TMMOB METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLERİ ODASI
1970
AKDENİZ BÖLGE TEMSİLCİLİĞİ
ELEKTRİKLİ ARK OCAĞI ÇELİK PROSESİ
- Teknik Seminer -
İZZET ULU
TMMOB Metalurji ve Malzeme Mühendisleri Odası
Yönetim Kurulu Üyesi
10 ARALIK
13:30 - 18:00
İskenderun OSB Konferans Salonu
Sarıseki Mah. İskenderun OSB Vali, Utku Acun Blv.
No:1, 31214 İskenderun/Hatay
EKİNCİLER DEMİR ÇELİK A.Ş.'NİN KATKILARIYLA

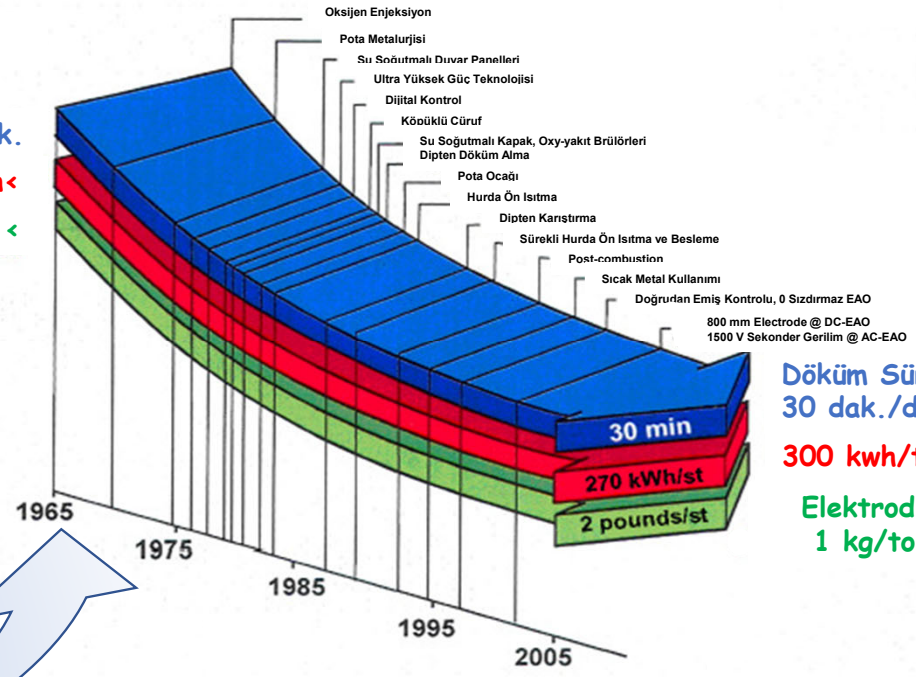
TARİHÇE

- ✓ 1810 Humphry Davy İlk Deneysel Çalışmalar
- ✓ 1853 Pinchton İlk Elektrotermik Ocak
- ✓ 1878 -1879 William Siemens Tek Fazlı EAO Patenti
- ✓ 1888 1892 Paul Herault ferro alaşımların elektrik ark yöntemiyle yapımı
- ✓ 1892 Paul Herault Günümüz DC EAO Prototipi
- ✓ 1892 De Laval Çelik yapımı için ilk EAO patenti
- ✓ 1906 Paul Héroult, elektrik şebekesinin gelişiminden yaralanarak, Syracuse Halcomb Steel Company'de çelik üretimi için ilk endüstriyel EAO
- ✓ Hurda ve Ferro Alaşımların birlikte ergitilip, cüruf yapıcılarla rafine edilerek takım çelikleri ve yay çeliği üretimi ile kalsiyum karpit üretiminde kullanıldı. O
- ✓ 1910 - 1920 İlk EAO 1 ,la 15 ton kapasitedeArası üretim kapasitesi 10 kat artarak 500.000 ton/yıl'a ulaştı ,(toplam üretimde çok düşük pay). Diğer üretim yöntemlerine göre hurda ile ferro alaşımların birlikte ergitilmesi, çok yüksek sıcaklık ve ve uzun rafinasyon/işlem süresi gerektiren özel çelik üretimlerde kullanım
- ✓ II. Dünya savaşına kadar özel çelik yapımında sınırlı kullanım alanı
- ✓ Düşük kapital gereksinimi nedeniyle, savaştan tahrip olmuş Avrupa ekonomilerinin çelik üretim kapasitelerinin gelişmesinin önünü açtı.

180 dak./dök.

780 kwh/ton<

6,5 kg/ton <



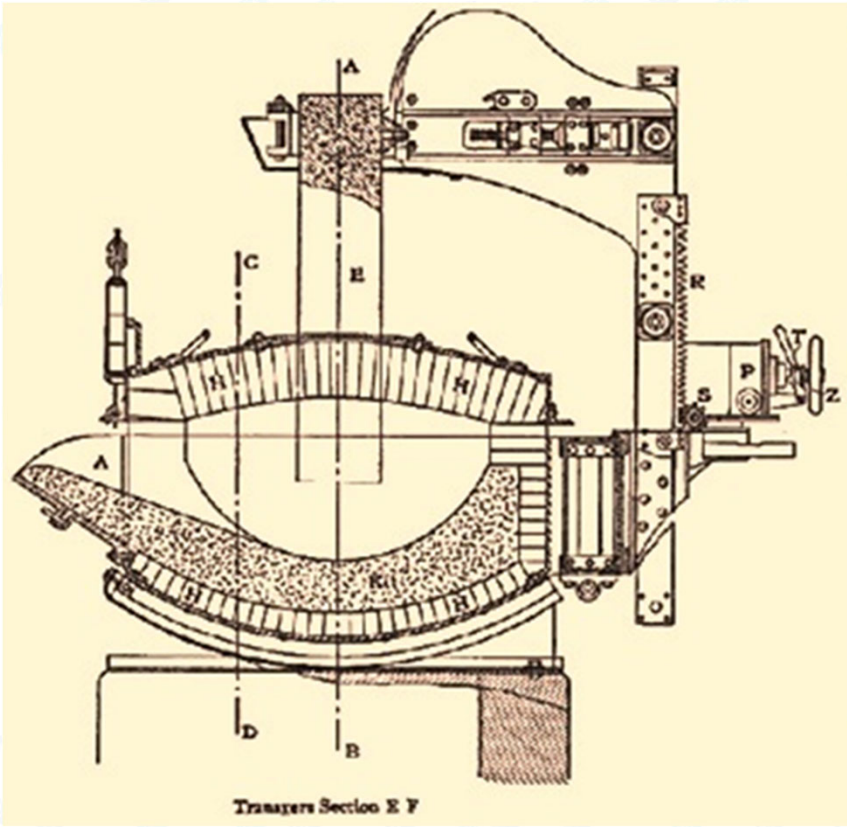
Döküm Süresi
30 dak./dök.

300 kwh/ton <

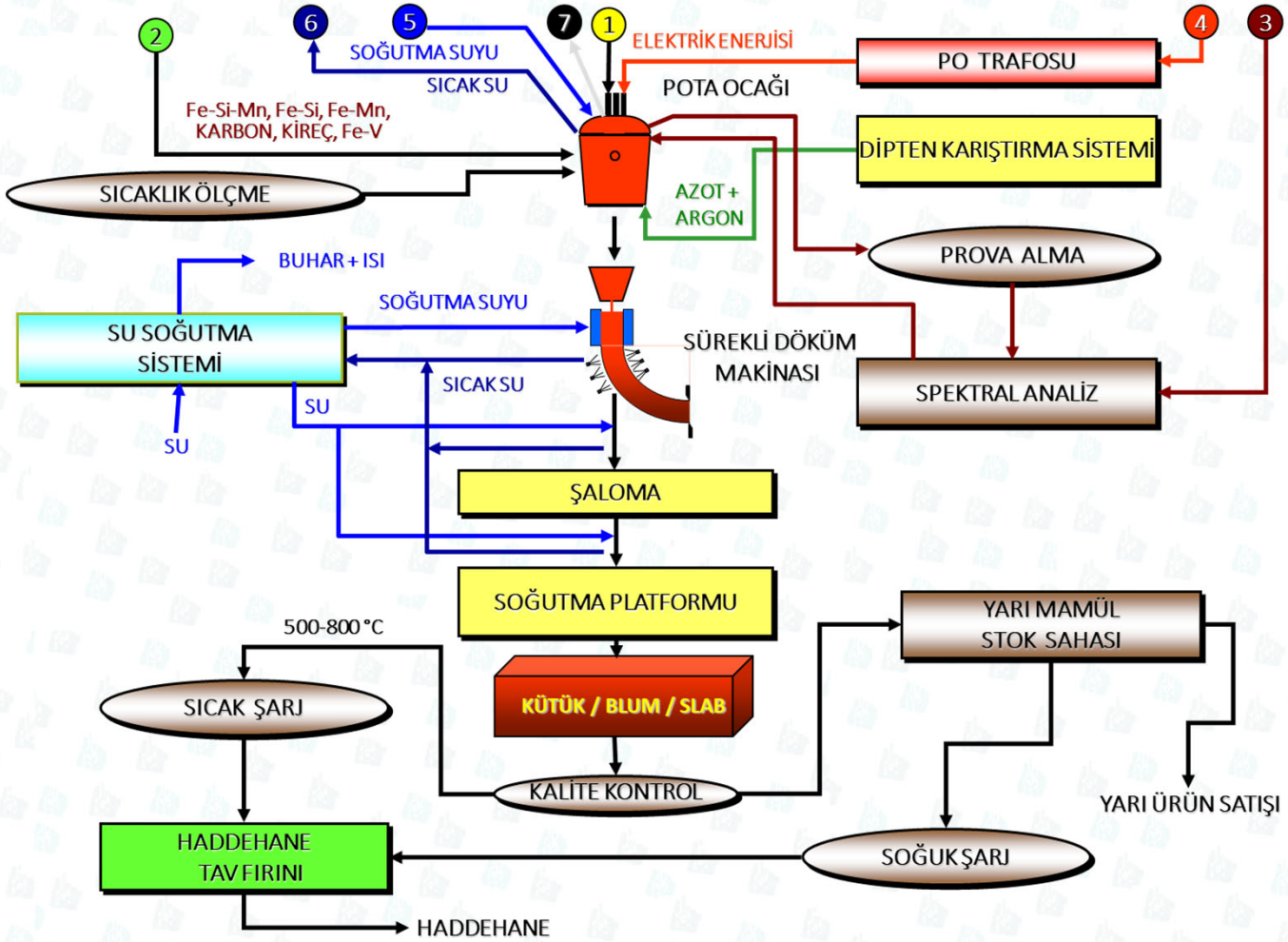
Elektrod Tüketimi
1 kg/ton <

TARİHÇE

Çelik üretimi için endüstriyel ölçekte ilk EAO
Pitsburg İstasyon Meydanında sergilenmektedir.


A
C
E
R
T
P
N
S
H
K
D
B
Transverse Section E F

SÜREÇ


2
6
5
7
1
4
3
SOĞUTMA SUYU
SICAK SU
ELEKTRİK ENERJİSİ
PO TRAFOSU
POTA OCAĞI
Fe-Si-Mn, Fe-Si, Fe-Mn,
KARBON, KİREÇ, Fe-V
DİPTEN KARIŞTIRMA SİSTEMİ
SICAKLIK ÖLÇME
AZOT +
ARGON
PROVA ALMA
BUHAR + ISI
SOĞUTMA SUYU
SU SOĞUTMA
SİSTEMİ
SÜREKLİ DÖKÜM
MAKİNASI
SICAK SU
SPEKTRAL ANALİZ
SU
SU
ŞALOMA
SOĞUTMA PLATFORMU
YARI MAMÜL
STOK SAHASI
500-800 °C
KÜTÜK / BLUM / SLAB
SICAK ŞARJ
KALİTE KONTROL
YARI ÜRÜN SATIŞI
HADDEHANE
TAV FIRINI
SOĞUK ŞARJ
HADDEHANE

CÜRUF

OKSİT, SÜLFİT FLORİT FAZLARIN KARIŞIMININ OLUŞTURDUĞU İYONİK BİLEŞİM

$$\frac{\%CaO}{\%SiO_2} < 1 \text{ , } Asidik\ cüruf$$

$$1 < \frac{\%CaO}{\%SiO_2} < 2 \text{ , } Amfoterik\ cüruf$$

$$\frac{\%CaO}{\%SiO_2} > 2 \text{ , } Bazik\ cüruf$$

Dökümhaneler
- Kupol ocakları
- İndüksiyon ocakları

Çelikhaneler
- BOF
- EAO
- İndüksiyon Ocakları
- PO

CÜRUF

Metal üretim süreçlerinde **sıvı metal ve cüruf arasında denge** vardır. Elementlerin bu ikisi arasında dağılımı diğer termodinamik şartlar belirler. İstenilen kalitede ürünün, makul tüketim değerleri ve sürede üretilmesi için **DOĞRU CÜRUF'un yapılması** gerekir. Cüruf:

- ✓ EAO indirgeme tepkimelerini yönlendirmek,
- ✓ EAO'da fosfor giderme,
- ✓ PO'da kükürt giderme,
- ✓ De-oksidasyon ürünlerini bünyesine alarak, daha temiz çelik,
- ✓ Safsızlıkları (oksit, sülfit, florit bileşikleri olarak) bünyesine alma,
- ✓ Refrakter bileşimi ile uyum sağlama,
- ✓ Çıplak arkı perdeleyerek su soğutmalı panelleri ve ocak/pota refrakterlerinin performansını arttırma.
- ✓ Çeliğe daha az $N_2 \rightarrow \underline{N}$ ve $H_2 \rightarrow \underline{H}$ geçişi,
- ✓ Çelik üzerinde yalıtım tabakası oluşturma,

CÜRUF

EAO Cürufunun; bazik karakterde, iyi köpürebilmesi ve kullanılan refrakterler ile uyumlu olması gerekir. EAO prosesi sürecince banyoya üflenen oksijen, Silisyum, Manganez, Karbon gibi elementlerin yanında bir miktar demiri de oksitler. Bazik curuf içinde FeO içeriğine göre sınıflandırılır.

Bazik Oksitleyici Cüruf

- FeO > %10
- FeO arttıkça daha da koyulaşan siyah renk
- %SiO_2 arttıkça parlak ve camsı görünüm

%CaO	%SiO_2	%FeO	%MnO	%Al_2O_3	%MgO
35-45	16-20	20-35%	3-5	4-6	6-8

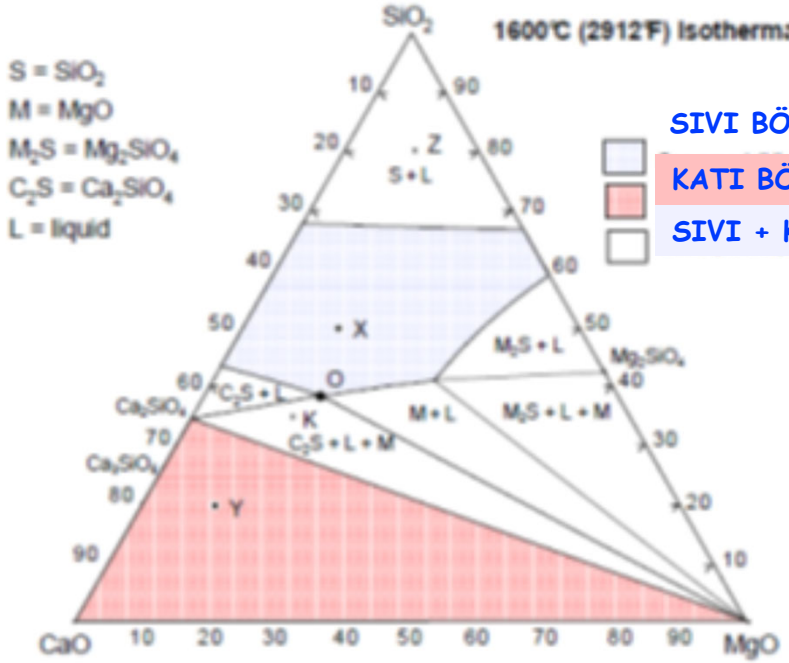
Bazik İndirgeyici Cüruf

- FeO+MnO < %5
- Beyaz cüruf
- Oda sıcaklığında ufalanma; un görünümü

%CaO	%SiO_2	%FeO	%MnO	%Al_2O_3	%MgO
45-60	20-24	2 <	2 <	8 - 10	8 - 11

CÜRUF

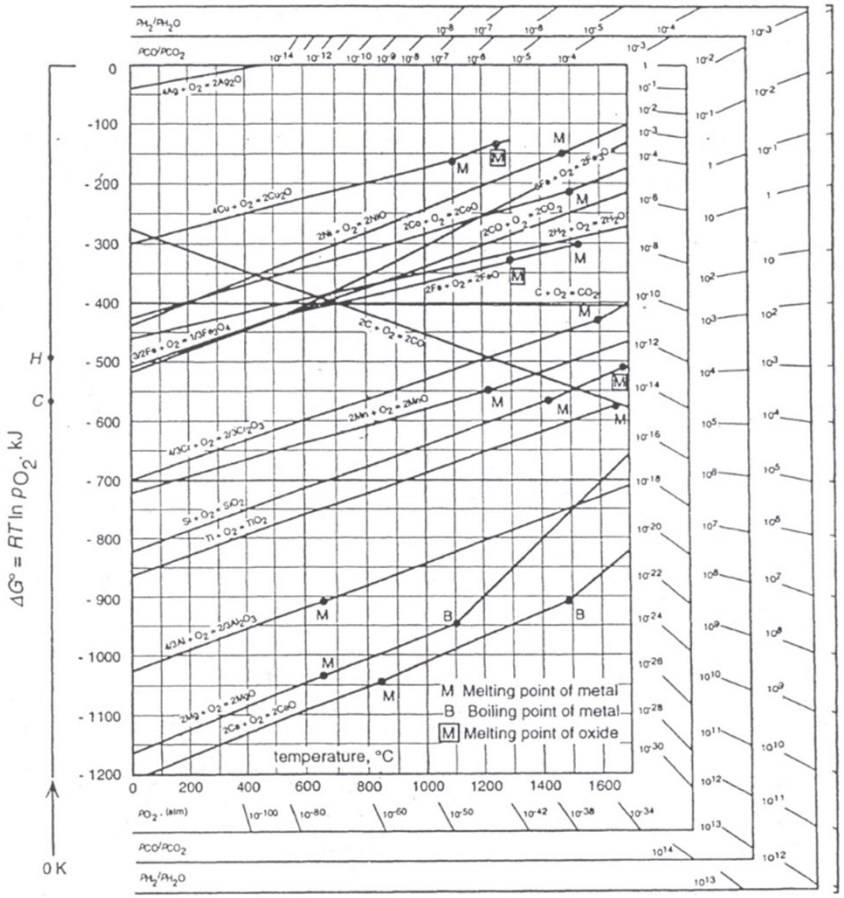
@ 1600 °C



Ref : Eugene Pretorius ;Fundemantals of EAF & Laddle Slags & Ladle Refining Principles, Baker Refractories

OKSİJEN EĞİLİMLERİ

Oksijen eğilimi , **elementlerin Oksijen'e olan ilgilerinin şiddeti** olarak ifade edilebilir. Sıvı banyo içine üflenen Oksijen gazını önce banyo içinde en yüksek Oksijen eğilimine sahip olan element oksitler. Bu elementin banyo içindeki çözünürlüğü kritik değerin altına inince ikinci yüksek Oksijen eğilimine sahip olan elementi oksitlemeye başlar ve oksitlenme bu şekilde devam eder. Elementleri oksijen eğilimleri yanda görülen Ellingham Diagramı ile özetlenir.



OKSİJEN EĞİLİMLERİ

Elementlerin oksit oluşma tepkimeleri için gerekli Gibbs Serbest Enerji, Sıcaklık ve kısmi CO basıncına göre gösteren bu şemada eğrilerin üzerinde metalin oksit hali altında ise metal hali daha kararlıdır. Bir başka anlatımla elementler yükseldikçe oksijen eğilimleri azalır. EAO süreci için önemli elementlerin sıralaması:

Kalsiyum **(En yüksek Oksijen Eğilimi)**
Alüminyum
Silisyum
Mangan
Krom
Karbon
Fosfor
Demir
Bakır
Kalay **(En düşük Oksijen Eğilimi)**

Oksitlenme Tepkimelerinin sıralaması

$2Al(l) + 2/3\ O_2(g) = Al_2O_3$

$Si(l) + O_2(g) = SiO_2$

$Mn(l) + 1/2O_2(g) = MnO$

$2C + O_2(g) = 2CO\ (g)$

$2Fe + O_2(g) = 2FeO$

FOSFOR RAFİNASYONU

Fosfor, çeliğin uzama, darbe mukavemeti gibi özelliklerini olumsuz yönde etkiler, soğuk çekilebilirliğini azaltır.

Çelik içindeki miktarı çeşitli çelik cinslerine göre değişmekle birlikte %0,05 ile sınırlandırılmıştır. Bazı kaliteli çelik cinslerinde ise %0,015'in altında olmalıdır. **Fosfor'un Oksijen eğilimi Demir'den daha fazladır**. Bu nedenle de ergitme sırasında **Oksijen ile tasfiye edilir ve kireç ile cürufa bağlanır**.

$$2P + 5O \rightarrow (P_2O5) + Isı \qquad T \leq 1570\ °C$$

Oluşan P2O5 ortamda bulunan CaO ile aşağıdaki tepkime uyarınca cürufa geçer

$$2P + 5(FeO) + 3(CaO) \rightarrow 3CaO.P_2O_5 + 5Fe + Isı \qquad T \leq 1570\ °C$$

CaO ve FeO ↑ Cürufa geçen $CaO.P_2O_5$ ↑

Isı veren tepkime; Sıcaklık ↑ Cürufa geçen $CaO.P_2O_5$ ↓

⇒ Bazik cüruf Düşük sıcaklık ⇒ **Rafinasyon Başlangıcı**

FOSFOR RAFİNASYONU

Fosfor Rafinasyonu İçin Koşullar:

- ✓ **Bazik cüruf** CaO/SiO_2 >2
- ✓ **Oksitleyici cüruf** FeO> %15
- ✓ **İnce Cüruf akışkanlığı yüksek** (gerektiğinde Fluşpat CaF_2 ilavesi)
- ✓ **1570 °C'ye gelene kadar** tamamlanmalıdır.
- ✓ **Etkin C kaynama** . Sıvı çelikte P ile C ilişkisi $\frac{\%\underline{P}^2}{\%\underline{C}^5}$ = Sabit
- ✓ **Tepkime hızını arttırmak üzere banyonun karıştırılması** oksijen enjeksiyon, yüksek kademe veya dipten karıştırma sistemi cüruf/metal tepkimelerini hızlandırır.
- ✓ **Cüruf MnO ve MgO seviyeleri düşük** olmalıdır. Cürufun %65'inin CaO, MgO ve MnO'dan oluştuğundan hareketle ilk iki bileşiğin görece artması CaO seviyesinin düşmesine ve fosfor rafinasyonunun yavaşlamasına neden olur

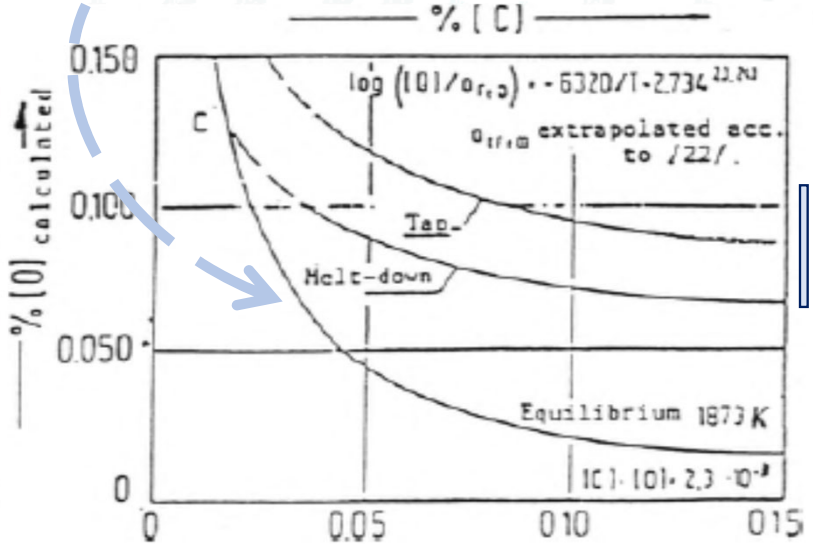
O_2/C ENJEKSİYON

Temelde Fe-C bileşiği olan **çelik ancak oksijen ile rafine edilebilir**. Oksijen genelde rafinasyon için kullanılırken, EAO cüruf kapı ağzında birken hurdanın kesilmesi ve olabildiğince çabuk metal banyo oluşturarak sürecin hızlanmasına da ilave katkıda bulunur. Oksijen enjeksiyonun kullanım amaçları:

- Çelik rafinasyonu (karbon ve fosfor giderme).
- Köpüklü cüruf oluşturulması.
- Ekzotermik tepkimeler için gerekli yakıcı.
- Cüruf/Metal banyosunun karıştırılarak tepkime yüzeyinin arttırılması ve sürecin hızlandırılması.

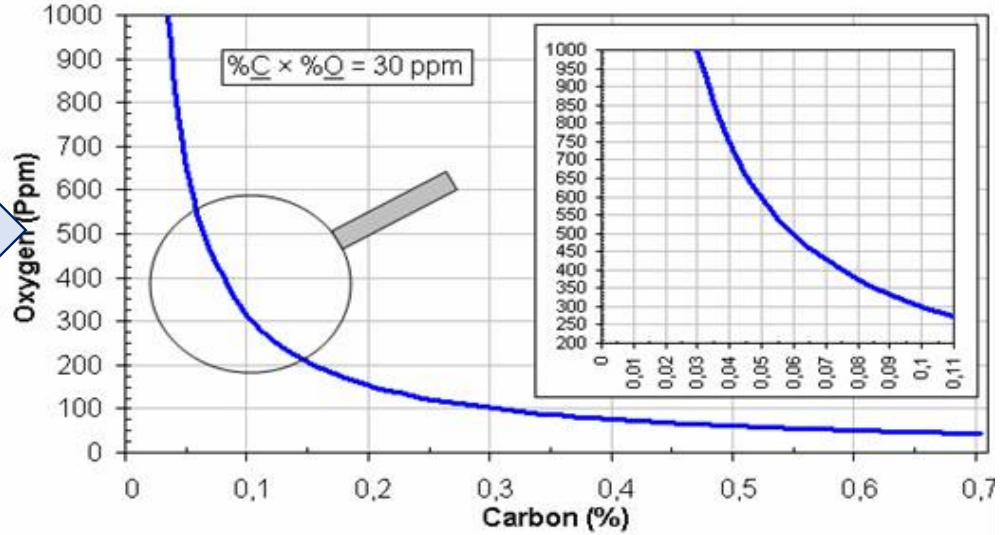
O_2/C ENJEKSİYON

%C x %O = 0,0024 @ 1600 °C ve 1 atm CO kısmi basıncı (Denge şartları)



Türkdoğan, E.T et al, 1953

EAO ŞARTLARINDA



%C x %O = 0,0028 – 0,0032 EAO şartları için daha uygundur

Banyoda çözünen O ile cürufta %FeO ile dengede olacağından, cüruf %FeO ile çelik %C ilişkisi emprik olarak

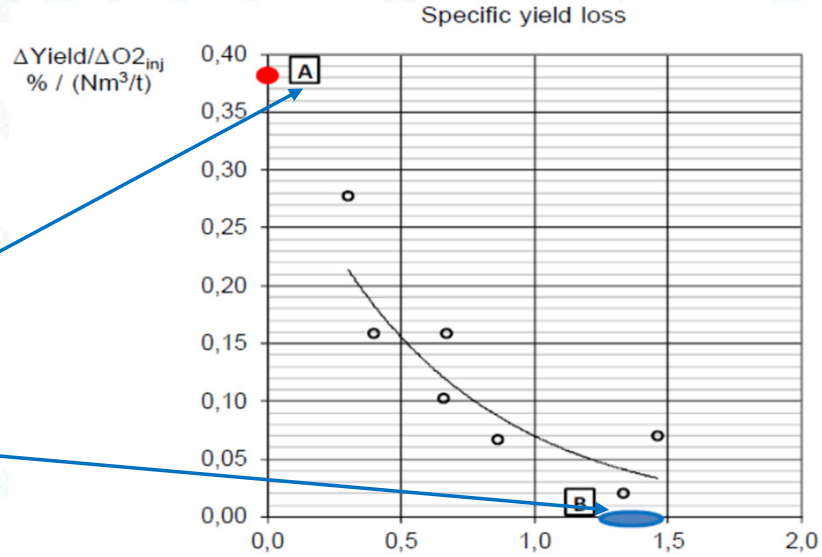
O_2/C ENJEKSİYON

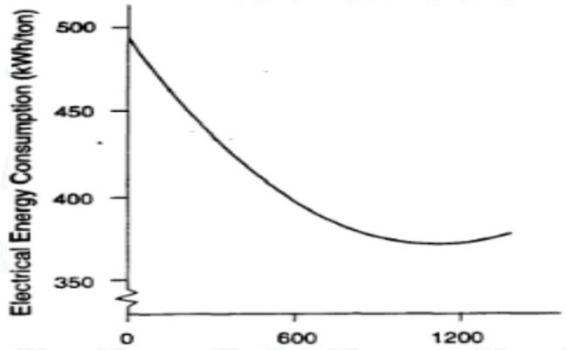
- ✓ EAO'da **rafinasyon amacıyla yaklaşık 7-9 Nm³/t** dolayında oksijen kullanılır.
- ✓ EAO **enerji girdisinin %20-30'nu sağlayan yanma tepkimeleri için yaklaşık 17-33 Nm³/t oksijen** kullanılır. **Gerekli karbon verilmeden 1 Nm³/ton karşılığında yaklaşık 4,2 kg/ton demir kaybı, ≈ %0,38 verim kaybı** hesaplanmaktadır (A noktası)

- ✓ **Verim kaybı olmaması için oksijen ile birlikte ≈ 1.35- 1.47 kg/Nm³**/ton karbon kullanılması gerekir (B noktası)

- ✓ Ancak kinetik olarak, **enjekte edilen karbonun indirgeme hızı FeO oluşum hızından daha yavaştır**. Bu nedenle **belirli bir O_2 miktarının üzerinde metalik verim kaybı kaçınılmaz** olur ve enerji kazanım eğrisi yön değiştirmeye başlar.

- ✓ Kullanılan hammadde deki C miktarı, antrasit ve C enjeksiyon ekipmanlarının **verimine bağlı olmakla birlikte 42-43 Nm³/ton üzerinde tüketimlerde** metalik verimin aşırı düşmesi nedeniyle **enerji verimliği de bozulmaya** başlar.





O_2/C ENJEKSİYON

Banyoda çözünen O ile cürufta %FeO ile dengede olacağından, cüruf **%FeO ile çelik %C seviyeleri de birbirleri ile bağıntılıdır** ve emprik olarak :

denklemi ile ifade edilebilir

$$\%\,\boldsymbol{FeO}\ (\boldsymbol{C\ddot{u}ruf}) = \frac{\mathbf{1}}{\%\boldsymbol{C}\quad(\boldsymbol{\ddot{c}elik})} + \mathbf{10} - \mathbf{12}\%$$

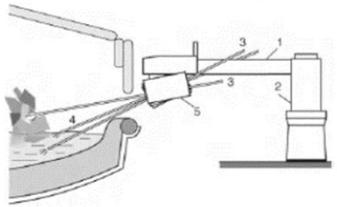
C Enjeksiyon

- ✓ EAO'da karbon **oksijen denge şartlarına yaklaşılması**,
- ✓ FeO'nun indirgenerek, **metalik verim kaybının önlenmesi**,
- ✓ **Etkin köpüklü cüruf** oluşumu,
- ✓ Banyoya karbon verilmesi (**re-karbürizasyon**),
- ✓ Cüruf metal **tepkimelerinin hızlanması**,
- ✓ EAO'dan **cürufun alınması**

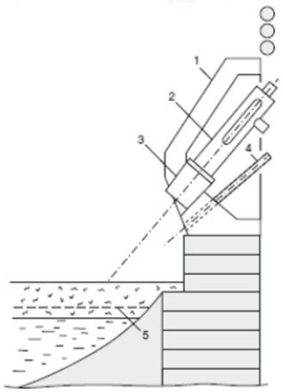
O_2/C ENJEKSİYON

OKSİJEN/C ENJEKSİYON DONANIMLARI

Su Soğutmalı Süpersonik lanslar: EAO haraketli platformu üzerinde bulunan döner kule ile çalışma pozisyonuna getirilen su soğutmalı lanslar karbon giderme, diğer rafinasyon tepkimeleri, köpüklü cüruf amacıyla kullanılır.

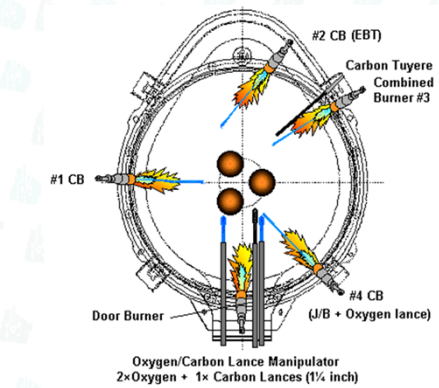


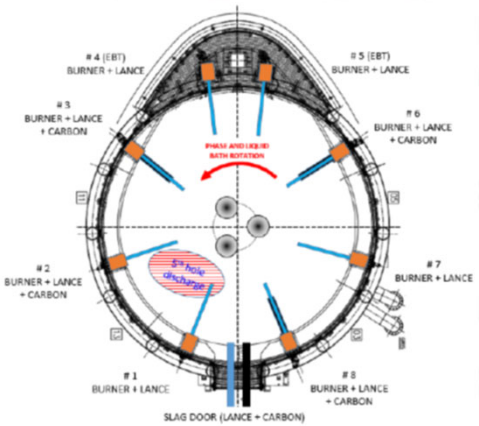
O_2/C Lans Manüplatörleri: O_2 ve C enjekte edilen seramik kaplı çelik boruları cüruf/metal banyosuna daldırmak amacıyla kullanılan sistemlerdir. Cüruf kapısı ağzında oksijen enjeksiyonunun en büyük dezavantajı açık kapıdan giren soğuk havanın enerji karşılığı ve TTT'ne ilave yük getirmesidir.



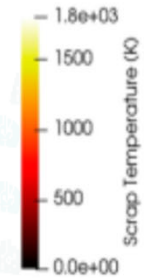
Bütünleşik Brülör, Oksijen ve Karbon Enjeksiyon Sistemleri (Kombi Brülörler) : Duvar panellerine yerleştirilen; bürülör, zenginleştirilmiş oksijen

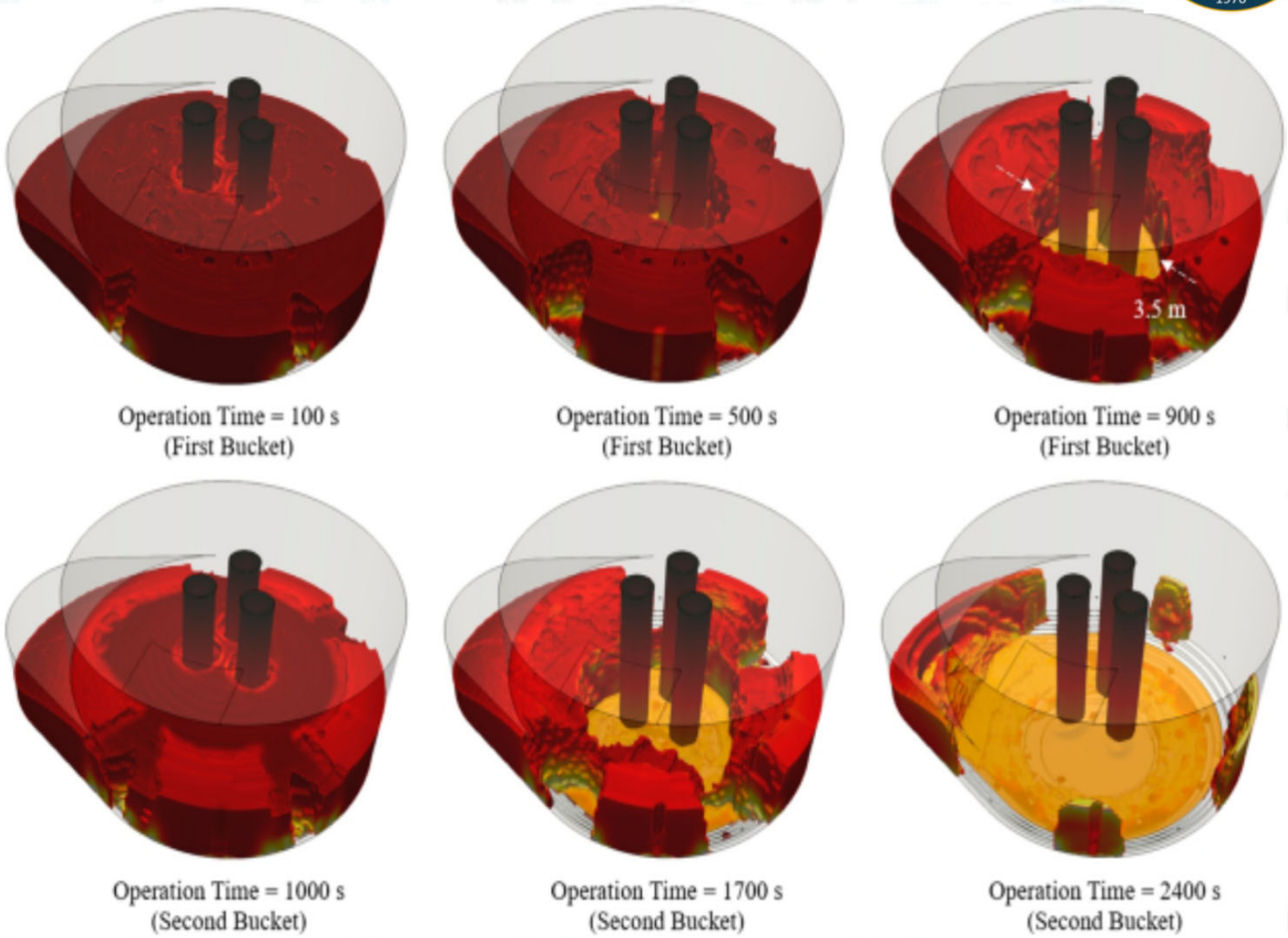
O_2/C ENJEKSİYON





 # 3 CB
C Enjeksiyon





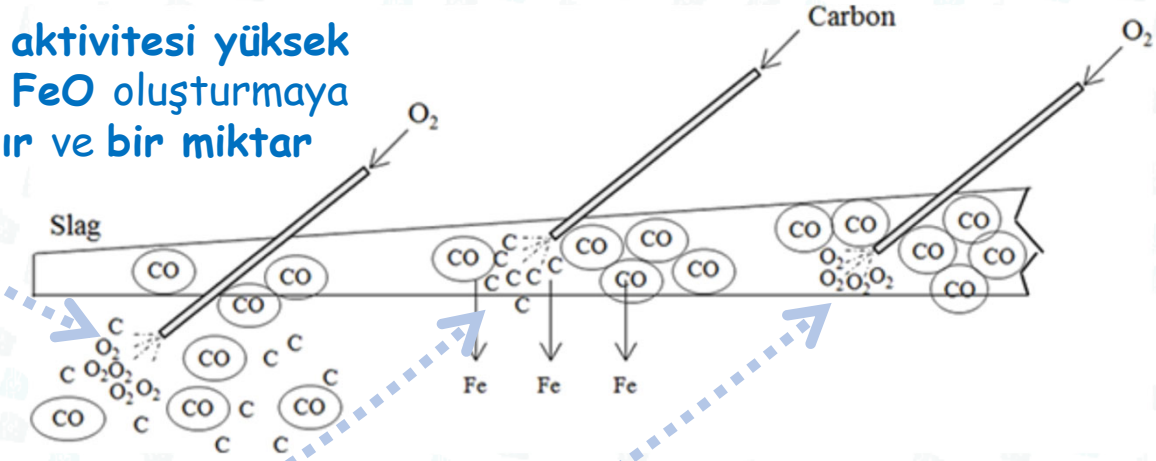
Ref : Chen Yuchao, Ryan Steve, K. Silaen Armin, Q. Z Chen ; Simulation of Scrap Melting Process in AC Electric Arc Furnace

KÖPÜKLÜ CÜRUF

Banyoya oksijen verilmesi ile öncelikle **kararlı oksit bileşenleri oluşturan elementler** yanmaya başlar. Oksidasyon tepkimeleri kütle, ısı transfer dinamikleri ile belirlenen aşağıdaki aşamalarla ilerler

1. Banyoya verilen **oksijen karbon parçacıkları ve aktivitesi yüksek demir** ile tepkimeye girerek **CO baloncukları ve FeO** oluşturmaya başlar bu arada banyonun **Si seviyesi hızla azalır** ve **bir miktar MnO** oluşumu da eşzamanlı ilerler:

$$2C + O_2(g) = 2CO$$
$$Fe + 1/2O_2(g) = (FeO)$$



2. Cürufun FeO seviyesinin artışına bağlı olarak **FeO C tarafından indirgenerek demir metal banyosuna geri dönmeye başlar**

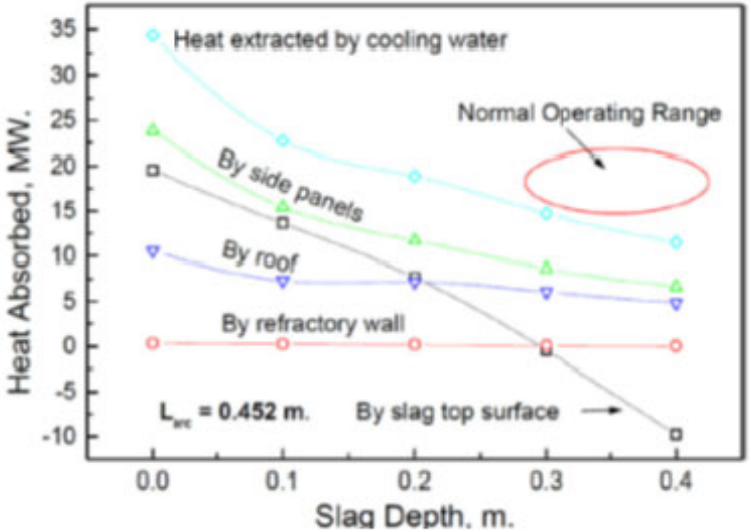
$$(FeO) + C = CO + Fe$$

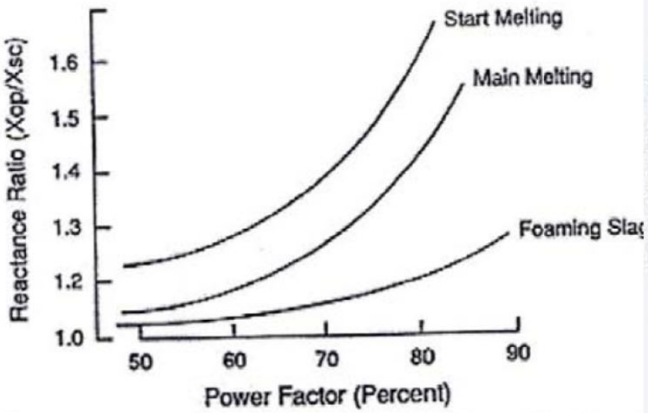
3. Cüruf miktarı/seviyesi artıkça birlikte enjekte edilen oksijen ve karbon **daha yoğun CO baloncukları oluşumu ile, cürufun köpürmesi/kabarması etkinleşir**

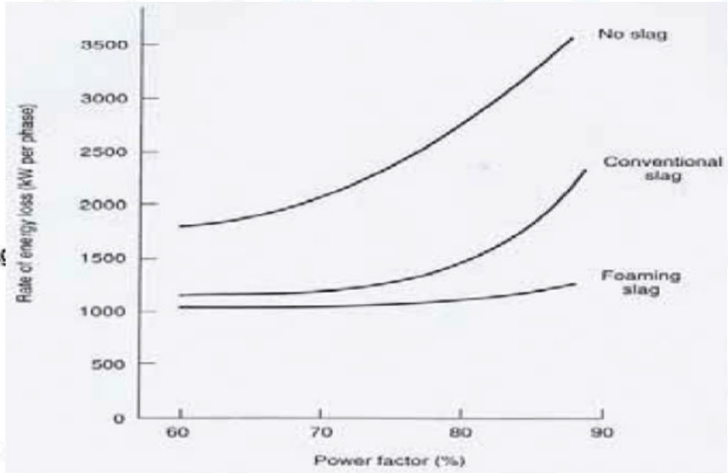
$$2C + O_2(g) = 2CO$$

KÖPÜKLÜ CÜRUF

EAO'da O_2/C enjeksiyonu sonucunda cüruf-metal ara yüzeyinde **oluşan CO baloncukları** oksidasyon tepkimeleri ile hacimce artan **cürufun içinde hapsolarak cürufun kabarmasına** ve zamanla **arkı perdeleyerek, içine gömmesine** neden olur. **Arkın cüruf tarafından perdelenmesi** su soğutmalı duvar panelleri yansıyan ışınım (radyan) ve cüruf yüzeyinden olan **ısı kayıpları azaltarak termal verimi arttırır ve ark enerjisinin banyoya daha etkin transferini** sağlar:



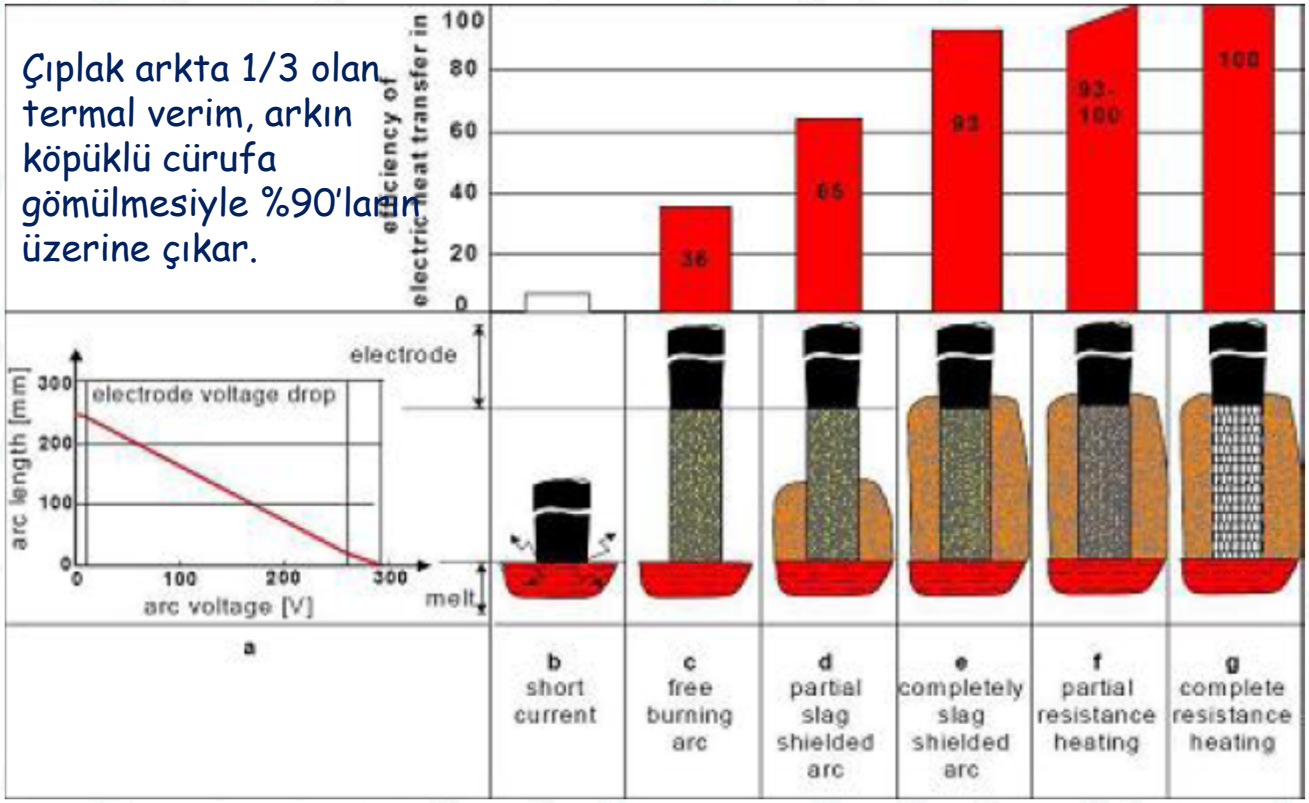


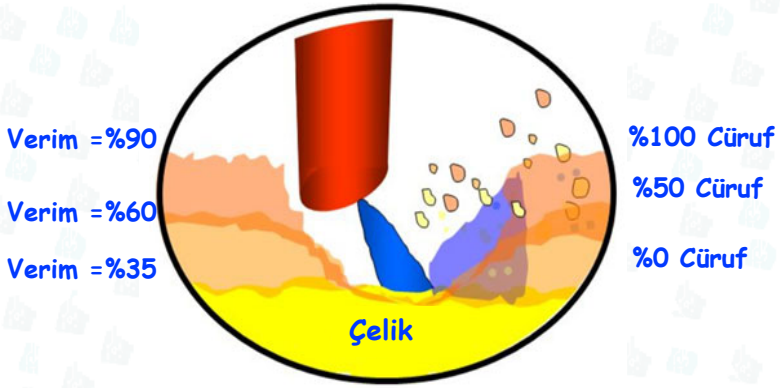


Ref : Hans-Jürgen Odenthal, Andreas Kemminger, Fabiar Krause, Lukas Sankowski, Norbert Uebber, Nobert Vogl, Review on Modelling and Simulation of the EAF

KÖPÜKLÜ CÜRUF

Çıplak arkta 1/3 olan termal verim, arkın köpüklü cürufa gömülmesiyle %90'ların üzerine çıkar.





Ref : Matti Aula, Juho Haapakangaz, Anne Heikkilä, Mikko Iljana ; Some Environmental Aspects of BF, EAF and BOF

KÖPÜKLÜ CÜRUF

Vizkosite : Viskositesi düşük sıvılarda baloncuklar sıvıyı çabuk terkederek köpürme oluşturmaz, yüksek viskositeli sıvılarda ise baloncuklar oluşumaz.

Baziklik: Cüruf **CaO veMgO viskositeyi arttırır SiO_2, Al_2O_3, FeO, MnO ve CaF_2 akışkanlığı arttırarak cürufu inceltir**; özellikle üst katmanlarda baloncuklar gelişemeden cüruf terk eder.

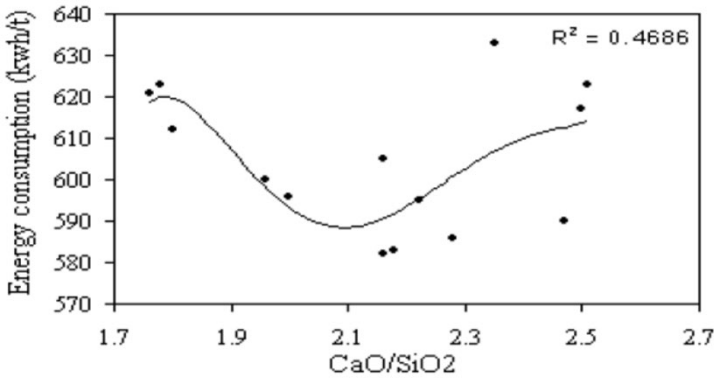
FeO seviyesi: Düşük (FeO <%10) cürufun vizkozitesini arttırırdığı, yüksek FeO ise (>%40) cürufu fazla incelterek vizkositeyi düşürdüğü için köpüklenmeyi önler. Cürufun FeO seviyesi banyoya giren O_2 İle C arasında kurulan dengeye bağlıdır. Süreç içersinde C denegesi bozulur ve sıcaklığı yükselirse cüruf incelir (FeO yükselmesi nedeniyle akışkanlığının artması) ve köpürme sönmeye başlar, baloncukların askıda kalma süresi azalır ve köpüklenme söner, bu noktadan sonra C arttırılsa bile etkin köpüklenme sağlanamaz.

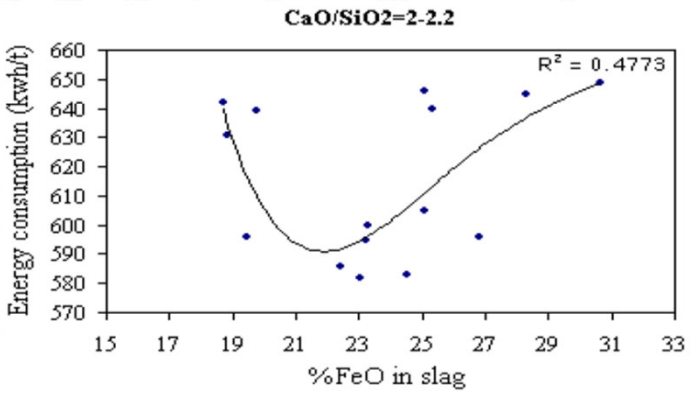
KÖPÜKLÜ CÜRUF

Araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda köpüklü cüruf için en uygun şartlar:

Baziklik ≈ 2 – 2,2

FeO≈ %20 – 25 olarak bulunmuştur.





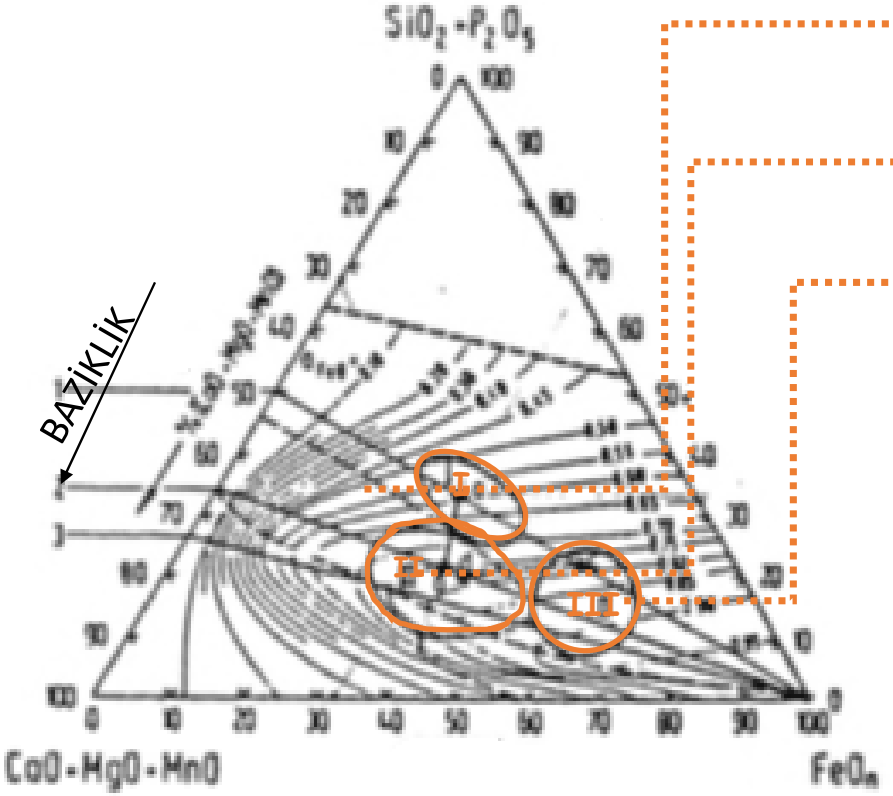
Ref : Kipepe T.M., Pan X ; Importance and Effect of Foaming Slag on Energy Efficiency

KÖPÜKLÜ CÜRUF

Askıdaki maddeler: Cüruf içersindeki **askıdaki katı bileşenler (Ca_2SiO_4 veya MgO.FeO gibi) baloncuklar için çekirdeklenme yüzeyi oluşturarak** daha fazla mini baloncuğun oluşumuna neden olur. Oluşan mini baloncuk sayısı bir seviyeye kadar kabarcıkların banyoda kalma süresini ve kararlılığını arttırır **ancak doygunluk seviyesinin üstüne geçtiğinde ise ters yönde etki yapar**. Cürufta tepkimeye girmeden **serbest halde dolaşan karbon parçacıkları ise hidrofobik (düşük ıslanma kabileyeti) özellikleri ile köpük yüzeylerinde yırtmaya** neden oldukları için olumsuz etki eder. Dolayısıyla sistemdeki FeO /C dengesinin iyi gözetilmesi gerekir

Sıcaklık : Cüruf **sıcaklığı arttıkça köpüklenme kabiliyeti düşer**.

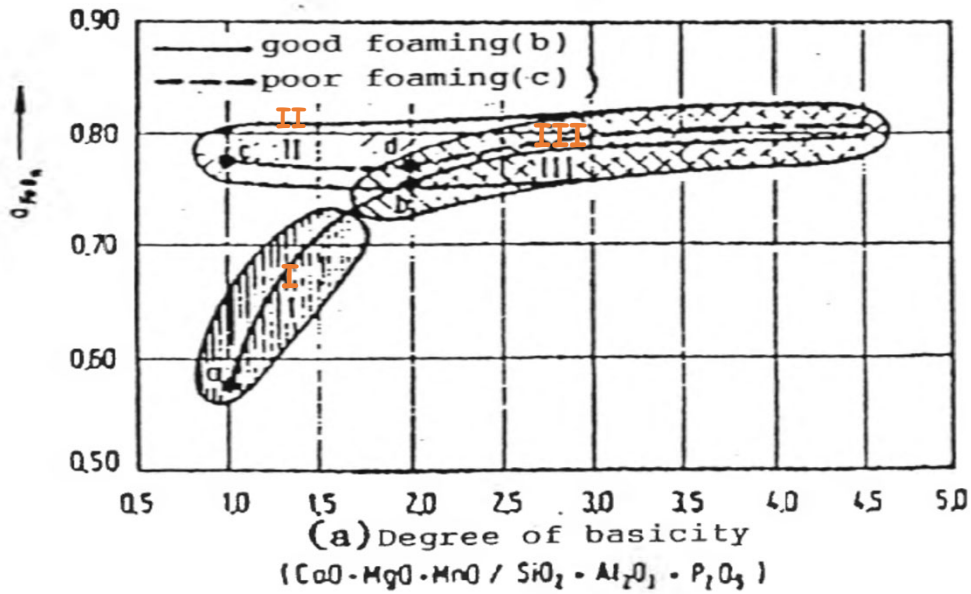
KÖPÜKLÜ CÜRUF



I. Bölge: **Uygun baziklik, FeO görece düşük, Cüruf viskozitesi uygun;** homojen eşadağılımlı/düzenli köpüklü cüruf alanı.

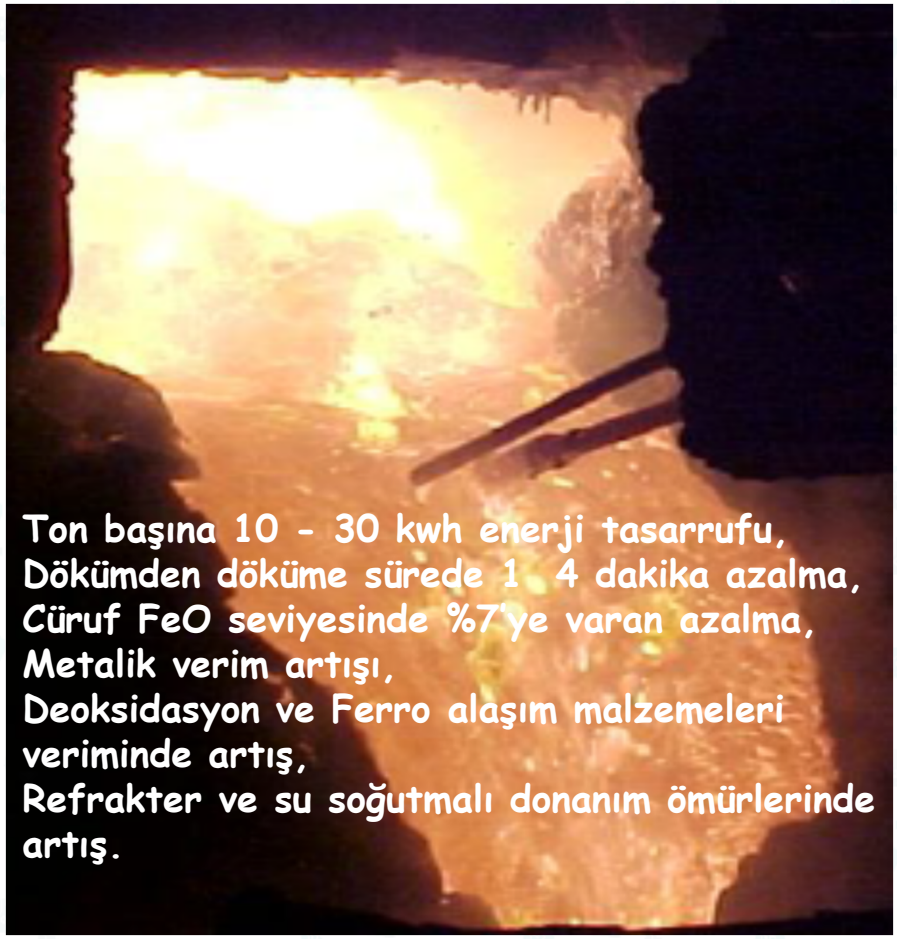
II. Bölge: **Baziklik yüksek, FeO yüksek, viskozite düşük; köpüksüz cüruf** bölge.

III. Bölge: **Ca2SiO4 ve MgO.FeO çökelme** bölgesi, cüruf **vizkositesi yüksek, FeO yüksek (C kaynaması az) ; düzensiz/kararsız köpüklü cüruf** bölgesi.

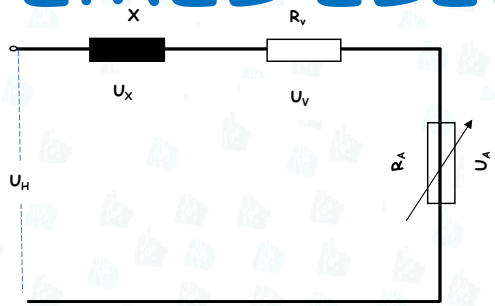


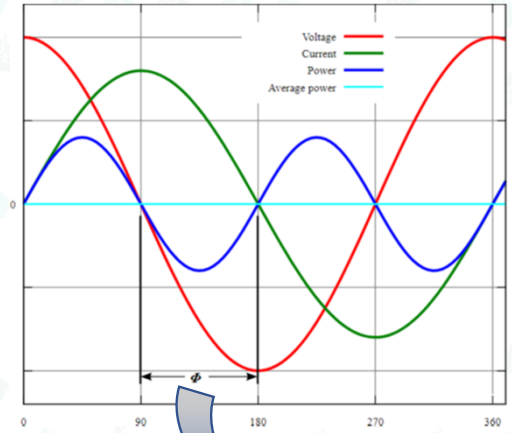
Ref : Arief Bustaman Soeparto ; The Effect of Oxygen-carbon Injection on EAF Efficiency

KÖPÜKLÜ CÜRUF

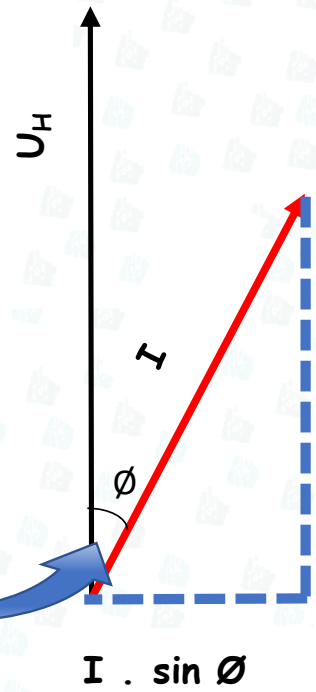


EAO TEMEL ELEKTRİK





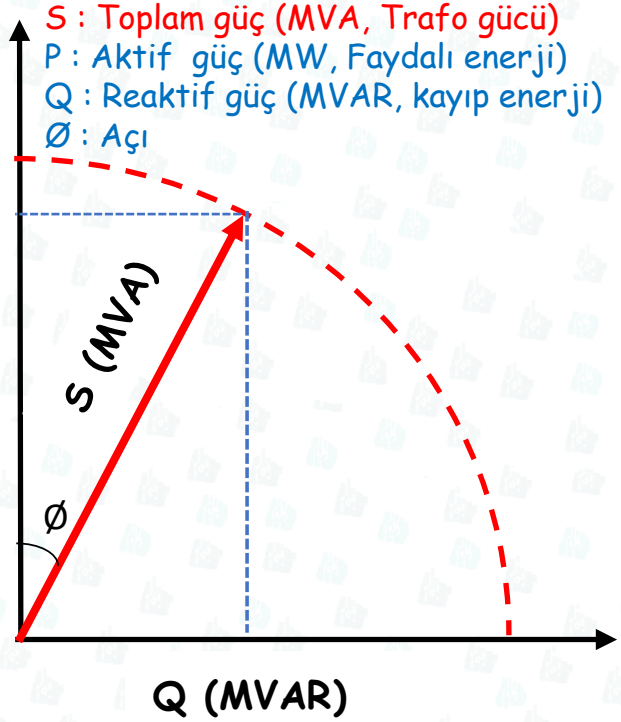
ARK PLAZMASININ GECİKMELİ İYONİZASYONU ARK GERİLİMİ İLE AKIMI ARASINDA FAZ FARKI



I . COS Ø

P (MW)

S : Toplam güç (MVA, Trafo gücü)
P : Aktif güç (MW, Faydalı enerji)
Q : Reaktif güç (MVAR, kayıp enerji)
Ø : Açı



EAO TEMEL ELEKTRİK

Toplam Güç (S -Toplam trafo gücü)

$$S = \sqrt{3} \times U_{sec} \times I_{sec}, \quad S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

U_{sec}: Sekonder Gerilim (V), I_{sec}: Sekonder Akım (kA)

Aktif Güç (P)

$$P = \sqrt{3} \times U_{sec} \times I_{sec} \times \cos\varphi, \quad \text{or } P = S \times \cos\varphi \quad \text{and } P = P_a + P_r$$

$$P_a = 3 \times I_a^{\,2} \times R_a$$

$$Pr = 3 \times I \times R$$

Reaktif güç (Q)

$$Q = \sqrt{3} \times U_{sec} \times I_{sec} \times \sin\varphi, \quad \text{or } Q = S \times \sin\varphi \quad \text{and } Q = 3 \times I_{sec}^{\,2} \times X$$

X: Hat reaktansı

EAO TEMEL ELEKTRİK

EAO Çalışma Aralığı Sınırları:

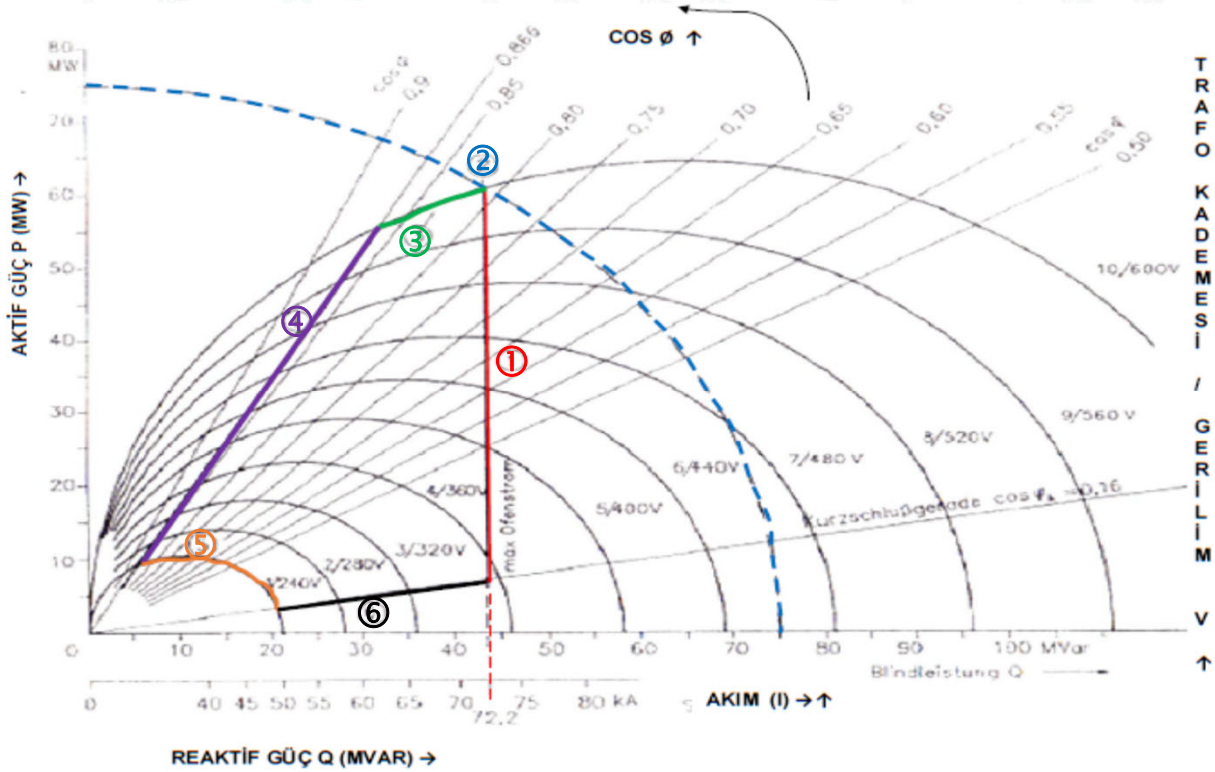
1. **Maksimum Akım:**

   Aşağıdaki Eşitlikle Bulunur:

$$I_{max} = \frac{S_N}{\sqrt{3}\,U_{max}}$$

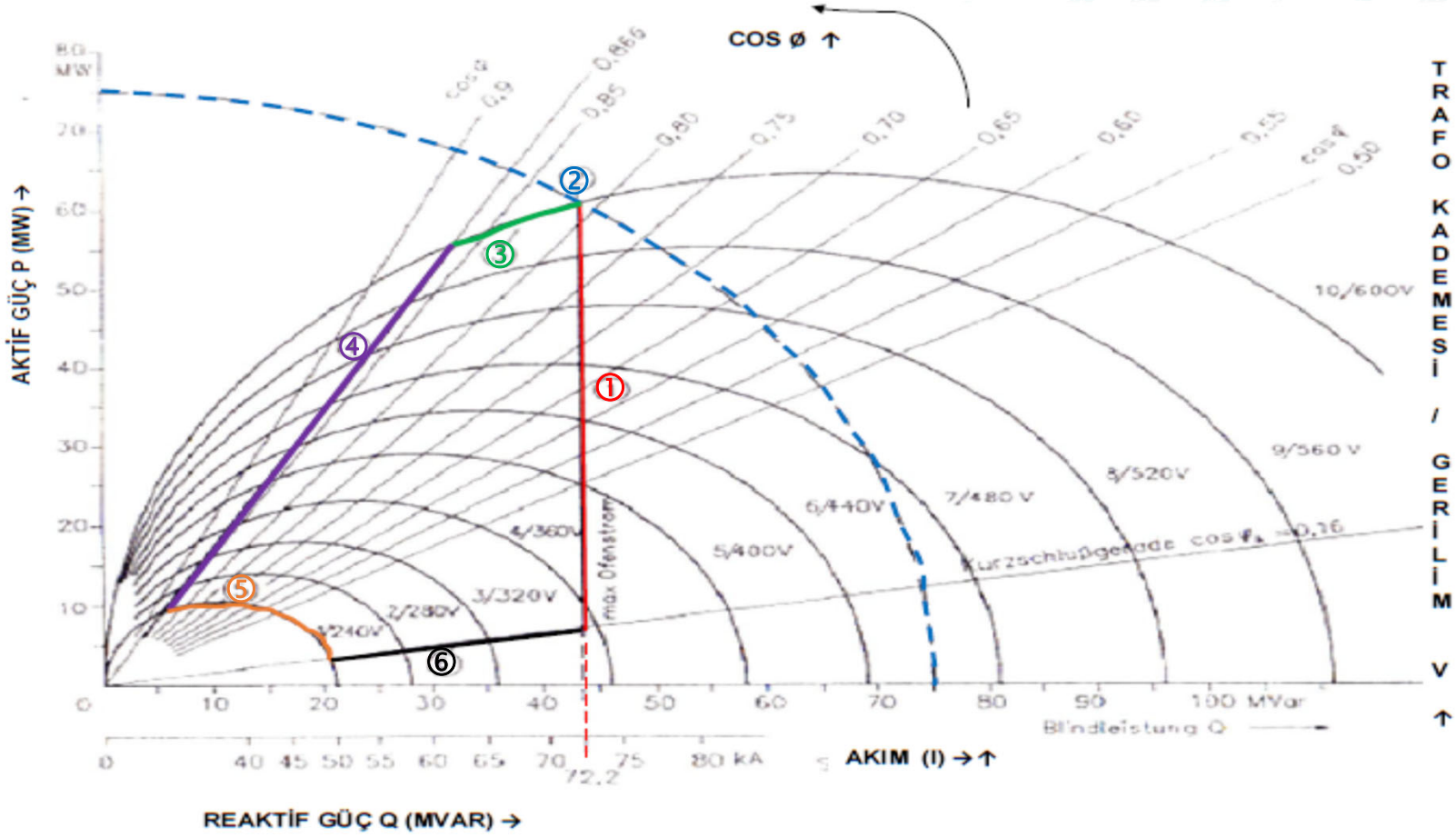
   I_{max} = En yüksek akım (kA)
   S_N = Trafo Gücü (MVA)
   U_{max} = En yüksek faz-faz gerilimi

2. **Trafo Gücü**
3. **Maksimum Faz-Faz Gerilimi**
4. **Kararlı Çalışma Seviyesi (Cos Ø < 0,87)**
5. **Minimum Sekonder Gerilim**
6. **Kısa Devre Sınırı**



Ref : Prof. Dr. Ing. Klaus Timm, Circle Diagram of Arc Furnaces, International Seminar Electric Engineering of Arc Furnaces

EAO TEMEL ELEKTRİK



EAO TEMEL ELEKTRİK

Eski EAO ergitme pratiğinde hedef **olabildiğince düşük sistem reaktansı** ile çalışarak (**minimum reaktif güç**) sisteme aktif enerji girişini arttırmak idi. Ancak düşük gerilim seviyeli ocaklar için geçerli bu yöntem **yüksek gerilim seviyelerinde** sistemde kararsızlığa yol açar. Trafo **gerilim kademesi arttıkça akım değeri düşmekte, ark boyu uzayarak ark çakma/ateşleme sınırına yaklaşmakta** ve bu sınırın altına düşünce ark kopmasına neden olmaktadır. Aşağıda referansı verilen bir çalışmada kararlı ark oluşum sınırı kabaca şu denklem ile ifade edilmiştir.

Ref:The limit of stable arc ignition in arc furnace operation, Peter Muller

Ark Çakma/Ateşleme Akımı

$$Imin = \frac{U}{\sqrt{3}} * \sqrt{\frac{1}{Xkd^2} - \frac{1^2}{Xkd * Xort}}$$

X_{kd} = toplam kısa devre reaktansı

X_{ort} = ortalama operasyonel reaktans

Ortalama çalışma reaktansı :

- Seçilen **trafo kademesi** (V & I kombinasyonu)
- **Hurda yoğunluğu,**
- **Banyo sıcaklığı,**
- **Curuf miktarı ve kompozisyonu,**
- **Elektrod regülasyon sisteminin hassasiyeti ve tepki hızı,**
- **Elektrod taşıyıcı sistemin mekanik dayanıklılığı,**

EAO TEMEL ELEKTRİK

ÖRNEK TRAFO VE REAKTÖR KADEMELERİ

SABİT GÜÇ

KADEME	GÜÇ (VA)	PRİMER GERİLİM (V)	PRİMER AKIM (A)	SEKONDER GERİLİM	SEKONDER AKIM (A)	Ucc %
16	156000	34500	2611	1353	66568	10.06
15	156000	34500	2611	1319	68284	10.93
14	156000	34500	2611	1286	70036	11.81
13	156000	34500	2611	1247	72227	12.68
12	156000	34500	2611	1211	74374	13.56
11	156000	34500	2611	1176	76587	14.43
10	156000	34500	2611	1137	79187	15.38
9	151021	34500	2527	1101	79187	16.25
8	146350	34500	2449	1067	79187	17.13
7	141254	34500	2364	1030	79187	18.00
6	136500	34500	2284	995	79187	18.88
5	132056	34500	2210	963	79187	19.75
4	127892	34500	2140	932	79187	20.63
3	123893	34500	2073	904	79187	21.50
2	120305	34500	2013	877	79187	22.38
1	116361	34500	1947	848	79187	23.25
0		34500	0			

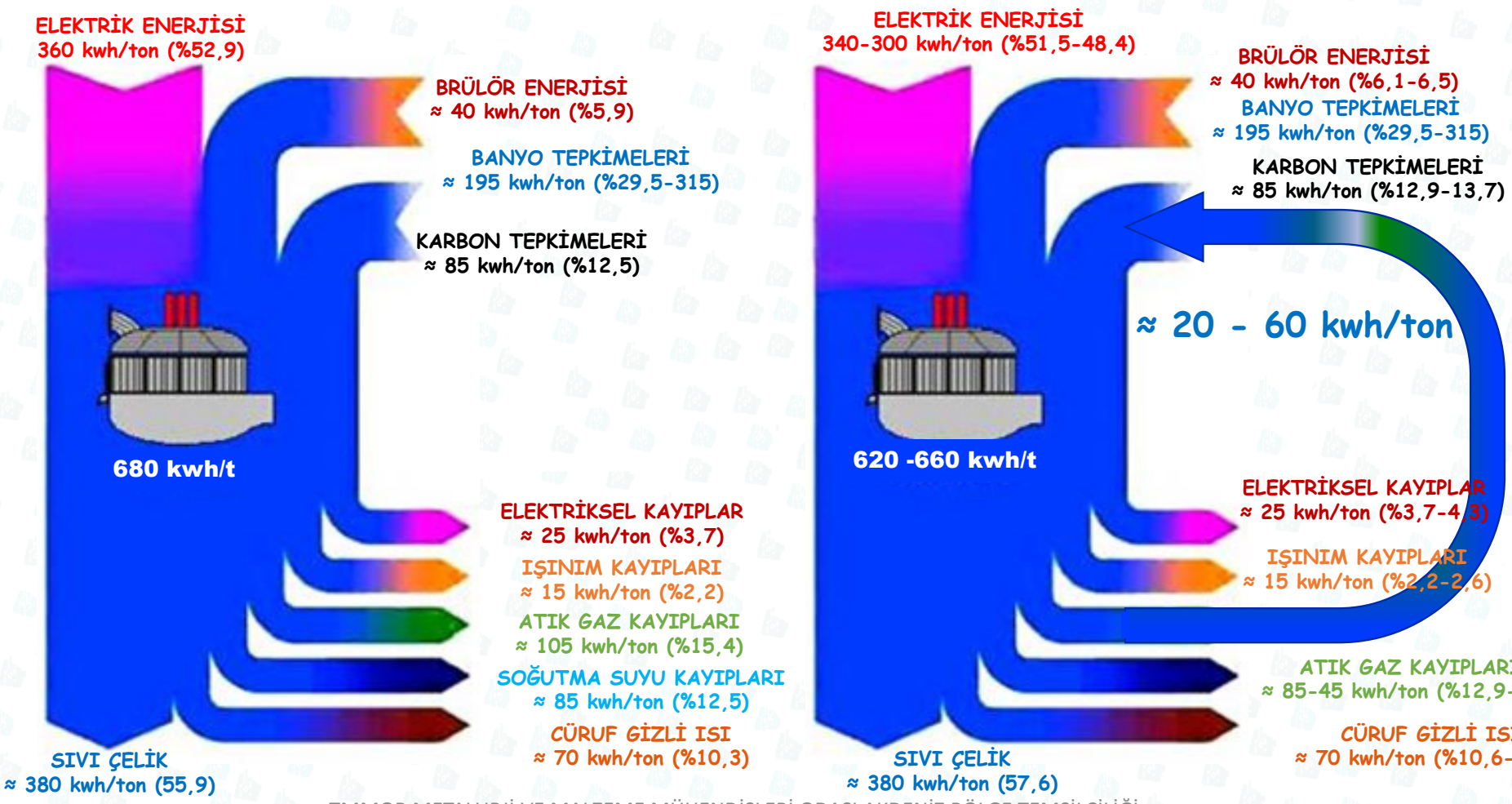
SABİT AKIM

KADEME	KVAR	Nominal Gerilim kV	Akım (A)	Reaktas Değeri (Ω)
10	37600	34.5	1507	1.84
9	32900	34.5	1507	1.61
8	28200	34.5	1507	1.38
7	23500	34.5	1507	1.15
6	18800	34.5	1507	0.92
5	14100	34.5	1507	0.69
4	9400	34.5	1507	0.46
3	6850	34.5	1507	0.32
2	4230	34.5	1507	0.21
1	987	34.5	1505	0.05

EAO ENERJİ DENGESİ

ATIK GAZLARDAN ≈100 – 110 kwh/ton ISI KAYBI

EAO ENERJİ DENGESİ



ATIK ISI GERİ KAZANIMI

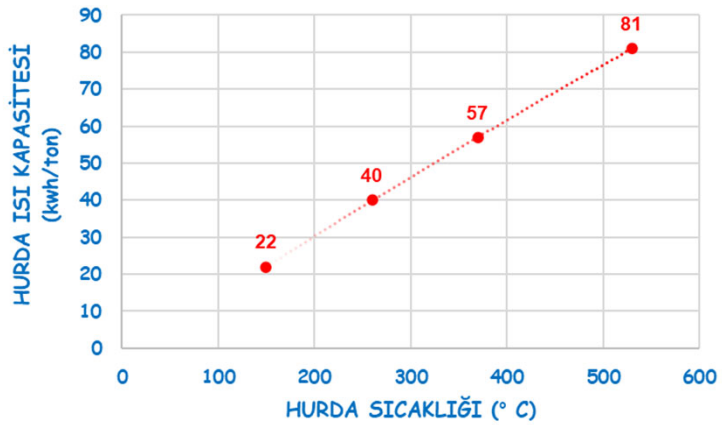
Gazların ≈ 105 kwh/ton atık ısısının bir kısmını geri kazanmak için:

- Kazanılan enerjinin EAO'da kullanıldığı **Hurda Ön Isıtma Sistemleri (HÖI)**
- Kazanılan enerjiden b**uhar veya sıcak su** elde edildiği sistemler

HURDA ÖN ISITMA (HÖI)

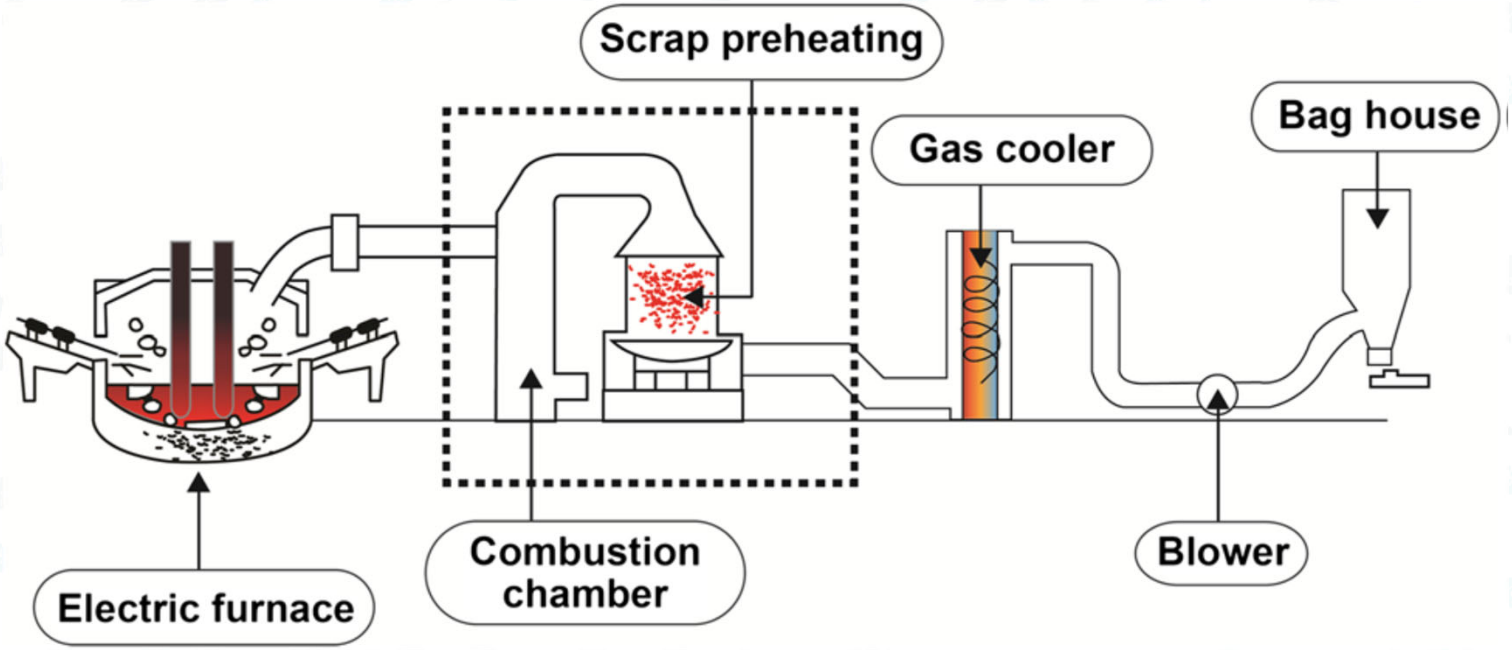
Hurda ısı kapasitesi ve **geri kazanılacak enerji miktarı**:

- ***yığınsal yoğunluk,***
- ***Boyut,***
- ***Yüzey/kütle oranı,***
- ***Miktar,***
- ***Atık gaz sıcaklığı,***
- ***Isıtma süresine*** bağlıdır

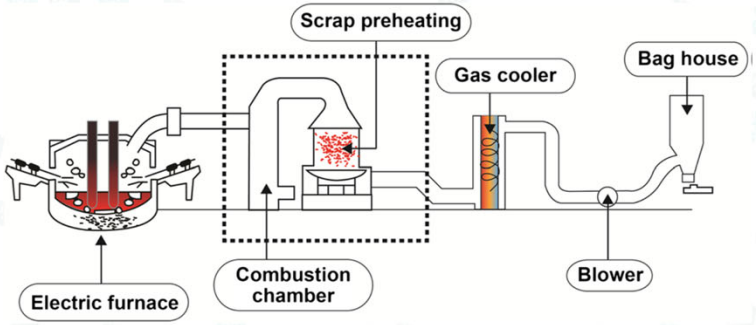


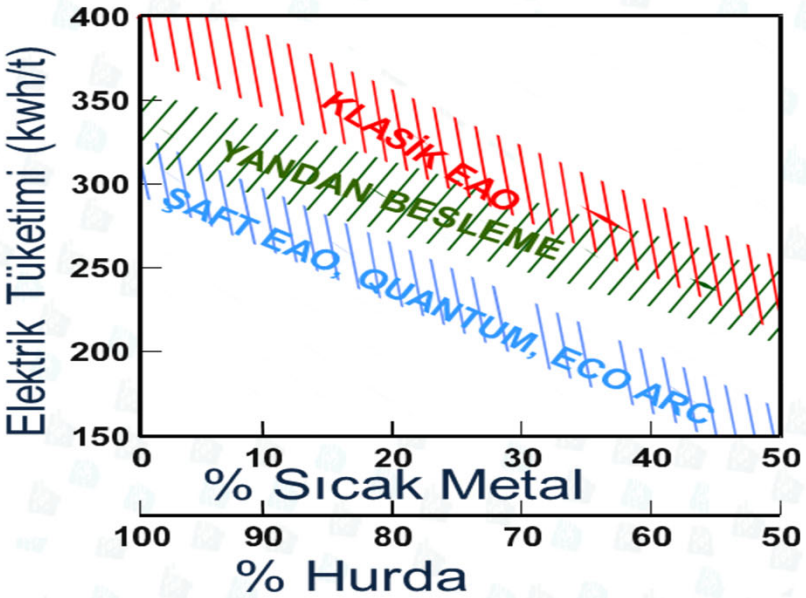
HURDA ÖN ISITMA

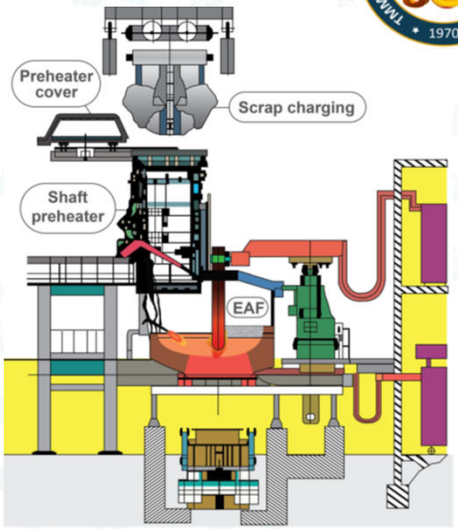
İlk jenerasyon HÖI sistemleri klasik EAO'dan çıkan sıcak gazların hurda sepetlerinin yerleştirildiği hücrelerden geçirildiği hücre tipi / harici ön ısıtma sistemleridir :

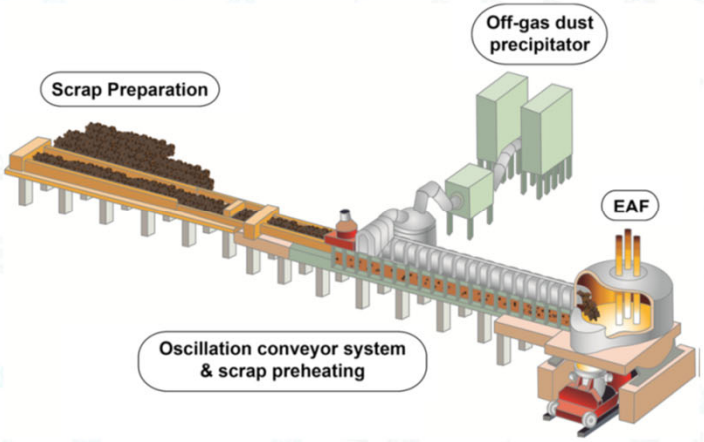


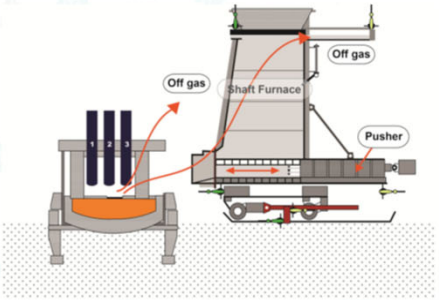
HURDA ÖN ISITMA

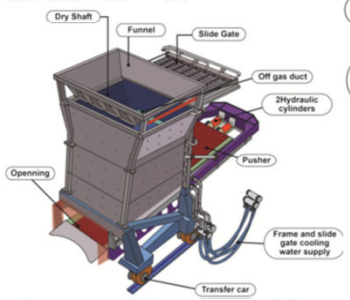


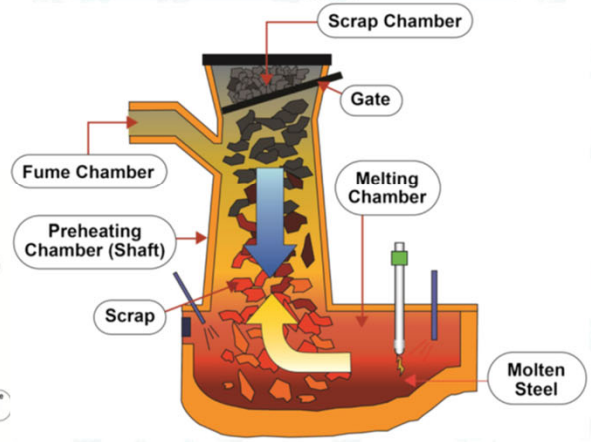










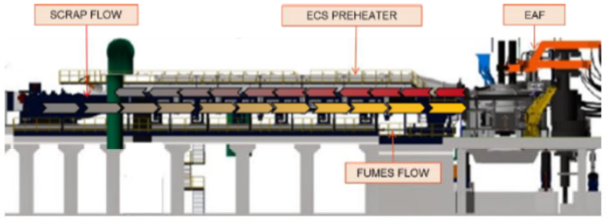


HURDA ÖN ISITMA

ECS® PREHEATING PROCESS DANIELI

Horizontal Charging System

The DANIELI ECS® provides continuous charging of the scrap into the EAF and preheating of the scrap by recovery of waste gas thermal energy



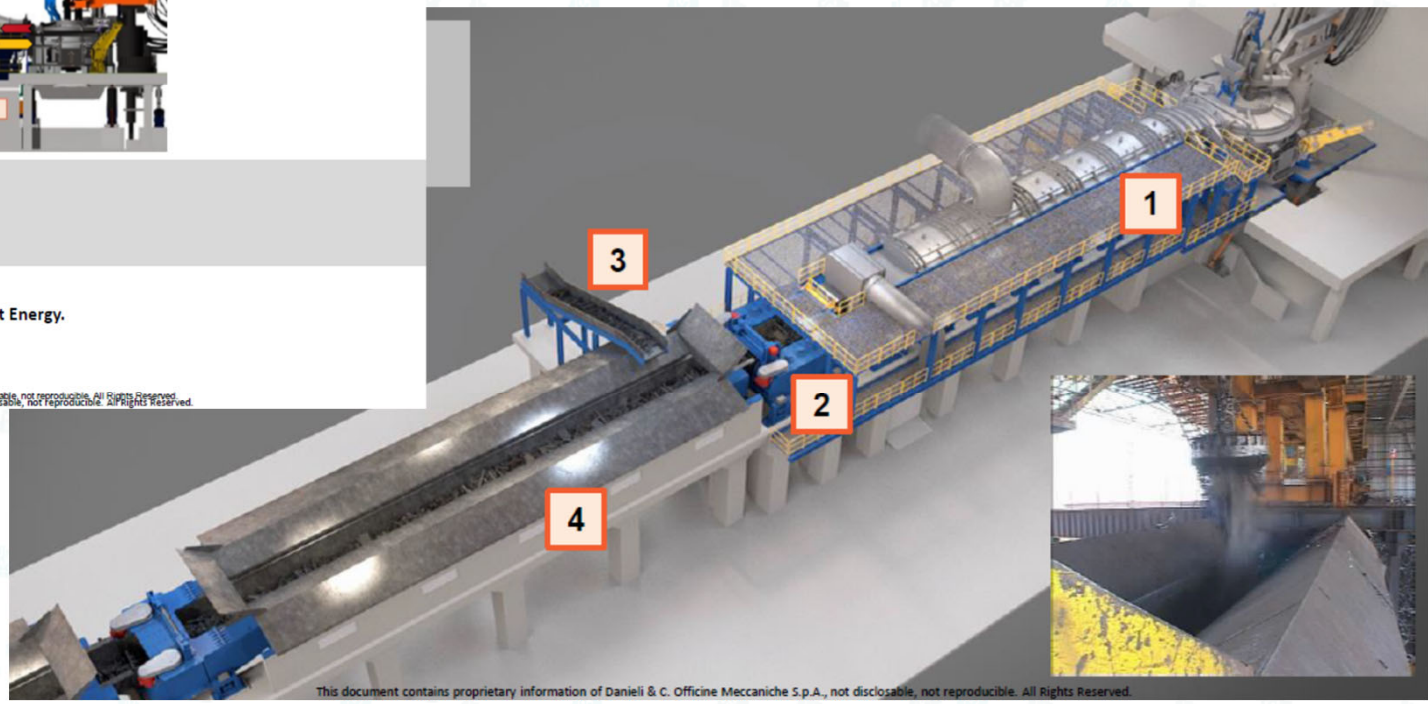
Benefits

- Continuous charging of the scrap by horizontal conveyor
- Efficient scrap preheating resulting to average scrap temperature to enter to the EAF up to **350°C**

Consequences

- Reduced Energy Consumption: up to **-20 ÷ -50 kWh/t** considering total **Equivalent Energy.**
- Improved transformation cost
- Improved EAF productivity
- Reduced impact on the Electrical network

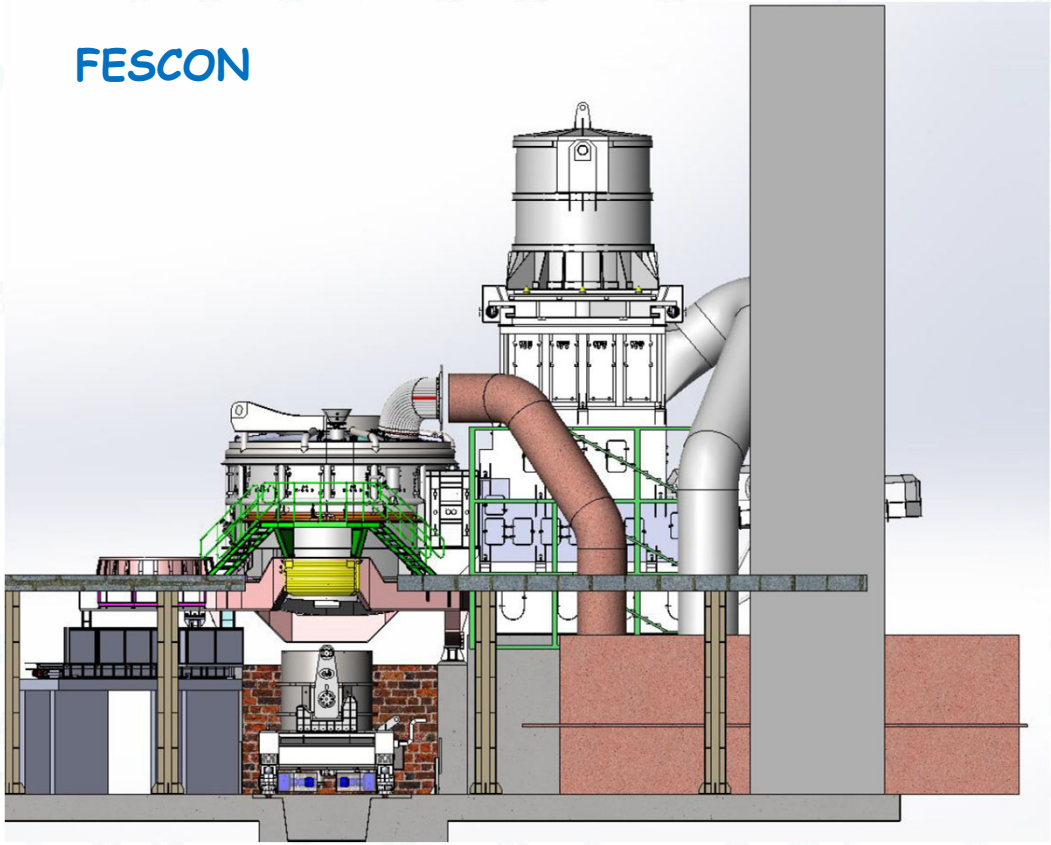
This document contains proprietary information of Danieli & C. Officine Meccaniche S.p.A., not disclosable, not reproducible. All Rights Reserved.
This document contains proprietary information of Danieli & C. Officine Meccaniche S.p.A., not disclosable, not reproducible. All Rights Reserved.

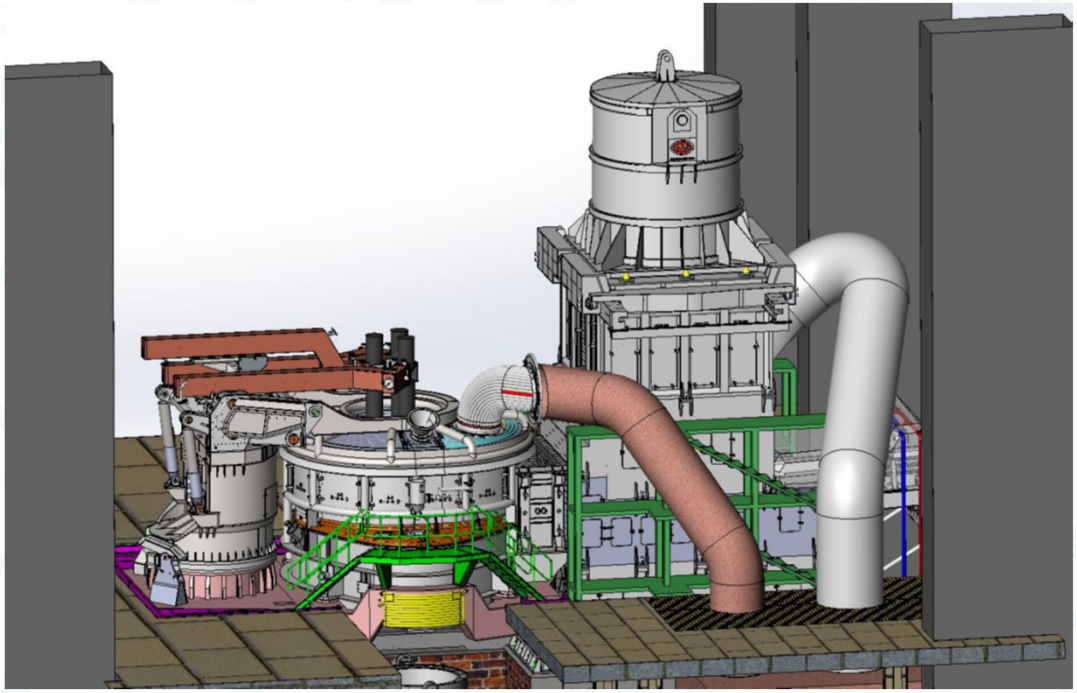


This document contains proprietary information of Danieli & C. Officine Meccaniche S.p.A., not disclosable, not reproducible. All Rights Reserved.

HURDA ÖN ISITMA

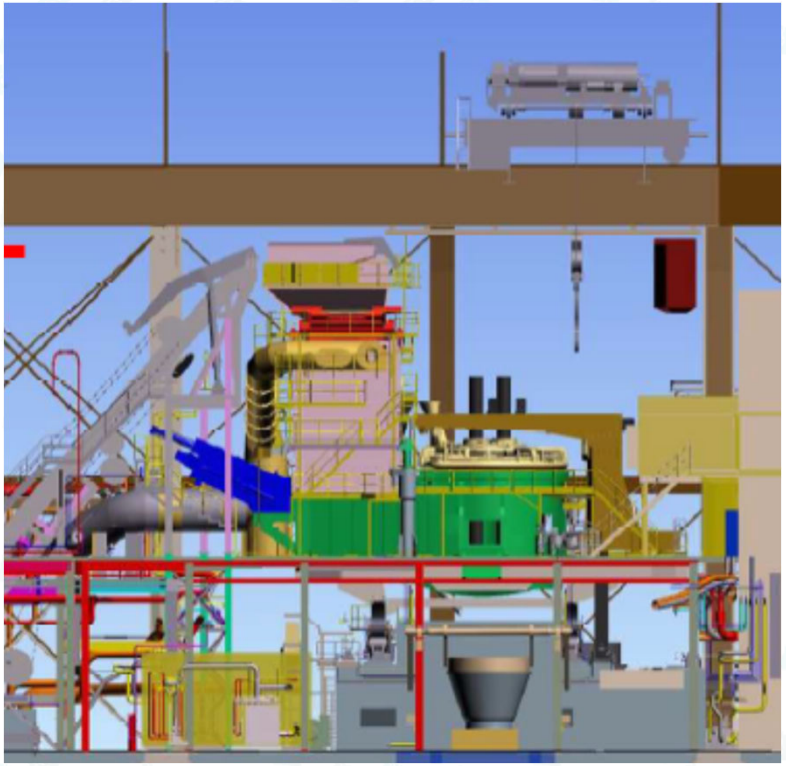
FESCON





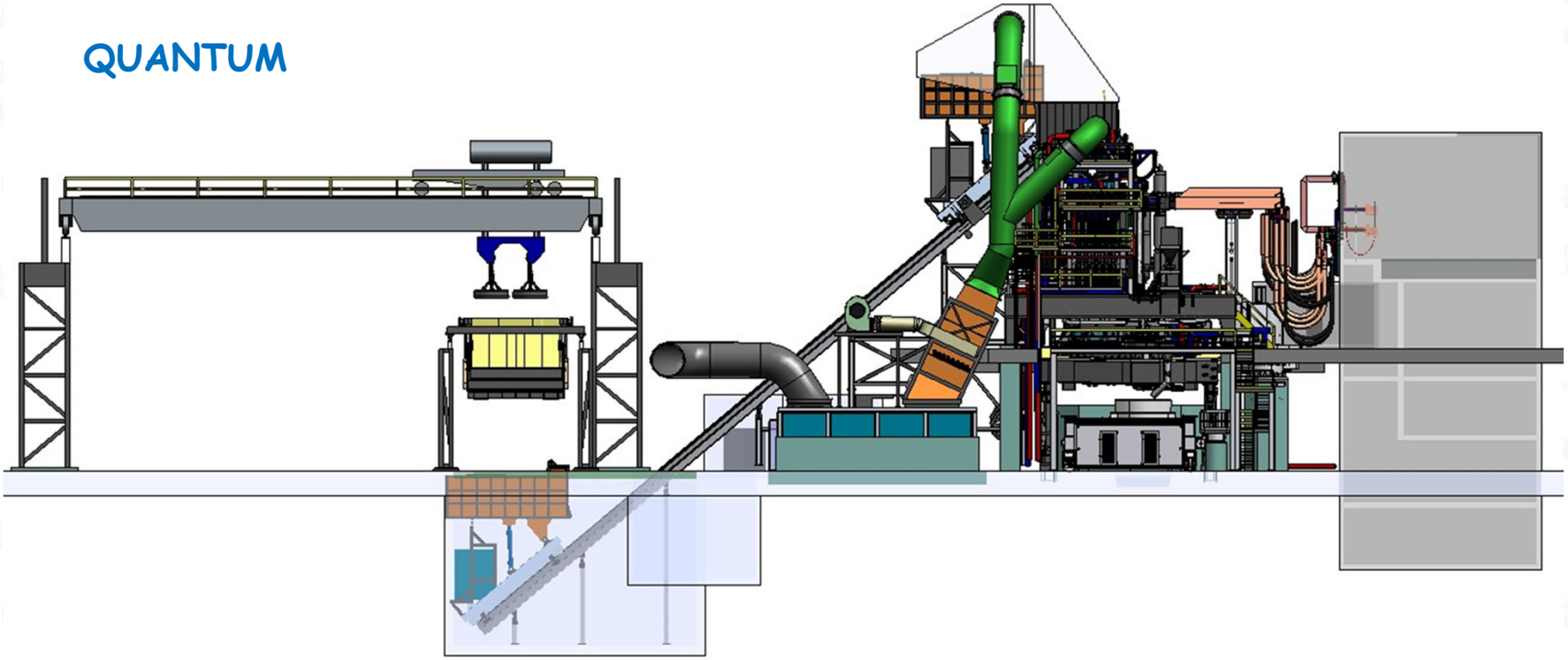
HURDA ÖN ISITMA

ECOARC

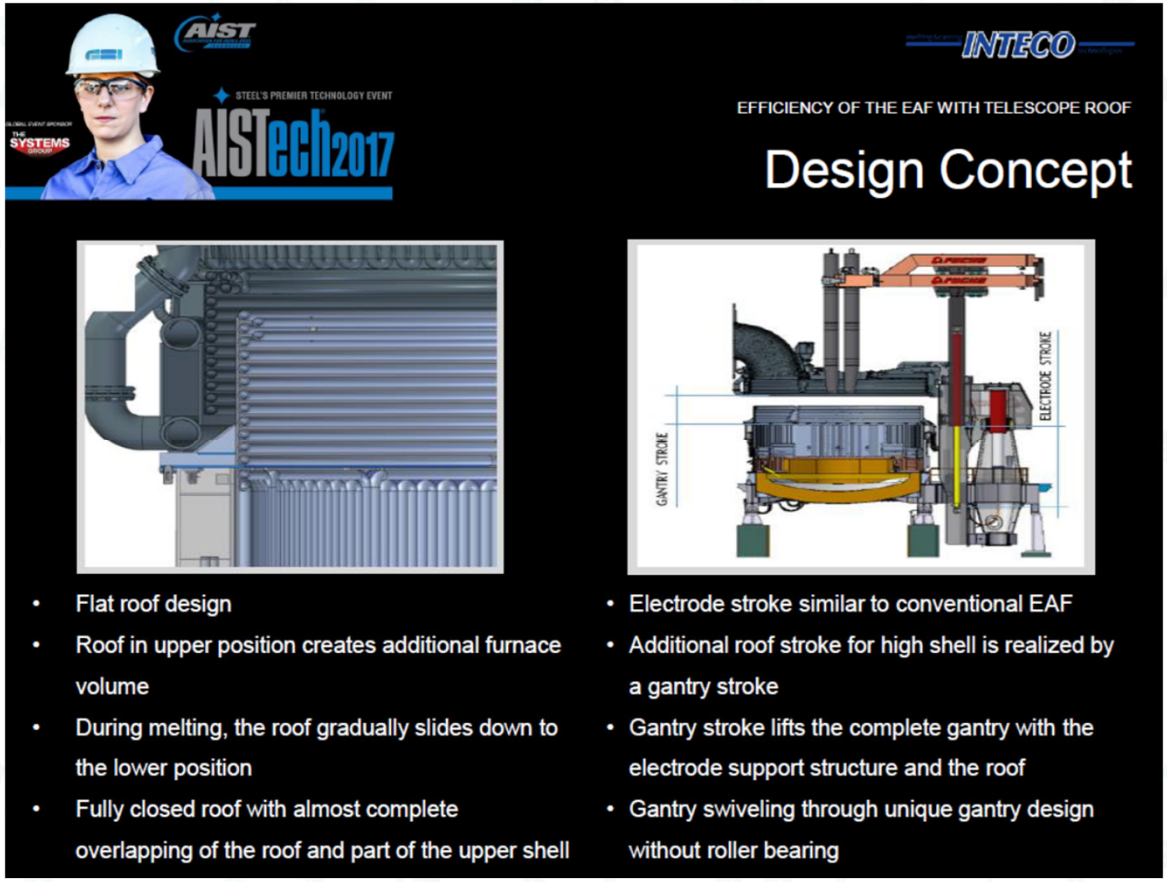


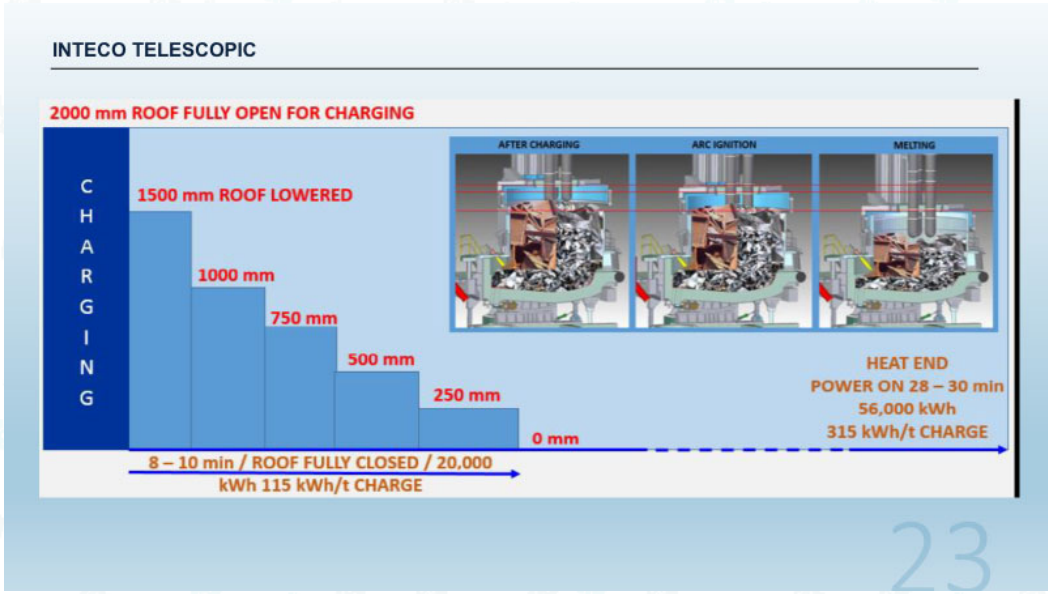
HURDA ÖN ISITMA

QUANTUM



HURDA ÖN ISITMA



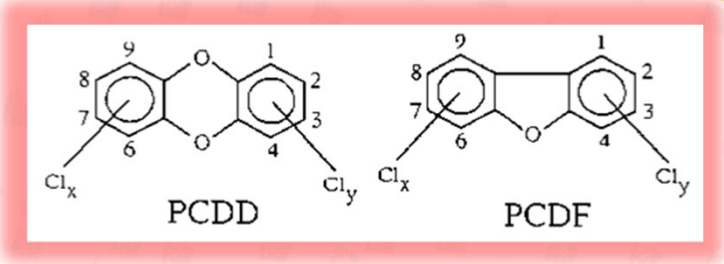


HURDA ÖN ISITMA

- **HÖI** Döküm süresi ↓, üretkenlik ↑
- **HÖI** Elektrod Tüketimi ↓
- **HÖI** Refrakter Tüketimi ↓
- **HÖI** ~~Hurdada nem~~
- **HÖI** EAO Baca Tozu (EAOBT) miktarı ↓,
  ZnO içeriği ↑ %18-24 → ≥ %32
- **HÖI** EAO Baca Tozu (EAOBT) FeO içeriği ↓ Metalik Verim ↑

HURDA ÖN ISITMA

Ancak HÖI sistemleri insan sağlığı açısında **çok tehlikeli Dioxin/Furan (PCDD/F) emisyonlarına** neden olduğundan **TTT sisteminde ilave önlemler alınarak kullanılmalıdır.**



PCDD/F bileşiklerinin EAO'larında temel oluşum mekanizması olarak; **klor içeren (PVC veya diğer klorokarbonlar gibi) maddelerin bulunduğu ortamda, hurda içeresindeki hidrokarbonlar ile elektrod, antrasit ve karbon enjeksiyonundan gelen karbon vb. organik malzemelerin** EAO'nın bazı bölgelerinde oluşan şartlara göre buharlaşıp, parçalanıp, kısmen veya tamamen çözünmesi ve daha sonra uygun sıcaklık aralığında yeniden oluşması olarak gösterilmektedir.

Bazı metalerin bu süreçte katalizör olduğu bilinmektedir; örneğin **bakır güçlü, demir ise zayıf bir katalizördür.**

HURDA ÖN ISITMA

Birincil önlemler:

- ✓ Hammadde : Hurda içinde **PCDD/F oluşumuna neden olabilecek yağ, plastik malzemeler, diğer hidrokarbonlar** vb. gibi kirleticilerden arındırılmalıdır.

- ✓ EAO Operasyonu : PCDD/F emisyon seviyelerini azaltıcı önlemler arasında ; **şarj sırasında EAO kapağının açık kaldığı sürenin azaltılması, fırın içinde serbest organik karbon miktarının azaltılması, EAO'na dışardan hava emişinin önlenmesi, duruşların azaltılması veya önlenmesi**, EAO'da post combustion uygulaması gibi yanma verimini arttırıcı önlemler sıralanabilir.

- ✓ Atık Gaz Kontrolu: Atık **gazların toplanması, soğutulması ve filtrelere taşınması aşamalarında; gazın tam karışımının sağlanması, hızlı soğutma**, iyi bir işletim ve bakım pratiğinin uygulanması gerekmektedir.

HURDA ÖN ISITMA

İkincil Önlemler:

Duman Emme : EAO bölgesinden tüm emisyonların toparlanarak TTT uygun şartlarda gönderilmesi.

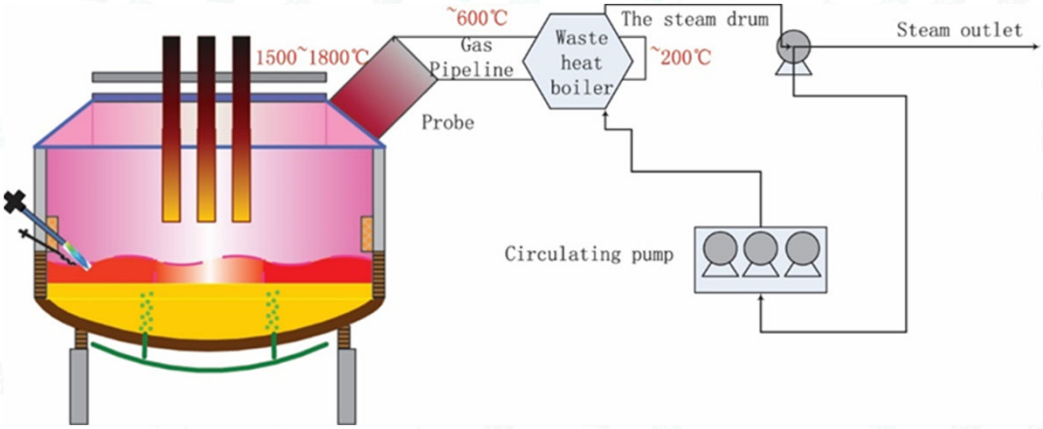
Atık Gazların Isıtılıp, Hızlı Soğutulması : Atık gazlardaki CO ve H_2 'nin yanma kamarasında brülör takviyesiyle yakılarak, gaz sıcaklığının PCDD/F'lerin parçalanma sıcaklığı olan 800 °C'nin üzerinde olmasını hedefleyen bu yöntem önerilmekle birlikte ilave enerji tüketimi nedeniyle tercih edilmemektir.

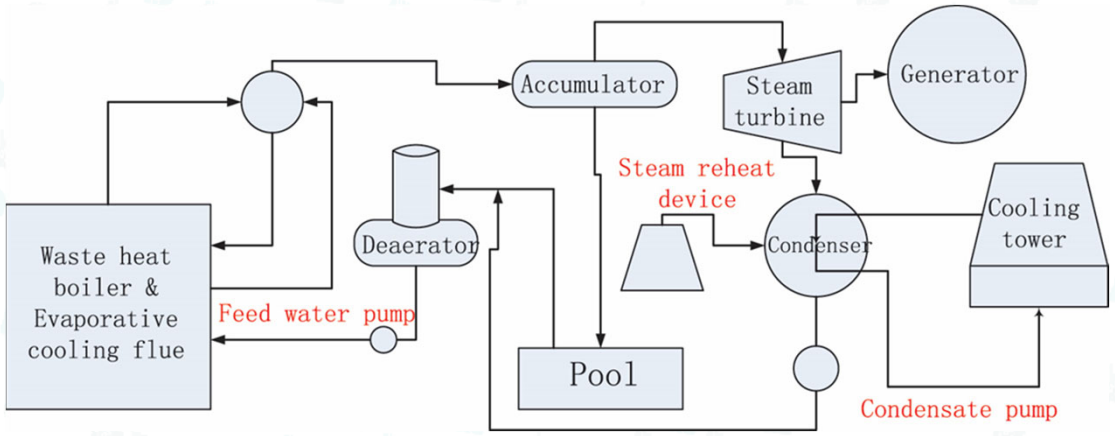
Adsorban Madde Püskürtme :Atık gazdaki PCDD/F'leri emerek içine soğuracak aktif karbon, özel kil bileşikleri (Dioxorb) püskürtülmesi ve tozların filtre yüzeylerinde tutulmasına dayanan bu sistemle **0.1 ng TEQ/Nm3 altındaki PCDD/F seviyelerine düşülebilmektedir.** Kireç, kireçtaşı ile karıştırılmış linyit, antrasit parçacıkları da aynı amaçla kullanılabilir. **Filtre torbalarının patlak olmaması gerekir.**

Atık Gaz Sıcaklığı : PCDD/F'lerin partikül madde üzerinde yoğuşması veya emilmesi ve daha sonra filtre torbaların yüzeyinde tutulması, doğrudan filtre hücrelerindeki gaz sıcaklığına bağlıdır. Genel olarak etkin PCDD/F arıtımı için filtre çıkış sıcaklığının 90 °C 'nin altında olması hedeflenir.

ATIK ISI GERİ KAZANIMI

EAO'dan atık geri dönüşüm teknolojileri arasında hem atık gazların gizli ısını hem de **su soğutmalı donanımların geri dönüş suyundaki gizli ısıyı geri kazanma olanağı sağlayan buhar/sıcak üretimine yönelik sistemler daha yüksek enerji kazanım verimliliğine sahiptir.** Ancak EAO'larda **atık gaz gizli ısı profilinin değişkenlik göstermesi, atık azların toz içeriği vb gibi nedenlerle özel önlemler ve malzemeler kullanılarak değerlendirilebilir.**





HURDA HAZIRLAMA

Gelen hurdanın radyasyon kontrolundan geçirilerek, belirlenmesi halinde yönetmelikler uyarınca **TAEK** Yetkililerine teslim edilmesi.

Özellikle yeni **ithal hurdanın daha önce özellikleri bilinen hurda ile harmanlanarak**:

- **Verim,**
- **Yoğunluk,**
- **Kirlilik, toprak, toz vb.**
- **Kimyasal bileşim (özellikle C, Cu, Sn, S ve P)**
- **Demir dışı malzeme yoğunluğun belirlenir.**

Hurda içindeki **patlayıcı, yanıcı, kapalı kap, vb gibi tehlikeli parçalar ayıklanır.**

Ayrıca **demir dışı malzeme hurdası** hem EAO prosesini olumsuzlaştırdığı hem de demir hurdasına göre daha pahalı olduğu için **ayıklanır.**

Büyük, iri parçalar **uygun boyutlara getirilir.**

Yerli hurda gözle kontrol edilerek tasnif edilir.

Hurda kalitesi gittikçe bozulma eğiliminde ve kaliteli hurdanın rekabetçiliği yok edecek kadar pahalı olması nedeniyle hurda sahaya alınmadan zenginleştirmesine yönelik **elek, makas vb. gibi hurda zenginleştirme ekipmanlarının kullanımı gittikçe yaygınlaşmaktadır.**

Yukardaki süreçlerden geçirilerek **kalitesi belirlenen hurdalar cinslerine göre sahada ayrı yığınlar halinde stoklanır.**

SEPET DOLUM

İlk ark ateşlemesi ve arkın kararlılığını sağlamak üzere üst kısımlara hafif hurda

Bir üste (alt/orta) boru, profil, gemi söküm vb. yapısal çelik hurdası

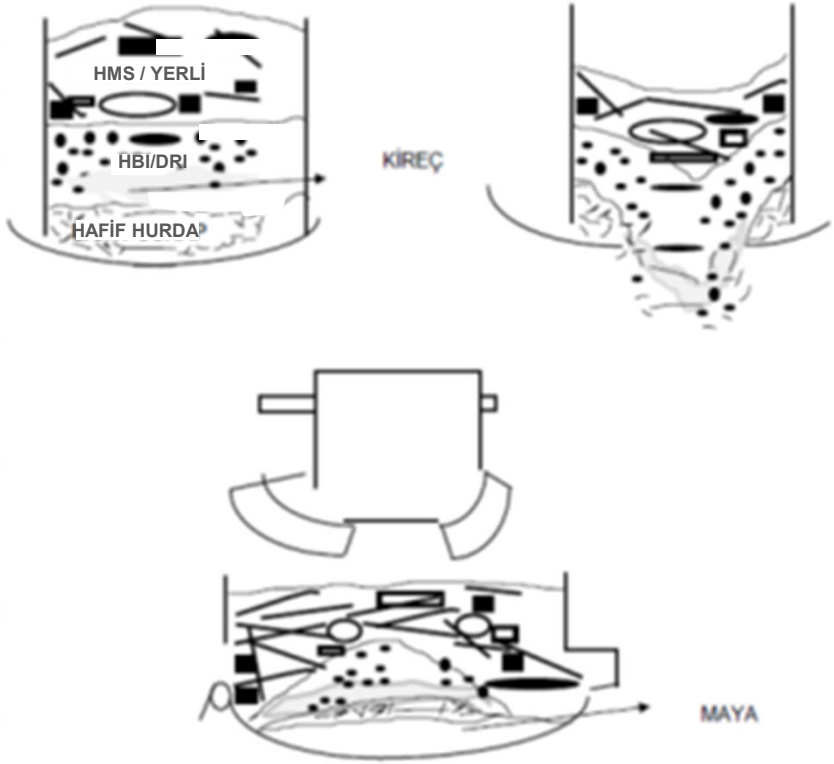
Ergitme sürecinde elektrodların hurdaya dalması sırasında hurda kayması kaynaklı kırılmaları önlemek amacıyla iri, kaba, ağır hurda (skal, paket, büyük praça) sepetin alt kısmına

Karbon verici antrasit, pik demir vb. ile cüruf yapıcı kireç vb. tabana yakın bölgeye

Özellikle ilk şarjda EAO tabanına darbeyi önlemek üzere sepet tabanına hafif hurdadan yastık tabakası

HURDA HARMANI

Briketlenmiş (HBI) veya briketlenmemiş (DRI) sünger demir kullanımında ise sünger demirin geç erimesi, kümelenme ve refraktere yapışma riski olduğundan, **sepette kirecin üzerine ve ocağa girdiğinde elektrodlar arasında delta bölgesine gelecek** biçimde yerleştirilmelidir.



HBI/DRI

HBI/DRI AVANTAJLARI

- ✓ **Düşük Safsızlık : Cu, S, P** gibi elementlerin az olması nedeniyle düşük kaliteli hurdayla paçal edilerek kullanılabilmelerini sağlar. **EAO'da daha kaliteli çeliklerin** üretimine olanak tanır.
- ✓ **Kararlı Kimyasal Bileşim: Kimyasal olarak daha az değişkenlik** göstermesi nedeniyle ilk ergime çelik analizlerinde kararlılık.
- ✓ **Yüksek Yığınsal Yoğunluk:** Yığın yoğunluğu (2,4-2,8 t/m^3) olan **HBI sepet hacminin daha ıyı kullanılmasını sağlar**. Ancak sahada **stoğun kendi kendine tutuşmaması için yığın yüksekliğinin sınırlı tutulması** gerekir.
- ✓ **Ergimeye Destek:** Hurda arasındaki boşlukları doldurarak akım daha kararlı olmasını sağlar. Ayrıca FeO içeriği ile köpüklü cüruf oluşumunu destekler.
- ✓ **Daha Az Azot ve Hidrojen Kapma:** Köpüklü cüruf miktarını arttırması nedeniyle metale EAO atmosferinden **daha az N_2 ve H_2** soğrulur.

HBI/DRI Dezavantajları :

- ⚠ Yüksek Gang Seviyesi: Yüksek SiO_2, Al_2O_3, CaO, MgO vb. Oksit içeriği **EAO enerji tüketimini ve cüruf miktarını arttırır. Her bir kg ilave gang enerji tüketimini 0,85 kwh arttırır.**
- ⚠ SiO_2 : HBI ile banyoya giren SiO_2'nin asidik katkısını gidermek, **cürufu bazik bölgeye çekmek üzere kireç miktarının arttırılması** gerekir. İlave kireç enerji tüketimini ve cüruf miktarının artmasına neden olur. **Her bir kg ilve kireç enerji tüketimini 0.53 kwh arttırır.**
- ⚠ FeO : Metalizasyon oranına bağlı olarak FeO seviyesi %8 civarındadır. **Metalik verimi düşürür**. Ayrıca ısı alan **(endotermik) FeO redüklenme tepkimesi** nedeniyle **her bir kg ilave FeO enerji tüketimini 1,1 kwh arttırır.**
- ⚠ Düşük Termal İltkenlik ve Yüksek Sıcaklıklarda Plastik Davranış: **Yüksek gang ve FeO içeriği nedeniyle termal iletkenliği** hurdaya göre daha düşüktür. Ayrıca 1410 -1490 °C aralığında plastistesi artar. Bu özellikleri nedeniyle daha **geç erir ve kümeleşerek refrakter yüzeyine yapışıp EAO'nun hacmini daraltma** riski oluşturur.

PROSES

1. Hurda sahasında üretim programına göre hazırlanan **reçeteye uygun olarak istenilen kalite ve miktarlarda hurda sepetlere** doldurulur. Sahadaki hurdanın yoğunluğuna göre her döküm için **2 yada daha fazla sepet** hazırlanır (Tek şarj için tasarlanan Teleskopik EAO'lar hariç).

2. Hazırlanan sepetler şarj edilmek üzere **sepet arabaları ile EAO holüne** taşınır.

3. Buradan eğer **varsa hat dışı HÖI hücrelerine yoksa doğrudan şarj edilmek üzere EAO üzerine taşınır** ve EAO kapağı açılarak **şarj edilir**.

4. Yeni nesil EAO'larda hurdanın yatay sarsak konveyörler ile doğrudan, sepetle ısıtma şaftının üzerine ve doğrudan hurda sahasından skip veya şarj arabaları ile şafta taşınarak şarj edildiği sistemler de vardır.

5. Şarj bitince **kapak kapatılır, devre kesici açılır ve elektrodlar indirilerek arklanma** başlatılır. Kapağın kapanmasıyla **eşzamanlı olarak jet brülörlerde ateşlenir**. Brülörler **başlangıçta hurdayı ısıtma amacıyla** kullanılır. Başlangıçta **önündeki hurda nedeniyle yan panelleri korumak amacıyla düşük güçte** çalışılır, hurdanın **ergimesiyle güç arttırılır**. Daha **sonra ergitme ve lans modlarına geçerek** değişik oksijen, D/G ve karbon oranlarında çalışmaya devam ederler.

PROSES

6. Yine **O_2/C manipülatörü de olabildiğince çabuk devreye** alınır, öncelikle **kapı ağzındaki hurda kesilir** daha sonra **lanslar içeriye daldırılarak oksijen vermeye** başlanır, **sıvı banyonun oluşması ile C enjeksiyonuna** başlanır.

7. J/B önündeki **hurdanın ergimesiyle brülörler pilot moduna alınır ve oksijen enjeksiyonu görece düşük debide (postcombustion modu) başlatılarak zamanla süpersonik hıza çıkarılarak** oksijenin cüruf tabakasını yırtarak banyoya ulaşması sağlanır.

8. Birinci **şarjın ergimesi ve EAO'da 2. Şarjı alacak kadar alan oluştuğunda 2. Şarj** alınır ve süreç birinci şarjda olduğu gibi yürütülür.

9. Kombine brülör ve lans manipülatörlerin birlikte kullanımı EAO'da soğuk bölge oluşunun engellenmesi, ark kararlılığının arttırılarak olabildiğince yüksek aktif güç girişi, elektrod performansının arttırılması, enerji verimliliği ve üretkenlik açısından önemli kazanımlar sunar.

10. Birinci, ikinci ve üçüncü şarj ile birlikte **kireç kapak üzerindeki 4. Delikten veya kapak/duvar enjeksiyon sistemlerinden beslenerek fosfor rafinasyonu için gerekli bazik cüruf banyo 1570 °C'ye ulaşmadan** oluşturulmaya çalışılır.

PROSES

11. Manipülatör ve duvardan **C enjeksiyonu ergimenin ilerleyen aşamalarında sıvı banyonun oluşmasıyla** başlanır ve **tüm rafinasyon süresince kesintisiz** devam edilir. Böylece EAO'da **etkin köpüklü cüruf** ile rafinasyon tamamlanır.

12. EAO'ya enerji verilmesi ile **kapak su panellerinin arktan zarar görmemesi için düşük kademe ile başlanarak elektrodların bir miktar daldırılır**, yaklaşık 1-1,5XØElektrod, **daha sonra trafo kademesi** arttırılarak olabildiğince uzun ark yakalanmaya çalışılır.

PROSES

AŞAMA	KONTROL AMACI	ELEKTRİK PARAMETRELER
ARKLANMA	**Kısa devre ve ark kesintilerinin önlenmesi.** **Trafo ve elektrik şebekeye az darbe gönderilmesi.** **Kapak panellerini korumak üzere kısa ark, düşük kademede çalışma.**	Kapak panellerine zarar vermeden olabildiğince yüksek kademe, yüksek gerilim (V), yüksek akım (I) (kısa ark) ve bu ayarlarda arkın kararlılığını sağlamak üzere maksimum reaktör kademesi.
ERGİME	**Hurdanın hızlı ergimesi, kararlı arkın sürekliliği, şebekeye daha az darbe için yüksek güç ve olabildiğince uzun arkla çalışma.**	Trafo maksimum kademede, akım orta düzeyde (maksimum refrakter endeksini sağlayacak düzeye yakın). Reaktör gücü yüksek.
BANYONUN ISITILMASI a) Köpüklü cüruflu	Köpüklü cürufun perdeleme kabiliyetine göre yükseğe yakın akım, yüksek güç girişi. **Maksimum güç faktörü, düşük reaktif kayıplar ve yüksek ark gücü.**	Yüksek sekonder gerilim, trafo kademesine uygun akım (gerilim yüksek olduğu için daha düşük) (sistemin elektriksel sınır değerlerine kadar), düşük veya 0 reaktör kademesi.
a) Köpüklü cürufsuz	**Kısa arkla çalışarak su soğutmalı panellerin ısı yükünü azaltmak**, kısa ark; yüksek güç faktörü ve düşük reaktif güç.	Daha düşük kademe, yüksek akım, kısa ark, düşük reaktör kademesi.

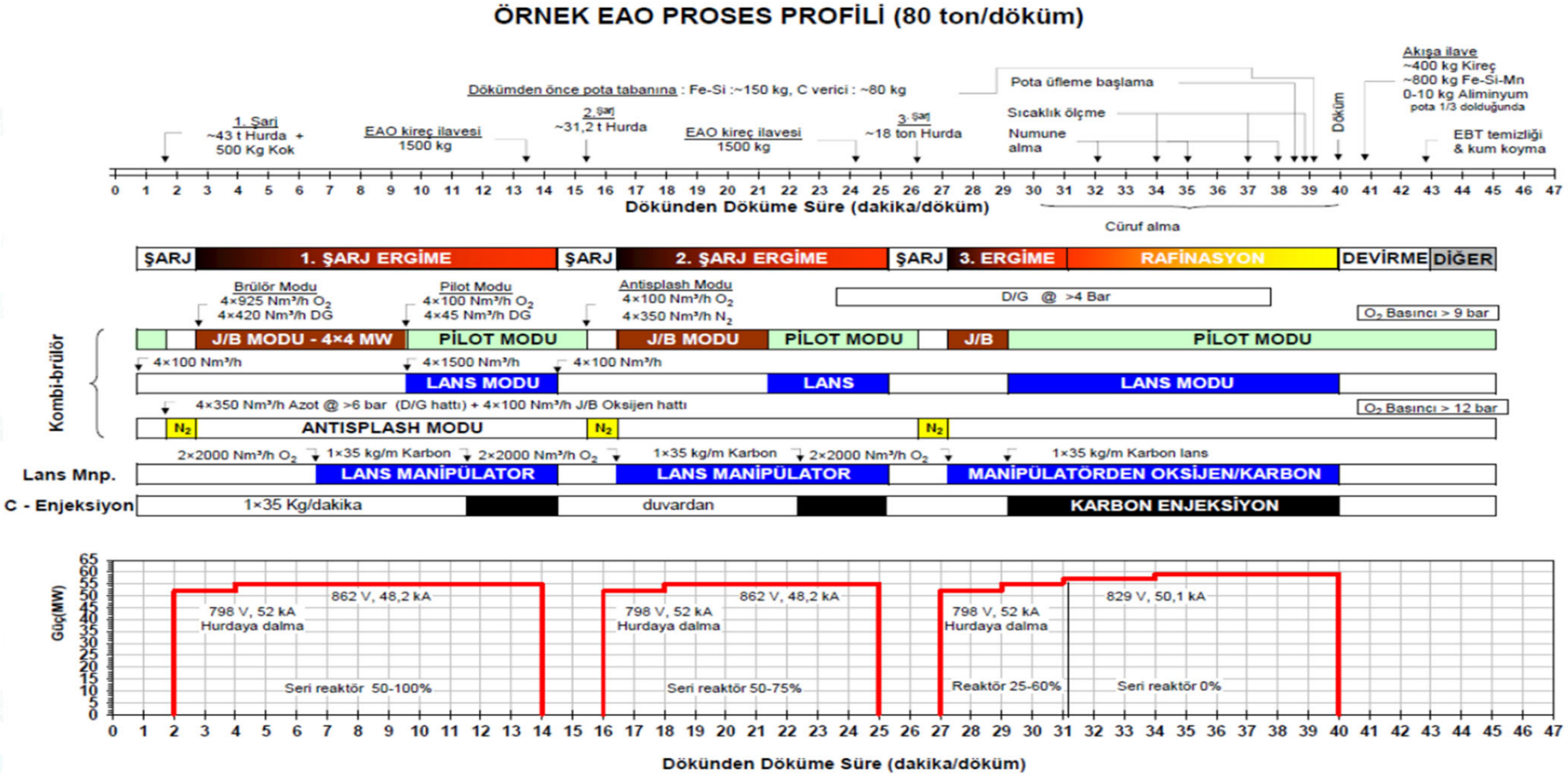
PROSES

13. **Fosfor rafinasyonu tamamlanıp, %C istenilen seviyede ve banyo sıcaklığı 1600-1620 °C** civarına ulaştığında EAO döküme hazırdır bu arada analizinin uygunluğu da teyit edilerek döküm almak üzere EAO devirme tarafına yatırılarak EBT açılır.

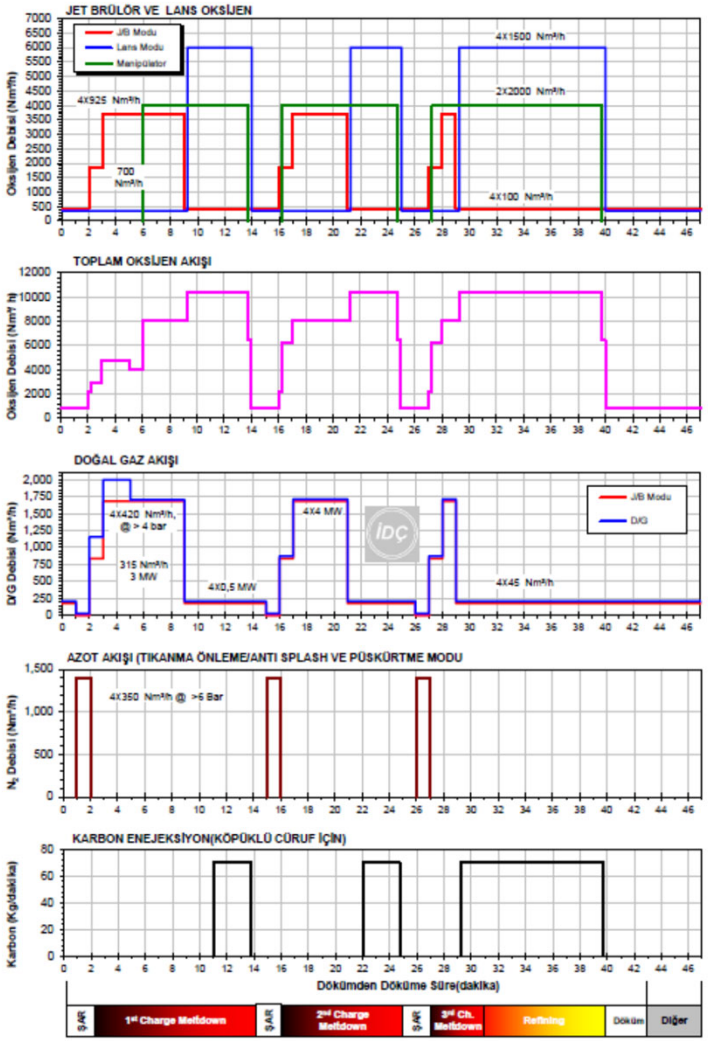
14. Potaya çelik akışı ile **1/3 doluluk seviyesine gelindiğinde gerekli katkı malzemeleri** (Ferro-alyaj, kireç, karbon, Alüminyum) eklenir.

16. Dökümün sonuna gelindiğinde **EAO hızla kaldırılarak EAO cürufunun potaya kaçması engellenir**, akış kesildikten sonra EAO'nun cüruf tarafına doğru hareketi sürdürülerek **cürufun boşaltılması ancak bir miktar çelik mayanın (~ %10-12) EAO tabanında kalması** sağlanır. Daha sonra EBT döküm deliği temizlenir, kum doldurulur ve EAO yatay pozisyona alınarak bir sonraki dökümün ilk şarjına hazır duruma getirilir.

PROSES


ÖRNEK EAO PROSES PROFİLİ (80 ton/döküm)
Dökümden önce pota tabanına : Fe-Si :~150 kg, C verici : ~80 kg
1. Şarj
~43 t Hurda +
500 Kg Kok
EAO kireç ilavesi
1500 kg
2. Şarj
~31,2 t Hurda
EAO kireç ilavesi
1500 kg
3. Şarj
~18 ton Hurda
Pota üfleme başlama
Sıcaklık ölçme
Numune alma
Döküm
Akışa ilave
~400 kg Kireç
~800 kg Fe-Si-Mn
0-10 kg Aliminyum
pota 1/3 dolduğunda
EBT temizliği
& kum koyma
Dökünden Döküme Süre (dakika/döküm)
Cüruf alma
ŞARJ
1. ŞARJ ERGİME
ŞARJ
2. ŞARJ ERGİME
ŞARJ
3. ERGİME
RAFİNASYON
DEVİRME
DİĞER
Brülör Modu
4×925 Nm³/h O₂
4×420 Nm³/h DG
Pilot Modu
4×100 Nm³/h O₂
4×45 Nm³/h DG
Antisplash Modu
4×100 Nm³/h O₂
4×350 Nm³/h N₂
D/G @ >4 Bar
O₂ Basıncı > 9 bar
Kombi-brülör
J/B MODU - 4×4 MW
PİLOT MODU
J/B MODU
PİLOT MODU
J/B
PİLOT MODU
4×100 Nm³/h
4×1500 Nm³/h
4×100 Nm³/h
LANS MODU
LANS
LANS MODU
4×350 Nm³/h Azot @ >6 bar (D/G hattı) + 4×100 Nm³/h J/B Oksijen hattı
O₂ Basıncı > 12 bar
N₂
ANTISPLASH MODU
N₂
N₂
2×2000 Nm³/h O₂
1×35 kg/m Karbon
2×2000 Nm³/h O₂
1×35 kg/m Karbon
2×2000 Nm³/h O₂
1×35 kg/m Karbon lans
Lans Mnp.
LANS MANİPÜLATOR
LANS MANİPÜLATOR
MANİPÜLATÖRDEN OKSİJEN/KARBON
C - Enjeksiyon
1×35 Kg/dakika
duvardan
KARBON ENJEKSİYON
Güç(MW)
798 V, 52 kA
Hurdaya dalma
862 V, 48,2 kA
Seri reaktör 50-100%
798 V, 52 kA
Hurdaya dalma
862 V, 48,2 kA
Seri reaktör 50-75%
798 V, 52 kA
Hurdaya dalma
829 V, 50,1 kA
Reaktör 25-60%
Seri reaktör 0%
Dökünden Döküme Süre (dakika/döküm)

PROSES


JET BRÜLÖR VE LANS OKSİJEN
JB Modu
Lans Modu
Manipülator
4X925 NmM/h
700 NmM/h
4X1500 NmM/h
2X2000 NmM/h
4X100 NmM/h
Oksijen Debisi (Nm³/h)
TOPLAM OKSİJEN AKIŞI
Oksijen Debisi (Nm³ /h)
DOĞAL GAZ AKIŞI
4X420 NmM/h, @ > 4 bar
315 NmM/h 3 MW
4X0,5 MW
4X4 MW
4X45 NmM/h
JB Modu
D/G
D/G Debisi (Nm³/h)
AZOT AKIŞI (TIKANMA ÖNLEME/ANTI SPLASH VE PÜSKÜRTME MODU
4X350 NmM/h @ >6 Bar
N₂ Debisi (Nm³/h)
KARBON ENEJEKSİYON(KÖPÜKLÜ CÜRUF İÇİN)
Karbon (Kg/dakika)
Dökümden Döküme Süre(dakika)
ŞAR
1st Charge Meltdown
ŞAR
2nd Charge Meltdown
ŞAR
3rd Ch. Meltdown
Refining
Döküm
Diğer

PROSES

EAO ENERJİ TÜKETİMİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER AŞAĞIDAKİ DENKLEMDE İFADE EDİLMİŞTİR

$$\frac{W_R}{kWh/t} = 375 + 400.\left[\frac{G_E}{G_A} - 1\right] + 80.\frac{G_{DRI/HBI}}{G_A} - 50.\frac{G_{Shr}}{G_A} - 350.\frac{G_{HM}}{G_A} + 1000\frac{G_Z}{G_A} + 0{,}3.\left[\frac{T}{^oC} - 1600\right] + 1.\frac{t_S + t_N}{min} - 8.\frac{M_G}{m^3/t} - 4{,}3.\frac{M_L}{m^3/t} - 2{,}8.\frac{M_N}{m^3/t} + NV.\frac{W_V - W_{Vm}}{kWh/t}$$

GA	= EAO Kapasitesi	tS	= Enerjili Süre (dakika)
GE	= Demirli Malzeme Ağırlığı	tN	= Enerjisiz Süre (dakika)
GDRI	= Sünger Demir (DRI) Ağırlığı	MG	= J/B DIG Gaz Tüketimi (Sm^3/ton)
GHBI	= Briketlenmş Sünger Demir (HBI) Ağırlığı	ML	= Lans Oksijen (Nm^3/ton)
GShr	= Değirmen Hurda Ağırlığı	MN	= Post Combustion Oksijen (Nm^3/ton)
GHM	= Sıcak Metal Ağırlığı	WV	= Enerji Kayıpları (kwh/ton)
GZ	= Cüruf Yapıcı Malzemeler Ağırlığı	WVm	= Ortalama Güç Girişi WV
TA	=Devirme Sıcaklığı (°C)	NV	= Fırın Özgül Katsayısı

Ref : Prof. Dr. Ing. Herbert Pfeifer,Energy Balance of the Electric Arc Furnaces, International Seminar Electric Engineering of Arc Furnaces

PROSES

.01 Hurda:

Hurda içerdiği demir dışı malzemelerin aldığı ısı nedeniyle verimine bağlı olarak EAO enerjisini belirleyen en önemli faktörlerdendir. **Hurda veriminde her %1 düşüş enerji gereksinimini yaklaşık 1 kwh/ton arttırır.**

Hurda parçalarının şekli ve boyutları da enerji verimliliğini etkiler. Yüzey alanı fazla olan küçük parçaların proses sırasında birbirlerine yapışıp, bütünleşip geç ergimesi enerji tüketimini arttırır. Öte yandan iri parçaların ergimesi de çok zaman alır. **Dolayısıyla hurdanın optimum boyutlarda olması (10 – 100 cm) ve yoğunlukta (0,6 – 0,9 ton/m^3) olması tercih edilir. İyi hurda ile kötü hurda EAO elektrik tüketimine etkisi ± 40 kwh/ton boyutlarına çıkabilir.**

Hurdanın organik safsızlıkları (yağ, gres, plastik, tahta vb.) yanarak TTT'ne gider. Ancak **endotermik özellikte olan pas (Fe_3O_4, Fe_2O_3, FeO), su/nem, beton, refrakter** vb. **enerji tüketimini arttırır**. Örneğin **her %1 Fe_3O_4 EAO'dan yaklaşık 13 kwh/ton enerji çeker**. Ayrıca **suyun buharlaşıp** 100 °C'de EAO'yu terk etmesinin etkisi yaklaşık **+ 6 kwh/ton civarındadır.**

PROSES

.02 Pik Demir:

Pik demirin (≈%0,8 Si, %0,5 Mn) hurda yerine kullanılan **her %1'i yaklaşık 1,1 kwh/ton enerji çeker.**

.03 Sıcak Metal:

Sıcak metal (SM/sıvı ham demir) EAO'ya yaklaşık 1250-1350 °C civarında şarj edilir. Yüksek sıcaklıkta gerçekleşen ekzotermik yanma tepkimelerinin daha fazla enerji katkısı olduğu gibi sıcak metalin gizli ısısı da önemli katkıda bulunur. **Analiz ve şarj sıcaklığına bağlı olmak üzere EAO'da hurda yerine kullanılan her %1 SM yaklaşık 3,5 ila 5,6 kwh/ton arasında enerji tasarrufu sağlar.**

04 Sünger Demir:

Daha önceki bölümlerde belirtildiği üzere EAO'da HBI/DRI kullanımı yüksek gang miktarı, asidik özelliği nedeniyle daha fazla kireç gerektirmesi ve fazla cüruf oluşumu, FeO'nun indirgenmesi gibi nedenlerle **EAO'da enerji tüketimini her %1 hurda değişiminde 1,0 kwh/ton arttırır (%92-93 Metalizasyon ve %4-5 Gang içeren HBI/DRI).**

.

PROSES

.05 Şarj Yöntemi;

Sepet sayısı : EAO **kapağının her açılışında 10 kwh/ton enerji kaybı** olur.

Sepet Dolum: Daha önceki bölümlerde belirtildiği üzere hurda sepetlerinin enerji iletkenliği, ark kararlılığı, optimum güç girişi göz önüne alınarak doldurulması gerekir. **Düzgün ve kötü hurda dolum pratiğinin enerji etkisi 20 kwh/ton** düzeylerine çıkabilir.

.06 Lans Oksijen

Lans Oksijen: 100 Tonluk EAO'da yapılan çalışmada 1 Nm^3 oksjen için aşağıdaki ısıl değerler hesaplanmıştır:

TEPKİME	Kwh/(Sm^3/ton)
C + 0.5 O2 = CO	1,44
Fe + O = FeO	1,61
2 Fe + 1.5 O2 = Fe2O3	0,65
Si + O2 = SiO2	1,01
Mn + 0.5 O2 =	0,54
TOPLAM	5,26

Ancak EAO koşullarında yaklaşık **%70-80 verimle pratik olarak katkı 3,5-4 Nm^3/ton** olarak gerçekleşmektedir.

PROSES

.07 Doğal Gaz

Ülkemizde doğal gaz kalorifik değeri yaklaşık 10,5 kwh/Sm^3 civarındadır. Stokhiometrik olarak 2 Nm^3 oksijenle yakılır. EAO'larda oksijence daha zengin oran kullanılır (≈ 2,1). Enerjiye katkısı kullanılan O_2 üzerinden hesaplara katılır.

.08 Cüruf Yapıcılar:

EAO'da **kireç veya dolomitik kireç kullanımı 26 ila 40 kg/ton** arasında değişkenlik gösterir. Kireç ilavesi önemli bir enerji kaybına neden olur, bunun aşırı endotermik olan Ca2SiO4 oluşumundan kaynaklandığına inanılmaktadır. **Her %1 kireç artışı 16 kwh/ton ilave** enerji gerektirir. Yukarda **belirtilen tüketim aralığı için 42 – 72 kwh/ton enerji** tüketimi vardır.

.09 Flakslar: Flaksların yapıcıların etkisi + **10 kwh/ton'dur**

.10 Maya : Yaklaşık **15 kwh/ton** dolayında olduğu tahmin edilmektedir.

PROSES

.11 Köpüklü Cüruf:

Daha önceki bölümlerde belirtildiği üzere ark kararlılığı, ısı kayıplarının azalması, metale ısı taşınımının etkinleşmesi vb. nedenlerle köpüklü cürufun kalınlığı ve EAO'da kalmasına bağlı olarak **± 20 kwh/ton enerji etkisi olacağı tahmin edilmektedir.**

.12 Döküm Sıcaklığı:

Sıvı çeliğin spesifik ısıl değeri 0,24 kwh/ton. °C'dir; döküm sıcaklığı arttıkça banyonun entalfisi (ısı kapasitesi) artar.

.13 Süre:

Duruş sırasındaki ısı kayıpları önemli bir enerji kaybı nedenidir:

Ergime Sırasında	**: 0,4 kwh/ton.dakika**
Rafinasyon sırasında	**: 1,7 kwh/ton.dakika**
Döküm Aralarında (>30 dakika)	**: 0,5 kwh/ton.dakika**
Döküm Aralarında (<30 dakika)	**: 0,2 kwh/ton.dakika**

PROSES

.14 Su Soğutmalı Panel Cüruf Katmanı :

Su soğumalı panellerin çıplak durumda 700 kw/m² ısı taşınım kapasitesi vardır, panellerin üzerinin cüruf tabakası ile kaplanması durumunda bu değer 220 kw/m²'ye düşer. Bunun Enerji karşılığı **3 kwh/ton.m²'dir.**

.15 Duman Emme Sistemi ve EAO Sızdırmazlığı : EAO'nun açıklıklarından temiz hava girişi, duman emme sisteminin gereğinden yüksek hızda çalıştırılması artan temiz havanın ısıtılması için harcanan enerji nedeniyle elektrik tüketimini arttırır.

PROSES

PARAMETRE	ORAN	TOPLAM ENERJİ ETKİSİ (kWh/ton)	
		Düşüş	Artış
Rafinasyon sırasına ark gerilimi	450 AC or 600 DC'in üzerinde her 100 V		20
Rafinasyonda duruş	her 10 dkika		17
Cüruf yapıcılar	her 10 kg/t hurda		16
Verim	her %1 düşüş		10
DRI/HBI	her %10		10
Şary sayısı	her sepet		10
Kapak cüruf katmanı	her 3 m^2 çıplak yüzey		10
Döküm sıcaklığı	her 10 °C > 1600 °C		7
Döküm aralarında 30 dakikadan kısa duruş	her 10 dakika		5
Döküm aralarında 30 dakikadan uzun duruş	her 10 dakika		3
Rafinasyon sırasında duruş	her 10 dakika		4
Sıcak metal	her %10	45	
Pik deir	her %11	11	

VARSAYIMLAR			
PARAMETRE	ORAN	DEĞİŞİM ARALIĞI	
Enerji geri kazanım teknolojileri	HÖI, Şaft, Consteel, ECOARC vb.	20 - 60	
Lans pratiği	Verimli kullanım	30	30
Hurda şekli	Ergime hızı	20	20
Hurda içeriği	Demir dışı, pas, nem vb.	20	20
Hurda dolum pratiği	Ark kararlılığı, hurda çökmesi, enerji verimi	15	15
Köpüklü cüruf etkinliği	Kalınlık ve EAO'da kalma süresi	30	30
Duman emme/EAO sızdırmazlık	Air throughput	15	15
Post combustion	her 10 m^3 O_2/t	30	
Elektrdo soğutma	EAO'ya su girişi	10	10
Maya	Ark kararlılığı	10	
Cüruf yapıcılar	(relative to basket charging)	10	
Süpesonik, koherent sistemler	O_2 kontrol, akış düzgünlüğü	15	
Brülörler	Verim değişkenliği	5	5
Eelktrod çukur alanı	Scrap collapse	5	5

PROSES

EAO kapasitesi hesaplanırken, dökümden-döküme geçen sürenin enerjili ve enerjisiz kısımları göz önüne alınır.

Enerjisiz Süre: Şarj alma, döküm-cüruf alma, EBT temizlik/hazırlama ve duruşları kapsar. EAO hurda şarjı her sepet için ≈ 2 dakika dolayındadır. EBT temizlik ve hazırlama 3-4 dakikada gerçekleşir. Duruşlar enerjisiz süreye ayrıca eklenir.

Enerjili Süre: Hurda ergitme ve sıvı metal rafinasyonun gerçekleştiği EAO'ya enerji verildiği dönemi kapsar ve şu şeklide formüle edilir:

$$t_E = \frac{W_S \times 60 \times [Q_M - \gamma \times O_2 - Q_{SPH}]}{S \times Cos\phi \times \eta}$$

$$t_R = \frac{W_S \times 60 \times Q_R}{S \times Cos\phi \times \eta}$$

t_E=Ergime süresi (dakika/döküm)
t_R=Rafinasyon süresi (dakika/döküm)
W_S=Döküm tonajı (ton)
Q_M=1ton çelik elde etmek için gereken ısı (440-460 kwh/t)
Q_R=1 ton çeliğin rafinasyonu için gereken ısı (110-120 kwh/t)
$Q_{HÖI}$=HÖI ısı kazanımı (kwh/t)
Υ=Oksijen ısı katsayısı (3,5 kwh/Nm^3)
O_2=Toplam oksijen tüketimi
CosΘ=Güç faktörü (ortalama; ergitmede 0,8 rafinasyonda 0,85)
η=EAO enerji verimliliği (ortalama ergitmede %85, rafinasyonda %90)

PROSES

Örnek: 100 ton 100 MVA EAO (harici HÖI; 25 kwh/t enerji katkısı), 42 Nm³/t efektif oksijen tüketimi, 2 şarj için dökümden-döküme geçen süre:

$$t_E = \frac{100 \times 60 \times [440 - 3,5 \times 42 - 25]}{100000 \times 0,8 \times 0,85} = \sim \ 24 \ \ dakika/döküm$$

$$t_R = \frac{100 \times 115 \times 60}{100000 \times 0,85 \times 0,9} = \sim \ 9 \ \ dakika \ \ /döküm$$

SÜRE	(dakika/döküm)
Enerjili Süre	33
Ergime	24
Rafinasyon	9
Enerjisiz Süre	14
Şarj (2 sepet)	6
Döküm + EBT Hazırlama	4
Diğer	4
DÖKÜM SÜRESİ	47

TEŞEKKÜRLER