerlerine göre)}$$

Birim kg başına harcanan elektrik enerjisi,

$$e = \frac{C_{KÜ}}{M_{CaC_2}} = 1,06 \text{ kWh/kg } CaC_2$$

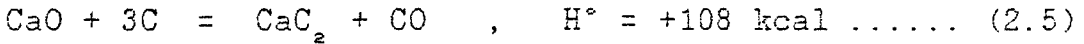
bulunur.

5.3.2. Giren enerjinin kullanım alanları :

5.3.2.1. CaC₂ oluşum ısısı

Ticari kalsiyum karbür, kok ve kirecin 1850 °C civarında yüksek sıcaklıkta reaksiyona girmesi sonucu meydana gelir. Yüksek miktarda endotermik bir reaksiyon olup, 2300 °C üzerinde CaC₂ buharına ve karbona ayrışır.

CaC₂ 'nin meydana geldiği kimyasal reaksiyonun denklemi;



buradan, 1kg CaO 'in mol sayısı;

$$M_{CaC_2} = \frac{G_{CaC_2}}{g_{CaC_2}} = \frac{1000}{64} = 15,625 \text{ mol}$$

ve,

$$q_{CaC_2} = M_{CaC_2} \cdot H^\circ \dots\dots\dots (5.30)$$

5.30 denkleminde değerleri yerlerine koyarsak;

$$q_{CaC_2} = 15,625 \times 108 \text{ kcal}$$

buradan,

$$q_{CaC_2} = 1687,5 \text{ kcal/kg}$$

bulunur.

5.3.2.2. Soğutma suyuna giden enerji

Karpit fırınının soğutma sistemi de, kireç fırını bahsinde kullanılan denklem yardımıyla hesaplanabilir. Buna göre,

$$q_{ss} = 24 \frac{Q}{P} \cdot C_{su} \cdot T = 24 \frac{Q}{P} \times 4,18 T$$

buradan,

$$q_{ss} = 7,45 \text{ kJ/kg CaC}_2$$

5.3.2.3. Asetilen gazı ile dışarı atılan enerji

Karpit üretimi için gerekli olan reaksiyon tamamlandığında aşığı çıkan CO gazı ve az bir oranda diğer gazlar, ortamda meydana gelen su buharı ile karpitin reaksiyona girerek oluşturduğu asetilen gazı ile beraber fırın bacasında eristikleri 1200 °C sıcaklığın etkisi ile tutuşarak yanarlar. Şimdi söz konusu olayla meydana gelen enerji kaybını hesaplamaya çalışalım

$$q_{as} = m_{as} \int_{T_2}^{T_1} C_{p,as}(T) dT \dots \dots \dots (5.31)$$

Asetilen gazı için sabit basınç özgül ısısı ifadesini Ek.5' den yararlanarak 5.31 denkleminde yerine koyarsak,

$$\int_{T_2}^{T_1} C_{p,as}(T) dT = 0,8385 (T_1 - T_2) + 1,769 \times 10^{-3} (T_1^2 - T_2^2) - 8,3 \times 10^{-7} (T_1^3 - T_2^3) + 1,7 \times 10^{-10} (T_1^4 - T_2^4) \dots \dots (5.32)$$

Sınır değerleri yerine konduğunda,

$$\begin{aligned} \int_{293}^{1473} C_{p,as}(T) dT &= 0,8385 (1473 - 293) \\ &+ 1,769 \times 10^{-3} (1473^2 - 293^2) \\ &- 8,3 \times 10^{-7} (1473^3 - 293^3) \\ &+ 1,7 \times 10^{-10} (1473^4 - 293^4) \\ &= 2841,8 \text{ kJ/kg gaz} \end{aligned}$$

Şimdide 1 Kg karpit oluşumundan açığı çıkan asetilen gazının kütlesini bulalım. Bunun için Tablo 2.1'den %100 kalitede ki karpit için gaz verimi değeri 364,8 lt/kg

okunur. Asetilen gazının yoğunluğuda 897,7 lt/kg olarak alındığında,

$$m_{as} = (364,8 \times 897,7) \times 10^{-1}$$

$$m_{as} = 0,406 \text{ kg/kg CaC}_2$$

denklem 5.31'de yerine konulursa,

$$q_{as} = 0,406 \text{ kg gaz/kg CaC}_2 \times 2841,8 \text{ kJ/kg gaz}$$

$$= 1153,77 \text{ kJ/kg CaC}_2$$

bulunur.

5.3.2.4. Radyasyon konveksiyon kondüksiyon ve diğer yollarla dışarıya ve tekrar kazanılamayan enerji

$$q_{diger\ kf} = e_{kf} - (q_{CaC_2} + q_{sskf} + q_{as}) \dots \dots \dots (5.33)$$

$$q_{diger\ kf} = 3816 - (1687,5 + 7,45 + 1153,77)$$

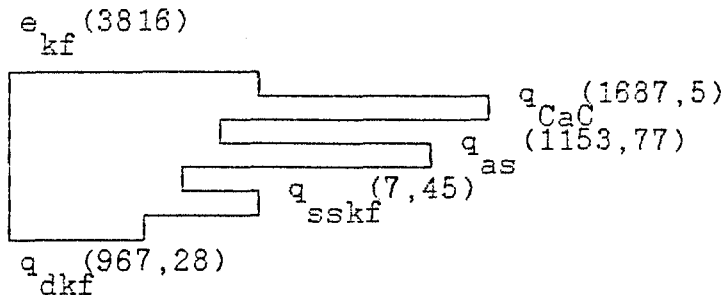
$$q_{diger\ kf} = 967,28 \text{ kJ/kg CaC}_2$$

5.3.2.5. Kalsiyum karpit fırınının termik verimi

$$\eta_{Tkf} = q_{kf} / e_{kf} = 2848,72 / 3816$$

$$\eta_{Tkf} = 0,746 \text{ (\%75)}$$

olarak bulunur. Kalsiyum karbür fırın ünitesi için enerjinin kullanımı Şekil 5.3' de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.4: Kalsiyum karbür fırın ünitesinin enerji kullanımı

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada yapılmaya çalışılan rasyonel enerji analizinde hesaplamalar bize şu fikri vermiştir: Bir daldırmalı ark fırınında soğutma suyuna giden enerji ve ön hazırlama ünitelerinde soğutma suyuna ve baca gazlarına giden enerjiler oldukça büyük değerlere ulaşmaktadır. Bu bölümde karpit üretimi gerçekleştiren üç ana ünitenin enerji değerlendirmesi yapılarak sarf enerjinin bir kısmının kazanılabilmesi için alternatif fikirler oluşturulmaya çalışılmıştır.

6.1. Kalsiyum Karpit Fırın Ünitesi

Fabrikanın 1991 yılında harcamış olduğu elektrik enerjisi $265 \cdot 10^5$ kWh olup bu enerjinin dağılımına bakıldığında soğutma suyu ve asetilen gazı ile dışarı atılan enerjinin toplam enerjiye oranı:

$$(q_{\text{ssk}} + q_{\text{as}}) / e_{\text{kf}} = (1153,77 + 7,45) / 3816 = 0,304$$

Sadece asetilen gazı ve soğutma suyu ile dışarı atılan enerji toplam enerjinin % 30'unu oluşturmaktadır ki bu değer, ülke kalkınmasında büyük bir rol oynayan bir tesis için göz ardı edilemeyecek kadar büyüktür.

6.1.1. Asetilen gazı ve reaksiyon sonucu açığa çıkan gazların enerjisinin yeniden kazanmak için alternatif metodlar

Asetilen ve reaksiyon gazları reaksiyon sonunda $1500 \text{ }^\circ\text{C}$ civarında bir sıcaklığa sahip olurlar. Bu yüksek sıcaklıktaki gazlar fırın bacasından tutuşarak atmosfere bırakılırlar buda toplam enerjinin % 30'unun dışarıya atılması olayının başka bir ifadesi olmaktadır.

Asetilen gazı imalat sanayiinde geniş kullanım alanı olan bir gaz olup üretimi yapılarak büyük bir kazanç sağlanabilir. Ama asetilen gazının üretimden ziyade sahip olduğu enerjiden yararlanma yollarını aramak daha pratik ve kazançlı olacaktır. Bu bölümde karpit üretiminde açığa çıkan

gazlardan ve soğutma suyunun enerjisinden yararlanma yolları ayrı ayrı incelenmeye çalışılacaktır.

6.1.1.1. Asetilen gazından yararlanmak için öneriler

KULLANMA VE ISITMA AMACIYLA SICAK SU HAZIRLANMASI (Ek.1'de):

Su ısıtmada kullanılan buradaki eşanjör yatay konumdadır. İçinde su dolaşan boru demetide yatay konumda olup, ocaktan alınan sıcak baca gazları bu boru demetini yalayarak ısısını dolaşan suya aktarmaktadır. Eşanjörden çıkan kirli baca gazları bir toz temizleyiciden geçtikten sonra atılmaktadır. Gazı eşanjöre giriş sıcaklığı yaklaşık 800 °C, çıkışı ise 400 °C dolayındadır. Eşanjörde ısıtılan su, basınç altında sıvı olarak yada buhar olarak dolaştırılır.

Bu tesisatın diğer bir özelliği, eşanjörden elde edilen sıcak suyun sürekli olarak bir sıcak su tankına aktarılmasıdır. Fabrikanın bütün sıcak su gereksinimi bu depodan karşılanabilir. Depo yerine bir boru tesisatı ile sıcak su ve buhar dolaştırılarak yaklaşık 200 °C sıcaklık girişli olacak şekilde fabrika civarındaki seraların ısıtılması sağlanabilir. Bu depo sayesinde ocağa bağımlı kalmadan işletmenin her türlü sıcak su gereksinimi karşılanmış olmaktadır. Bu tesisatta kullanılan ısı eşanjörüne giren baca gazlarının temizlenmemiş olması eşanjörde zamanla toz birikmesine neden olur. Bu sakıncayı ortadan kaldırmak için eşanjörün, örneğin sürekli basınçlı buhar göndererek temiz tutulması gerekir. Burada açıklanan çalışma koşullarında çalışan eşanjörün termik verimi yaklaşık % 50 civarında olacaktır. Eşanjörde dolaşan akışkan çoğu kez su olmakla beraber su yerine termik yağda kullanılabilir. Aynı şekilde eşanjörde baca gazlarından geri kazanılan ısı tek amaçla kullanılabileceği gibi yukarıda bahsettiğimiz gibi alternatif amaçlıda kullanılabilir.

Asetilen ve reaksiyon gazlarından yararlanarak elektrik üretmekte mümkündür. Ek.2'de böyle bir sistem görülmekte-

dir. Fırından çıkan baca gazları temizlendikten sonra yanma odasına gelir. Burada gizli ısıdan duyulur ısıya dönüştürülen baca gazının sıcaklığı artmış olarak ısıtıcıya gider. Isıtıcının alt ucunda bir buhar kızdırıcı bulunmaktadır. Sıcaklığı yüksek baca gazları önce buradan geçerek su buharı kızdırılır. Isıtıcının çıkışında ise ayrı bir ekonomizer mevcuttur. Kızdırıcı, ısıtıcı ve ekonomizere ısınıyı bırakan baca gazları sonunda bacaya ulaşarak buradan atmosfere atılır.

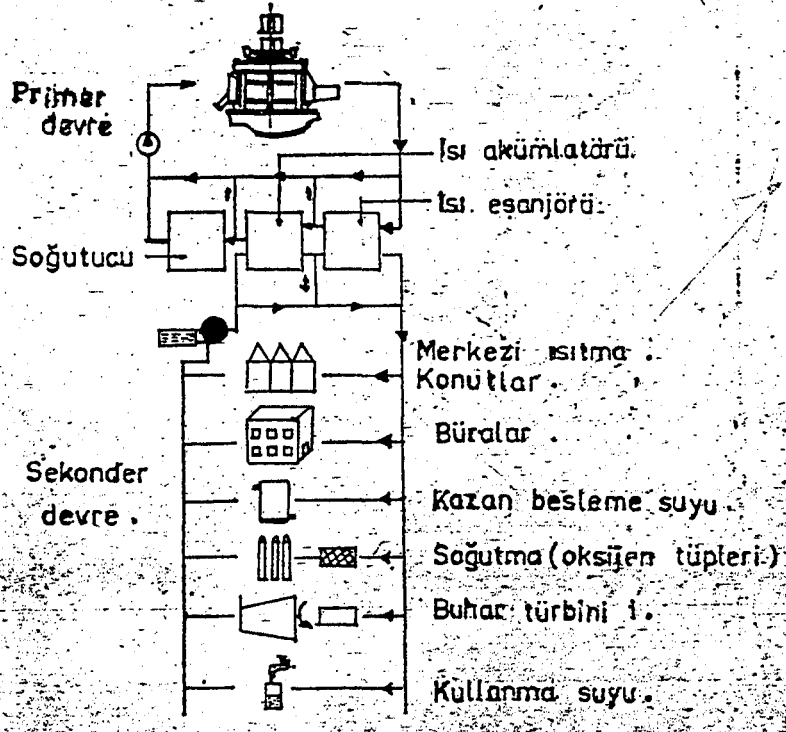
Kondenserden çıkan su, önce ekonomizere giderek sıcaklığı kısmen yükseltilmiş olarak 8 nolu tanka gelir. Bu tanktaki suyun sıcaklığı ısıtıcıda biraz daha yükseltilerek doymuş buhar olarak burada depolanır. Türbinde kullanılmak üzere bu tanktan çekilen doymuş buhar ise kızdırıcıda kızdırıldıktan sonra türbine gider.

6.1.2. Soğutma suyundan yararlanmak için alternatif öneriler

Kalsiyum karpit fırınının su ile soğutulan elektrsel ve mekaniksel olmak üzere birçok elemanı vardır. Elektriksel elemanları soğutan suyun sıcaklığı işletme güvenliği bakımından 50 °C'yi pek geçmez. Mekaniksel elemanların soğutulmasında ise 75 °C ve 80°C civarına çıkabilmektedir. Bu açıdan bakıldığında 50°C'nin altındaki soğutma suyunu ısıtma amacı ile kullanmak için ısı pompası ile bu sıcaklığın yükseltilmesi gerekir. Isı pompaları ise geri kazanılan ısının maliyetini, tesisatın amortisman süresini artırırlar.

Fırının yanıl çeperlerini ve kapasını soğutan sudan yararlanmak en pratik yoldur. Şekil 6.1'de fırının soğutma suyu ısından başlıca yararlanma yolları belirtilmiştir.

Burada fırından çıkan soğutma suyu bir kapalı devre (primer devre) içinde kalmakta, ısı eşanjörleri ve soğutucudan geçerek sıcaklığı düşmektedir. Isı eşanjörleri yardımı ile soğutma suyundan geri kazanılan ısı ısıtma, enerji üretme ve sıcak su hazırlama gibi çok çeşitli amaçlarla kullanılabilir.



Şekil 6.1: Ark fırını soğutma suyu ısısından yararlanma olanakları

6.2. Kok ve Kireç Fırınları - Baca Gazlarından Yararlanma Olanakları

Kok ve kireç fırınlarında enerji kaynağı olarak kullanılan fuel-oil'in yanması sonucu açığa çıkan baca gazlarından da yararlanılabilir.

Ek.3'de kireç fırını ile bu fırının baca kısmına bir boru ile bağlanmış ısı eşanjörü görülmektedir. Bacaya giden sıcak gazların bir kısmı ısı eşanjörüne alınarak gazların ısısı burada dolaşan suyu ısıtmada kullanılır. Eşanjörden çıkan kirli baca gazı bir temizleyici sistemden geçirilerek atmosfere atılır. Buradaki eşanjörün tesisi ve işletmesi oldukça ucuzdur.

Bu eşanjör iç çeperlerinden su boruları dolaşan basit bir su ısıtıcısıdır. Üstten temizlenmeden eşanjöre giren sıcak baca gazları alttan yan taraftan temizleyiciye geçer-

ler. Eşanjörün kirli baca gazları ile tıkanma tehlikesi yoktur. Toplanan toz kabarcıkları yer çekiminin etkisi ile eşanjörün açık olan alt kısmına düşerler. Bu eşanjörde aynı zamanda CO gazıda yakılarak baca gazlarının gizli ısısından mümkün olduğu kadar yararlanılmaya çalışılır. Buradaki baca gazlarının sıcaklığı yaklaşık 400 °C civarındadır (Avcı, 1984)

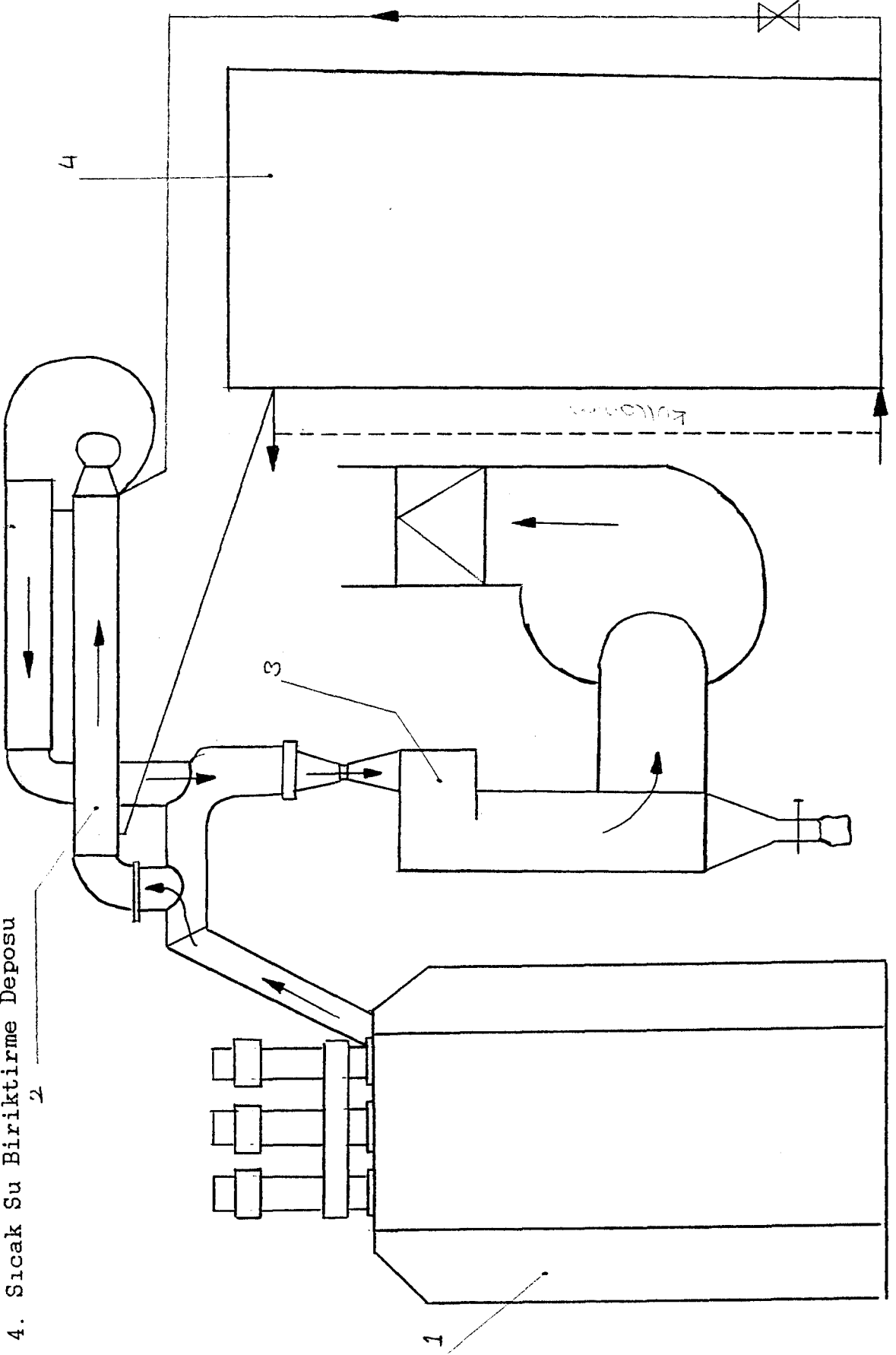
KAYNAKLAR DİZİNİ

1. Avcı, A. U., 1984, Dökümde enerji tasarrufu, Yıldız Üniversitesi Yayınları, İstanbul, 284 s.
2. Buttss A. (Çev. AYTEKİN, V., 1978, Metalurji problemleri, Teknik Üniversite Matbaası, İstanbul, 613 s.
3. Karakoç, H., 1987, Çimento endüstrisinde enerji ekonomizasyonu, Yayınlanmamış Doktora Tezi, 225 s.
4. Kuşhan, B., 1983, Isı enerjisi ve içten yanmalı motorlar, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, 176 s.
5. Paschkis, V., Persson, J., 1960, Industrial electric furnaces and appliances, Interscience Publishers Inc. New York, 607s.
6. Öztürk, A., Kılıç, A., 1987, Termodinamik Problemleri, Seç Kitap Dağıtımı, İstanbul, 528 s.
7. Robiette, A. E. G., 1973, Electric smelting processes, Little Kingshill, Buckinghamshire, 275 s.
8. Taner, K., 1987, Soğutma Tekniği, Anadolu Üniversitesi Eğitim, Sağlık ve Bilimsel Araştırma Çalışmaları Vakfı Yay., Eskişehir, 242 s.

EKLER

- Ek.1: Kalsiyum Karpit Fırını Baca Gazından Yararlanarak Sıcak Su Hazırlama ve Biriktirme
- Ek.2: Kalsiyum Karpit Fırını Baca Gazından Yararlanarak Elektrik Enerjisi Üretimi
- Ek.3: Kireç Fırını Baca Gazlarından Kullanma ve Isıtma Amacı ile Sıcak Su Hazırlanması Sistemi
- Ek.4: Ferro Alaşım ve Karpit Fırınının Dizaynı
- Ek.5: Bazı Mükemmel Gazların Sabit Basıncıta Özgül Isı Denklemleri

1. Kalsiyum Karpit Fırını
2. Isı Eşanjörü
3. Toz Tutucu
4. Sıcak Su Biriktirme Deposu

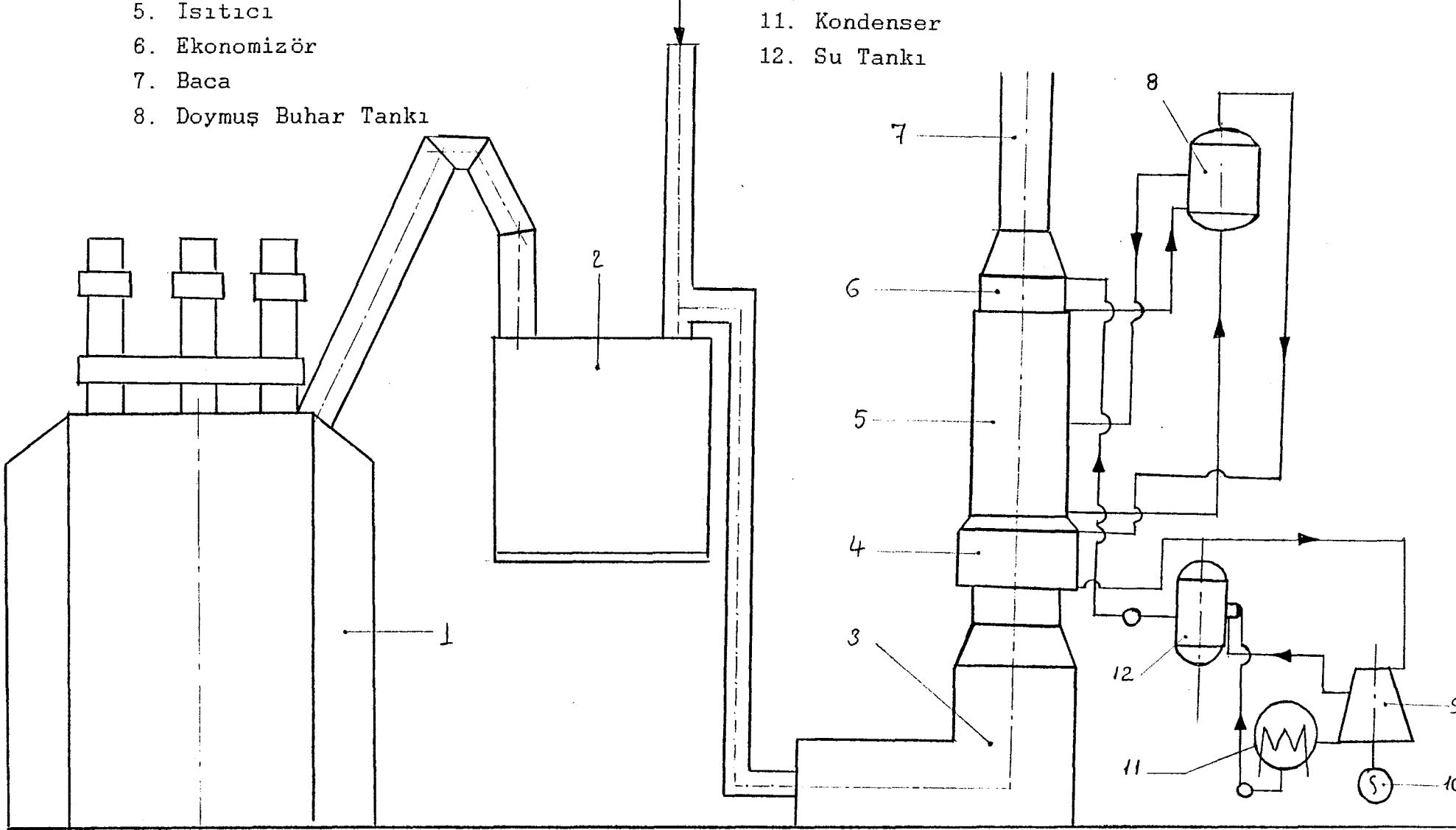


Ek.1: Kalsiyum Karpit Fırını Baca Gazından Yararlanarak Sıcak Su Hazırlama ve Biriktirme

1. Kalsiyum Karbit Fırını
2. Toz Tutucu
3. Brülör
4. Buhar Kızdırıcı
5. Isıtıcı
6. Ekonomizör
7. Baca
8. Doymuş Buhar Tankı

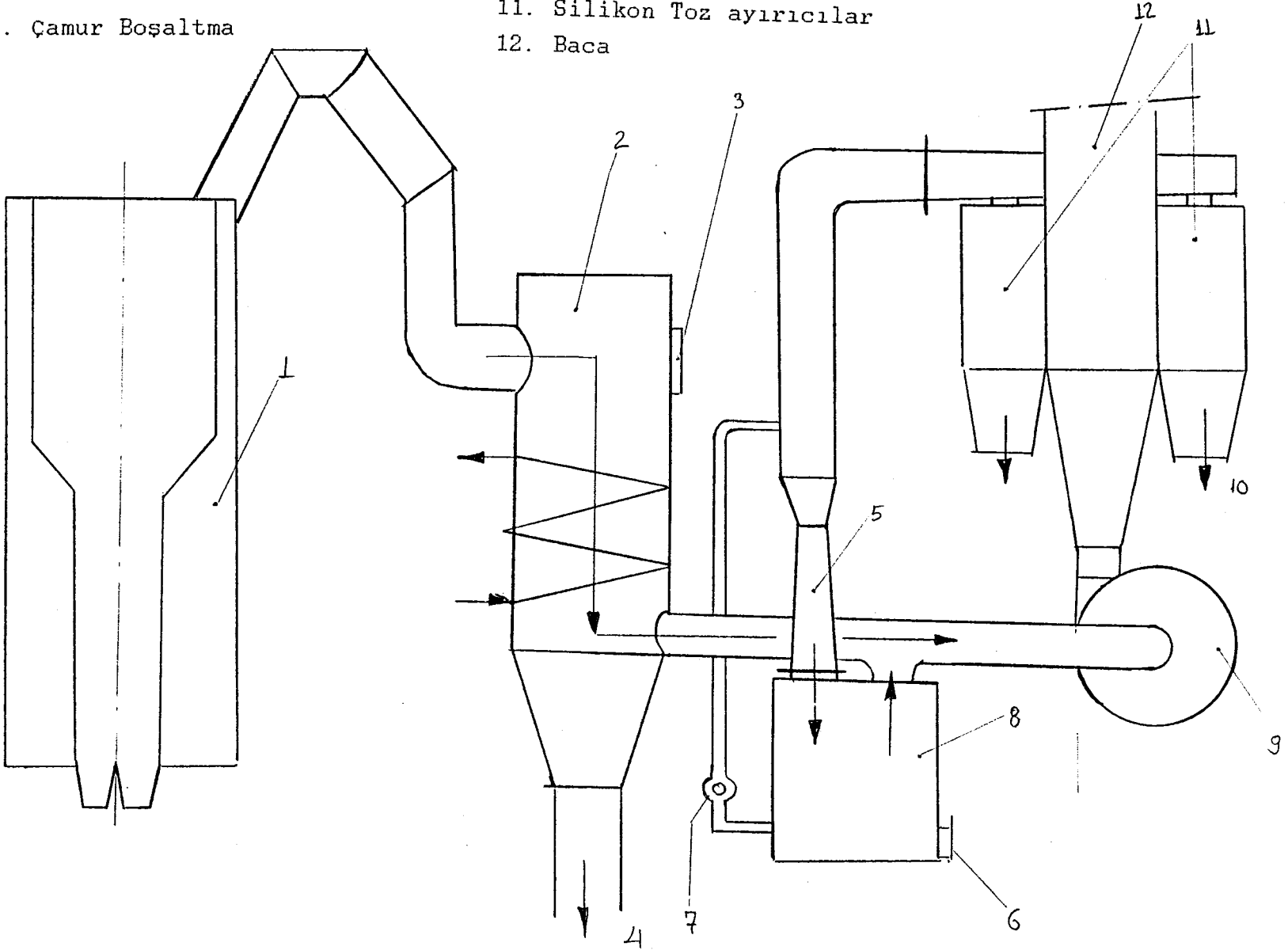
9. Türbin
10. Alternatör
11. Kondenser
12. Su Tankı

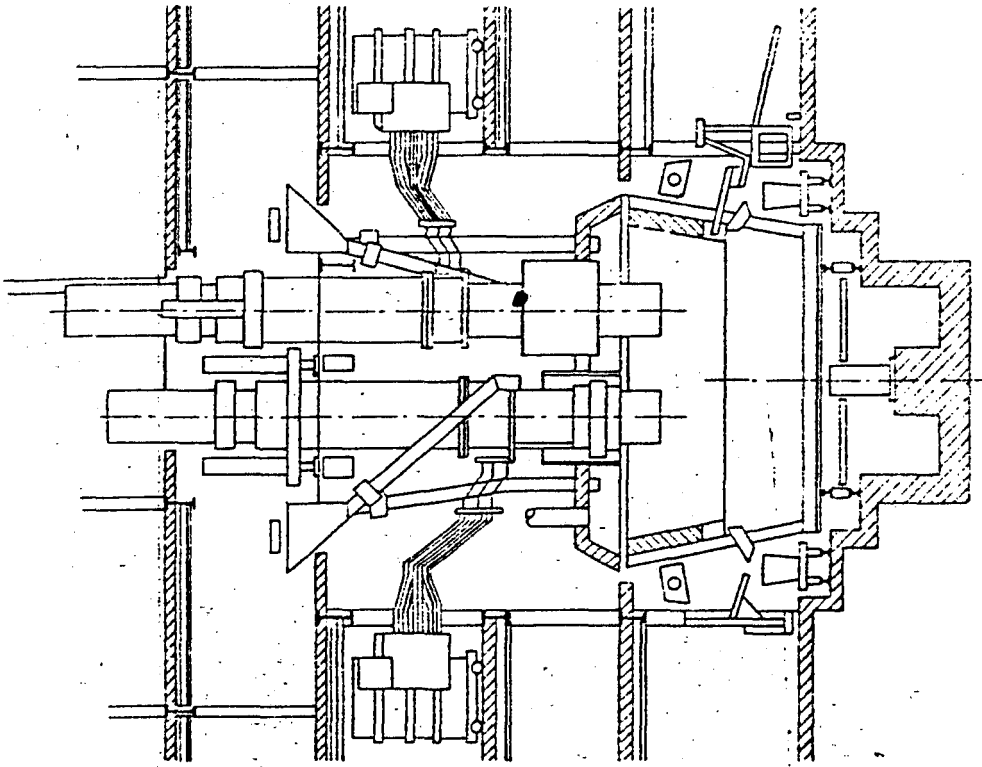
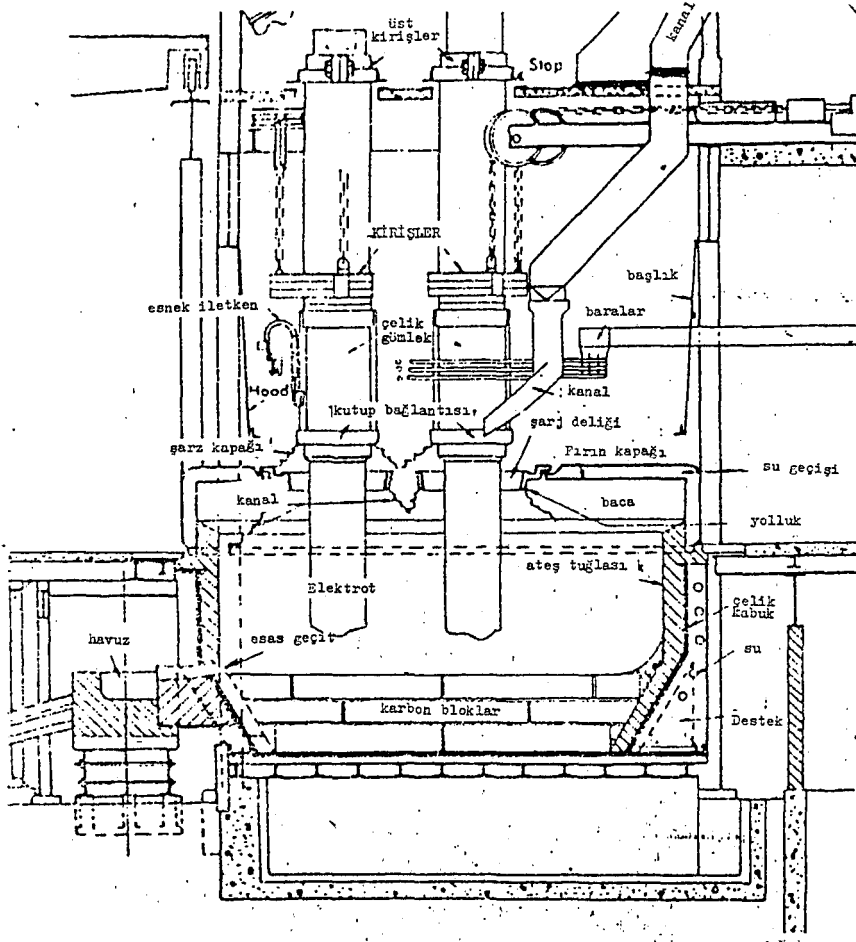
Ek.2: Kalsiyum Karbit Fırını Baca Gazından Yararlanarak Elektrik Enerjisi Üretimi



1. Kireç Fırını
2. Isı Eşanjörü
3. CO İçin Yanma Havası Girişi
4. Toz Çıkış Deliği
5. Venturi
6. Çamur Boşaltma
7. Sirkülasyon Pompası
8. Yaş Toz Toplayıcı
9. Aspiratör
10. Kuru Toz Tutucular
11. Silikon Toz ayırıcılar
12. Baca

Ek.3: Kireç Fırını Baca Gazlarından Kullanma ve Isıtma Amacı İle Sıcak Su Hazırlama Sistemi





Ek.4: Ferro Alaşım ve Karpit Fırınının Dizaynı

Ek. 5

$$C_{P_{CO_2}} = -3.7357 + 30.529 \theta^{0.5} - 4.1 \theta + 0.024 \theta^2$$

$$C_{P_{H_2O}} = 32.238 + 0.19234 \theta + 0.10555 \theta^2 - 0.0035952 \theta^3$$

$$C_{P_{SO_2}} = 11.83 + 6.05/100 \theta - 85.6 \theta^{-2}$$

$$C_{P_{O_2}} = 8.27 + 0.025 \theta + 18.77 \theta^2$$

$$C_{P_{N_2}} = 6.5 + 0.1 \theta$$

$$C_{P_{as}} = 21.8 + 9.2 \theta - 0.65 \theta^2 + 0.018 \theta^3$$

Bu ifadelerde $\theta=T/100$ dönüşümü yapılmıştır.