

**SLAB KALİTE ÇELİKLERİN ÜRETİM SÜRECİNDE
DEOKSİDASYON MALZEMELERİNİN KULLANIM
UYGULAMALARI VE MALİYETE ETKİSİ**

**2014
YÜKSEK LİSANS TEZİ
METALURJİ ve MALZEME MÜHENDİSLİĞİ**

Burhan Burç GÜNDOĞAN

**SLAB KALİTE ÇELİKLERİN ÜRETİM SÜRECİNDE
DEOKSİDASYON MALZEMELERİNİN KULLANIM UYGULAMALARI
VE MALİYETE ETKİSİ**

Burhan Burç GÜNDOĞAN

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Ocak 2014**

Burhan Burç GÜNDOĞAN tarafından hazırlanan “SLAB KALİTE ÇELİKLERİN ÜRETİM SÜRECİNDE DEOKSİDASYON MALZEMELERİNİN KULLANIM UYGULAMALARI VE MALİYETE ETKİSİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Hayrettin AHLATÇI

Tez Danışmanı, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 17/01/2014

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Yrd.Doç. Dr. Yaşar YETİŞKEN (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Hayrettin AHLATÇI (KBÜ)

Üye : Yrd.Doç. Dr. Erkan KOÇ (KBÜ)



..././2014

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Mustafa BOZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Burhan Burç GÜNDOĞAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SLAB KALİTE ÇELİKLERİN ÜRETİM SÜRECİNDE DEOKSİDASYON MALZEMELERİNİN KULLANIM UYGULAMALARI VE MALİYETE ETKİSİ

Burhan Burç GÜNDOĞAN

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Hayrettin AHLATÇI

Ocak 2014, 73 sayfa

Slab kalite çeliklerin gerek üretim yöntemi, gerekse döküm yöntemi açısından kütük kalite çeliklere göre özel çalışma pratikleri yapılmaktadır. Döküm yöntemi olarak tam kapalı döküm yapılması şarttır. Döküm prosesinin tam kapalı olmasından dolayı üretim yönteminde de tam deoksidasyon ihtiyacı vardır.

Deoksidasyon malzemeleri, çelik üretim sürecinde kullanılan mikro alaşım elementlerinden sonra birim fiyat olarak ikinci sırayı almaktadırlar. Deoksidasyon için elimizde sınırlı sayıda ajan olduğu bilinmektedir. Bu deoksidasyon ajanlarının kullanım miktarlarında değişiklikler yapılarak, üretim maliyetinde farklılıklar göstermektedir.

Tam deoksidasyonu sağlamak için sıvı çelik içerisinde çözülmüş olan oksijen miktarının bilinmesi şarttır. Oksijen miktarı direkt olarak kullanılacak olan deoksidasyon malzemesinin sarfiyatına etkisi vardır. Ayrıca Elektrik Ark Ocağı (EAF) veya Bazik Oksijen Konverteri (BOF)'nde devirme sırasında döküme kaçan curufun miktarı ve kompozisyonunun da oksijen miktarına kadar etkisi vardır. EAF veya BOF'daki curuf kompozisyonunun çelik içerisindeki çözülmüş olacak olan oksijen değeri arasında da bir ilişki olduğu bilinmektedir.

Çelik üretiminde iki farklı sistem olduğu ve bu iki sistem arasında termodinamik bir ilişki olduğu bilinmektedir. Bu sistemler curuf ve çelik olarak ayrılmaktadır. Curuf kimyasının, çelik içerisindeki çözülmüş oksijen miktarına etkisi vardır. Böylece curuf deokside oldukça çelik de deoksidasyon olmuş olacaktır.

Curuf kimyası içerisindeki FeO ve MnO oksitleri, çelik içerisindeki çözülmüş olan oksijen miktarı deoksidasyon hesaplarında temel rol oynamakta ve hesaplamalarda kullanılmaktadır. Deneysel çalışmalarda bu verilerin değerleri aynı olacak şekilde tutulup farklı deoksidasyon aksiyonları yapılarak döküm maliyeti üzerindeki değişiklikler görülmektedir.

Anahtar Sözcükler : Pota fırını, deoksidasyon, curuf, FeO, MnO.

Bilim Kodu : 915.1.034

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

HANDLING DEOXIDIZING MATERIALS IN THE PROCESS OF STEEL SLAB PRODUCTION PROCESS AND IT'S IMPACT ON THE COST

Burhan Burç GÜNDOĞAN

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Metallurgical and Material Engineering

Thesis Advisor:

Assoc. Prof. Dr. Hayrettin AHLATÇI

January 2014, 73 pages

Special application practices are performed in terms of both the production method of steel slab and the casting technique as per steel billet. Here totally enclosed casting must be preferred as a method. Therefore during the production process, complete deoxidation is strongly required once the method of totally enclosed casting is to be performed.

The cost of deoxidizing materials takes the second place in the process of steel production following the cost of micro alloying elements based on a unit price. As it is known, the number of available deoxidizing agents is limited. Any possible variation in the amount of use of these deoxidizing agents turns out to be either an increase or a decrease in the production cost.

In order to provide complete deoxidation, it is requisite to know the oxygen content being dissolved in liquid steel. Oxygen content is directly a determinant for the level of how much deoxidizing material is to be consumed. Furthermore, both the amount of slag, which gets mixed into the casting during the process of tilting by the Electric Arc Furnace (EAF) or the Basic Oxygen Converter (BOF), and the slag formation have an impact on the oxygen content. It is also considered that there is a correlation between the oxygen content dissolved in the liquid steel and the slag formation in the EAF or BOF.

To say another important point about the process of steel production, two different systems exist and there is a thermodynamic correlation between them. These two systems are named separately 'slag' and 'steel'. The chemical structure of slag has an impact upon the oxygen content which is dissolved in liquid steel. Due to the aforementioned correlation in-between, the more slag gets deoxidized, the more steel does so.

The oxides of FeO and MnO within the slag formation and the oxygen content dissolved in liquid steel play an important role to calculate deoxidation. In some experimental preliminary practices where a variety of deoxidation practices are performed by fixing each data value, and thereby it is possible to observe any increase or decrease in the cost of casting.

Key Word : Ladle furnace, deoxidation, slag, FeO, MnO.

Science Code : 915.1.034

TEŞEKKÜR

Bu tez alışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Prof. Dr. Hayrettin AHLATÇI' ya teşekkürlerimi sunarım.

Meslek hayatımda beni desteklediğine inandığım Kardemir A.Ő Çelikhane Müdürü Sn. Mansur YEKE' ye de ayrıca ve özellikle teşekkürlerimi sunarım.

Sevgili aileme manevi hiçbir yardımı esirgemedен yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

Bu tez çalışmamı oğlum İlim Eren'e ithaf ediyorum.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ VE AMAÇ	1
BÖLÜM 2	3
ÇELİK ÜRETİMİ HAKKINDA TEORİK İNCELEMELER	3
2.1. BİRİNCİL ÇELİK ÜRETİMİ	4
2.1.1. Oksijenle Çelik Üretimi.....	5
2.1.1.1. Oksijenle Çelik Üretiminin Avantajları	7
2.1.1.2. Oksijenle Çelik Üretim Prosesi.....	8
2.1.1.3. Oksijenle Çelik Üretimde Kullanılan Hammaddeler.....	8
2.1.1.4. Şarj.....	10
2.1.1.5. Üfleme.....	10
2.1.1.6. Döküm Alma.....	12
2.1.2. Elektrik ile Çelik Üretimi	13
2.1.2.1. EAF İşletimi ve Aksiyonları	15
2.1.2.2. Şarj.....	16
2.1.2.3. Ergitme.....	17
2.1.2.4. Rafinasyon	17
2.2. İKİNCİL METALURJİ PROSESİ.....	22

	<u>Sayfa</u>
2.2.1. Pota Metalurjisi Donanımının İşlevleri	22
2.2.2. Pota Metalurjisinin Getirdiği Teknik ve Ekonomik Üstünlükler	23
2.2.3. Alaşım Maddelerinin ve Deoksidant Malzemeleri Kullanım Verimi.....	23
2.2.4. Alaşım Maddelerinin ve Deoksidant Malzemelerinin Neden Olduğu Kirlilik Sorunu	24
2.2.5. Alaşım Maddelerinin ve Deoksidant Malzemelerinin İlave Sorunu.....	24
2.2.6. Oksijen Giderme ve Kalıntılar	25
2.2.7. İkincil Metalurjinin Getirdikleri	25
2.2.7.1. Üretim Artışı	25
2.2.7.2. Alaşım Maddelerinin Tüketimi.....	26
2.2.7.3. Döküm Sıcaklığı	26
2.2.7.4. Pota Karıştırma İle Daha Temiz Çelik Eldesi.....	26
2.2.7.5. Homojen Sıcaklık ve Kimyasal Bileşim	26
2.2.8. Pota Fırını Metalurjik Aksiyonları	27
2.2.8.1. Döküm Alma.....	27
2.2.8.2. Dökümün LF' ye Alınması	29
2.2.8.3. Sıcaklık ve Analiz Kontrolü.....	29
2.2.8.4. Deoksidasyon	30
BÖLÜM 3	48
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	48
3.1. ÇOLAKOĞLU METALURJİ A.Ş. ÇELİKHANE GENEL ÖZELLİKLERİ	48
3.1.1. Elektrik Ark Ocağı.....	48
3.1.2. Pota Fırınları	49
3.1.3. Vakum Tesisi	49
3.1.4. Sürekli Döküm Makinaları	50
3.2. KULLANILAN HAMMADDELER	50
3.3. DENEY MALZEMELERİNİN ÜRETİMİ	51
BÖLÜM 4	54
DENEYSEL SONUÇLAR VE İRDELENMESİ	54
4.1. EAF CURUFU FeO İSTATİSTİĞİ	54

	<u>Sayfa</u>
4.2. EAF KAÇAN CURUF MİKTARI İSTATİSTİĞİ.....	56
4.3. TEORİK ALÜMİNYUM TÜKETİM MİKTARI.....	57
4.4. İKİNCİL METALURJİ UYGULAMALARI	58
BÖLÜM 5	62
GENEL SONUÇ ve ÖNERİLER	62
KAYNAKLAR	64
EK AÇIKLAMALAR A. XSL S FORMATINDAKİ DATALAR.	65
ÖZGEÇMİŞ	73

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Çelik üretim yöntemi.....	3
Şekil 2.2. Bazik Oksijen Konverteri (BOF)	5
Şekil 2.3. BOF üfleme pratiği.....	6
Şekil 2.4. BOF yönteminin aşamaları.....	7
Şekil 2.5. Üfleme sırasında eriyik kompozisyonundaki değişiklik	11
Şekil 2.6. Modern EAF' nın kesit görüntüsü.....	13
Şekil 2.7. 1600°C' de deoksidasyon denge çizgileri	31
Şekil 2.8. Al, Ti, Si, C, Cr, Mn elementlerinin deoksidasyon eğrileri	32
Şekil 2.9. Mn deoksidasyonu denge eğrileri	35
Şekil 2.10. Si deoksidasyonu denge eğrileri.....	35
Şekil 2.11. 1600°C ve 1538°C sıcaklık için alüminyum deoksidasyonu denge eğrileri	37
Şekil 2.12. Sıvı MnO-SiO ₂ sistemindeki aktivite ilişkileri.....	39
Şekil 2.13. Si-Mn deoksidasyonu denge eğrileri.....	40
Şekil 2.14. Si-Mn deoksidasyonunda kritik Si ve Mn yüzdeleri.....	41
Şekil 2.15. 1600°C sıcaklıkta Al-Mn deoksidasyonunda MnO-Al ₂ O ₃ ve Al ₂ O ₃ ile dengede olan metalin oksijen konsantrasyonuna Mn etkisi	42
Şekil 2.16. 1600°C sıcaklıktaki Al-Si deoksidasyonunda denge ilişkileri	45
Şekil 2.17. Al-Si-Mn deoksidasyonunda sisteme eklenen alüminyum miktarının deoksidasyon ürünü Al ₂ O ₃ miktarına olan etkisi	46
Şekil 2.18. Al-Si-Mn deoksidasyonunda ilk deoksidasyon ürününün %MnO/%Al ₂ O ₃ oranının banyoya eklenen Si ve Al miktarı ile değişimi	46
Şekil 2.19. Al-Si-Mn deoksidasyonunda ilk deoksidasyon ürününün %SiO ₂ /%Al ₂ O ₃ oranının banyoya eklenen Si ve Al miktarı ile değişimi	47
Şekil 3.1. Çolakoğlu Metalurji A.Ş elektrik ark ocağı	49

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Çeşitli elementler için deoksidasyon denge aktivite çarpımı sabitleri	30
Çizelge 3.1. Kullanılan malzeme kimyasal spesifikasyonu ve birim maliyeti	51
Çizelge 3.2. 54235 S235JrLowSi kalite çeliği kimyasal spesifikasyonu.....	51
Çizelge 3.3. EAF cürufu ortalama kimyasal spesifikasyonu	52
Çizelge 3.4. LCAK çeliklerin olası final cürufu kimyasal spesifikasyonu.....	52
Çizelge 3.5. Deneme döküm sayısı.....	53
Çizelge 4.1. FeSiMn denemelerindeki EAF cürufu FeO histogramı.....	54
Çizelge 4.2. FeSiMn+Al denemelerindeki EAF cürufu FeO histogramı.....	55
Çizelge 4.3. FeSiMn+FeMn denemelerindeki EAF cürufu FeO histogramı	56
Çizelge 4.4. FeMn+Al denemelerindeki EAF cürufu FeO histogramı	56
Çizelge 4.5. FeSiMn+FeMn+Al denemelerindeki EAF cürufu FeO histogramı.....	57
Çizelge 4.6. Denemelerindeki EAF cürufu ortalama %FeO miktarı	57
Çizelge 4.7. EAF cüruf miktarı ve cüruf kalınlığı ilişkisi.....	58
Çizelge 4.8. Denemelerdeki PF giriş oksijen değerleri.....	59
Çizelge 4.9. Deneme değerleri.....	60
Çizelge 4.10. Teorik verim	61
Çizelge 4.11. Maliyet açısından 54235 kalite çeliklerde Alyaj/Al kullanımı – Al Tüketim grafiği 1600°C ve 1538°C sıcaklık için alüminyum	62
Çizelge 4.12. Miktar açısından 54235 kalite çeliklerde Alyaj/Al kullanımı – Al Tüketim grafiği	62
Çizelge EK A.1. XSL Formatındaki Datalar	65

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

()	: curuf fazı
(l)	: liquid, sıvı faz
(s)	: solid, katı faz
[]	: çelik içinde çözünen
<, >	: küçük, büyük
Σ	: toplam
°	: selsiyus
Al	: alüminyum
Al ₂ O ₃	: alüminyum oksit (Alümina)
a _M	: M metalinin aktivitesi
Ca	: kalsiyum
CaF ₂	: kalsiyum florür, Florit, Fluşpat
CaO	: kalsiyum oksit
CaS	: kalsiyum sülfür
CO	: karbonmonoksit
CO ₂	: karbondioksit
Cr	: krom
f	: aktivite katsayısı
Fe	: demir
Fe ₂ O ₃	: hematit
Fe ₃ O ₄	: manyetit
FeMn	: ferromangan
FeO	: demir oksit, vüstit
FeSi	: ferrosilis
FeSiMn	: ferrosilikomangan
g	: yoğunluk

H	: hidrojen
H ₂	: hidrojen gazı
K	: denge sabiti
MgO	: magnezyum oksit
Mn	: mangan
N ₂	: azot
O	: oksijen
O ₂	: oksijen gazı
P	: fosfor
P ₂ O ₅	: fosfor penta oksit
S	: sülfür, kükürt
Si	: silis
SiO ₂	: silica, silisyumdioksit
Ti	: titanyum
V	: hacim
W	: ağırlık

KISALTMALAR

BOF	: Basic Oxygen Furnace (bazik oksijen konverteri)
CaO/SiO ₂	: bazite
cm/dk	: dakika başına santimetre
EAF	: Electric Arc Furnace (elektirik ark ocağı)
kcal/Nm ³	: normal metreküp başına kilo kalori
kg/TŞÇ	: ton sıvı çelik başına kilogram
LCAK	: Low Carbon Aluminium Killed (alüminyum ile öldürülmüş düşük karbon)
LF	: Ladle Furnace (pota fırını)
Nm ³ /dk	: dakika başına normal metre küp
OG	: Off Gas (atık gaz)
PF	: Pota Fırını
ppm	: Part Per Million (milyon başına birim)
TL/TŞÇ	: ton sıvı çelik başına Türk Lirası

ton/m³ : metreküp başına ton
VD : Vacuum Degasser (vakum altında gaz giderici)
YF : Yüksek Fırın
MW : Mega Watt
VAI : VoestAlpine Int.
MHI : Machine Human Interface (makine insan arayüzü)

BÖLÜM 1

GİRİŞ VE AMAÇ

Çeliğin dökülebilmesi, sıcak işlenebilmesi ve ürünün istenen metalurjik ve mekanik özellikleri taşıyabilmesi için sıvı çeliğin deokside edilmesi gerekir. Deoksidasyon işlemi üretim hattında EAF veya BOF konverterinden döküm esnasında başlayıp Pota Fırını işlem süresince devam etmektedir.

Deoksidasyon için kullanılan malzemeler deoksidant olarak adlandırılmaktadır. Deoksidantlar Silisyum (Si), Alüminyum (Al), Kalsiyum (Ca) ve Karbon (C)' dir. Bu malzemelerin bazıları master alaşım olarak kullanılmamakta olup, ferroalyaj formu olarak da kullanılmaktadır.

Deoksidasyonda temel grafik olarak Ellingham Grafiği kullanılmaktadır. Grafik metallerin oksijene olan afinitesini göstermektedir. Bu da bize hangi metalin oksijenle reaksiyona ne kadar ilgili olduğu anlaşılmaktadır.

Çelikhanede yapılan çalışmalarda 54235-S235JRLowSi kalite çelikler baz alınmıştır. Uzun süreli alınan datalar ışığında mevcut durum belirlenmiştir. Deneysel çalışmalarda yapılan tüm aksiyonlar datası toplanılmıştır. Mevcut durum ve deneysel çalışmalar arasındaki farklılıklar belirlenmiş ve grafikler hazırlanmıştır.

Deneysel çalışmalar EAF' dan döküm esnasından başlayıp, pota fırını tesisi işlem sonuna kadar devam etmektedir. Deneysel çalışmalar kalite speklerine uygun ve tölens aralıkları içersindedir. Kaliteden sapan döküm denemeleri datalar içerisinde yer almamaktadır.

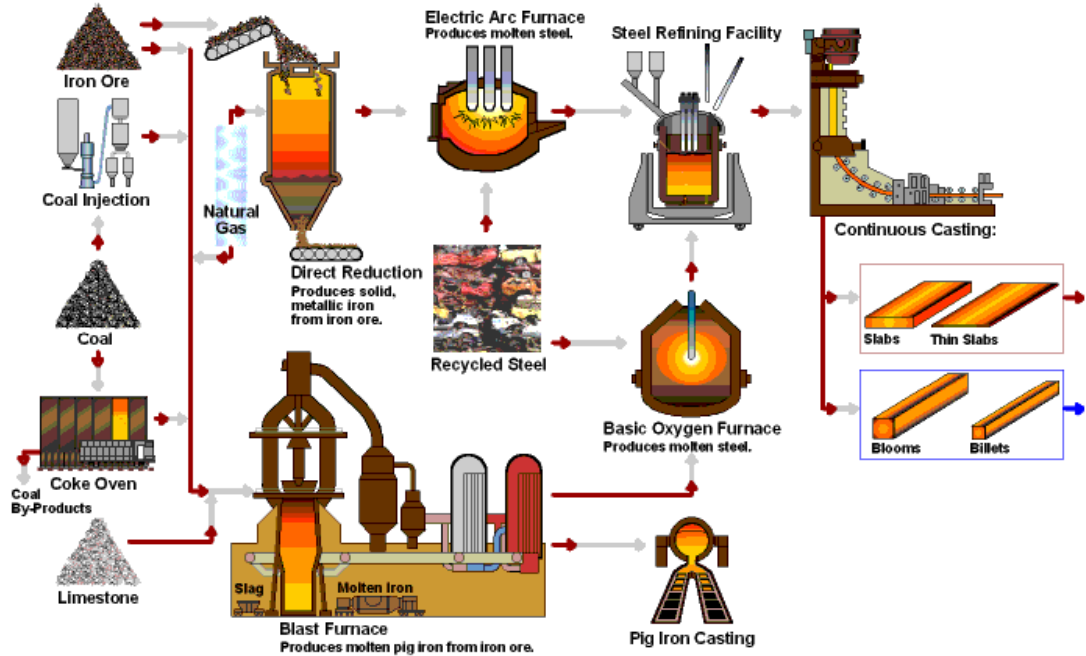
Bu çalışmada, slab kalite çeliklerin üretimi sırasında kullanılan deoksidantların farklı uygulamalardaki maliyete olan etkileri incelenmiştir. Çalışmanın yapılması ve

sonuçların ortaya konmasında bizzat EAF ve PF işletme şartlarında yapılan gözlemler, araştırma, hesaplamalar, denemeler ve bu alandaki tecrübelerden yararlanılmıştır.

BÖLÜM 2

ÇELİK ÜRETİMİ HAKKINDA TEORİK İNCELEMELER

Çelik, cevherden ve hurdadan olmak üzere iki üretim yöntemi ile üretilmektedir. Şematik olarak Şekil 2.1’de gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Çelik üretim yöntemi.

Cevherden üretim yöntemi Kok tesisi, Yüksek Fırın tesisi ve Çelikhane tesisini içermektedir. Pelet, sinter ve demir cevheri gibi demir oksit malzemeler kullanılmaktadır. Demir, yüksek fırınlar tesisinde oksitlerini Kok tesisinde üretilen, deoksidant olarak kullanılan, kok kömürü ile indirgenerek % 4 – 5 C, % 1 Mn ve % 1 Si içerikli sıvı ham demir elde edilmektedir. Sıvı ham demir (SHD) çelikhane tesisinde bulunan Bazik Oksijen Fırınına şarj alınır. SHD içerisinde bulunan % 1 Si ısı enerjisi kaynağı olmakla beraber Oksijen Konverterlerinde ısı balansını sağlamak amacıyla toplam şarjın % 15 – 25’ i kadar hurda şarj alınmaktadır.

Oksijen konverterlerinde, lans vasıtasıyla yüksek debi ve basınçla oksijen üflenmektedir. Oksijen ile reaksiyona giren SHD C' nun CO/CO₂ olarak Offgas' a (OG), Mn ve Si' i oksitleyerek cüruf fazına alarak çelik üretimi gerçekleştirilir. Üfleme periyodunu tamamladıktan sonra uygun sıcaklık ve karbon değerine ulaştığı taktirde döküm aşamasına geçer. Döküm esnasında cüruf yapıcılar, deoksidantlar ve ferroalyaj ilavesi yapılır. Döküm ikincil metalürji tesisi olan Pota fırınlarına nakledilir. Burada üretim kalitesi sağlandıktan sonra sürekli döküm makinalarının şartlarına uygun sıcaklık ile gönderilir.

Hurdadan üretim yöntemi tek bir Çelikhane çatısı altında Elektrik Ark Ocağı (EAF), İkincil Metalürji Tesisi (Pota Fırını, Vakum Altında Gaz Giderme) ve Sürekli döküm makinalarını içermektedir. Burada çelik, elektrik enerjisi kullanılarak üretilmektedir. Bu konu hakkında detaylı bilgi ileriki bölümde verilecektir.

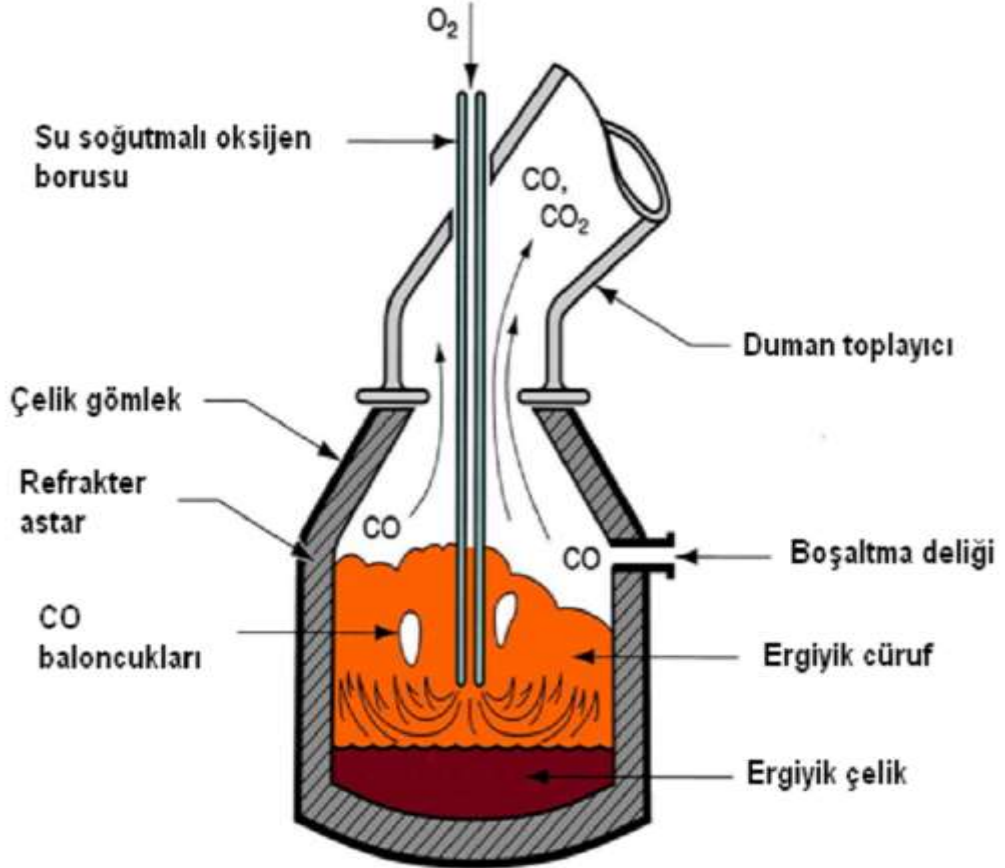
Geleneksel çelik yapım yöntemlerinde istenen çelik cinsi tek bir üretim ünitesinde gerçekleştirilmekteydi. Bunun sonucu ergitme ve rafinasyon süreleri uzundu. Ayrıca çelik yapım donanımının üzerine büyük gerilimler yükleniyordu. Yeni yöntemlerde çelik üretimi primer (birincil) ve sekonder (ikincil) çelik yapım süreçleri şeklinde ikiye ayrılmış, çelik yapımı çok daha ekonomik hale gelmiştir. Birincil çelik yapımı aşamasında şarj ergitilmekte, C ve P oksitlendikten sonra metal bir potaya alınmaktadır. Burada çelik düşük sıcaklıkta tutularak astar ömrü ve verimliliği arttırılmaktadır. Yüksek kaliteli bir çelik üretimi için gereken bütün metalurjik işlemler bu potada gerçekleştirilmektedir. Bu da ikincil çelik üretimini kapsamaktadır.

2.1. BİRİNCİL ÇELİK ÜRETİMİ

Birincil çelik üretimi oksijenle ve elektrikle üretim olarak iki ana grupta incelenmektedir. Oksijenle çelik üretimi; Bazik Oksijen Fırını (BOF), elektrikle çelik üretimi Elektrik Ark Ocağı (EAF) ile gerçekleştirilmektedir. Hem BOF' da hem de EAF' da üretim sürecinde oksidasyon prensibi ön plandadır.

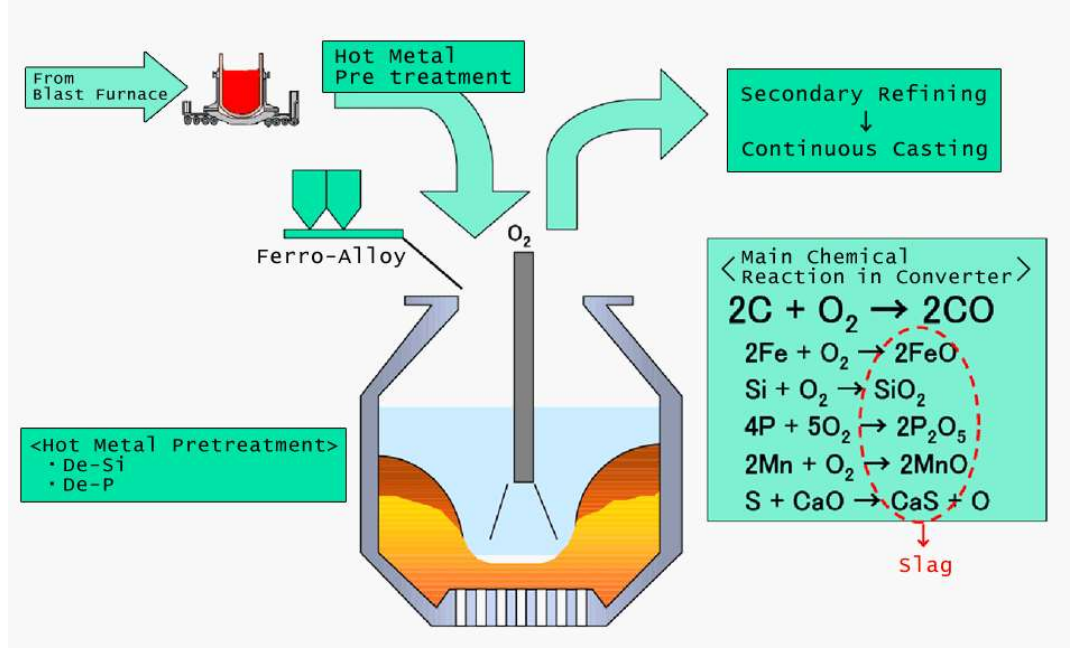
2.1.1. Oksijenle Çelik Üretimi

Oksijen ile çelik üretimi Konverter olarak adlandırılan Bazık Oksijen Fırını (BOF) tesisinde yapılmaktadır. Fıçı görünümünde ve refrakter tuğla karakteristiği bazıktır. Dışarıdan hiçbir enerji girdisi olmamakta, tüm enerji gereksinimini kimyasal reaksiyonlardan sağlamaktadır.



Şekil 2.2. Bazık oksijen konverteri (BOF).

Konvertöre uygun miktarda hurda ve sıcak metal şarj edildikten sonra dik duruma getirilerek oksijen lansı şarjın üzerindeki daha önceden tayin edilmiş yüksekliğe indirilir. Yüksek saflıkta oksijen, yüksek basınçla şarjın üstüne üflenerek şarjda fiziksel ve kimyasal reaksiyonlar oluşturur.



Şekil 2.3. BOF üfleme pratiği.

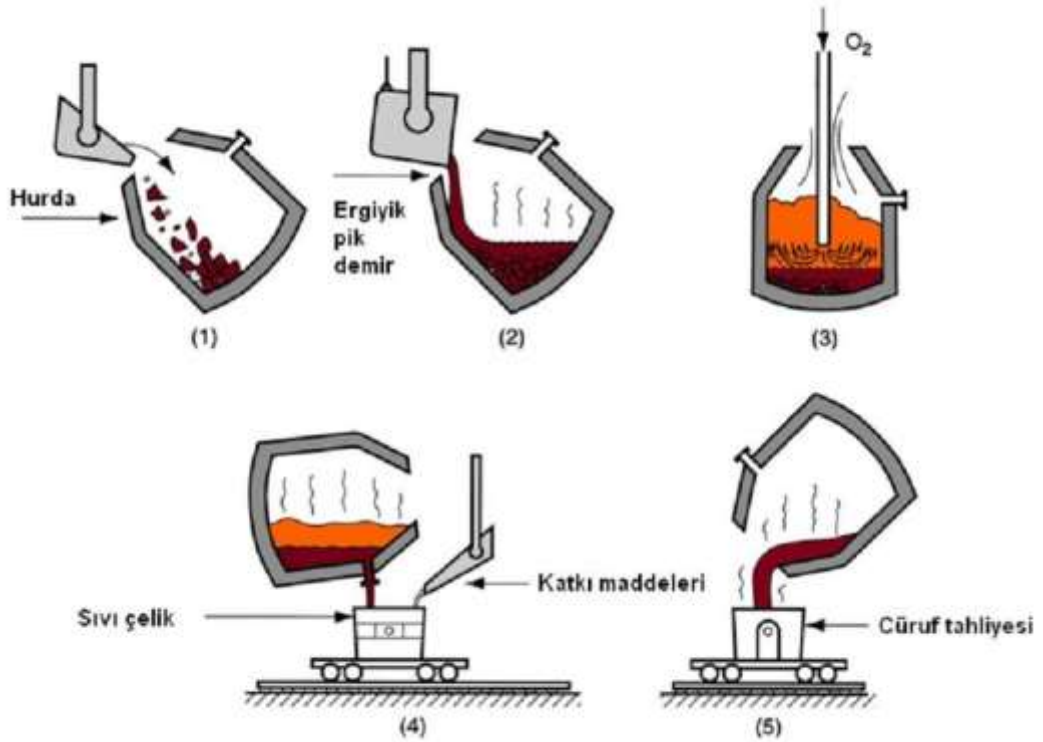
Sıcak metaldeki silis ile oksijen hemen reaksiyona girer ve ısı oluşur. Kontrollü miktarda ilave edilmiş katı maddeleri ile bir cüruf oluşturan erimiş silika (SiO_2) ortaya çıkar. Üfleme ilerledikçe, oluşan cüruf metal ile karışır. Diğer metaloidler; P, Mn ve C' da oksitlenir. Kaynama hareketini arttıran karbonmonoksit oluşur ve şarjın tasfiyesi hızlanır [1].

Çelik numunesi alınırken oksijen üfleme durdurulur, lans yukarı çekilerek sıcaklık ölçümü ve bileşim numunesi alma durumuna devrilir. Çelik bileşim ve sıcaklığını ayarlamak için gerekli ilaveler sonra yapılır. Çelik çok soğuk ise üfleme tekrarlanır. Şarjın bileşim ve sıcaklığı uygun olduğunda konverter döküm deliği tarafına devrilir ve şarj döküm potasına dökülür. Alaşım ilavelerinin %90' ı verilir. Tüm bu işlemler her döküm için tekrarlanır.

2.1.1.1. Oksijenle Çelik Üretiminin Avantajları

Konverterlerde reaksiyonlar gayet hızlı ve çok kısa sürede (15 – 20 dakika) oluşmaktadır. Hurda şarjı çok kısa sürede yapılabildiği gibi tüm çelik üretim süresi toplamda 40 – 45 dakikada tamamlanabilmektedir. Oksijen konverterlerinde; Si, Mn, P ve C saf oksijen le oksitlenmesi ekzotermik reaksiyonlarla olur. Bu ısının konveter

refrakterine zarar vermemesi için ısı balansı yapılması gerekmektedir. Bu ısı balansı çelik hurdası veya katı pik veya temiz demir oksit cevheri ilavesi ile yapılmaktadır. Isı balansı için katı geri dönüşüm ve cevher kullanma esnekliği yanında üretim ekonomisi açısından büyük avantajlar doğurmaktadır. Konverterlerde saf oksijen kullanıldığından, fosfor rafinasyonu, karbonun rafinasyonu ile aynı periyotta olması rafinasyon süresini kısaltmaktadır. Doğal olarak saf oksijen kullanıldığından, çelik içerisindeki çözünen azot problemi de minimuma inmektedir.



Şekil 2.4. BOF yönteminin aşamaları: (1) hurda şarjı, (2) sıvı ham demir şarjı, (3) O₂ üfleme, (4) döküm alma, (5) curuf alma.

2.1.1.2. Oksijenle Çelik Üretim Prosesi

Çelik hammaddesi olan sıcak metal yüksek fırına şarj edilen demir cevherinin indirgen olarak kullanılan kokla redüklenmesi sonucu elde edilir. Elde edilen pik karbon bakımından doymuş vaziyette olup (C % 4,00 – 4,50) içerisinde Mn, Si, S ve P gibi elementler de vardır [1].





Kimyasal reaksiyonlar sonucunda meydana gelen oksitler cüruf fazına, CO ve CO₂ banyodan uzaklaşarak Off-Gas (OG) sisteminde toplanmaktadır.

2.1.1.3. Oksijenle Çelik Üretimde Kullanılan Hammaddeler

BOF' da çelik üretiminde kullanılan hammaddeler şu şekilde gruplanmaktadır[1].

1. Sıcak Metal

Yüksek fırınlarda üretilmekte olup torpedolar vasıtası ile çelikhaneye nakli sağlanır. Kimyasal spesifikasyonu ;

C : % 4,00 – 4,50

Mn : % 0,50 – 1,30

Si : % 0,50 – 1,30

S : % 0,050

P : % 0,050

Fe : % 87,00 – 92,00

2. Hurda

Sıcak metaldeki elementlerin oksijenle reaksiyonu sonunda çıkan ısı enerjisi çok fazladır. Bu çıkan ısı enerjisi banyo sıcaklığını aşırı şekilde yükselttiği gibi, fırın refrakterlerinin de olumsuz şekilde etkilemektedir. Isı enerjisinin fazlasının sistemde tutulması ile enerji sarfiyatının düşüşünü sağlamak için katı şarj olarak hurda şarjı yapılmaktadır. Gerekli olan hurda miktarı şarj hesabından hesaplanmakta olup, en belirli element Si'dir. Mevcut sıvı şarj içerisindeki Si miktarının oksijen ile reaksiyonundan doğacak ısının hesaplanması sonucunda eklenecek hurda miktarı belirlenir.

3. Curuf Yapıcılar

BOF'da oksitleyici ortam şartlarında oluşan oksitleri, empüriteleri toplayan ve reaksiyon hızını arttıran katkı malzemeleridir;

3.1. Metalurjik Kireç (CaO)

Cürufun yüksek oranını kapsamaktadır. BOF' da istenilen bazikliğin ayarlanmasında önemli rol oynar. İçerisindeki aktif CaO miktarının %90 üzerinde olması, fiziksel olarak da hızlı şekilde çözülmeye girmesi istenir. Çelikte P ve S'ün giderilmesinde önemli rol oynadığı gibi hızlı çözülerek üfleminin ilk dakikalarında oluşan asidik karakterli olan silkatlı yapının ($\text{FeO} \cdot 2\text{SiO}_2$) refrakter aşındırmasını da engeller. Kimyasal spesifikasyonu;

Aktif CaO	: % 85,00 (min)
MgO	: % 15 (max.)
$\text{SiO}_2 + \text{FeO}$: % 2,50 (max.)
S	: % 0,030 (max.)
P	: % 0,020 (max.)

3.2. Dolomitik Kireç (MgO.CaO)

BOF refrakterleri yüksek MgO içeriklidir. Kimyasal spesifikasyonu olarak BOF cürufları % 7,00 civarında MgO çözünebilmektedir. Bu durumda sisteme dışarıda MgO ilavesi yapılmadığı sürece ihtiyacı refrakter astardan karşılanacaktır. Bu sebepten, gerekli olan miktar hesaplanarak sisteme dışarıdan dolomitik kireç ilavesi yapılmaktadır. Kimyasal spesifikasyonu;

Aktif CaO	: % 57,00 – 80,00
Aktif MgO	: % 8,00 – 31,00
$\text{SiO}_2 + \text{FeO}$: % 5,00 (max.)

2.1.1.4. Şarj

BOF' da çelik üretiminin sağlıklı yapılabilmesi için belirli hesaplar yapılması gerekmektedir. Bu hesaplamalar birinci şarj hesabı ve ikinci şarj hesabı olmak üzere iki kademede yapılır.

Birinci şarj hesabında, BOF'a yapılacak olan sıcak metal şarjı ve hurda şarjı miktarları hesaplanır. Bu hesaplamalar için bilinmesi gereken birkaç data vardır. Bu datalar, sıcak metal sıcaklığı, sıcak metal kimyasal spesifikasyonu, hedef kalite kimyasal spesifikasyonu, hedef sıcaklıktır.

İkinci şarj hesabında BOF' da üfleme pratiği sonu analize ve hedef sıcaklığa ulaşmak için gereken cüruf yapıcı malzemelerin, gerekiyorsa ısıtıcı (FeSi) ve soğutucu (demir cevheri / dolomit taşı) ilavelerinin ve üflenecek olan oksijen hesaplanması yapılır. Bu hesaplamalar için bilinmesi gereken birkaç data vardır. Bu datalar, sıcak metal miktarı, hurda miktarı, hedef kalite kimyasal spesifikasyon, hedef sıcaklıktır.

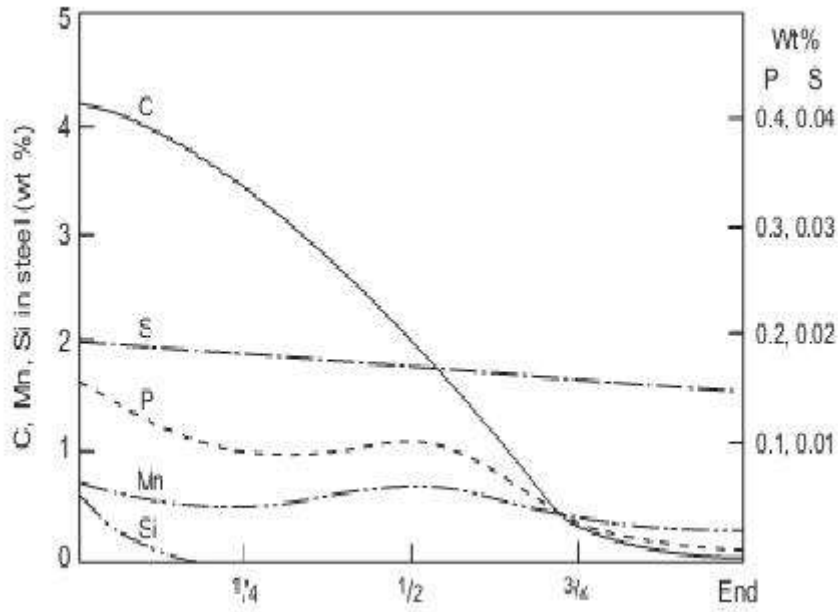
Tecrübelerle sabitlenmiş olmakla birlikte sıcak metal miktarı ve hurda oranı, toplam şarjın (hurda + sıvı metal) %80' e % 20 olarak çalışmaktadır.

2.1.1.5. Üfleme

BOF sıcak metal ve hurda şarjı için şarj holüne doğru hafif 45 derece açı ile yatırılarak şarj alınır. Şarj sonrası BOF döküm holü ve şarj holü tarafına hafif yatırılarak çalkalama hareketi yapılır. Üfleme başlaması için dik konuma getirilerek üfleme başlangıcı yapılır. Üfleme lansı BOF içersine banyo seviyesinin biraz üstünden üfleme başlar. Üfleme 250 Nm³/dk debi ve 14 bar basınçta yapılmaktadır. Üfleme debisi yükseltilecek proses süresi kısaltılabilir. Oksijen üfleme başlaması ile ilk etapta C yanmaktadır. Yanmanın başlamasıyla cüruf yapıcı malzemeler, fırın ağzı malzeme şutundan fırın içerisine verilir. Üflemede yanmanın başlamasıyla banyo içerisindeki Si ve Fe oksitlenerek FeO.2SiO₂ oksitleri oluşur ki bu da BOF refrakteri için çok tehlikeli, aşırı asidik karakterli cüruf yapıcıdır. Cüruf yapıcıların yanmanın başlaması itibari ile verilmesinin sebebi de bu cüruf

karakteristiğini değiştirmektedir. Cüruf yapıcı içersindeki aktif CaO, FeO.2SiO₂ curufu içersinde çözünerak FeO' yu yalnız bırakır ve CaO.SiO₂ curuf formuna dönüşür. CaO.SiO₂ bazık karaktere daha yakın bir oksit bileşiğidir.

Banyo içersindeki C yanarak, karbonmonoksit (CO) ve karbondioksit (CO₂) haline gelmektedir. Üfleme başında yanma ürünü FeO' dur ve dekarbürizasyon aşamasında başrol oynamaktadır. FeO, SHD içeriğindeki C ile reaksiyona girerek sıvı banyoda karbon kaynamasına sebebiyet vermektedir. Üfleme sonuna doğru sıvı banyoda C miktarı % 1'in altına düşüğünde fosfor/kükürt rafinasyonuna geçilir. Rafinasyon işleminde üfleme sonlandırılıp döküm alma işleminde geçilir. Üfleme sonu C içeriği % 0,04 civarındadır [1].



Şekil 2.5. Üfleme sırasında eriyik kompozisyonundaki değişiklik [1].

Üfleme pratiğini belirleyen unsurlar, oksijen üfleme debisi, lans ucu dizaynı ve lans ile banyo yüzeyi arasındaki uzaklıktır. Oksijen debisi ve lans yüksekliğine göre iki tip üfleme vardır. Eğer oksijen debisi yüksek ve lans aşağıda ise sert üfleme, değilse yumuşak üfleme diye adlandırılmaktadır [1].

Sert üflemede, oksijenin banyoya penetrasyonu derinlere doğrudur. Böylece dekarbürizasyon hızı artar, FeO oluşumu azalır, Mn ve P oksidasyonu azalır.

Yumuşak üflemede oksijenin banyoya penetrasyonu sert üflemeye nazaran çok azdır. Böylece banyo karışımı azalır, FeO oluşumu artar, cüruf köpüklenmesi gözlenir, dekarbürizasyon azalır, Mn ve P giderimi için daha iyi ortam oluşur, refrakter aşınması FeO artışından fazlalaşır [1].

Genellikle BOF üretiminde sert üfleme pratiği ile çalışılmak istenmektedir. Yumuşak üfleme ile banyo seviyesinde yükselmeler meydana gelecek ve BOF kapasitesi düşecektir.

2.1.1.6. Döküm Alma

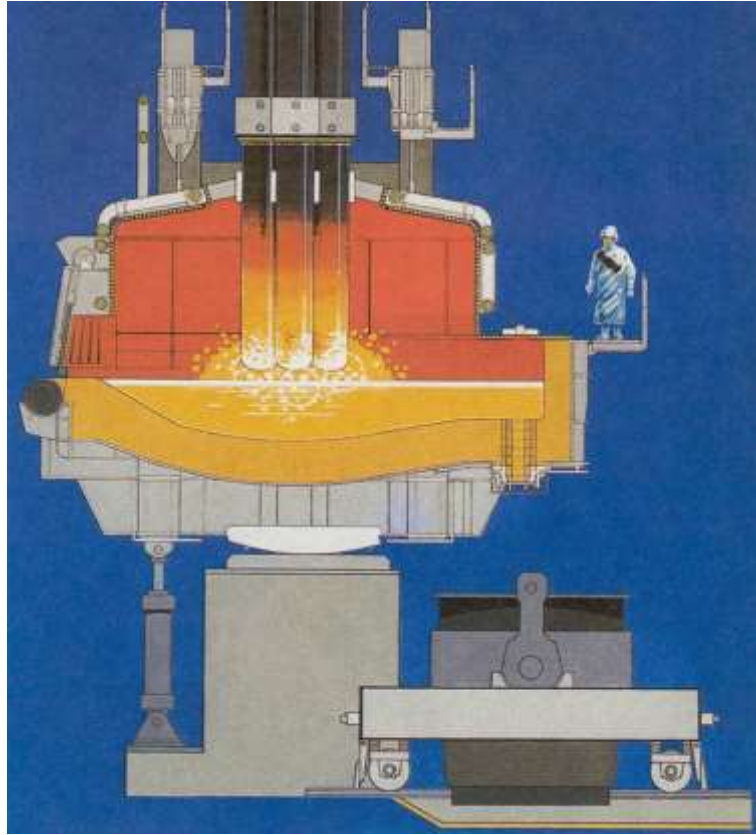
Üfleme bitiminden itibaren başlamakta olan bu süreçte BOF şarj holüne doğru yatırılarak numune ve sıcaklık kontrolü yapılmaktadır. Değerlerde anormal bir sapma olmadıkça BOF döküm holüne doğru yatırılarak döküm deliğinden çelik potasına dökümü başlar. Döküme geçerken BOF'dan çelik potasına cüruf kaçmaması için hızlı bir şekilde devrilmesi gerekmektedir. BOF cürufunun kaçmasıyla fosfor sapsmaları yaşanmakta, deoksidasyon ve alaşım malzemeleri veriminde düşüş görülmektedir. Döküm sırasında deoksidasyon alaşımlama kaba şekilde yapılmaktadır. İnce ayar kısmı bir sonraki tesis olan İkincil Metalurji kısmında yapılacaktır. Kaba deoksidasyon ve alaşımlama malzemeleri belli bir sıra çerçevesinde verilmektedir. Öncelikle karbon verici olan kok kömürü akabinde deoksidasyon malzemeleri, cüruf yapıcı malzemeler ve sonrasında alaşım malzemeleri verilmektedir. Bu malzemelerin döküm sırasında çelik potasının 1/3 seviyesinde başlayıp 2/3 seviyesinde bitirilmiş olması gerekmektedir.

2.1.2. Elektrik ile Çelik Üretimi

Elektrik ile çelik üretimi Elektrik Ark Ocağı (EAF) ile yapılmaktadır. Yüksek güçlü trafo; şebeke yüksek voltajını düşük voltaja, düşük şebeke amperajını yüksek amperaj sağlayarak; üç adet saf grafitten yapılmış elektrod vasıtası ile elektrik enerjisi ile ertirme sağlamaktadır.

Son 30 yıl içerisinde EAF 'lı tesislerin kurulum maliyetlerine bakıldığında yüksek fırın (YF) ve BOF entegre çelik fabrikalarına göre hatırı sayılır bir fark mevcuttur. Ayrıca EAF' lu tesislerin saha açısından fazla alana gereksinimi yoktur.

EAF'ı çaydanlık görünümünde olup refrakter tuğla karakteristiği bazıktır. Elektrik enerjisini ısı enerjisine çevrilmesi prensibi ile çalışmaktadır. BOF sistemindeki gibi oksitleyici ortamı sağlamak ve karbon kaynaması yapılması amacı ile Oksijen/Karbon enjeksiyon lansları mevcuttur.



Şekil 2.6. Modern EAF' nın kesit görüntüsü.

EAF ile çelik üretimi, 1900' lü yılların başlarında endüstrideki yerini almışsa da, özellikle 1930'ların ikinci yarısından sonra daha belirgin bir gelişme göstermiştir. Bu gelişmelerin nedeni üç grupta toplanmıştır.

1. Üretim arttırma
2. Üretim maliyetini azaltma

3. Isı verimini arttırma

1930'ların sonlarına kadar, EAF sadece alaşımli çeliklerin üretiminde kullanılmış ve bu proses alaşimsız çeliklerin seri üretimi için pahalı olmuştur. İkinci dünya savaşın yıllarında, alaşımli ve yüksek vasıflı çeliğe olan talep çok fazla miktarda artınca, 30 – 40 ton yükleme kapasiteli ocaklar inşa edilmiştir. Savaş sonralarına doğru ise 150 ton yükleme kapasitesine kadar ocaklar inşa edilmeye başlanmıştır. Ancak trafo güçleri belirtilen yüksek kapasiteleri karşılayamamıştır.

1950'li yılların başlamasıyla, yüksek trafo kapasitelerinin gelişmiş, ergitime ve kaynamayı hızlandırmak için oksijen üfleme işlemi uygulanmıştır [2].

Bütün bu gelişmelerle, dökümden döküme geçen zaman kısaltılmış ve işletme maliyetin düşürülebilmıştır. Bu zamandan sonra ark ocakları, çelik üretiminde kullanılan BOF' larla karşılaştırılabilme imkanına kavuşmuştur.

1960' lı yılların ortalarında alaşımli çelik isteğinin artması, daha büyük kapasiteli ve trafo güçlü, Ultra High Power (UHP) ocaklarının yapılmasına neden olmuştur. ABD' de kurulan bu ocak, dökümden döküme geçen zamanın kısaltılmasına katkı sağlamıştır [2].

1970'li yılların başlamasıyla birlikte ilave gelişmeler kaydedilmiş, trafo güçleri 180 – 200 ton yükleme kapasiteli ocaklarla üretilebilme imkanı sağlanmıştır. Ergitme zamanını kısaltmak için ise oksijen yakıt brülörleri kullanılmaya başlanmış fakat refrakter astar aşındırması artmış, çanak gövdesi ve tabanını korumak amacı ile su soğutmalı sistemler geliştirilmiştir [2].

Günümüzde EAF'lar da alaşımli, özel ve üstün kaliteli çelik üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. EAF bu önemi kazandıran teknolojik ve ekonomik faktörler ise şunlardır [3];

1. Ucuz elektrik enerjisi üretimi ve temin olanaklarının arttırılması
2. Elektrod üretiminin ve kalitelerinin geliştirilmesi

3. Elektrik kontrol sistemlerinin geliştirilmesi
4. Refrakter malzemelerin cins ve kalitelerinin geliştirilmesi
5. Mekanik, hidrolik ve elektronik alanlarda endüstriyel gelişmelerin sağlanması
6. Yüksek sıcaklığa kolaylıkla ve hızlı ulaşılması
7. İşlem kolaylığı, çalışma esnekliği ve fırın atmosferinin temiz olması
8. Entegre tesislerin optimum kapasitelerinin büyük değerlere ulaşması sonucunda yatırım miktarının artması
9. EAF ile çelik üretimi tesislerinin sürekli döküm yöntemi ve ticari haddehanelerle bütünleştirilerek “mini steel” adı verilen tesislere doğru kolayca gelişebilmeleri.

Gelecekte ise aşağıda sıralanan gelişmeler, EAF ile çelik yapımının daha fazla ilerlemesine katkıda bulunacaktır [3].

1. İkincil metalürji tesislerinin esnekliği ve üretim hızının artması
2. Hurda ön ısıtma sistemlerinin geliştirilmesi
3. Seviye – 1, seviye – 2 ve seviye – 3 bilgisayar kontrol sistemlerinin geliştirilmesi ve uygulanması ile üretim kontrolü sağlanması
4. Alaşım ve vasıflı çelik taleplerinin artması ve hurda teminin kolaylaşması

2.1.2.1. EAF İşletimi ve Aksiyonları

Elektrik ark ocaklarının hazırlanması devirme işlemi bitmiş bir ocağın geriye alınması ile birlikte, bir sonraki dökümün hazırlığı da başlar. bu aynı zamanda, dökümden döküme geçen zaman (Tap-To-Tap) başlangıcıdır. Ocak hazırlama işlemi, elektrik akımının verilmesi anında son bulur.

Elektrik ark ocaklarının hazırlanma (Tap-On) süresi, genel süreyi etkileyen çok önemli bir faktördür.

Bu sürede yapılabilecek işlemler 3 ana grupta toplanır.

1. Hazne ve duvar tamiri
2. Elektrod ayarı veya ilavesi

3. Şarj alma ve bastırma

Bu işlemlerden hangisinin yapılacağıın önceden tespiti, ekipman ve malzemenin planlanması, elemanların yapacağı işin önceden tariflenmesi bu sürenin mümkün olduğu kadar kısaltılmasını sağlayacaktır. Bu da hem ocaktaki aşırı soğumaları önleyecek hem de genel süreyi etkileyecektir.

2.1.2.2. Şarj

Şarj şarj kovaları ile yapılır. Şarj yapılırken, ilk şarjda ocağa kireç atmak faydalıdır [3]. Bunun nedeni;

1. Curuf yapımını kolaylaştırır.
2. Atılan kireç tabanı korur.
3. Fosfor tasfiyesini kolaylaştırır.
4. Çeliği reoksidasyondan korur.

ekonomik bir şarj için,

1. Taban refrakterlerinin veya panellerin zarar görmemesi.
2. Elektrod kırılmalarının önlenmesi.
3. En fazla 2 şarj yapılması.
4. Şarj basma işlemlerinin olmaması.
5. Ergimenin en düşük enerji sarfiyatında gerçekleşmesi.
6. İstenilen analize uygun hurda karışımının yapılması gereklidir.

Bunun için de;

1. En altta yastık görevi göreceğ hafif hurda, üzerine ağırdan hafife doğru diğer hurdalar konmalıdır.
2. Ağır hurdalar ilk şarjda ergitilmelidir.
3. Genel olarak yığın yoğunluğu fazla olan hurdalar kullanılmalıdır.

4. İkinci şarjlar erken alınmamalıdır.
5. Çok iyi bir hurda gruplandırması ve hurda holü tasnifi yapılmalıdır.

2.1.2.3. Ergitme

Ergitme başlangıcında, duvarı ve tavanı arkın radyasyonundan korunmak için elektrodlar çok hızlı bir şekilde hurdanın arasına indirilmelidir. Erime hızı (cm/dk), hurdanın yığın yoğunluğu ile ters orantılıdır. Bu yüzden hafif hurda, şarj kovasının üst kısmına konulmalıdır. Hurda erir erimez arkın gücü düşürülmelidir. Çünkü ark radyasyonu duvar ve tavana zarar verebilecek duruma gelecektir. Ergitme işleminde en önemli durumun ark radyasyonu olduğu unutulmamalıdır [3].

2.1.2.4. Rafinasyon

Çelik ve curufun erimesiyle birlikte, istenmeyen elementlerin çelikten arındırılması işlemine rafinasyon denir.

Elektrik ark ocaklarında çelik yapımı, fırın astarlama pratiğine bağlı olarak, asidik veya bazik diye ikiye ayrılır. Bu da cürufun asidik ve baziklik oranı ile ilişkilidir [3].

Bazik metod

Bu metod, alaşımsız ve alaşımlı çeliklerin üretilmesi gerektiği ve hurdanın fosfor miktarının yüksek olduğu durumlarda uygulanır. Bu metodla yapılan çelik üretimlerinde, öncelikle ele alınması gereken üç önemli problem vardır [3].

Hidrojen ve nitrojen problemi

Bilindiği gibi hidrojen ve nitrojen genellikle çelik bünyesinde istenmez [4].

Çeliğin katılaşması sırasında, hidrojen bölgesel konsantrasyonu gereğinden fazla olduğu anda hidrojen çatlakları oluşur. Bu da mekanik özelliklerin olumsuz yönde etkilenmesi, hatta malzemenin hurda olması demektir. Hidrojenin çelikteki oluşması,

fırındaki su buharı redüksiyonundan, yağlı veya ıslak hurdada, rutubetli hammaddelerden kaynaklanabilir. Bu durumdaki reaksiyondan [5],



Oluşan denge durumu, fırındaki su buharının kısmı basıncına ve metaldeki oksijen konsantrasyonuna bağlıdır. Metaldeki oksijen konsantrasyonu düştükçe, su buharından redüklenen hidrojen miktarı en yüksek değere ulaşacaktır.

Nitrojende genellikle çelikte istenmez. Vanadyum, krom, manganez çelik içindeki N konsantrasyonunu çoğaltırken; nikel, silis ve karbon azaltır.

İşte bu tür hataların oluşmaması için ve fire oranının artmaması için genellikle ocak şartlarını sağlayacak en önemli işlem CO kaynaması olmaktadır. İyi bir kaynama ile gerek H, gerekse N istenen seviyelere indirilebilmektedir.

Fosfor Problemi

Fosforun (P) giderilmesindeki en önemli nokta, demir, oksit ile fosfor – pentaoksit (P_2O_5) oluşumundaki serbest enerjilerin benzerliğidir. Bu durum P_2O_5 'in cüruf içersindeki aktivitesini düşürmekle yani baziklik oranı yüksek bir cüruf sağlamakla giderilebilir [4]. O halde istenen baziklik oranı;

$$V = \frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2} = 2,8 \quad (2.7)$$

civarında olmalıdır [3].

Aslında kullanılan hurdadaki P miktarının düşük olması, yüksek C ile ergitmenin amaçladığı anlarda büyük tasarruf sağlayacaktır. Çünkü C' a yüksek ergitme isteniyorsa şarj arasına cevher vermek ters bir uygulama olacaktır. Bu durumda eğer hurdada da P yüksek ise tekrar cevher ve oksijenle reaksiyona girecektir. Bu da enerji ve zaman sarfı demektir. P tasfiyesi yapıldığında banyo sıcaklığı 1540°C

civarında cürufun çekilmesi gereklidir. Sıcaklık yükseldiğinde banyoya geri dönecektir. İyi bir P rafinasyonu için;

1. Bazik bir cüruf
2. Yüksek kireç miktarı
3. Curufda % 14 – 16 FeO miktarı
4. Düşük sıcaklık

Çok iyi bir P cürufu çekilse dahi bazen banyoda P yükselmesi olur. Bunun cüruf seviyesindeki refrakter astardan gelecek P' a bağlayabiliriz.

Kükürt Problemi

Kükürtte (S) aynı P gibi Fe' nin bulunduğu ortamda saf oksit oluşturmaz. S rafinasyonunun prensibi, metal cüruf fazları arasında sülfid oksit dengesi sağlamaktır [4].



Bu reaksiyon için serbest enerji dağılımı küçüktür ve sıcaklıkla, cürufun kompozisyonu çok önemlidir [2]. Cüruftaki CaO' in yüksek olması ile metaldeki FeO miktarının az olması bu reaksiyonu sağa doğru kaydırır. Bu da S rafinasyonu oksidasyon sürecinde değil, redükleyici ortamlarda olacağını göstermektedir.

Genelde oksidasyon cürufu çekilir ve hazırlanmış olan karışım banyoya verilerek çeşitli redükleyicilerle redüklenir. Bu karışım oranları CaO/CaF₂ 6/1 veya 5/1 şeklinde olur. Grafit, karpit, kırılmış FeSi cürufun oluşturulması ile birlikte redükleme için kullanılırlar. Burada CaF₂ 'in en önemli görevi, bazikliği yüksek cürufun akışkanlığını sağlamak ve S rafinasyonuna yardımcı olmaktır. İyi bir S rafinasyonu için;

1. Yüksek cüruf bazikliği CaO/SiO₂ = 3 – 3,5
2. Curufda düşük FeO miktarı (% 1 – 2)

3. Sıcaklık kontrolü
4. Akışkan cüruf
5. Oksitli atmosfer

Sonuç olarak S gidermede en önemli faktör, her ne şekilde olursa olsun cürufta FeO miktarının düşürülmesidir. Bu da oksitli cüruftan arındırma ve yeni cüruf ilavesi ile gerçekleşmektedir. Ancak cürufun yüksek kireç içeriği ve yüksek baziklik oranı unutulmamalıdır. Baziklik oranının istenilen altında veya üstünde olması halinde silis tozu kullanılmalıdır.

Asit Metod

Bu metod, çelik banyosunun fazla miktarda oksitlenebilen element içerdiği ve banyodaki P miktarının son analizde istenen P miktarıyla uyum gösterdiği durumlarda uygulanır. Bu uygulama ile yüksek Mn, Cr, Ti ve V verimine ulaşılır. Çünkü banyo kaynadıktan sonra oksit cüruf; karbon, silis, veya alüminyum ile indirgenir.

Kaynama, ergime sıcaklığının 50 – 80 °C üzerinde başlar. Oksijen enjeksiyonu ile 5 – 15 dakika kadardır. Daha sonra alaşım elementlerinin oksitlenmesinden dolayı sıcaklık süratle yükselir. Kaynama sonunda banyo °C miktarı, fazla alaşım maddesi oksidasyonun önlemek için, son analizdeki miktardan fazla düşük olmamalıdır.

Normal bir ergitme işlemine göre, bu işlem daha avantajlıdır. Çünkü;

1. Banyo H ve N miktarı düşürülür
2. Arktan banyoya iyi bir ısı transferi vardır ve refrakter astar açısından önemlidir.
3. Temiz çelik elde edilir.

Bu metod aynı zamanda düşük karbonlu çelikler için çok uygundur.

Deoksidasyon

Vacher – Hemilton eşitliğine göre, belirli bir sıcaklıkta ve belirli bir CO kısmı basıncında, alaşımsız bir demir eriyiğinde çözülmüş olarak bulunan C ve O miktarları çarpımı sabittir [1].

1600°C de ve $P_{CO} = 1 \text{ atm}$,

$$\% [C] \cdot \% [O] = 0,0025 , \quad (2.9)$$

1600°C' de ve $P_{CO} = 0,1 \text{ atm}$.

$$\% [C] \cdot \% [O] = 0,00025$$

Buradan da görüleceği gibi, C – O dengesi CO kısmı basıncına son derece bağlıdır [1].

EAF' da sıcaklık ve C değerine bakıldığında banyo içerisinde çözülmüş olan O miktarını belirlenebilir. Genel uygulamada sistemler kontrol altına alınmış olup, ocak pratiklikleri çıkarılmıştır. Sıvı çelik tonajına üflenen oksijen miktarı, final C değerine ulaşılmasına ve banyo içerisindeki FeO miktarıyla direkt bağlantılıdır. Final C değerinden curuf fazındaki FeO miktarı belirlenebilir. FeO miktarı deoksidasyon hesaplarında kullanılan ana değerdir.

Döküm Alma

Döküm alma süreci rafinasyon işlemi bitiminde hedef C ve hedef sıcaklık değerine ulaşılmış ocağın çelik potasına aktarılması ile başlar. Döküm alma sırasında en çok dikkat edilmesi gereken ocaktan curuf kaçırılmamasıdır. Rafinasyon sırasında FeO miktarı alt limitlere indirilmiş ocak cürufu döküm sırasında çelik potasına minimum miktarda kaçırılmazdır.

Döküm alma işleminde deoksidasyon, alaşımlama ve curuf yönetimi uygulamaları yapılabilmektedir. Deoksidasyon yönetimi için, döküm sırasında deoksidant malzemeler verilmektedir. Deoksidasyon ve alaşımlama yöntemi kombine şekilde ilerlemektedir. Ana deoksidant malzeme (C, Al) yanında verilecek olan alaşım elementleri deoksidayona da katkısı olacaktır. Örneğin verilecek olan FeSi ve/veya FeSiMn ile içeriğindeki Si' in bir kısmı deoksidayona gidecektir. Curuf yönetiminde ise CaO, CaF₂ gibi curuf yapıcı malzemeler verilmektedir.

2.2. İKİNCİL METALURJİ PROSESİ

1950 öncesi çelik Siemens-Martin, konverter veya elektrik ark ocaklarında ilavesi ile karbon verme (karburizasyon) ve bazı ferroalaşım elementlerinin ilavesinden ibaretti. Ancak çelik kalitesi ve kalite istikrarı için yoğun talepler giderek çelik yapım fırınlarının kapasitelerinin çok üzerinde kontrollere ihtiyaç gösterdi. Bunun sonucunda çeliğin pota işlemlerine oksijen giderme işlemine ek olarak değişik işlemler geliştirildi. Bu işlemler o kadar yaygınlaştı ki, sonunda ikincil çelik yapımı, pota metalurjisi, sıvı çelik ikincil işlemleri veya sıvı çelik ikincil rafinasyonu gibi değişik isimler altında çok sayıda yöntem geliştirildi. Bu tanımlamalardan pota metalurjisi ve ikincil metalürji prosesi en yaygın kullanılan tanımlamalar haline geldi [5].

2.2.1. Pota Metalurjisi Donanımının İşlevleri

1. Pota içindeki çeliğin homojenleştirilmesi amacıyla asal karıştırıcı gazın verilmesi,
2. Alaşım elementlerinin hassas olarak ilavesi, yüksek alaşım verimi ve kimyasal bileşimin sıkı toleranslarda sağlanması
3. Hidrojen, oksijen, azot ve karbonun düşürülmesi
4. Özellikle kükürt giderme amacıyla toz malzemelerin enjeksiyonu
5. Mikro-alaşımlama ve kalıntı şeklinin kontrolü için taneli veya tel şeklindeki çeşitli malzemelerin beslenmesi

6. Elektrodlar aracılığıyla verilen elektrik enerjisi veya alternatif olarak,, alüminyum ile oksijenin verdiği ekzotermik reaksiyonlardan faydalanarak çeliğin ısıtılması [1].

2.2.2. Pota Metalurjisinin Getirdiği Teknik ve Ekonomik Üstünlükler

1. Çelik tesisi veriminin artırılması
2. Ergitme ünitesi (EAF veya BOF) nin dökümden döküme geçen süresinin azaltılması
3. Birincil enerji tüketiminden tasarruf
4. Ferro alaşımlar ve ucuz şarj malzemelerinin kullanılabilmesi
5. Dökümden döküme aynı çelik kalitesinin sağlanması
6. Çok temiz çelik üretilebilmesi
7. Yeni çelik kalitelerinin geliştirilmesi
8. Düşük bakım maliyetleri
9. Üretim sürecinde yeralan bütün ünitelerin daha iyi koordine edilmesi (eşgüdümü) Çalışan personel için daha iyi bir ortam oluşturulması [5]

2.2.2.1. Alaşım Maddelerinin ve Deoksidant Malzemeleri Kullanım Verimi

Çelik yapımında alaşım elementlerinin verimli kullanılma sorunları vardır. Bilindiği üzere ferroalaşımların fiyatları, alaşımlı hurda fiyatlarından çok yüksektir. Alaşım elementlerinin saflığı arttıkça bu fiyat daha da yükselmektedir. Bu nedenle çelik yapımında alaşım elementlerinden yüksek verim elde etmek ve bu elementleri en ekonomik şekilde kullanmak gerekmektedir. Yüksek verime ulaşılması çelik ve curuf sistemlerine bağlıdır. Ark ocağından veya konverterlerden uygulanacak olan rafinasyon pratiklerinin ikincil metalürji tesisindeki verime etkisi çoktur. Şöyle ki; ocak devirme C değeri durumuna göre değişiklik göstermektedir. Final C değeri çelikteki çözülmüş olan O değerine ve curufdaki FeO, MnO değerine direkt bağlantılıdır. Ocak final C kontrol altına alındığı sürece düşük O değerine dolayısı ile cürufta da düşük FeO ve MnO değeri yakalanabilmektedir. İkincil metalürji de ise düşük O değerinde çalışması deoksidant malzeme kullanımını düşürecek, Mn ve Si geri kazanımı fazla olacaktır.

2.2.2.2. Alaşım Maddelerinin ve Deokasidant Malzemelerinin Neden Olduğu Kirlilik Sorunu

Bilinçli alaşımlama dışında elik içinde her yabancı element çeliği kirletir. Kompozisyon dışı gelen bu elementler çözünmüş veya ökelmüş durumda arzulanan özelliklerden biri veya birkaçını olumsuz etkiler. Alaşımlı eliklerde kullanılan alaşım miktarının fazla oluşu nedeniyle istenmeyen kalıntılar alaşımsız çeliklere göre daha fazla kalabilir. Alaşım maddelerinin çelikle alaşım yapması sırasında oluşan ve metalik olmayan reaksiyon ürünlerinin cürufta kalması yani curuf sistemine ayrılmasına dikkat edilmelidir [5].

Bunun için metalik olmayan kalıntı (inklüzyon) maddeleri curufa yüzdürülmesine yardım eden bazı özel katkı malzemelerinin kullanılması yanında; başlangıçta şarj malzemesinin temiz olması ve ortaya alınan çeliğin argon ile karıştırılması veya manyetik ile karıştırılması gibi tedbirler alınmalıdır. Diğer taraftan üretim tonajına göre malzemelerin erimelerinin kolay olması için uygun ebatta kullanılması gerekmektedir [1].

2.2.2.3. Alaşım Maddelerinin ve Deokasidant Malzemelerinin İlave Sorunu

elik üretiminde alaşımlama ve deoksidasyon safhalarında sıvı banyo üzerinde malzemeler erimeden köprü oluşturabilirler. Bu nedenle alaşım elementlerinin oksijene ilgileri nedeniyle ilave yöntemleri büyük önem taşımaktadır. Örneğin ilave parti parti yapılmalı ve sık sık banyo sıcaklığı kontrol edilmelidir. Isı alarak reaksiyon yapan alaşımların soğutma etkisi yüksektir. Fakat Si ve Al gibi ısı vererek reaksiyona giren alaşım elementlerinin ürettikleri ısılar soğutma etkisinden daha fazla olduğu için köprü oluşumunda tehlike oluşurmazlar. Diğer taraftan köprü teşekkülü için, banyo sıcaklığı, toplam alaşım miktarı, alaşım ilave zamanı ve süresi de göz önünde tutulmalıdır [3].

2.2.2.4. Oksijen Giderme ve Kalıntılar

Oksijen giderme (deoksidasyon) işleminde kullanılan deoksidant malzemelerinin türü ve miktarı, çeliğin oksijen düzeyini belirlendiğinde, çeliğin içyapısında oluşan hem oksit hem de sülfür kalıntılar bundan etkilenir.

Oksijen içeriği bakımından en temiz çelik 200 – 400 ppm Al katılımıyla elde edilir. Bu durumda da çelik 10 ppm altında düzeyinde oksijen içermektedir; iç yapısında oluşan kalıntıların türü de alüminattır (Al_2O_3). Bu alüminata kalıntılar deoksidasyon reaksiyonu sonucunda hemen oluşmaktadır [1].

2.2.3. İkincil Metalurjinin Getirdikleri

Pota metalürjisi pratiğinin çelik üretiminde yaygınlaşmasıyla birlikte temiz çelik eldesi yönünde büyük adımlar atılmıştır. Özel potaların kullanımı aşağıda açıklanan birçok olumlu değişimin başarılması sağlanmıştır.

2.2.3.1. Üretim artışı

Metalurjik arıtma işlemi EAF ve BOF yerine Pota Fırınlarında (LF) yapılır. LF prosesi aslında EAF veya BOF döküm alma işlemini kapsayarak başlar. Çelik temizliği, kimyasal kompozisyon ayarlaması, kükürt giderme ve final sıcaklık gibi gereksinimlerin EAF veya BOF de yapılması ocak üretkenliğine olumsuz yönde etkileyeceğinden LF prosesinde yapılp ocağın üretim hızının artması sağlanmıştır [2].

2.2.3.2. Alaşım Maddelerinin Tüketimi

Alaşım ilaveleri eklemek ve çeliğin son kimyasal bileşimini kontrol etmek için daha etkili metotlar uygulanabilmektedir. LF de alaşım malzemeleri verimi daha yüksek çıkmaktadır. Ayrıca LF’ de EAF ve BOF ‘ ye nazaran kimyasal kontrol daha kolay yapılabilmekte ve dar aralıklarda tutulabilmektedir. Bu şekilde alaşım elementleri kullanımında tasarruf sağlanmaktadır.

2.2.3.3. Döküm Sıcaklığı

LF' de sıcaklık kontrollü daha kolay yapıldığından final sıcaklık döküm sıcaklığına daha kolay ayarlanabilmektedir.

2.2.3.4. Pota Karıştırma İle Daha Temiz Çelik Eldesi

Alaşımlama, desülfürizasyon sırasında oluşan inklüzyonların yüzdürülmesi temiz çelik eldesinde en önemli olaydır. Yüzdürme işlemi potanın karıştırılması ile yapılmaktadır. Manyetik olarak veya gaz üfleme sistemi ile karıştırma sağlanmaktadır. Geleneksel çelik üretiminde gaz üfleme sistemleri kullanılmaktadır. Yoğunlukları çeliğe nazaran çok düşük olması nedeniyle potaya yüzeyine çıkmaya çalışan kalıntıların, bu gazın karıştırma hareketiyle yukarı doğru yüzmeleri kolaylaşır ve kalıntılar banyoyu terk edip curuf sisteminde hapsolurlar. Bu sayede sıvı çelikteki inklüzyon miktarı azalar ve temiz çelik eldesi sağlanır [3].

2.2.3.5. Homojen Sıcaklık ve Kimyasal Bileşim

Sıvı çeliği argon veya manyetik ile karıştırarak çeliğin bileşimi ve sıcaklığı homojen yapılabilir. Katkı maddeleri eridikten sonra alaşımdaki elementlerin potadaki sıvı çeliğin her noktasında aynı dağılımı göstermektedir. Halbuki EAF' da alaşım ilavelerinden sonra farklı yerlerden alınacak numunelerde farklı analiz değerleri çıkması muhtemeldir [3].

LF' de potada farklı yerlerde yapılan sıcaklık ölçümleri ve analiz değerlerinde herhangi bir farklılık göstermemekte sistemde homojendir.

2.2.8. Pota Fırını Metalurjik Aksiyonları

LF metalurjik aksiyonlar EAF veya BOF' dan döküm alma işlemine geçişte başlamaktadır. LF işletim prosedürü üretilecek olan çelik kalitesine göre değişiklik göstermektedir. Metalurjik aksiyonları; EAF veya BOF döküm alma, dökümün LF'

ye alınması, sıcaklık ve analiz kontrolü, curuf yapma ve deoksidasyon, alaşımlama, desülfürizasyon, inklüzyon kontrolünü konularını içermektedir [1].

2.2.8.1. Döküm Alma

EAF veya BOF' dan döküm alma sırasında çeliğin deoksidasyon tepkimeleri başlamaktadır. Döküm sırasında kullanılan malzemeler deoksidasyon derecesini belirlemede kullanılabilir. Özellikle slab kalite düşük karbonlu alüminyumla deokside edilmiş (LCAK) çeliklerde döküm sırasında fazla miktarda malzeme kullanılamamaktadır. Bu sebepten LCAK çeliklerde deoksidasyonun çoğu LF 11 prosesinde yapılmaktadır [1].

EAF ve BOF döküm devirme C değeri, dengede bulunan bir sistemde, çelik içerisinde çözülmüş oksijen miktarı ile ilgili fikir verir.

Çelik içerisinde çözülmüş olan oksijen değeri [6];



[O]; çelik içerisinde çözülmüş atomik oksijeni göstermektedir [1]. Yukarıda denkleme göre;

$$K_O = \frac{h_O}{\sqrt{p_O}} \quad (2.11)$$

K_O ; eşitlik sabitesi, p_O ; gaz fazındaki oksijenin kısmi basıncı, h_O ; çözülmüş olan oksijenin aktivitesi, referans olarak 1 alınacak [1]. Termodinamik olarak K_O ' ın sıcaklığa bağlı değişkenliği [1];

$$\log K_O = \frac{6120}{T} + 0,15 \quad (2.12)$$

olarak verilir.

$$h_O = [f_O] \cdot [W_O] \quad (2.13)$$

W_O ; çözünmüş oksijenin ağırlık yüzdesi, f_o ; çözünmüş oksijenin aktivite katsayısı, 1 kabul edilecek.

Saf sıvı demirde;

$$\text{Log}f_0 = 0,17[W_O] \quad (2.14)$$

Bu değer oksijeninin herhangi bir p_O değerinde hesaplanabilmektedir. Bu değer kısmı basınca bağlı olmamakta, kütleli olan bir durumdur. Saf durumda olan bir sıvı demirde FeO formunda olacaktır.



Reaksiyona göre denge sabitesi;

$$\text{Log} K_{\text{Fe}} = -\frac{6150}{T} + 2,604 \quad (2.16)$$

Denge sabitesinden 1600 C' de aktivitesi 1 olan oksijen değerinde % 0,230 değerinde bir oksijen çözünürlüğü hesaplanmaktadır [6].

Açıkçası; EAF ve BOF' de; C ve O arasında bir eşitlik olduğundan bahsedilmiştir. Bu eşitlik değeri ocak karakteristiğine göre değişim göstermektedir.

Genel olarak ortalama;

$$\% [\text{C}] \cdot \% [\text{O}] = 0,0025 \quad (2.17)$$

Burada final C değerinden ocak içerisinde çözülmüş olan oksijen değeri bulunabilmektedir. Bulunan oksijen değeri ile curuf sistemindeki FeO değeri belirlenebilmektedir.

Anlaşılabacağı gibi çelik üretim sürecinde iki sistem mevcuttur. Birincisi çelik, ikincisi curuf. Bu iki sistem arasındaki dengeyi oksijen potansiyeli kurmaktadır.

Döküm alınmadan önce ocak final C değerine göre çeliğin içerisinde çözünmüş oksijen değeri ve curuf sistemindeki FeO değeri belirlenebilmekte ve hesaplanabilmektedir.

2.2.8.2. Dökümün LF' ye Alınması

Döküm EAF veya BOF' de döküldükten sonra vinç transfer arabasından vinç yardımı ile alınıp LF istasyonu transfer arabasına koyulur. Öncelikle gaz karışım bağlantıları sağlamak amacı ile kaplin bağlantısı sağlanır ve pota, LF kapak altına transfer arabası vasıtası ile çekilir. Karıştırma işlemi başlaması ile çelik ve curuf arasındaki reaksiyonlar gerçekleşmeye başlamaktadır. Döküm alma sırasında verilen malzemelerin sistemde erimesi ve dengeye gelmesi sağlanır. Döküm işleme süresince sürekli dengeler değişmekte ve sistem kontrol altına alınmalıdır.

2.2.8.3. Sıcaklık ve Analiz Kontrolü

Döküm LF' de kapak altına çekildikten sonra curuf sisteminin sıvılaştırılması amaçlı enerji verilerek ısıtılmalıdır.

2.2.8.4. Deoksidasyon

Sıvı çeliğin oksijen konsantrasyonunu düşürmenin en yaygın yöntemi sisteme oksijen ile kararlı bileşik oluşturan bir M elementinin eklenmesidir. Bu durum sisteme eklenen M elementi oksijen ile birleşip M_xO_y bileşiği oluşturarak sıvı çelik içerisinde çözülmüş halde bulunan oksijen konsantrasyonunu azaltır. Çeliğin oksijenini gidermek için en yaygın kullanımı olan elementler Mn, Si ve Al' dir. Bahsedilen deoksidant elementler tek tek kullanılabildiği gibi bir kaç bir arada da kullanılabilir [4].

Deoksidant olarak verilen bir M elementi oksijen ile birleşerek bir M_xO_y bileşiği oluşturursa oksijen giderme reaksiyonu [6];



olarak yazılır. Reaksiyonun bitip sistemin dengeye gelmesi durumunda metal içinde çözülmüş olarak bulunan M elementi aktivitesi ile oksijen aktivitesi arasında oluşan M_xO_y ' nin saf bileşik $a_{M_xO_y} = 1$ olması halinde,

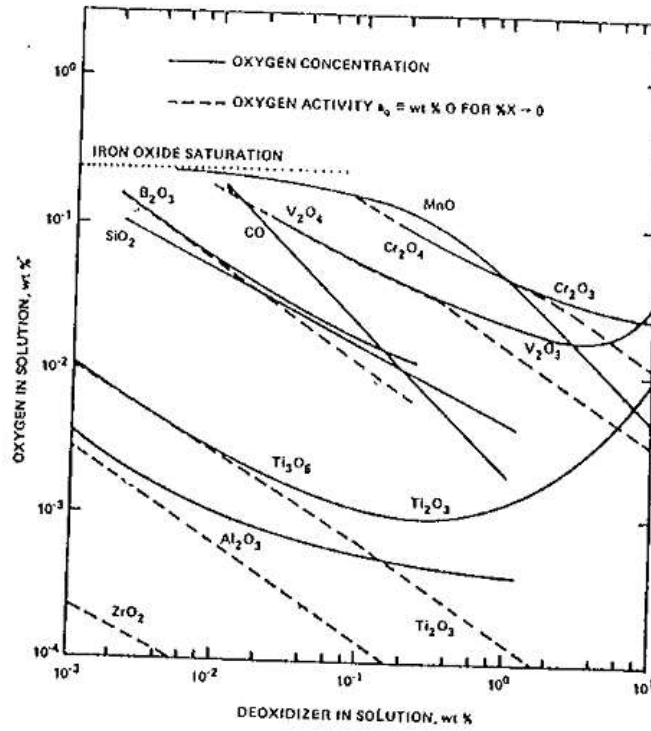
$$(a_M)_x \cdot (a_O)_y = \frac{1}{K_{16}} \quad (2.19)$$

Bağlantısı var olacaktır. Çizelge 2.1' de çeşitli elementler için deoksidasyon denge aktivite çarpımı sabitleri (2.17) numaralı eşitliğe uygun biçimde verilmektedir.

Çizelge 2.1. Çeşitli elementler için deoksidasyon denge aktivite çarpımı sabitleri [6].

Equilibrium constant K^*	Composition range	K at 1600°C	log K
$[a_{Al}]^2 [a_O]^4$	< 1 ppm Al	1.1×10^{-15}	$-71600/T + 23.28$
$[a_{Al}]^2 [a_O]^3$	< 1 ppm Al	4.3×10^{-14}	$-62780/T + 20.17$
$[a_B]^2 [a_O]^3$		1.3×10^{-8}	
$[a_C] [a_O]^3$	> 0.02% C	2.0×10^{-3}	$-1168/T - 2.07$
$[a_{Cr}]^2 [a_O]^3$	> 3% Cr	1.1×10^{-4}	$-40740/T + 17.78$
$[a_{Mn}] [a_O]$	> 1% Mn	5.1×10^{-2}	$-14450/T + 6.43$
$[a_{Si}] [a_O]^2$	> 20 ppm Si	2.2×10^{-5}	$-30410/T + 11.59$
$[a_{Ti}] [a_O]^2$	< 0.3% Ti	2.8×10^{-6}	
$[a_{Ti}] [a_O]$	> 5% Ti	1.9×10^{-3}	
$[a_V]^2 [a_O]^4$	< 0.10 V	8.9×10^{-8}	$-48060/T + 18.61$
$[a_V]^2 [a_O]^3$	> 0.3% V	2.9×10^{-6}	$-43200/T + 17.52$

(2.17) numaralı eşitlik uyarınca belli bir sıcaklıkta M-O- M_xO_y dengesini sağlayan M elementi aktivitesi ile oksijen aktivitesi logaritmik eksenlerde bir çizgi tanımlar. Şekil 2.7' de 1600°C sıcaklıktaki deoksidasyon denge çizgileri gösterilmektedir.



Şekil 2.7. 1600°C’ de deoksidasyon denge çizgileri [5].

Deoksidasyon dengesi aktiviteleri yerine konsantrasyonlar cinsinden incelemek istenirse numaralı eşitlik te;

$$a_M = f_M \cdot \% M \quad (2.20)$$

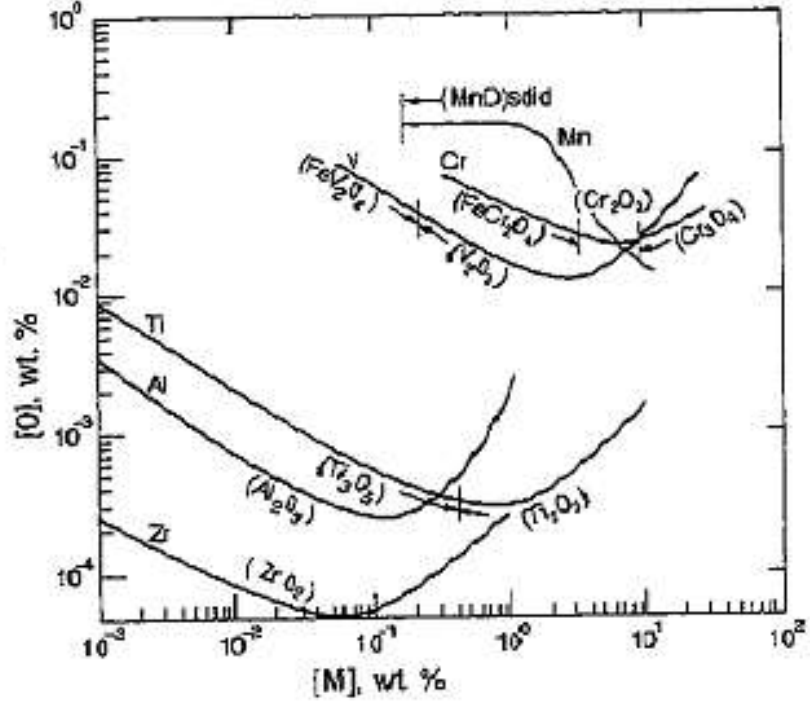
$$a_O = f_O \cdot \% O \quad (2.21)$$

kullanılması gerekmektedir. Bu durumda deoksidasyon dengesi için;

$$(\%M)_x \cdot (\%O)_y = \frac{1}{K_{16}} \cdot f_{Mx} \cdot f_{Oy} \quad (2.22)$$

Eşitliği bulunur. Şekil ‘ de çeşitli elementler için (20) numaralı eşitliğe uygun deoksidasyon denge ilişkileri gösterilmektedir. Bu şekilden görüldüğü gibi M-O-M_xO_y dengesini sağlayan % M ve % O değerleri logaritmik eksenlerde bir doğru değil bir eğri tanımlamaktadır. Bunun nedeni (20) numaralı eşitlikte bulunan f_M ve f_O değerlerinin metal bileşimine bağlı olmasıdır. Şekil 2.8’ de gösterilen elementler Şekil 2.8’ den görüldüğü gibi oksijen aktivitesi katsayısını, f_O değerini, azaltma

yönünde etkilidirler. Artan M elementi konsantrasyonlarında M elementi aktivitesi artacak ancak oksijenin aktivite katsayısı azalacaktır. Bu iki etkiye bağlı olarak deoksidasyon denge eğrileri bir minimum olabilecektir. Nitekim Şekil 2.8’ de Al, Ti, Si, C, Cr, Mn elementleri deoksidasyon eğrileri minimum görülmektedir.



Şekil 2.8. Al, Ti, Si, C, Cr, Mn elementlerin deoksidasyon eğrileri [5].

Şekil 2.7’den ve Çizelge 2.1’ de verilen deoksidasyon denge aktiviteleri çarpımı sabitlerinin kullanılmasıyla oksijen giderme işlemi sonucunda metalde kalması istenilen belli bir oksijen konsantrasyonu için metalde çözülmüş olarak bulunması gereken M elementinin % ağırlık olarak miktarı bulunabilir. Metalde çözülmüş durumda bulunması gereken bu M elementi, %M denge değerine, ilaveten oksijen ile (2.16) numaralı reaksiyon uyarınca birleşerek metalin konsantrasyonunu % O_{ilk} değerinden % O_{son} değerine indirmekte kullanılacak

$$\frac{x.M_M}{y.M_O} \cdot ((\%O_{ilk}) - (\%O_{son})) \quad (2.23)$$

M miktarı da vardır. Bu eşitlikte M_M ve M_O , sırasıyla, oksijen giderici M elementinin ve oksijenin atom ağırlıklarıdır. Böylece ilk oksijen konsantrasyonu $(\%O)_{ilk}$ olan bir

çelik banyosunun oksijen konsantrasyonunu (%O)_{son} değerine indirmek için sisteme eklenecek M elementi miktarı toplam metal ağırlığının yüzdesi olarak,

$$(\%M)_{\text{denge}} + \frac{x.M_M}{y.M_O} \cdot ((\%O_{\text{ilk}}) - (\%O_{\text{son}})) \quad (2.24)$$

kadar olacaktır.

(2.22) numaralı eşitlikten ideal şartlar için geçerlidir. Deoksidasyon reaksiyonunun dengeye erişmemesi, sisteme eklenen M elementinin bir kısmının atmosfer veya cürufla reaksiyona girerek oksitlenmesi, metale atmosferden, cüruftan ve refrakterlerden ilave oksijen girebilmesi nedeniyle sistemden alınması gereken oksijen miktarının (%O_{ilk}) – (%O_{son}) değerinden daha fazla olması gibi hususlar nedeniyle belli bir deoksidasyon işlemi için sisteme eklenecek M elementi miktarı (2.22) numaralı eşitlikten hesaplanacak miktardan daha büyük olacaktır.

Mn ile Deoksidasyon

Şekil 2.8' den görüldüğü gibi mangan kuvvetli bir deoksidant değildir. Buna rağmen mangan, alüminyum ve özellikle silis ile beraber deoksidasyon için yaygın olarak kullanılır. Bu bölümde manganın yalnız kullanılması halinde deoksidasyon dengesi üzerinde durulacaktır [1].

Çeliğin mangan ile deoksidasyonunda reaksiyon ürünü saf MnO olmayıp katı veya sıvı FeO – MnO çözeltisidir. Deoksidasyon reaksiyonu [1];



Olarak yazılırsa ve FeO – MnO çözeltisinin ideal bir çözelti olduğu ve manganın aktivitesinin % ağırlık değerine eşit olduğu varsayılırsa reaksiyonun denge sabiti

$$K_{23} = \frac{MnO}{\%Mn \cdot xFeO} \quad (2.26)$$

Olarak yazılabilir. (2.23) numaralı reaksiyonun denge sabiti reaksiyon ürününün sıvı bir oksit çözeltisi olması durumunda

$$\text{Log } K_{23} = \frac{6440}{T} - 2,95 \quad (2.27)$$

ve katı bir çözelti olması durumunda

$$\text{Log } K_{23} = \frac{6945}{T} - 2,95 \quad (2.28)$$

şeklindedir. (2.24), (2.25) ve (2.26) numaralı eşitliklerin kullanılmasıyla metalde bulunan belli bir maddanın konsantrasyonu için deoksidasyon ürününün bileşimi, $X_{\text{MnO}}/X_{\text{FeO}}$ hesaplanabilir. Deoksidasyon ürününün bileşiminin mangan konsantrasyonuna bağlı olarak bilinmesi sonucu metalin denge oksijen konsantrasyonu



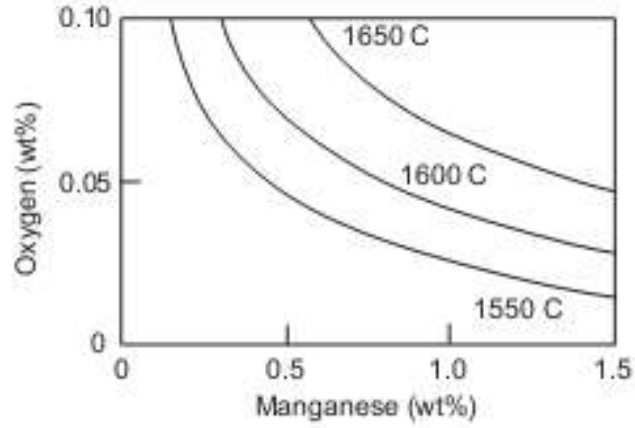
Reaksiyonun denge sabiti

$$K_{27} = \frac{X_{\text{MnO}}}{\%[\text{Mn}] \cdot \%[\text{O}]} \quad (2.30)$$

ve,

$$\text{Log } K_{27} = \frac{14950}{T} - 6,68 \quad (2.31)$$

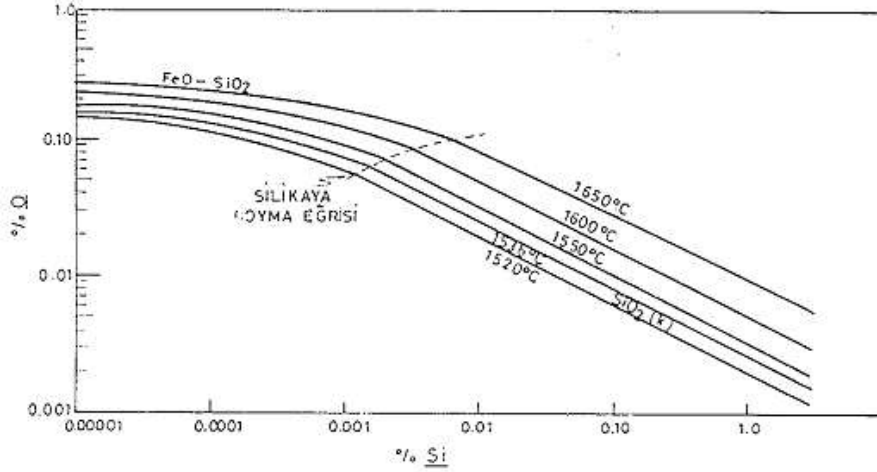
Denklemin kullanılmasıyla hesaplanabilir. 1650°C, 1600°C ve 1550°C sıcaklıklar için yapılan bu hesaplamaların sonuçları Şekil 2.9' da gösterilmektedir.



Şekil 2.9. Mn deoksidasyonu denge eğrileri [1].

Si ile Deoksidasyon

Deoksidasyon amacıyla en yaygın kullanıma sahip elementlerden birisi olan Silis şekil de görüldüğü gibi mangandan daha kuvvetli olan ancak alüminyum kadar kuvvetli olmayan bir oksijen giderici elementtir. Çeliğin silis ile deoksidasyonunda reaksiyon ürünü çok düşük silis konsantrasyonlarında bir FeO – SiO₂ çözeltisi ve pratikte kullanılan konsantrasyonlarda ise katı SiO₂ bileşimidir [1].



Şekil 2.10. Si deoksidasyonu denge eğrileri [1].

Şekil 2.10' da çeşitli sıcaklıklar için Fe – O – Si sistemindeki denge ilişkileri gösterilmektedir. Deoksidasyon ürününün SiO₂ olması halinde silis ile deoksidasyon reaksiyonu



Olarak yazılır. Bu reaksiyonun denge sabiti

$$K_2 = \frac{a_{\text{SiO}_2}}{f_{\text{Si}} \cdot f_{\text{O}}^2} \cdot \%[\text{Si}] \cdot \%[\text{O}]^2 \quad (2.33)$$

ve

$$\text{Log } K_2 = \frac{30410}{T} - 11,59 \quad (2.34)$$

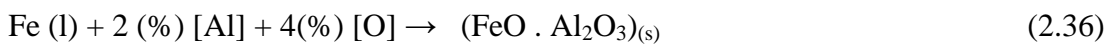
Şeklinde dir. Metaldeki silis konsantrasyonunun artması ile f_{Si} artar ancak f_{O} azalır ve silis konsantrasyonunun yaklaşık olarak % 3' den az olması halinde $f_{\text{Si}} \cdot f_{\text{O}}^2$ çarpımının değeri 1 olarak alınabilir. Böylece reaksiyon ürünün saf katı SiO_2 olması ($a_{\text{SiO}_2} = 1$) olması halinde silis ile deoksidasyon dengesi

$$\text{Log } (\%[\text{Si}] \cdot \%[\text{O}]^2) = -\frac{30410}{T} + 11,59 \quad (2.35)$$

eşitliği ile belirlenmiş olur.

Alüminyum ile Deoksidasyon

Alüminyum deoksidasyon için yaygın olarak kullanılması kuvvetli bir oksijen giderici element olması ve diğer kuvvetli oksijen giderici elementlere göre temininin kolay olması ve çok pahalı olamamasından kaynaklanmaktadır [7]. Sıvı çelik içerisinde alüminyum ile oksijenin reaksiyonu sonucu ortaya çıkacak kararlı faz çok düşük alüminyum konsantrasyonlarında $\text{FeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ bileşiği ve daha yüksek alüminyum konsantrasyonlarında ise Al_2O_3 bileşidir.. bu reaksiyonlar ve denge sabitleri şöyledir [1],



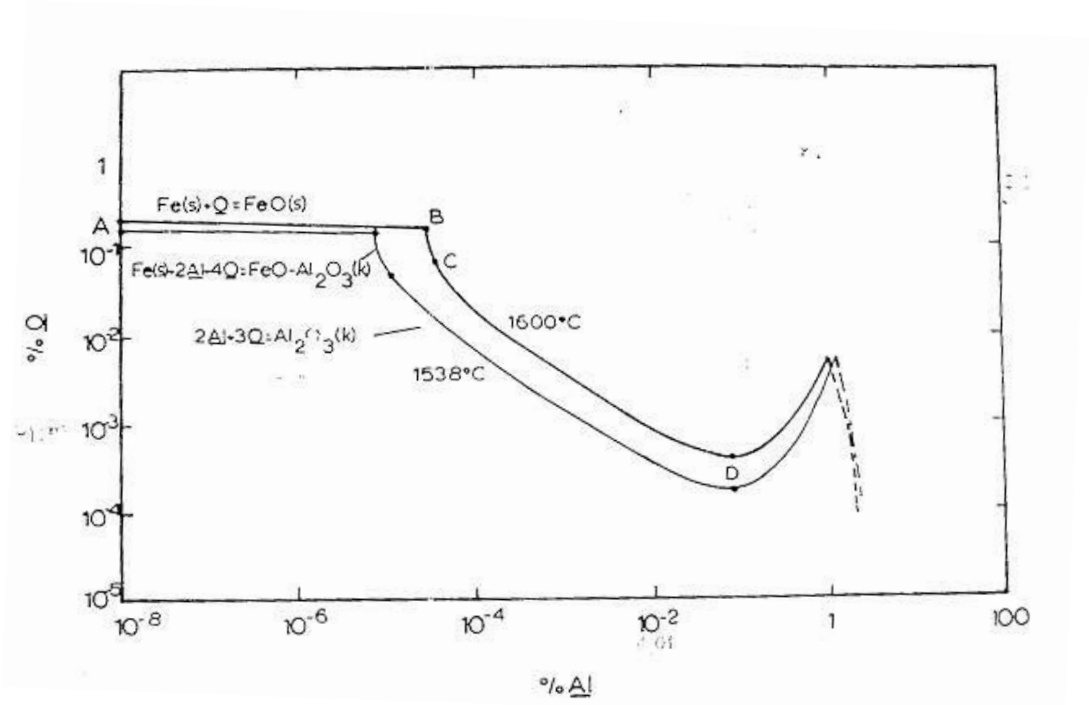
$$\text{Log } K_{33} = \frac{71600}{T} - 23,28 \quad (2.37)$$

ve



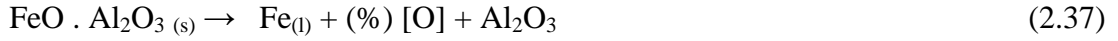
$$\text{Log } K_{35} = \frac{627801}{T} - 20,41 \quad (2.36)$$

Şekil 2.11' de 1600°C ve 1538°C sıcaklıkları için Braun tarafından çizilen alüminyum deoksidasyonu denge eğrileri gösterilmektedir. Bu şekilden görüldüğü gibi 1600°C sıcaklıkta alüminyum ile sıvı demirin oksijen konsantrasyonunu 5 ppm mertebelerine kadar indirmek mümkündür.



Şekil 2.11. 1600°C ve 1538°C sıcaklık için alüminyum deoksidasyonu denge eğrileri [8].

Sıvı çelik içerisinde alüminyum – oksijen dengesi McLean tarafından da çalışılmıştır. McLean tarafından 1500°C ile 1700°C arasındaki sıcaklıklar için alüminyum deoksidasyonuna ilişkin denge şartları belirlenmiştir. Belli bir sıcaklıkta FeO.Al₂O₃ bileşiğinin oluşumunu belirleyen çizgi ile Al₂O₃ bileşiğinin oluşumunu belirleyen çizginin kesim noktasında demir içerisinde çözülmüş halde bulunan alüminyum ve oksijen hem FeO.Al₂O₃ hem de Al₂O₃ fazları ile denge halindedir [7]. Bu denge,



Reaksiyonu ile belirlenir. Bu dengenin sağlanması için belli bir sıcaklıkta kritik bir oksijen konsantrasyonu vardır; bu değer 1600°C sıcaklık için % 0,058 ' dir. Denge şartlarında, 1600°C sıcaklıkta % 0,058' den daha fazla oksijen içeren bir çelik banyosuna alüminyum eklenmesi halinde ilk deoksidasyon ürünü $\text{FeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ olacaktır. $\text{FeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ bileşiğinin (2.37) numaralı reaksiyon ile oluşumu oksijen konsantrasyonu % 0,058 değerine düşene kadar devam edecek ve bu değere erişildikten sonra kararlı deoksidasyon ürünü Al_2O_3 olacaktır. (2.37) numaralı reaksiyon ile belirlenen kritik oksijen konsantrasyonu azalan sıcaklıkla azalmaktadır. Buradan $\text{FeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ bileşiğinin oluşumu için düşük sıcaklıkların termodinamik yönden daha uygun şartlar yarattığı anlaşılmaktadır.

Si – Mn ile Deoksidasyon

Yukarıda belirtildiği gibi mangan kuvvetli bir oksijen giderici element değildir ve silisin deoksidasyon gücü mangandan daha fazladır. Ancak mangan silis ile beraber kullanıldığı zaman silisin deoksidasyon gücü artmakta yani metalde çözülmüş halde bulunan belli bir silis konsantrasyonu için denge oksijen konsantrasyonu Şekil 2.10' da silisin yalnız kullanılması halindeki denge oksijen konsantrasyonundan daha düşük olmaktadır. Bunun nedeni silisin mangan ile beraber kullanılması halinde oksidasyon ürününün saf katı SiO_2 olmayıp içinde az miktarda FeO bulunan sıvı bir $\text{MnO} - \text{SiO}_2$ oksit çözeltisi olması ve bu duruma bağlı olarak da deoksidasyon ürünü içerisindeki silikanın aktivitesinin 1 olmayıp 1 den küçük bir değer olmasıdır. Deoksidasyon dengesi (2.12) numaralı reaksiyonla belirlendiği düşünülürse $f_{\text{Si}} \cdot f_{\text{n}_2} = 1$ varsayımla (2.31) numaralı eşitlikten [1]

$$\%[\text{O}] = \frac{a_{\text{SiO}_2}}{K_{12}} \cdot \sqrt{\%[\text{Si}]} \quad (2.38)$$

Eşitliği yazılabilir. Reaksiyon ürünü saf katı SiO_2 olmadığı zaman $a_{\text{SiO}_2} < 1$ olacak ve buna bağlı olarak da (2.38) numaralı eşitlik uyarınca deoksidasyon sonucunda metalde kalacak belli bir silis konsantrasyonu için denge oksijen konsantrasyonu azalacaktır.

Manganın silisin deoksidasyon gücü arttırması hususu Türkdoğan tarafından niceliksel olarak incelenmiştir. Türkdoğan silsin mangan ile beraber kullanılması halinde reaksiyon ürününü MnO – SiO₂ ikili sisteminde olacağı varsaymış ve deoksidasyon dengesini



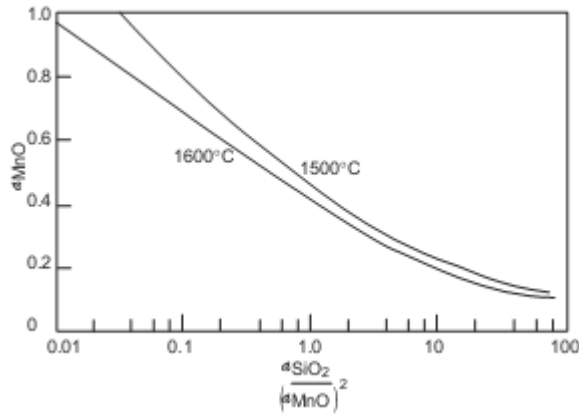
Reaksiyonunu kullanarak hesaplanmıştır. (2.39) numaralı reaksiyonun denge sabiti

$$K_{39} = \frac{(\%) [\text{Mn}]^2}{(\%) [\text{Si}]} \cdot \frac{a_{\text{SiO}_2}}{a_{\text{MnO}}} \quad (2.40)$$

Sıcaklık değişimi

$$\text{Log } K_{39} = \frac{1510}{T} - 1,27 \quad (2.41)$$

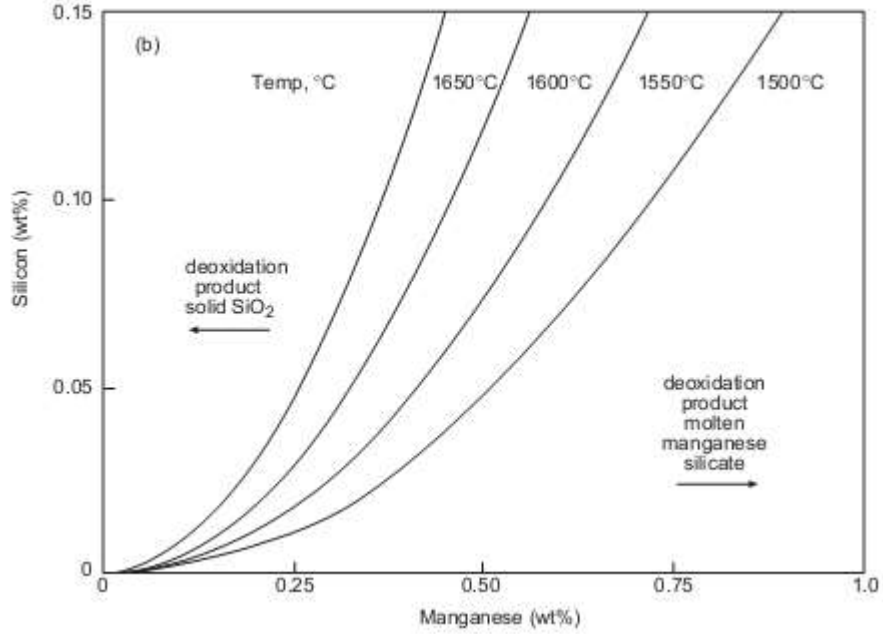
Eşitliği ile belirlidir. MnO-SiO₂ sistemindeki aktivite ilişkileri Şekil 2.12' da gösterilmektedir.



Şekil 2.12. Sıvı MnO-SiO₂ sisteminde aktivite ilişkileri [1].

Belli bir sıcaklıkta metalde bulunan [Mn] ve [Si] konsantrasyonları için (2.40) ve (2.41) numaralı eşitliklerden $a_{\text{SiO}_2} / a_{\text{MnO}}^2$ teriminin değeri hesaplanabilir. Bilinen $a_{\text{SiO}_2} / a_{\text{MnO}}$ terimin kullanılmasıyla Şekil 2.12' den a_{MnO} değeri bulunabilir. Bu şekilde belirlenen a_{MnO} değeri ve bilinen [Mn] konsantrasyonunun kullanılmasıyla (2.28) ve (2.29) numaralı eşitliklerden denge oksijen konsantrasyonu hesaplanabilir.

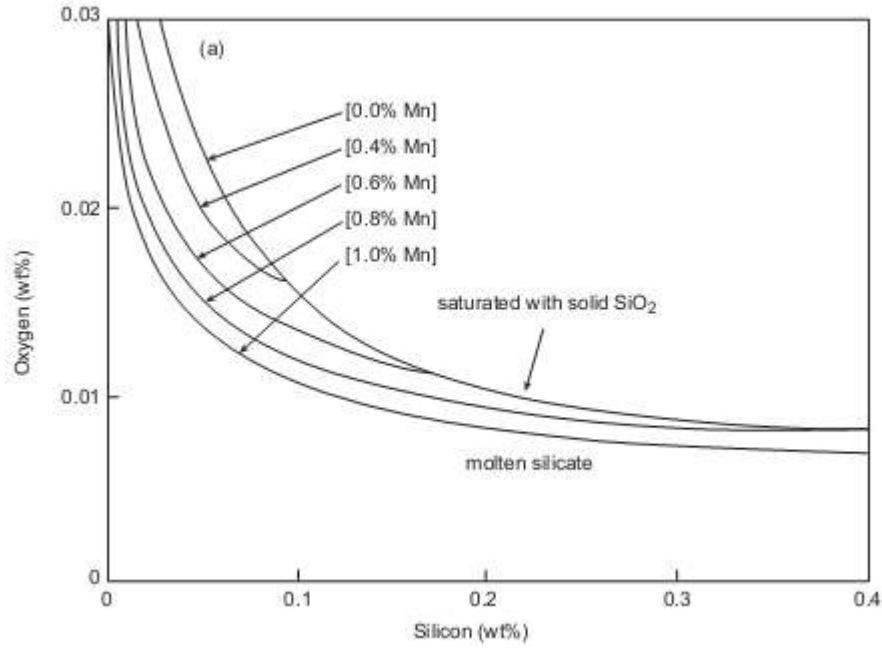
Bu tür bir hesaplamamın 1600°C sıcaklık için sonuçları Şekil 2.13' te gösterilmektedir.



Şekil 2.13. Si-Mn deoksidasyonu denge eğrileri [1].

Bu şekilden manganın silisin deoksidasyon gücünü arttırdığı açıkça görülmektedir. Örneğin, metalde çözülmüş halde bulunan silis konsantrasyonu % 0,05 olması halinde denge oksijen konsantrasyonu mangan konsantrasyonunun 0' dan % 0,802' e artmasıyla 230 ppm den 160 ppm' e azalmaktadır. Buna karşılık metalin silis konsantrasyonu 0' dan % 0,80' e artması denge oksijen konsantrasyonunu 104 ppm'den 94 ppm' e düşürmektedir.

Şekil 2.13' ten görüldüğü gibi metaldeki belli bir silis yüzdesi için reaksiyon ürününün sıvı silikat olması için metalde belirli bir miktarın üzerinde mangan olması gerekir. Örneğin, 1600° C sıcaklıkta % 0,1 [Si] için metalde bulunan mangan yüzdesi % 0,40 olursa reaksiyon ürünü silikaya doymuş ($a_{SiO_2} = 1$) olacak ancak % 0,60 veya daha fazla olursa sıvı silikat olacaktır [1].

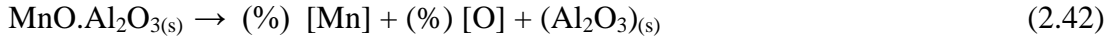


Şekil 2.14. Si-Mn deoksidasyonunda kritik Si ve Mn yüzdeleri [1].

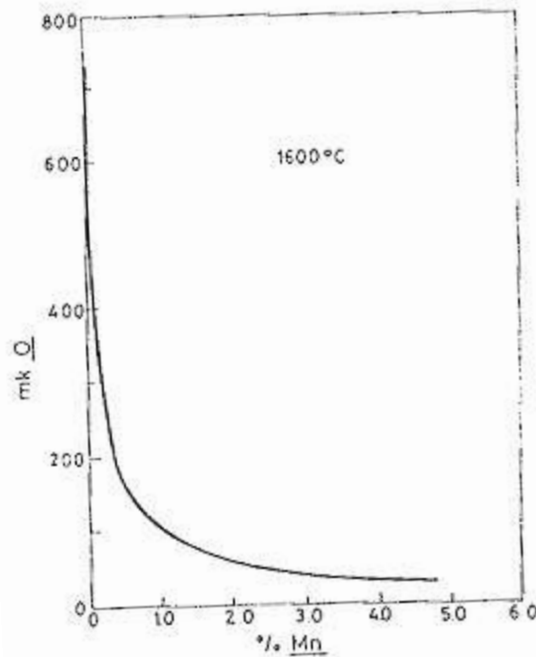
Şekil 2.14’ de çeşitli sıcaklıklarda reaksiyon ürününün silikaya doymuş ($a_{\text{SiO}_2}=1$) olması halinde kritik mandan ve silis miktarları verilmiştir. Herhangi bir sıcaklıkta metal bileşimi bu şekilde eğrilerin altında olursa reaksiyon ürünü silikaya doymuş olacak ve bu durumda $a_{\text{SiO}_2}=1$ olacağı için manganın silisin deoksidasyon gücünü artırma yönünde bir etkisi olmayacaktır [1].

Al – Mn ile Deoksidasyon

Çeliğin alüminyum ile deoksidasyonunda düşük alüminyum ve/veya yüksek oksijen konsantrasyonlarında reaksiyon ürününün $\text{FeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ bileşiği olacağı belirtilmiştir. Benzer bir şekilde mangan içeren bir çelik banyosunun alüminyum ile deoksidasyonunda yüksek oksijen konsantrasyonlarında reaksiyon ürünü $\text{FeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{MnO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ spinel çözeltisi olacaktır [7]. 1600°C sıcaklıkta çeliğin alüminyum ile deoksidasyonunda manganın etkisi metalde çözünmüş halde bulunan mangan miktarının değişmesi ile değişmektedir. Sistemde hiç mangan olmadığı halde 580 ppm olan kritik oksijen konsantrasyonu sistemde % 0,30 mangan olduğu zaman 210 ppm, % 1,5 Mn olduğu zamanda 50 ppm’ e düşmektedir. Şekil 2.21’ de (2.37) numaralı reaksiyon veya



Reaksiyonu ile belirlenen kritik oksijen konsantrasyonunun üzerine manganın etkisi gösterilmektedir. Daha öncede belirtildiği gibi metaldeki oksijen konsantrasyonunun kritik oksijen konsantrasyonundan büyük olması halinde sisteme deoksidasyon amacıyla eklenen Al önce $(\text{Fe,Mn})\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ çözeltisi oluşturacaktır [7]. Şekil 2.15' den görüldüğü gibi metalde bulunan manganın artması şartların sisteme alüminat oluşumu için daha uygun olması sonucu doğurmaktadır.



Şekil 2.15. 1600°C sıcaklıkta Al-Mn deoksidasyonunda $\text{MnO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ve Al_2O_3 ile dengede olan metalin oksijen konsantrasyonuna manganın etkisi [1].

Şekil 2.20' den görüldüğü gibi deoksidasyon ürününü Al_2O_3 olmayıp alüminat olması halinde sistemde manganın bulunması alüminyumun deoksidasyon gücünü arttırmaktadır. Bunun nedeni, deoksidasyon dengesi (2.33) numaralı reaksiyon ile belirlendiği düşüncesi ile kolayca açıklanabilir. (2.33) numaralı reaksiyon denge sabiti

$$K_{33} = \frac{a_{\text{FeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3} [\text{Mn}]^2}{a_{\text{Al}}^2 \cdot a_{\text{O}}^4} \quad (2.43)$$

şeklindedir. (2.43) numaralı eşitlikten

$$a_{O_2} = \left(\frac{a_{FeO \cdot Al_2O_3}}{K_{26} \cdot a_{Al}^2} \right) \quad (2.44)$$

eşitliği yazılabilir. Sistemde manganın olmaması halinde oluşacak alüminat saf $FeO \cdot Al_2O_3$ ' dür ve bu nedenle $a_{FeO \cdot Al_2O_3} = 1$ olur. Sistemde manganın varlığı halinde oluşacak alüminat $(Fe, Mn)O \cdot Al_2O_3$ olacak ve bu duruma bağlı olarak da $a_{FeO \cdot Al_2O_3} < 1$ olacaktır; sistemdeki manganın artması ile deoksidasyon ürünü $(Fe, Mn)O \cdot Al_2O_3$ spinel çözeltisi $FeO \cdot Al_2O_3$ ' ce daha fakir olacak ve $a_{FeO \cdot Al_2O_3}$ değeride o ölçüde küçük olacaktır. $a_{FeO \cdot Al_2O_3}$ değerinin küçüklmesi (2.44) numaralı eşitlik uyarınca, belli bir sıcaklık ve alüminyum aktivitesi için denge oksijen aktivitesinin azalması sonucunu doğuracaktır. Deoksidasyon ürününün Al_2O_3 olması halinde manganın alüminyum deoksidasyon gücü üzerine hiçbir etkisi yoktur [1].

Çeliğin alüminyum ile deoksidasyonunda meydana gelecek reaksiyonların sıvı çelik banyosuna alüminyum eklendiği anda metalin oksijen ve mangan konsantrasyonlarına bağlıdır. İlk reaksiyon ürünün alüminat veya Al_2O_3 fazlarından hangisi olacağını belirleyen ve Şekil 2.15' te gösterilen kritik oksijen konsantrasyonunun metaldeki mangan konsantrasyonu ile değişimini gösteren eğri baştan çizilmiştir. Sisteme alüminyum eklendiği anda metal bileşimi şekildeki eğrinin üzerinde, işe ilk reaksiyon ürünü $(Fe, Mn)O \cdot Al_2O_3$ olacak ve metal bileşimi sistemde alüminat oluşumuna bağlı olarak erişilene dek değişecektir. Daha sonra metal bileşimi kritik oksijen eğrisi üzerinde ve bu sırada sistemde (2.44) numaralı reaksiyon uyarınca alüminat parçalanması reaksiyonu meydana gelecektir. Sistemde daha sonra (2.35) numaralı reaksiyon uyarınca meydana gelecek Al_2O_3 oluşumuna bağlı olarak metal bileşimi değişecektir. Sisteme alüminyum eklendiği anda metal bileşimi kritik oksijen eğrisinin altında ise sistemde (2.35) numaralı reaksiyon uyarınca Al_2O_3 oluşumu meydana gelecek ve metalin bileşimi değişecektir; bu durumda sistemde bulunan manganın deoksidasyon üzerinde herhangi bir etkisi olmaz.

Al – Si ile Deoksidasyon

Çeliğin alüminyum ve silis ile deoksidasyonunda kararlı reaksiyon ürünleri metalin alüminyum ve silis konsantrasyonlarına bağlı olarak alümina (Al_2O_3), silika (SiO_2) ve müllit ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$)' dir. Gateller ve Olette 1600°C sıcaklıkta metalin sisli ve alüminyum aktivitelerinin [1],

$$\frac{a_{\text{Si}}^{3/4}}{a_{\text{Al}}} > 1400 \quad (2.45)$$

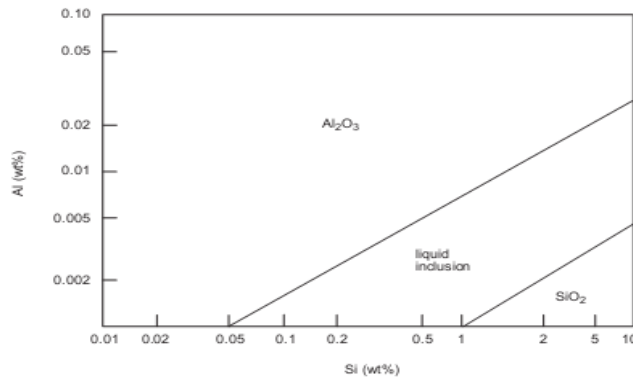
eşitsizliğini sağlaması halinde kararlı deoksidasyon ürünün silika,

$$\frac{a_{\text{Si}}^{3/4}}{a_{\text{Al}}} > 600 \quad (2.46)$$

eşitsizliğini sağlaması halinde kararlı deoksidasyon ürünün alümina ve

$$600 < \frac{a_{\text{Si}}^{3/4}}{a_{\text{Al}}} < 1400 \quad (2.47)$$

Eşitsizliği sağlanması halinde ise kararlı deoksidasyon ürününün müllit olduğunu belirtmektedir. Şekil 2.16' da 1600°C sıcaklık için bu üç deoksidasyon ürününün kararlılık ölçüleri göstermektedir. Aynı şekilde eş-oksijen aktivite çizgileri de çizilmiştir.

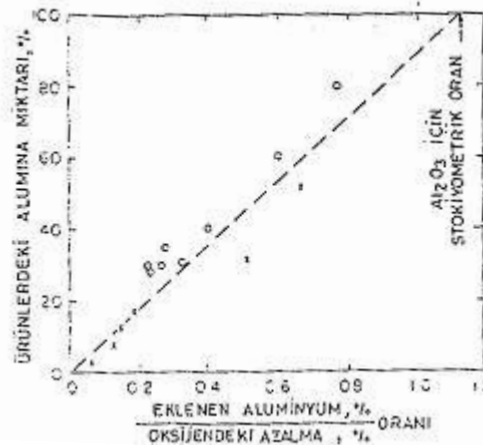


Şekil 2.16. 1600°C sıcaklıkta Al-Si deoksidasyonunda denge ilişkileri [1].

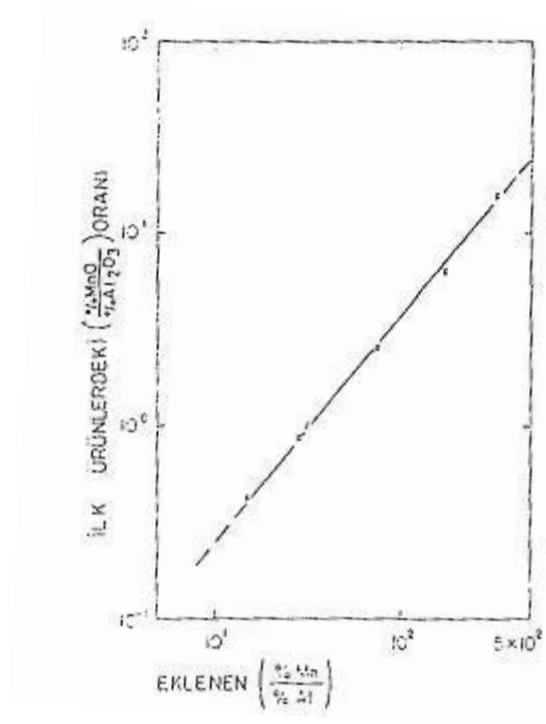
(2.45), (2.46) ve (2.47) numaralı eşitsizliklerden anlaşılacağı ve Şekil 2.16' dan açıkça görüldüğü gibi deoksidasyon ürününün yukarıdaki bileşiklerden hangisi olacağı özde sisteme eklenen alüminyum miktarına bağlıdır. Sisteme eklenen alüminyumun metaldeki oksijen konsantrasyonunu Al-O-Al₂O₃ dengesi değerine indirebilecek ölçüde çok olması halinde deoksidasyon ürünü Al₂O₃ olacaktır. Sisteme eklenen alüminyum miktarının çok az olması veya sisteme önce silis sonra alüminyum eklenmesi halinde sistemde silika ve/veya müllit oluşabilir.

Al – Si –Mn ile Deoksidasyon

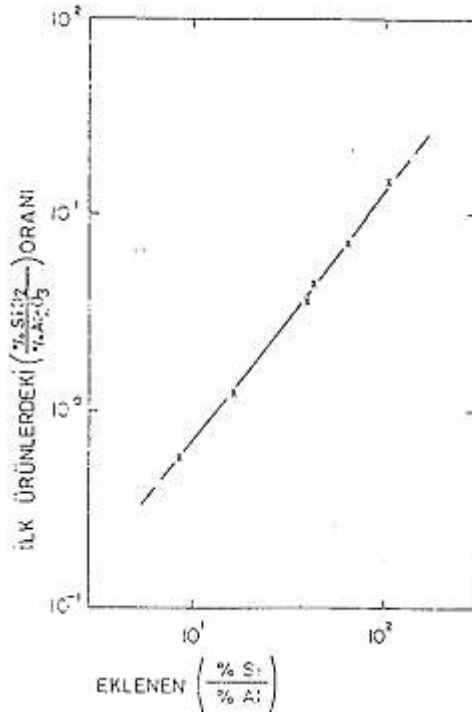
Çeliğin alüminyum, silis ve mangan ile deoksidasyonunda kararlı reaksiyon ürünleri sıvı bir Al₂O₃-SiO₂-MnO oksit çözeltisi, galaksit MnO.Al₂O₃ bileşiği, alümina Al₂O₃ ve müllit 3Al₂O₃.2SiO₂ bileşiği olabilir. Mangan konsantrasyonu ile silis konsantrasyonu toplamı %1 olan bir çelik banyosu için Fujisama ve Sakao tarafından hesaplanarak çizilen yukarıda belirtilen deoksidasyon ürünlerinin kararlılık bölgeleri 1550°C ve 1650°C sıcaklıklar miktarı ile değişimi belirlenmiştir. Şekil 2.17, Şekil 2.18 ve Şekil 2.19' den Mn-Si-Al alaşımları ile çeliğin deoksidasyonunda ilk reaksiyon ürünü içerisindeki MnO ve SiO₂ miktarlarının alüminyumun hemen hemen tamamının oksijen gereksiniminin tamamlanmasından sonra sisteme kalan oksijen miktarına bağlı olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 2.17. Al-Si-Mn deoksidasyonunda sisteme eklenen alüminyum miktarının deoksidasyon ürünü Al₂O₃ miktarına olan etkisi [8].



Şekil 2.18. Al-Si-Mn deoksidasyonunda ilk deoksidasyon ürününün $\%MnO/\%Al_2O_3$ oranının banyoya eklenen Si ve Al miktarı ile değişimi [8].



Şekil 2.19. Al-Si-Mn deoksidasyonunda ilk deoksidasyon ürününün $\%SiO_2/\%Al_2O_3$ oranının banyoya eklenen Si ve Al miktarı ile değişimi [8].

BÖLÜM 3

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Daha önce belirtildiği gibi bu tez çalışmasındaki amaç deoksidasyon malzemelerinin kullanım uygulamalarının maliyete olan etkisinin araştırılmasıdır. Deneysel çalışmalar Çelikhane İkincil Metalurji Üretim Mühendisi olarak görev aldığım Çolakoğlu Metalurji A.Ş' de yapılmıştır.

3.1 ÇOLAKOĞLU METALURJİ A.Ş. ÇELİKHANENİN GENEL ÖZELLİKLERİ

Çolakoğlu Metalurji, demir çelik faaliyetine 1945 yılında kurucusu Mehmet Rüştü Çolakoğlu'nun Karaköy'deki çelik ticarethanesi ile başladı. Çolakoğlu ilk haddehanesini 1960 yılında yine İstanbul'da Sütlüce'de devreye aldı. Ülkedeki kütük ihtiyacını karşılamak amacıyla 4 adet 40 tonluk ark ocağı ile 1969 yılında Dilovası'nda ilk çelikhane üretime başladı. Sektördeki öncü konumunu 1985 yılında özel sektörde filmaşın üretimini gerçekleştirerek pekiştiren Çolakoğlu Metalurji, 1990 yılı itibari ile ürün gamına nervürlü inşaat demirini de ekledi. Yaptığı yatırımlar ile en son teknolojiyi ülkemize kazandırmaya önem veren Çolakoğlu Metalurji, 2007 yılında yaptığı çelikhane ve yassı üretime geçiş yatırımları ile bu konudaki istikrarını göstermiştir. Çelikhane devreye alındığı tarihte, Çolakoğlu Metalurji dünyanın o tarihe kadar yapılmış en büyük ark ocağına sahipti. Özel sektörde ilk sıcak sac yatırımını da gerçekleştiren Çolakoğlu Metalurji, bu alandaki öncü konumunu sürdürmektedir.

3.1.1. Elektrik Ark Ocağı

Çolakoğlu Metalurji 2007 yılında yapılan modernizasyonda VAI (VöestAlpine Int.) tarafından kurulmuş olan 250 MW (MegaWatt) gücünde 340 ton/saat üretim hızında

Elektrik ark Ocağı ile üretim yapmaktadır. Ark ocağı, otomatik oksijen lansı ve otomatik sıcaklık ölçüm ve numune alma sistemleri ile donatılmıştır. Ayrıca döküm devirme sonrası transfer arabası üzerinde cüruf kalınlığı ölçüm cihazı da mevcuttur [9].



Şekil 3.1. Çolakoğlu Metalurji A.Ş elektrik ark ocağı.

3.1.2. Pota Fırınları

Çolakoğlu Metalurji, VAI tarafından kurulmuş olan 48 MW gücünde 2 adet Pota Fırınına sahiptir. Pota Fırınlara herbiri için kurulmuş olan malzeme besleme sistemi mevcuttur. Ayrıca her fırına ait acil lans karıştırma sistemi, karbon enjeksiyon sistemi, 4 yollu tel besleme sistemi ve otomatik sıcaklık ve numune alma lansları ile donatılmıştır [9].

3.1.3. Vakum Tesisi

Çolakoğlu Metalurjide, Concast tarafından kurulmuş olan buhar enjektör tip ikiz tank tipi (SE TVD) vakum altında gaz giderme tesisi mevcuttur. Vakum tesisi, vakum

altında alaşım besleme sistemi, tel besleme sistemi, otomatik sıcaklık ölçüm ve numune alma sistemleri ile donatılmıştır [9].

3.1.4. Sürekli Döküm Makinaları

Çolakoğlu Metalurji, Concast tarafından kurulmuş olan iki adet sürekli döküm makinasına sahiptir. Bir adet 8 yollu 9 m radiüslü 6 – 16 m kesim aralığında 130x130 kesitten 200x200 kesite kadar kütük üretebilen kütük makinası ve bir adet 2 yollu 1500-2700 mm kalınlık 800-1650 mm genişlik aralıklarında 6-16 m kesim aralığına sahip slab makinası mevcuttur.

Tüm üretim adımları tam bilgisayar sistemi ile donatılmıştır. Seviye1 (MHI; Machine Human Interface), Seviye2 ve Seviye3 kademeleri ile donatılmış olan çelik üretim süreci tüm bilgiler kayıt altına alınabilmektedir.

Bu tez konusunda kullanılan datalar Seviye kademelerinden .cvs formatında alınıp .xls formatına çevirilmif reel değerlerdir. XLSL formatındaki datalar EK AÇIKLAMALAR A'da verilmiştir [9].

3.2. KULLANILAN HAMMADDELER

İşletme içerisinde kullanılan tüm malzemeler, şartnameler koşulunda yazan, çelik üreticilerin yaygın olarak kullandığı, kimyasal ve fiziksel spesifikasyonları belirlenmiştir. Malzemeler, işletmede kullanılmadan önce kimyasal ve fiziksel muayeneleri Çolakoğlu Metalurji A.ř Kalite Müdürlüğü bünyesine ait Kimya ve Fizik Laboratuvarlarında standartlar çerçevesinde karakterize edilmektedir. şartname dışındaki malzemeler işletmede kullanılmamaktadır.

Kullanılan malzemelerin kimyasal spesifikasyonları ve birim maliyetleri Çizelge 3.1' de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Kullanılan malzemelerin kimyasal spesifikasyonu ve birim maliyeti.

	TL/Kg	%Al	%Si	%Mn	%C	%CaO	%Al ₂ O ₃	%SiO ₂	%MgO
FeMn	3,33	-	-	79,0	2,0	-	-	-	-
FeSiMn	3,33	-	15,5	68,0	2,0	-	-	-	-
Al. Külçe	4,62	95,0	1,0	-	-	-	-	-	-
Al. Piramit	4,62	95,0	1,0	-	-	-	-	-	-
Al. Granül	4,66	95,0	1,0	-	-	-	-	-	-
Al. Curufu	0,38	-	-	-	-	-	92,5	4,0	3,0
Al. Tel	6,40	99,0	-	-	-	-	-	-	-
CaO Kireç	0,06	-	-	-	-	90,0	1,0	4,0	1,0

3.3. DENEY MALZEMELERİNİN ÜRETİMİ

Tez çalışmasına konu olan malzeme, 54235-S235JRLowSi adlı kalitedir. Döküm kalitesi kimyasal spesifikasyonu Çizelge 3.1’ de verilmektedir.

Çizelge 3.2. 54235-S235JrLowSi kalite çeliği kimyasal spesifikasyonu.

% C	% Mn	% Si	% P	% S	Al ppm
0,05 – 0,07	0,20 – 0,30	0,03 max.	0,020 max.	0,015 max.	200 – 500

Ark ocağı ergitme sonrasındaki döküm aşamasından itibaren başlayan deoksidasyon sürecinde kullanılan malzemelerde değişiklik yapılması öngörülmüş ve datalar toplanmıştır.

Çolakoğlu Metalurji’ de düşük karbonlu alüminyum ile öldürülmüş çelik (LCAK) aşağıda yazılan prosedürler çerçevesinde üretimi yapılmaktadır.

1. Ark ocağı ergitme sonrası rafinasyon işlemi aşamasında karbon ve oksijen enjeksiyonları ile ocak içersindeki C-O dengesini sağlar.
2. Hedef karbon değerine ulaşması sağlanır.
3. Döküm sıcaklığına (yaklaşık 1620°C) geldiğinde ark ocağı devirme pozisyonuna geçer.

Üretim seyrinde, konvansiyonel sistemde, döküm aşamasında döküm potasına verilen malzemeler 314 kg FeMn (Orta C), 173 kg alüminyum ve 500 kg CaO olarak belirlenmiştir. Döküm devirmesi bitiminde pota fırınına geldiğinde argon gaz karışımları sağlanır. Pota, fırın kapak altına gelmesi ile manyetik karıştırıcılar ile de karıştırılmaktadır. Curuf ısıtılıp sıvılaştırıldıktan sonra sıcaklık ve oksijen ölçümü yapılır ardından numune alınır. Çelik içerisinde çözülmüş serbest oksijen değerine göre deoksidasyon süreci belirlenmekte ve deoksidasyon malzemesi verilmektedir. Analiz gereği tamamlanacak olan Mn ilavesi FeMn ile yapılmaktadır.

Literatür araştırmalar kısmında bahsedildiği gibi miktarsal olarak deoksidant kullanımı belirleyen başlıca faktör çelik içerisinde çözülmüş serbest oksijen miktarıdır. Bunun yanı sıra ark ocağında devirme esnasında hem vortex sebebiyle hem de ocak kaldırma esnasında kaçan cürufunda etkisi vardır. Çolakoğlu Metalurji çelikhaneğinde ark ocağında 280 ton çelik döküm esnasında yaklaşık olarak 2250 kg ocak curufu kaçmaktadır. Curuf analizleri Çizelge 3.4' de yer almaktadır.

Çizelge 3.3. EAF curufu ortalama kimyasal spesifikasyonu.

% CaO	% Al₂O₃	% SiO₂	% FeO	% MnO	% MgO
20 – 25	5 – 8	10 – 15	30 -35	4 – 6	6 – 8

LCAK çelik üretiminde final çelik analizi yanında döküm kalitesi ve temizliği açısından curuf analizinin de önemi çoktur. Konvansiyonel sistemde çelik üretiminde curuf analizinin çelik içerisinde yer alacak inklüzyon miktarına kadar belirleyici özelliğe sahiptir. LCAK çeliklerin olası final curuf analizi Çizelge 3.5' de yer almaktadır.

Çizelge 3.4. LCAK çeliklerin olası final curufu kimyasal spesifikasyonu.

% CaO	% Al₂O₃	% SiO₂	% FeO	% MnO	% MgO
55 – 60	20 – 25	< 8	0,5 – 1,0	0,5 – 1,0	6 – 8

Pota fırıncılıkta esas önem arz eden, öncelikle çelik ve curuf deoksidasyonun yapılmasıdır. Deoksidasyon ne kadar erken olursa çelik kimyasına hakimiyet o

derece artmaktadır. Deneysel çalışmalarda ilk 30 dakika içerisinde çelik ve curufun deoksidasyonu tamamlanıp curuf CaO'çe doyunluğa getirilmiştir. Bu süre zarfında yapılacak işlemlerin önemi büyüktür. Yanlış veya gecikmiş bir uygulama deoksidasyon süresini uzatmakta ve deoksidant malzeme kullanımı arttırmaktadır. Haliyle maliyet açısından da olumsuz yönde etkilemektedir.

Deneysel çalışmada toplam 383 adet 54235-S235JR kalite çelik üzerinde çalışılmış (Çizelge 3.5) ve ve tüm üretim kademelerindeki malzeme raporları Level2 kademesinden aktarılmıştır. Mevcut durum olarak belirlenen malzeme bilgisi ocak devirmede verilen 314 kg FeMn, 173 kg Alüminyum ve ilave CaO' tir. Bu şekilde kullanım ile alüminyum sarfiyatı 3,34 Kg/TSC, maliyeti ise 16,45 TL/TSC' dir.

Çizelge 3.5. Deneme döküm sayısı.

	Miktar (kg)			Döküm Sayısı	Yüzdelik Dilim (%)
	FeSiMn	FeMn	Al		
FeSiMn	370	-	-	182	48
FeSiMn+Al	372	-	196	48	13
FeSiMn+FeMn	226	211	-	47	12
FeMn+Al	-	314	173	34	9
FeSiMn+FeMn+Al	212	217	259	72	19

Yapılan çalışmalarda ocak devirme malzemelerinde değişikliğe gidilmiştir (Çizelge 3.5). Ocak devirme malzemelerinde toplam 400 kg Mn'lı malzeme mevcuttur. İki çeşit Mn' lı malzeme de ise miktarı yarısına bölerek verilmiştir. Yapılan değişikliklerden elde edilen datalar geniş bir şekilde toplanmış ve değerlendirmeye alınmıştır. Değerlendirmede cüruf kalınlığı, ocak curuf FeO değeri gibi değerlerin sabit olduğu dökümler saptanmış ve kullanılmıştır. Daha önceden de bahsedildiği gibi ocak devirmedeki curuf miktarı ve FeO içeriğinin deoksidant malzeme tüketiminde oldukça etkilidir. Bu sebepten eş değerlerdeki dökümler kayıt altına alınmıştır.

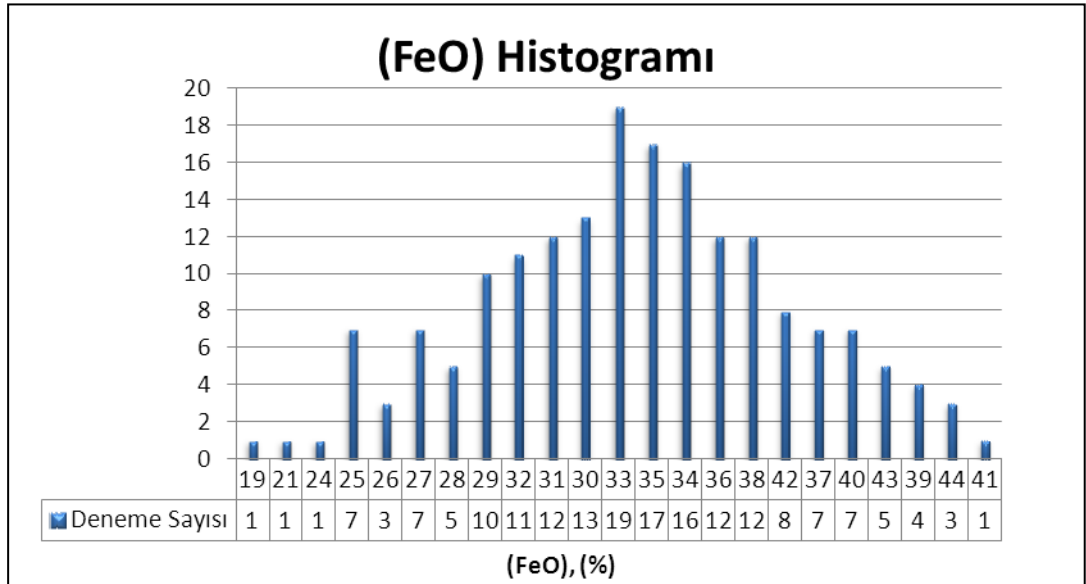
BÖLÜM 4

DENEYSEL SONUÇLAR VE İRDELENMESİ

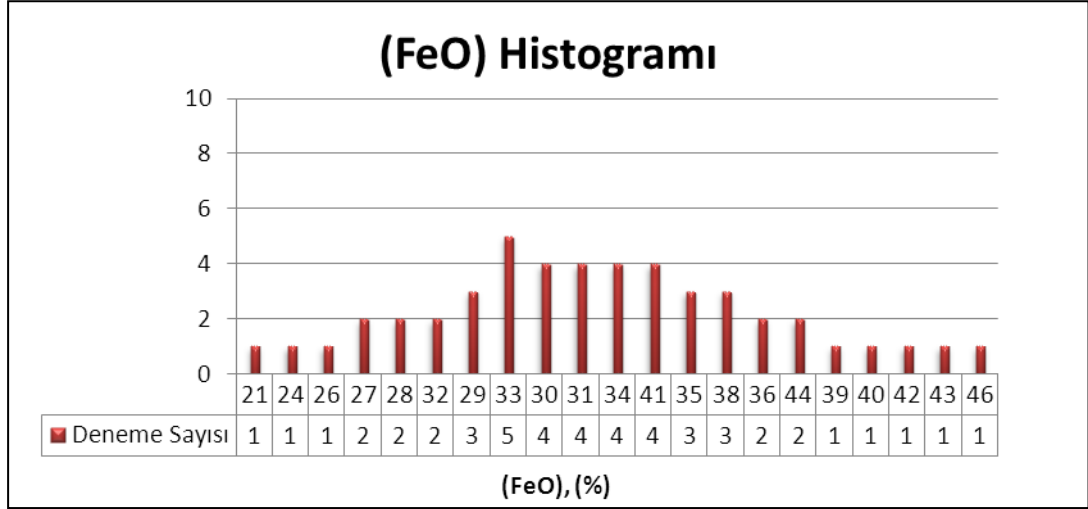
4.1. EAF CURUFU FeO İSTATİSTİĞİ

Ocak devirme öncesinde alınan cüruf numuneleri uluslararası standartlar çerçevesinde Kimya Laboratuvarın'ca XRF difraktometrede yapılmaktadır. Denemeler sırasında alınan dökümlerin FeO değerleri, Çizelge 4.1-Çizelge 4.5'de yer almaktadır. Histogramda elde edilen değerlerin ortalaması standart sapmaları ile birlikte Çizelge 4.6' da verilmektedir.

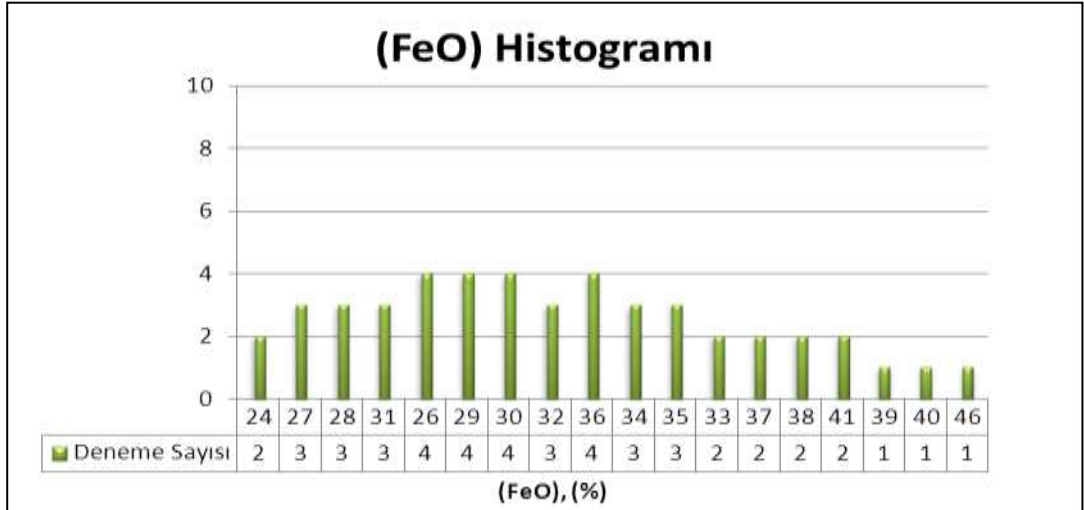
Çizelge 4.1. FeSiMn denemelerindeki EAF curufu FeO histogramı.



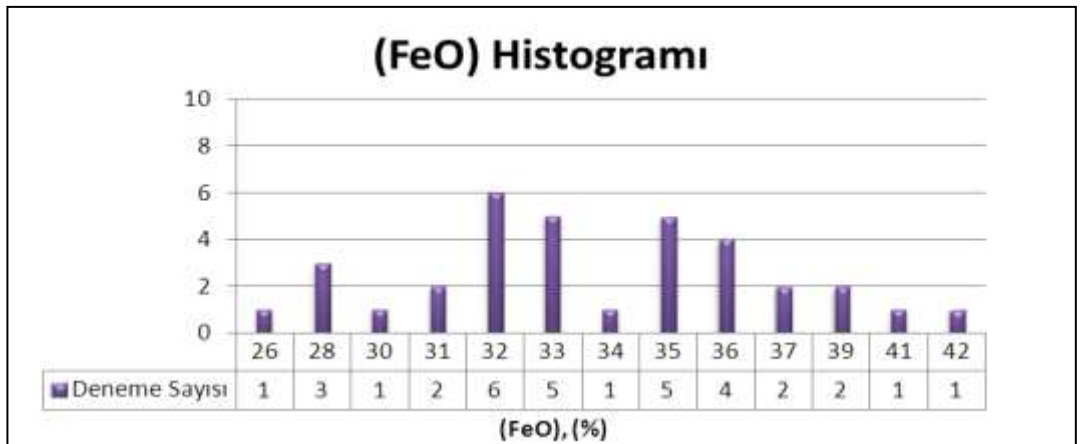
Çizelge 4.2. FeSiMn + Al denemelerindeki EAF curufu FeO histogramı.



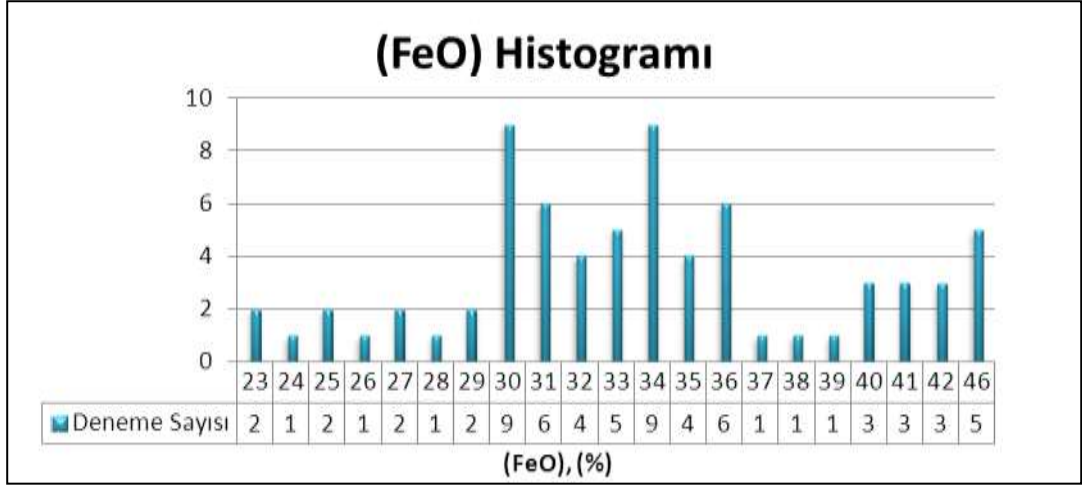
Çizelge 4.3. FeSiMn + FeMn denemelerindeki EAF curufu FeO histogramı.



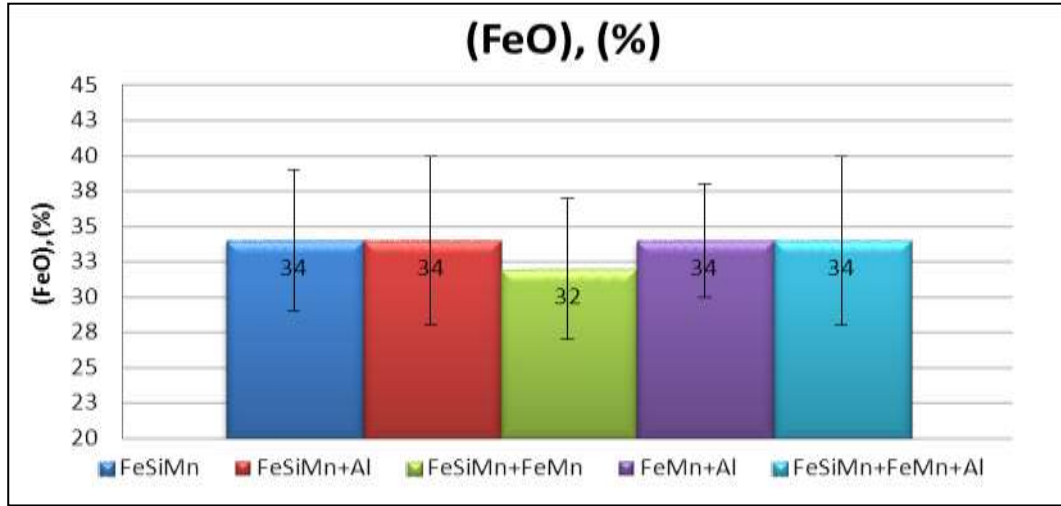
Çizelge 4.4. FeMn + Al denemelerindeki EAF curufu FeO histogramı.



Çizelge 4.5. FeSiMn + FeMn + Al denemelerindeki EAF curufu FeO histogramı.



Çizelge 4.6. Denemelerdeki EAF curufu ortalama %FeO miktarı.



Termodinamik olarak FeO değerinde, FeSiMn+FeMn karışımının sergilediği az miktarda değişiklikler çelik içerisindeki çözülmüş serbest oksijen farklılıklarına sahip olacağı kesindir. Ancak bu farklılıklar ihmal edilebilecek kadar düşüktür.

4.2. EAF KAÇAN CURUF MİKTARI İSTATİSTİĞİ

Ocak devrilmesin de gerek vortex sebebiyle gerekse ocak kaldırma sırasında bir miktar cüruf kaçmaktadır. Kaçan cüruf miktarının deoksidant malzemesi kullanımına etkisi çok büyüktür. Bu sebepten kontrol altına alınması gerekmektedir.

EAF devirme sonrası kaçan cüruf miktarını görsel olarak görebilsek de bu miktarın ölçülmesi gerekmektedir. Bu sebepten transfer arabası üzerinde ölçüm yapılmakta ve değerler kayıt altına alınmaktadır. Denemeler sırasında alınan dökümlerin cüruf kalınlıkları Çizelge 4.7' de yer almaktadır.

Burada kalınlık miktarı tam otomatik sistemle ölçülmüş ve mevcut cüruf miktarı basit bir şekilde hesaplanmıştır.

$$g_{\text{cüruf}} = W_{\text{cüruf}} / V$$

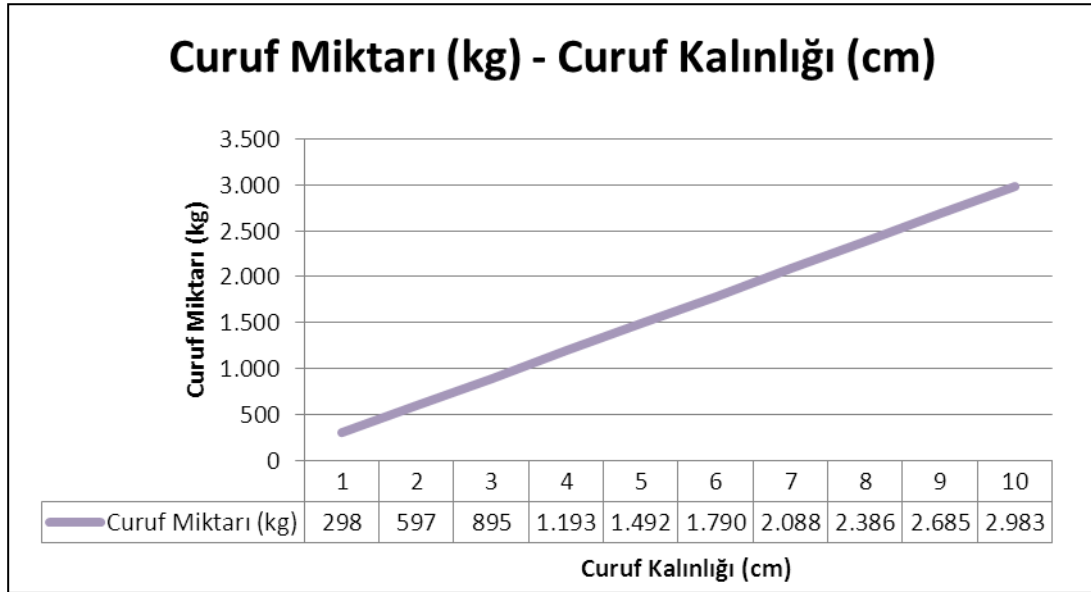
$$g_{\text{cüruf}} = 2,5 \text{ ton/m}^3$$

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot h_{\text{cüruf}}$$

$$\text{Çap (R)} = 3,90 \text{ m ise}$$

$$V = 26,07 \text{ ton/ cm} \cdot h_{\text{cüruf}}$$

Çizelge 4.7. EAF cüruf miktarı ve cüruf kalınlığı ilişkisi.



Curuf kalınlığının 7 – 8 cm arasında ölçülmektedir. Hesaplamalarda cüruf miktarı olarak 2250 kg olarak alınmıştır.

4.3. TEORİK ALÜMİNYUM TÜKETİM MİKTARI

EAF cürufu içerdiği FeO ile hesaplamalar yapılmaktadır. FeO değerinden çelik içerisindeki çözünmüş teorik serbest oksijen değeri hesaplanır. Hesaplamalarda iki farklı sistemin oksijen potansiyeli ve bunların ihtiyaç duyacağı alüminyum miktarlarına ulaşılır.



Reaksiyona göre denge sabitesi;

$$\text{Log } K_{\text{Fe}} = - 6150/T + 2,604 \quad (4.2)$$

1600 C sıcaklıkta %100 FeO şartında, $a_{\text{Fe}}=1$ kabulünde, 2300 ppm oksijen ile dengededir. Bu teorik dengede FeO miktarı ile oksijen değerini % 0,23' si ile çarpımından oksijen değeri bulunmaktadır. EAF cüruf içerisindeki bir diğer oksijen potansiyeli olan MnO, ocak denge şartlarında, yaklaşık % 5 civarındadır.



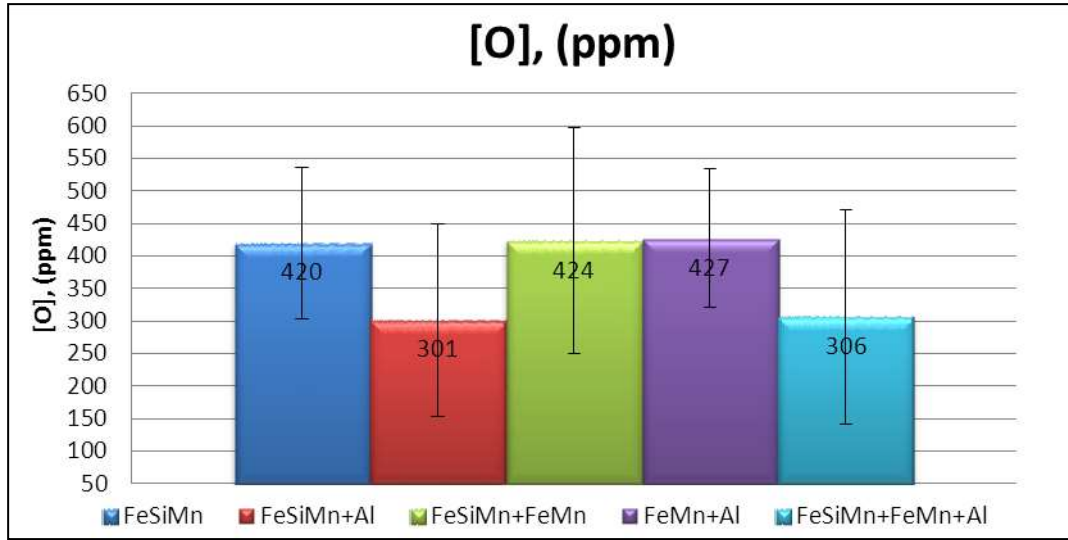
Yukarıdaki (48) ve (49) nolu reaksiyonlarda sitokiyometrik olarak 1 kg oksijeni deoksidedecek alüminyum miktarı 1,125 kg' dır. Teorik Al tüketim miktarları hesaplanarak Çizelge 4.10.' da verilmiştir.

4.4. İKİNCİL METALURJİ UYGULAMALARI

Ocaktan devrilen döküm (ergiyik), pota fırınında işleme alınır. İşlem öncesi pota karışımı için gaz bağlantıları sağlanmaktadır. Pota işlem pozisyonuna geldiğinde manyetik karıştırıcılar da devreye girmektedir. Pota karışımı, çelik kimyasal kompozisyon ve sıcaklık homojenizasyonu sağlaması yanında curuf/çelik ara yüzey reaksiyonlarının kinetiğinde başrol oynamaktadır.

Oksijen değerleri ölçümü yapılmasıyla deoksidasyon malzemeleri verilmeye başlanmaktadır. Denemelerde farklı uygulamalara ait oksijen giriş değerleri Çizelge 4.8’ de gösterilmiştir.

Çizelge 4.8. Denemelerdeki PF giriş oksijen değerleri.



Çizelge 4.8’ den anlaşılacağı gibi daha düşük oksijen değerlerinde daha az alüminyum gideceği yorumu yapılabilmektedir.

Metalurjik olarak devirme esnasında verilen malzemeler ile deoksidasyon süreci başlamaktadır. Bu sebepten dolayı pota fırının giriş oksijen (772 ppm) değerinde düşüş gözlenmektedir. Özellikle Si ve Al girdisi (FeSiMn+Al) ile bunu gözlemlemek mümkündür. Si ve Al direkt olarak reaksiyona girerek çelik içerisinde çözülmüş oksijeni redüklemektedir. Cüruf içindeki oksijen potansiyelleri olan FeO ve MnO ile ilgili bir tepkime söz konusu olmamaktadır. Bunun sebebi bu deoksidantlar devirme esnasında 80 ton civarına kadar verilmesidir. Malzemelerin erken verilmesinin bir sebebi EAF’nın fiziki şartlarından dolayı kaynaklanmaktadır.

Maliyet hesaplamalarında (Çizelge 3.1) hangi tür alüminyum kullanıldığı göz önünde bulundurulmuştur. Yapılan hesaplamalarda da açıkça gözükmektedir ki aynı tüketim değerinde farklı maliyet çıkmaktadır.

Çizelge 4.9. Deneme değerleri.

	Pota Fırını	EAO		Pota Fırını					VD	$\sum M_{Al\text{İşletme}}$	Al Final değeri (%)	Kg/TSC	TL/TSC	$\sum M_{Al}$ Parasal Değeri	Al Maliyeti TL/kg
	[O], ppm	(FeO), (%)	Piramit Al	Külçe Al	Piramit Al	Tel Al	Granül Al	Al Curufu	Tel Al						
FeSiMn	420	34	0	142	285	169	120	130	46	762	0,0276	2,78	14,24	3911	5,13
FeSiMn+Al	301	34	196	142	182	161	109	289	35	826	0,0280	2,99	15,11	4169	5,05
FeSiMn+FeMn	424	32	0	355	152	237	159	295	30	933	0,0273	3,34	17,14	4793	5,14
FeMn+Al	427	34	173	101	380	104	99	266	49	906	0,0296	3,34	16,45	4462	4,93
FeSiMn+FeMn+Al	306	34	259	337	69	181	124	244	26	995	0,0268	3,59	17,94	4970	4,99

Ayrıca yapılan hesaplamalar reel işletme değerleridir. Ve bu değerlerin teorik olarak hesaplanarak işletme şartları ile teorik şartlar arasındaki verim belirtilmektedir. Teorik değere ne kadar yakın ise verim de yüksek olacaktır. $\sum M_{Al\text{İşletme}}$ ve $\sum M_{Al\text{Teorik}}$ değerlerinin oranı bize Teorik verimi göstermektedir.

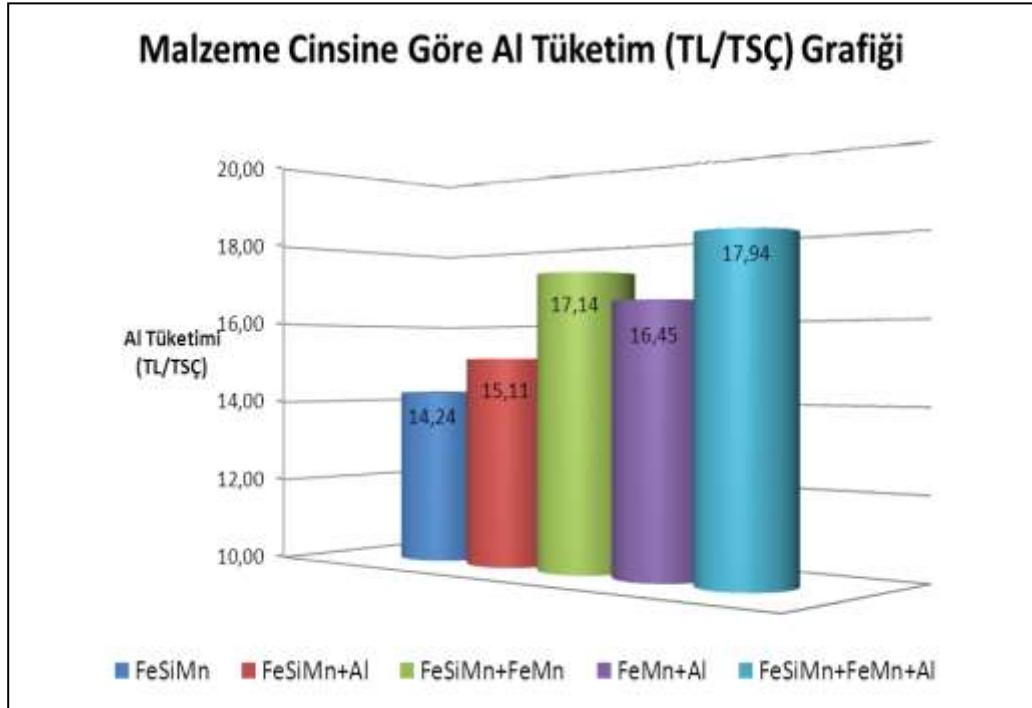
Çizelge 4.10. Teorik Al tüketimi ve teorik verim.

	Pota Fırını	EAF	Teorik			Al _{Final} (Kg)	$\sum M_{Al\text{Teorik}}$	Teorik Verim (%)
	[O] ppm	(FeO) (%)	[O] ppm	Al _{Çelik} (Kg)	Al _{Curuf} (Kg)			
FeSiMn	420	34	774	239	277	76	592	78
FeSiMn+Al	301	34	780	242	279	77	598	72
FeSiMn+FeMn	424	32	742	233	267	76	577	62
FeMn+Al	427	34	776	237	278	80	595	66
FeSiMn+FeMn+Al	306	34	786	245	281	74	600	60

Tez başlangıcı mevcut durumda 3,34 kg Al./ TSC tüketim ve 16,45 TL/TSC maliyet hesaplanmaktadır. Diğer kombinasyonlar denenerek tablodaki gibidir. Sisteme Al ve Mn ilavesi yapıldıkça tüketimin ve bununla birlikte maliyetinde arttığı gözlenmektedir.

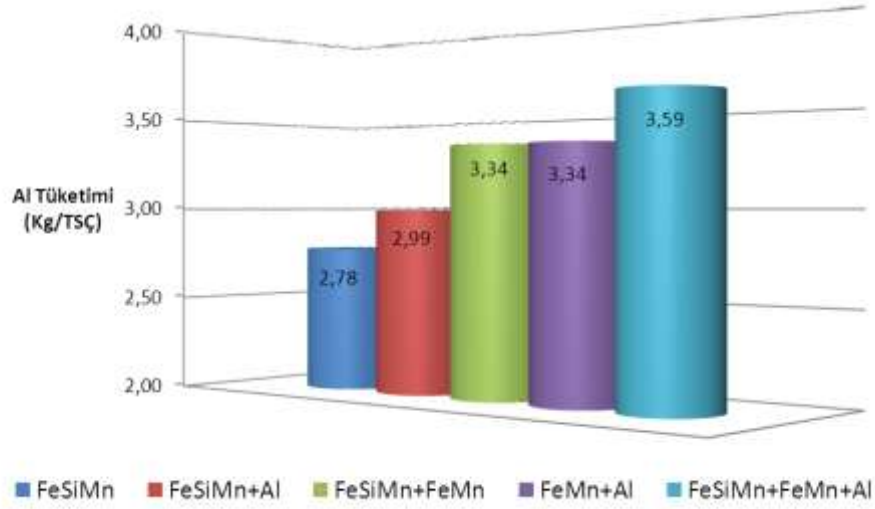
Çizelge 4.9' dan anlaşılacağı üzere ocak devirme sırasında sadece FeSiMn ilavesi ile en düşük tüketim ve maliyet değerine ulaşılmıştır. Mevcut duruma göre tüketim açısından 0,56 kg Al./TSC, maliyet açısından da 2,2 TL/TSC tasarruf edilmiştir. Çolakoğlu Metalurji' nin kurulu üretim kapasitesi 3 000 000 ton/yıl'dır. Bu da yıllık bazda 6 600 000 TL kar sağlanması demektir.

Çizelge 4.11. Maliyet açısından 54235 kalite çeliklerde malzeme cinsine göre Al tüketim (TL/TSC) grafiği.



Çizelge 4.12. Miktar açısından 54235 kalite çeliklerde malzeme cinsine göre Al tüketim (Kg/TSC) grafiği.

Malzeme Cinsine Göre Al Tüketim (Kg/TSC) Grafiği



FeMn kullanım koşullarında Al tüketiminde düşüş beklenir. Ancak Mn, geri dönüşümü sağlanır bir alyaj (deoksidant) malzemesidir. Mn hesaplamalarında cürufa MnO olarak geçen miktarın aynı cüruf miktarında geri dönüşü hep aynıdır. Yani Mn ile deoksidasyon sağlanacak ise MnO olarak cürufa geçecek ardından verilecek olan Si ve/veya Al girdisi ile tekrar redüklenip çelik banyosuna Mn geçecektir. Bu sebepten FeMn deoksidant olarak kullanılması mantıklı bir durum değildir.

Yüksek Si girdilerinde, 54235-S235JRLowSi kaliteler dışında, aynı şekilde alüminyum miktarını arttırmakta ve Mn gibi Si de çeliğe geri dönmektedir. Bu durumlar işletme şartlarında tecrübeyle sabit şekilde yaşanmaktadır.

Sonuç olarak, 54235-S235JRLowSi kalite çelik üretimi sırasında EAF devirmesinden itibaren başlayan deoksidasyon sürecinde kullanılan malzemeler ile maliyete ve tüketime hakim olunabilmektedir. Tez çalışması öncesinde 16,45 TL/TSC maliyet ile üretim yapılmakta iken denemeler sonucunda ton başına 2,20 TL tasarruf sağlanarak 14,25 TL/TSC değerine ulaşılmıştır.

BÖLÜM 5

GENEL SONUÇ ve ÖNERİLER

1. Deoksidasyon malzemelerinin kullanım miktarının en düşük seviyede tutmak hedef değildir. Hedef, konvansiyonel olarak teorik şartlarda yer alan cüruf ve çelik kimyasına maksimum yaklaşımdır. Yapılan çalışmalar sonucunda minimum alüminyum miktarsal tüketim 2,78 kg Al./TSC, maliyet ise 14,25 TL/TSC olarak bulunmuştur.
2. Deoksidasyon esnasında Si girdisinin kontrolü FeSiMn seçimi ile sağlanmıştır. Ayrıca FeSiMn miktarı artırılarak alüminyum miktarını düşürüleceği bir minimum değer vardır. Bu değer üzerinde çelik banyosunda Si değeri artış gösterir.
3. Mn girdisi ile yapılan deoksidasyon alüminyum tüketimi açısından handikaplıdır. Mn ilavesi ile oluşan MnO, cüruf bölgesinde yer alacaktır ve deoksidasyonun ileriki zamanlarında çelik banyosuna Mn olarak geri dönmek isteyecektir. Bu sebepten zaman kaybı yaşanacaktır, buna bağlı olarak tüketim ve maliyet artacaktır.
4. Maliyet düşürülmesinde EAF cüruf FeO değerinin çok büyük etkisi vardır. FeO değerinin düşük olması alüminyum tüketimini açısından olumlu sonuç verecektir.
5. Maliyet düşürülmesinde EAF kaçan cüruf miktarının çok büyük etkisi vardır. Kaçan cüruf miktarının düşük olması alüminyum tüketimi açısından olumlu sonuç verecektir.
6. Curuf kimyası belirlenen değerler arasında olmalıdır. Aksi halde inklüzyon yapıları değişmekte ve çelik kalitesini bozmaktadır.
7. Curuf kimyasında CaO değeri doygunluk sınırında olmalıdır.
8. Kararlı bir çelik üretim prosesinde curuf sıcaklığı mümkün olduğunca stabil olması gerekmektedir. Aşırı sıcak veya aşırı soğuk durumunda curuf kimyasında sapmalara neden olacaktır.

KAYNAKLAR

1. Fruehan, R. J., “The Making, Shaping and Treating of Steel, 11th Edition, Steelmaking and Refining Volume”, *The AISE Steel Foundation*, USA, 141-144, 152-153, 155-157 (1998).
2. Dikeç, F., “Demir Çelik Endüstrisinin Yeri, Önemi ve Gelişimi”, *Metalurji Dergisi Sayı: 58*, İstanbul, 63-65 (1988).
3. Gültekin, A. ve Alkan E., “Yüksek Alaşımli Çeliklerin Bazik Ark Ocaklarında Üretim Teknikleri ve Pota Metalurjisi”, *TMMOB Metalurji Müh. Odası Yayın No:31*, İstanbul, 12-15, 18-19, 22-25, 43 (1995).
4. Türkdoğan E. T., “Fundamentals of Steelmaking”, *The Institute of Materials*, USA, 25-26, 34-38, 40-45 (1996).
5. Fruehan, R. J. , “Ladle Metallurgy Principles and Practices”, *Iron &Steel Society*, USA, 2-4, 5-6, 8 (1985).
6. Ghosh, A., “Secondary Steelmaking”, *Indian Institute of Technology*, India, 125-127, 128-130, 131 (2001).
7. Grecu, L., “Ladle Furnace Metallurgy”, *Hoogovenes Technical Service*, New York, 25-27, 33, 35, 38 (1998).
8. Sevinç, N., “Çelikte Oksijen Giderme (Deoksidasyon)”, *Segem*, İstanbul, 3-5, 6-7, 10-12, 13, 20, 23 (1987).
9. Abel. “Techical Documentation Process Description, Ladle Furnace”, *VAI FUCHS*, 58-61 (2011).
10. Y. Yetişken , İ. Ekmekçi, “Mass Balance Modeling for Electric Arc Furnace and Ladle Furnace System in Steelmaking Facility in Turkey”, *Journal of Iron and Steel Research, International, Volume 14, Issue 5*, 1-6, 55 (2007).
11. Akman, O., “Birleştirilmiş Pota Metalurjisi Uygulamaları”,*Metalurji Dergisi Sayı: 55*, 35, 37, 40(1988).
12. Ala, F. ve Şahintürk C., “Erdemir’de Pota Metalurjisi Uygulamaları”, *Metalurji Dergisi Sayı:58*, 13-15 (1998).
13. Y. Yetişken, İ. Ekmekçi, Ü. Çamdalı, ”Türkiye’de Elektrik Ark Ocaklı Ve Pota Fırınlı Çelik Üretim Tesisleri İçin Kütle Balans Modellemesi”, *13. Uluslar Arası Metalürji Ve Malzeme Kongresi, Kongre Bildiriler E-Kitabı*, 131-133, 135 (2006).

EK AÇIKLAMALAR A.

XLS FORMATINDAKİ DATALAR

Çizelge EK A.1. XLSL formatındaki datalar.

Döküm No	Kalite	Ağırlık (Ton)	Malzeme	[O] ppm	EAF				POTA FIRINI					VAKUM		TOPLAM (Kg)	PARÇA %Al	KG/TSC	TL/TSC	Teorik Verim					Verim (%)
					(FeO) (%)	FeMn (Kg)	FeSiMn (Kg)	PRAMİT Al (Kg)	KÜLÇE Al (Kg)	PRAMİT Al (Kg)	TEL Al (Kg)	GRANÜL Al (Kg)	Al Curuf (Kg)	TEL Al (Kg)	[O] ppm					Al _{Çelik} (Kg)	Al _{Curuf} (Kg)	Al _{Final} (Kg)	Al _{Total} (Kg)		
386	54235	280	FeSiMn	296	25	0	442	0	300	0	310	50	0	80	740	0,0252	2,64	14,70	575	181	214	71	465	63%	
387	54235	289	FeSiMn	541	31	0	463	0	900	0	400	250	0	90	1640	0,0299	5,67	29,26	713	232	258	86	576	35%	
388	54235	240	FeSiMn	598	34	0	464	0	450	0	350	70	0	0	870	0,0302	3,62	19,35	782	211	280	72	564	65%	
389	54235	280	FeSiMn		30	0	439	0	450	0	300	150	0	0	900	0,0237	3,21	16,77	690	217	250	66	534	59%	
390	54235	281	FeSiMn	355	35	0	420	0	450	0	230	100	0	0	780	0,0255	2,77	14,28	805	255	287	72	614	79%	
594	54235	269	FeSiMn	326	31	0	430	0	450	0	130	150	0	40	770	0,0357	2,86	14,37	713	216	258	96	570	74%	
595	54235	272	FeSiMn		29	0	438	0	450	0	150	50	0	0	650	0,0283	2,39	12,03	667	204	243	77	524	81%	
596	54235	260	FeSiMn	310	34	0	416	0	400	0	100	200	0	0	700	0,0257	2,69	13,15	782	229	280	67	575	82%	
597	54235	275	FeSiMn		34	0	420	0	450	0	250	150	0	30	880	0,0311	3,20	16,62	782	242	280	86	607	69%	
598	54235	250	FeSiMn	609	33	0	412	0	500	0	250	100	0	20	870	0,0268	3,48	18,02	759	213	272	67	553	64%	
613	54235	269	FeSiMn	394	29	0	423	0	300	0	290	60	0	30	680	0,0284	2,53	13,81	667	202	243	76	521	77%	
614	54235	271	FeSiMn	517	36	0	421	0	375	0	280	80	0	40	775	0,0300	2,86	15,33	828	252	295	81	628	81%	
615	54235	267	FeSiMn	323	28	0	423	0	450	0	170	150	0	0	770	0,0334	2,88	14,48	644	193	236	89	518	67%	
616	54235	274	FeSiMn	545	35	0	408	0	375	0	280	50	0	0	705	0,0249	2,57	13,71	805	248	287	68	604	86%	
617	54235	262	FeSiMn	504	40	0	415	0	540	0	260	150	0	45	995	0,0238	3,80	19,64	920	271	324	62	658	66%	
633	54235	282	FeSiMn	359	26	0	444	0	225	0	350	80	0	25	680	0,0254	2,41	13,52	598	190	221	72	482	71%	
634	54235	289	FeSiMn	509	27	0	436	0	225	0	400	100	0	30	755	0,0298	2,61	14,73	621	202	228	86	516	68%	
635	54235	276	FeSiMn	476	25	0	443	0	180	0	350	125	0	20	675	0,0281	2,45	13,70	575	179	214	78	475	70%	
636	54235	286	FeSiMn		25	0	452	0	225	0	350	100	0	0	675	0,0301	2,36	13,10	575	185	214	86	480	72%	
637	54235	282	FeSiMn	400	26	0	430	0	225	0	150	100	0	0	475	0,0250	1,68	8,74	598	190	221	71	481	101%	
668	54235	263	FeSiMn		42	0	463	0	450	0	300	200	500	15	965	0,0283	3,67	19,11	966	286	339	74	699	72%	
669	54235	287	FeSiMn		42	0	460	0	300	0	210	200	500	60	770	0,0302	2,68	14,10	966	312	339	87	737	96%	
670	54235	277	FeSiMn		43	0	440	0	450	0	380	200	500	0	1030	0,0310	3,72	19,65	989	308	346	86	740	72%	
699	54235	267	FeSiMn	508	35	0	425	0	375	0	400	150	0	40	965	0,0258	3,61	19,65	805	242	287	69	598	62%	
700	54235	260	FeSiMn	476	32	0	420	0	450	0	330	250	0	0	1030	0,0258	3,96	20,60	736	215	265	67	547	53%	
702	54235	283	FeSiMn		35	0	418	0	400	0	300	0	534	0	700	0,0249	2,47	13,31	805	256	287	70	614	88%	
703	54235	274	FeSiMn		34	0	413	0	450	0	180	200	749	20	850	0,0339	3,10	15,66	782	241	280	93	614	72%	
704	54235	277	FeSiMn	368	36	0	411	0	450	0	400	180	531	45	1075	0,0286	3,88	20,83	828	258	295	79	631	59%	
705	54235	271	FeSiMn	324	27	0	417	0	360	0	300	200	757	0	860	0,0250	3,18	16,68	621	189	228	68	485	56%	
737	54235	267	FeSiMn		43	0	413	0	350	0	260	0	582	0	610	0,0260	2,28	12,29	986	296	345	69	711	117%	
738	54235	274	FeSiMn	315	37	0	408	0	525	0	300	250	506	0	1075	0,0252	3,92	20,11	850	262	301	69	632	59%	
739	54235	282	FeSiMn	413	38	0	422	0	150	414	250	200	615	0	1014	0,0294	3,60	18,22	883	280	312	83	675	67%	
740	54235	304	FeSiMn	493	43	0	429	0	600	0	300	500	770	0	1400	0,0250	4,61	23,10	986	337	345	76	758	54%	
741	54235	251	FeSiMn		27	0	333	0	600	0	440	200	768	0	1240	0,0269	4,94	25,98	622	176	229	68	472	38%	
742	54235	283	FeSiMn	478	31	0	424	0	555	0	200	100	722	0	855	0,0340	3,02	15,23	715	228	258	96	582	68%	
743	54235	283	FeSiMn	276	40	0	416	0	0	810	150	100	276	0	1060	0,0329	3,75	18,26	925	295	326	93	713	67%	
744	54235	281	FeSiMn	445	29	0	417	0	450	0	390	100	683	0	940	0,0330	3,35	17,94	668	211	243	93	547	58%	
745	54235	282	FeSiMn	488	36	0	435	0	0	1000	120	100	0	25	1245	0,0264	4,41	21,33	817	259	291	74	625	50%	
746	54235	282	FeSiMn	448	42	0	428	0	225	0	650	200	673	0	1075	0,0173	3,81	21,74	961	305	337	49	691	64%	
996	54235	281	FeSiMn	328	25	0	342	0	0	415	60	70	1000	0	545	0,0260	1,94	9,35	579	183	215	73	471	86%	
997	54235	281	FeSiMn	245	26	0	390	0	0	150	300	0	1000	0	450	0,0253	1,60	9,30	590	186	218	71	476	106%	
998	54235	286	FeSiMn	217	27	0	390	0	0	250	0	70	1000	0	320	0,0260	1,12	5,18	613	197	226	74	497	155%	
1800	54235	270	FeSiMn		41	0	200	0	390	0	330	200	0	0	920	0,0319	3,41	17,95	937	285	329	86	700	76%	
1838	54235	289	FeSiMn	620	31	0	515	0	350	0	780	300	0	30	1460	0,0295	5,05	28,37	722	235	261	85	580	40%	
1928	54235	279	FeSiMn		30	0	404	0	250	0	60	200	0	50	560	0,0289	2,01	10,00	693	218	251	81	550	98%	
1929	54235	280	FeSiMn		21	0	401	0	0	450	150	150	0	30	780	0,0279	2,79	14,04	483	152	184	78	415	53%	
1930	54235	282	FeSiMn		25	0	403	0	300	0	100	200	0	70	670	0,0298	2,38	12,08	580	184	215	84	483	72%	
2007	54235	276	FeSiMn	375	28	0	409	0	645	0	300	100	0	0	1045	0,0301	3,79	19,44	651	202	238	83	523	50%	
2047	54235	285	FeSiMn	437	32	0	403	0	150	0	350	250	0	55	805	0,0306	2,82	15,61	747	239	268	87	595	74%	
2048	54235	285	FeSiMn	547	34	0	409	0	600	0	230	200	0	75	1105	0,0313	3,87	19,82	788	253	282	89	624	56%	
2049	54235	285	FeSiMn	471	31	0	397	0	225	0	480	250	0	60	1015	0,0310	3,56	19,84	704	226	255	88	569	56%	
2050	54235	286	FeSiMn	474	33	0	403	0	420	0	420	200	0	30	1070	0,0318	3,74	20,11	763	245	274	91	610	57%	
2051	54235	281	FeSiMn	457	33	0	409	0	225	0	270	250	0	40	785	0,0308	2,79	14,90	749	237	269	87	592	75%	
2052	54235	281	FeSiMn		36	0	396	0	300	0	200	200	0	50	750	0,0310	2,67	13,95	817	258	291	87	637	85%	
2053	54235	288	FeSiMn		38	0	403	0	450	0	250	150	0	50	900	0,0310	3,13	16,32	864	280	306	89	675	75%	

Çizelge EK A.1. (devam ediyor).

2054	54235	289	FeSiMn	323	38	0	408	0	500	0	30	200	0	75	805	0,0315	2,79	13,54	863	281	306	91	677	84%
2055	54235	283	FeSiMn	478	29	0	406	0	500	0	90	300	0	75	965	0,0342	3,41	16,83	670	213	244	97	554	57%
2187	54235	301	FeSiMn	373	27	0	409	0	300	0	320	100	500	65	785	0,0310	2,61	14,34	616	208	227	93	528	67%
2188	54235	273	FeSiMn	260	24	0	405	0	300	0	150	100	500	30	580	0,0267	2,12	11,00	556	171	207	73	451	78%
2189	54235	282	FeSiMn	87	29	0	408	0	150	0	140	200	500	0	490	0,0281	1,74	8,94	666	211	243	79	534	109%
2190	54235	279	FeSiMn	250	29	0	408	0	300	0	235	50	500	15	600	0,0268	2,15	11,54	659	207	240	75	522	87%
2191	54235	277	FeSiMn	295	25	0	408	0	300	0	160	200	500	15	675	0,0259	2,44	12,41	585	182	217	72	471	70%
2243	54235	265	FeSiMn		30	0	403	0	300	0	320	100	500	0	720	0,0267	2,72	14,72	682	203	248	71	522	73%
2246	54235	293	FeSiMn	514	38	0	204	0	450	0	300	200	500	50	1000	0,0287	3,41	17,90	869	287	308	84	679	68%
2261	54235	283	FeSiMn		38	0	408	0	225	0	450	100	500	0	775	0,0330	2,74	15,51	863	274	306	93	674	87%
2262	54235	280	FeSiMn		33	0	404	0	300	0	200	160	500	95	755	0,0260	2,70	14,37	757	238	272	73	583	77%
2263	54235	280	FeSiMn		31	0	403	0	250	0	300	100	500	90	740	0,0247	2,65	14,72	717	225	259	69	553	75%
2264	54235	275	FeSiMn		35	0	406	0	600	0	140	200	500	55	995	0,0203	3,61	17,99	799	247	285	56	588	59%
2265	54235	275	FeSiMn	526	33	0	376	0	300	0	380	100	500	15	795	0,0252	2,89	15,92	756	234	272	69	575	72%
2266	54235	281	FeSiMn	432	34	0	394	0	300	0	400	150	500	70	920	0,0213	3,27	18,11	785	248	281	60	589	64%
2278	54235	252	FeSiMn		34	0	408	0	225	0	330	150	500	75	780	0,0290	3,10	17,18	777	220	278	73	572	73%
2279	54235	284	FeSiMn		33	0	409	0	225	0	310	150	500	60	745	0,0291	2,62	14,46	767	245	275	83	603	81%
2280	54235	221	FeSiMn	354	32	0	410	0	380	0	300	150	500	0	830	0,0498	3,76	19,79	726	181	262	110	553	67%
2281	54235	284	FeSiMn	596	32	0	406	0	375	0	260	250	500	0	885	0,0329	3,12	16,06	742	237	267	93	598	68%
2282	54235	286	FeSiMn	511	37	0	401	0	150	0	470	250	500	20	890	0,0315	3,11	17,46	859	276	304	90	671	75%
2487	54235	281	FeSiMn		29	0	406	0	0	500	280	150	500	45	975	0,0239	3,47	18,11	666	211	243	67	520	53%
2488	54235	281	FeSiMn	571	30	0	407	0	0	800	150	200	500	45	1195	0,0274	4,25	20,91	679	215	247	77	539	45%
2489	54235	273	FeSiMn	417	28	0	407	0	0	500	60	300	500	80	940	0,0292	3,44	16,86	655	201	239	80	520	55%
2490	54235	276	FeSiMn	457	30	0	401	0	0	800	100	200	500	15	1115	0,0268	4,04	19,43	683	212	248	74	534	48%
2650	54235	260	FeSiMn	539	37	0	300	0	0	670	0	0	0	30	700	0,0279	2,69	12,64	862	252	306	73	630	90%
2651	54235	219	FeSiMn	378	35	0	299	0	0	500	60	100	0	0	660	0,0224	3,01	14,43	816	201	291	49	541	82%
2703	54235	285	FeSiMn		40	0	310	0	0	250	210	200	0	10	670	0,0247	2,35	12,26	913	293	322	70	685	102%
2714	54235	269	FeSiMn	470	44	0	301	0	0	800	140	200	0	0	1140	0,0260	4,24	20,54	1007	305	352	70	726	64%
2719	54235	270	FeSiMn		44	0	301	0	0	600	50	150	0	45	845	0,0292	3,13	15,11	1009	306	352	79	738	87%
2720	54235	270	FeSiMn		44	0	353	0	0	400	70	150	0	80	700	0,0254	2,59	12,99	1021	310	356	69	735	105%
2721	54235	269	FeSiMn		43	0	353	0	0	700	0	100	0	0	800	0,0223	2,97	13,75	998	302	349	60	711	89%
2722	54235	270	FeSiMn	620	38	0	349	0	0	400	350	50	0	20	820	0,0246	3,04	16,48	876	266	310	66	642	78%
2738	54235	279	FeSiMn	553	31	0	354	0	0	500	290	200	0	30	1020	0,0262	3,66	18,96	709	222	256	73	552	54%
2739	54235	269	FeSiMn		32	0	350	0	0	450	100	200	0	80	830	0,0291	3,09	15,48	729	221	263	78	562	68%
2741	54235	288	FeSiMn	452	40	0	301	0	0	600	150	150	0	65	965	0,0287	3,35	16,83	928	301	327	83	710	74%
2742	54235	249	FeSiMn		38	0	299	0	0	400	140	50	0	80	670	0,0307	2,69	14,01	866	243	307	76	626	93%
2744	54235	272	FeSiMn		39	0	350	0	0	500	70	100	0	60	730	0,0298	2,68	13,26	898	275	317	81	673	92%
2745	54235	266	FeSiMn	256	31	0	348	0	0	300	60	100	0	10	470	0,0280	1,77	8,65	709	212	256	74	543	116%
2746	54235	270	FeSiMn		28	0	355	0	0	350	110	100	0	60	620	0,0319	2,30	11,74	653	198	238	86	523	84%
2747	54235	269	FeSiMn	486	35	0	350	0	0	400	180	180	0	15	775	0,0268	2,88	14,63	800	242	286	72	600	77%
2762	54235	270	FeSiMn	537	34	0	356	0	0	600	0	200	0	30	830	0,0309	3,07	14,43	778	236	278	83	598	72%
2763	54235	276	FeSiMn	295	38	0	352	0	0	600	0	200	0	0	800	0,0213	2,90	13,42	869	270	308	59	636	80%
2774	54235	302	FeSiMn	535	34	0	361	0	0	590	50	200	0	0	840	0,0226	2,78	13,17	771	262	276	68	607	72%
2775	54235	270	FeSiMn	553	29	0	359	0	0	580	100	165	0	60	905	0,0302	3,35	16,56	676	205	246	82	532	59%
2776	54235	281	FeSiMn	228	39	0	352	0	0	300	190	70	0	40	600	0,0263	2,14	11,33	904	286	319	74	679	113%
2810	54235	281	FeSiMn	342	33	0	347	0	0	430	300	150	0	15	895	0,0246	3,19	16,73	762	241	273	69	583	65%
2811	54235	279	FeSiMn		30	0	350	0	0	500	70	150	0	60	780	0,0253	2,80	13,77	694	218	251	71	540	69%
2814	54235	281	FeSiMn		33	0	350	0	0	500	110	200	0	0	810	0,0243	2,88	14,04	761	241	273	68	582	72%
2816	54235	281	FeSiMn	396	32	0	348	0	0	520	120	100	0	60	800	0,0291	2,85	14,31	738	233	266	82	581	73%
2817	54235	280	FeSiMn		33	0	347	0	0	200	360	100	0	30	690	0,0238	2,46	13,88	759	239	272	67	578	84%
2899	54235	276	FeSiMn		35	0	357	0	0	359	130	100	0	70	659	0,0300	2,39	12,34	797	248	285	83	615	93%
2900	54235	260	FeSiMn	253	35	0	354	0	0	452	100	100	0	0	652	0,0320	2,51	12,29	808	236	288	83	608	93%
2901	54235	277	FeSiMn	646	38	0	353	0	0	723	100	60	0	0	883	0,0301	3,19	15,38	879	274	311	83	668	76%
2902	54235	280	FeSiMn	279	42	0	358	0	0	400	160	120	0	70	750	0,0295	2,68	13,85	972	306	341	83	730	97%
2903	54235	275	FeSiMn	345	43	0	352	0	0	401	210	100	0	60	771	0,0285	2,80	14,71	990	306	347	78	731	95%
2904	54235	273	FeSiMn	400	42	0	350	0	0	397	150	100	0	0	647	0,0284	2,37	11,94	965	296	338	78	712	110%
2905	54235	260	FeSiMn	461	42	0	350	0	0	499	160	100	0	30	789	0,0262	3,03	15,34	969	283	340	68	691	88%
2906	54235	278	FeSiMn	448	36	0	361	0	0	674	200	50	0	0	924	0,0253	3,32	16,64	828	259	295	70	624	68%
3018	54235	275	FeSiMn		34	0	392	0	0	406	110	50	0	75	641	0,0243	2,33	11,99	789	244	282	67	593	92%
3019	54235	276	FeSiMn		33	0	394	0	0	403	210	120	0	45	778	0,0246	2,81	14,66	766	238	275	68	581	75%

Çizelge EK A.1. (devam ediyor).

3020	54235	269	FeSiMn		35	0	396	0	0	505	150	120	0	100	875	0,0302	3,25	16,69	805	244	287	81	612	70%
3021	54235	257	FeSiMn		33	0	394	0	0	317	110	50	0	45	522	0,0247	2,03	10,46	762	221	274	64	558	107%
3022	54235	275	FeSiMn		37	0	397	0	0	508	130	0	0	40	678	0,0228	2,47	12,50	844	261	300	63	623	92%
3051	54235	256	FeSiMn		31	0	297	0	0	150	60	150	0	75	435	0,0278	1,70	8,81	721	208	260	71	539	124%
3052	54235	276	FeSiMn	361	38	0	300	0	0	382	100	100	0	75	657	0,0245	2,38	12,14	865	269	306	68	643	98%
3053	54235	276	FeSiMn		36	0	308	0	0	459	80	30	0	85	654	0,0262	2,37	12,02	825	256	294	72	622	95%
3097	54235	279	FeSiMn		29	0	346	0	0	551	50	50	0	75	726	0,0265	2,61	12,84	660	207	241	74	522	72%
3212	54235	275	FeSiMn	464	32	0	403	0	0	705	100	0	0	20	825	0,0279	3,00	14,64	742	230	267	77	573	70%
3270	54235	276	FeSiMn	417	33	0	320	0	0	708	0	200	0	60	968	0,0262	3,51	16,62	748	232	269	72	574	59%
3271	54235	254	FeSiMn	543	34	0	227	0	0	370	200	0	0	50	620	0,0274	2,44	13,03	791	226	283	70	579	93%
3272	54235	274	FeSiMn	193	32	0	315	0	0	320	100	100	0	50	570	0,0241	2,08	10,60	742	229	267	66	562	99%
3273	54235	273	FeSiMn	426	28	0	314	0	0	389	180	100	0	50	719	0,0287	2,63	13,68	648	199	237	78	515	72%
3274	54235	275	FeSiMn	534	31	0	318	0	0	248	0	50	0	90	388	0,0274	1,41	7,11	724	224	261	75	560	144%
3275	54235	275	FeSiMn	467	29	0	321	0	0	390	60	0	0	95	545	0,0255	1,98	10,16	664	205	242	70	517	95%
3276	54235	277	FeSiMn		30	0	320	0	0	600	0	0	0	95	695	0,0282	2,51	12,20	700	218	254	78	550	79%
3299	54235	264	FeSiMn	291	39	0	342	0	0	562	100	200	0	0	862	0,0250	3,27	15,81	889	264	314	66	644	75%
3300	54235	249	FeSiMn	515	33	0	295	0	0	218	160	200	0	115	693	0,0238	2,78	14,84	749	210	269	59	538	78%
3301	54235	279	FeSiMn	303	35	0	337	0	0	155	0	150	0	115	420	0,0252	1,50	7,70	799	251	285	70	607	144%
3302	54235	259	FeSiMn	375	36	0	344	0	0	419	150	100	0	0	669	0,0209	2,58	12,96	822	240	293	54	587	88%
3303	54235	275	FeSiMn		35	0	331	0	0	400	0	100	0	115	615	0,0218	2,23	11,08	809	251	289	60	599	97%
3304	54235	277	FeSiMn	367	19	0	331	0	0	417	0	200	0	115	732	0,0275	2,64	12,96	436	136	169	76	382	52%
3305	54235	278	FeSiMn		35	0	341	0	0	454	0	0	0	115	569	0,0318	2,05	10,19	795	249	284	88	621	109%
3306	54235	275	FeSiMn	376	33	0	339	0	0	257	30	130	0	30	447	0,0261	1,63	7,93	767	237	275	72	584	131%
3307	54235	276	FeSiMn		36	0	333	0	0	455	20	0	0	90	565	0,0223	2,04	10,15	822	256	293	62	610	108%
3430	54235	275	FeSiMn	195	42	0	416	0	0	357	0	0	0	115	472	0,0295	1,72	8,67	967	299	339	81	719	152%
3431	54235	278	FeSiMn	439	31	0	318	0	0	480	0	100	0	100	680	0,0254	2,45	11,96	724	227	261	71	559	82%
3432	54235	275	FeSiMn	482	36	0	311	0	0	472	0	0	0	90	562	0,0260	2,04	10,02	833	258	296	72	625	111%
3434	54235	277	FeSiMn		27	0	312	0	0	487	0	0	0	105	592	0,0263	2,14	10,55	624	194	229	73	496	84%
3435	54235	279	FeSiMn	312	30	0	307	0	0	448	40	100	0	30	618	0,0256	2,22	10,69	689	216	250	71	538	87%
3436	54235	275	FeSiMn	296	30	0	310	0	0	403	40	50	0	110	603	0,0300	2,19	11,11	693	215	251	83	548	91%
3437	54235	272	FeSiMn	229	27	0	308	0	0	177	0	150	0	110	437	0,0271	1,61	8,16	630	193	231	74	498	114%
3438	54235	271	FeSiMn	350	34	0	309	0	0	451	0	70	0	90	611	0,0265	2,25	11,02	776	237	278	72	586	96%
3439	54235	281	FeSiMn	220	30	0	309	0	0	356	0	0	0	100	456	0,0313	1,62	8,13	687	217	249	88	555	122%
3440	54235	275	FeSiMn	321	30	0	314	0	0	302	100	100	0	90	592	0,0238	2,15	11,19	699	216	253	65	535	90%
3441	54235	274	FeSiMn	343	30	0	312	0	0	259	150	50	0	40	499	0,0256	1,82	9,66	699	215	253	70	539	108%
3442	54235	275	FeSiMn	372	34	0	305	0	0	256	200	100	0	90	646	0,0275	2,35	12,74	791	245	283	76	603	93%
3443	54235	287	FeSiMn	520	25	0	317	0	0	274	170	170	0	90	704	0,0292	2,45	12,97	566	183	211	84	477	68%
3452	54235	276	FeSiMn	270	33	0	259	0	0	455	0	100	0	70	625	0,0222	2,26	10,93	768	238	275	61	575	92%
3468	54235	276	FeSiMn	640	36	0	369	0	0	404	90	130	0	60	684	0,0246	2,48	12,44	825	256	294	68	618	90%
3469	54235	274	FeSiMn	439	33	0	375	0	0	403	140	0	0	100	643	0,0253	2,35	12,40	754	233	271	69	573	89%
3486	54235	271	FeSiMn		38	0	362	0	0	419	0	0	0	60	479	0,0239	1,77	8,56	865	264	306	65	635	133%
3487	54235	272	FeSiMn	284	34	0	350	0	0	552	100	0	0	100	752	0,0240	2,76	14,08	788	241	282	65	588	78%
3288	54235	275	FeSiMn		32	0	355	0	0	414	50	70	0	95	629	0,0230	2,29	11,52	738	228	266	63	557	89%
3489	54235	275	FeSiMn		35	0	374	0	0	554	0	0	0	95	649	0,0290	2,36	11,52	808	250	288	80	618	95%
3490	54235	279	FeSiMn	521	35	0	321	0	0	401	0	100	0	120	621	0,0317	2,23	11,06	795	249	284	88	622	100%
3491	54235	272	FeSiMn		32	0	329	0	0	487	0	200	0	60	747	0,0262	2,75	13,11	742	227	267	71	565	76%
3492	54235	262	FeSiMn	675	33	0	321	0	0	417	80	0	0	35	532	0,0312	2,03	10,16	767	226	275	82	583	110%
3493	54235	276	FeSiMn	371	30	0	324	0	0	329	0	100	0	20	449	0,0279	1,63	7,66	685	213	249	77	538	120%
3551	54235	273	FeSiMn	371	34	0	294	0	0	183	120	100	0	100	503	0,0241	1,84	9,96	791	243	283	66	591	118%
3552	54235	275	FeSiMn	362	34	0	325	0	0	464	0	200	0	130	794	0,0498	2,89	14,21	779	241	279	137	656	83%
3553	54235	274	FeSiMn	415	37	0	320	0	0	123	120	150	0	90	483	0,0311	1,76	9,53	842	260	299	85	644	133%
3554	54235	270	FeSiMn		35	0	299	0	0	556	0	200	0	60	816	0,0283	3,02	14,39	794	241	284	76	602	74%
3555	54235	271	FeSiMn	481	36	0	310	0	0	603	200	150	0	40	993	0,0282	3,66	18,53	820	250	292	77	619	62%
3556	54235	274	FeSiMn		31	0	305	0	0	471	80	0	0	50	601	0,0266	2,19	10,98	704	217	255	73	545	91%
3557	54235	274	FeSiMn	456	32	0	321	0	0	746	150	150	0	75	1121	0,0279	4,09	20,39	733	226	264	77	566	51%
3558	54235	270	FeSiMn	364	36	0	317	0	0	519	0	0	0	50	569	0,0272	2,11	10,07	821	250	292	74	616	108%
3559	54235	278	FeSiMn	436	39	0	323	0	0	452	100	50	0	45	647	0,0241	2,33	11,69	907	284	320	67	670	104%
3560	54235	249	FeSiMn	522	37	0	318	0	0	408	160	0	0	15	583	0,0253	2,34	12,07	856	240	303	63	606	104%
3701	54235	276	FeSiMn	545	40	0	298	0	0	514	320	0	0	75	909	0,0241	3,29	17,76	915	284	322	67	673	74%
3702	54235	273	FeSiMn		37	0	296	0	0	702	100	100	0	35	937	0,0245	3,43	16,75	841	258	299	67	624	67%
3703	54235	270	FeSiMn	593	40	0	394	0	0	92	140	70	0	60	362	0,0247	1,34	7,52	912	277	321	67	665	184%
3704	54235	265	FeSiMn	656	42	0	403																	

Çizelge EK A.1. (devam ediyor).

Döküm No	Kalite	Ağırlık (Ton)	Malzeme	[O] ppm	EAF				POTA FIRINI					VAKUM	TEL Al (Kg)	TOPLAM (Kg)	PARÇA %Al	KG/TSC	TL/TSC	Teorik Verim					
					(FeO) (%)	FeMn (Kg)	FeSiMn (Kg)	PRAMİT Al (Kg)	KÜLÇE Al (Kg)	PRAMİT Al (Kg)	TEL Al (Kg)	GRANÜL Al (Kg)	Al Curuf (Kg)							[O] ppm	Al _{çelik} (Kg)	Al _{curuf} (Kg)	Al _{total} (Kg)	Al _{total} (Kg)	Verim (%)
172	54235	242	FeMn+Al		36	206	0	200	450	0	150	250	700	30	880	0,0317	3,64	21,98	828	225	295	77	597	68%	
173	54235	259	FeMn+Al		37	408	0	300	450	0	300	250	700	70	1070	0,0309	4,13	27,02	851	248	302	80	630	59%	
174	54235	265	FeMn+Al	227	34	403	0	300	150	0	170	200	700	0	520	0,0254	1,96	15,47	782	233	280	67	580	112%	
175	54235	277	FeMn+Al	419	32	406	0	300	500	0	0	250	700	0	750	0,0339	2,71	17,55	736	229	265	94	588	78%	
190	54235	294	FeMn+Al	268	28	377	0	300	150	0	315	100	500	0	565	0,0246	1,92	15,51	644	213	236	72	521	92%	
1243	54235	282	FeMn+Al	411	33	357	0	150	540	0	100	0	828	60	700	0,0266	2,48	14,94	759	241	272	75	588	84%	
1244	54235	281	FeMn+Al		33	337	0	150	510	0	120	0	797	60	690	0,0317	2,45	14,94	759	240	272	89	602	87%	
1282	54235	280	FeMn+Al	497	32	417	0	150	250	300	80	150	590	15	795	0,0318	2,84	16,22	738	232	266	89	587	74%	
1346	54235	288	FeMn+Al	466	26	175	0	150	450	0	170	100	520	40	760	0,0290	2,64	15,93	597	193	221	83	497	65%	
2522	54235	268	FeMn+Al		39	306	0	150	0	500	120	150	500	65	835	0,0246	3,12	18,23	889	268	314	66	648	78%	
2522	54235	268	FeMn+Al		39	306	0	150	0	500	120	150	500	65	835	0,0246	3,12	18,23	889	268	314	66	648	78%	
2523	54235	272	FeMn+Al	451	36	291	0	150	0	600	100	200	500	50	950	0,0253	3,49	19,69	831	254	295	69	619	65%	
2524	54235	263	FeMn+Al		33	306	0	150	0	500	100	0	500	45	645	0,0385	2,45	14,95	762	225	273	101	600	93%	
2525	54235	262	FeMn+Al		32	299	0	150	0	700	0	200	500	100	1000	0,0316	3,82	20,99	747	220	268	83	571	57%	
2526	54235	244	FeMn+Al		36	292	0	150	0	400	300	200	500	85	985	0,0390	4,04	24,33	839	230	298	95	624	63%	
2573	54235	278	FeMn+Al	563	35	285	0	150	0	500	70	200	0	0	770	0,0429	2,77	15,77	808	253	288	119	660	86%	
2574	54235	274	FeMn+Al	273	35	278	0	150	0	400	50	0	0	0	450	0,0286	1,64	10,44	803	247	286	78	612	136%	
2575	54235	274	FeMn+Al		35	271	0	150	0	300	100	100	0	0	500	0,0327	1,82	11,62	815	251	290	90	631	126%	
2644	54235	252	FeMn+Al	560	42	264	0	225	0	600	200	0	0	0	800	0,0238	3,17	20,20	958	272	336	60	668	83%	
2646	54235	274	FeMn+Al	259	33	257	0	225	0	600	0	0	0	30	630	0,0325	2,30	14,61	766	236	275	89	600	95%	
2648	54235	279	FeMn+Al	446	35	250	0	120	0	800	0	0	0	30	830	0,0343	2,97	15,92	796	250	284	96	630	76%	
3396	54235	275	FeMn+Al	371	28	243	0	150	0	399	80	0	0	100	579	0,0290	2,11	13,41	643	199	235	80	514	89%	
3397	54235	278	FeMn+Al	378	33	236	0	150	0	316	60	0	0	100	476	0,0288	1,71	11,43	762	238	273	80	592	124%	
3398	54235	276	FeMn+Al	446	36	229	0	150	0	403	50	0	0	80	533	0,0249	1,93	12,27	839	260	298	69	627	118%	
3507	54235	269	FeMn+Al		35	302	0	150	0	428	0	0	0	95	523	0,0288	1,94	12,19	803	243	287	78	607	116%	
3536	54235	270	FeMn+Al		32	405	0	150	0	606	70	350	0	55	1081	0,0303	4,00	21,94	726	221	262	82	564	52%	
3537	54235	272	FeMn+Al		32	406	0	150	0	365	0	100	0	70	535	0,0260	1,97	12,11	734	224	264	71	560	105%	
3538	54235	271	FeMn+Al	451	31	403	0	150	0	499	0	200	0	60	759	0,0300	2,80	15,92	707	216	256	81	553	73%	
3539	54235	270	FeMn+Al		31	422	0	150	0	538	0	0	0	95	633	0,0260	2,34	14,02	723	220	261	70	551	87%	
3588	54235	276	FeMn+Al	542	32	344	0	150	0	498	150	0	0	90	738	0,0267	2,67	16,41	735	228	265	74	567	77%	
3589	54235	277	FeMn+Al	487	30	310	0	150	0	550	150	0	0	15	715	0,0258	2,58	15,49	696	217	252	71	541	76%	
3675	54235	277	FeMn+Al	390	41	289	0	150	0	499	200	100	0	20	819	0,0315	2,96	17,59	933	291	328	87	706	86%	
3676	54235	277	FeMn+Al	638	37	303	0	150	0	572	170	50	0	90	882	0,0283	3,18	18,89	849	265	301	79	645	73%	
3677	54235	259	FeMn+Al	432	28	294	0	150	0	549	40	50	0	60	699	0,0246	2,70	15,84	653	190	239	64	493	70%	
			STDSP ±		107	4																			
	Ortalama	271		427	34	314	0	173	101	380	104	99	266	49	906	0,0296	3,34	16,45	776	237	278	80	595	66%	

Çizelge EK A.1. (devam ediyor).

Döküm No	Kalite	Ağırlık (Ton)	Malzeme	[O] ppm	EAF					POTA FIRINI					VAKUM	TEL Al (Kg)	TOPLAM (Kg)	PARÇA %Al	KG/TSC	TL/TSC	Teorik Verim					Verim (%)
					(FeO) (%)	FeMn (Kg)	FeSiMn (Kg)	PRAMİT Al (Kg)	KÜLÇE Al (Kg)	PRAMİT Al (Kg)	TEL Al (Kg)	GRANÜL Al (Kg)	Al Curuf (Kg)	[O] ppm							Al _{çelik} (Kg)	Al _{curuf} (Kg)	Al _{total} (Kg)	Al _{total} (Kg)		
94	54235	278	FeSiMn+FeMn+Al	462	37	204	192	300	990	0	70	200	0	60	1620	0,0195	5,83	27,78	851	266	302	54	622	38%		
95	54235	277	FeSiMn+FeMn+Al	310	47	206	208	300	700	0	0	200	0	0	1200	0,0262	4,33	20,04	1081	337	376	73	785	65%		
96	54235	267	FeSiMn+FeMn+Al	357	46	186	202	300	250	0	120	200	0	0	870	0,0260	3,26	15,88	1058	318	368	69	755	87%		
97	54235	283	FeSiMn+FeMn+Al	332	46	210	201	420	300	0	190	200	0	0	1110	0,0244	3,92	19,34	1058	337	368	69	774	70%		
98	54235	276	FeSiMn+FeMn+Al	471	46	212	199	420	450	0	350	200	0	0	1420	0,0198	5,14	26,06	1058	329	368	55	751	53%		
99	54235	250	FeSiMn+FeMn+Al	110	46	240	200	420	300	0	100	200	0	0	1020	0,0149	4,08	19,59	1058	298	368	37	703	69%		
191	54235	286	FeSiMn+FeMn+Al	16	25	211	209	450	150	0	100	50	300	40	790	0,0251	2,76	13,64	575	185	214	72	470	60%		
192	54235	274	FeSiMn+FeMn+Al	65	30	209	206	450	150	0	170	80	300	0	850	0,0137	3,10	15,45	690	213	250	38	501	59%		
193	54235	271	FeSiMn+FeMn+Al	104	27	223	234	450	150	0	370	50	300	0	1020	0,0219	3,76	19,83	621	189	228	59	477	47%		
194	54235	280	FeSiMn+FeMn+Al		31	220	208	450	75	0	220	50	300	20	815	0,0126	2,91	14,98	713	225	258	35	518	64%		
224	54235	272	FeSiMn+FeMn+Al	165	42	198	224	300	350	0	150	200	0	15	1015	0,0289	3,73	18,35	966	296	339	79	713	70%		
225	54235	271	FeSiMn+FeMn+Al	281	31	191	230	300	150	0	280	100	0	45	875	0,0354	3,23	17,07	713	217	258	96	571	65%		
226	54235	275	FeSiMn+FeMn+Al	113	30	240	242	450	120	0	180	100	0	40	890	0,0261	3,24	16,39	690	213	250	72	536	60%		
227	54235	287	FeSiMn+FeMn+Al	79	34	250	201	450	150	0	150	100	0	0	850	0,0271	2,96	14,63	782	252	280	78	610	72%		
228	54235	251	FeSiMn+FeMn+Al	216	40	216	192	450	150	0	200	100	0	20	920	0,0268	3,67	18,51	920	260	324	67	651	71%		
229	54235	270	FeSiMn+FeMn+Al	162	40	205	217	450	150	0	200	150	0	20	970	0,0298	3,59	18,07	920	279	324	80	684	71%		
242	54235	265	FeSiMn+FeMn+Al	74	34	200	216	306	0	0	100	0	0	40	446	0,0285	1,68	8,72	782	233	280	76	588	132%		
243	54235	269	FeSiMn+FeMn+Al	263	32	230	224	314	400	0	0	150	0	60	924	0,0237	3,43	16,29	736	223	265	64	552	60%		
244	54235	268	FeSiMn+FeMn+Al	202	34	214	227	322	400	0	50	150	0	0	922	0,0247	3,44	16,25	782	236	280	66	582	63%		
245	54235	273	FeSiMn+FeMn+Al	413	40	213	214	305	450	0	50	0	400	70	875	0,0288	3,21	15,59	920	283	324	79	685	78%		
246	54235	246	FeSiMn+FeMn+Al	487	30	112	199	98	800	0	120	200	0	0	1218	0,0262	4,95	23,78	690	191	250	64	506	42%		
258	54235	285	FeSiMn+FeMn+Al		36	203	233	170	300	0	220	100	300	30	820	0,0294	2,88	14,87	828	265	295	84	644	79%		
259	54235	271	FeSiMn+FeMn+Al	29	35	232	197	450	75	0	300	100	300	30	955	0,0269	3,52	18,46	805	245	287	73	606	63%		
260	54235	281	FeSiMn+FeMn+Al	216	38	218	224	446	150	0	340	100	300	0	1036	0,0229	3,69	19,20	874	276	309	64	650	63%		
261	54235	280	FeSiMn+FeMn+Al	281	34	220	191	158	300	0	260	100	300	0	818	0,0245	2,92	15,16	782	246	280	69	595	73%		
305	54235	274	FeSiMn+FeMn+Al	244	33	223	212	317	450	0	100	0	0	0	867	0,0256	3,16	15,27	759	234	272	70	577	67%		
446	54235	273	FeSiMn+FeMn+Al		33	182	209	400	300	0	0	0	0	110	810	0,0319	2,97	14,42	759	233	272	87	593	73%		
447	54235	274	FeSiMn+FeMn+Al	257	28	207	202	400	300	0	100	100	0	0	900	0,0343	3,28	15,84	644	199	236	94	528	59%		
448	54235	276	FeSiMn+FeMn+Al	48	36	212	222	400	0	0	340	0	0	20	760	0,0330	2,75	15,04	828	257	295	91	643	85%		
449	54235	275	FeSiMn+FeMn+Al	115	42	224	196	415	150	0	220	0	0	30	815	0,0285	2,96	15,31	966	299	339	78	716	88%		
450	54235	267	FeSiMn+FeMn+Al	110	36	224	214	400	150	0	200	0	0	0	750	0,0363	2,81	14,31	828	249	295	97	640	85%		
498	54235	281	FeSiMn+FeMn+Al	381	39	222	217	186	600	0	150	200	0	0	1136	0,0284	4,04	19,66	897	284	317	80	680	60%		
1283	54235	279	FeSiMn+FeMn+Al	14	41	220	194	150	250	400	0	100	675	20	920	0,0278	3,30	15,40	940	295	330	77	702	76%		
1284	54235	280	FeSiMn+FeMn+Al	496	41	243	212	150	600	0	250	150	512	0	1150	0,0295	4,10	20,57	938	296	330	83	708	62%		
1285	54235	281	FeSiMn+FeMn+Al	617	41	220	196	150	350	400	120	100	901	50	1170	0,0305	4,16	20,31	943	298	331	86	716	61%		
1286	54235	278	FeSiMn+FeMn+Al		32	228	199	150	600	0	300	100	510	40	1190	0,0314	4,28	21,94	739	231	266	87	585	49%		
1287	54235	280	FeSiMn+FeMn+Al	626	30	202	197	150	450	400	70	100	792	15	1185	0,0289	4,23	20,10	701	221	254	81	556	47%		
1288	54235	281	FeSiMn+FeMn+Al		34	241	204	150	600	0	300	100	567	0	1150	0,0283	4,10	20,84	771	243	276	79	599	52%		
1289	54235	282	FeSiMn+FeMn+Al	650	42	208	209	150	600	400	150	100	873	40	1440	0,0302	5,11	24,81	957	303	336	85	724	50%		
1290	54235	280	FeSiMn+FeMn+Al		36	212	199	150	650	0	50	150	567	40	1040	0,0227	3,71	17,75	831	262	295	64	621	60%		
1307	54235	283	FeSiMn+FeMn+Al	574	30	233	187	150	650	0	210	150	0	60	1220	0,0271	4,31	21,63	700	223	254	77	553	45%		
1308	54235	280	FeSiMn+FeMn+Al	326	32	214	214	150	400	0	270	100	0	30	950	0,0312	3,39	17,58	727	229	262	87	579	61%		
1309	54235	279	FeSiMn+FeMn+Al	379	30	227	207	150	450	400	40	0	875	60	1100	0,0220	3,94	18,85	695	218	252	61	531	48%		
1310	54235	284	FeSiMn+FeMn+Al	399	33	206	194	150	500	0	320	50	513	30	1050	0,0186	3,70	19,27	770	246	276	53	575	55%		
1311	54235	287	FeSiMn+FeMn+Al	437	23	204	193	150	300	400	80	0	842	0	930	0,0239	3,25	15,49	521	168	196	68	433	47%		
1312	54235	270	FeSiMn+FeMn+Al		26	207	194	150	500	0	300	100	540	0	1050	0,0364	3,89	19,99	603	183	222	98	503	48%		
1313	54235	287	FeSiMn+FeMn+Al	376	35	212	199	150	300	400	0	0	951	0	850	0,0310	2,96	13,69	794	256	284	89	629	74%		
1314	54235	284	FeSiMn+FeMn+Al	328	34	221	206	150	0	405	200	0	570	30	785	0,0208	2,76	14,20	782	250	280	59	589	75%		
1345	54235	282	FeSiMn+FeMn+Al	306	31	231	215	150	450	0	170	100	521	50	920	0,0310	3,26	16,48	718	228	259	87	575	62%		
1462	54235	284	FeSiMn+FeMn+Al	462	29	206	176	150	300	300	80	100	858	65	995	0,0253	3,50	17,08	674	216	245	72	533	54%		
1488	54235	251	FeSiMn+FeMn+Al	337	27	210	203	150	500	0	200	100	612	50	1000	0,0290	3,99	20,22	625	176	229	73	478	48%		
1489	54235	275	FeSiMn+FeMn+Al	316	34	190	218	150	450	0	250	100	565	0	950	0,0230	3,45	17,57	774	240	277	63	581	61%		
1615	54235	280	FeSiMn+FeMn+Al	346	30	214	201	150	300	100	200	200	0	35	985	0,0384	3,52	17,77	686	216	249	108	573	58%		
1616	54235	280	FeSiMn+FeMn+Al	340	34	212	196	150	450	0	150	70	471	35	855	0,0352	3,05	15,28	789	249	282	99	629	74%		
1617	54235	280	FeSiMn+FeMn+Al	204	30	192	202	150	180	0	250	200	529	0	780	0,0339	2,79	14,50	689	217	250	95	562	72%		

Çizelge EK A.1. (devam ediyor).

1618	54235	282	FeSiMn+FeMn+Al	211	29	188	191	150	400	0	150	100	517	40	840	0,0248	2,97	14,96	677	215	246	70	531	63%	
1619	54235	288	FeSiMn+FeMn+Al	366	33	178	202	150	360	0	190	200	0	0	900	0,0212	3,12	15,61	755	245	271	61	577	64%	
1651	54235	282	FeSiMn+FeMn+Al	327	36	130	253	150	600	0	300	300	0	0	1350	0,0265	4,79	24,05	817	259	291	75	625	46%	
1768	54235	282	FeSiMn+FeMn+Al		31	198	197	450	225	0	150	250	0	0	1075	0,0244	3,81	18,59	724	230	261	69	560	52%	
1770	54235	283	FeSiMn+FeMn+Al		36	198	203	450	280	0	100	200	0	0	1030	0,0240	3,64	17,47	834	265	296	68	630	61%	
1772	54235	283	FeSiMn+FeMn+Al		33	181	199	450	600	0	100	300	0	0	1450	0,0228	5,12	24,34	748	238	269	65	572	39%	
1991	54235	281	FeSiMn+FeMn+Al		35	229	204	225	0	350	150	100	0	75	900	0,0297	3,20	16,24	808	256	288	83	627	70%	
1992	54235	275	FeSiMn+FeMn+Al		23	221	209	225	75	250	170	200	0	45	965	0,0285	3,51	17,63	537	166	201	78	446	46%	
2068	54235	288	FeSiMn+FeMn+Al		31	264	208	150	350	0	300	200	0	35	1035	0,0297	3,59	18,70	709	230	256	86	572	55%	
2069	54235	286	FeSiMn+FeMn+Al	482	35	213	205	150	350	0	300	200	0	20	1020	0,0261	3,57	18,50	802	258	286	75	619	61%	
2070	54235	284	FeSiMn+FeMn+Al	520	34	180	205	150	300	0	330	150	0	70	1000	0,0277	3,52	18,80	777	248	278	79	605	60%	
2071	54235	275	FeSiMn+FeMn+Al		32	250	205	150	220	0	220	200	0	80	870	0,0205	3,16	16,59	729	226	263	56	545	63%	
2072	54235	283	FeSiMn+FeMn+Al	355	34	233	209	150	480	0	180	200	0	90	1100	0,0335	3,89	19,68	790	252	283	95	629	57%	
2073	54235	283	FeSiMn+FeMn+Al	476	31	268	203	150	260	0	440	200	0	0	1050	0,0322	3,71	19,94	712	227	257	91	575	55%	
2287	54235	285	FeSiMn+FeMn+Al	542	46	491	400	150	525	0	250	200	500	0	1125	0,0289	3,95	19,83	1053	338	366	82	786	70%	
2494	54235	279	FeSiMn+FeMn+Al		24	292	398	300	0	450	80	150	500	105	1085	0,0197	3,89	19,17	557	175	208	55	438	40%	
2623	54235	271	FeSiMn+FeMn+Al	278	25	226	206	150	0	300	250	200	0	0	900	0,0243	3,32	17,01	575	175	214	66	455	51%	
			STDSP ±	165	6																				
Ortalama	277			306	34	217	212	259	337	69	181	124	244	26	995	0	3,59	17,94	786	245	281	74	600	60%	

Çizelge EK A.1. (devam ediyor).

Vardiya	Döküm No	Kalite	Ağırlık (Ton)	Malzeme	EAF				POTA FIRINI					VAKUM	TOPLAM (Kg)	PARÇA %Al	KG/TŞÇ	TL/TŞÇ	Teorik Verim					Verim (%)		
					[O] ppm	(FeO) (%)	FeMn (Kg)	FeSiMn (Kg)	PRAMİT Al (Kg)	KÜLÇE Al (Kg)	PRAMİT Al (Kg)	TEL Al (Kg)	GRANÜL Al (Kg)						Al Curuf (Kg)	TEL Al (Kg)	[O] ppm	Al _{çelik} (Kg)	Al _{curuf} (Kg)		Al _{final} (Kg)	Al _{total} (Kg)
Dinçer	189	54235	284	FeSiMn+Al	131	21	0	418	300	90	0	260	75	700	60	485	0,0221	1,71	14,79	483	154	184	63	401	83%	
Burhan	1401	54235	294	FeSiMn+Al	322	29	0	438	150	400	0	170	100	660	25	695	0,0267	2,36	14,47	664	220	242	78	540	78%	
Burhan	1402	54235	283	FeSiMn+Al	200	29	0	435	150	450	0	150	50	589	15	665	0,0283	2,35	14,35	661	210	241	80	532	80%	
Burhan	1403	54235	283	FeSiMn+Al	241	33	0	429	150	300	0	160	100	659	20	580	0,0299	2,05	13,06	753	240	270	85	595	103%	
Burhan	1582	54235	274	FeSiMn+Al	268	35	0	404	150	225	0	80	50	653	50	405	0,0293	1,48	10,21	794	245	284	80	609	150%	
Dinçer	1652	54235	275	FeSiMn+Al	722	32	0	407	150	600	0	300	100	627	0	1000	0,0312	3,64	21,28	737	228	265	86	579	58%	
Burhan	1664	54235	240	FeSiMn+Al	185	34	0	404	150	225	0	160	100	490	0	485	0,0260	2,02	13,43	779	210	279	62	551	114%	
Samet	1799	54235	270	FeSiMn+Al	267	36	0	200	150	300	0	200	180	0	45	725	0,0412	2,69	16,61	820	249	292	111	653	90%	
Burhan	1840	54235	281	FeSiMn+Al	145	34	0	409	200	150	0	240	100	0	0	490	0,0286	1,74	12,88	782	247	280	80	607	124%	
Dinçer	1931	54235	271	FeSiMn+Al	196	30	0	408	150	450	0	100	150	0	100	800	0,0328	2,95	17,53	687	209	249	89	548	68%	
Dinçer	1932	54235	268	FeSiMn+Al	415	26	0	404	150	450	0	170	150	0	20	790	0,0319	2,95	17,49	589	178	218	85	481	61%	
Dinçer	1933	54235	269	FeSiMn+Al	306	33	0	404	150	300	0	180	200	0	20	700	0,0298	2,60	15,95	757	229	272	80	581	83%	
Dinçer	2247	54235	310	FeSiMn+Al	503	42	0	403	150	600	0	350	250	500	35	1235	0,0308	3,98	22,88	960	335	337	96	767	62%	
Dinçer	2248	54235	308	FeSiMn+Al	471	38	0	405	150	450	0	380	200	500	35	1065	0,0277	3,46	20,67	871	302	308	85	695	65%	
Dinçer	2249	54235	282	FeSiMn+Al	422	44	0	403	150	650	0	400	250	500	30	1330	0,0316	4,72	27,00	1015	322	354	89	766	58%	
Durbaba	2283	54235	290	FeSiMn+Al	359	44	0	406	150	300	0	150	150	500	0	600	0,0318	2,07	12,89	1007	328	352	92	772	129%	
Durbaba	2284	54235	291	FeSiMn+Al	399	41	0	405	150	150	0	280	200	500	0	630	0,0333	2,16	14,12	939	307	330	97	734	117%	
Durbaba	2285	54235	285	FeSiMn+Al	402	43	0	407	150	270	0	370	200	500	10	850	0,0295	2,98	18,61	979	314	343	84	741	87%	
Durbaba	2286	54235	280	FeSiMn+Al	279	46	0	406	150	150	0	250	150	500	0	550	0,0228	1,96	13,16	1049	330	365	64	760	138%	
Burhan	2475	54235	263	FeSiMn+Al	217	41	0	409	150	0	250	200	100	500	15	565	0,0265	2,15	14,03	939	278	330	70	677	120%	
Burhan	2478	54235	281	FeSiMn+Al	153	33	0	404	150	0	200	100	100	500	15	415	0,0287	1,48	10,03	758	240	272	81	592	143%	
Dinçer	2485	54235	282	FeSiMn+Al	475	29	0	404	105	120	500	70	0	500	45	735	0,0238	2,61	14,49	666	211	243	67	521	71%	
Dinçer	2486	54235	287	FeSiMn+Al	315	31	0	403	105	60	500	160	100	500	45	865	0,0238	3,01	16,90	723	233	261	68	562	65%	
Dinçer	2491	54235	277	FeSiMn+Al	400	24	0	406	75	0	500	60	150	500	30	740	0,0199	2,67	14,19	549	171	205	55	431	58%	
Dinçer	2492	54235	279	FeSiMn+Al	425	32	0	406	300	0	600	60	200	500	90	950	0,0276	3,41	21,68	742	233	267	77	577	61%	
Dinçer	2493	54235	274	FeSiMn+Al	325	31	0	403	300	0	500	0	0	500	0	500	0,0117	1,82	13,49	708	218	256	32	506	101%	
Burhan	2527	54235	285	FeSiMn+Al	175	30	0	404	170	0	200	260	150	500	45	655	0,0263	2,30	15,30	687	220	250	75	545	83%	
Burhan	2534	54235	284	FeSiMn+Al		28	0	407	160	0	150	180	150	500	60	540	0,0256	1,90	12,91	639	204	234	73	511	95%	
Samet	2535	54235	285	FeSiMn+Al		41	0	405	165	0	250	250	100	500	30	630	0,0268	2,21	14,65	932	299	328	76	703	112%	
Samet	2536	54235	268	FeSiMn+Al	752	40	0	408	150	0	500	350	250	500	60	1160	0,0299	4,33	25,34	921	278	324	80	682	59%	
Samet	2541	54235	273	FeSiMn+Al	259	41	0	412	150	0	500	100	200	500	40	840	0,0309	3,08	17,70	943	290	331	84	705	84%	
Dinçer	2748	54235	260	FeSiMn+Al		35	0	298	160	0	200	300	0	0	0	500	0,0298	1,92	13,78	810	237	289	77	603	121%	
Dinçer	2749	54235	271	FeSiMn+Al	410	34	0	297	160	0	300	210	150	0	0	660	0,0307	2,44	15,38	784	239	280	83	603	91%	
Burhan	2776	54235	281	FeSiMn+Al	228	39	0	352	160	0	300	190	70	0	40	600	0,0263	2,14	13,96	904	286	319	74	679	113%	
Samet	2786	54235	274	FeSiMn+Al		36	0	350	150	0	300	0	0	0	60	360	0,0313	1,31	8,99	832	256	296	86	638	177%	
Samet	2787	54235	281	FeSiMn+Al	274	38	0	351	150	0	300	140	100	0	60	600	0,0306	2,14	13,62	880	278	311	86	675	113%	
Samet	2788	54235	279	FeSiMn+Al		35	0	351	150	0	300	0	100	0	60	460	0,0264	1,65	10,48	811	255	289	74	618	134%	
Samet	2789	54235	281	FeSiMn+Al	192	33	0	347	150	0	500	0	50	0	50	600	0,0336	2,13	12,64	754	238	271	94	604	101%	
Dinçer	2812	54235	281	FeSiMn+Al		31	0	345	150	0	450	100	0	0	30	580	0,0284	2,06	12,83	718	227	259	80	566	98%	
Dinçer	2813	54235	240	FeSiMn+Al	259	27	0	265	150	0	300	50	200	0	0	550	0,0240	2,29	13,88	623	168	229	58	454	83%	
Burhan	3444	54235	239	FeSiMn+Al	127	28	0	307	295	0	125	200	150	0	0	475	0,0270	1,99	16,40	645	173	236	65	474	100%	
Burhan	3445	54235	274	FeSiMn+Al	175	31	0	315	444	0	165	120	0	0	90	375	0,0318	1,37	15,17	722	222	261	87	570	152%	
Burhan	3446	54235	274	FeSiMn+Al	188	34	0	311	392	0	155	50	0	0	90	295	0,0270	1,08	12,49	787	242	281	74	598	203%	
Burhan	3447	54235	260	FeSiMn+Al	159	33	0	313	393	0	125	50	50	0	60	285	0,0252	1,10	12,81	757	221	272	66	559	196%	
Burhan	3448	54235	271	FeSiMn+Al	135	30	0	312	443	45	110	60	50	0	60	325	0,0209	1,20	13,89	694	212	252	57	520	160%	
Samet	3449	54235	259	FeSiMn+Al		27	0	311	393	45	130	75	0	0	15	265	0,0202	1,02	12,36	624	182	229	52	464	175%	
Samet	3450	54235	278	FeSiMn+Al	183	30	0	318	343	0	201	0	60	0	100	361	0,0318	1,30	12,35	686	214	249	88	552	153%	
Samet	3451	54235	269	FeSiMn+Al		38	0	250	303	45	102	60	0	0	45	252	0,0300	0,94	10,23	872	264	309	81	653	259%	
				STDSP ±	148	6																				
Ortalama				276	FeSiMn+Al	301	34	0	372	196	142	182	161	109	289	35	826	0,0280	2,99	15,11	780	242	279	77	598	72%

ÖZGEÇMİŞ

Burhan Burç GÜNDOĞAN 1979 yılında Ankara'da doğdu; ilköğretim ve Lise öğrenimini Karabük'te tamamladı. 1997 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Kimya-Metalurji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümünde öğrenime başlayıp 2002 yılı Haziran ayında mezun oldu. 2002 yılı Temmuz ayında Kardemir A.Ş'de Çelikhane İkincil Metalurji Tesisleri İşletme Mühendisi olarak göreve başladı. 2011 yılı Nisan ayında Kardemir A.Ş'den ayrıldı. 2011 yılı Nisan ayından bu yana Çolakoğlu Metalurji A.Ş Çelikhane İkincil Metalurji Tesisleri İşletme Mühendisi görevini yapmaktadır. 2010 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans programına başladı.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Şirintepe Mahallesi Şahintepesi Sokak
Doğa Sitesi A Blok Daire 2
İzmit/KOCAELİ

Tel : (542) 272 3036

E-posta : burhangundogan@hotmail.com