

669.187.56

S 464e

1996-878

TÜRKİYE LİLİMSEL VE TEKNİK ARAŞTIRMA KURUMU
MÜHENDİSLİK ARAŞTIRMA GRUBU

PİCİJE NO : MAG - 313/A

ELEKTRO-CURUF RAFİNASYONU

T Ü R K İ Y E
B İ L İ M S E L v e T E K N İ K
A R A Ş T I R M A K U R U M U
K U T U P H A N E S İ

Dr. Ekrem SELÇUK

O.I.T.U. Metalurji Mühendisliği Bölümü

BU ARAŞTIRMA T.B.T.A.K. DESTEĞİYLE O.D.T.U. METALURJİ BÖLÜMÜNDE
YAPILMIŞTIR

ANKARA 1975

14585

İÇİNDEKİLER

Önsöz	I
Tablo listesi	II
Şekil listesi	III
Abstrakt	IV
Abstract (İngilizce)	IV
Giriş	V
BÖLÜM I	
ELEKTRO-CURUF RAFINASYONU	I-10
I.1 Elektro-curuf rafinasyonunun genel tanımı	I-2
I.2 Elektro-curuf rafinasyonu proses parametreleri	2-3
I.3 Curuf seçimi ve Curuf sistemleri	3-6
I.4 Curuf özellikleri	6-10
BÖLÜM II	
ELEKTRO-CURUF RAFINASYON ÜNİTESİ	11-18
2.1 Minyatür ünite	11-12
2.2 Prosesin başlatılması	12-13
2.3 Minyatür ünite deney sonuçları	14-15
2.4 Minyatür ünite sonuçlarının ışığı altında pilot-plant ünitesinin tamamlanması ve güç kaynağı seçimi	15-18
BÖLÜM III	
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	19-22
3.1 Elektrod hazırlanması	19
3.2 Rafinasyon prosedürü	19-20
3.3 Makro yapı incelenmesi ve sülfür dağılımının tesbiti	20-22

BÖLÜM IV	
DENEY SONUÇLARI	23-26
4.1 Voltaj-emper	23
4.2 Elektrod beslenme ve rafinasyon hızı	23
4.3 Dezoksiasyon ve sıcak tepeleme	24-25
4.4. Sülfür dağılımı	25
4.5 Rafine ingotlarda içyapı ve mekanik özellikler	25-26
BÖLÜM V	
TARTIŞMA	27-51
5.1 Proses parametreleri	27-33
5.2 Rafinasyon	33-42
5.3 Rafine ingotta oksijen	43-45
5.4 Enklizyonlardan arınma	45-50
5.5 Mekanik özellikler	50-51
BÖLÜM VI	
SONUÇLAR	52-53
REFERANSLAR	54-55
TABLOLAR	56-58
ŞEKİLLER	59-75
ÖZET	1
SUMMARY	ii

ÖNSÖZ

Bu araştırma T.B.T.A.K. desteğiyle ve tümüyle O.D.T.Ü. Metalurji Mühendisliği Bölümü Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

Projeye mâli destek sağlanmasında gösterdikleri yakın ilgiden dolayı Sayın Prof.Dr.Doğan Gücer ve Sayın Prof.Dr.Hayri Erten'e burada teşekkürlerimi belirtmeyi bir görev bilirim.

O.D.T.Ü. Metalurji Mühendisliği Bölümü teknik elemanlarına çalışmalara olan katkılarından ve T.B.T.A.K. Mühendislik Araştırma Grubu sekreteryasına gösterdikleri yakın ilgiden ötürü ayrıca teşekkür ederim.

TABLO LİSTESİ

<u>TABLO</u>	<u>SAYFA</u>
I. Proses değişkenlerinin deneyler süresince durumları.....	56
2. Elektrod analizi ve rafine ingot analizi.....	56
3. Metal ve curuf sülfür değerleri ile takvim katsayısı.....	57
4. Elektrod ve rafine malzeme çöke dirençleri ve uzama değerleri.....	57
5. Rafinasyon sonunda elde edilen tozlu özellikleri.....	57
6. Elektrod ve rafine ingot oksijen analizi.....	58

ŞEKİL LİSTESİ

ŞEKİL	SAYFA
I. Elektre-Curuf Rafineşyon şemetik izahı.....	59
2. Alternatif akımın güç kaynağı olarak kullanılması durumunda E.C.R da mümkün olan çeşitli kombinasyonlar.....	59
3. CaF ₂ - CaO faz diyagramı.....	60
4. CaF ₂ - Al ₂ O ₃ faz diyagramı.....	60
5. CaF ₂ - CaO- Al ₂ O ₃ faz diyagramı.....	61
6. Genellikle E.C.R da kullanılan curuf karışımları....	61
7. Çeşitli curufların sıcaklıkla viskozite değişimleri.62	
8. Minyatür E.C.R ünitesi.....	62
9. Soğuk alt tabla(platform).....	63
10. Soğuk kalıp.....	63
II. Ergimiş curuf için kullanılan grafit honili soğuk kalıp.....	64
I2. Minyatür ünite elde edilen rafine ingot. (deney No:1).....	64
I3. Minyatür ünite elde edilen rafine ingot. (deney No:2).....	64
I4. Pilot-Plant E.C.R ünitesinde kullanılan soğuk kalıplar.....	65
I5. Pilot-Plant E.C.R ünitesinin tüm görünümü.....	66
I6. Operasyon amperinin elektrod kalınlığına göre değişimi.....	67
I7. Yavaş elektrod besleme hızı sonunda ortaya çıkan ingot yüzey bezukluğu.....	67
I8. Ağır besleme hızının sebep olduğu elektrod penetrasyonu.....	68
I9. Optimal besleme hızlarının sonucu düzgün yüzeyli rafine ingotlar.....	68
20. Optimal besleme hızı: köşeli kalıp.....	68
21. Dezoksiasyon yapılmamış iki rafine ingot kesitinde gaz boşlukları.....	69

SEKİL

SAYFA

22. Sıcak tepeleme yapılmış bir rafine ingot kesiti..... 70
23. Dezokside edilmiş bir rafine ingot kesiti..... 70
24. Rafine ingot kükürt(sülfür) beskileri..... 71
25. Konvansiyonel çelik katılaşmasının orta bir anındaki durumun şematik izahı..... 72
26. E.C.R ile katılaşmış iki ingotun makro yapıları.... 73
27. Sıvı metal gölcüğünün çegitli parametrelerin değişimine göre belirlenen farklı profilleri.....73
28. Elektrod ve ingot yüzeyleri arasındaki ΔP nin farklı Elektrod alanı oranlarında, relatif ingot alanı akım değerlerine göre değişimi..... 73
29. Curuf ve metal gölcüğündeki muhtemel sıvı hareketleri..... 74
30. Enklizyon yükselme hızının enklizyon çapına göre değişimi..... 74
31. Enine ve boyuna V çentikli Charpy çarpı numunele-
rinin rafine ingottan çıkarılış bölgeleri.....75

ABSTAKT

Bu araştırma konvansiyonel usullerle imal edilmiş Çeliklerin Elektro Curuf metoduyla rafinasyonu incelenmiştir.

Bir minyatur E.C.R. ünitesinde ilk ön bilgiler elde edildikten sonra pilot ölçülerindeki yeni bir unitede Ő 1030 ve Ő 1137 Őeliklerinin rafinasyonu incelenmiştir.

İngot yüzey kalitesinden ingot iş yapısına kadar Őeřitli özelliklerin proses parametreleri ile nasıl değiştiği incelenmiş E.C.R.nun sülfür arınması, metalik olmayan enklizyonların ingot bünyesinden temizlenmesi ve kontrollu katılaşma ile mekanik özellikleri yüksek malzemelerin yapımında etkin bir proses olacağı ortaya konmuştur.

ABSTRACT

In this research Electro-Slag Refining of conventionally produced steels has been investigated.

Initially a miniature E.S.R unit has been built following this a pilot-plant E.S.R unit has been design and constructed. On the pilot plant the basic parameters of the process and the refining of Q 1030 and Q1137 steels has been investigated.

The relationships between ingot surface quality, electrode and ingot mould dimensions, the effect of slag and metal flows on the process parameters , ingot structures and mechanical properties have been determined.

It has been found that E.S.R produces efficient sulphur removal. Sulphur content of the refined ingots has been found to be 1/3 of the electrode sulphur value.

E.S.R proves itself as an influential inclusion refining process, originally by removing the sulphur, for sulphur inclusions and due to its nature of solidification it helps the removal of other non-metallic inclusions.

It has been shown that mechanical properties of refined ingots are improved, particularly the material becomes isotropic as far as the toughness is concerned.

GİRİŞ

Sen yirmi beş sene içerisinde hızla gelişen teknoloji talep ettiği meteryal kalitesi ile malzeme imali yönünden bilinen prosesleri limitlerine kadar zorlamıştır.

Demir ve çelik endüstrisinde yeni yöntemlere uzanılması ile birlikte, malzeme iş yapıları olugunu, iş temizlik, alaşım elemanlarının mikro ölçülerdeki etkileri dikkatlice araştırılması gereken konular olarak ele alınmıştır.

Araştırma imkanlarının gelişmesi, Elektron mikroskobu Elektron makroprobe ve Elektre-şkan mikroskobu gibi cihazların artık güncel sınıfına girmesi bilhassa çeliklerde iş temizliğinin ve iş yapısı düzeninin, emürütillerin büyük önemini ortaya çıkarmıştır.

Kenvenşiyonel(Siemens-martin, Open-hearth, Elektrik ark, B.O.F v.b) yellarla yapılan çelik üretiminden sonra bir tekrar ergitme ve tasfiye işlemi olarak özel (asil) çelik imalinde kullanılan vakum ve kontrollu atmosfer fırınları gerek yatırım- larındaki büyük masraflar gerek operasyon karmaşıklıkları ile naksede hizmet etmekle beraber yeni bir gelişimi tegvik eder duruma gelmişlerdir.Özel çelik imali vakum ocakları öte- sinde yeni uygulamalara açık bir saha olarak beklemektedir.

Elektre-curuf rafinasyonu işte bu beşluğü deldurmak gayesiyle üzerine ehemmiyetle eğilmemiz gereken bir konu ola- rak kargımıza çıkmaktadır. Elektre-curuf rafinasyonu ile arzu- lanmayan enklizyenlerin tasfiyesinin, sülfür kontrolünün, iş yapı değişikliği deleyisiyle mekanik özelliklerin üst seviye- lere çıkarılmasının basit yöntemlerle gerçekleştirebileceği müm- kün görülmektedir.

Bu yeni prosesin laboratuver duvarları dışına çıkabile- cek güçte olduğunun gösterilmesi şüphesiz metalürji alanında yeni bir aşama olacaktır.

BÖLÜM I

ELEKTRO-CURUF RAFINASYONU

1.1. Elektro-Curuf Rafinasyonunun Genel Tanımı :

Elektro-curuf rafinasyonu metaller için bir ikinci arınma işlemidir. İzabe ve ilk şekillenmeden sonra gelen bu proses daha soğ, daha yüksek kaliteli malzeme elde etmek maksadını güder.

Elektro-curuf rafinasyonu sarıfolunacak bir metal elektrod, ergimiş bir curuf havuzu ve soğutulmuş kalıpla tamamlanan bir elektrikli devredir. Curuf yüzeyine tatbik edilen elektrik gücü curufun ısınıp yüksek sıcaklığa çıkmasına ve metal elektrodun ergimesine sebep olur. Damlacıklar halinde ergiyen metal soğutulmuş kalıpta arınmış olarak toplanır. Çekil (1) basit haliyle prosesi izah etmektedir.

Elektro-curuf rafinasyonu (Bundan böyle E.C.H. olarak bahsedilecektir) ilk defa 1930 yıllarında Amerika'da R.A.Hopkins tarafından denenmiştir. (1) Ergimiş curuf içerisinde rafine edilmeye çalışılan metal, kütle halinde bir blok olarak ilk defa Hopkins tarafından eritilerek mekanik özellikleri yüksek arı bir yeni kütle elde edilmiştir. İhteratürün bundan önceki yıllarında rezistanla ısıtılmış curufları, metal ergitmelerinde yardımcı olarak kullanıldıkları görülmüştür. (2)

Bu yıllardan sonra teknolojisini daha değişik olan vakum altında ergitme tekniğinin, rafine metal ve alaşım yapımında tercih edilen metod olduğu görülmektedir. Belki de E.C.H.'nin mucidi olan Hopkins'in bu tekniği kendi firmasından başka kuruluşlara açmaması E.C.H.'nin bir kenara itilmesinin gerçek sebebi olabilir. Bu yüzden 1960-1965 yıllarına kadar E.C.H. metalurji alanında bilinmeyen bir konu olarak unutulmuştur. Gerçekte E.C.H.'nin keşfinin bu yeni dönem olarak kabulü gerekir.

Batı dünyasına nazaran doğu blokunda bu tekniğe 1948 den beri zaman zaman eğilindiği, fakat sonradan terkedildiği görülmür. İlk deneysel çalışmalar ise 1958⁽³⁾ yılında başlamıştır. 1965 yılından itibaren Avrupa da da E.C.R. tekniğinin incelenmesine başlanmıştır.

Bu gün görüldüğü gibi pek yeni olan bu tekniğe ait pek çok bilgiler patent haklarıyla saklıdır. Ülkemizde gelişen metalurji endüstrisine katkıda bulunmak ve bilimsel neticeleri bakımından orijinal yönlerin açıklığı kavuşturulması maksadıyla bu araştırma planlanmıştır.

1.2. Elektro-Curuf Rafinasyonu Proses Parametreleri.

E.C.R. prosesi bir rezistansla ısınma temel prensibine dayandığına göre, enerji kaynağı olarak alternatif ve direkt akımlardan herhangi birini kullanma olasılığı vardır. Buna göre kullanılacak elektrod yeni elde edilecek rafine ingot özelliklerine bağlı olarak volтаж ve amper değerleri değişebilir. Bu güne kadar ki çalışmalar A-C ve D-C arasında kesin bir seçme yapma imkânını verecek açıklıkta neticeler ortaya koymamıştır. Bununla beraber A-C nin D-C ye nazaran pratiklik yönünden tercih edildiği görülmektedir. E.C.R. da maksada uygun bir elektrikli devrenin elde edilmesi D-C kullanıldığı zaman polarizasyon dolayısıyla elektrodun + veya - olma durumuna bağlıdır. A-C (Alternatif akım) kullanılması halinde kombinasyon ihtimalleri artmaktadır. Proses bir tek elektrod ve tek faz sistemi veya Δ ve sekonder uçlarından ayrılabilen birden fazla iki veya üç elektrod dan oluşabilir. A-C güç kaynağı için mevcut kombinasyonlar Şekil (2)de gösterilmiştir.

Güç kaynağının seçimi, prosesin diğer parametrelerini de yakından etkiler. Ergitme hızı, ergimiş metal gölcüğünün şekil ve katılaşma özellikleri, volтаж ve amper ayarlamaları ile birlikte curuf seçimine, curuf haznesinin derinliğine bağlı olarak değişir.

E.C.R. da refine edilecek ham madde görünümündeki elektrod, seçim ve hazırlanması yönünden önemlidir. Elektrod çap büyüklüğü elde edilecek ingot çapından daima küçüktür. Bu ilişkiyi bir oran ile belirtirsek, ergimmiş metal gölcüğünün geometrisinin bu oranla değiştiğini görmek mümkündür. Elektrod yüzey temizliğinin rafinasyonunun gerçekleşmesi yönünden önemi vardır. Oksitli bir elektrod yüzeyi, Ti, Al gibi kuvvetle okside olabilen alaşım elemanlarının kontrolünü güçleştirir. Dolayısıyla elektrod yüzeyleri mümkün olduğu kadar oksit, yağ v.b. gibi şeylerden temizlenmelidir.

1.3. Curuf Seçimi ve Curuf Sistemleri .

E.C.R. da curufun iki önemli fonksiyonu vardır. Bunlardan birincisi curufun elektrodun ergimesi için gerekli ısıyı yaratması, ikincisi rafinasyonu büyük ölçüde kendi içerisinde gerçekleştirmesidir.

Curuf tabakası elektriki devrenin en yüksek rezistansa sahip olan elemanıdır. Dolayısıyla elektrik enerjisinin ısıya çevrilebileceği en uygun bölge olmak durumundadır. Curufun yeterli derecede yüksek rezistiviteye sahip olmaması halinde, elektrodun ergimesi ve arzulanan rafinasyonun oluşması güçleşecektir.

Bu iki ana görevin dışında curuf yeni katılan ingotla birlikte ingot kalıba duvarlarında donarak metali hem elektriki hem de termal yönden izole eder, ingot yüzey kalitesini arttırır ve ergimmiş metali direkt atmosferik korozyondan korur.

Curuf seçimine şu ana temel prensipten başlanmalıdır. Curuf metalin ergime noktasında sıvı halde olmalıdır ve sıvı curuf ağır sıcaklığa özelliklerinden fazla kayıp vermeden yükselebilmelidir. Curuf tabakasının ulaşılabildiği sıcaklık, zâti rezistansı ile geçen akıma bağlıdır. Genellikle 500-1500 Amp. arasında bir akım geçişi için yüksek gerilimlere ihtiyaç yoktur. Bununla beraber curuf sıcaklığı sadece yara-

tilan ısıya değil, bu ısının kayboluş (transfer) hızına bağlıdır. Curuf seçiminde, kondaktif, konvektif ve radyasyon ısı kayıplarının da hesaba katılması bir bakıma zorunludur.

Curuf ergime noktası rafine edilecek metalin ergime noktasına yakınsa, enerji kullanımında ekonomik faydalar vardır. Curuf ergime noktasının, elektrod ergime noktasının üstünde olması halinde ergimmiş curuf ve ağır ısıya sıcaklık elde edilmesi fazla enerji sarfına sebep olacaktır. Bununla beraber curuf seçimi sadece bu kıstasla yapılmaz. Curuf seçiminde, elektrikli geçirgenlik, özgül ısı, akışkanlık, buhar basıncı, ve özgül ağırlık gibi özelliklerin dikkatle incelenmesi gerekir.

Curuf seçimi için yapılan araştırma da üç uygulamanın mevcut olduğu görülmüştür.

- a. Sadece Flörürlü curuflar
- b. Flörürlü ve tek oksitli curuflar (ikili sistem)
- c. Flörür ve iki oksitli curuflar (üçlü sistem)

a. Flörürlü curuflar;

E.C.R. da flörürlü curufların tek bağlarına veya seçitli kombinasyonlarda kullanılma olasılığı vardır. Flörürlü curuflar düşük ergime noktalarına sahiptirler ayrıca oksijen-den de arı olmaları ve nisbeten alçak elektrikli rezistansları ile ideal özellikler taşırlar.

Bu gurupta sayabileceğimiz, kalsiyum florür, magnezyum flörür ve baryum flörür alçak buhar basınçları ile ağırlı sıcaklığa da dayanabilirler.

Demir çelik teknolojisinde florespar diye bilinen curuf yapıcı madde %95 in üstünde CaF₂ taşıy ayrıca %1-4 SiO₂, bir miktar Ca O, Al₂O₃, Pb, S, ihtiva eder. Bu malzemenin tekrar eritilip öğütülmesi ile, H₂, S, Pb ve SiO₂ nun ortamdaki uzaklaştırılması mümkündür. Bu ergime anında hidrojenin eliminasyonu

$$\text{CaF}_2 + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow 2\text{HF} + \text{CaO} \dots\dots\dots (1)$$
 şeklinde olur. Ortaya çıkan CaO sülfür kontrolünde önemli rol oynar.

Saf CaF_2 un ergime noktası 1418°C dir. Ticari nitelikte ki florspar ise 1380°C civarında ergir. CaO ergime noktasının düşük sıcaklıklara inmesine yardımcı olur.

Florsparın kendi başına E.C.R. da curuf olarak kullanabilinmesi, düşük elektrik rezistansı yönünden ($1400-1500^\circ\text{C}$ da $0.23 \Omega/\text{cm}$) başarısız görünmektedir.

b. Flörürlü ve oksitli curuflar (ikili sistem).



E.C.R. da kullanılma durumunda olan curuf sistemleri arasında $\text{CaF}_2 - \text{CaO}$ ikili sistemi önde gelir. Şekil (3) $\text{CaF}_2 - \text{CaO}$ denge diyagramını göstermektedir. Görüldüğü gibi %10 dan fazla CaO ihtiva eden karışımların ergime noktaları düğmekte $\text{CaF}_2 - \text{CaO}$, %17 CaO de bir ötektik noktasına ulaşmaktadır. Ötektik sıcaklığı 1390°C dir. Bu sistemde %40 kadar ulaşan CaO li curufların E.C.R. da kullanılma durumu vardır.

$\text{CaF}_2 - \text{CaO}$ curuf sistemi CaF_2 e benzer elektriki rezistansa sahiptir. Buna ilaveten operasyon sıcaklıkları düşüktür. Dolayısıyla düşük ertirme hızlarına ve fazla enerji kaybına sebep olurlar. (4)



Bu sistemde CaF_2 ve Al_2O_3 un oluşturdugu ötektik noktası kesinlikle belirtilmemiştir. Kuo ve Yen (5) e göre ötektik %9 Al_2O_3 de meydana gelir ve ötektik sıcaklığı 1290°C dir. Latash (6) ise %27 Al_2O_3 ve 1270°C lik ötektik noktasını gösterir. Şekil (4) bu iki duruma göre $\text{CaF}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$ faz diyagramını vermektedir.

CaF_2 curufuna Al_2O_3 ilavesi curuf karışımının elektrik rezistansını büyük ölçüde artırır. Bu durumun prosesin güç sarfiyatı yönünden faydalı sonuçları vardır. $\text{CaF}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$ curuf sisteminde Al_2O_3 miktarının %40 dan öteye çıktığı karışımların E.C.R. da kullanma imkanı olmadığı görülür.

c. Flörürlü ve iki oksitli curuflar. (üçlü sistem)

E.C.R. da çoğunlukla denenmiş olan curuf sisteminin $\text{CaF}_2 - \text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3$ olduğu görülür. Bu üçlü curuf sisteminin bilinen faz diyagramı (7) (8) şekil (5) de gösterilmiştir.

E.C.R. için kullanılan curuf karışımlarını daha belirli gös-
teren diğer bir diyagram şekil (6) da gösterilmiştir.

Bölgeyi sınırlayan bağ çizgileri %100 CaF_2 , %55 $\text{CaF}_2 +$
%45 CaO , %50 $\text{CaO} + %50 \text{Al}_2\text{O}_3$ ve %60 $\text{CaF}_2 + %40 \text{Al}_2\text{O}_3$ kompozis-
yonlarıdır. Bölge içerisinde sıvı sıcaklığı 1250°C ile en
alçak olan karışım %60 $\text{CaF}_2 + %20 \text{CaO} + %20 \text{Al}_2\text{O}_3$ dir. (6) (9)

Curuf karışımlarını asidik veya bazik olarak ayırmak
gerekirse. Bu bölge içerisinde şöyle bir sınıflandırma yapılır.

1. Asidik curuf; $\frac{\text{CaO}}{\text{Al}_2\text{O}_3} = 1$

2. Asidik curuf; $\text{Al}_2\text{O}_3 > \text{CaO}$

3. Bazik curuf; Serbest CaO , Al_2O_3 yok veya çok az.

Bir nolu bölge %100 CaF_2 den %50 $\text{CaO} + %50 \text{Al}_2\text{O}_3$
noktasına kadar uzanır. Ergime noktası da ayrıca düşük olan
bu karışımın enteresan özelliği %100 CaF_2 den uzaklaşıp
%50 $\text{CaO} + %50 \text{Al}_2\text{O}_3$ ye yaklaştıkça elektrik rezistansının
artmasıdır. Sıvı noktasına ulaşma sıcaklığı CaF_2 için
 $\sim 1400^\circ\text{C}$ dir. %80 CaF_2 %10 Al_2O_3 için bu sıcaklık 1300°C a
düşer. 60 F / 20 / 20 için gösterilen sıcaklık ise 1250°C dir.
Bu karışımların 75 F / 15 / 15 / dahil E.C.R. için ideal ol-
dukları görülür. Alçak viskoziteleri ve 0.50 ohm/cm.civarın-
daki rezistansları ile maksada en uygun karışımlar olarak
karşımıza çıkmaktadırlar. (10)

1.4. Curuf Özellikleri

1.4.1. Elektriksel Özellikler

E.C.R. da curuf bir elektrik devresinin rezistansı,
dolayısıyla ergimeyi sağlayan ısı kaynağıdır. E.C.R. da ısının

meydana gelişi ohm kanunlarına uygun bir rezistans ile ısınma olarak düşünülürse. Geçen akım :

$$I = \frac{V \cdot A_{eff} \cdot x}{L} \dots\dots\dots (2)$$

formülü ile ifade edilir. Burada;

I = akım

V = curuf üzerindeki gerilim

A_{eff} = curuf gölcüğün (rezistör) etkili kesit alanı

x = spesifik elektriki kondaktivite

L = rezistörün boyu (curuf gölcüğün minimum derinliği)

Spesifik elektrik kondaktivitesi ($x = \frac{1}{q}$), q = rezistivite curufların kompozisyonuna ve sıcaklığına bağlı olarak değişir. Lapoev (11) tarafından yapılan çalışmalarda spesifik elektriki kondaktivitenin ergimiş curuf içindeki katyon konsantrasyonuna ve katyonların hareketliliğine bağlı olduğu gösterilmiştir.

Curufa CaO ilavesi toplam Ca katyonlarının mobilite-lerini azaltır. Oksijen ve flörür iyonları yaklaşık olarak aynı iyon çapındadırlar, fakat oksijen anyonları flörür anyonlarının teğdiği elektriki yükün iki katını taşırlar dolayısıyla kalsiyum ve oksijen iyonları, kalsiyum ve flörür iyonlarına nazaran birbirlerine daha kuvvetli olarak bağlıdır. Buna göre sisteme CaO ile oksijen anyonların ilavesi kalsiyum katyonlarının mobilitelerini netice olarak curufun elektriki kondaktivitesini azaltır. CaF₂ e Al₂O₃ ilaveside Ca⁺² iyonların azalıp AL⁺³ iyonlarının çoğalmasına sebep olduğu için aynı yönde tesir eder.

1.4.2. Viskozite.

Ergimiş curufun viskozitesi E.C.R. da oldukça önemli olan parametrelerden bir tanesidir. Elektro manyetik kuvvet dalgalarının etkisiyle ergimiş curuf proses anında devamlı sirkulasyon halindedir. Bu sirkulasyonla birlikte sıvı metalin hareket hızı curuf viskozitesine yakından bağlıdır.

Curuf viskozitesi ergime noktasının üzerinde sıcaklığa ve kompozisyona bağlı olarak değişir. Bilinen Frenkel bağıntısı;

$$\eta (T) = A \exp \left(\frac{B}{kT} \right) \dots\dots\dots (3)$$

Burada ..

η = dinamik viskozite

k = Boltzman sabiti

T = Sıcaklık °K

A, B = Sabitler

Buna göre viskozitenin sıcaklıkla değişimi viskozitenin logaritmasına karşı T olarak çizilen eğrilerle gösterilebilir.

Viskozite ile ilgili çalışmalar daha ziyade aşırı saf-lıkta malzemeler üzerinde yapılmıştır. $\text{CaF}_2 - \text{CaO}$ ve $\text{CaF}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$ sistemlerinde en düşük viskoziteler ötektik kompozisyonlarındadır. $\text{CaF}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$ sistemindeki ötektik noktalarının değişik kabullerine yaklaşmış bir kompozisyon olan %85 $\text{CaF}_2 + \%15 \text{Al}_2\text{O}_3$ en düşük viskoziteye sahiptir.

$\text{CaF}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{CaO}$ sisteminde yaklaşım ise $3 \text{CaOAl}_2\text{O}_3 - \text{CaF}_2$ sisteminin incelenmesiyle olur. Davies ve Knight (12) in çalışmalarından derlenen ve %80 CaF_2 bazına göre, $\text{CaF}_2 - \text{CaO}$, $\text{CaF}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{CaF}_2 - 3\text{CaOAl}_2\text{O}_3$, $\text{CaF}_2 - 12 \text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3$ curuflarının viskozitelerinin sıcaklığa göre değişimleri Şekil (7) de verilmiştir.

1.4.3. Özgül Ağırlık ve Buhar Basıncı.

E.C.R. da ergimiş curuf metal arasındaki özgül ağırlık farklarının önemi büyüktür. Metal damlacıklarının elektrod ucuından kopuşları özgül ağırlık farkları ile doğrudan ilişkilidir. Küresel bir metal damlacığı üzerine etkili olan kuvvet şöylece ifade edilir.

$$F = \frac{4}{3} \pi r^3 g (\rho_{\text{metal}} - \rho_{\text{curuf}}) \dots\dots\dots (4)$$

burada ;

F = damlacık üzerine etki eden kuvvet

r = metal damlacığın yarı çapı

g = yerçekim sabitesi

ρ_{metal} = Metal özgül ağırlığı

ρ_{curuf} = Curuf özgül ağırlığı

Rafinasyon anında ($\rho_{\text{metal}} - \rho_{\text{curuf}}$) farkı büyüdükçe metal damlacığın hacmi da gittikçe küçük olacaktır. Dolayısıyla r $\propto (\rho_{\text{metal}} - \rho_{\text{curuf}})^{-1/3}$ ilişkisi rafinasyon kriterlerinden biri olarak belirir.

Ergimiş curufun sıcaklığa bağlı olarak değişen özgül ağırlığının bilinmesi oldukça önemlidir. Belli bir sıcaklık için

$$\frac{1}{(T^{\circ}\text{C})} = \frac{M_1}{1(T^{\circ}\text{C})} + \frac{M_2}{2(T^{\circ}\text{C})} + \frac{M_3}{3(T^{\circ}\text{C})} + \dots\dots\dots (5)$$

yazılırsa burada;

M_1, M_2, M_3 = Curuf u meydana getiren komponentlerin toplamı curufa göre kısmi ağırlıklarıdır.

Stepanov ve Lopaev (13) ampirik olarak $\text{CaF}_2, \text{CaO}, \text{Al}_2\text{O}_3$ curufu için aşağıdaki formülü verirler.

$$\frac{1}{1400} = 0.389 \text{CaF}_2 + 0.303 \text{CaO} + 0.328 \text{Al}_2\text{O}_3 \dots\dots (6)$$

Aynı çalışmada Al_2O_3 ün CaO den daha pozitif yönden curuf özgül ağırlığını arttırdığı belirtilmiştir. Örneğin %30 CaO in Al_2O_3 ile yer değiştirmesi halinde ergimiş curufun özgül ağırlığı 2.73 g/cm^3 den 2.93 g/cm^3 e yükselir.

E.C.R. da 1000 ile 2500°C arasında değişebilen sıcaklıklar elde edilebildiği göz önüne alınırsa curuf buhar basıncının önemi açıkça belirir. Curuf mutlaka alçak buhar basıncına sahip olmalıdır.

Muan ve Osborn (14) tarafından yapılan çalışmalardan alkali metal oksitleri hariç diğer bütün oksitlerin CaF_2 den düşük buhar basıncına sahip oldukları görülmüştür. Şu halde sıvı curufun buharlaşp kaybolabilen tek elemanı CaF_2 dir.

Curuf içindeki oksitlerin buhar basınçları sıvı curufta gözünmüş oksijen ile yakından ilgilidir. Yüksek buhar basınçlı oksitlerin meydana getirdiği bir curufla yapılan rafinasyon işleminde rafine ingottaki oksijen artırılacaktır.

E.C.R. da 1000 ile 2500°C arasında değisebilen sıcaklıklar elde edilebildiği gözönüne alınırsa curuf buhar basıncının önemi açıkça belirir. Curuf mutlaka alçak buhar basıncına sahip olmalıdır.

Muan ve Osborn (14) tarafından yapılan çalışmalardan alkali metal oksitleri hariç diğer bütün oksitlerin CaF_2 den düşük buhar basıncına sahip oldukları görülür. Şu halde sıvı curufun buharlaşp kaybolabilen tek elemanı CaF_2 dir.

Curuf içindeki oksitlerin buhar basınçları sıvı curufta çözünmüş oksijen ile yakından ilgilidir. Yüksek buhar basınçlı oksitlerin meydana getirdiği bir curufla yapılan rafinasyon işlemiyle rafine ingottaki oksijen arttırılacaktır.

BÖLÜM II

ELEKTRO-CURUF RAFINASYON ÜNİTESİ
(MATERİYAL VE METOD)

E.C.R. deneysel çalışmaları iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Proje de öngörülen pilot-plant ünitesine büyük masraflar gerektiğinden proses parametrelerinin kontrolünde meydana gelebilecek güçlüklerin pilot-plant ünitesi inşa edilmeden giderilmesi için temel proses prensiplerine sadık kalınarak minyatür ölçülerde bir E.C.R. ünitesinin yapılması yoluna gidilmiştir.

2.1. Minyatür Ünite.

Minyatür ünite şekil (8) de görüldüğü gibi ana iskeletli köşebentlerle yapılmış bir güçde, elektrod hareketini gerçekleştiren bir motor redüktör grubu, bir sonsuz dişli ve bu sonsuz dişlide hareket eden bir manşon ile iki düzgün kolon arasına yerleştirilmiş bir elektrod mandrelinden meydana gelmiştir. Mandrele sıkıştırılan elktroda ve soğutucu kalıba güç kablolarının uçları bağlanmıştır. Elektrod hareketi sabit hızla iki yönde çalışabilen motor redüktör grubu ile sağlanır.

Rafinasyonun oluğu ve yeni ingotun şekilleştiği bölüme fırın adı verilmiştir. Fırın iki ana kısımdan meydana gelir.

1. Soğuk alt tabla(Platform)
2. Soğuk kalıp

1. Soğuk kalıbın üzerine yerleştirildiği platformun iki ana fonksiyonu vardır. Platform yeni oluşan rafine ingota bir taban desteği olmakta aynı zamanda elektrik devresinin dönüşünü tamamlamaktadır. Buna göre platform yeni ingotu taşıyabilecek güçte ve aynı zamanda yeterli elektriki iletkenlik ve termal soğutuculuk özelliğine sahip olmalıdır.

Bu maksada uygun olmak üzere bakırdan Şekil (9) de görülen 2.5 cm. derinliğinde iki kısımdan oluşan ve genellikle verimli soğutmayı sağlamak için bir spiral su yolu taşıyan alt platform yapılmıştır.

2. E.C.R. da iyi verim dizaynı ve imalatı dikkatle yapılmış soğuk kalıplarla gerçekleştirir.

Bakır, ısı ve elektrik geçirgenliği ile ilk akla gelen malzeme olabilir. Kalıp dizaynında soğutma, kalıba sarılmış bir su serpantini olan bakır boru veya kalıp yüzeyine etkin bir su ceketini oluşturabilir. Bunlardan değişik olarak su sprayi oldukça etken görülmektedir. Şekil (10) minyatür ünite de denenen soğuk kalıbı göstermektedir. Burada su kalıba üstten verilir, kalıp dış yüzeyine teğet fakat aksi yönde iki taraftan verilen su, kalıp üst haznesinde sirkülasyon yaparak bir spray halinde, kalıp dış yüzeyine etkin bir şekilde dağılır. Altındaki haznede toplanan su dönüş boruları ile boşaltılır.

2.2. Prosesin Başlatılması :

E.C.R. da esas, sıvı halde bulunan yüksek rezistanslı bir curuftan geçen akımın sebep olduğu ısınma ve bu ısının elektrodu ertitmesi olduğuna göre operasyonun başlaması için şu alternatifler düşünülmüştür.

- a. Elektrod ve bakır kalıp devresi sıvı halde bir curufla tamamlanıp, curufun katılaşmasına meydana verilmeyen operasyonun devamı sağlanır.
- b. Rezistivitesi kolayısıyla kolayca ısınıp ertiyebilen bir ön başlangıç malzemesi ile operasyon başlatılır, daha sonra ana curuf malzemesi yavaşça devreye sokulur.
- c. Egzotermik hüviyette bir bağlama karışımı ile operasyona girilebilir.

Denemeler için gerek ergime noktası gerek elektrik rezistansı dolayısıyla %80 CaF₂/ %10 Al₂O₃/ %10 CaO curufu seçilmiştir. %96 saflıktaki CaF₂, Al₂O₃ ve CaO dan yukarıdaki karışım hazırlanmıştır. E.C.R. da kullanılacak curufun mutlak bir ön ergime ile rafine metale zararlı olabilecek H₂O, S den arınmasının prosesin etkinliği yönünden faydalı olacağı düşünülmüştür.

Curufun ergitilmesi için aşağıda açıklanan iki yol uygulanmıştır.

1. Grafit kruzeli bir indiksiyon ocagında yine grafit bir kapakla üstü kapatılarak curuf karışımı ergitilir.

2. Grafit bir kruze içinde oksii-asetilen alevi ile ergitilir.

Daha sonra kırıncılarla parçalanmış curuf 0.25 m/m. elekten geçirilir ve kullanılmaya hazır hale gelir. Hemen kullanılmayan curufların operasyondan önce bir etüvde 400°C a kadar ısıtılması gereklidir. Aksi halde curufa intikal eden su, sıcak metalle reaksiyona girerek



hidrojen yaratır, bu da hidrojen perozitesine veya büyük kesitli ingotlarda hidrojen kırılmasına sebep olur.

Curuf hazırlanmasından sonra operasyonun başlatılması alternatiflerinden (a) denenmiştir. Şekil (10) daki kalıp içerisine ergime noktası 1300°C civarındaki curufun ergitilip dökülmesi oldukça güç olmuştur. Bu sebeple curufun elektrod kalıp tabanına yakın bir noktadan akıtılması düşünülmüştür. Grafitten yapılan bir honi ile kalıp tabanına yakın bir noktadan açılan deliğe Şekil (11), oksii aasetilen alevi ile sıvı haline getirilmiş curufun akıtılması başarıllı olmuştur.

2.3. Minyatür Ünite DeneY Sonuçları :

Minyatür ünite de yirmiye yakın başarılı olmayan denemeler yapılmıştır. Bu denemeler sonunda curufla elektrod tarafından tamamlanan elektrik devresinin çok dikkatli bir şekilde sürekliliğinin korunmasının gerektiği görülmüştür. Başarılı olup prosesin gerçekleştirileceğini işaret eden deneylerin detayları aşağıda verilmiştir.

Deney 1. Bu deneme süresince deney şartları şöyle tesbit edilmiştir.

Operasyon başlayış akımı . . . : 1200 - 1500 Amp.
Operasyon boyunca izlenen akım : 100 - 80 Amp.
VoltaJ : 90 Volt
Elektrod kalınlığı : 8 m/m
Operasyon süresi : 3 dak.
Operasyon sonundaki ingot
ağırlığı : 140 gram.

Bu deneme sonunda elde edilen ingot şekil (12) de görülmektedir. İlk inceleme rafine edilmiş çeliğin yığılmalar halinde katılaştığını ve ingot yanal yüzeyinde çegitli katların meydana geldiğini göstermiştir. Ingotun kalıptan çıkarılması esnasında üst yüzeyde muntazam bir curuf tabakasının varlığı görülmüştür. Bu durumda elektrod geri hareketinde curuf içerisinden kolayca sıyrılmakta ve curufla korunan sıvı metal sakin bir şekilde katılaşmaktadır.

Bu denemeden elde edilen sonuç operasyonun devamlılığının istenilen seviyede olmadığını göstermektedir. Elektrod hareket süratini minyatür ünite de değiştirme olanakları mevcut olmadığı için başka bir alternatifte gidilmiş, elektrod çapını kalınlıktırıp rafinasyonun aynı ölçüdeki kalıpta yapılması için ikinci deneme hazırlanmıştır.

Deney 2. Operasyonun başlatılmasında bu denemede egzotermik malzeme kullanılmıştır. Operasyona başlamadan evvel bir miktar 80 CaF₂ / 10 Al₂O₃ / 10 CaO curuf karışımı soğuk

kalıp tabanına yerleştirilmiştir. Egzotermik malzeme tahminen magnezyum ve alüminyum tozları ile potasyum nitrattan meydana gelmiş ve prese edilmiş haldedir. Katı halde elektrik iletir, tatbik edilen akımla derhal etrafındaki curufu ergitebilecek bir ısı yaratarak aktif hale gelir. Böylece elektrod ucuna ve bakır soğuk kalıba tatbik edilen elektrik devresi tamamlanır. Elektrodun ergimeye başladığı kalıp içerisinde oluşan erikle belli olmaktadır. Bu basamaktan sonra elektrod harekete geçirilir ve rafineasyona devam edilir.

Deneme boyunca deney şartları şöylece tesbit edilmiştir.

Operasyon bağlayış akımı : 1200-1500 Amp.
Operasyon boyunca izlenen akım . . : 180-200 Amp.
Voltaaj : 90 Volt
Elektrod kalınlığı : 12 m/m
Operasyon süresi : 12 dak.
Operasyon sonunda elde edilen
ingot ağırlığı : 280 gram.

Bu deneme sonunda elde edilen rafine ingot Şekil (13) de görülmektedir. Ingotun incelenmesinden görüleceği gibi bu kez yığılma adedinin daha az olduğu ve operasyonun birinci denemeye nazaran daha devamlı olduğu görülmüştür. Ingot tabanı ve yüzeyi düzgün görünümündedir.

2.4. Minyatür Ünite Sonuçlarının Işığında Pilot-Plant Ünitesinin Tamamlanması ve Güç Kaynağı Seçimi :

Yukarıda özetlenen başarılı rafineasyon çalışmalarına ulaşabilmek için pek çok başarılı olmayan denemeler yapılmıştır. Bu gelişim, pilot-Plant ölçülerindeki üniteye direkt geçmeden evvel minyatür bir ünitenin geliştirilmesinde ne kadar isabet olduğunu göstermiştir. Minyatür ünite belirle- nen her türlü problemin çözümlenmesine çalışılmış ve pilot-plant ünitesinin geliştirilmesi bu şekilde sağlanmıştır. Minyatür ünite de belirlenen konstrüksiyon ve operasyon güçlükleri kısaca şöylece özetlenebilir.

1. Elektrod hareketi süratinin dikkatli kontrolu
2. Elektrod hareketinin sarsıntısız ve salınımız ger-
çekleştirilmesi
3. Elektrod hareketinin geçitli hızlarda olabilmemesinin
operasyonun başlangıcı devam ve bitişi anında fay-
dalı olacağı
4. Akım taşıyan ve elektroda bağlanan kablounun elektrod
hareketlerine minimum tesirde olmasının önemi
5. Kalıp soğutulmasının daha verimli olabilme olanak-
larının araştırılması
6. Elektrik bağlantılarının emniyetli bir şekilde
izolasyonunun gerekliliği
7. Operasyon süresince meydana gelen zehirli gazların
operatörlere zarar vermeyecek şekilde ekstraksiyonu.

Pilot-plant E.C.R. ünitesinin genel boyutları
250 x 125 x 100 cm.dir. Elektroda ana kolonlar üzerinde düşey
doğrultuda 150 cm.lik bir hareket kabiliyeti verilmiştir.
Taşıma traversleri 80 mm.lik U profilden yapılmıştır.

Minyatür üniteye görülen güçlükler pilot-plant ünite-
sinde şu şekilde giderilmeğe çalışılmıştır.

1. Elektrod hareketinin gerçekleştirilmesi için doğru
akımla sürati ayarlanabilen bir elektrik motoru ve bu motora
akuple 1/250 oranında devir değişimi yapabilecek bir
dişli kutusu sisteminin dizaynı yapılmış ve imalatı gerçekleşt-
tirilmiştir. Dişli kutusu ana çıkış miline bağlanan yivli halat
tamburu ile 0.1-0.5 ve 0.5-2.5 devir/dakika limitleri içeri-
sinde sürat ayarlanabilmektedir.

2. Elektrod hareketinin değişik hızlarda olabilmesi
için elektro-mekanik sisteme ayarlanabilen güçteki elektrik
ayrı bir konsoldan verilmiştir. Burada bir A-C, D-C redrösürü,
ana güç şalteri, ileri geri kumanda kolları, sürat kontrol
kolları, akım ve volтаж göstergeleri bulunmakta, elektrod
hareketini gerçekleştiren tambur devir sayısı çok hassas bir
gösterge ile tesbit edilmektedir.

3. Elektrod hareketinin sarsıntısız olabilmesi için akım kablosunun direkt olarak elektroda bağlanması yerine taşıma traversleri içinde ilerliyerek travers merkezindeki elektrod sabitleştirici mandrel ile bağlantı kurması pilot-plant ünite de sağlanmıştır.

4. Minyatür ünite de akım taşıyan kalın kesitli kabloların elektrod hareketlerine güçlük verdiği görülmüştür. Pilot-plant ölçülerinde bu problem kablounun toplam kesit alanını çeşitli parçalara bölerek birden fazla fleksibl kablo ile bağlantıların yapılmasıyla giderilmiştir. Ayrıca transformatörden taşıma traverslerine kadar uzanan kablo ağırlıklarının tesirsiz hale getirmek için bir balans ağırlığı ünite iskeletine ilave edilmiştir.

5. Elektrod kesitinin büyümesiyle daha verimli bir soğutma sisteminin kalıp için gerekli olduğu görülmüştür. 12 m/m çaplı elektrodla yapılan operasyonda bir takım soğutma güçlükleri belirmiştir. Bu problem giriş çıkış borularının çaplarını değiştirmek toplama ve platform soğutma haznesini genişletmekle halledilmiştir. Pilot-plant ünitesinde 50 m/m Ø x 200 m/m, 65 m/m Ø x 500 m/m, 100 m/m Ø x 270 m/m, biri su ceketli diğerleri spray soğutmalı silindirik kalıplarla, 70 x 70 m/m kesitli, 300 m/m boyunda, spray soğutmalı köşeli kalıp kullanılmıştır. Çekil (14) pilot-plant ünitesinde kullanılan kalıpları toplu halde göstermektedir.

6. Bütün operasyon boyunca çok emniyetli bir elektrik izolasyonu gerekliliği görülmüş, Bu konu bakır bara bağlantıları dahil dikkatli bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

7. Minyatür ünitedeki çalışmalar da zehirli flörür gazlarının operasyonu yakından takibedenleri fazlasıyla rahatsız ettiği görülmüştür. Gaz miktarları pilot-plant da daha da fazla olacağı için bir ekstraksiyon fanı ile zararlı gazların deney ortamından uzaklaştırılması yoluna gidilmiştir.

Şekil (15) Pilot-plant ünitesinde elektrik gücü primer
kademeli voltaj ayarlaması yapabilen 1.5 W/kg kayıplı, nüve
silisli sağılı, hava soğutmalı 76 k.v.a. toplam kapasiteli
bir transformatörden temin edilmiştir.

Şekil (15) pilot-plant ünitesinin tamamını göstermek-
tedir.

Şekil (15) Pilot-plant ünitesinin tamamını göstermek-
tedir.

Şekil (15) Pilot-plant ünitesinin tamamını göstermek-
tedir.

Şekil (15) Pilot-plant ünitesinin tamamını göstermek-
tedir.

Şekil (15) Pilot-plant ünitesinin tamamını göstermek-
tedir.

BÖLÜM III
DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. Elektrod Hazırlanması :

Refinasyon çalışmalarında SAE 1030 (Ç 1030) normuna yakın yuvarlak hadde mamulleri ile SAE 1137 (Ç 1137) normuna yakın yuvarlak çekilmiş otomat çelikleri elektrod olarak kullanılmıştır. Elektrod kalınlıkları 15-20-25 m/m. olarak değişmektedir.

Elektrodların operasyondan evvel hazırlanması genellikle bir temizlik anlamındadır. E.C.R. de özel bir hazırlamaya fazla gerek yoktur. Kolaylıkla oksitlenebilen elemanların kontrolü gerekli ise elektrod üzerindeki oksit tabakasının temizlenmesi yağ ve benzeri maddelerin karbon tetra klorür veya eterle silinmesi faydalıdır. Bazı hallerde elektrod ucunun ilk bağlayış bölgesinin diğer kısma nazaran çapının küçültülmesinde fayda görülmüşse de bunun her ergitme için gerekli olmadığı anlaşılmıştır.

3.2. Refinasyon Prosedürü .

Bütün refinasyon deneyleri boyunca şimdi sıralamaya çalışılan işlemler yapılmıştır.

Temizlenip doğrultulan elektrod, taşıma traverseleri ortasındaki mandrele sıkıca yerleştirilir. Bir avometre ile elektrede elektrik intikalinin durumu kontrol edilir. Devrenin bir parçası olan soğuk platformunun su sirkülasyonunu kontrol edilerek, platform izole edilmiş bir şekilde zeminde duran sehpaye kışkaçla bağlanır. Soğuk kalıp platform üzerine elektrodu ortalayacak şekilde oturtulup, platform ile tam teması maranges ışkenceleri ve asbest yastıklarla sağlanır.

Soğuk platform üzerine kalıbın orta noktasına gelecek şekilde katı halde elektrik iletkenliği olan egzotermik malzeme yerleştirilir. Elektrod yavaşça indirilerek soğuk kalıp ve egzotermik malzeme arasında tam bir kontak sağlanır.

T Ü R K İ Y E
BİLİMSEL VE TEKNİK
ARAŞTIRMA KURUMU
KÜTÜPHANESİ

Bundan sonra 250 gram ön hazırlanması yapılmış curuf karışımı ilave edilir. Devreye elektriğin verilmesiyle egzotermik malzeme etrafındaki curufu ergimış hale getirebilecek bir reaksiyon yaratır ve sıvı curufle devamlı akım geçişi sağlanır. Rafinasyon başlamış durumdadır, belli bir süratle beslenen elektrod rafine edilmiş olarak soğuk kalıp ölçülerine uygun bir şekilde tekrar katılır. Sıvı curuf gölcüğünün devamlılığını sağlamak için aralıklı olarak curuf ilavesi yapılır. Rafinasyon çalışmalarında bir müddet sonra yurt dışından ithal edilen öneritilmiş ve öğütülmüş (prefused and ground) 80F / 10 / 10 curufu kullanılmıştır.

Deney süresi içinde elektrod besleme hızı, reaksiyon başlangıç amperi, reaksiyon süresince uygulanan gerilim ve çekilen akım kayıt edilir. Rafinasyon sonuna doğru elektrod hareketi yavaşlatılır, takriben bir dakika içinde akımın kesilmesi ile elektrod ters yönde hareket ettirilerek curuf içerisinden çekilir ve soğutma sistemi sirkülasyonu devam ettirilerek rafine edilmiş ingot soğumaya bırakılır. Genellikle onbeş dakikalık bir devamlı soğutmanın ingotu kalıptan kolaylıkla çıkaracak duruma getirdiği görülmüştür.

Kalıptan çıkarılan yeni ingotlar boyuna iki kısma ayrılarak yüzeylerden biri makro inceleme ve sülfür dağılımının tesbiti için taşlanır ve mekanik polisejle hazırlanır. Diğer kısımdan kimyasal analiz ve mekanik muayeneler için parçalar çıkarılır. Ingot yüzeyinden boyuna kesitten üç ayrı noktadan alınan numunelerle kimyasal analiz yapılır.

3.3. Makro Yapı İncelenmesi ve Sülfür Dağılımının Tesbiti :

Demir ve çelik ingotların makro yapılarının incelenmesi için yapılacak yüzey hazırlığı, mikro metallografik muayeneden bir derece farklıdır. Ingot yüzeyi enine ve boyuna kesit olsun önce taşlanarak hazırlanır, bazı hallerde bu işlem dağlama ve kükürt beskesi için kafi olmakla beraber, bu araştırmada taşlanan yüzeyler önce kuru döner band zımparada daha sonra sıra ile 120, 200, 300, 400 nolu su zımparalarıyla parlatılmış ve

yüzey karbon tetra klorür ile yağ v.b. gibi yabancı maddelerden temizlenmiştir. Bu şekilde hazırlanan ingot yüzeylerinin, hava nemi tesirinden korunması için parçalar vakumlu desikatörde muhafaza edilmiştir.

Makro Dağlama :

Genellikle kullanılan makro dağlama solüsyonları nitrik asit, bakır amonyum klorür ile amonyum persülfattır. Bu araçtırmada %8 lik bakır amonyum klorür solüsyonu şu şekilde hazırlandı olarak kullanılmıştır.

120 gr. bakır amonyum klorür 1 lt eude çözülmüş ve solüsyon evvelce açıldığında şekilde hazırlanmış yüzey üzerine bütün yüzeye dağılacak şekilde kısa aralıklarla dökülmüştür. Dağlama devam ederken aynı tipte hazırlanmış fakat bu kez litrede 50 cc H cl ihtiva eden yeni bir solüsyon parça üzerine dökülür. Solüsyon yüzeye tamamen intibak etmemiş bir ince tabaka meydana getirir. Asitli solüsyondan depozite olan bakır ise yüzeye yapışır. Bakırın yüzeyden silinip temizlenmesini takiben ince bir zımpara kağıdı ile yüzeyin dikkatle muamelesiyle makro yapı ortaya çıkarır.

Sülfür Dağılımı :

Ingot kesitindeki sülfür dağılımını fotografik kağıda tesbiti, hem kükürt segregasyonu hem de E.C.R. da katılaşmanın özelliğini belirtmek yönünden faydalıdır.

Sülfür dağılımının fotografik kağıda baskısı için %3 lük bir sülfürik asit solüsyonu hazırlanır. Bromürlü fotografik kağıt bu solüsyon içerisinde ilettilir sonra iletken kağıtların aktif yüzeyleri ingot hazırlanmış yüzüne temas edecek şekilde sarsıntısız ve kaydırmadan konulur ve an as iki dakika bırakılır. Bu esnada H_2SO_4 çelikteki sülfürlü bileşiklerle reaksiyona girerek H_2S ağığa çıkarır. H_2S fotoğraf kağıdındaki gümüş bromürle reaksiyona girerek koyu kahve renginde gümüşlü bileşikler şeklinde sülfür dağılımını belli eder.

BÖLÜM IV

LEKEY SONUÇLARI

4.1. Voltsaj-Amper:

Deneylet boyunca yapılan izlenimler E.C.R. da gerekli için teminindeki kombinasyonlarda verilimin 20 ile 30 volt arasında tutulma ereğini göstermiştir. Yüksek voltlarda curuf ile elektrod arasında ark meydana gelmiştir. Düşük ekim çeken elektrodlarda erime hızının daha düşük olduğu dolayısıyla katılmasan yeni ingot yüzey yapısında hataya sebeb olduğu görülmüştür. Tablo (1) çeşitli elektrod kalınlıklarında toplam tatbik edilen gücün voltaaj ve amperlerini, Şekil (16) ise operasyon emperinin elektrod kalınlığına göre değişimini göstermektedir.

4.2. Elektrod Beslenme ve Rafinasyon Hızı :

E.C.R. da yüzey kalitesi düzgün, porozitesi çok az ve iç yapısı daima özellikleri ile düzenlenmiş bir ingot elde edilmesi elektrod besleme ve bununla ilgili rafinasyon hızına bağlıdır. Elektrod besleme hızı elektrod sıvı curuf yüzeyleri arası şekli ile sıvı metal ölçüğünün profilini belirler. Şekil (17) 20^ø m/m elektrod ve 3.14 cm/dakika lık besleme süratinin sonucu olan yağlımlarla dolu yüzey yapısını göstermektedir. Şekil (18), 15-18 cm/dakika lık bir elektrod besleme süratinin sebeb olduğu anormal durumu göstermektedir. Burada elektrod curufu geçerek sıvı metal ölçüğünün içine girmiş ve denemenin yarıda kalmasına sebeb olmuştur. Şekil (19) 20^ø m/m elektrod için optimum netice elde edilen besleme süratinin 10.5 cm/dak, 25^ø m/m.lik için 6 cm/dakika olduğu denemelerin sonuçlarını göstermektedir. Ayrıca silindirik soğuk kalıpların, dikdörtgen kalıplara nazaran daha olumlu yüzey yapısına sebeb olan uniform soğutma sağladıkları Şekil (19) ile Şekil (20) nin karşılaştırılmasından çıkarılabilir.

4.3. Dezoksiasyon ve Sıcak Tepeleme ;

E.C.R. da rafineasyon erufunun kompozisyonu refine ingottaki oksijen ve onunla ilgili problemler yönünden oldukça önemlidir. Karbon çeliklerinde katılaşma anında görülen kaynamayı incelemek için, karbon ile oksijen reaksiyonundan bağlayabiliriz.



(k) = katı
(g) = gaz ; 2000°K de $G^0 = -573 \ 429 \frac{\text{joule}}{\text{gm.mol.O}_2}$

buna göre karbon, oluşum serbest enerjisi kendi değerinden küçük negatiflikteki bütün oksitleri indirgeyebilir. Sıvı çelik içerisindeki çözünmüş oksijen çelik karbonu ile aşağıdaki şekilde reaksiyona girer.

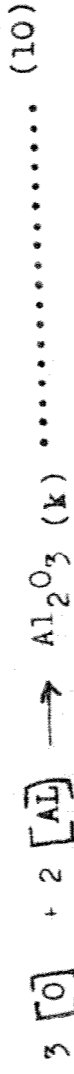


Reaksiyon soğuma ve katılaşma ile sağa doğru gelişir. CO gazı kaynıyarak sıvı metal yüzeyine yaklaşıpma gelişir ve bu arada tamamlanan katılaşma ile gaz boşluklarını meydana getirerek inçot içerisinde kalır.

Bu çalışmada rafineasyon operasyonu esasında kaynama reaksiyonunun oluşu inçot kesitlerinin incelenmesinden ortaya çıkar. Sekil (21) gaz boşluklarının belirlendiği iki inçotu göstermektedir. CO gazının inçot tpesine yakın bir yerde toplanması için inçot tepesinin katılaşma süresi boyunca sıcak tutulması zorunludur. Yavaşça sıvı çölcükten katıya uzanan böyle bir geçiş CO gazının yukarı doğru yükselmesine yardımcı olacaktır. Bu işlem klasik çelik yapımında inçot kalıp tepelerine yerleştirilen egzotermik bir malzeme yardımı ile yapılır ve sıcak tepeleme olarak adlandırılır. E.C.R. da buna yakın bir uygulama operasyonunun bitimine yakın elektrod

besleme süratini minimuma hatta tamamen durdurarak, akım geçi-
şini bir an daha devam ettirmek ve sıvı gölcüğün sürekliliğini
bir zaman için uzatmak suretiyle gerçekleştirilmiştir. Bunun
sonunda ingot tepesine yakın yerde büyük bir gaz boşluğundan
başka diğer gaz boşluklarının varlığı önlenmiştir. Şekil (22)
bu tip bir ingot kesitini göstermektedir.

Dezoksiasyon gaz boşluklarının tümüyle yok edilmesi
için kullanılan klasik usuldur. E.C.R. da bu maksat için alu-
minyum en uygun dezoksiasyon malzemesi olarak görülmektedir.



Şekil (23), 0.025 % alüminyum levyesi ile tamamen
dezoksiasyon edilmiş bir ingot kesitini göstermektedir. Görüleceği
gibi gaz boşlukları tümüyle ortadan kaldırılmıştır.

4.4. Sülfür Dağılımı ;

E.C.R. da operasyonun sülfür arınmasında ne derece et-
kili oldu u daha öncede açıkladığı gibi ingotların boyuna
kesitlerinin kükürt baskıları yapılarak araştırılmıştır. Şekil
(24) tipik sülfür baskılarını göstermektedir. Crldğ gibi
sülfür segregasyon hudutları aşıkça belirlenmiştir. Sülfür
dağılımının kesif oldu u son hazne sülfürlü enklizyonların sıvı
bölgeye yükselerek toplandığını tanımlar.

Ingot ve elektrod sülfür analiz neticeleri Tablo II de
verilmiştir. %80 CaF₂, %10 Al₂O₃, %10 CaO curufu ile yapılan
bütün rafinasyon işlemlerinde ortalama olarak rafine edilmiş
ingotların 1/3 oranında sülfürden arındığı görülür.

4.5. Rafine Ingotlarda İğ Yapı ve Mekanik Özellikler ;

Konvensiyonel çelik yapımı da dökme demir ingot kalıp-
ları içine dökülen sıvı çelik, kalıp yanal yüzeyleri ile
tabandan kaybolan ısı ile önce ingot yüzeyine bitişik ince

bir katı gömlek meydana getirir. Genellikle çok ince danelerden oluşan bu gömlek bölgesinden sonra bir çam ağacının körpe ucunu andıran görünümdeki dendritlerin hakim olduğu bölge ingot ortalarına kadar uzanır. Donmanın orta bir zamanında ingot makro yapısı şematik olarak çekil (25) örünümdedir. Dendritlerin arasında kalen sıvı-katı karışımı zamanla katıya dönüşür. Uzamaları son bulan dendritlerden boşta kalan bölge dendrit karakterlerine sahip egeksenli daneler ile doludur.

E.C.R. da sarfolunan elektrod ve sıvı curuf devamlı bir ısı kaynağı olduğu için etken soğuma yönü ingot dış yüzeyinden elektrod curuf bölgesine uzanarak ingot yüzeyine eğik bir doğrultuda olmaktadır. Çekil (26) da verilen, rafinasyon sonunda elde edilen iki ayrı in. otun makro yapı görünümleri, katılaşmanın in ot yanal yüzüne eğik olarak geliştiğini açıkça göstermektedir.

E.C.R. nin malzeme mekanik özelliklerine olan olumlu etkilerini kanıtlamak için rafine inrotlar elektrodların uğradığı haddede prosedüründen geçirildikten sonra (1200°C sıcak haddeleme, kireçli %25 H₂SO₄ solusyonunda dekapajdan sonra %9 luk soğuk çekme ile 20 m/m Ø ye indirme) çekme deneyine tutulmuş ve elektrod malzemesi ile rafine malzemenin çekme mukavemetleri Tablo IV da verilmiştir. Ayrıca rafine ingotlardan enine ve boyuna alınan V. çentikli charpy çarpı numuneleri deney sonuçları da Tablo V da verilmiştir.

DÖLÜM V

TARTIŞMA

5.1. Proses Parametreleri ;

E.C.R. da rafineasyon hızının çabuk bir şekilde düzenli duruma ulaşması ve o noktada rafineasyon boyunca kalmasının optimal inot özellikleri bakımından önemi büyüktür. İngot yüzey kalitesi, curuf ve kalıp yüzeyinde ulaşılan ısısal denge ile belirlenmektedir. Isısal denge genellikle kalıp yüzeyindeki ince curuf tabakasının altında belirli bir kalınlıkta sıvı metalin tüm ingot yanal yüzeyinde bulunmasını sağlayacak şekilde geliştirilir. Inot katılaşması bu sıvı gömleğin sayesinde düzgün bir yüzey kalitesi ile sonuçlanır. Şüphesiz bu şart aşırı ısı alabilen bir curuf seçimi ile yerine getirilir. Seçilen 80F / 10 / 10 curufu bu şartı karşılamaktadır. Isısal dengeinin yaratılmasında rafineasyon bölgesi diyebileceğimiz elektrod ile temasta bulunan sıvı curuf tabakası ve bunun altındaki sıvı metal gölcüğünün üniform ısı dağılımına sahip olması büyük önem taşımaktadır. D-C. kullanılarak yapılan bir E.C.R. da, rafineasyon bölgesinde seçilen polariteye göre sıcak noktalar meydana gelebilir. Elektrodun pozitif veya ne atif olabileceği durumlarda bu sıcak noktalar yöre değiştirecektir. Pozitif bir elektrod halinde elektrod ısı yönünden üniformiteyi bozacak şekilde ısınabilir. Halbuki A-C, E.C.R. da polarite 1/50 saniyelik bir zaman içerisinde yön değiştirmektedir, dolayısıyla rafineasyon bölgesinde üniform ısı dağılımı kolayca sağlanacaktır.

Rafineasyon hızı, ister D-C ister A-C olsun elektrod civarındaki sıcaklıkla yakından ilişkilidir. Bu sıcaklık ise sistem konvektif, kondaktif ve radiatif ısı kayıplarını, sisteme tatbik edilen elektriksel gücü içeren bir dinamik ısı dengesi ile curuf ve metal arasında oluşan hidrodinamik bir ısı alışverişi ile kontrol edilir.

E.C.R. Ünitesinde ısı dağılımını şu şekilde irdeleyebiliriz.

Q_I = Sistemin toplam ısı ihtiyacı

Q_{II} = Sistemin toplam ısı kayıpları

$Q_I = Q_{IA} + Q_{IB}$; Q_{IA} = Elektrodu eritebilmek için gerekli ısı, Q_{IB} = Elektrodden kopan metal damlacığı aşırı ısıtmak için gerekli ısı.

$$Q_{II} = Q_{IIA} + Q_{IIB} + Q_{IIC} + Q_{IID} + Q_{IIE} + Q_{IIF} + Q_{IIG} \dots (11)$$

Q_{IIA} = curuf bölgesinden soğutucu suya transfer olan ısı

Q_{IIB} = ingot bölgesinden soğutucu suya transfer olan ısı

Q_{IIC} = rafine ingotte toplanan ısı

Q_{IID} = Soğuk platforma transfer olan ısı

Q_{IIE} = curuf yüzeyinden radyasyon ile kaybolan ısı

Q_{IIF} = curuf yüzeyinden radyasyon ile kalıp duvarına kaybedilen ısı

Q_{IIG} = curuf yüzeyinden radyasyonla elektroda transfer edilen ısı

E.C.R. da ısı yaratımının, kullanılan yüksek akım ve tatbik edilen gerilimle elde edilen sıcaklıklara bakılarak sadece basit bir ohmik rezistansla gerçekleştirilemeyeceği ileri sürülebilir. O halde toplam ısı yaratımı

- 1 - Ingot-elektrod-curuf yüzeylerinde meydana gelen Faraday prosesi
- 2 - Curufun iyonik rezistansı
- 3 - Curufun elektronik ohmik componentlerinden oluşmaktadır. Toplam net etki sistemin joule ısısal durumunu meydana getirir.

E.C.R. da sisteme tatbik edilen toplam rüçün çeşitli kombinasyonlarda olabilmesi prosesin elektriksel verimliliğinin

bu kombinasyon de işkenlerinin dikketle ayarlanmasına bağlı olduğunu gösterir. Yaklaşık olarak curuf yüzeyine uygulanan toplam KW gücü ile soğuk kalıp çapı arasında bir ilişki kurmak mümkündür. Fakat güç parametresi olan volтаж ve emperin etkenliklerinin ayrı ayrı incelenmesi daha önemlidir. Akım değişikliği bu parametrelerin en mühimidir. Akımın yükseltilmesi rafinesyon hızını artırır. Bu artış birim zamanda elektrod ucunda beliren sıvı metal damlacık sayısının artmasıyla olur, hızın daha yüksek olduğu hallerde damlacıklar artık elektrod ucu ile sıvı metal gölcüğü arasında devamlı olan sıvı metal akıntısı şeklini alacaklardır. Bu durumda rafinesyon etkenliği kaybolacaktır. Ayrıca artmış olan ergime hızı sıvı metal gölcüğünün derinliğini arttıracaktır. Derin sıvı metal gölcüğünün rafine ingot makro yapısında olumsuz etkileri olabilir. Ingot katılaşması konvansiyonel katılaşmaya yakın şekilde gelişebilecektir. Bununla beraber yüksek akımla yapılan rafinesyon çalışmalarında rafine ingot dane büyüklüğü alçak akıma nazaran oldukça küçüktür. Bu avantajı hariç yüksek akım genellikle olumsuz neticeler yaratacaktır.

Voltajin önemli fonksiyonunun curufun sıcaklığını arttırmak ve curuf içerisinde olacak rafinesyon reaksiyonlarını kuvvetlendirmek olduğu görülmüştür. Yüksek voltajlarda örülen ark olayı ise detaylı irdelenmeyi gerektirecek niteliktedir. Eğer ark olayını bir gaz veya plazma fazında elektronların transportu olarak tariflersek. E.C.R. da muhtemel ark olayı aşağıdaki durumlarda görülebilir.

- a) Elektrod curuf yüzeyinden dışarı çıkarsa
- b) Elektrod ucunda gaz yaratan bir reaksiyon olursa
- c) Curufta kaynama olursa

E.C.R. da akım bir iyonik sistem olan sıvı curuf içerisinde gerçekleşmektedir. Bu durumda elektrod ve ingot yüzeylerinde bir elektron-iyon reaksiyonu olur, bu yüzeyler arası iyon değişim reaksiyonu bölrelelel kaynaklara ve plazma oluşumuna

$U = I \cdot R$
 $P = U \cdot I$

$Q = A \cdot I \cdot t$
 $Q = I \cdot t \cdot A$

$A = \frac{Q}{I \cdot t}$
 $I = \frac{Q}{A \cdot t}$
 $t = \frac{Q}{I \cdot A}$
 $A = \frac{Q}{I \cdot t}$
 $I = \frac{Q}{A \cdot t}$
 $t = \frac{Q}{I \cdot A}$

$U = I \cdot R$
 $P = U \cdot I$
 $Q = A \cdot I \cdot t$

$U = I \cdot R$
 $P = U \cdot I$
 $Q = A \cdot I \cdot t$

$U = I \cdot R$
 $P = U \cdot I$
 $Q = A \cdot I \cdot t$

sebeb olur. Böylece ark bağlar. Ayrıca elektrolitik reaksiyonlar elektrod ucunda aşağıdaki şekilde raz yaratılabilir.



Ark formasyonu ile çekilen akımda değişiklikler görülür. Bunu önlemek için elektrod besleme hızında yapılan değişiklikler operasyon parametrelerini topluca değiştirir, böylece sistem topluca düzensiz bir duruma itilir. A-C kullanılan bir E.C.R. da anodik saykıl ile bağlatılan ark olayı katodik saykıl ile bitirilebilir. Elektrodun erimiş curuf yüzeyinin üzerine çıkması ile meydana gelen farklı ergimelerde rafinasyon hızı düzensiz bir durumda seyrettiği için rafine ingot birbiri üstüne yığılmış tabakalardan teşekkül etmiştir (Şekil 13). Ayrıca ark sonucu meydana gelen dalgalar geçitli oksit enklizyonlarının sıvı metal gölcüğü içinde kalmasına ve neticede katılaşmış ingota transferine sebep olmuştur.

Akım ve voltajla birlikte, elektrod besleme hızı, deha doğru bir deyimle elektrodun curufa penetrasyonun sıvı metal gölcüğünün şeklini belirlediğini görmüştür. Belirli voltajlarda elektrod yedirme süratini ayarlayarak değiştirilen akımlarla belirlenen sıvı metal gölcüğü ve yine sabit akımda değişen voltajlara göre belirlenen profil görünümleri Şekil (27) de toplu halde gösterilmiştir. Sıvı metal gölcüğünün şekli sıg, normal, derin olarak üç ayrı durumda belirlenmiştir. Deney sonuçlarında da izlenen bu duruma göre elektrod tarafından çekilen akım, elektrod uç noktası ile sıvı metal gölcüğünün tepe noktası arasındaki mesafe ile yakından ilgilidir. Tarif edilen bu mesafenin uzaması ile çekilen akım azalacaktır. Normale dönüş için elektrod yedirme süratini arttırmak gerekecektir.

Proses parametrelerinin şimdiye kadar anlatılan değişimlerinin katılmaşan rafine ingot yapısına büyük ölçüde etkili olacakları açıktır. Bu çalışmada özellikle akım ve voltaj kom-binasyonlarının sıvı metal ölçüğünün boyutlarında etkili olduğu görülmüştür. Makro yapıda konvansiyonel ingot katılmaşanına yakın durumdaki yönlü katılmaşmaya kadar görülen gelişim-ler sıvı metal ölçüğünün yarattığı ısı transfer değişiklik-lerinin neticesi olarak izah edilebilir.

Elektrod kesit alanı ile ingot kesit alanları arasında-
daki farklardan dolayı bu iki yüzey arasında geçen akım bir
basınç farkına sebep olabilir. Akım taşıyan bir sıvı olan
erimiş curuf ile elektrodun birlikte bulunduğu bölgede yara-
tılan hidrostatik basınç Northup (15) ve Mecker (16) in yak-
laşmalarından faydalanılarak aşağıdaki şekilde ifade edilebi-
lir.

$$P \approx I^2 / A \dots\dots\dots (14)$$

burada

P = hidrostatik basınç

I = akım

A = Elektrod kesit alanı

Kesit alanları farklı olan elektrod ile ingot arasında geçen elektrik akımının yarattığı basınç farkı ise...

$$\Delta P = KI^2 \left(\frac{1}{A_1} - \frac{1}{A_2} \right) \dots\dots\dots (15)$$

olarak yazılabilir. Görüldüğü gibi $\frac{\text{Elektrod kesit alanı}}{\text{Ingot kesit alanı}}$

Önemli bir parametre olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu para-
metre yukarıda açıklanan basınç farklarının yaratılması,
dolayısıyla curufta meydana gelecek sıvı hareketleri ile tüm
rafineasyona etkili olabilir. Basınç farkını formüle eden
ilişkiden faydalanarak $\frac{\text{Elektrod kesit alanı}}{\text{Ingot kesit alanı}}$

olarak belirttiği ΔP nin relatif akım değerlerine göre değişimini gösteren bir eğriler sistemi Şekil (28) de görüldüğü gibi çizilebilir.

Elektrod kesit alanı İngot kesit alanı küçük olduğu durumlarda düşey

bir curuf sütununun elektrod ucundan itibaren aşağıya doğru akışı curuf içerisinde sıvı sirkülasyonunu başlatır. Bu sirkülasyon sıvı curufun soğuk kalıp yüzeyine yakın bir yöreden yukarı yönde gelişen hareketi ile tamamlanır. Deneyssel çalışmalarda ergimiş curuf yüzeyine koyu renkli camla bakılarak bu hareketin varlığı saptanmıştır. Curuf hareketine paralel olarak sıvı metal gölcüğünde de bu tip bir sıvı hareketinin varlığı çok olağandır. Şekil (29) curuf ve sıvı metal gölcüğündeki muhtemel sıvı hareketlerini canlandırmaktadır.

Elektrod ucunda meydana gelen sıvı metal damlacıklar periyodik olarak elektroddan kopar ve curuf içinde aşağıya doğru hareket ederler. Damlalar elektroddan kopmadan kısa bir zaman önce aşırı sıcaklık kazanarak ergime noktasının çok üstünde bir sıcaklığa ulaşacaklardır. Kopan damlalar sıvı metal gölcüğüne ulaşacak momentuma sahiptirler. Sıvı metal gölcüğüne ulaşan damla bu gölcükte hem sıvı hareketlerine hem de ısı dağılımına sebep olacaktır. Damlanın curuf içinde ve metal gölcüğünde yarattığı sıvı hareketlerini mukayese edersek şunu görürüz. Yüzey gerilim ve viskozite etkilerinin en fazla olduğu zaman damlanın elektroddan ayrılma anıdır. Bu durumda yüzey enerjilerinin doğurduğu karıştırma hareketi, damlanın curuf içinde aşağıya doğru inişi anında yarattığı sıvı hareketinden çok daha etkili olacaktır.

Elektrod ucu akım konsantrasyonunun en fazla olduğu noktadır. Dolayısıyla ΔP basıncı elektrod uç alanının damlacık formasyonu ile küçülen alanına bağlı olarak artacaktır. Northrup (15) in incelemesinden faydalanılarak curuf hızının

ΔP ye bağlı olacağı söylenebilir.

Elektrodun curuf yüzeyine kadar gelişmesi ile curuf yüzey sıcaklığında bir artış meydana gelecektir. Bununla beraber sıvı hareketleri bütün curuf kütlesinden ziyade soğuk kalıba yakın bölgelerde olacaktır. Elektrodun curufuyla noktaya temas haline gelecek şekilde yukarı gelişmesi halinde meydana gelecek ark olayı ile çok değişik sıvı hareketleri oluşabilir.

5.2. Rafinasyon;

Elektro-curuf prosesinde rafinasyon metal ile curuf arasında belli bağılı üç halde oluşan reaksiyonlar sonunda gerçekleşebilir.

- 1 - Elektrod ucunda sıvı damlacıkların meydana geliş süresince
- 2 - Elektrod ucundan kopan damlaların curuf içinde aşığıye doğru hareketi süresince
- 3 - Sıvı metal gölcüğünde

Elektrodun metalik olması maddelerden arınması bu üç yörede meydana gelen kimyasal reaksiyonlarla birlikte fiziksel hadiselerin toplu etkisiyle gerçekleşir.

Curuf ile ergimiş metal arasındaki özgül ağırlık farkları rafinasyona sebep reaksiyonlara olan dolaylı etkileri ile oldukça önemlidir. Elektrod ucunda belirlenen sıvı damlacığın kopmasına sebep olan gerçekimsel kuvvet sıvı curuf ile ergimiş metal arasındaki özgül ağırlık farkları ile orantılı olacaktır.

$$F \approx (f_{\text{metal}} - f_{\text{curuf}}) \dots\dots\dots (14)$$

$$(f_{\text{metal}} - f_{\text{curuf}}) = \Delta f$$

denge durumunda (damlacığın curuf içinde asılı kalması)

$$F = 4/3 \pi r^3 \Delta f g = 2 \pi R \gamma \cos \theta \dots\dots\dots (15)$$

burada

R = elektrodun yarıçapı
e = Damlacığın elektrodla temas halinde bulunduğu noktada, damlacık yüzey ne çizilen tanjant ile dikey arasında kalan açı
 χ = yüzeyler arası gerilim (sıvı curuf / sıvı metal)

Kolayca görüleceği gibi kopma anında $\theta = 0$ dir.

Böylece
$$r^3 = \frac{3\chi R}{2g\Delta\rho} \dots\dots\dots (16)$$

ifadesini yazabiliriz. Başka bir deyişle,

$$r \propto (f_{\text{metal}} - f_{\text{curuf}})^{-1/3}$$

Belirlenen münasebet özgül ağırlık farklarının ortması ile damlacık hacminin küçüleceğini göstermektedir.

Metal damlacığın curuf içerisinde kalış zamanı curuf ile damlacık arasında meydana gelecek kimyasal reaksiyonların tamamlanması yönünden önemlidir. Toplam kalış zamanı ise damlacık terminal hızı ile ililidir. Terminal hızı ise özgül ağırlık farkları ve viskozite terimleriyle aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$v = \frac{2gr^2}{9\eta} (f_{\text{metal}} - f_{\text{curuf}}) \dots\dots\dots (17)$$

burada

v = terminal hızı
g = yerçekim sabiti
r = metal damlacığın yarıçapı
 ρ = özgül ağırlık
 η = curuf dinamik viskozitesi

T Ü R K İ Y E
BİLİMSEL ve TEKNİK
ARAŞTIRMA MERKEZİ
KÜTÜPHANESİ

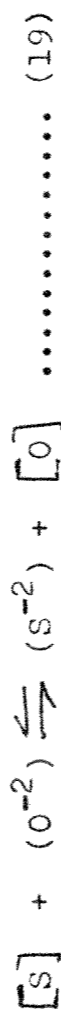
$(f_{\text{metal}} - f_{\text{curuf}})$ farkı küçüldükçe terminal hızları düşük olan damlacıklar uzun zaman curuf içerisinde kalabileceklerdir.

Bu durumda curuf metal reaksiyonları daha etkili olacaktır. Curuf metal reaksiyonları damlacık kalış zamanı zamanıyla ilişkili olduğu kadar, curu fla temasta bulunan sıvı metalin yüzey alanıyla ilgilidir. Yüzey gerilimi ile damlacık ağırlığı arasındaki bağıntı yazılırken görülmüştür ki, Δf farkları büyüdükçe damlacık yarı çapları küçülecektir ve metal curuf yüzey alanı büyüyecektir. Terminal hız yönünden olay tartışılırsa, sabit bir viskozite için damlacığın curuf içinde kalış zamanı küçülecektir. Bu iki zıt gelişim için ideal çözüm yolu büyük Δf farkları ile viskozitesi fazla bir curuf seçimi olarak karşımıza çıkmaktadır. Böylece elektrodun kopan damlacıklarının hem küçük olması, (fazla yüzey alanı, fazla kimyasal reaksiyon) hemde kalış zamanının uzun tutulması mümkün olacaktır.

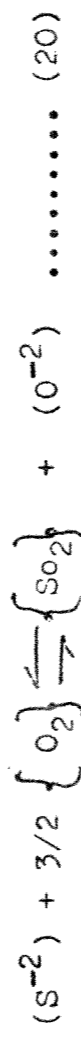
Öte yandan process parametreleri anlatılırken bahsettiğimiz gibi curuf viskozitesi sıvı hareketlerine etkili olacaktır. Düşük viskoziteler kuvvetli sıvı hareketlerinin oluşmasına ve curuf/gaz yüzeyinde meydana gelecek reaksiyonlara müsbet yönde etkili olurlar. Bu reaksiyonlardan en önemlisi curuf da mevcut sülfürün oksitlenmesidir.



Bu noktayı sülfürden arınma olayının incelenmesine bir bağlantı olarak alabiliriz. Proses devamınca sülfürden arınmayı iki reaksiyon kontrol edecektir. Bunlardan biri curuf/metal arasında olan



ile curuf/gaz arasında olan



reaksiyonlarıdır.

Burada

[] metal fazını
 () curuf fazını
 { } gaz fazını

göstermektedir.

Reaksiyon (19) için ;

$$K = \frac{a(S^{-2}) \cdot a[O]}{a[S] \cdot a(O^{-2})}$$

veya ;

$$\frac{a(S^{-2})}{a S} = K \frac{a(O^{-2})}{a O} \dots\dots\dots (21)$$

Yazabiliriz. Henry kanununun tatbik edilebileceği seyreltik solusyonlar için (21) eşitliği aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\frac{\% (S^{-2})}{\% S} = K^1 \frac{N(O^{-2})}{N O}$$

Burada ;

$\% (S^{-2})$ = curuf içerisindeki % ağırlık sülfür
 $\% [S]$ = metal içerisindeki % ağırlık sülfür

Bu iki değer in oranı curuf ile inçot arasındaki sülfür takasını gösterecektir. Rafinasyonun başarısını ölçü olarak alabileceğimiz parametrelerden biri de budur.

$$\frac{\% (S^{-2})}{\% [S]} = \text{Taksim katsayısı} \dots\dots\dots (22)$$

Çalışmada elde edilen curuf ve ingotlar üzerinde yapılan sülfür analizleri sonunda takım katseyasının 2-3 oranında değiştiği görülmüştür (Tablo III). Bu durum curuf/metal reaksiyonunun sülfür arınmasında başarılı olduğunu gösterir.

Reaksiyon (19) ve onu takiben çıkarığımız bağıntıların incelenmesinden, yüksek bir sülfür arınması için curufun baskınlığının yüksek ve metaldeki oksijenin düşük olmasının önemi ortaya çıkacaktır. Metaldeki oksijen miktarının küçük olması için oksijen potansiyeli alçak curuflar gereklidir. Düşük oksijen potansiyelli curuflar ise curuf içinde a) olugum serbest enerjileri düşük negatif değerlerde ve b) bir çegitten fazla oksit bileşiği olan oksitlerin minimum miktarda bulunmaları ile mümkündür. Eğer curufta bu tip bir oksit olan demir oksit varsa aşağıdaki reaksiyonlar sonunda gaz fazından metal fazına oksijen transferine sebep olur.



Görüldüğü gibi başarılı bir kükürt arınması için curuf içinde demir oksit minimum elmalıdır.

Tekdim edilen çalışmada ingot oksijen değerlerin elektrede nazaran yükselmiştir. Rafinasyon anında curuf sıcaklığı 2000°C e kadar yükseltilmektedir. Elektrodun curufa girdiği nokte dan yukarıya doğru bir kısmı keylelilikle oksitlenerek tufalleşebilir. Bu yörede olugun tufaller curufa girerek curuf demir oksit miktarını arttırmaları mümkündür. Aslında atmosfere ağık yapılan rafinasyon çalışmalarda curuf/gaz reaksiyonlarının sülfür arınmasına müsbet yönde etkileri elmalıdır. Medever (17) argon örtü altında yaptığı çalışmalarda, sülfür arınmasının azaldığını göstermiştir. Bu bulguyu kanıtlamak için (18) reaksiyonunu tekrar incelememiz

gerekir. Atmosfer egik curuf yuzeyinde proses devamınca sürecek reaksiyon



bu reaksiyon için

$$K = \frac{P_{SO_2} \cdot a(O^{-2})}{P_{O_2}^{3/2} \cdot a(S^{-2})} \dots\dots\dots (27)$$

buredan

$$\frac{P_{\{SO_2\}}}{a(S^{-2})} = K \frac{P_{O_2}^{3/2}}{a(O^{-2})}$$

Henry kanununu tatbik edebileceğimizi kabul edersek.

$$\frac{\% S}{\% (S)} = \text{Sabit} \frac{P_{O_2}^{3/2}}{N(O^{-2})} \dots\dots\dots (28)$$

bureda

$$\% \{S\} = \text{gaz fazında ağırlık \% S}$$

$$\% (S) = \text{curuf fazında ağırlık \% S}$$

$$P_{\{O_2\}} = \text{gaz fazındaki kiemi oksijen basıncı}$$

$$N(O^{-2}) = \text{sıvı curuf içindeki } O^{-2} \text{ iyonlarının mol oranı}$$

Sonuç olarak curuf sülfür kaybının rafinasyon atmosferindeki oksijen kısmi basıncına bağlı olduğunu görürüz. Kosin (18) Medovar (17) den sonra yaptığı deneysel çalışmalarında bu praleilde sonuclar almıştır. Takdim edilen çalışmada ingot sülfür tayini için ingot düzey kesiti üzerinde alınan beş numunede ingot tepesine yaklaştıkça sülfür miktarının

erttiği görülmüştür. Yine ingot kükürt baskılarına bakılınca Şekil (24) ingot tepesine yaklaştıkça kükürt yoğunluğunun artışı aşıkça görüldü. Deneyle devamınca curuf/gaz reaksiyonunu kesinlikle kanıtlayacak, deneyin çesitli enlerinde sıvı curuftan sülfür tayini için numune almak mümkün olmamıştır. Curuf sülfür analizi prosesin sonunda katı curuf üzerinde yapılmıştır. Bununla beraber çalışmamızda curuf/gaz reaksiyonunun sülfürden arınmada gereği kadar etkili olmadığını söyleyebiliriz. Soğuk kalıp elektrod ve sıvı curufun çevrelediği hacimde yeteri kadar gaz türbülansının eksikliği ve sıvı curufun viskozite etkisini bir izah şekli olarak ileri sürmek belkide olumlu olacaktır.

Richardson (19) ve Davies (20) ayrı ayrı çalışmalarda, CaF₂ bazlı CaF₂-CaO curuflar içerisinde CaS in çözünürlüğünü curufları çesitli (P_{S₂}/P_{O₂})^{1/2} gaz karışımlarından dengeleyerek incelediler. Richardson sonuç olarak, bağlantı curufunun sülfür kapasitesini

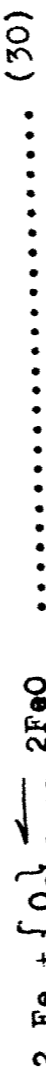
$$C_s = (\% S) \left(\frac{P_{O_2}}{P_{S_2}} \right)^{1/2} \dots\dots\dots (29)$$

olarak verir.

Bu formülasyonun önemi ($\frac{P_{O_2}}{P_{S_2}}$)^{1/2} ifadesinin curuf içerisindeki

FeO nun aktivitesi ile olan ilgisini açıklayarak gösterebiliriz.

Termodinamiksel olarak



$$\log K_{(30)} = \frac{-25650}{T} - 5.585$$

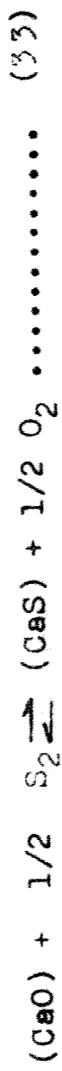
ve

$$\{S_2\} \rightleftharpoons 2 [S] \dots\dots\dots (31)$$
$$\log K_{(31)} = \frac{-19690}{T} - 2.29$$

buradan

$$\left(\frac{P_{O_2}}{P_{S_2}} \right)^{1/2} = \frac{K^x a_{FeO}}{\% [S]} \dots\dots\dots (32)$$

K^x sıcaklığa bağlı olarak değişecektir. 1600°C de 0.0292, 1700°C de 0.0414 ve 1800°C de 0.0571 olacaktır. Bu noktada Richardson'un incelediği reaksiyonu tekrar yazarsak



burada sülfür kapasitesi $C_S = K \cdot a_{CaO}$ olarak yazılabilir. Burada K, (33) reaksiyonunun denge sabitidir. Şimdi Richardson tarafından verilen sülfür kapasitesinde

$$\left(\frac{P_{O_2}}{P_{S_2}} \right)^{1/2} \text{ nin (32) de verilen şekliyle ve } C_S = K a_{CaO} \text{ ile birlikt i düşürürsek}$$

$$\% [S] = \frac{K^{xx} \% (S) a_{FeO}}{a_{CaO}} \dots\dots\dots (34)$$

olarak yazabiliriz. Hawkins (21) (33) reaksiyon için belirli limitler $C_S = 1.94 \times 10^{-3} \% CaO$ olarak sülfür kapasitesini hesapmıştır.

(34) i tekrar düzenlersek,

$$\% [S] = \frac{K^{xx} \% (S) a_{FeO}}{\% CaO} \dots\dots\dots (35)$$

$$\% [S] = \frac{K^{xx} \% (S) \gamma_{FeO}^o \cdot x_{FeO}}{\% CaO} \dots\dots\dots (36)$$

burada ;

$\% (S)$ = ağırlık olarak curuf $\% S$

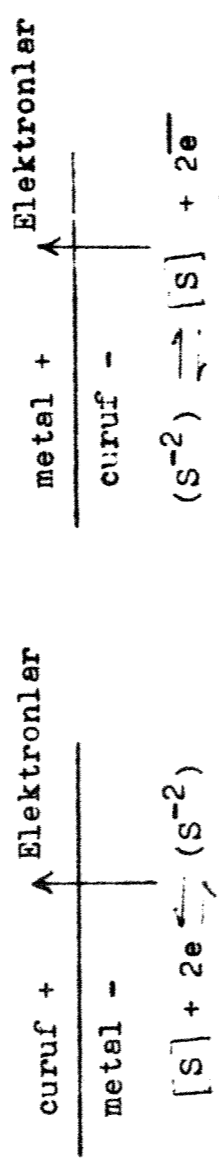
$\% CaO$ = ağırlık olarak curuf $\% S$

x_{FeO} = Curuf içindeki FeO mol oranı

γ_{FeO}^o = FeO aktivite katsayısı

K^{xx} degerleri 1600°C için 14.72, 1700°C için 20.19 ve 1800°C için 27.79 olarak bulunur. Görüldüğü gibi belirli bir curuf kompozisyonu için metal sülfür miktarını hesaplamak olanağı vardır.

Alternatif akımla yapılan E.C.R. da curuf/metal yüzeyleri arasında bir rektife işlemi sonunda elektrolitik bir reaksiyonun gelişme ihtimali oldukça zor görülmektedir. E.C.R. da elektrolitik reaksiyonların önemi D-C kullanılması halinde ortaya çıkacaktır. D-C kullanılması elektrodu pozitif veya negatif olma durumu vardır. Buna göre elektrodta ve sıvı metal gölcüğündeki sülfür reaksiyonları birbirlerine kargit olacaklardır. Konu aşağıda şematik olarak daha iyi bir şekilde açıklanabilir.



Elektrodun pozitif veya negatif olmasına göre yukarıdaki reaksiyonlar prosesin başlangıç ve gelişimde elektrod veya metal gölcükte gelişebilirler. Böylece rafine ingot içerisinde böl esel olarak sülfür konsantrasyonlarından değişiklikler meydana gelecektir. Fakat toplam sülfür arınması normal kimyasal reaksiyonlarla elektrolitik reaksiyonların net sonuçlarıyla birlikte ortaya çıkacaktır.

Sonuç olarak erimiş curuf ile sıvı metal arasındaki sülfür transferi katodik bir reaksiyonla oluştuğunu söyleyebiliriz.



Eğer sistemde net bir elektron akışı yoksa elektrik nötrallite bir anodik reaksiyonla sağlanır.



Netice olarak genel denklemi şöylece yazabiliriz.

$$[S] + (O_2^-) \xrightleftharpoons{(S^{-2}) + [O]} \dots\dots\dots (39)$$

Sulfür arınması iyonik olmakla beraber reaksiyonun kinetiğinin bir elektron transfer prosesi ile kontrol edildiğini söylemek için yeterli deneysel bulgular şu anda mevcut değildir. Belkide oldukça yavaş gelişen bir difüzyon olayı E.C.R. kinetiğini kontrol etmektedir.

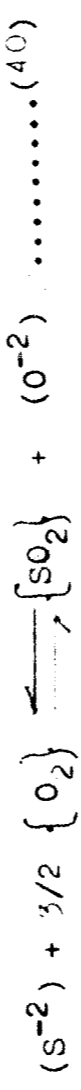
5.3 Refine İngotte Oksijen

E.C.R da rafine edilmiş ingottteki oksijenin dört ana orijini olabilir.

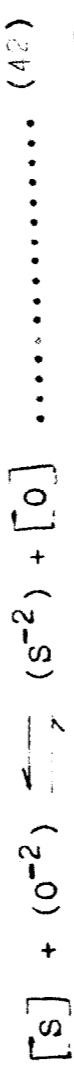
- a) Elektrod bünyesinde bulunan oksijen
- b) Rafinasyon esnasında elektrod üzerinde meydana gelen tufallerle oluşan oksit
- c) Curuf içerisinde bulunan indirgenebilir oksitler.
- d) Rafinasyon atmosferi

Bu dört ihtimalin relatif önemleri tabiatıyla rafine edilen elemanın tipine bağlıdır. Oksitlenme rezistansı düşük elemanlarda yukarıda sayılan dört kaynak curufun toplam oksijen potansiyelini etkileyecektir.

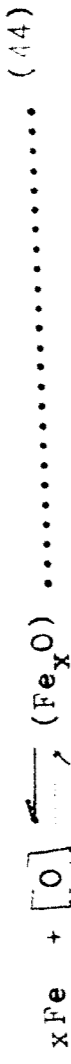
Araştırmada rafinasyon süreci atmosferik şartlarda yapıldığı gibi elektrod olarak kullanılan malzemelerin ağırlı oksitlenme rezistansı yoktur. Rafine ingot ve elektrod oksijen miktarlarının mukayesesi (Tablo VI), rafine ingotlarda oksijen miktarlarının artışını gösterir. Durumun izahını şöylece yapabiliriz. Operasyon süresince atmosfere ağık elektrodun curuf dışında kalan yüzeyi oksitlenecektir. Sonuç olarak başta demir olmak üzere erimiş curuf içerisinde bir den fazla oksit yapabilmek özelliği olan oksitler katılacaktır. Öte yandan oksijen direkt olarak sıvı curuf yüzeyinde meydana gelecek aşağıdaki reaksiyonlarla katılabilir.



oksijen böylece elektrodun ucunda veya sıvı metal damlacığı- nin yüzeyinde veyahutta sıvı metal gölcük yüzeyinde, curuf/metal yüzeyine transfer edilmiş olur. Oksijenin rafine ingota geçiş reaksiyonları ise aşağıda gösterildiği gibi olacaktır.



Rafine ingottaki oksijen miktarının tayini için ileri sürebileceğimiz termodinamik yaklaşım ise şu olabilir. Curuf-metal reaksiyonlarının denge durumunda olduğunu kabul edersek



$$K(44) = \frac{a_{FeO}}{a_{Fe} \sum_j f_j^O [O \%]}$$

$a_{Fe} = 1$ denirse,

$$\log K(44) = \log a_{FeO} - \log [O \%] - \sum_j \log f_j^O$$

veya

$$\log [O \%] = \log a_{FeO} - \log K(44) - \sum_j e_j^O [j \%]$$

burada;

$$\log K(44) = - \frac{6320}{T} + 2.73 \quad (22) \quad \text{veya}$$

$$\log K(44) = - \frac{5762}{T} + 2.43 \quad (24)$$

$e_j^O = j$ elementinin oksijen aktivitesine olan dolaylı etki katsayısı (interaksiyon katsayısı)

Konunun yukarıdaki izah şekli en mümkün olan yaklaşım tarzı olmakla beraber termodinamik hesaplarla yapılacak kanıtlamalar için bilginlerin eksik olduğu görülmüştür. Yapılan literatür taramasında $CaF_2 - Al_2O_3 - CaO$ curuf sistemi içerisinde oksijen aktivitesine ışık tutacak bir gelişmeye rastlanmamıştır. Kay ve arkadaşları (25) $CaF_2 - CaO - Fe_xO$ sisteminde demir oksidin termodinamik özelliklerini belirleyen bir çalışma yapmışlardır. Netice olarak Fe_xO miktarı %2 yi geçmeyen $CaF_2 - CaO - Fe_xO$ curufunda Fe_xO nun Henry kanununa uygunluğunun kabul edilebileceğini ileri sürerler. Sıcaklık yükseldikçe a_{FeO}^O birim değere yaklaşacağına göre

χ_{FeO}° ifadesi a_{FeO} nin belirlenmesinde kullanılabilir ve böylece in ot oksijen aktivitesi tayin edilebilir.

5.4. Enklizyonlardan Arınma ;

E.C.R. nin oksit, silikat, sülfat v.b. gibi metalik olmayan yespim esnasında sıvı metal-curuf, sıvı metal-refrakter reaksiyonları veya çelik içerisinde oluşan reaksiyonlar sonunda çelik bünyesine katılan enklizyonların arınması için en ideal yöntem olduğu bünyeye kadar yaptığımız tartışmalardan ortaya çıkmaktadır.

Bu konuda genellikle benimsenen teori enklizyonların stoke kanununa uygun olarak hareket sıvı curuf hareket sıvı metal ölçüğü içerisinde yükselerek takılan yeni ingot bünyesinden arınacakları yönündedir. (26)

Stoke kanunu :

$$V = \frac{2}{9} \frac{gr^2}{\eta} \left(\rho_{\text{metal}} - \rho_{\text{enklizyon}} \right) \dots\dots\dots (45)$$

olarak yazılır. Burada,

g = yerçekim sabitesi

η = dinamik viskozite

r = enklizyon yarıçapı

ρ = özgül ağırlık

Stoke kanunundan faydalanarak rafinasyon esnasında arınabilecek enklizyon büyüklüklerini hesaplayabiliriz. Proses sıcaklığını 1600°C olarak kabul edersek bu sıcaklıklarda ;

$$\eta = 0.0616 \text{ gr/cm.san.} \quad (27)$$

$$\rho_{\text{metal}} = 7.0 \text{ gr/cm}^3 \quad (28)$$

$$\rho_{\text{enklizyon}} = 3.6 \text{ gr/cm}^3 \quad (29)$$

(burada yaklaşık olarak %30 SiO₂ ve %60 Al₂O₃ ihtiva eden alüminosilikatın özgül ağırlığı alınmıştır.)

Bu değerleri koyarak stoke bağintisi hesaplanırsa

$$V = 12032 r^2 \text{ cm/sen}$$

veya

$$V = 3008 D^2 \text{ cm/sen buhurur.}$$

Enklizyon yükselme hızlarının enklizyon çaplarına göre değişimini grafiksel olarak gösterebiliriz Şekil (30). bu Őekilin gerçek manası, ingt yükselme hızı ile birlikte dğnlrse ortaya çıkacaktır. Şekilde taranmış böl e çalışmala-rımızdaki ingt yükselme hızlarını göstermektedir. Buna göre 20  m olan büyük enklizyonların arınması mümkün görülmektedir. Bu hesaplamalarımız Yu.V.Latash (30) in değerleriyle uygun görünümdedir. Şüphesiz tasfiye edilebilecek enklizyon çapla-rının klelbilmeleri bzl ağırlıkları ile yakından ilgilidir.

Tartışmalar kısmında ağıklıya kavuşan bir nokta E.C.R. nun sıvı hareketleri yönünden sekin bir sistem olmadığıdır. Stoke kanunu ise doğru olarak hidrodinamik yönden sekin olan sıvı sistemleri için kullanılabilir. Kanımızca stoke kanunun tamamen saf dışı edilmesi acelece yapılmış bir kabul olmakla beraber, bu bağıntının sıhhatli uygulanması için enklizyon yükseliş hızına vektoral olarak enklizyon çevresindeki sıvı hareketlerinin etkilerinin katılması gerekir. Aaında böyle bir yaklaşım oldukça karmaşık olmakla beraber enklizyonlardan arınmanın tam olarak açıklanması için kfi değildir. Tam bir açıklama enklizyonların yer alacağı fiziko-kimyasal reaksiyon-ları belki de en mühimi enklizyon-curuf-sıvı metal yzeyssel enerji ilişkilerini içermelidir. Curuf-metal yüzeyine kadar gelen bir enklizyonun curufa geçebilmesi için yüzey enerjileri yönünden aağıdaki Şart gerçekleşmelidir.

$$\chi_{e-m} + \chi_{c-m} > \chi_{e-m} \dots\dots\dots (46)$$

burada ; χ_{e-m} = enklizyon-metal yüzeyler arası enerjisi
 χ_{c-m} = curuf-metal yüzeyler arası enerjisi
 χ_{e-m} = enklizyon metal yüzeyler arası enerjisi

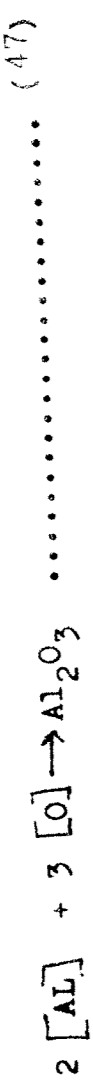
M.M.Mlyuev ve Shpitsberg (31) toplam enklizyon tesviyesinin %80 inin elektrod ucunda beliren sıvı film ve damlacık oluşumu anında geri kalan %20 ilk kısmın ise stoke kanununa uygun olarak flotaasyon yoluyla gerçekleştirileceğini ileri sürerler. Çalışmamızda rafinaasyon sonunda elde kalan elektrod uçlarının boyuna kesitlerinin metallografik incelenmesinde, elektrod ucunda ergimiş ve ergimemiş kısımları ayıran bir hudut çizgisi kolaylıkla görülmüştür. Ergimemiş bölgelerdeki enklizyonların boyutca ergimiş bölgede olan enklizyonlardan büyük olmaları, arınmanın aşırı ısısı bulunan sıvı curuf da enklizyonların çözünmesi ve bunu takibeden curuf-metal reaksiyonları ile olabileceğini kanıtlar.

E.C.R. sonunda elde edilen ingotların enklizyonlardan tamamen temizlenmiş olduğu görülmüştür. Refine ingotlardaki enklizyonlar değil ve toplam yoğunluk bakımından büyük farklar göstermekle beraber, mikroskopik tanım olarak elektrodlarda görülen aynı yapıda enklizyonlara rastlanmıştır.

Bu durumda münakaşası yapılabilecek üç ihtimal olabilir :

- a) Enklizyonlar curuf içerisinde bir ölçüde kısmen çözünmüştür.
- b) Elektrod enklizyonları sıvı metalde çözünme ve tekrar çökme ile refine ingota intikal etmişlerdir.
- c) Enklizyonlar refine ingot içerisinde meydana gelen reaksiyonlar sonucu çökelmişlerdir.

Birinci ihtimali kanıtlayan morfolojik tanımlar, refine ingotların incelenmesinden elde edilmiştir. Refine ingotlardaki enklizyonların morfolojileri mikroskopik olarak incelenirken, iki ayrı tipte oksitli enklizyonlarla karşılaşılmıştır. Bunlardan bir grubun yüzeyleri pürüklü görünümündedir. Diğerleri ise küreye yakın yüzey morfolojisine sahip olarak belirmiştir. Yüzeysel pürüklü grup kısmen çözünüp sonrada ingota taşınan elektrod enklizyonları olmalıdır. Refine ingotta oluşan enklizyonların izahı ise ;



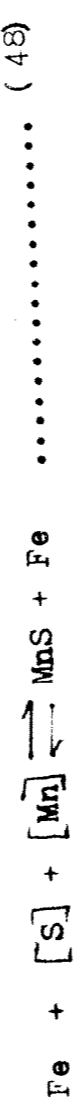
reaksiyonu ile yapılabilir.

Alüminyum ile dezoksidesyon yapılan denemelerde alüminyum orijini ilave edilen metalik alüminyumdur. Dezoksidesyonun yapılmadığı rafine ingotlerde ise alüminyumun tek kaynağı curufta bulunan Al_2O_3 olacaktır.

Oksitli enklizyonların oluşumları için en uygun bölge rafine ingotun ilerleyen katı hudut bölgesidir. Özellikle sütsüsel bölgedeki dendrit aralarındaki sıvı segregasyon yönünden, dendrit uçları ise yüzey enerjileri yönünden uygun bölgelerdir. Aşırı doymuşluk bu bölgede kolay yaratılır ve enklizyonların oluşumu gerçekleşir. Mikroskopik inceleme oksitli enklizyonların dendrit doğrultularına paralel yönde sıralanışlarını göstermiştir.

Sülfürlü Enklizyonlar :

Sıvı çelikte sülfür çözünmüş halde bulunur. Sülfürün sıvı çelikteki çözünlüğüne rağmen katılaşmış çelik iğeri-sindeki çözünlüğü çok azdır. Çelikte alaşım elemanı olarak Mn de bulunduğu zaman Fe, S, Mn arasındaki ilişki aşağıdaki şekilde yazılabilir.



Bu reaksiyon sıcaklık azaldıkça MnS formasyonu yönünde gelişir, böylece sülfürlü enklizyonlar meydana gelir. Görüldüğü gibi sülfürlü enklizyonlar tamamen sıvı metal içinde sıcaklığa bağlı olarak gelişen reaksiyonlar sonunda oluşmaktadır. Sülfürlü enklizyonlar kantite olarak çeliğin sülfür miktarına bağlıdır.

Sülfürlü enklizyonların çelik içinde oluşumları ve morfolojileri hakkında çesitli çalışmalar yapılmıştır. (32) (33)

Enklizyonların olugumları hakkında kesin bir fikirbirliğine varılmamakta beraber MnS enklizyonlarının morfolojik yapılarına dayanılarak yapılan çalışmalarda geçitli tiplerin çelik ömsi-jen miktarı ile yakından ilgili olduğu genellikle hakim olan görüş olarak karşımıza çıkmaktadır. MnS in ergime noktası 1610°C olarak verilmektedir. (34) Bu veriden gidilerek çelikler-de MnS enklizyonlarının olugumlarına yaklaşmak hatalı ola-caktır. Çeliklerdeki sülfürlü enklizyonlar üzerinde yapılan mikroprobe analizleri enklizyonlar içerisinde başta Fe olmak üzere Al, Cr, Mo, Cu gibi diğer elementlere rastlana-bileceğini göstermiştir. (35) FeS - MnS denge diyagramının incelenmesiyle takriben %38 FeS taşıyan bir enklizyonun 1500°C da tamamen sıvı olduğu görülür. Katılaşma süresince katının kalan sıvıya sülfür rejeksiyonunu da söz öüne alırsak sülfürlü enklizyonların ilerliyen katının hemen önündeki kükürtce zengin bölgede oluğsacaklarını ileri srebiliriz. Bu bölge sütünsel yörede dentritler arası sıvı bölgesi olarak belirlenecektir.

E.C.R. da katılaşmanın özelliği dolayısıyla sülfürlü enklizyonların dağılışı da aynı bir özellik taşır. Konvansi-yonel çelik yapımında ingot katılaşması kalıp yen yüzeyine dikey doğrultuda geliştiği için sülfürlü enklizyonlar yüzey-den içeriye doğru artan miktarlarda dağılarak A ve V segregas-yonu dediğimiz enklizyon dağılıklarını meydana getirirler. E.C.R. da katılaşmanın soğuk kalıp yanal yüzeyine eğik hatta bazı hallerde tamamen kalıp tabanına dik yönde ilerlediği görülmüştür. Sıvı / katı hududu sıvı metal gölcüğünün profilli ile belirlidir. Tipik bir E.C.R. ingot sülfür baskısı (Şekil 24) de verilmektedir. Görüldüğü gibi sülfür dağılımı ilerleyen sıvı katı bölgesini çok ağır olarak belirtmektedir. Ingot yanal yüzeyinden bir miktar içeriye doğru, çabuk katılaşan bölgeden sonra dalgalar halinde ingot tepe noktasına kadar ulagan sülfür dağılımı E.C.R. prosesinin tipik özelliğini göstermektedir. Sülfür dağılımı yönünde ingot tepesine doğru çıktıkça sülfür miktarının arttığı ve son katılaşan sıvı göl-cüğünün kesif bir kükürt dağılımına sahip olduğu görülür.

Sulfür rafineasyonunun en başarılı olduğu periyot, operasyonun ilk bağlanışından itibaren cururun sulfürce kirleneceği ana kadar geçen zamandır. Operasyon devam ettikçe sulfürce kirlenen curufun elektrodu rafine edilemekte beşarisi nisbeten azalır ve sulfür baskısının kanıtlandığı üzere rafine ingottaki sulfürlü enklizyonların miktarı artar. Son katılan sıvı gölcük böylece sulfürle oldukça kirlenmiş curufun ozalan rafineasyon etkisiyle birlikte muhtemel flotsasyonla yükselebilecek enklizyonların birikmesiyle en kirli bölge olarak belirir.

5.5. Mekanik Özellikler ;

E.C.R. sonunda elde edilen çelikler iş temizliği yönünden kanımızca en ileri noktaya ulaşmışlardır. Beşta sulfür olmak üzere diğer enklizyonlar önemli ölçüde temizlenmiş veya morfolojileri zararsız hale gelmiştir. Ayrıca katılma özelliği dolayısıyla E.C.R.s uğramış çeliklerde yoğun bir iş yapılışında dendritlerin sık ve ikinci kollarının oluşmadığı genellikle görülmüştür. Aslında rafineasyon sonunda karbon analizleri yapıldıkça rafine ingot üzerinde enlemesine ve boylamasına çegitli noktalarda numuneler alınmıştır. Serresayonu en çok belli eden componentlerden biri olan karbon değerlerinin büyük salınım göstermediği görülmüştür.

Bütün bu veriler rafine ingotların mekanik özelliklerinin daha ileri değerlere ulaşabileceğini işaret etmektedir. Bunu kanıtlamak için iki yaklaşım yapılmıştır. Birincisi rafineasyonun malzemenin çekme direncine ve uzamasına olan olumlu etkilerini araştırmayı gözletmektedir. Rafine ingotlar 1200°C'de sıcak haddelenerek dekape edilmiş ve %9 luk bir soğuk çekme ile 20 m/m Ø'lik yuvarlak haline getirilmiştir. Ç 1030 ile Ç 1137 den elde edilen rafine memullerin her biri için beşer çekme deneyi yapılmıştır. Deney sonuçları elektrod malzemeleri özellikleri ile karşılaştırılırsa Tablo IV Çekme mukavemetlerindeki olumlu gelişmeyle birlikte % uzamanın hissedilir derecede arttığı görülmüştür.

Elektrod malzemesi içinde bulunan enklizyonlar sıcak haddelene süresince değişik deformasyonlara uğrayacaklardır. Özellikle çelik içerisinde Tip II olarak adlandırılan dane hudutlarında oluşan MnS enklizyonları mevcutsa bu enklizyonlar aşırı deformasyonlara uğrarak malzeme için zararlı olacaklardır. E.C.R. da enklizyonlar büyük ölçüde tasfiye edilmiştir. Malzemenin dane yapısı ve homojenitesi olumlu değişikliklere uğramıştır. Dolayısıyla gerek çekme mukavemeti gerek uzama yönünden E.C.R. , diğer konvansiyonel metodlarla üretilen ve aşım elemanları bakımından aynı kompozisyona sahip çeliklerden daha yüksek kalitede olacaktır.

E.C.R. da elde edilen homojenitenin ve E.C.R. özel iş yapısının etkilerinin en bariz görüneceği özellik elbetteki ingot üzerinden enine ve boyuna yönlerinden alınmış çarpyı numunelerinin deney sonuçları olacaktır. Refine ingotların 1/5 i her iki uçtan kesilerek atılmış kalan kısım 850°C da 1 saat normalize edildikten sonra Şekil (31) de görüldüğü gibi enine ve boyuna V-gentikli çarpyı numuneleri alınmıştır. Oda sıcaklığı deney sonuçları Tablo V da verilmiştir. E.C.R. nun en üstün etkisi burada görülmektedir. Çarpyı deney sonuçlarında malzeme tokluk özelliklerinin enine ve boyuna numunelerde birbirlerinden pek farklı olmadığı görülmür. Bu durumu anisotropiklik derecesi dediğimiziz

$$\alpha = \frac{L \text{ (boyuna değerler)}}{X \text{ (enine değerler)}} \text{ oranı ile ifade edersek E.C.R}$$

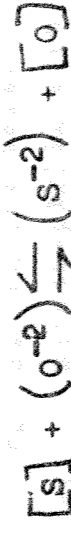
da bu durumun 1.1 - 1.2 civarında olduğunu görürüz. M.E.Bala-kovakaya ve arkadaşlarının (36) E.C.R. edilmiş ve konvansiyonel çeliklerin anisotropik özellikleri için yaptığı çalışmada E.C.R. için $\alpha = 1.51$, ark çelikleri için $\alpha = 2.32$ rapor edilmiştir. Ayrıca E.C.R. çelikler için 10:1 oranında dövülmüş parçalarda L ve X yönündeki çarpyı değerleri aynı kalmakta. Fakat bu durum ark çelikleri için 3:1 oranından sonra çok farklı görünüm arz etmektedir. Robert R.Irving (37) in AISI 4340 üzerinde yaptığı çalışmalarda bulgularımızı kanıtlamaktadır.

BÖLÜM VI

SONUÇLAR

Bu araştırmadan elde edilen önemli sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

I. Sulfür erimesi özellikle curuf/metal arısında gerçekte



reaksiyonu ile olmaktadır. Curuf/gaz reaksiyonlarının önemli etkileri yoktur. Rafinasyon sonunda sulfür yüzdesi elektrod sulfür miktarının üçte birine yakın değerlere indirebilmiştir.

2. Verimli bir sulfür erimesi için curuf bazıklığı yüksek ve metal oksijen miktarı düşük olmalıdır.

3. Metal/curuf reaksiyonları metal damlacıklarının curuf içinde toplam kalış zamanı delayısıyla terminal hızları ile yakından ilgilidir. Bu ise özellikle curuf ve metal özgül ağırlıkları ve rafinasyon süresince ortaya çıkan sıvı hareketleri ile kontrol edilir.

4. Makroyapıda konvansiyonel ingot katılaşmasına yakın durumdan yönlü katılaşmaya kadar görülen gelişimler, voltaj, emper ve elektrod besleme hızı parametreleri ile profilli belirlenen sıvı metal gölcüğünün yarattığı ısı transfer değişikliklerinin neticesi olarak izah edilebilir.

5. Enklizyon erimesinin stoke kanununa uygunluğunun kabulü ile yapılan hesaplamalar, çalışmadaki ingot depozite hızlarının da 20 m dan büyük enklizyonların erimesinin mümkün olduğunu göstermiştir. Bununla beraber stoke kanununun sıhhatle uygulanması için enklizyon yükseliş hızına vektörel olarak enklizyon çevresindeki sıvı hareketlerinin etkileri katılmalıdır.

6. Sulfürlü enklizyonlar rafine ingottaki sulfür erimesinin gelişimine ve yeni katılaşma karakterlerine uygun olarak dağılmaktadır. Ingot tepesine çıktıkça sulfür miktarının artışı

prosesin sonuna doğru curufun azalan rafineyen etkisi ile birlikte muhtemel fletasyonla yükselbilecek enklizyonlarla topluca bulunması ile açıklanabilir.

7. E.C.R sonunda elde edilen çelikler iç temizliği yönünden ileri bir düseye ulaşımlardır. Ayrıca belirtilen iç yapı karakterleriyle mekanik özellikleri üst seviyelere yükselmiştir. Çalıklar sonunda elde edilen rafine malzemenin çok mukavemetleri ile % usmaları artmıştır. Bu önemli özellik özellikleri yönünden rafine malzemenin izotropik olduğu tesbit edilmiştir. Anizotropiklik derecesi σ 1030 dan rafine için σ = 1.15, σ II37 den rafine için σ = 1.10 olarak bulunmuştur.

REFERANSLAR

1. U.S. Patent No. 1,781,490, 11 Nov. 1930
2. N.G.Slavyanov, Electrical Metal Casting., S.P.D. 1892
3. A.F.Treubenko and V.G.Speranski. Automatic Welding, (4), 1959, 82-96
4. T.Baā. Acta.Chem.Scand., 8, (9),1954, 1727-35
5. C.K.Kuo and T.S.Yen, Huaxue Xuebao (Acta chimica Sinica)., 30, (4), 1964, 381-86.
6. Yu. V.Latash et al., Automatic Welding, (9), 1960, 14-20
7. W.Eitel. Zement, (30), 1938, 445-46.
8. T.M.Levin et al., Phase Diagrams for Ceramist , American Ceramic Soc., 1964
9. Yu. V.Latash and b.I.Medovar. Automatic Welding, (3), 1959, 45-52
10. D.J.Salt. BISHA report EG/A/75/66, 1966,
11. B.E.Lopaev et al. Automatic welding, (1), 1966, 31-48
12. M.W.Davies and F.A.rright. BISHA industry report c/62/68, 1968
13. V.V.Stepanov and B.E.Lopaev. Automatic welding (2), 1967, 46-52.
14. A.Muan and E.F.Csborn. Phase Equilibria Among Oxides in Steelmaking, Addison-Wesley, 1965
15. E.F.Northup. Physical Review, 24, (6), 1970 474-497
16. H.Maecker and F.Zeit. Physics, (141), 1958, 191-216
17. B.I.Medovar. Electroslag Remelting, State Scientific and Technical Pub., House Moscow, 1963
18. V.I.Kasin. Freiburger Forschung Reihe B, (97), 1967, 126-134
19. G.J.W.Kor and F.D.Richardson. TMS-AIME, (246), 1969, 319-26

20. M.W.Davies, BISRA Open report c/63/68
21. R.J.Hawkins BSC Report No.001847, 1971.
22. J.Chipman and K.L.Fetters. Trans. Amer. Soc. Metals., (29), 1941, 953-65
23. C.R.Taylor and J.Chipman. Trans. Amer. Inst. Min (Metamm.) Engrs., (154), 1943, 228-240
24. N.A.Gökgen. Trans. Amer. Inst. Min. (Metall) Engrs., (206), 1956, 1558-70
25. D.A.R.Kdy et al., J.I.S.I., Feb, 1970, 141-46
26. C.E.Sims. Editor. Basic Open Hearth Steelmaking Third Ed. AIME New York, 1964, ch.12.
27. R.N.Barfield and J.A.Kitchener, J.I.S.I. (180) 1955, 324-34.
28. N.Ericsson and C.Benedicts. Arch Eisenhütten W,(3) 1929-30, 473-80
29. J.H.Chesters. Steelplant Refractories, Percy Lund, Humpries and Company Ltd. London 2 nd Ed. May 1963.
30. Yu.V.Latash. Avtom Suarka, (6), 1960, 52-60
31. M.M.Klyuev and Shpitsberg, Stal in English, Feb.2, 1969, 168-71.
32. C.E.Sims. Trans.Met.Soc. AIME, (215) 367-75, 1959
33. R.Kiessling. J.I.S.I, (201), 1963, 965-72.
34. K.Born. Arch. Eisenh, (29), 1958, 179-88.
35. P.H. Salmon Cox and J.A.Charles. J.I.S.I. May, 1965 493-501.
36. M.E.Balakhouskaya et al., Metallovedenie-i Termicheskey Obratouka Metallov No.2, 1968, 41. 44. (Metal Science and Heat Treatment of Metals (2), 1968, 123--26)
37. Robert.R.Irwing. Iron Age, Oct.12, 1972, 50,58

TABLO VE ŞEKİLLER

TABLO 10 SEKILLER

1954
1955
1956

Yıl	1954	1955	1956
1. Sıra	10	15	20
2. Sıra	20	30	40
3. Sıra	30	45	60
4. Sıra	40	60	80
5. Sıra	50	75	100
6. Sıra	60	90	120
7. Sıra	70	105	140
8. Sıra	80	120	160
9. Sıra	90	135	180
10. Sıra	100	150	200

TABLO I

Elektrod Cinsi	Elektrod Kalınlığı	Başlama Amperi	Operasyon Amperi	Operasyon Voltajı	Besleme Hızı	Kalip Cinsi
Ç 1030	15 mm	1250	450-500	25	13.5 $\frac{cm}{dak}$	70x70mm
Ç 1030	15 »	800	250-350	20	8.14 »	»
Ç 1030	20 »	1000	500-600	22	3.14 »	»
Ç 1030	20 »	1250	750-800	20	10.5 »	50 mm \emptyset
Ç 1030	20 »	1250	650-750	27	10.5 »	» »
Ç 1137	20 »	1250	750-800	20	15-18 »	70x70
Ç 1137	25 »	1250	900-1000	25	6.28 »	» »
Ç 1030	25	1250	800-1000	27	6.28 »	50mm \emptyset
Ç 1137	25	1250	750-900	27	6.28 »	70x70
C 1137	25	1500	1000-1050	28	8.5 »	70x70

TABLO II

Elektrod Analizi

Elektrod	%C	%Mn	%Si	%P	%S
Ç 1030	0.23	0.45	0.25	0.045	0.043
Ç 1137	0.35	1.30	0.20	0.040	0.090

RAFİNE İNGOT ANALİZİ

Elektrod	%S	%C
Ç 1030	0.016	0.21
»	0.018	0.25
»	0.018	0.20
»	0.015	0.23
»	0.013	0.19
Ç 1137	0.031	0.30
Ç 1137	0.029	0.28
Ç 1030	0.014	0.19
Ç 1137	0.026	0.33
Ç 1137	0.027	0.26

TÜRKİYE
TEKEL VE TİCARET
KURUMU
MÜHÜRÜ
KURUMUNUN
MÜHÜRANESİ

TABLO III

Elektrod	Metal % S	Curuf % S	Taksim Katsayısı
Ç 1030	0.016	0.050	3.12
»	0.018	0.043	2.38
»	0.018	0.051	2.78
»	0.015	0.037	2.47
»	0.013	0.035	2.69
Ç 1137	0.031	0.090	2.90
Ç 1137	0.029	0.080	2.76
Ç 1030	0.014	0.035	2.50
Ç 1137	0.026	0.060	2.30
Ç 1137	0.027	0.075	2.78

TABLO IV

Malzeme	Çekme direnci kg/mm ²	%Uzama	Gördüğü İşlem
Ç 1030 Elektrod	49	12	Yuvarlak Haddde Mamölu Fabrika Çıkışı
Ç 1137 Elektrod	65	10	» » » »
Ç 1030dan Rafine İngot	54	17	Sıcak Hadddeyi Takiben %9 Soğuk Çekme ile 20mm Ø
Ç 1137den Rafine İngot	68	14	Sıcak Hadddeyi Takiben %9 Soğuk Çekme ile 20mm Ø

TABLO V

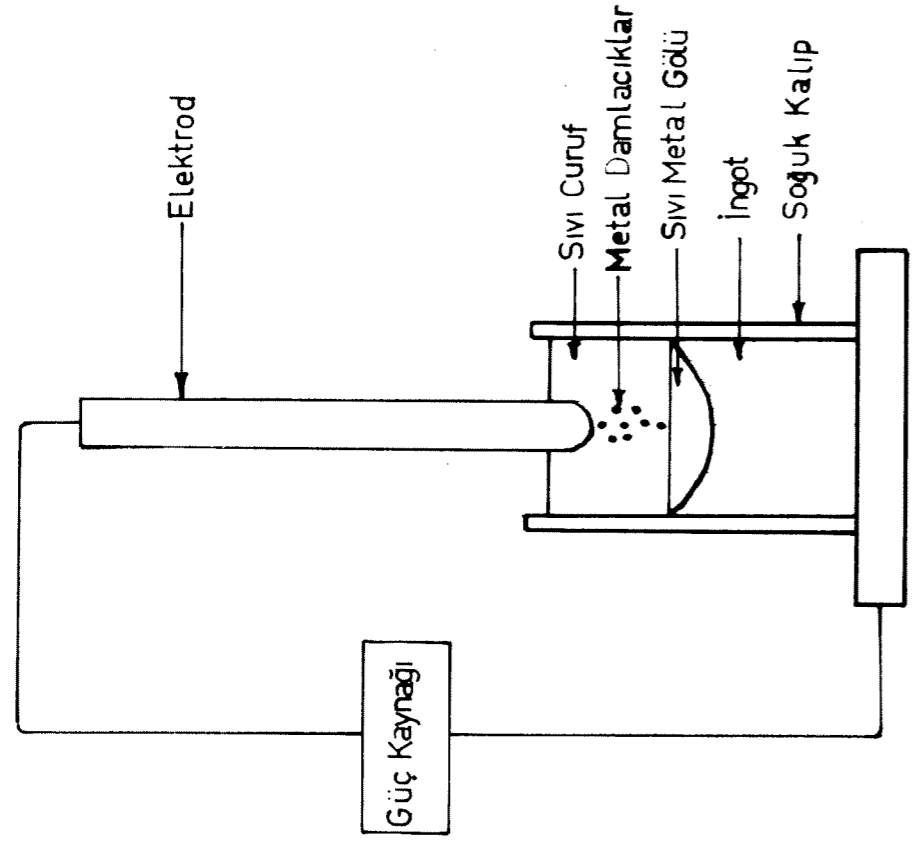
Malzeme	V-Charpy Boyuna	V-Charpy Enine	Gördüğü İşlem
Ç 1030 dan Rafine	4.95	4.30	850°C de 1 saat Normalize
Ç 1137 den Rafine	6.25	5.65	» » » »

TABLO VI

Elektrod C insi	Elektrod da Oksijen p.p.m	Ingot ta Oksijen p.p.m
Ç 1030	224	484
» »	260	502
» »	272	863
» »	248	367
» »	291	614
Ç 1137	834	1285
» »	689	1161
Ç 1030	225	392
Ç 1137	938	1392
» »	653	1230

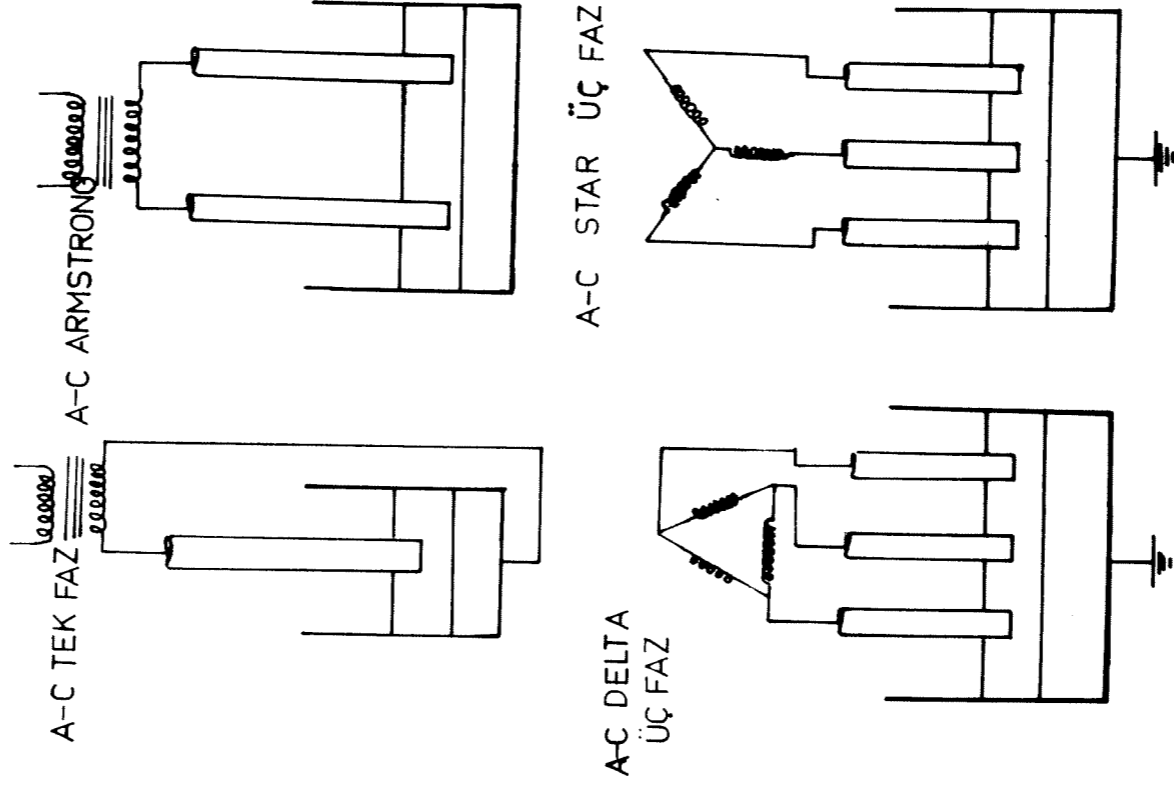
Sekil.1. E. Elektro-Curuf Rafinasyonunun Genetik İzahı.

Sekil.2. Alternatif akımın güç kaynağı olarak kullanılması durumunda E.C.R. de mümkün olan çeşitli kombinasyonlar.



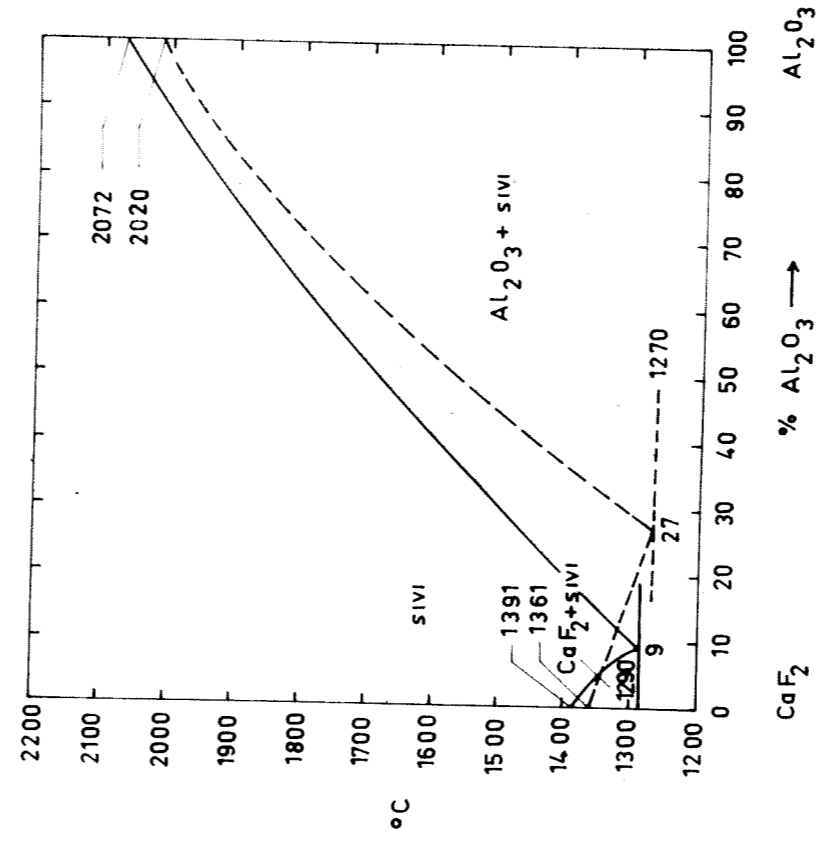
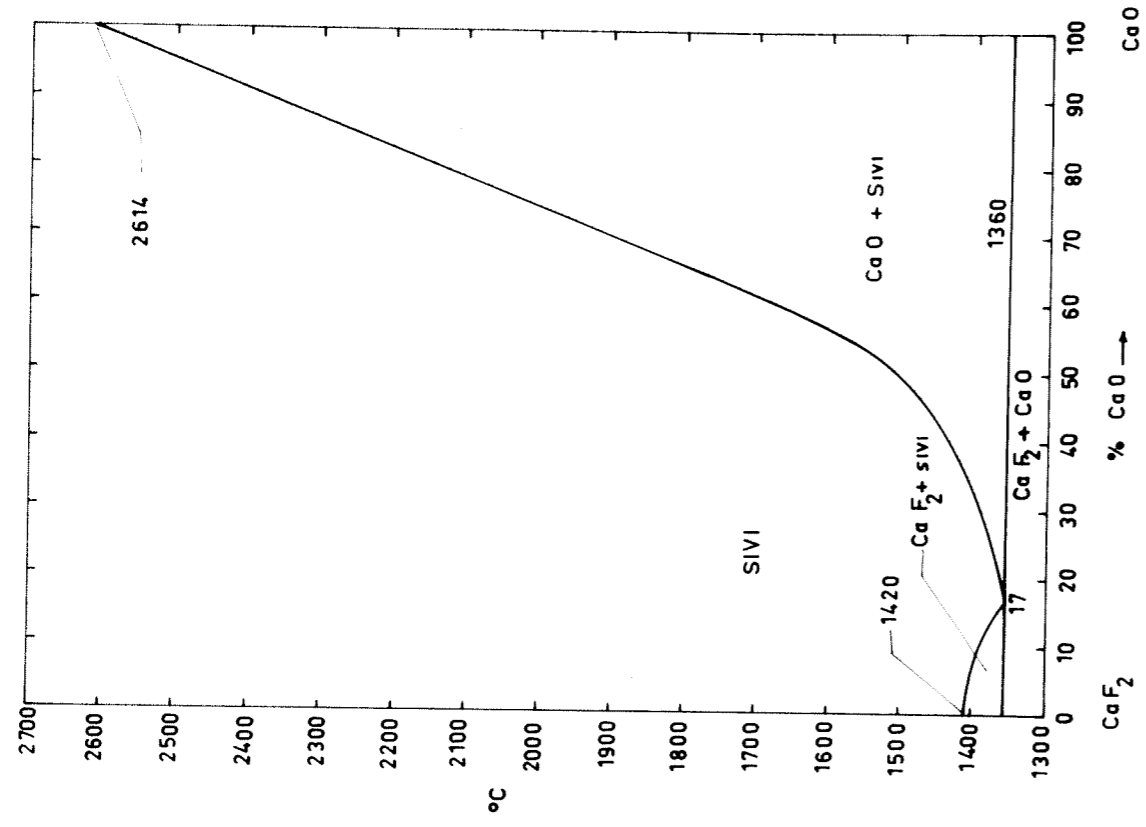
etik işahı.

erak kullanılması
mbinesyonlar.



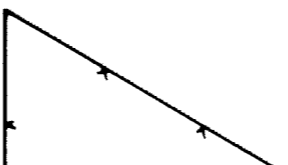
Сект.3. CaF_2 - CaO faz diyagrami.

Сект.4. CaF_2 - Al_2O_3 faz diyagrami.

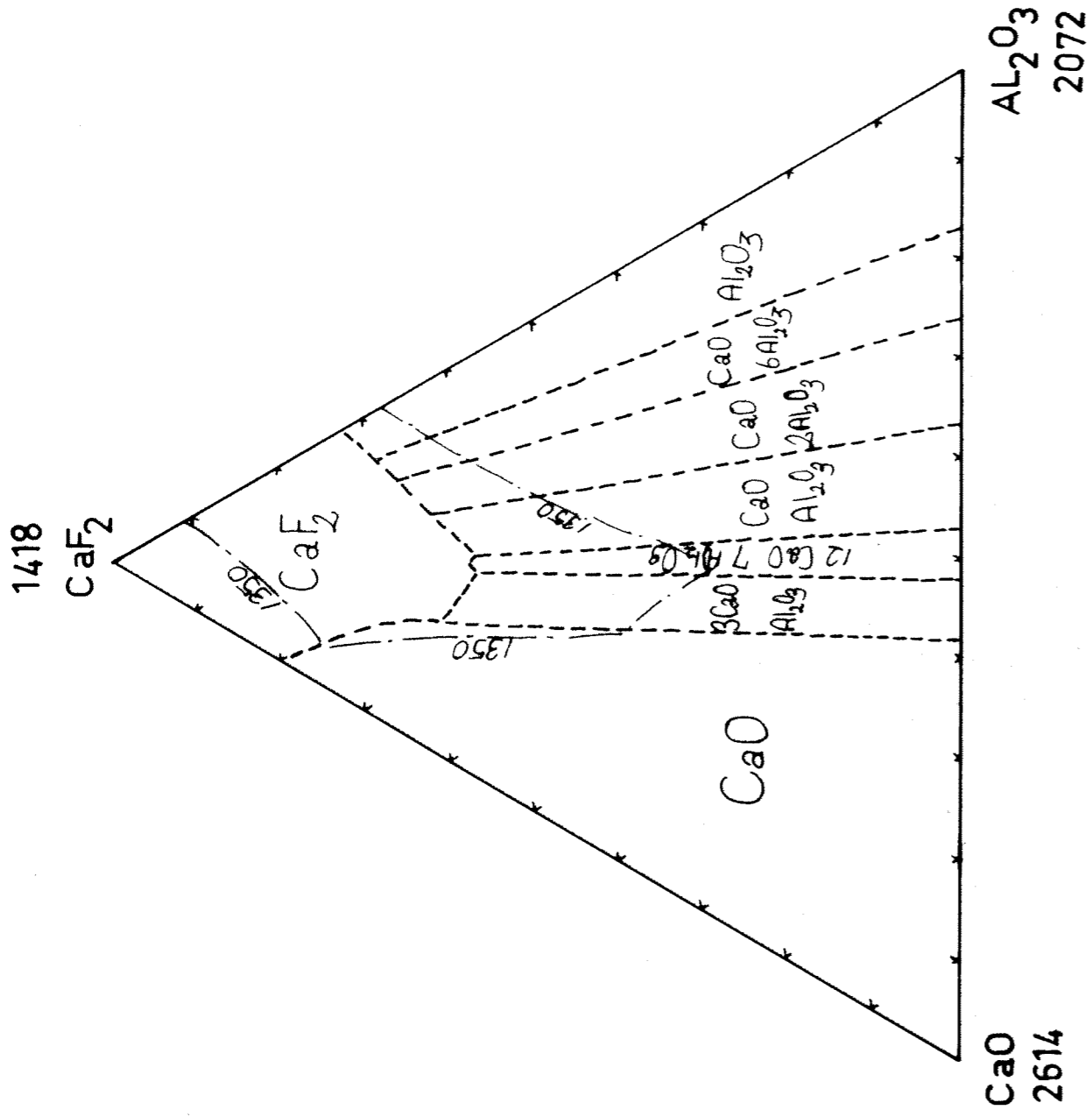


Şekil.5. CaF_2 - CaO - Al_2O_3 faz diyagramı.

CAO
2614

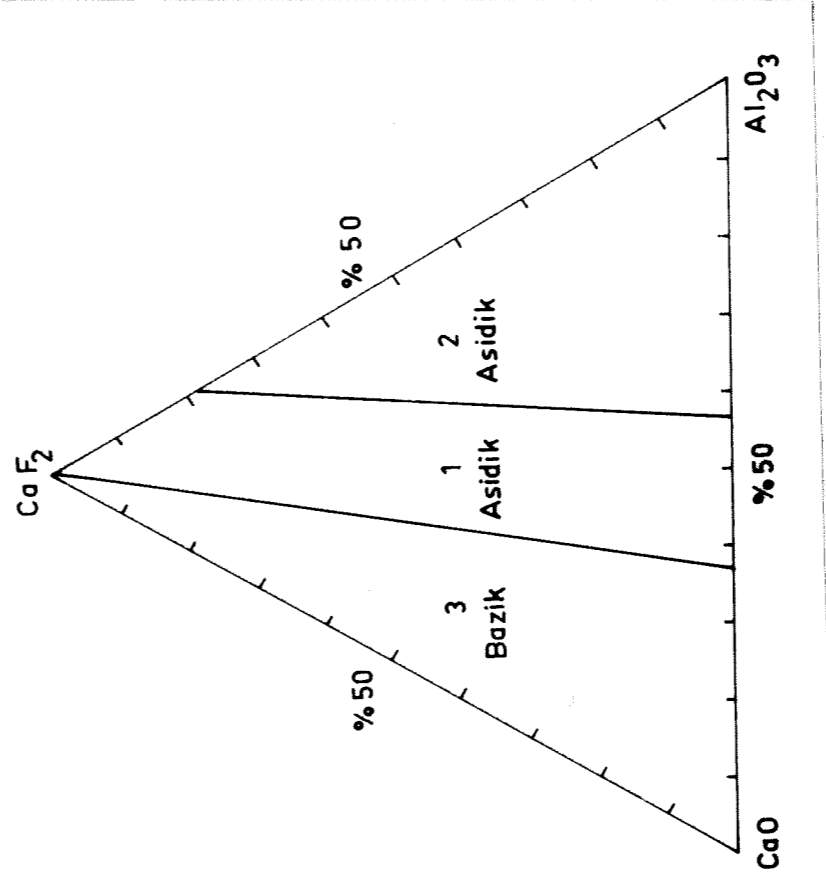


Şekil.6. Genelikle E.C.R de kullanılan curuf karışımları.



gremi.

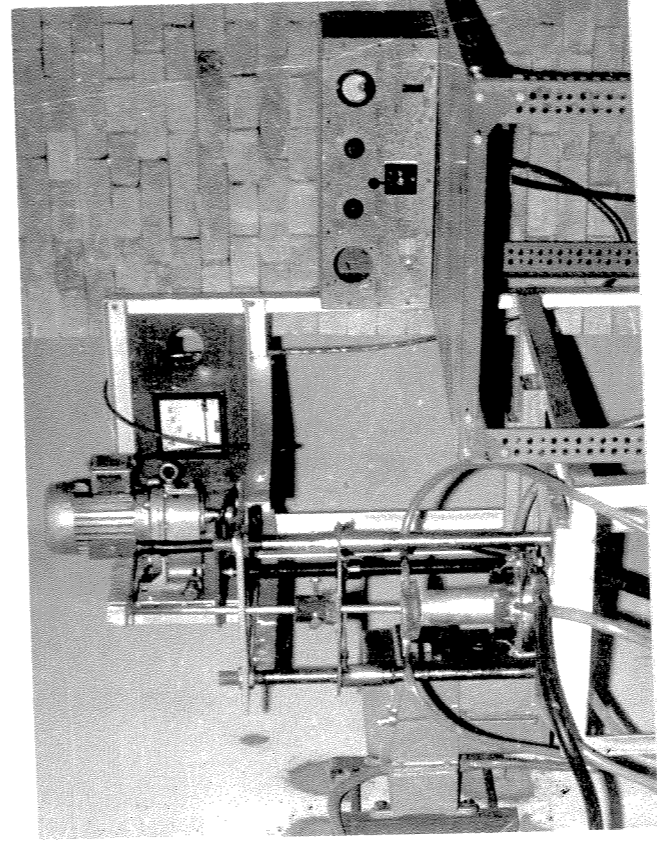
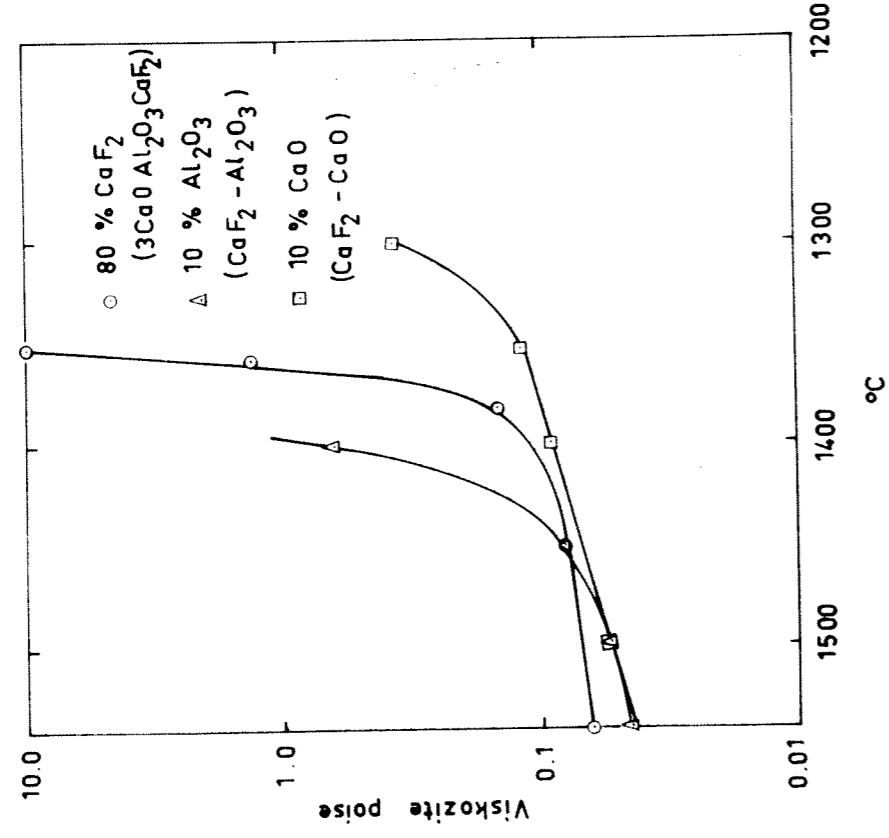
ulan curuf karışimleri.



Sekil.7. Çeşitli kurulumların sıcaklıkla viskozite değişimleri

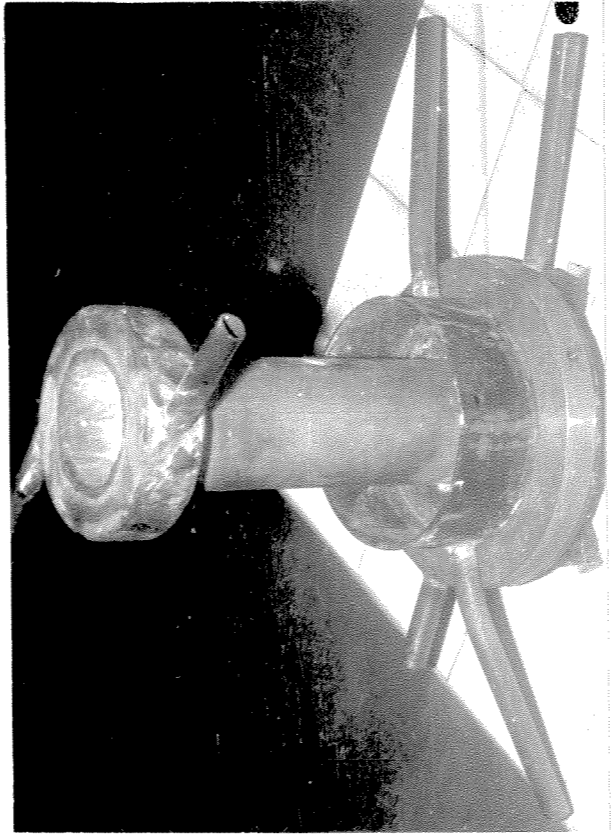
Sekil.8. Manyetür E.C.R ünl testi.

viskozite değisimleri



Sekil.9. Seguk alt tabla (platform).

Sekil.10. Seguk kalip.

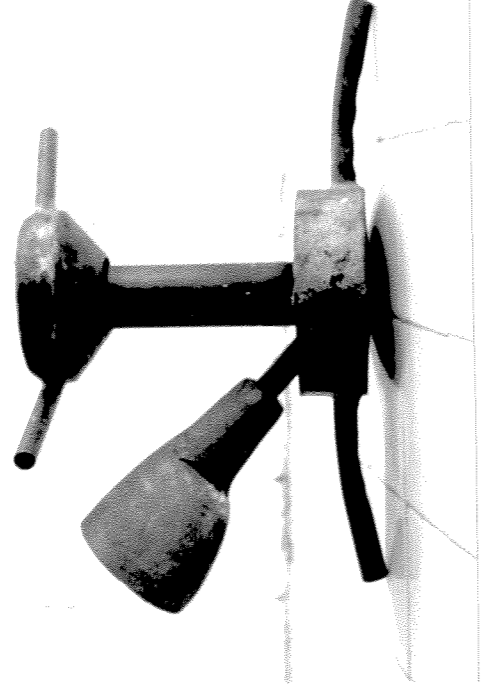


[Faint, illegible text or markings on the right side of the page, possibly bleed-through from the reverse side.]

Sekil.II. Bidang output igin kullianlan grafik honilla seguk kalip.

Sekil.I2. Minyator antede olde edlien rafino inget. (doney No:1)

n grafit henilli seğuk



rafine inget.(deney



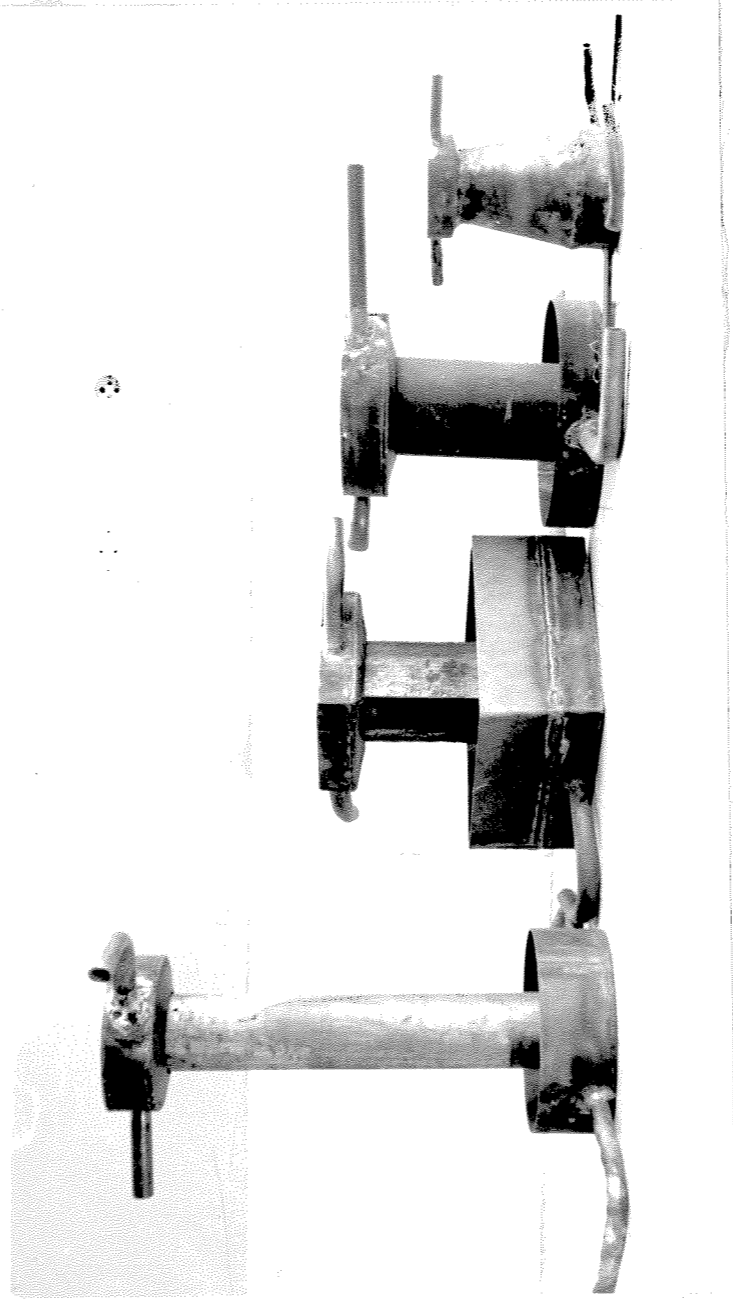
Sekil.15. Minyatür antede elde edilen rafine inget. (deney No:2)

Sekil.14. Pilot-Plant F.C.R antesinde kullanılan sekük kalıplar.

len rafine inget. (deney

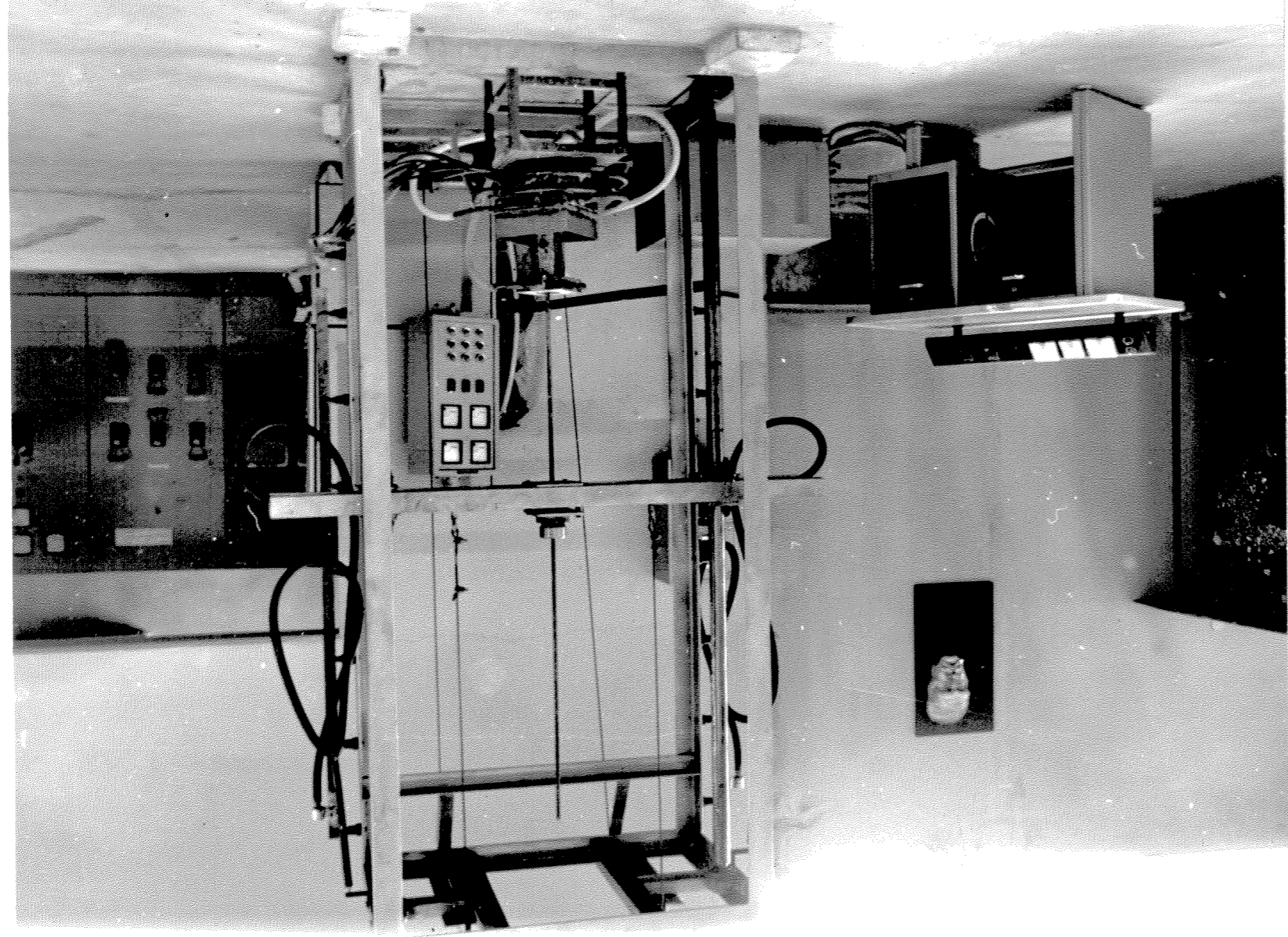


nde kullenenilen seğuk



Sekil.15. Pilot-Plant E.C.R ünitesinin tüm görünümü.





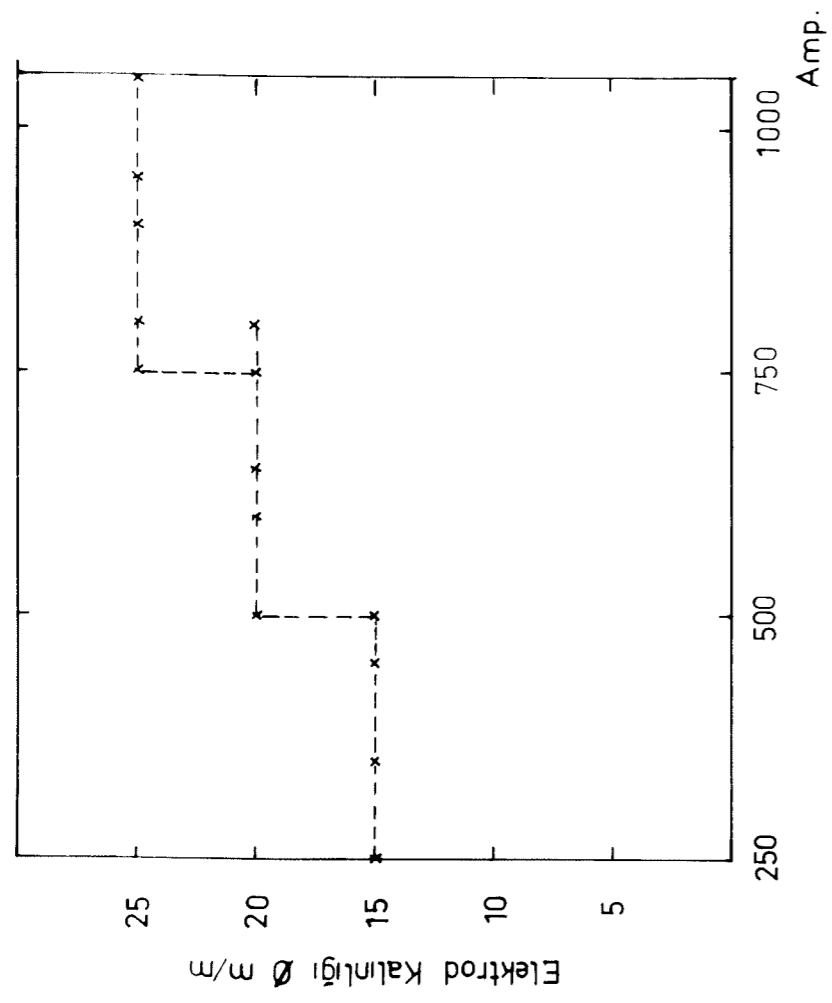
ın tüm görünümü.

Şekil.16. Operasyon amperinin elektrod kalınlığına göre değişimi.

Şekil.17. Yavaş elektrod besleme hızı sonunda ortaya çıkan tıngot yüzey bozukluğu. (20 m/m Ø elektrod, 3.14 cm/dak. besleme hızı)

kalınlığına göre

sonunda ortaya çıkan
tred, 3.14 cm/dak. bee-

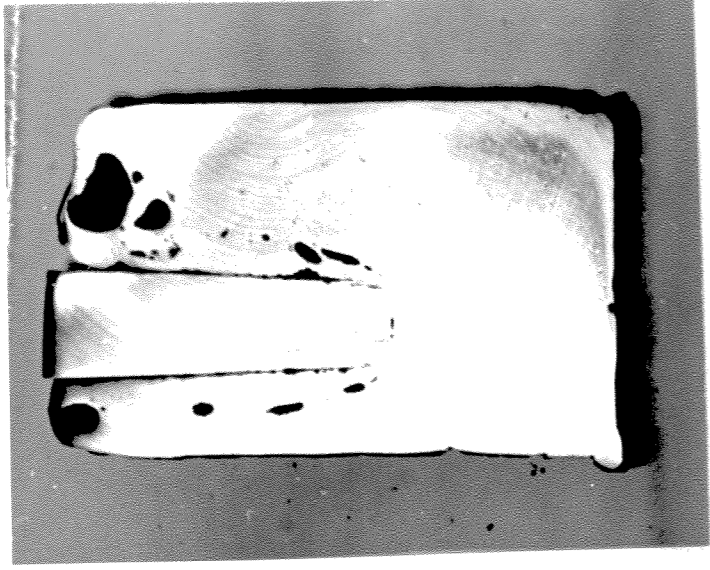


Şekil.18. Ağır besleme süratinin sebep olduğu elektrod
penetrasyonu.(20 m/m Ø elektrod, 18 cm/dak besleme hızı)

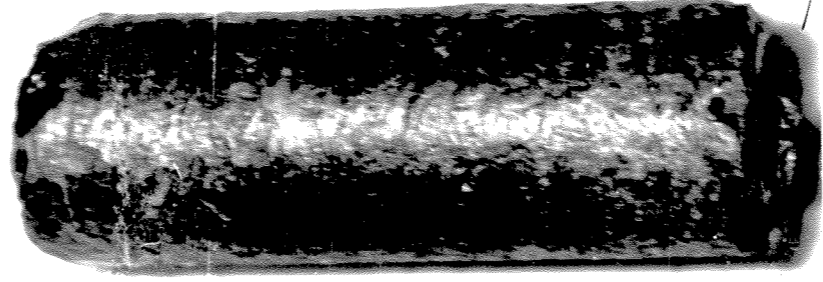
Şekil.19.Optimal besleme hızlarının sonucu düzgün yüzeyli
refine ingotlar.

Sığ: 20 m/m Ø elektrod	10.5 cm/dak.
Sol: 25 m/m Ø elektrod	6.28 cm/dak.

bulduğu elektrod
ak besleme hızı)



cu düzgün yüzeyli



Şekil.20. Optimal besleme hızı: köşeli kalıp. (25 m/m Ø elektrod,
6.28 cm/dk. besleme hızı)

Şekil.21. Dezoksiasyon yapılmamış iki rafine ingot kesitinde
gaz boşlukları.

alip. (25 m/m Ø elektrod,

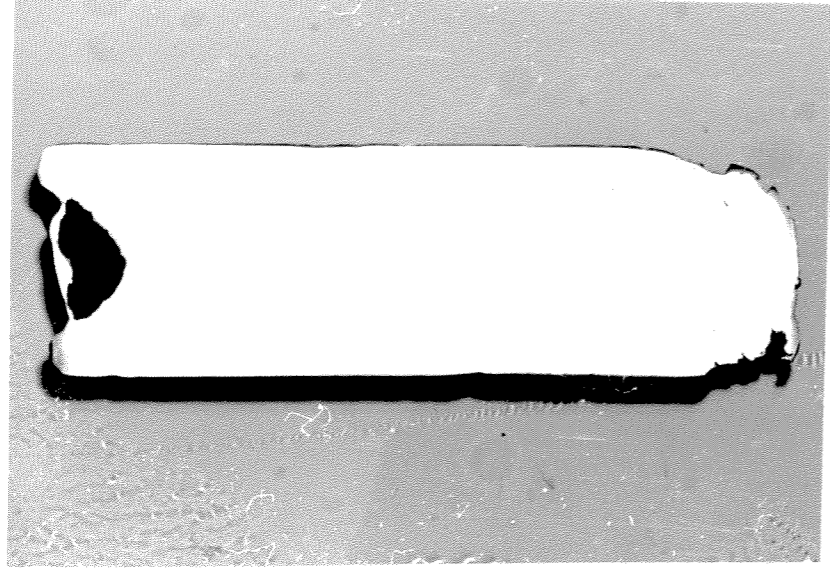


i refine ingot kesitinde

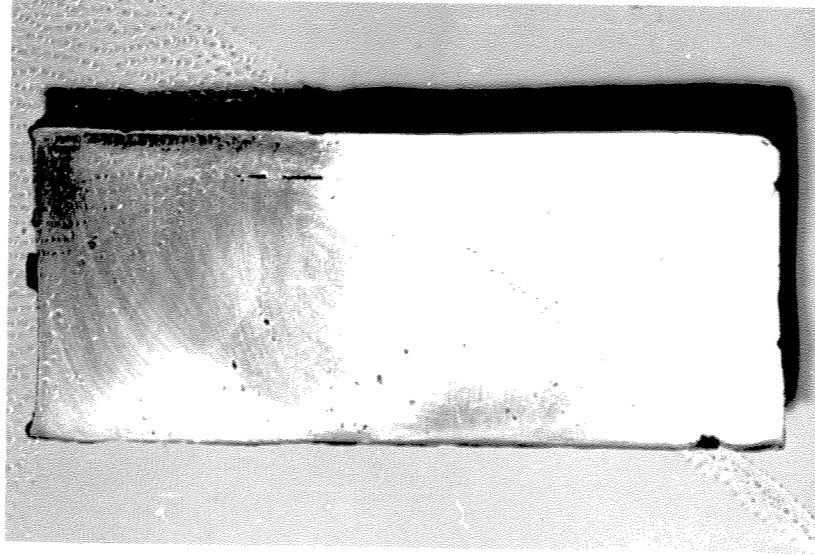


Sekil.22.Sıcak tepelene yapılmış bir rafine ingot kesiti.

Sekil.23. Dezoksida edilmiş bir rafine ingot kesiti.



efine ingot kesiti.

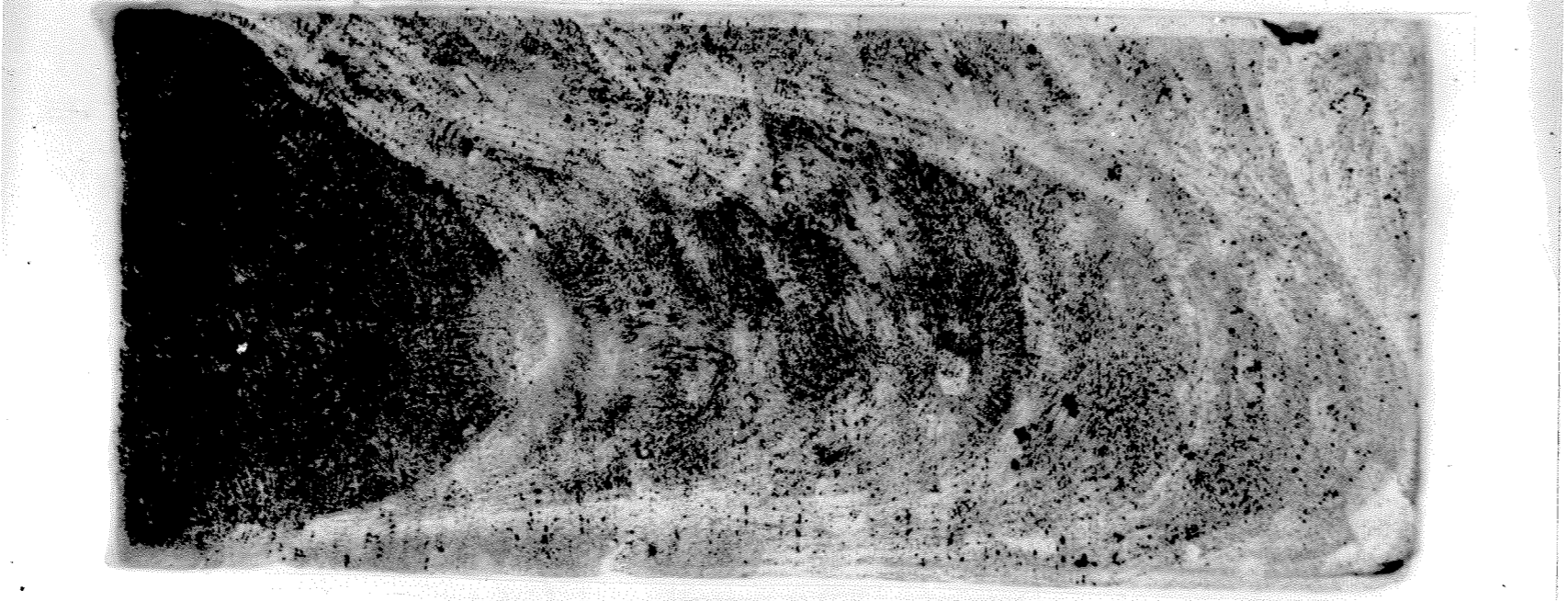
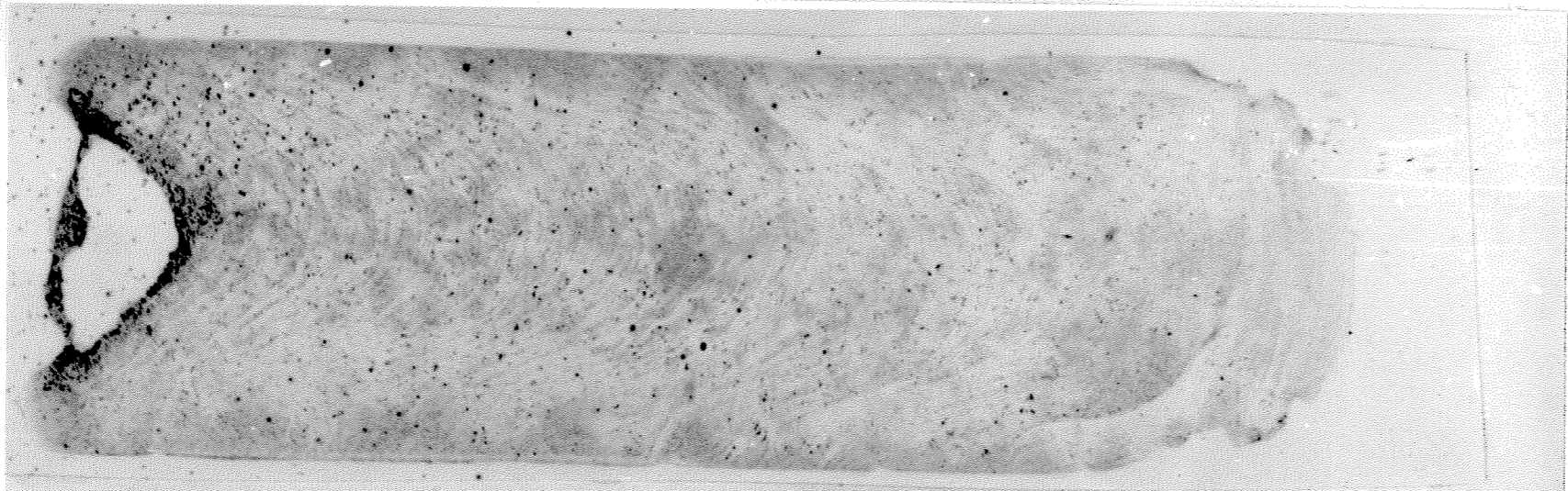


ingot kesiti.

Sekil.24. Rafine ingot kukuhrt beakileri.

Sag: Q IO30 dan rafine

Sol: Q II37 den rafine

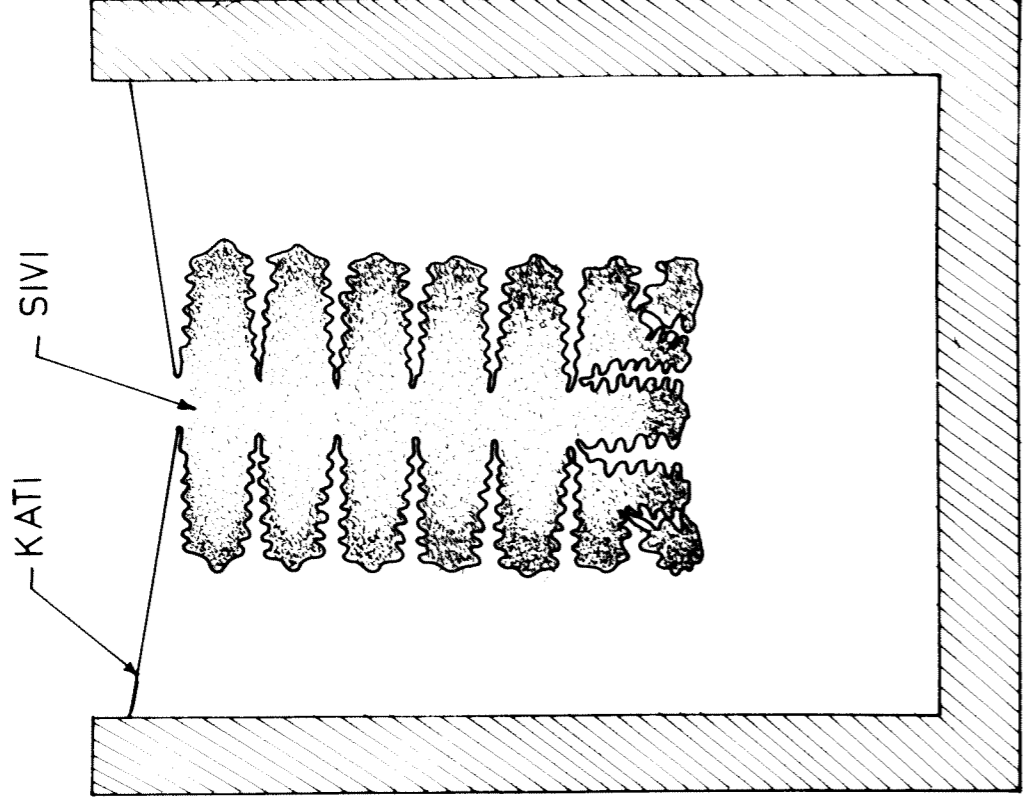


1181.

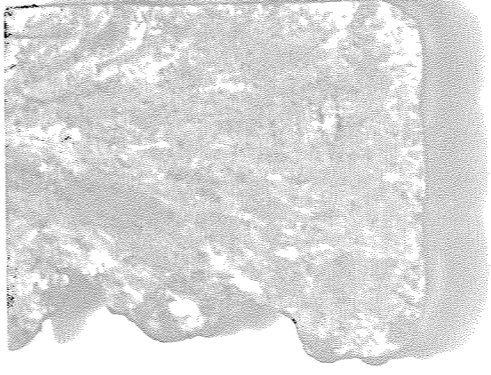
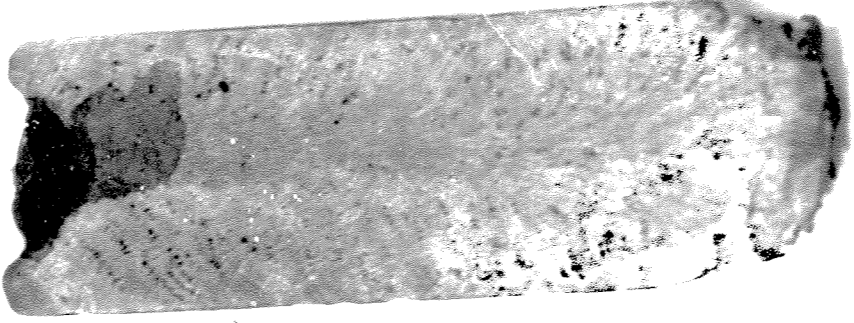
Şekil.25. Konvensional gelik katılaşmasının orta bir anında-
ki durumun genetik izeni.

Şekil.26. E.C.R ile katılaşmış iki inçotun makro yapıları.

inin orte bir anında-

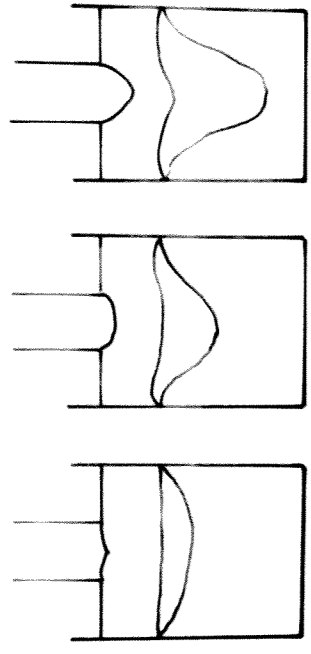


etun makre yapıları.

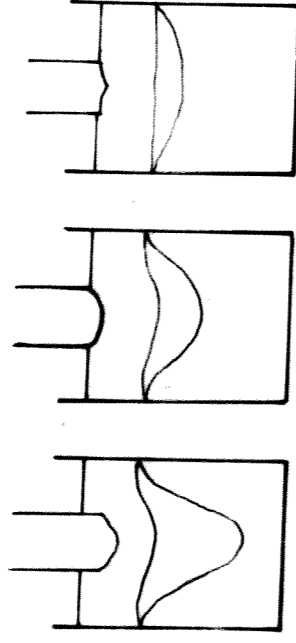


Şekil.27. Sıvı metal gölcüğünün geçitli parametrelerin değ-
şimine göre belirlenen farklı profilleri.

Şekil.28. Elektrod ve ingot yüzeyleri arasındaki ΔP nin,
farklı Elektrod alanı oranlarında, relatif akım değerle-
ringet alanı rine göre değişimi.



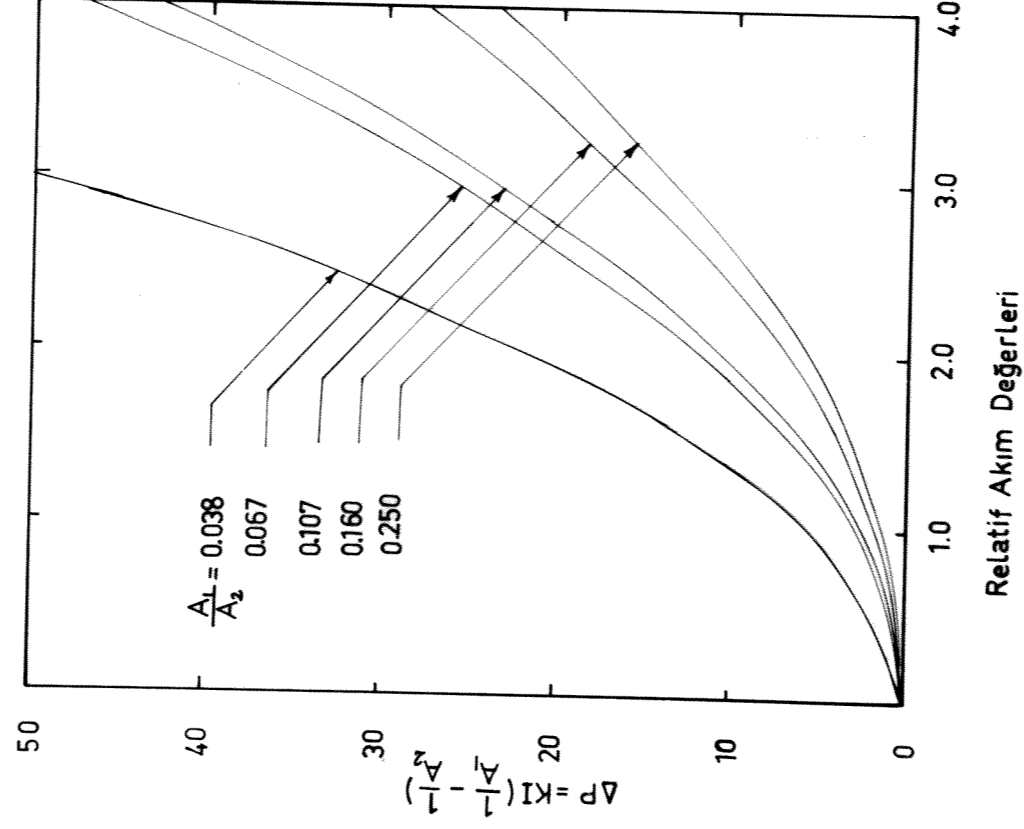
Alçak Akım Orta Akım Yüksek Akım
SABİT VOLTAJ



Alçak Voltaj Orta Voltaj Yüksek Voltaj
SABİT AKIM

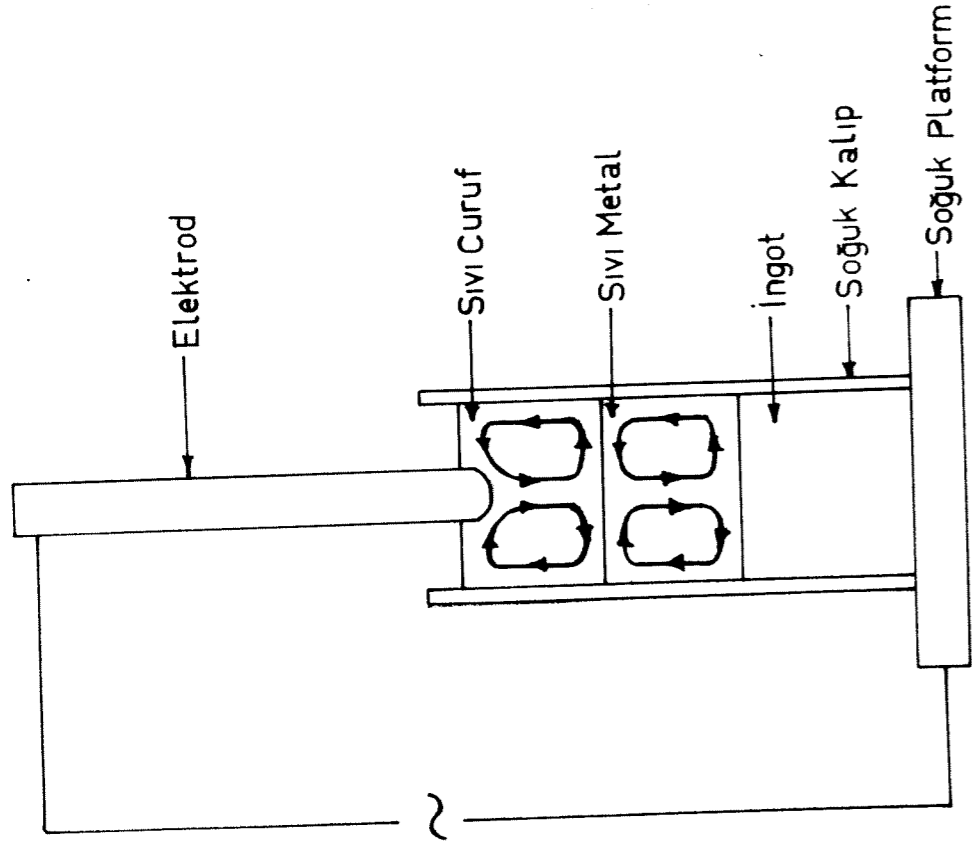
İ parametrelerin değeri.

araındaki ΔP nin, relatif akım değerle-

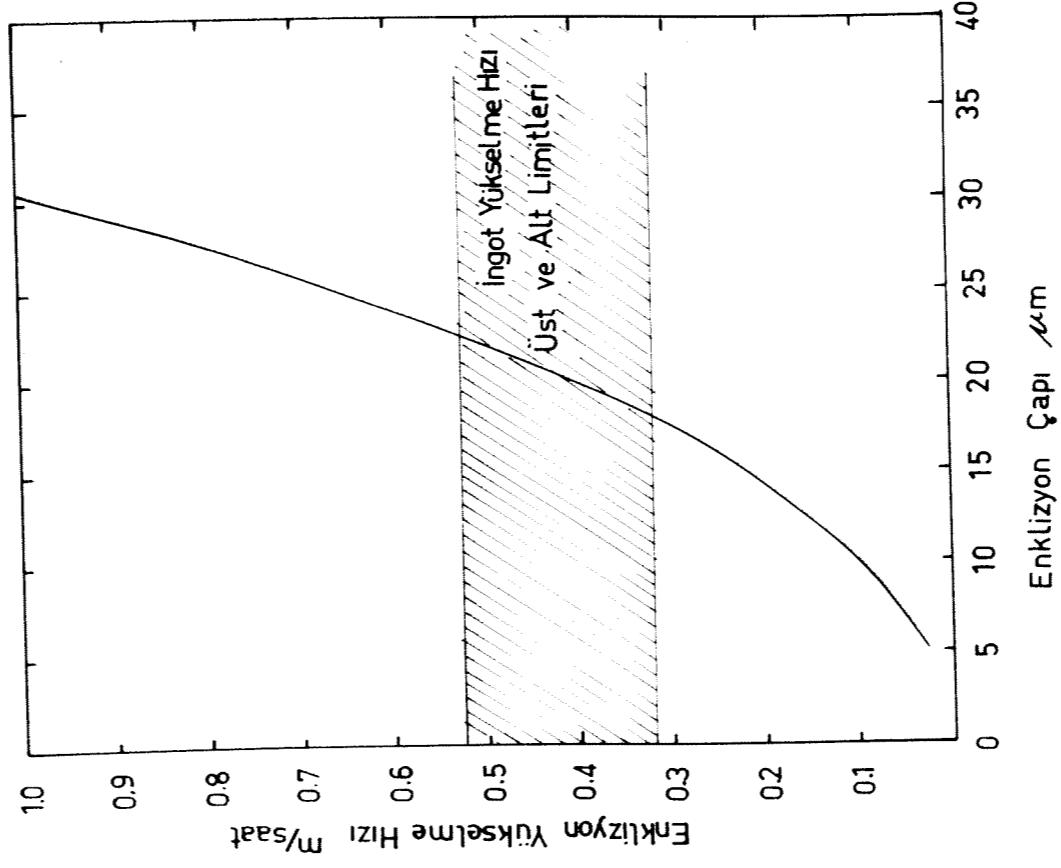


Şekil.29. Cüruf ve metel gölcüğündeki muhtemel sıvı hareketleri.

Şekil.30. Enklizyon yükselme hızının enklizyon gapına göre değişimi.



muhtemel sıvı hareketleri.



ıklizyon çapına göre

Şekil.31. Entne ve boyuna V.gentikli Cherpy çarpi numuneleri-
nin rafine ingottan çıkarılış bölgeleri.

SUMMARY

In the last two decades technological demands for steels of improved quality yet produced by economical processes has given a fresh impulse to start the investigation of Electro-Slag Refining process of steels.

Present day's technology has vacuum melting for clean steel production which is rather costly and cumbersome.

It appears that E.S.R is a very versatile process for the elimination of non-metallic inclusions and for the production of refined alloys with controlled solidification pattern.

In this research Electro-Slag Refining process has been investigated firstly on a small miniature unit then on a pilot-plant unit. Process parameters have been determined which gives the optimum results.

Refining of Q 1030 and Q1137 steels have been investigated. It has been found that E.S.R produces efficient sulphur removal. Sulphur content of the refined ingots has been found to be 1/3 of the electrode sulphur value.

It has been shown that mechanical properties of the refined ingots are improved, particularly the material becomes isotropic as far as the toughness is concerned.

ÖZET

Son yirmi sene içindeki teknolojik gelişmeler kaliteli çelik yapımı için yeni ve aynı zamanda ekonomik bir metodun uygulanmaya konmasının zorunluluğunu belirlemektedir.

Elektro-Curuf-Rafinasyonu bu güne kadar vakum ocaklarıyla üretilen asil çeliklerin yapımında etkili yeni bir proses olabilme durumundadır.

Bu araştırmada Elektro-Curuf-Rafinasyon prosesi önce bir minyatör unitede daha sonra pilot-plant ölçülerinde incelenmiş. Proses parametreleri tesbit edilmiştir.

Ç 1030 ve Ç 1137 çelikleri üzerinde yapılan çalışmalar sonunda, E.C.R.nun sülfür arınmasında etkili olduğu saptanmış ve rafine ingotlardaki sülfür elektrod malzemesinin 1/3 üne indirgenmiştir.

E.C.R. prosesi ile elde edilen çeliklerin iş temizliği yönünden ileri düzeye ulaştığı görülmüş. Gerek bu yönden gerekse projeye özgü katılaşma karakteri nedeniyle rafine ingotların mekanik özelliklerinin yükseldiği özellikle tokluk yönünden izotropik duruma yaklaştıkları saptanmıştır.