İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BAZİK OKSİJEN FIRINLARINDA REFRAKTER ASTAR ÖMRÜNÜN ARTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müh. Mustafa SAĞLAM

Anabilim Dalı: METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ
Programı: MALZEME MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı: Prof.Dr. Hüseyin ÇİMENOĞLU

KASIM 2006

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BAZİK OKSİJEN FIRINLARINDA REFRAKTER ASTAR ÖMRÜNÜN ARTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müh. Mustafa SAĞLAM

(506021116)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 22 Ağustos 2006
Tezin Savunulduğu Tarih : 13 Kasım 2006

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Hüseyin ÇİMENOĞLU
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Eyüp Sabri KAYALI (İ.T.Ü.)
Prof.Dr. Mehmet KOZ (M.Ü.)

KASIM 2006

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tezimin hazırlanmasında değerli fikirleriyle beni yönlendiren saygıdeğer hocalarım Sayın Prof. Dr. Hüseyin ÇİMENOĞLU, Sayın Prof. Dr. Eyüp Sabri KAYALI ve Sayın Yard. Doç. Dr. Murat BAYDOĞAN' a en derin saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım esnasında yaptıkları katkı ve yardımlardan ötürü İSDEMİR Çelikhane Müdürü Sayın Dr. İsmail BARIN ve Refrakter Müdürü Sayın Barış GENÇ `e, başmühendisler Sinan ERDOĞAN ve Ulvi UYANIK ile mühendis Burak YAMANOĞLU `na teşekkür ederim. VESUVIUS firmasından Sayın Osman Tansu ATEŞLİ ve FOSECO firmasından Sayın Umut VAROL `a katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Hayatım boyunca desteklerini her zaman yanımda hissettiğim sevgili aileme teşekkür ederim.

Kasım 2006 Mustafa SAĞLAM

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR v

TABLO LİSTESİ vı

ŞEKİL LİSTESİ vıı

SEMBOL LİSTESİ x

ÖZET xı

SUMMARY xıı

1. GİRİŞ 1

2. ÇELİK YAPIM PROSESİ 2
2.1. Çelik Yapım Prosesinin Tarihi Gelişimi 2
2.2. Bazik Oksijen Fırınlarında Temel İşlemler 4
2.3. İSDEMİR `de Mevcut Durum 7
2.4. İSDEMİR Modernizasyon Yatırımları 10

3. BOF `LARDA KULLANILAN REFRAKTER MALZEMELER 11
3.1. Magnezya Esaslı Refrakter Malzemelerin Yapısı 11
3.1.1. Magnezya tanesi 11
3.1.2. Karbon ve grafit 13
3.2. BOF `larda Kullanılan Refrakter Türleri 15
3.2.1. Magnezya-Grafit refrakterler. 16
3.1.2. Pişmiş Magnzeya refrakterler 18
3.1.3. Zift bağlı Magnzeya refrakterler 19
3.1.4. Reçine bağlı Magnzeya refrakterler 20

4. REFRAKTER AŞINMA MEKANİZMALARI 21
4.1. Mekanik Aşınma 21
4.1.1. Termomekanik gerilmeler 21
4.1.2. Mekanik erozyon 22
4.1.3. Mekanik ezilme 22
4.2. Kimyasal Aşınma 22
4.2.1. Curuf korozyonu 22

5. REFRAKTER ÖMRÜNÜ ARTIRMA İŞLEMLERİ 27
5.1. Curuf Püskürtme 27
5.1.1. Curuf püskürtme mekanizmaları 28
5.1.1.1. Curuf sıvama kaplaması 28

5.1.1.1. Curuf sıçratma kaplaması 29
5.1.2. Üfleme Karakteristiklerinin Curuf Püskürtmeye Etkisi 30
5.1.2.1. Gaz akış hızı 30
5.1.2.2. Lans yüksekliği 31
5.1.2.3. Lans karakteristikleri 33
5.1.2.4. Lans açısı 33
5.1.2.5. Nozul tasarımı 34
5.1.2.6. Banyo / curuf yüksekliği 34
5.1.2.7. Konverter boyutu 34
5.1.2.8. Sıcaklık 35
5.1.2.9. Alttan karıştırma 35
5.1.3. Curuf özelliklerinin curuf püskürtmeye etkisi 36
5.1.3.1. Curufun kimyasal ve minerolojik yapısı 36
5.1.3.2. Likidüs sıcaklığı 37
5.1.3.3. Değişik curuf bileşimlerinin T_{hem}`ye etkisi 38
5.1.3.4. Viskozite 39
5.1.3.5. Yoğunluk 40
5.1.3.6. Yüzey gerilimi ve temas açısı 40
5.1.4. Püskürtülmüş curuf tabakasının karakteristikleri 41
5.1.4.1. Curuf tabakasının uniform özelliği 41
5.1.4.2. Curuf tabakası boyunca ısı transferi 42
5.1.5. Curuf püskürtme yönteminde karşılaşılan problemler 42
5.1.5.1. Lans skallanması 42
5.1.5.2. Konverter ağzı skallanması 43
5.1.5.3. Tüyer tıkanmaları 43
5.1.5.4. Metal-curuf tespiti yapan sensörlere etkisi 43
5.1.6. Curuf püskürtme yönteminin avantajları 43
5.1.6.1. Çelik yapım süreci açısından faydaları 43
5.1.6.2. Ekonomik avantajları 44
5.2. Curuf Sıvama İşlemi 45
5.2.1. MgO içeriğinin curuf köpürme kararlılığına etkisi 46
5.2.2. Baziklik oranının curuf köpürme kararlılığına etkisi 47
5.2.3. FeO içeriğinin curuf köpürme kararlılığına etkisi 48
5.2.4. Sıcaklığın curuf köpürme kararlılığına etkisi 49
5.3. Sıcak Tamir Malzemesi Kullanımı 49
5.4. BOF Astar Tasarımındaki Değişiklikler 50

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE SONUÇLARI 52
6.1. Lazerli Tuğla Kalınlığı Ölçüm Cihazı Kullanımı 53
6.2. Sıcak Tamir Malzemesi Kullanımı 54
6.3. Curuf Kaplama Yöntemi 55
6.4. İSDEMİR Çelikhanesi Konverter Astar Malzemeleri 57
6.5. Curuftaki %MgO - Tuğla Kalınlığı İlişkisi 58

7. DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ 76

8. GENEL SONUÇLAR 79

KAYNAKLAR 81

ÖZGEÇMİŞ 83

KISALTMALAR

BOF	: Bazik Oksijen Fırını
EAO	: Elektrik Ark Ocağı
LD	: Linz Donawitz
BO	: Baziklik Oranı
İSDEMİR	: İskenderun Demir Çelik Fabrikaları T.A.Ş.
ERDEMİR	: Ereğli Demir Çelik Fabrikaları T.A.Ş.
OYAK	: Ordu Yardımlaşma ve Dayanışma Kurumu
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
LTV	: LTV Steel Co.
DTA	: Diferansiyel Termal Analizler
YTL	: Yeni Türk Lirası

TABLO LİSTESİ

		Sayfa No
Tablo 2.1.	İSDEMİR çelik yapım konverterlerinin teknik özellikleri	8
Tablo 5.1.	Püskürtülen curuf miktarına çeşitli değişkenlerin etkileri	41
Tablo 5.2.	BOF astarında kullanılan refrakter tuğla çeşitleri …….	50
Tablo 6.1.	Ham manyezitin elek analizi	56
Tablo 6.2.	Ham manyezitin kimyasal özellikleri .....…..	56
Tablo 6.3.	Ham manyezitin fiziksel özellikleri .....…..	56
Tablo 6.4.	Konverterin aşınma şiddeti yüksek bölgelerinde kullanılan tuğla özellikleri .....……..	57
Tablo 6.5.	Konverterin nispeten aşınma şiddeti düşük bölgelerinde kullanılan tuğla özellikleri ……..	58

ŞEKİL LİSTESİ

		Sayfa No
Şekil 2.1.	Yıllara göre çelik üretim yöntemlerindeki değişim	3
Şekil 2.2.	Dünya genelinde yıl bazında devreye alınan konverter sayıları ...	4
Şekil 2.3.	BOF çelik yapım işlem basamakları	5
Şekil 2.4.	Üstten üflemeli konverter sisteminde oksijen üsfleme işlemi	6
Şekil 2.5.	İSDEMİR çelik üretim akış şeması	8
Şekil 2.6.	İSDEMİR `de üretilen çelik miktarının yıllara göre değişimi	9
Şekil 2.7.	Konverterde alttan üfleme sistemi …….	10
Şekil 3.1.	% 97 MgO içeren yüksek yoğunluğa sahip sinter manzyezit ….....	12
Şekil 3.2.	Tipik ergimiş magnezya tanesi .....…….	12
Şekil 3.3.	Magnezya kristal boyutu ile kütle kaybı arasındaki ilişki ….....	13
Şekil 3.4.	%97 Sinter MgO içeren magnzeya-garfit refrakter tuğlanın mikroyapı fotoğrafı .....…….....	14
Şekil 3.5.	İki kaba magnezya tanesi arasındaki yoğun magnezya bölgesi	15
Şekil 3.6.	Magnezya-grafit refrakterlerde grafit içeriğinin termal iletkenliğe etkisi .....…….....	17
Şekil 3.7.	Grafitin magnezya-grafit refrekterlerde termal şok direncine etkisi	17
Şekil 3.8.	Düşük sıcaklıkta pişmiş magnezya-grafit tuğlanın mikroyapısı ….	18
Şekil 3.9.	Zift bağlı magnezya tuğlanın 0,2 MPa yük altındaki termal genleşme grafiği .....…….....	20
Şekil 3.10.	Antioksidan ilaveler içeren reçine bağlı magnezya grafit tuğlanın 0,2 MPa yük altındaki termal genleşme grafiği	20
Şekil 4.1.	Sıvı curuf ile refrakterin yüzey gerilimi arasındaki temas açısının şematik gösterimi .....…….....	23
Şekil 4.2.	Refrakter tanelerinin ara açısı	25
Şekil 4.3.	Standart ve yüksek kalite magneyz-grafit refrakterlerin korozyon dirençleri …….…....	26
Şekil 4.4.	Magnezya grafit tuğlanın sıcak yüzeyinin curuf tarafından bozunması .....….	26
Şekil 5.1.	Curuf püskürtme işlemi …….…....	27
Şekil 5.2.	Curuf püskürtme mekanizmaları …….…....	28
Şekil 5.3.	Curuf püskürtme işlemi esnasında gerçekleşen curuf hareketi	29
Şekil 5.4.	İki farklı curuf numunesi için curuf püskürtme yüksekliğinin gaz akış hızına bağlı değişimi .....…….....	31
Şekil 5.5.	Püskürtülen curuf miktarının lans yüksekliği ile değişimi	32
Şekil 5.6.	Püskürtülen curuf miktarının jet nüfuzu ile değişimi	32
Şekil 5.7.	Püskürtülmesi gerekli curuf miktarının konverter kapasitesine bağlı değişimi .....…….....	35
Şekil 5.8.	Curuftaki Fe içeriğinin T_{hem} sıcaklığına etkisi .....….....	38
Şekil 5.9.	Curuftaki MgO içeriğinin T_{hem} sıcaklığına etkisi ....….....	39
Şekil 5.10.	Farklı baziklik oranlarına sahip curufların MgO içeriklerinin	

likidüs sıcaklığına etkisi 39
Şekil 5.11. Üflemenin farklı safhalarında curuf tabakasındaki sıcaklık dağılımı 42
Şekil 5.12. Curuf kaplama işlemini de içeren BOF işlem basamakları 45
Şekil 5.13. $CaO-SiO_2-FeO-MgO_{doymuş}$ curufları için 1713 K sıcaklığında MgO içeriğine bağlı köpürme indeksi değişimi 47
Şekil 5.14. Curuf köpürme indeksinin curufun baziklik oranı ile değişimi 48
Şekil 5.15. Curuf FeO içeriği ile viskozite arasındaki ilişki 48
Şekil 5.16. Curuf köpürme indeksinin FeO içeriği ile değişimi 49
Şekil 5.17. Sıcak tamir malzemesi uygulamasının şematik gösterimi 50
Şekil 5.18. LD tipi konverterde tipik tuğla astar örümü 51
Şekil 6.1. Tuğla kalınlığı ölçüm cihazı çalışma prensibi 53
Şekil 6.2. Robotik sıcak tamir malzemesi püskürtme cihazı 54
Şekil 6.3. Sıcak tamir malzemesi uygulaması 54
Şekil 6.4. Curuf kaplama işlemi 55
Şekil 6.5. İSDEMİR çelik yapım konverter astarı tuğla örüm resmi 57
Şekil 6.6. 1500. dökümde yapılan İSDEMİR konverter astarı tuğla kalınlık ölçümü 58
Şekil 6.7. İSDEMİR konverter curufundaki %MgO değişim grafiği 59
Şekil 6.8. 1500. dökümde İSDEMİR konverter astarının tuğla ölçümü kesit görüntüsü 60
Şekil 6.9. 1750. dökümde yapılan İSDEMİR konverter astarı tuğla kalınlık ölçümü 61
Şekil 6.10. İSDEMİR konverter curufundaki %MgO değişim grafiği 61
Şekil 6.11. 1750. dökümde İSDEMİR konverter astarının tuğla ölçümü kesit görüntüsü 62
Şekil 6.12. 2000. dökümde yapılan İSDEMİR konverter astarı tuğla kalınlık ölçümü 63
Şekil 6.13. İSDEMİR konverter curufundaki %MgO değişim grafiği 64
Şekil 6.14. 2000. dökümde İSDEMİR konverter astarının tuğla ölçümü kesit görüntüsü 64
Şekil 6.15. 2250. dökümde yapılan İSDEMİR konverter astarı tuğla kalınlık ölçümü 65
Şekil 6.16. İSDEMİR konverter curufundaki %MgO değişim grafiği 66
Şekil 6.17. 2250. dökümde İSDEMİR konverter astarının tuğla ölçümü kesit görüntüsü 67
Şekil 6.18. 2500. dökümde yapılan İSDEMİR konverter astarı tuğla kalınlık ölçümü 68
Şekil 6.19. İSDEMİR konverter curufundaki %MgO değişim grafiği 69
Şekil 6.20. 2500. dökümde İSDEMİR konverter astarının tuğla ölçümü kesit görüntüsü 69
Şekil 6.21. 2750. dökümde yapılan İSDEMİR konverter astarı tuğla kalınlık ölçümü 70
Şekil 6.22. İSDEMİR konverter curufundaki %MgO değişim grafiği 71
Şekil 6.23. 2750. dökümde İSDEMİR konverter astarının tuğla ölçümü kesit görüntüsü 71
Şekil 6.24. 3000. dökümde yapılan İSDEMİR konverter astarı tuğla kalınlık ölçümü 72
Şekil 6.25. İSDEMİR konverter curufundaki %MgO değişim grafiği 73
Şekil 6.26. 3000. dökümde İSDEMİR konverter astarının tuğla ölçümü kesit

görüntüsü 73
Şekil 6.27. 3166. dökümde yapılan İSDEMİR konverter astarı tuğla kalınlık ölçümü 74
Şekil 6.28. İSDEMİR konverter curufundaki %MgO değişim grafiği 74
Şekil 6.29. 3166. dökümde İSDEMİR konverter tuğla ölçümü kesit görüntüsü 75
Şekil 7.1. Yıllara göre gerçekleşen İSDEMİR konverter kampanya döküm sayıları ve konverter curufundaki %MgO değişimi 76
Şekil 7.2. Yıllara göre İSDEMİR çelikhanesi konverter kampanya duruş sayıları ve üretilen sıvı çelik miktarı 77

SEMBOL LİSTESİ

MgO	**:** Magnezyum oksit
FeO	: Demir oksit
CO_2	**:** Karbon di oksit
SiO_2	**:** Silika
CO	**:** Karbon mono oksit
MPa	**:** Mega Paskal
h	**:** Curufun penetrasyon derinliği
θ	**:** Temas açısı
γ	**:** Yüzey gerilimi
ρ	**:** Yoğunluk
g	**:** Yerçekimi ivmesi
F_l	**:** Kabarcığın cururftan ayrılış noktasındaki atalet kuvveti
$F\gamma$	**:** Arayüzey kuvveti
F_g	**:** Gravitasyon kuvveti
H_{curuf}	**:** Konverter tabanından curufun üst seviyesine kadar olan yükseklik
Q	**:** Gaz akış hızı
Q_b	**:** Alttan karıştırma gaz akış hızı
h_{opt}	**:** Optimum lans yüksekliği
Q_{curuf}	**:** Püskürtülen curuf miktarı
T_{tap}	**:** Döküm sıcaklığı
T_{liq}	**:** Likidüs sıcaklığı
T_{hem}	**:** Yarım küresel sıcaklık
η	**:** Viskozite
Σ	**:** Curuf köpürme indeksi
Al_2O_3	**:** Alümina

ÖZET

Çelik yapım konverterlerinin etkin çalışma süresini etkileyen en önemli faktörlerden birisi refrakter astar ömrüdür. Konverter refrakter astarının aşınma mekanizmalarının, mekanik aşınma ve kimyasal aşınma ana başlıkları altında incelenmesi mümkündür. Bu aşınma mekanizmaları içerisinde, bir çeşit kimyasal aşınma olan curuf korozyonu, astar aşınmasında en etkin mekanizmadır. Konverter astar ömrünü artırmaya yönelik olarak tuğla özelliklerinin iyileştirilmesi, tuğla örümü tasarım değişiklikleri gibi farklı yöntemler kullanılmakla birlikte, konverter astar ömrünü artırma çalışmalarının esasını, curuf korozyonunu önleme ve bu kapsamda konverter curufunun yönetimi teşkil etmektedir.

Çalışma sahası olarak belirlenen İSDEMİR Çelikhanesinde üstten üflemeli, su soğutmalı lans sistemine sahip üç adet LD tipi çelik yapım konverteri bulunmaktadır. Çalışmamızda, konverter astar ömrünü artırmak için, curuf korozyonu kaynaklı aşınmayı azaltmak hedeflenmiştir. Curufun yönetimi kapsamında konverter curufundaki %MgO oranını artırmak için ham manyezit uygulamasına geçilmiştir. Konverter curufundan her dökümde analiz alınmış, astar tuğla kalınlığındaki değişimi görebilmek ve aşınan kısımlara selektif olarak sıcak tamir malzemesi tatbik edebilmek için lazerli tuğla kalınlık ölçüm cihazı ile ölçümler yapılmıştır.

Bu çalışma neticesinde, İSDEMİR konverter astar ömrü artırılarak sıvı ham çelik üretiminin artırıldığı aynı dönemde, astar değişimi sebepli kampanya bakım duruşları azaltılmış, konverterlerin daha uzun süre serviste kalması sağlanmıştır.

IMPROVING THE BASIC OXYGEN FURNACE REFRACTORY LINING LIFE

SUMMARY

The main factor that limited the working period of steel making converters is the refractory lining life. The wear mechanisms of converter refractory lining could be investigated in two main titles are “the mechanical wear” and “the chemical wear”. Slag corrosion which is a kind of chemical wear is the main mechanism of the lining wear. However improving refractory lining life studies include improving properties of refractorry bricks, lining bricks design differencies etc. but a specially these studies are focused on preventing the slag corrosion of the refractory lining. To prevent the slag corrosion of the lining, converter slag management should be done.

This study had done in ISDEMIR an iron and steel work co. which has three steel making converters in its steel plant. These are LD type steel making converters that have water-cooled top blown lance system. The aim of this study was to decrease the slag corrosion of converter linings. In the meaning of slag management, it was tried to increase the amount of % MgO in converter slag by raw magnesia application. Chemical analysis of the converter slags are followed and brick thicknesses are measured to see and make selective repairs to the weared regions by gunning.

By this study, the converter lining life had been improved. So converter campaign upkeep numbers were decreased at the same period when manifactured liquid steel amount was increased. By this way converters could be in service for longer times.

1. GİRİŞ

Çelik yapım prosesinin en önemli maliyet kalemlerinden birisi refrakter malzeme tüketimidir. Bu sebeple refrakter malzeme tüketimini azaltma çalışmaları tüm işletmelerin üzerinde çaba gösterdikleri öncelikli konular arasındadır. Çelik yapım konverterlerinin refrakter malzeme sarfiyatını azaltma çalışmaları, konverter astar ömrünü artırmak ile mümkün olmaktadır. Konverter astar ömrünün artırılması ile hem refrakter malzeme tüketimi azaltılmış olmakta hem de astar tuğlası değişimi sebepli konverter kampanya duruşları azaltılarak konverterin daha uzun süre üretimde kalması sağlanmaktadır.

Konverter astar ömrünü artırma çalışmaları arasında refrakter tuğla seçimi ve tasarımı ile ilgili pratikler de olmakla birlikte astar ömründe sağlanan en önemli artış, konverter curufunun yönetimi esasına dayanan "Curuf Püskürtme" uygulaması ile elde edilebilmektedir. Curuf püskürtme uygulamasında ihtiyaç duyulan azot üfleme sisteminin bulunmadığı konverterlerde ise "Curuf Sıvama" veya "Curuf Kaplama" yöntemleri tatbik edilmektedir. Curuf kaplama yöntemi ile curuf püskürtme uygulamasında ulaşılan astar döküm sayılarına ulaşılamamak ile birlikte astar ömründe önemli artışlar sağlanmaktadır.

İSDEMİR çelikhanesinde üstten üflemeli, su soğutmalı oksijen lansına sahip 3 adet LD tipi konverter bulunmaktadır. Azot üfleme sistemi bulunmadığından curuf püskürtme sisteminin tatbik edilmesi mümkün olmamaktadır. 2005 yılında tatbik edilen, konverter curufunda % MgO değerini artırmayı hedefleyen ham manyezit uygulaması esnasında yapılan çalışmalar ve uygulamaların neticeleri Deneysel Sonuçlar, Deneysel Sonuçların Değerlendirilmesi ve Genel Sonuçlar bölümlerinde verilmiştir.

2. ÇELİK YAPIM PROSESİ

Çelik yapım prosesinde, Bessemer tipi fırınlardan itibaren meydana gelen gelişmeler ve günümüzde kullanımda olan üstten üflemeli, su soğutmalı oksijen lans sistemine sahip bazik Oksijen Fırınları `nda çelik yapım işlem kademelerine ait temel bilgiler aşağıda verilmektedir.

2.1 Çelik Yapım Prosesinin Tarihi Gelişimi

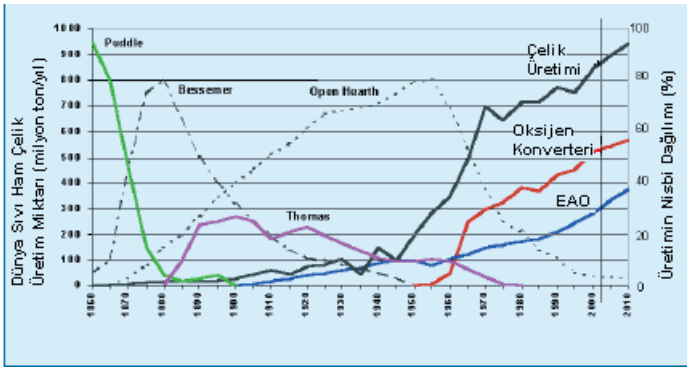
Hava üflemeli konverterlerde, pinomatik ve ototermik sistemli ton mertebesinde ticari çelik yapım süreci 1856 yılında Henry Bessemer `in İngiliz Patent Enstitüsü tarafından kabul edilen 1292 patent numaralı buluşu ile başlamıştır. Bessemer prosesinde hava, sıvı demir içerisine daldırılan tüyer yardımı ile üfleniyordu. İlk başta yalnızca asidik cevherden üretilen hematit demir için kullanılabilmekteydi. 1879 `da Thomas Sydney Gilchrist katran bağlı bazik dolomit astar kaplı ve bazik curuf oluşturulan konverterleri ortaya çıkartmıştır. Konverterin bazik curuf şartlarında çalışabilmesi yaygın olarak bulunan fosfor ilgisi yüksek Avrupa cevherinin kullanımına imkan vermiştir. Sıvı demirde bulunan fosfor ve kükürdün konverterde curufa geçmesi mümkün hale gelmiştir. 1930 yılında Linde-Frankel çelik yapımında ton mertebesinde oksijen kullanılabilmesini sağlamıştır. Oksijenin yaygın kullanımına ilişkin öneri ilk olarak Bessemer tarafından sunulmuş olmakla birlikte, ticari anlamda kullanımı 1930 yılında Linde-Frankel tarafından gerçekleştirilmiştir [1].

Oksijenin ergimiş demir ile reaksiyonu sonucu gerçekleşen, 2500 ^{o}C `yi bulan yüksek sıcaklıklar nedeni ile üfleme sisteminde değişiklik yapılması gereği ortaya çıkmıştır. Bu araştırmalar sırasında öncelikle oksijence zenginleştirilmiş hava ve CO_2 ya da su buharı ile birlikte oksijen kullanılarak, daldırma ile üfleme pratikleri denenmiştir. 1968 yılında ise hidrokarbon korumalı tüyerler bulunmuş ve yaygın

olarak işletmelerde denenmiştir. Bu yeni hidro-karbon korumalı tüyerler, ilk kez saf oksijenin daldırma yönteminde kullanılabilmesine imkan sağlamıştır [1].

Pinomatik çelik yapım prosesindeki en önemli gelişme, su soğutmalı bir lans kullanılarak sıvı demir yüzeyine yüksek basınçta saf oksijen üflenmesi olarak kabul edilebilir. Üstten oksijen üflemeli ilk ticari döküm 1952 yılı Kasım ayında Avusturya`nın Linz kentinde Voest-Alpine çelikhanesinde alınmıştır. Bunu takiben yine Voest-Alpine kuruşuna ait Avusturya `nın Donawitz kentinde aynı metot ile 1953 yılında ikinci farklı çelikhanede de ticari olarak çelik üretimine geçilmiştir. Bu yeni çelik yapım prosesine verilen LD ismi, bu tekniği kullanarak çelik üretimini gerçekleştiren ilk iki çelikhanenin bulunduğu Linz ve Donawitz kentlerinin baş harflerinin bir araya getirilmesi ile elde edilmiştir.

Şekil 2.1 `de 1860 yılından itibaren çelik yapım yöntemlerinin değişimi gösterilmektedir. Şekil 2.1 `de ayrıca yıl bazında dünya ham çelik üretimindeki artış da yer almaktadır. 1960 – 1980 yılları arasında 363 adet LD tipi konverter devreye alınmıştır. Bu rakam, o zaman diliminde faaliyette bulunan toplam konverter sayısının yarısından daha fazlasına tekabül etmektedir. LD tipi konverter sayısındaki hızlı artışta Open Hearth metoduna göre yatırım maliyetlerinde % 40, operasyon maliyetlerinde ise % 50 azalma sağlamasının önemli payı bulunmaktadır.



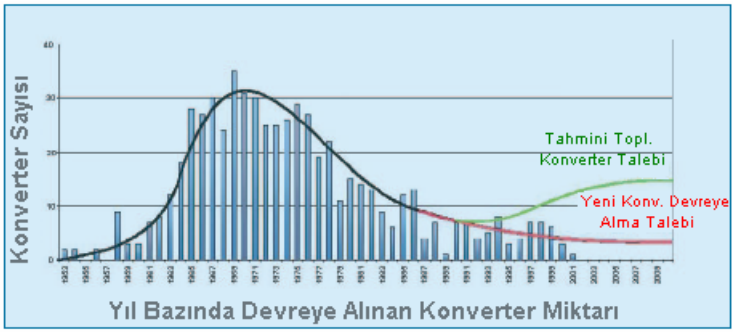
Şekil 2.1 Yıllara göre çelik üretim yöntemlerindeki değişim, yıllık sıvı ham çelik üretim miktarları [1].

Çelik yapım konverteri olarak farklı BOF türleri kullanılmaktadır. Üstten üflemeli (LD), alttan üflemeli ya da ikisinin bileşimine sahip konverter türleri mevcuttur [2].

1980 `li yıllardan itibaren çelik yapımında oksijen konverterlerinin yanı sıra elektrik ark ocaklarının ham çelik üretim miktarlarında da belirgin bir artış görülmüştür.

Dünya toplam ham çelik üretim miktarının %60 `ını bazik oksijen konverterler karşılamakla birlikte son yıllarda elektrik ark ocaklarının dünya çelik üretimindeki payında artış görülmektedir. ABD ham çelik üretiminin %54 `ünü Bazik Oksijen Fırınlar (BOF) karşılamakta iken dünyadaki gelişmeye paralel, BOF `ların ham çelik üretim miktarındaki payları ABD `de yavaş bir şekilde azalmaktadır [1, 2].

Batı Avrupa, Kuzey Amerika ve Japonya `daki konverterlerin büyük çoğunluğu 150-200 tonluk kapasitede iken dünyanın diğer bölgelerindeki konverterlerin kapasiteleri ise çoğunlukla 50-150 ton arasında değişmektedir. 2002 Yılı rakamları ile dünyada kurulu bulunan toplam konverter sayısı 700 civarındadır. Yıl bazında dünyada devreye alınan LD tipi konverter sayıları Şekil 2.2 `de verilmektedir. Genel anlamda bir konverterin optimum ömrü 25 yıl olarak kabul edilmektedir. Pratikte ise konverter ömrü, parça değişimleri, operasyon türleri, şirketin mali yapısı (özellikle yatırım imkanları açısından) v.b. pek çok faktöre bağlıdır [1,2].



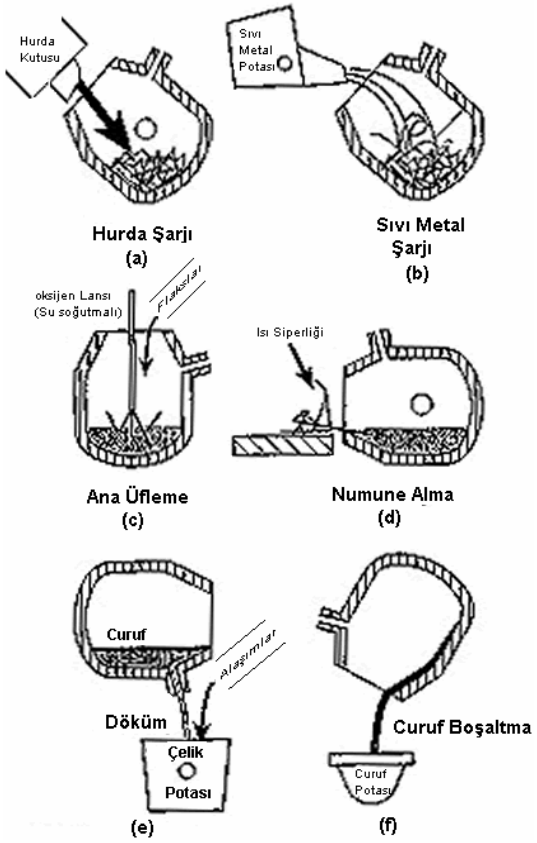
Şekil 2.2 Dünya genelinde yıl bazında devreye alınan konverter sayıları [1].

2.2 Bazik Oksijen Fırınlarında (BOF) Temel İşlemler

Bazik Oksijen Çelik Yapım prosesi, gereksinim duyduğu enerjiyi proses esnasında meydana gelen ekzotermik reaksiyonlar sonucu üretebilmektedir. BOF `lar bu özellikleri ile Elektrik Ark Ocaklarından (EAO) ayrılmaktadırlar. BOF için temel hammaddeler % 70-80 oranında yüksek fırından gelen sıvı ham demir ile geri kalan miktarda çelik hurdasıdır. Bu hammaddeler konvertere şarj edilir. Daha sonra % 99,5 `tan daha fazla saflıktaki oksijen yüksek basınçta konverter içerisine üflenmektedir. Yüksek basınçta üflenen oksijen, sıvı metal içerisinde bulunan karbon ve silisi oksitleyerek yüksek sıcaklıkların açığa çıkmasına sebep olmaktadır. Oluşan yüksek sıcaklıklar ise şarj edilen hurdanın erimesini sağlamaktadır. Daha az miktarlarda

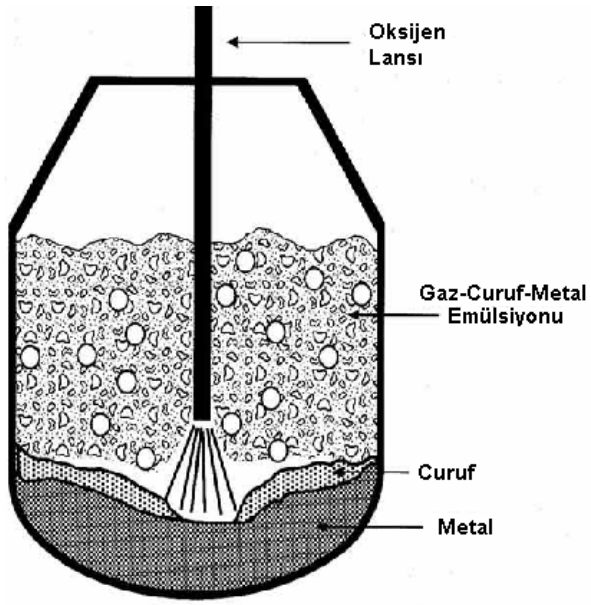
olmak üzere, demir, manganez ve fosfor oksidasyonları da enerji ihtiyacının karşılanmasına katkıda bulunan diğer reaksiyonlardır. Ayrıca karbon monoksitin konverterin ağız kısmından çıkarken son yanması nedeni ile açığa çıkan enerji de banyoya geri dönmektedir [1].

Konverterde döküm işlemi konverterin şarj tarafına yaklaşık 45^{o} döndürülüp, toplam metalik şarjın % 25-30 `u ağırlığındaki hurdanın şarj edilmesi ile başlamaktadır. Hurda kutusu içerisine doldurulan istenen ağırlık ve kalitedeki hurda, vinç yardımı ile kaldırılarak silindirik konverterin ağız kısmından içeri şarj edilmektedir (Şekil 2.3 a). Daha sonra yüksek fırının ürettiği ve kükürt giderme işleminden geçmiş, pota içerisinde bulunan sıvı ham demir, konvertere şarj edilmektedir (Şekil 2.3 b). Bu işlemlerden sonra ise konverter dik konuma getirilmekte ve kireç/dolomit v.b. flaks malzemeleri üstten damperler vasıtası ile şarj edilmektedir. Bu sırada yüksekliği banyo seviyesinin birkaç metre üzerinde olacak şekilde lans indirilmektedir (Şekil 2.3 c). Su soğutmalı ve birden fazla delikleri bulunan lans vasıtası ile yüksek saflıkta (% 99,5 `ten daha yüksek saflıkta) oksijen, yüksek basınçta konverterdeki karışımın yüzeyine üflenmektedir (Şekil 2.4).



Şekil 2.3 BOF Çelik yapım işlem basamaklarının şematik gösterimi [1].

Üflemenin başlaması ile birlikte çok şiddetli bir ses duyulur. Bu sesin şiddeti, sıvı metaldeki silisyumun oksitlenerek silikaya (SiO_2) dönüşmesi ile zamanla hafiflemektedir. Bunun sebebi ise silikanın bazik flakslar ile reaksiyona girerek gaz yapısında erimiş curuf oluşturması ve lansın yüzeyinin bu curuf ile kaplanmasıdır. Oluşan gaz, sıvı metaldeki karbondan dolayı genellikle karbon monoksittir (CO). Gaz çıkış hızındaki artış konverter hacminin çok üzerindedir. Bu sebeple özellikle viskoz curuflarda, üfleme esnasında konverterin ağız kısmından taşmalar yaşanabilmektedir. Üfleme metalik şarj kimyası, eriyik spesifikasyonu ve hedef kalite çeliğe göre belirli bir süre devam etmektedir. Üfleme zamanı genellikle 15 ila 20 dakika sürmektedir. Üfleme sırasında, lans yüksekliği üflemenin değişik evrelerinde farklı yüksekliklerde olacak şekilde önceden programlanmıştır. Şekil 2.4 `te üstten üflemeli konverter sisteminde oksijen üfleme işleminin şematik gösterimi verilmektedir [1].



Şekil 2.4 Üstten üflemeli konverter sisteminde oksijen üfleme işlemi [1].

Üfleme işlemi bittikten sonra lans konverterin içerisinden çıkartılmakta ve konverter üfleme sonu sıcaklığının ölçülebilmesi ve numune alınabilmesi için çevrilmektedir (Şekil 2.3 d). Geçmişte üfleme sonu sıcaklığının hedeflenen değerde gelmemesi ya da kimyasal analizin hedef değerden farklı çıkması durumunda ilave üfleme ya da soğutucu ilavesi yapılmakta iken günümüzde artık sablans teknolojisi ile bu zaman kayıplarının önüne geçilebilme imkanı doğmuştur [1].

Döküme hazır hale gelen sıvı ham çelik, konverter döküm tarafına çevrilerek önceden ısıtılmış potaya, koni kısmında bulunan döküm deliğinden boşaltılmaktadır (Şekil 2.3 e). Konverter çevrildiğinde potaya curuf kaçmasını engelleyecek bir madde ile döküm deliğine tıpa yapılmaktadır. Çelik bu tıpayı hemen yakmakta ve potaya akmaktadır. Döküm sonrasında curuf kaçmasını engellemek için ise çeşitli "curuf durdurucular" tasarlanmış bulunmaktadır. Çelik potasına curuf kaçması durumunda fosfor, kükürt v.b. elementler açısından çelik kirlenmektedir. Pota alaşım ilaveleri ile demir oksit seviyesi düşürülebilmekte fakat fosfor giderimi için bir şey yapılamamaktadır. Konverterdeki çelik boşaltıldıktan sonra konverter ters istikamette çevrilerek curufu, curuf potasına boşaltılmaktadır (Şekil 2.3 f). Daha sonra konverter dik konuma getirilmekte ve pek çok çelikhanede, arta kalan curuf üstten azot üflenerek püskürtülmekte ve konverter astarlarının curuf ile kaplanması sağlanmaktadır [1].

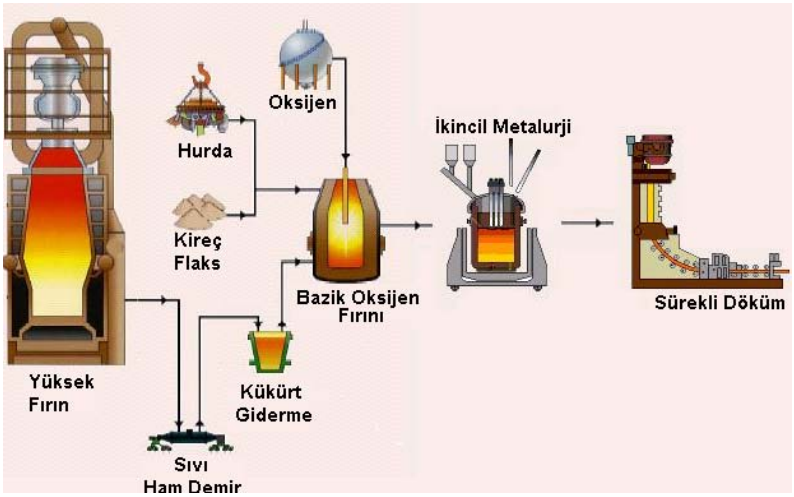
2.3 İSDEMİR `de Mevcut Durum

Ülkemizin kuruluş tarihi itibarıyla üçüncü, uzun ürün üretim kapasitesine göre ise en büyük entegre demir ve çelik fabrikası olan İSDEMİR, 3 Ekim 1970 tarihinde İskenderun'un 17 km kuzeyinde Payas yöresinde yaklaşık 6,8 milyon m^2 alan üzerine kurulmuştur. 1975 yılında 1.1 milyon ton/yıl çelik blum üretim kapasitesi ile işletmeye alınan İSDEMİR yapılan I. tevsiatla 1985 yılından itibaren 2.2 milyon ton/yıl üretim kapasitesine çıkarılmıştır Uluslararası kalite standartlarında Pik, Blum, Kütük, İnşaat Çelikleri vb uzun mamul üretmek üzere kurulan İSDEMİR 'de, ürün yelpazesinde değişikliklere gidilmiş blum, inşaat demiri v.b. ürünler yerine kütük ve kangal üretimine geçilmiştir. İSDEMİR `de ülkemizde üretilen ham çeliğin yaklaşık %14'ü üretilmektedir [3].

İSDEMİR tesislerinde kok - sinter - yüksek fırın - çelikhane - sürekli döküm ve sıcak haddeleme ile üretim yapılmaktadır. Ürünler iç piyasa yanında başta Orta Doğu ülkeleri olmak üzere Avrupa ve Asya ülkelerine ihraç edilmektedir. İSDEMİR hisselerinin tamamı, 31.01.2002 tarihli Hisse Devir Sözleşmesi ile Özelleştirme İdaresi Başkanlığı tarafından İSDEMİR 'de yassı üretimine geçilmesine yönelik yatırımların yapılması şartı ve 50 milyon USD karşılığında ERDEMİR 'e devredilmiştir. Ekim 2005 tarihinde Özelleştirme İdaresi`nde bulunan hisselerin açık

artırma yöntemi ile OYAK grubuna satışı gerçekleştirilmiştir. İSDEMİR, OYAK çatısı altında bulunan ATAER Holding `e bağlı bir şirket olarak üretime devam etmektedir.

Yüksek Fırınlarda üretilen sıvı ham demir (pik) potalarla ve demiryoluyla kükürt giderme işleminden geçirildikten sonra Şekil 2.5 `de görüldüğü gibi çelikhaneye gönderilmektedir. Sıvı ham demir çelikhanede önce miksere doldurulmakta ya da direkt olarak konvertere şarj edilmektedir. Mikserde kok gazı yakıldığı için ham demirin sabit ısıda tutulması ve homojenliği sağlanabilmektedir.



Şekil 2.5 İSDEMİR çelik üretim akış şeması.

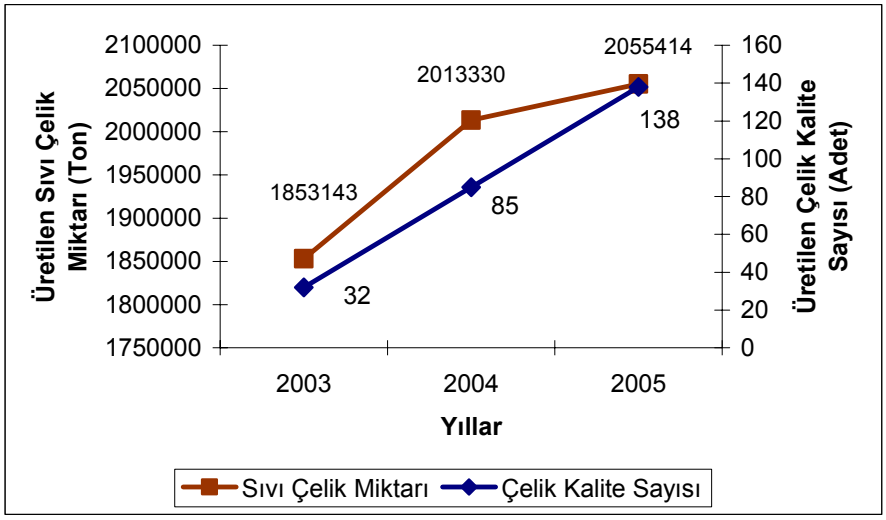
İsdemir Çelikhanesi `nde 3 adet konverter bulunmaktadır. Üstten oksijen üflemeli ve su soğutmalı lans sistemine sahip LD tipi konverterlerin teknik özellikleri Tablo 2.1 `de verilmektedir.

Tablo 2.1 İSDEMİR çelik yapım konverterlerinin teknik özellikleri.

Konverter Tipi	LD
Şarj Kapasitesi	136 ton
Çalışma Hacmi	107 m^3
Spesifik Hacim	0.83 m^3
Banyo Yüzeyi	18.25 m^2
Banyo Derinliği (mm)	1270 – 1280
Konverter iç çapı (mm)	4680
Konverter iç yüksekliği (mm)	7360
Sıcak Metal Şarjı (ton)	100 – 120
Kireç + Manyezit (kg/ton çelik)	65 – 90 kg/T.Ç.
Oksijen Üfleme Debisi	350-370 Nm^3/dk
Lans Oksijen Basıncı	9.5 atm

Konvertere oksijen lansı ile oksijen üflemesi işleminden sonra sıvı çeliğin yanı sıra üstte konverter cürufu bulunur. Çelik, konverter içindeki çelik deliğinden çelik potasına boşaltılır. Bu esnada gerekli alaşım ve deoksidasyon malzemeleri ilave edilir. Sonra pota metalürji fırınlarında ikinci bir metalürjik işleme tabii tutulur. Biri kimyasal diğeri elektrikli bilgisayar kontrollü ve otomatik ekipmanlı 2 adet metalürjik fırında çelik kompozisyonu hassas olarak ayarlanıp sıvı çelikteki istenmeyen bileşikler ve gazlar ayrıştırılarak sürekli döküm makinaları şartlarına uygun çelik sıcaklığı sağlanır. Potadaki çelik raylı sistem çelik arabası ile sürekli döküme alınır (her konverterden kütük makinalarına kadar raylı sistem vardır). Burada vinçler vasıtasıyla kütük döküm makinaları bölümüne aktarılmaktadır.

İSDEMİR çelikhanesinde gerçekleştirilen iyileştirmeler neticesinde her geçen yıl üretilen sıvı ham çelik miktarı ve üretilen çelik kalite sayısı artırılmaktadır. Şekil 2.6 `da son üç yılda gerçekleşen üretim değerleri verilmektedir.



Şekil 2.6 İSDEMİR `de yıllara göre üretilen çelik miktarı ve çelik türü sayısındaki değişim.

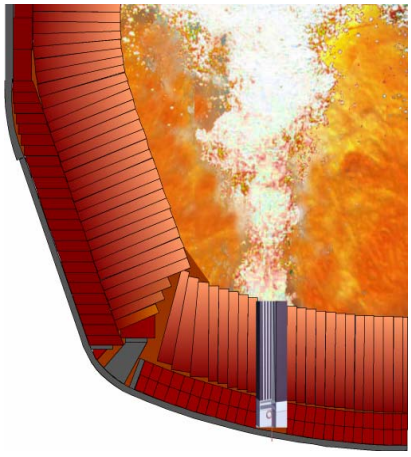
Elektrikli ya da kimyasal istasyonda bileşim ve sıcaklığı uygun hale getirilen çelik Sürekli Dökümlerde bulunan toplam kapasitesi 2.000.000 ton kütük/yıl olan 2 adet kütük döküm makinasında dökülerek kütük elde edilmektedir. Kütük nihai ürün olarak satılmakta olduğu gibi Kangal Haddehanesi `nde çekildikten sonra kangal olarak da satışı yapılabilmektedir.

2.4 İSDEMİR Modernizasyon Yatırımları

Sürekli gelişmeyi, yeni teknolojileri kullanarak çevreye olan duyarlılığı ile ürün ve hizmetlerde fark yaratmayı ana ilke kabul eden İSDEMİR 'de, yaklaşık 2 milyar $ değerindeki, modernizasyon ve yassıya dönüşüm çalışmaları yoğun bir şekilde sürdürülmektedir.

Liman, Kok Fabrikaları, Sinter, Yüksek Fırınlar, Slab Döküm, 7.Kireç Fabrikası, Haddehane v.b. tüm ünitelerde meodernizasyon yatırımları devam etmekle birlikte çalışmanın konusu gereği yalnızca Çelikhane yatırımları ile ilgili kısaca bilgi verimektedir. Çelikhane `de mikserler sökülerek devre dışı bırakılacaktır. Yüksek Fırınlar `dan sıvı ham demir pota yerine torpedo arabalar ile taşınacak bu nedenle miksere olan ihtiyaç ortadan kalkacaktır. Kükürt Giderme tesisi Çelikhane içerisine günümüz teknolojisi kullanılarak yeniden inşa edilecektir.

Çelikhanede 200 `er ton kapasiteli 3 adet konverter yapılacaktır. Konverterlerde sablans sistemi, Şekil 2.7 `de görüldüğü gibi alttan karıştırma, azot üfleme için ilave lans sistemi ve tam otomasyon sistemi olacaktır. Yeni konverterler ile birlikte pik potası, çelik potası, curuf potası, hurda kutuları da değişecektir. Vinç kapasiteleri artırılacak ve yeni Hurda Hazırlama tesisi kurulacaktır. Sonuçta Çelikhane hem mevcut kütük döküm makinalarını hem de slab döküm tesisini besleyecektir.



Şekil 2.7 Konverterde alttan üfleme sistemi.

3. BOF `LARDA KULLANILAN REFRAKTER MALZEMELER

Modern çelik üretiminde granül oksitler ve karbondan oluşan kompozit malzemeler, önemli refrakter uygulamalarına sahiptir. Bu tür kompozit malzemeler, çelik yapım curuflarının korozif etkisine karşı oldukça iyi dirence sahip olup aynı zamanda mükemmel termal şok dayanımı gösterirler. Refrakter malzemedeki karbon fazını, genellikle kristalin grafit ya da bir katran veya reçinenin karbonlaştırılması sonucu ortaya çıkan bağlayıcı karbon oluşturur [4].

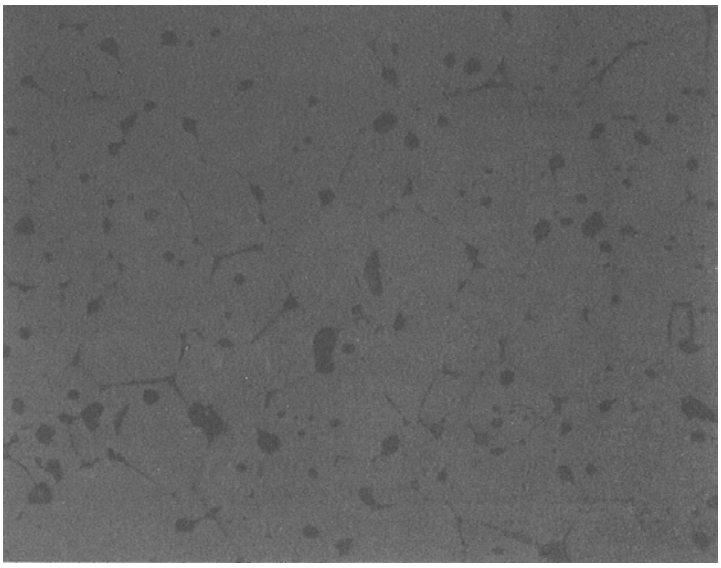
3.1 Magnezya Esaslı Refrakter Malzemelerin Yapısı

Magnezya esaslı refrakterlerin ana bileşenleri magnezya tanesi ile karbon ve grafittir.

3.1.1 Magnezya tanesi

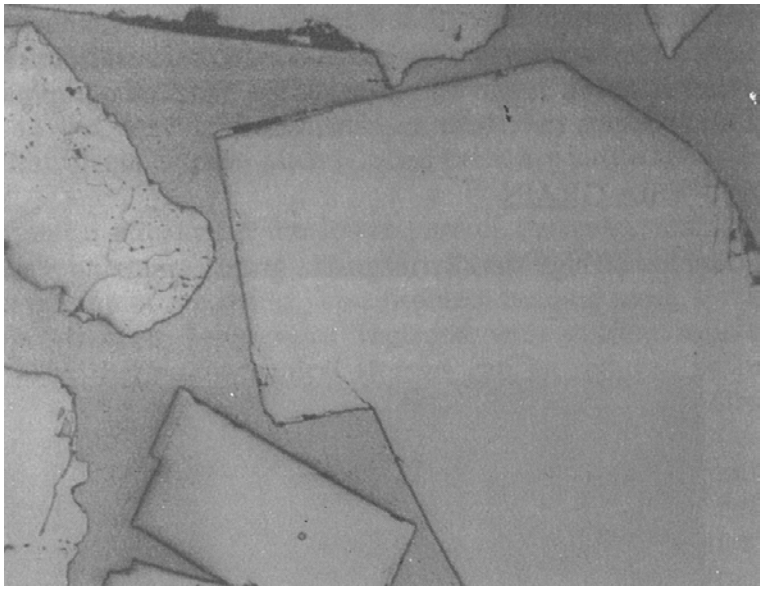
Magnezya tanesinin kalitesi (kimyası, kristal boyutu ve porozitesi), curufa karşı dayanımı etkiler. Farklı tiplerdeki MgO taneleri, farklı seviyelerde korozyon dayanımı sağlar. İri periklas taneli ergimiş agregalar mükemmel korozyon dayanımı göstermektedirler. Çok az miktarda safsızlık bile korozyon dayanımında önemli rol oynar. MgO kristalleri arasındaki bağların içindeki CaO/SiO_2 oranı çok büyük bir öneme sahiptir. Son yıllarda magnezya üretiminde SiO_2 yüzdesi düşük cevherlere olan talep artmıştır [5].

Şekil 3.1 `de %97 MgO içeren yüksek yoğunlukta magnezya tanesine ait tipik mikroyapı fotoğrafı mevcuttur. Ortalama kristal boyutu 100 mm olan yüksek yoğunlukta sinter manyezitin tane sınırlarında bir miktar silikat fazlar görülmektedir [6].



Şekil 3.1 %97 MgO içeren yüksek yoğunluğa sahip sinter manyezitin mikroyapı fotoğrafı [6].

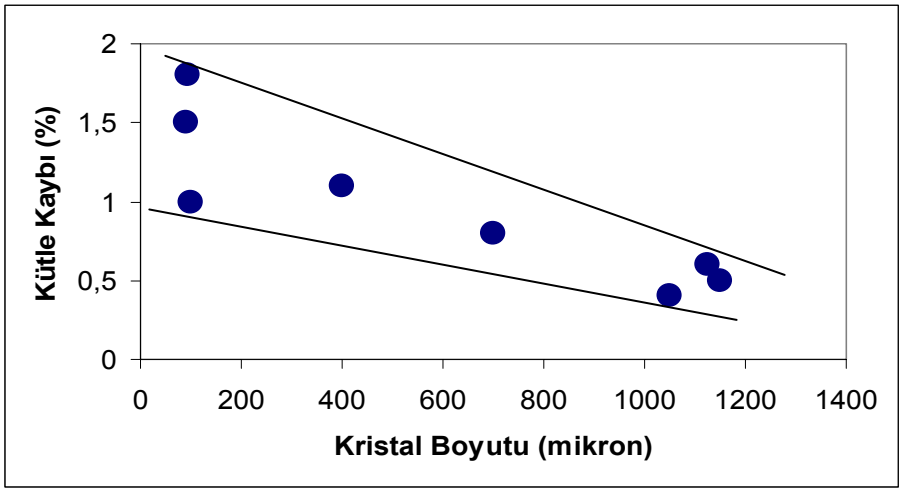
%99 MgO içeren sinter magnezya silikat içermeyen tane sınırları ile karakterize edilmektedir. Şekil 3.2 `de ise karakteristik yapısı geniş kristal boyutu olan erimiş magnezyanın mikroyapısı görülmektedir. Yüksek kalite erimiş magnezya kristali, sinter magnezya kristalinden en az 10 kat daha geniştir. Tipik sinter magnezya kristallerinin boyutu 60-80 μm aralığında değişirken, erimiş magnezya kristallerinin boyutu 500 ila 1000 μm arasında değişmektedir [6].



Şekil 3.2 Tipik erimiş magnezya tanesinin mikroyapı fotoğrafı [6]

Şekil 3.3 `de kütle kaybı ile magnezya tanelerinin kristal boyutu arasındaki ilişki verilmiştir. Yüksek sıcaklıkta, 400 μm `nin üzerinde büyük kristal boyutuna sahip

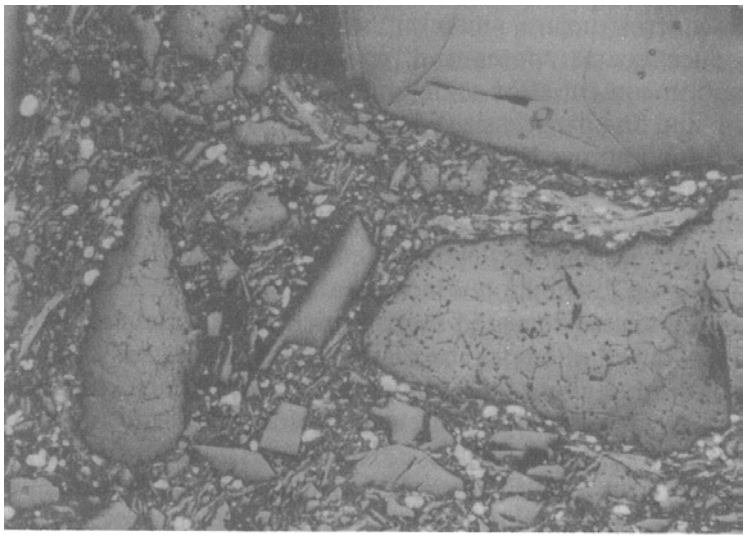
magnezya taneleri, 100 μm `nin altında küçük kristal boyutuna sahip tanelerden daha stabildir. 1650 $^{o}$C ` nin üzerindeki yüksek sıcaklıklarda karbon ile temas halindeki MgO, Mg `ye indirgenebilir ve konverter atmosferi içerisine buharlaşabilir. Bu reaksiyonun önlenmesi mümkün olmamakla birlikte, yüksek saflıkta ve hacimde magnezya sinter ve/veya erimiş magnezya taneleri kullanılarak buharlaşma hızı azaltılabilir [6]



Şekil 3.3 Magnezya kristal boyutu ile kütle kaybı arasındaki ilişki [6].

3.1.2 Karbon ve Grafit

Grafitin kristal yapısı hekzagonal veya rombohedraldir. Hekzagonal formu geniş bir sıcaklık ve basınç aralığında termodinamik olarak daha kararlıdır. İndirgeyici atmosferde erimez ve 3000 ^{o}C `deki buhar basıncı yalnızca 1mm Hg `dır. Rombohedral yapıdaki formu ise yarı kararlıdır ve 2000 ^{o}C `nin üzerinde kaybolur. Doğal grafitler bu iki minerolojik formun karışımı şeklindedir [6].

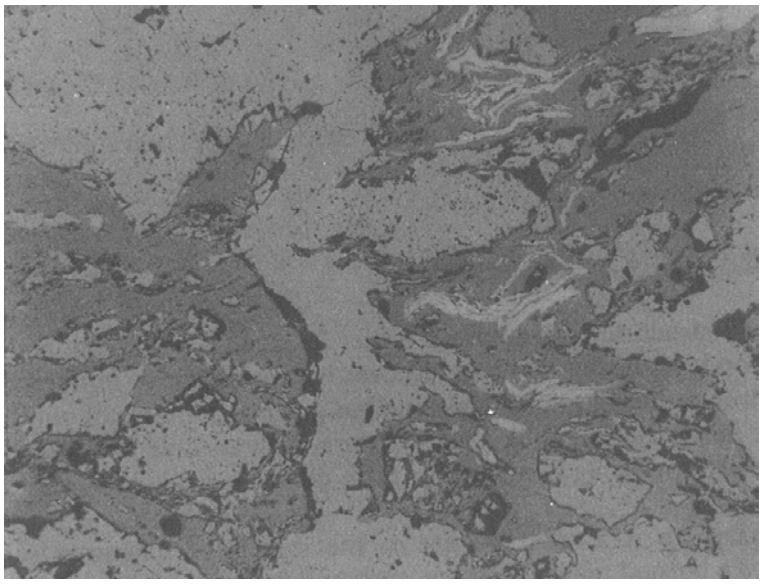


Şekil 3.4 % 97 Sinter MgO içeren magnezya-grafit refrakter tuğlanın mikroyapı fotoğrafı. Parlak kaba taneler MgO, parlak ince taneler ise yapıda bulunan Al `dir [6].

BOF uygulamalarında kullanılan magnezya refrakterlerde karbon ya da grafit her zaman için matrikste yer alırlar. Pişmiş magnezya tuğlasında karbon, vakum ve daha sonra da basınç altında emdirme yöntemi ile yapıya dahil edilir. Tipik pişmiş magnezya tuğla mikroyapıları Şekil 3.4 ve 3.5 `te verilmiştir. Zift bağlı ve/veya reçine bağlı tuğlada, karbon ve grafit karıştırma esnasında ilave edilir. Ayrıca serviste bağlayıcıdan artık karbon da oluşur [6].

Karbon, curuf tarafından düşük ıslatılabilirliği nedeni ile tuğla içerisine curuf penetrasyonunu engelleyici özelliğine sahiptir. Karbon ayrıca tuğlada termomekanik kabuk düşmesi (spalling) durumunu engelleyici role sahiptir. Bunun sebebi grafitin yüksek termal iletkenliğine ve düşük termal genleşmeye sahip olmasıdır [5].

BOF Prosesinde karbon ve sıcak yüzey ile temas halindeki MgO `nun redüksiyon ve buharlaşma noktası aralığında, MgO `nun kararlı fazda kalamayacağı bir oksijen potansiyel sıcaklığı oluşur. Sıcak yüzeyde daha yüksek oksijen basıncının sonucu olarak, Şekil 3.5 gösterildiği gibi Mg oksitlenir ve gaz fazından çökerek ikincil magnezyanın yoğun bölgesini oluşturur [6].



Şekil 3.5 İki kaba magnezya tanesi arasında "Yoğun Magnezya Bölgesi" oluşmaktadır. Bu bölge sol tarafta oksitlenmiş sıcak yüzey ile ayrılmaktadır [6].

Sıcak yüzeyde oluşan reaksiyonlar 3.1 ve 3.2 bağıntılarında verilmektedir [6].

Karbon İçeren Bölge	Yoğun Magnezya Bölgesi	Tuğlanın Sıcak Yüzeyi
$MgO+C \rightarrow Mg + CO$ (3.1)	$Mg+ 1/2O_2 \rightarrow MgO$ (3.2)	MgO + Curuf (FeO)
$PO_2 = 10^{-18}$ atm		$PO_2 = 10^{-8}$ atm

Teoride yoğun bölgenin magnezya-karbon tuğlayı karbon oksidasyonuna karşı koruduğu ve tuğla matriksine curuf penetrasyonunu yavaşlattığı düşünülmektedir [6].

3.2 BOF `larda Kullanılan Refrakter Türleri

Çalışma şartları ve aşınma mekanizma şiddetleri çeşitli BOF astar bölgeleri boyunca önemli değişiklikler göstermektedir. Konverterlerdeki değişik çalışma şartları, astar ömrünü artırmak ve aşınmayı dengelemek için farklı kimyasal ve mekanik özellikteki refrakter malzemeler gerektirmektedir [6].

1970 `lerde reçine bağlı magnezya-grafit tuğlalar Japonya `da elektrik ark ocağı astarında kullanılmak üzere geliştirilmiştir. Ürün en şiddetli aşınma bölgelerinde pişmiş ve zift bağlı magnezya refrakterlerin yerini almakta son derece başarılı olmuştur [5,6].

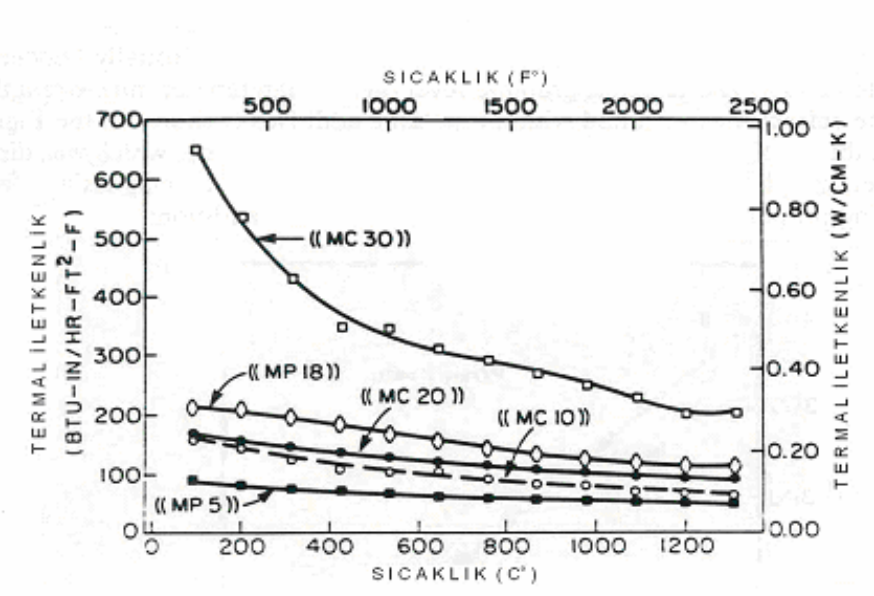
3.2.1. Magnezya-Grafit Refrakterler

Magnezya-karbon refrakterler; magnezya, pul grafit ve bağlayıcı içeren karbon bağlı malzemelerdir. Performansını artırmak için ilave edilmiş bazı özel maddeler de içerebilirler. MgO-C tuğlaların üretimi basittir. Üretim prosesi karıştırma, presleme ve ~200 ^{o}C `de gerçekleştirilen temperlemeden ibarettir. Bu tuğlaların üretiminde pişirme gerekli değildir dolayısıyla enerji tüketimi azdır. Bağlayıcı olarak kullanılan fenolik reçine, tuğla harmanına soğuk olarak karıştırılmakta ve soğuk olarak preslenmektedir. Bu yöntem çevre kirliliği açısından da daha uygundur [5].

Magnzeya-grafit refrakterlerin kullanımı, BOF çelik yapım prosesindeki en önemli gelişmelerden biridir. 1980 `li yıllarda kullanımı hızla artmış ve temel refrakter malzemelerden biri haline gelmiştir. Magnezya-grafit refrakterlerin gelişimi, geçmişte BOF astar performansını önemli ölçüde artıran, magnezya içerisine zift ve karbon girişi ve zift emdirilmiş pişmiş magnezya refrakterlerin üretiminde CaO/SiO_2 oranının optimize edilmesi gibi diğer önemli gelişmeler ile kıyaslanabilir [5,6].

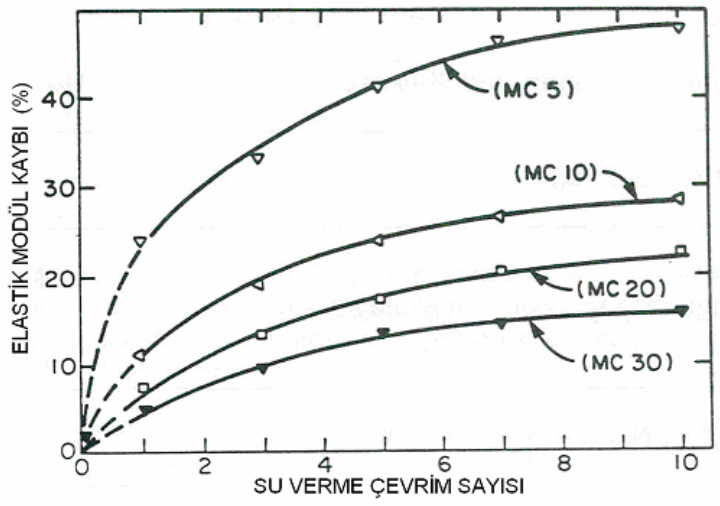
Magnezya-grafit refrakterleri BOF uygulamalarında genellikle %10-20 grafit içerirler. Grafit amorf karbona benzer rol oynamakla birlikte magnezya refrakterlere bazı ilave gelişmeler de sağlar [6].

- Yüksek saflıktaki pul grafitin oksidasyon direnci amorf yapıdaki karbona göre çok daha iyidir.
- Grafit pulları ile reçine arasında iyi bağ oluşumu nedeniyle karbonlaştırma sonrası mukavemeti artar.
- Grafit içeren refrakter malzemelerin curuf direncindeki önemli artışta kısmen de olsa curuf tarafından düşük ıslatılma durumunun etkisi vardır.
- Termal iletkenlikteki artışın sorumlusu grafittir. Grafit içeriğinin termal iletkenliğe etkisi Şekil 3.6 `da gösterilmektedir.



Şekil 3.6 Magnezya–grafit refrakterlerde grafit içeriğinin termal iletkenliğe etkisi [6]. (MC : Reçine bağlı , MP : Zift bağlı refrakterle işaret etmekte; rakamlar ise C içeriğini göstermektedir.)

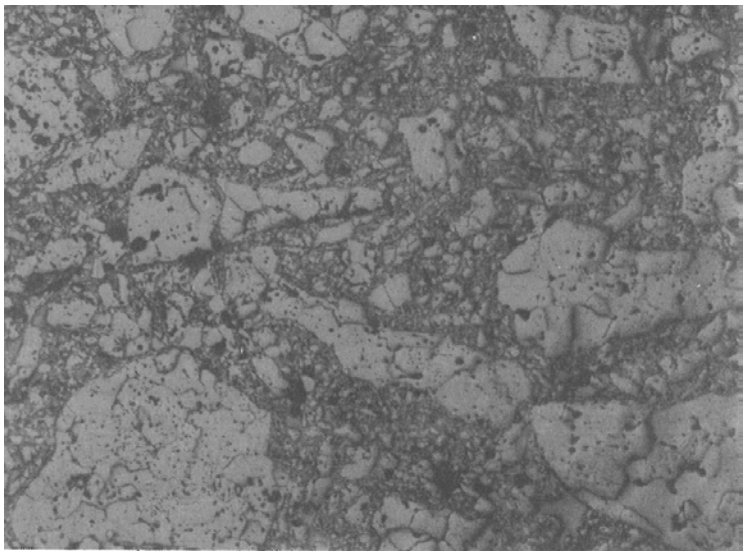
- Grafit içeriğindeki artış ile birlikte termal şok direnci yükselmektedir. Şekil 3.7 `de grafit içeriğinin sonrası elastik modüle etkisi görülmektedir. Daha yüksek karbon içeren numunelerin elastik modüllerinde daha düşük kayıplar görülmektedir; dolayısıyla daha yüksek termal şok direnci göstermektedirler.



Şekil 3.7 Elastik modüldeki kayıp oranı ile hesaplanan, grafitin magnezya-grafit refrakterlerde termal şok direncine etkisi [6].

3.2.2. Pişmiş Magneyza Refrakterler

1970 `li yıllarda, BOF astarının tüm şarj duvarı ve döküm duvarında zift emdirilmiş pişmiş magnezya refrakterlerin kullanıldığı dönemde BOF astarı %70 `e kadar pişmiş magnezya tuğladan oluşmaktaydı. 1990´lı yıllarda Amerikan çelik endüstrisinde kullanımı azalmış olmakla birlikte özellikle şarj duvarında olmak üzere BOF astarında kullanımı az da olsa sürmektedir. Japonya ve Avrupa `da pişmiş magnezya tuğla kullanımı ABD `ye göre çok daha azdır. Pişmiş tuğlanın fiziksel özellikleri başlıca pişme sıcaklığına bağlıdır. Pişirme sıcaklığı özellikle por boyut dağılımı olmak üzere tuğlanın mikroyapısına etki eder. Daha yüksek pişirme sıcaklıkları daha kaba porları bulunan bunun sonucu olarak da daha düşük termal şok direncine sahip ürünlere neden olur. Pişmiş magnezya refrakterlerde karbonlaştırmadan sonraki karbon içeriği yalnızca % 2-3 `tür. Bu sebeple iyi curuf direnci ve termal şok direncinin yükseltilebilmesi için, tuğlanın matriksinde bulunan karbon parçalarının ince ve düzgün şekilde dağılmış olması önem arz etmektedir. Matrikste porların boyutu ve dağılımı, presleme tekniği ve özellikle de pişirme sıcaklığı ile kontrol edilir. Por boyutu ve morfolojisi mikroskop yardımı ile incelenebilir ayrıca civa porozimetrisi yöntemi porların dağılımı ile ilgili nicel bir sonuç elde temek için kullanılabilir. Şekil 3.8 `de düşük sıcaklıkta pişirilmiş ve karakteristik ince porlara sahip malzemenin mikroyapısı görülmektedir. 4μm `den daha ince porların hacmi yaklaşık %40 `tır [6].



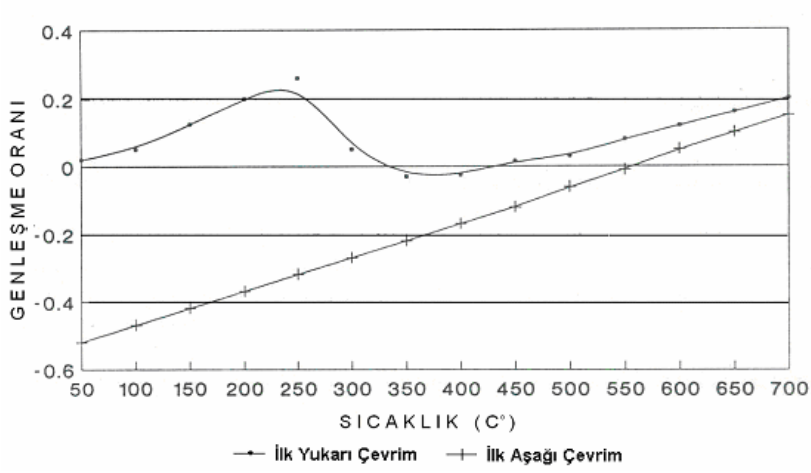
Şekil 3.8 Tuğla matriksindeki çok ince por boyutu ile karakterize edilen düşük sıcaklıkta pişmiş magnezya-grafit tuğlanın mikroyapıyısı [6].

3.2.3. Zift Bağlı Magnezya Refrakterler

BOF prosesinin başlangıcında, astar malzemesi olarak zift bağlı dolomit ve magnezya refrakterler kullanılmaktaydı. Konverterin devreye alınması ve/veya yalnızca birkaç dökümden sonra ani tuğla düşmesi ile ilgili pek çok problemin yaşanması sonrasında zift bağlı magnezya tuğlaların mukavemetlerinde önemli artışlar sağlanmıştır. Bu artışlar, daha yüksek erime noktasına sahip zift kullanılması, ince karbon parçaları ilavesi, kükürt ve/veya kalsiyum nitrat gibi zift polimerizasyon katalizörü ile veya 200 ila 300 ^{o}C `ler arasındaki sıcaklıklarda tuğlaların uygun temperlenmesi gibi proseslerin kombinasyonları ile başarılmıştır. Tüm bu çalışmaların neticesinde, konverterin devreye alınmasında yeni astarlarda yaşanan zift bağlı tuğlaların ani düşmesi probleminin önlenmesi için düşük sıcaklıkta mukavemet değerlerinin 510 ^{o}C `de 1400 kPa `ın üzerinde olması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır [6].

Mukavemet, curuf korozyonu direnci ve son olarak da güvenilir servis performansı özellikleri için zift bağlı magnezya refrakterlerin mikroyapıları önemli rol oynamaktadır. Yüksek yoğunluk ve düşük porozitenin optimizasyonu gerekmektedir. Karbonlaştırma sırasında zifttten oluşan artık karbonun ince taneler şeklinde yapıya nüfuzu için matriksteki por boyutunun küçük olması gerekmektedir. İnce ve homojen karbon nüfuzu curuf sızma hızını düşürmekte ve tuğlanın curuf korozyon direncini artırmaktadır. Zift bağlı tuğlada artık karbon miktarı yaklaşık %5 civarındadır [6].

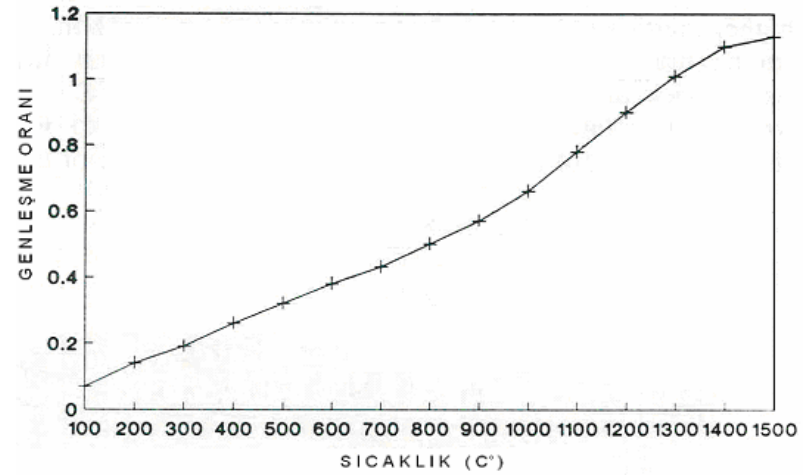
Zift bağlı tuğla yük altında yüksek sıcaklıklarda deforme olma özelliğine sahiptir. Reçine bağlı refrakterlerin zift bağlı refrakterlerden daha rijit olduğu tespit edilmiştir. Reçine bağlı refrakterler endüstriyel uygulama sıcaklık aralıklarında yük altında deforme olmamakta, zift bağlı refrakterler ise zift bağının erimesi nedeniyle daha düşük sıcaklık aralıklarında deformasyona uğramaktadır. Şekil 3.9 `da verilen grafikte 250 $^{o}$C `de zift bağın ergimesine bağlanabilecek tipik bir deformasyon görülmektedir [6].



Şekil 3.9 Zift Bağlı magnezya tuğlanın 0,2 MPa yük altındaki termal genleşme grafiği [6].

3.2.4. Reçine Bağlı Refrakterler

Magnezya-grafit refrakterlerin gelişimi ile birlikte, reçine ziftin yerini alarak refrakterlerde en önemli bağlayıcı olarak öne çıkmıştır. Endüstride çok çeşitli reçineler kullanılmakla birlikte, fenol formaldehit reçineler yaygın kullanıma sahiptir. Reçinenin zifte göre çok sayıda avantajı vardır. Reçine bağlı tuğlaların üretimi daha basittir. Ayrıca reçine bağlı refrakterler zift bağlı refrakterlere göre daha yüksek oksidasyon direnci ve daha iyi fiziksel özelliklere sahiptir. Şekil 3.10 `da reçine bağlı magnezya grafit numunenin termal genleşme grafiği verilmektedir. Bu avantajlarına karşın, ısıtma ve servis şartlarında konverter astarında oluşan termomekanik gerilmeleri zift bağlı refrakterler daha iyi absorblayabilmektedir [6].



Şekil 3.10 Antioksidan metalik ilaveler içeren reçine bağlı magnezya grafit numunenin 0,2 MPa yük altındaki termal genleşme grafiği [6].

4. REFRAKTER AŞINMA MEKANİZMALARI

Fırın refrakter astarlarının aşınması yüksek sıcaklık proseslerindeki en önemli maliyet kalemlerinden biridir. Konverterde kullanılan refrakter malzemeleri yüksek sıcaklıklarda iki ana aşınma mekanizmasının etkisinde kalır [6,7].

- Curuf ya da sıvı metal kaynaklı kimyasal aşınma.
- Konvertere hurda şarjı gibi işlemler esnasında gerçekleşen mekanik aşınma ve termal şok.

4.1 Mekanik Aşınma

BOF `larda mekanik aşınma aşağıdaki faktörlerden herhangi birinin etkisinde gerçekleşebilir [6].

- Hızlı sıcaklık inip çıkmalarının, astar ve BOF kabuğunun termal ve sürekli genleşmelerinin sebep olduğu termomekanik gerilmeler.
- Metal, curuf ve gaz hareketlerinin sebep olduğu aşınma (abrasion).
- Metal, curuf ve gaz hareketlerinin sebep olduğu çarpmalar.
- Hurda ve sıcak metal şarjı esnasında oluşan darbeler.
- Konverter ağız kısmında oluşan mekanik ezilme.

4.1.1 Termomekanik Gerilmeler

Termomekanik gerilmeler temelde konverterde koninin alt kısmı ile gövde arasındaki geçiş bölgesinde gerçekleşir ve astarın termal ve sürekli olarak genleşmesine sebep olur. Termomekanik gerilmelerin şiddetli etkiye sahip olduğu bölgelerde metalik ilave içermeyen magnzeya-grafit refrakterler tercih edilmektedir [8].

4.1.2 Mekanik Erozyon

Konverter astarının mekanik erozyon direnci, yüksek mukavemet ve düşük yoğunluğa sahip reçine ve/veya zift bağlı refrakterler kullanılarak artırılabilir. Avrupa `daki çelik yapım BOF `larında, zift emdirilmiş ve zift bağlı refrakterler kullanılmakla birlikte ABD `de metalik antioksidan içeren magnezya-grafit kullanımı ile başarılı sonuçlar elde edilmektedir [6,8].

4.1.3 Mekanik Ezilme

Konverterin koni kısmında skal düşmesi sebebiyle oluşan mekanik ezilme, standart kalite antioksidan içeren magnezya-grafit refrakterler kullanılarak minimize edilebilir. Curuf ile grafit arasındaki temas açısı curuf ve magnezya arasındaki temas açısından daha büyüktür. Bu nedenle curuf, magnezya-grafit refrakterlere çok fazla yapışamaz [6,8].

4.2 Kimyasal Aşınma

MgO / C refrakterlerde kimyasal aşınma iki adımda gerçekleşir [6,7].

i. Karbonun oksidasyonu ve

ii. Karbonun oksidasyonu sonucu açığa çıkan porlardan curufun nüfuz ederek, MgO `nun redüksiyonu ve buharlaşmasına sebep olması.

4.2.1 Curuf Korozyonu

Üç çeşit curuf-refrakter etkileşimi gerçekleşmektedir [9]. Bunlar:

I. Sıvı curuf ile refrakter arasında meydana gelen reaksiyonlar sonucu ara yüzeyde ince bir tabaka oluşmaktadır. Oluşan bu tabaka, refrakter astar duvarındaki çözünmeyi daha da hızlandırmaktadır.

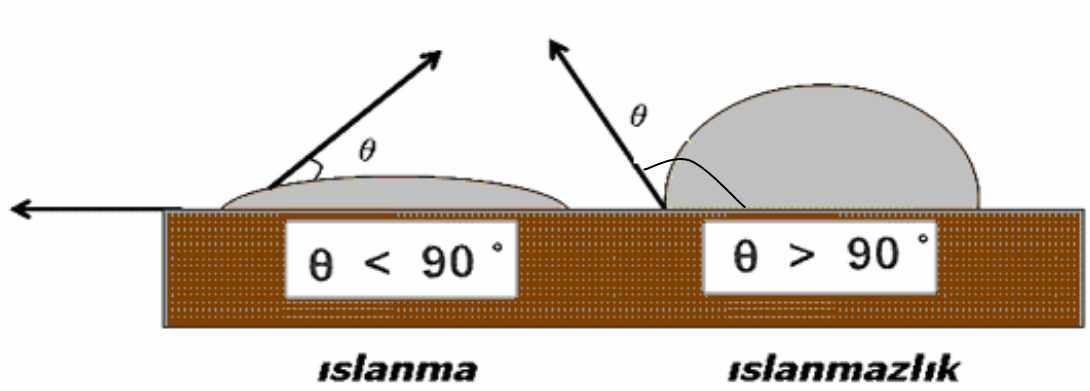
II. Curuf refrakter reaksiyonu sonucu ara yüzeyde oluşan yüksek viskoziteye sahip tabaka, curuf yayınmasını yavaşlatıcı etkide bulunmaktadır.

III. Sıvı curuf-refrakter arasındaki reaksiyon son derece yavaş ilerleyebilmektedir. Sıvı curuf ancak porlardaki basıncın etkisiyle,

refrakter içinde yayınmaktadır. Ancak bu arada çözünen refrakterin, curuf viskozitesini düşürmesi ve ara yüzey gerilimini yükseltmesi ile yayınma hızlanmaktadır.

Refrakter astarın, temasta olduğu sıvı curuf tarafından korozyona uğratılması, üç safhadan oluşmaktadır [9]. Bunlar;

1)Refrakter yüzeyinin curuf tarafından ıslanması: Refrakterlerin curuf ile etkileşiminde ilk aşama, refrakterin curuf tarafından ıslanabilme özelliğidir. Şekil 4.1 `de görüldüğü gibi, yüzey gerilimin meydana getirdiği temas açısına (θ) bağlı olarak ıslanabilme olayında iki farklı durum söz konusudur.



Şekil 4.1 Sıvı curuf ile refrakterin yüzey gerilimi arasındaki temas açısının şematik gösterimi [9].

Temas açısının 90^o `den küçük olduğu durumda curuf refrakter yüzeyi üzerinde yayılma gösterir ve refrakteri ıslatır. Curuf korozyonunun gerçekleşmesi için önce bu ıslanmanın meydana gelmesi gerekmektedir ki, genelde sıvı-katı sistemlerinde böyle bir durum gözlenmektedir. Eğer temas açısı $90^o$ `den büyükse; curuf, refrakter yüzeyi üzerinde damlalar şeklinde kalacak ve ıslanma olayı meydana gelmeyecek yani refrakter korozyonu az oranda gerçekleşecektir [9].

Sıvı-katı sistemlerinde sıvının bir kılcal boşluk içerisine sızma derinliğini gösteren temel denklem aşağıdaki gibidir;

$$h = \frac{2\,\gamma \cos\theta}{r\,\rho\,g}$$

Burada,

h = sızma derinliği

θ = sıvı-katı temas açısı

γ = sıvının yüzey gerilimi

r = kılcal boşluğun yarıçapı

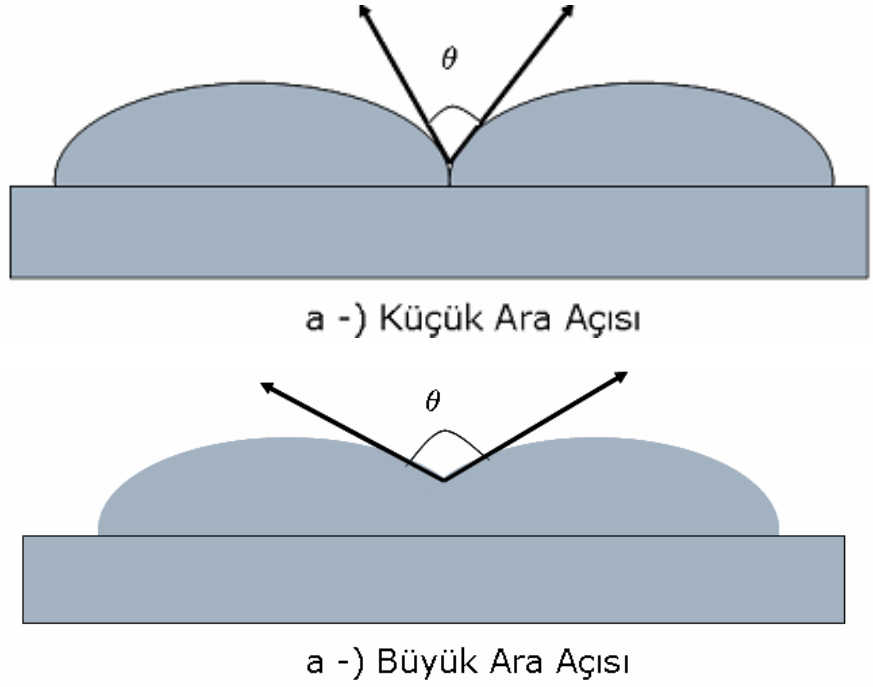
ρ = sıvının yoğunluğu

g = yerçekimi ivmesi

Bu denklem, curuf penetrasyon derinliğinin; curuf yüzey gerilimi, curuf yoğunluğu ve curuf ile tuğla arasındaki temas açısının bir fonksiyonu olduğunu göstermektedir [9].

2)Curufun gözeneklere dolması: Curuf-refrakter ara yüzeyinde ıslanma gerçekleştikten sonra, curuf refrakterin yüzeyindeki açık gözeneklerden içeriye sızmaya başlar. Bu aşamada, refrakterin açık porozite yüzdesi önemli rol oynar ve porozite düştükçe curuf etkileşimine direnç artar [9].

3)Refrakter tanelerinin curuf tarafından korozyonu: Refrakterin gözeneklerinden içeri sızan curufun etkisi ile refrakter tanesinin yüzey gerilimleri arasındaki açı belirleyici olmaktadır. Şekil 4.2-a `da verildiği gibi, ara açısı (θ) küçüldükçe tanelerin curufla teması artacaktır. Ara açısının $0^o$ `ye yaklaşması durumunda, curuf iki tane arasına ince bir tabaka halinde girmiş olacak ve taneleri hızla birbirinden ayıracaktır. Şekil 4.2-b `de taneler arası açının büyümesi, taneler arasındaki katı-katı bağ yapısını geliştireceği için curuf direncinin yüksek olmasını sağlayacaktır [10].

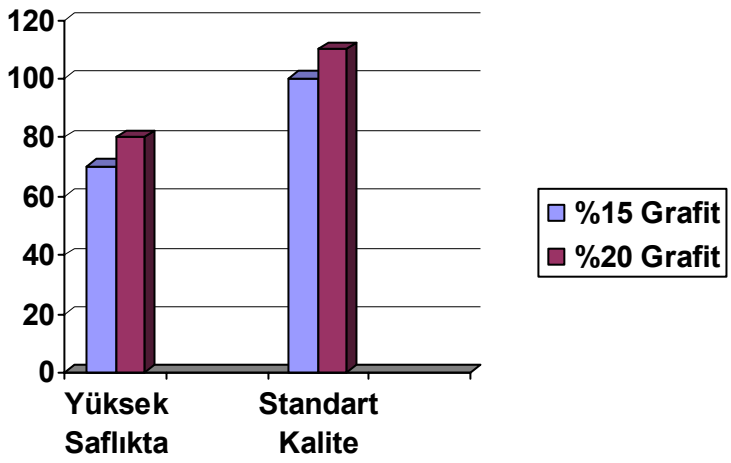


Şekil 4.2 Refrakter tanelerinin ara açısının şematik gösterimi [9].

Refrakterlerin sıvı metal veya curuf ile korozyonunu etkileyen parametrelerin başında sıcaklık gelmektedir. Sıcaklığın yükselmesi, curufun viskozitesini düşürmenin yanı sıra reaksiyonun hızını artırarak etkileşimin hızlanmasına neden olmaktadır. Curufun kimyasal bileşiminin refrakter aşınmasında önemli bir yeri vardır. Aynı zamanda ergime sıcaklığını, ötektik noktaya kadar düşürecek bileşimler ve bünyede bulunan curuf fazı etkisi yapan ikincil fazların miktarları da refrakter aşınmasını olumsuz yönde etkilemektedir. Refrakter malzemesinin etkileri açısından bakıldığında, kimyasal karakterinin yanında porozitesi de önemli bir özelliktir. Yüksek poroziteli tuğlalardan örülen bir astarın bünyesine sıvı metal veya curuf hızla nüfuz eder ve reaksiyon yüzeyi hızla malzemenin derinliklerine ilerler. Bu nedenle refrakter malzemenin üretiminde porozitenin minimum olacağı şekilde, tane iriliği dağılımının optimize edilmesi ve şekillendirme sırasında maksimum yoğunluğun elde edilmesi gerekmektedir [9].

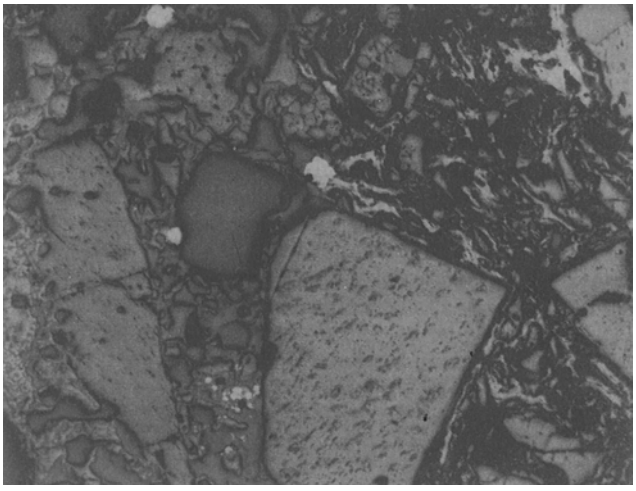
Magnezya-grafit refrakterlerde curuf korozyonunu, hem malzemelerin kalite ve içerikleri ile metalik tozların miktar ve türü etkilemektedir. Magnezya-grafit refrakterlerin curuf korozyonu direnci ve performanslarında önemli artışlar, özel kalite refrakterler kullanılarak sağlanabilmektedir Şekil 4.3 `de standart kalite ve özel kalite refrakterlerin korozyon direnci arasındaki farklar gösterilmektedir. Standart kalite magnezya-grafit refrakter sinter magnezya içeren %97 MgO ve %90-95

karbon içeren grafitten oluşmaktadır. Özel kalite magnezya-grafit refrakter ise yüksek saflıkta ve yoğunlukta sinter magnezya içeren %99 MgO ve %99 karbon içeren grafitten oluşmaktadır [6].



Şekil 4.3 Standart ve yüksek kalite magnezya-grafit refrakterlerin nisbi korozyon dirençleri [6].

Erimiş magnezyanın curuf korozyon direnci sinter magnezyaya göre daha iyidir. Şekil 4.4 `de magnezya-grafit tuğlanın sıcak yüzeyinin curuf tarafından bozunması görülmektedir. Sinter taneleri curufta çözünürken, erimiş magnezya taneleri curufa çok iyi direnç göstermiştir [6]



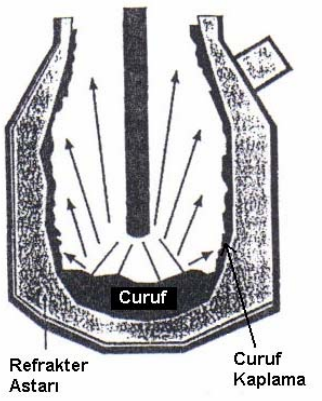
Şekil 4.4 Magnezya grafit tuğlanın sıcak yüzeyinin curuf tarafından bozunmasına ait mikroyapı fotoğrafı [6].

5. REFRAKTER ÖMRÜNÜ ARTIRMA İŞLEMLERİ

BOF astar ömrünü artırma çalışmaları, astarı oluşturan refrakter tuğlalarının aşınma mekanizmalarına karşı direnci artırmayı hedefleyen çeşitli uygulamaları içerir. Çelik yapım konverterlerinin sahip oldukları teknoloji ve üretilen çelik çeşitleri bu uygulamalardan hangilerinin bir arada kullanılabileceğini belirleyen önemli konulardır. BOF astar ömrünü artırma çalışmalarının bir kısmı kullanılan refrakter tuğlalarının özellikleri ile ilgili iyileştirmeleri kapsar iken refrakter ömrünü önemli ölçüde artıran faaliyetler ise temelde curuf yönetimini esas alan uygulamaya dönük pratiklerdir.

5.1 Curuf Püskürtme

Curuf püskürtme yönteminin denemelerini 1992 yılında ilk defa LTV `nin Indiana Harbour fabrikaları gerçekleştirmiş ve konverter astar ömürlerinde rekor döküm sayılarına ulaşmışlardır. Curuf püskürtme, BOF konverter astar ömrünü artırmanın basit ve efektif bir yöntemidir. Konverterden, hazırlanan döküm çelik potasına boşaltıldıktan sonra, 2–4 dk. süre ile yüksek basınçta azot üflenerek konverterde kalan uygun özelliklerdeki curufun konverter duvarlarının üzerine püskürtülmesi işlemidir. Şekil 5.1 `de curuf püskürtme işleminin şematik gösterimi verilmektedir [7,11].



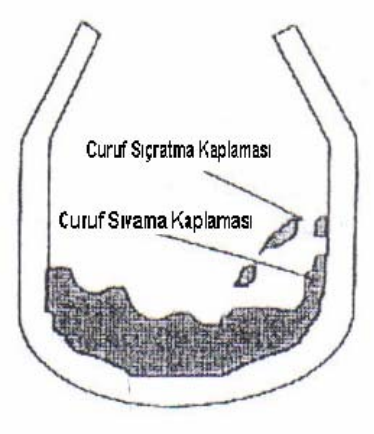
Şekil 5.1 Curuf püskürtme işleminin şematik gösterimi [7]

Duvarlarda katılaşan curuf, refrakter malzeme gibi davranan bir katman oluşturur. Aşınma mekanizmaları bu tabakada gerçekleştiğinden astar refrakterinin aşınması önemli ölçüde yavaşlamaktadır [11].

Curuf kaplama elde edilebilmesi için gaz akışı, lans yüksekliği, curuf bileşimi önem arz etmektedir. Kaplamanın yeterli korumayı sağlaması ise ergitme sıcaklığı ve curufun minerolojik yapısına bağlıdır [7].

5.1.1 Curuf Püskürtme Mekanizmaları

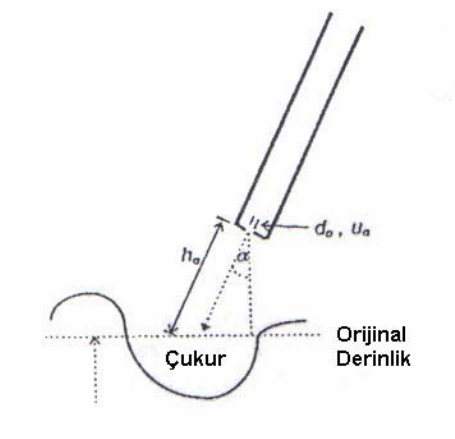
Fiziksel modelleme esaslı çalışmalarda, curuf püskürtmenin Şekil 5.2 `de verildiği şekilde 'curuf sıvama kaplaması' ve 'curuf sıçratma kaplaması' ndan oluşan en az iki mekanizmayı içerdiği tespit edilmiştir [7].



Şekil 5.2 Curuf sıçratma kaplaması ve curuf sıvama kaplaması mekanizmalarının şematik gösterimi [7]

5.1.1.1 Curuf Sıvama Kaplaması

Curufun kütlesel hareketi sonucunda oluşan ve curuf seviyesine nominal harekete sebep olarak refrakterin curuf ile kaplanmasını sağlayan mekanizmadır. Şekil 5.3 `de curuf püskürtme işlemi esnasındaki curuf hareketi gösterilmiştir [7].



Şekil 5.3 Curuf püskürtme işlemi esnasında gerçekleşen curuf hareketi [7].

Curuf sıvama kaplaması çeşitli faktörlerin etkisi altındadır. Bu faktörler aşağıdaki şekilde sıralanabilir [7].

- Fışkırma (püskürme) karakteristikleri (momentum akış hızı, lans yüksekliği ve açısı, nozullar v.b.).
- Curuf özellikleri (viskozite, yoğunluk).
- Geometri (curuf aspect oranı, şekil), çukur ve dalga oluşumu.

Dikleşen bir dalga oluşmakta ve bu dalganın her iki mekanizmaya da etkisi bulunmaktadır. Curuf sıvama kaplamasının maksimize edilebilmesi için bu dalganın konverter astar duvarlarına ulaşması temin edilmelidir [7].

5.1.1.2 Curuf Sıçratma Kaplaması

Krater oluşumu ve tahriki sonucunda yüksek hıza sahip gaz çıkışları olur. Şekil 5.3 `de görüldüğü gibi krater derinliği kritik uzunluğa ulaştığında curuf kabarcıkları sıçramaya başlar. Hız ve fışkıran curufun açısı aşağıdaki etkenlere bağlıdır.

- Fışkırma (jet) karakteristikleri (momentum, akış hızı, yükseklik, açı ve nozullar).
- Çukurun doğası.

Kabarcığın (damlanın) curuftan ayrılış noktasında atalet kuvveti ($F_I=0,5\pi d^3_D\rho u^2/4$), arayüzey kuvveti ($F\gamma=\pi\gamma d_D$) ve gravitasyon kuvveti ($F_g=\pi d^3_D\rho g/4$) arasında, 5.1 no`lu bağıntıda verilen şekilde bir denge bulunduğu rapor edilmiştir [7].

$$F_I = F\gamma + F_g \cos\beta \qquad (5.1)$$

b = Dikey ile gravitasyon vektörü arasındaki açı.

u = Gaz hızı (velocity)

g = Curufun yüzey gerilimi

r = Curuf yoğunluğu

d_D = Kabarcık çapı.

Kuvvetlerin denge hali 5.2 bağıntısında aşağıdaki şekilde verilebilir.

$$0,5\ \pi\ d^3_D\ \rho\ u^2 / 4 = (\pi\ \gamma\ d_D + \pi\ d^3_D\ \rho\ g / 4) \cos\beta \qquad (5.2)$$

Buradan da kabarcık çapı 5.3 bağıntısı ile aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

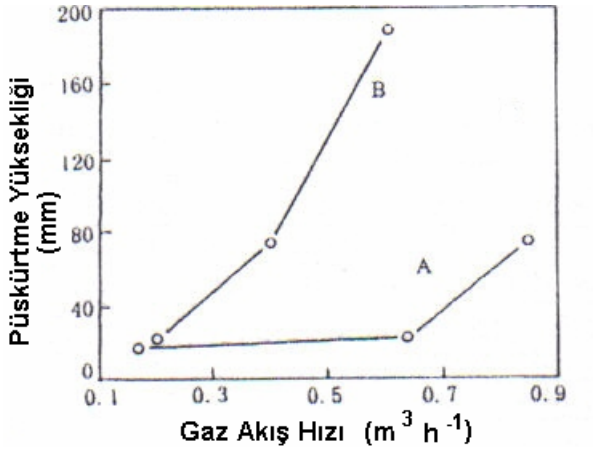
$$d_D = (3 / 8)\ u^2 / g \cos\beta\ (1 - [\ 1 - 128\ \gamma\ g \cos\beta / 3\ \rho\ u^4\ ]\ ) \qquad (5.3)$$

5.1.2 Üfleme Karakteristiklerinin Curuf Püskürtmeye Etkisi

Curuf püskürtmeye etki eden işletme pratiklerine ait çeşitli faktörler aşağıda değişik başlıklar altında incelenmektedir.

5.1.2.1 Gaz Akış Hızı (Q_g, $m^3\ s^{-1}$)

Azot (N_2) üflenerek püskürtülen curuf miktarı gaz akış hızının artması ile artar. Bu durum, su ile yapılan modelleme, laboratuar simülasyon testleri ve fabrika dataları ile açıkça gösterilmiştir. C/S oranı 3,6 ve 2,5 olan iki farklı curuf bileşimi ile yapılan çalışmalarda, gaz akış hızındaki artış ile konverterin tüm kısımlarında curuf katmanı oluşum miktarında artış olduğu gösterilmiştir. Bu etki Şekil 5.4 `de net bir şekilde görülmektedir. Bununla birlikte konverterin alt kısmındaki curuf katmanı artışı üst kısma göre daha fazla olmaktadır [7].

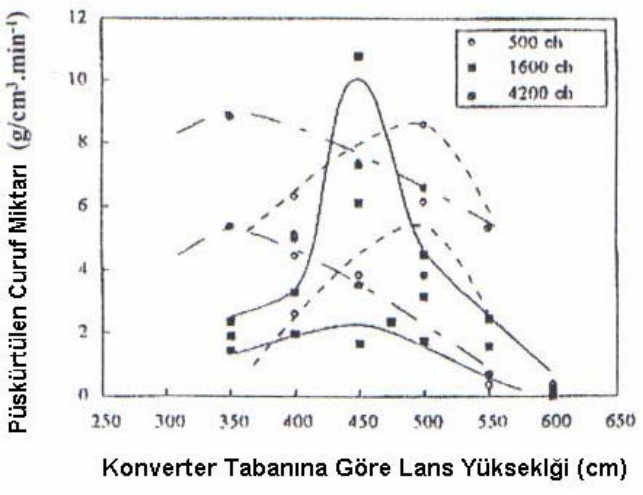


Şekil 5.4 Sırası ile C/S oranı 3,6 olan A ve 2,5 olan B curuf numunelerine ait curuf püskürtme yüksekliklerinin gaz akış hızına bağlı değişimi [7].

5.1.2.2 Lans Yüksekliği

Lans yüksekliği, curuf tabakasının üst seviyesinden itibaren (h) olarak ya da konverter tabanından itibaren ($h + H_{curuf}$) olarak tanımlanmaktadır. Lans yüksekliğinin curuf püskürtme işleminde kayda değer etkisi bulunmaktadır. Lans yüksekliğinin curuf püskürtme işlemine etkileri ile ilgili aşağıdaki gözlemler yapılmıştır.

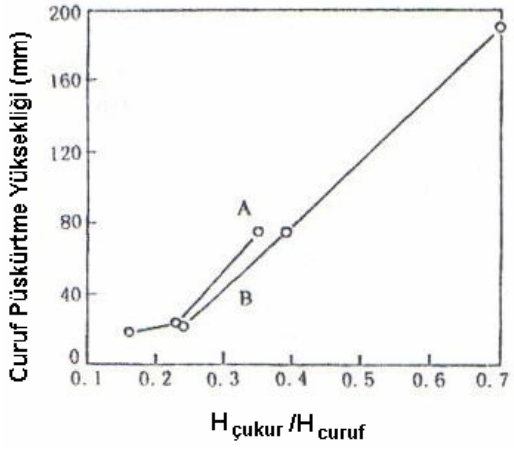
- Lans yüksekliği çukur şekli ve oluşan curuf dalgasını etkilemektedir.
- Lans yüksekliğinin düşürülmesi, daha az curuf yıkama ve fırlatma sonucunu veren çukur oluşan kısımda daha geniş resirkülasyon bölgesine sebep olur.
- Bir seviyeye kadar lans yüksekliğinin (h) artırılmasının püskürtülen curuf miktarının artmasına sebep olduğu bulunmuştur. Şekil 5.5 `de verilen sonuçlardan, en uygun lans yüksekliğinin h = 1,15 m ve $h+H_{curuf}$ = 4,5m olduğu görülmektedir..



Şekil 5.5 Püskürtülen curuf miktarının lans yüksekliği ile değişimi [7].

- Lans yüksekliğinin artırılması konverterin alt kısmında püskürtülen curuf miktarını artırırken, konverterin üst kısımlarında ise püskürtülen curuf miktarını ise azalmıştır. Lans yüksekliğinin artırılması jet darbe bölgesinin konverter duvarlarına doğru yaklaşması sonucunu doğurmaktadır. Bu sebeple konverterin alt kısımlarına çarpan curuf miktarı artarken tepe bölgelerine çarpan curuf miktarı azalmış olmaktadır.

Püskürtülen curuf yüksekliği, Şekil 5.6 `da gösterildiği gibi jet nüfuzuna ($h_{çukur}$ / H_{curuf}) bağlıdır [7].



Şekil 5.6 Jet nüfuzu ile püskürtülen curuf miktarının değişimi [7].

Lans yüksekliği için optimum seviye (h_{opt}) gaz akış hızı (Q `nun yükselmesi ile h_{opt} yükselmekte) ve curuf derinliğine bağlıdır. Lans yüksekliğinin optimum seviyenin altında ya da üstünde olması durumunda farklı sebepler ile aynı olumsuzluklar

gerçekleşmektedir. Eğer lans yüksekliği optimum seviyenin altında ise, gaz basıncı konverterin taban kısmına nüfuz eder. Bu durum enerji kaybına ve püskürtülen curuf miktarının azalmasına sebep olmaktadır. Lans yüksekliği optimum seviyenin üstünde ise gaz hızı azalmakta ve bu durumda enerji kaybı ve püskürtülen curuf miktarının azalmasına sebep olmaktadır Fabrika pratiklerinde optimum lans yüksekliği modelleme çalışmalarına göre daha düşük olma eğilimindedir. $h_{fabr\ opt} / h_{model\ opt}$ oranı 0,90 ± 0,05 değerlerindedir [7].

5.1.2.3 Lans Karakteristikleri

Lansta bulunan nozul sayısının artırılmasının, merkezi kısımda daha az curuf püskürtülmesine sebep olmakla birlikte curuf püskürtme işleminin daha homojen (uniform) olmasını sağlamaktadır [7].

İkincil nozula sahip lanslarda püskürtülen curuf miktarı, ikincil nozula sahip olmayan lanslara göre, bir miktar azalmaktadır. Lansta çok sayıda nozulun bulunması, belirli nozulların kapatılarak curuf püskürtme işleminin seçime bağlı yapılabilmesine imkan vermektedir [7].

5.1.2.4 Lans Açısı

Lans dikey ile α açısı oluşturacak şekilde eğildiğinde aşağıdaki etkiler ortaya çıkmaktadır [7].

- Daha büyük kayma gerilmeleri oluşturur.
- Oluşan çukur ve dalga şeklini değiştirir.
- Her iki curuf püskürtme mekanizmasında da transfer edilen curuf miktarında artışa sebep olur.
- Curuf püskürtme hızının dikey bileşeninde azalmaya sebep olurken yatay bileşeninde artışa sebep olması sonucu yan duvarlara çarpan curuf miktarında artışa sebep olur. Dikey bileşendeki azalma konverterin daha üst kısımlarına daha az curuf püskürtülmesine sebep olurken, yatay bileşendeki artışın etkisi sayesinde toplamdaki püskürtülen curuf miktarında artış olmaktadır.

Lans açısı α `nın 45^o olduğu durumda püskürtülen curuf miktarı maksimum olmaktadır. Lanstaki nozul sayısının artırılması ve lans açısının optimizasyonu ile curuf kaplama tabakasının uniform özelliği geliştirilebilir [7].

5.1.2.5 Nozul Tasarımı

Lanstaki nozul açısının püskürtülen curuf miktarında çok küçük bir etkiye sahip olduğu ortaya çıkmıştır. Küçük nozul açısı kullanıldığında konverterin koni kısmına püskürtülen curuf miktarı çok az artmaktadır. Optimum nozul tasarımı konverter yapısına bağlıdır. 12^o nozul açısının, 14^o nozul açısına göre konverterin üst kısımlarında daha çok curuf kaplanmasına neden olması sebebi ile en uygun tasarım olduğu kabul edilmektedir [7].

5.1.2.6 Banyo / Curuf Yüksekliği (H_{curuf})

Banyo seviyesindeki artış, curufun ulaşım mesafesini kısalttığından, konverterin her bölgesinde curuf kaplama miktarının artışına sebep olmaktadır. İyi bir curuf püskürtme elde edilebilmesi için banyo seviyesinin belirli bir kritik değeri aşması gerekmektedir. Curuf derinliğini göstermek için, K = curuf ağırlığı / çelik ağırlığı, şeklinde boyutsuz bir parametre belirlenmiştir. Optimum K değerinin 0,11 (ya da %11) olması gerekmektedir [7].

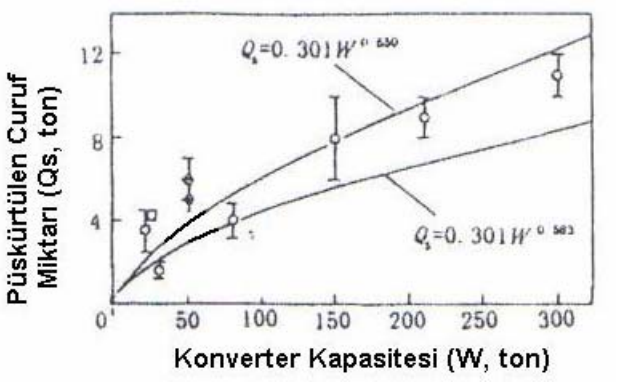
5.1.2.7 Konverter Boyutu

Konverter çalışma astarında yeterli miktarda sıvama yapılmasına olanak sağlayacak püskürtülen curuf miktarı (Q_{curuf}, ton), 5.4 numaralı bağıntıda verildiği şekilde konverter boyutuna (W, ton) bağlıdır [7].

$$Q_{curuf} = 0{,}301W^n \qquad (5.4)$$

n = 0,583 ila 0,650 arasında değişmektedir.

Konverter boyutu ile yeterli miktarda sıvama yapılabilecek curuf miktarı arasındaki ilişki Şekil 5.7 `de verilmektedir.



Şekil 5.7 Konverter kapasitesine bağlı olarak konverter için püskürtülmesi gerekli curuf miktarı [7].

5.1.2.8 Sıcaklık (Superheat, ΔT)

Sıcaklık farkı (Superheat) (ΔT) şeklinde tanımlanan sıcaklık, çeliğin döküm sıcaklığı (T_{tap}) ile son curufun likidus (T_{liq}) sıcaklığı arasındaki farktır ($\Delta T = T_{tap} - T_{liq}$). Sıcaklık farkı, koruyucu curuf tabakası kalınlığını belirlediğinden önemlidir. Daha yüksek bir sıcaklık farkı daha ince curuf tabakası sonucunu doğuracak ve bu da koruyucu curuf tabakasının daha hızlı şekilde yeniden erimesine neden olacaktır. Normalde sıcaklık farkı 260 ^oC civarındadır. Genellikle $\Delta T>200$ ^oC olduğunda, curuf iyi akışkanlık özelliğine sahiptir. $\Delta T>300$ ^oC ise curufu soğutmak için dolomit şarj etmek ve bu sayede curuf püskürtülmüş tabakada bulunan yüksek sıcaklıkta ergiyen fazların miktarını artırmak gerekmektedir [7].

5.1.2.9 Alttan Karıştırma

Alttan karıştırma, lans yüksekliğinin (h) belirli kritik bir değeri aşmasını sağlamakta ve püskürtülen curuf miktarında az miktarda artış sağlamaktadır. Alttan karıştırma ile püskürtülen curuf miktarı arasında 5.5 no`lu bağıntı mevcuttur [7].

$$Q_{curuf}\,\rho_{curuf}\,(g\,m^2\,s^{-1}) = -2{,}005 + 3{,}202\,Q_B - 0{,}156\,Q^2_B - 0{,}093\,Q_B h + 7x10^{-4} + 0{,}0627\,h + 0{,}0011\,h^2 \qquad (5.5)$$

Q_B = Alttan karıştırma gaz akış hızı ($Nm^3\,h^{-1}$)

h = Lans yüksekliği (mm)

Alttan karıştırma püskürtülen curuf miktarını artırmanın yanısıra şarj duvarı, muylu bölgeleri gibi seçimli curuf püskürtülmesine de yardımcı olmaktadır [7].

5.1.3 Curuf Özelliklerinin Curuf Püskürtmeye Etkisi

Curuf püskürtmenin başarılı sonuç vermesi için, curufun hem yüksek sıcaklıkta ergiyen hem de düşük sıcaklıkta ergiyen fazlardan oluşması gerekmektedir. Yeterli özelliklere sahip bir curuf, duvarlardan aşağı ve porlardan içeri doğru akma eğiliminde olan düşük sıcaklıklarda ergiyen faz ile refrakterler için gerekli korumayı sağlayan yüksek sıcaklıkta ergiyen fazlar olmak üzere, iki tür faz içermelidir. Düşük sıcaklıkta ergiyen fazlar, FeO fazında zengin olarak bulunma eğiliminde olup yapıdaki Kükürt `ün (S) büyük çoğunluğunu içermektedir. Yüksek sıcaklıkta ergiyen fazlar $CaO.Fe_2O_3$ formunda % 10-15 FeO içerme eğilimindedir. Bu yapıdaki fazlarda MgO içeriği artma ve CaO/SiO_2 oranı ise 2,5 olma eğilimindedir. Curuf ara yüzeye yapıştığında, yüksek sıcaklıkta ergiyen faz oluşturmak için MgO ile reaksiyona girer. $MgO.Fe_2O_3$ ve Mg.Fe spinel fazları ile düşük sıcaklıkta ergiyen bir bağlayıcı oluşur [7].

5.1.3.1 Curufun Kimayasal ve Minerolojik Yapısı

Başarılı curuf püskürtme sonuçları elde etmek için, son curufun kimyasal ve minerolojik yapısının ayarlanması gerekebilir. Curuf kompozisyonunun ayarlanması genellikle, FeO_x ve MgO konsantrasyonu olmak üzere iki bileşim üzerinde yoğunlaşır [7].

En iyi sonuçların, curufun MgO ile doyurulduğunda elde edildiği rapor edilmiştir. Curufta fazla oranda MgO bulunmasının,

- Isı yalıtımı ve refrakter astarının korunmasında etken olan yüksek sıcaklıkta ergiyen fazların miktarının artırılması,
- Curuf viskozitesinin artırılması

hususlarına faydaları bulunmaktadır. Curufun MgO ile doyurulması uygulamada, azot üflemesinin erken safhalarında manyezit ya da dolomit verilmesi şeklinde gerçekleştirilmektedir [7].

Curuftaki FeO oranı da üzerinde çalışılması gereken bir husustur. FeO,

- Curufun ergime sıcaklığı ve viskozitesinin düşürülmesi,
- Curufun refrakter ile yapışmasını sağlayan ve bir bağlayıcı gibi hareket eden düşük sıcaklıkta ergiyen fazların miktarının artırılması,

eğiliminde katkıda bulunmaktadır [7].

Yüksek sıcaklıkta ergiyen fazlar $3CaO.SiO_2$ (ya da C_3S), MgO `ca zengin faz C_2S ve magnezyum ferrit $MgO.Fe_2O_3$ (ya da MF) yapısında fazlardır.

Düşük sıcaklıkta ergiyen fazlar ise ergime noktası 1216 ^oC olan CF ve ergime noktası 1440 ^oC olan C_2F Kalsiyum ferritlerdir.

Eğer curuftaki FeO oranı çok yüksek ise, %50MgO-%50FeO şeklinde ya da %70MgO-%30 şeklinde karbon ilave edilerek FeO oranı düşürülür. Curuftaki en uygun FeO oranı, düşük karbonlu çelik yapım konverterleri için %13 mertebesindedir [7].

5.1.3.2 Likidüs Sıcaklığı (T_{liq})

Curufun likidüs sıcaklığı farklı şekillerde önem arz etmektedir [7].

- Curuf tabakasının, BOF prosesi süresince curufun ataklarına karşı konverter astarını koruyabilmesi için, yeterli miktarda yüksek sıcaklıkta ergiyen faza sahip olması gerekmektedir.
- Düşük sıcaklıkta ergiyen fazlar, BOF prosesi esnasında, ergiyerek curuf tabakasından uzaklaşmak suretiyle tabaka kalınlığını azaltma eğilimindedir.
- Curufun püskürtülmesi esnasında, curufun ara yüzeye yapışmasına kadar geçen sürede donmadan hareket etmesi gerekmektedir.
- Eğer likidüs sıcaklığı çok yüksek ise, curufun uniform olarak dağılımı gerçekleşmemekte ve konverter tabanında yükselme eğilimi görülmektedir.

Daha önce de belirtildiği gibi, iyi bir curuf püskürtme işlemi için yüksek sıcaklıkta ergiyen fazlar ile düşük sıcaklıkta ergiyen fazların curufta uygun

dengesi gerekmektedir. Ergime sıcaklıklarının ölçümü iki şekilde yapılabilmektedir [7].

- Diferansiyel Termal Analizler (DTA) ya da sıcak termokupullar yöntemleri ölçüldüğünde, likidüs sıcaklığı (T_{liq}) ile ergime sıcaklıkları rapor edilmiştir.

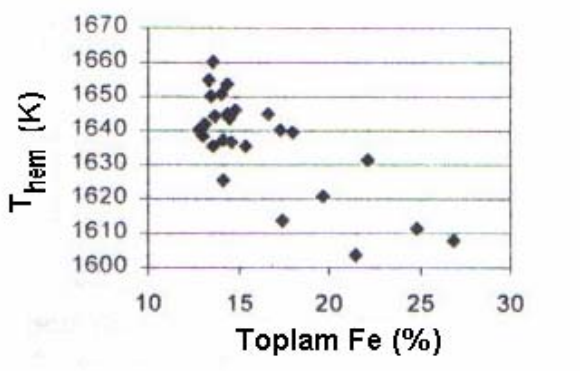
- İkinci olarak ise silindir şeklindeki curufun preslenerek ulaşılan yarım küre yapısını temel alan deney yöntemidir. Bu deney yönteminde Yarım Küresel Sıcaklık (T_{hem}) ölçülmektedir. Yükseklikteki düşüş, curufun ergime sıcaklık aralığının ölçülmesinde kullanılmaktadır.

$$R = 1 - (H_T - H_o) \qquad (5.6)$$

H_o silindirin ilk yüksekliği, H_T ise silindirin T sıcaklığındaki yüksekliğidir. Genellikle $T_{liq} - T_{hem} = + 60 \pm 10\ ^oC$ şeklinde gerçekleşmektedir.

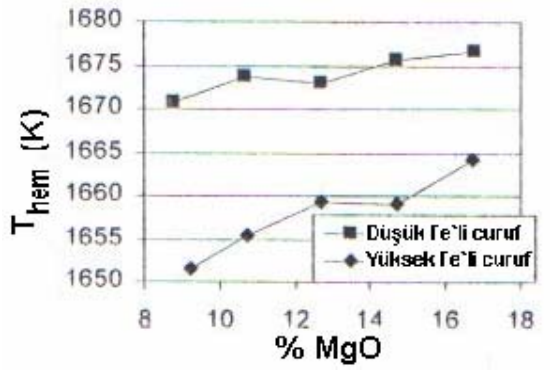
5.1.3.3 Değişik Curuf Bileşenlerinin T_{hem} `ye Etkisi

Değişik curuf bileşenlerinin T_{hem} üzerindeki etkisi aşağıda şekiller ile verilmektedir. FeO içeriğinin % 0-15 aralığında olduğu durumlarda FeO ilavelerinin T_{hem} `de keskin düşüşe sebep olduğu rapor edilmektedir. Bununla birlikte % 15-30 aralığındaki FeO içeriğinde gerçekleşen FeO artışı ise $T_{hem}$ `de -5 ^oC `lik düşüşe neden olmaktadır (Şekil 5.8). Şekil 5.8 `de görüldüğü gibi, curuf yüksekliğindeki düşüş olarak tanımlanan ergime aralığının, FeO içeriğinin < %15 olduğu durumlarda yükseldiği bulunmuştur [7].



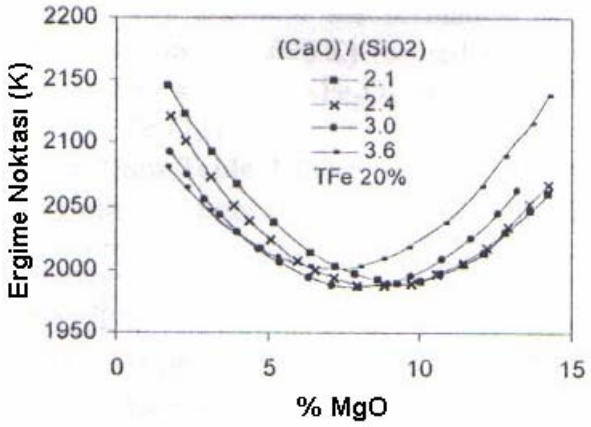
Şekil 5.8 Curuftaki Fe içeriğinin T_{hem} sıcaklığına etkisi [7].

%9 ila 17 aralığında MgO içeriği için, MgO ilavelerinin T_{hem} `de + 1 $^{o}$C `lik artışa sebep olduğu ölçülmüştür (Şekil 5.9). % 8-9 MgO içeriğinde t_{liq} minimum olmakta, MgO içeriğinin bu oranların üzerine çıkması ile birlikte ise T_{liq} `de + 10 $^{o}$C `lik artışa sebep olmaktadır.



Şekil 5.9 T_{hem} sıcaklığının curuftaki % MgO içeriği ile değişimi [7].

Şekil 5.10 `da, % 20 FeO ve % 8 MgO `nun üzerinde MgO içeren curufta, baziklik oranının (CaO / SiO_2) artması ile ergime sıcaklığının arttığı görülmektedir [7].



Şekil 5.10 %20 Fe ve 2,1 – 3,6 arasında BO `na sahip curufların MgO içeriklerinin likidüs sıcaklığına etkisi [7].

5.1.3.4 Viskozite (η)

Yapılan pek çok araştırmanın sonucuna göre, curuf viskozitesinin düşüşü ile püskürtülen curuf miktarı artmaktadır. Curuf viskozitesinin etkisi aşağıda maddeler halinde verilmektedir [7].

- Düşük viskozite değeri görece olarak daha fazla kitlesel curuf hareketine ve daha az kararlı çukurlara sebep olacak. Bu durumda ise püskürtülen curuf miktarı artmış olacaktır.

- Viskoz sıvıları bulundukları yerden ayırmak için daha büyük kuvvete ihtiyaç duyulacağından, özellikle jet yakınındaki merkezi kısımda olmak üzere toplam püskürtülen curuf miktarında azalma olacaktır.

- Curuf viskoziteye sahip curuflar duvarlardan aşağı doğru daha hızlı akma eğilimindedir.

- Kuru curuflar duvarlara iyi yapışmamaktadır.

Birim alana püskürtülen curuf miktarı (A) ile kinematik viskozite ($v = \eta / r$) arasında 5.7 no`lu bağıntıda verilen ilişki bulunmaktadır.

$$A\ (g\ m^2\ s^{-1}) = -2{,}415 + 0{,}356v - 4x10^{-4}v^2 - 0{,}445h + 8{,}8x10^{-3}h^2 - 7{,}1x10^{-3}vh \quad (5.7)$$

v = Kinetik viskozite ($10^{-6}\ m^2\ s^{-1}$)

h = Yükseklik (mm)

5.1.3.5 Yoğunluk (ρ)

Curuf yoğunluğunun artması ile püskürtülen curuf miktarının azaldığı rapor edilmiştir. Kabarcık oluşumunu karakterize etmek amacı ile kullanılan Momentum sayısı (jet momentum oranı / yerinden çıkarılan sıvının ataleti) ve Weber sayısı (momentum yoğunluk oranı / sıvı özellikleri), sırasıyla ($1/\rho_1$) ve ($1/\rho_1^{0,5}$) şeklinde yoğunluğa bağlıdır. Yoğunluk, düşen sıcaklıkla az miktarda artar [7].

5.1.3.5 Yüzey Gerilimi (γ) ve Temas Açısı

Yüzey gerilimin artmasının püskürtülen curuf miktarında azalmamaya neden olduğu bulunmuştur. Kabarcık oluşu ile ilgili modelleme çalışmalarında sıklıkla kullanılan boyuttan bağımsız Weber ve Morton sayıları, sırasıyla $(1/\gamma)^{0,5}$ ve $(1/\gamma)^{0,3}$ şeklinde yüzey gerilimine bağlıdır. Soğuk modelleme çalışmaları sonucunda, yüzey geriliminin kabarcık boyutuna etki ettiği rapor edilmiştir. Düşük yüzey geriliminde

kabarcıklar daha ince olurken, yüksek yüzey gerilmelerinde ise daha kaba olmaktadır. Curufların yüzey gerilimleri, FeO ve SiO_2 konsantrasyonlarındaki artışlar ile düşmektedir [7].

5.1.4 Püskürtülmüş Curuf Tabakasının Karakteristikleri

Bu bölümde püskürtülen curuf ile astar üzerinde oluşturulan koruyucu curuf tabakasının çeşitli özellikleri ve bu özellikler üzerinde etkili olan hususlar incelenmektedir.

5.1.4.1 Curuf Tabakasının Uniform Özelliği

İdeal olan koruyucu curuf tabakasının konverter duvarlarında uniform olarak tabaka oluşturmasıdır. Konverterin çeşitli bölgelerinde oluşan curuf tabakasına etki eden faktörler Tablo 5. 1 `de verilmektedir [7].

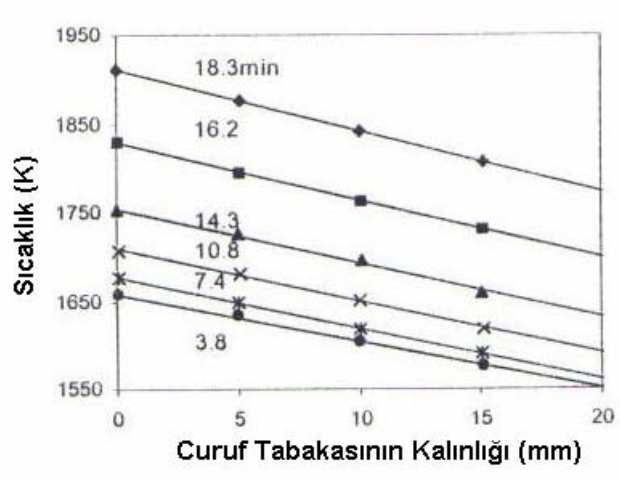
Tablo 5.1 Püskürtülen curuf miktarına çeşitli değişkenlerdeki artışların etkileri. ↑ Artışı, ↓ azalmayı göstermektedir. Ok sayısı ise etkinin şiddetini göstermektedir [7].

↑Parametre	Üst	Orta	Taban	Kenar	Tamamı
Lans Yüksekliği	↓	↑↑	↑↑↑	↑	↑↑
Lans Açısı	↓	↓↓	↑↑↑	↑↑	↑↑
Gaz Akışı	↑↑	↑↑↑	↑↑↑↑	↑↑↑	↑↑↑
Nozul Sayısı	↓	↓↓	↓↓↓	↑↑	↓↓
Curuf Viskozitesi	↓	↓↓	↓↓↓↓	↓↓↓	↓↓↓
Curuf Derinliği	↑	↑↑	↑↑↑	↑↑	↑↑

Konverterin daha aşağı bölgelerinde daha kalın bir kaplama, gaz akış hızını artırarak ya da curuf viskozitesini düşürerek sağlanabilir. Konverterin üst kısımlarında daha kalın bir kaplama yapmak için ise lans yüksekliğini artırmak faydalı olmaktadır. Lansta nozul sayısını artırmak ile muylu bölgeleri v.b. kısımlara seçime bağlı kaplama yapmak mümkün olmaktadır [7].

5.1.4.2 Curuf Tabakası Boyunca Isı Transferi

Cui curuf püskürtülmüş bir astarın değişik kısımlarında ısı transferi ile ilgili çalışmış ve BOF prosesi esnasında değişik zaman ve bölgelerde sıcaklık ölçümleri yapmıştır. Şekil 5.11 `de verildiği gibi oksijen üfleme sırasında curuf tabakası 1823 K `den yukarı sıcaklıkları tecrübe etmektedir. Üfleme başlangıcından yaklaşık 4 dk sonra sıcaklık, kalsiyum ferrit (CF) v.b. düşük sıcaklıkta ergiyen fazların bir miktar dışarı akmasına sebep olacak seviyeye ulaşmış olmaktadır [7].



Şekil 5.11 Üflemenin değişik safhalarında curuf tabakasındaki sıcaklık dağılımı [7].

5.1.5 Curuf Püskürtme Yönteminde Yaşanan Problemler

Curf püskürtme işlemi esnasında yaşanan bazı problemler aşağıda detaylı olarak incelenmektedir.

5.1.5.1 Lans Skallanması

Curuf püskürtme işleminde kullanılan curuf içerisinde bir miktar metal kalmış ise, lans skallanması özellikle şiddetli gerçekleşir. Skallanma ısı transferi ile ilişkili bir problem olarak görünmektedir. Bununla birlikte, lansın yeterli su soğutma sistemi bulunması veya oksijen üflemede kullanılan lansın soğuk lans ile değiştirilmesi durumunda bu durum önemli bir problem olmamaktadır. Curuf püskürtme için farklı fakat oksijen üflemede kullanılan lansa çok benzer bir lans kullanılması önerilmektedir [7].

5.1.5.2 Konverter Ağzı Skallanması

Uzun bir astar ömrü için konverterin ağız kısmındaki skalların uzaklaştırılmasının gerekmektedir. Oksijen üfleme ile skallar uzaklaştırılabilmekle birlikte esas olan lans yüksekliğinin iyi ayarlanması ile skal oluşumunun önüne geçmektir [7].

5.1.5.3 Tüyer Tıkanmaları

Tüyerlerin tıkanmaları durumunda çeliğin döküm C değeri daha yüksek olmaktadır. Bu da BOF prosesinde istenilmeyen bir durumdur. Alttan üflemeli konverterlerde tüyer tıkanması, tüyerlere doğru gaz basıncı ve akış hızını artırarak önlenebilir. Gaz akış hızı için yeterli değer 350 m^3h^{-1} olarak hesaplanmış 700 m^3h^{-1} hızının ise bir gelişim sağlamadığı tespit edilmiştir [7].

5.1.5.4 Metal / Curuf Tespiti Yapan Sensörlere Etkisi

Sensörler, çeliğin dökümü esnasında curufu tespit etmek amacı ile refrakter içerisine gömülmüşlerdir. Curuf püskürtülmüş tabaka, sensör ile sıvı arasında bir ara yüzeye neden olmaktadır. Curuf tanımaya yönelik alternatif çalışmalar geliştirilmiştir [7].

5.1.6 Curuf Püskürtme Yönteminin Faydaları

Curuf püskürtme işleminin faydalarını çelik yapım sürecine olan faydaları ve ekonomik faydaları başlığı altında iki ana grupta toplamak mümkündür.

5.1.6.1 Çelik Yapım Sürecine Faydaları

Curuf püskürtmenin çelik yapım prosesine olan temel katkıları aşağıda maddeler halinde verilmiştir [7].

- Konverter astarları için çok daha uzun refrakter ömürleri sağlamaktadır.
- Konverter verimini artırmakta ve taşmaları azaltmaktadır.
- BOF prosesindeki CaO gereksinimini azaltmaktadır.
- Daha fazla BOF curufunun geri dönüşüne imkan sağlamaktadır.

- Curuf püskürtme uygulandığında sıvı metalin S, P, Mn ve N içeriğinde kayda değer bir değişikliğe rastlanılmaz. Yine curuf püskürtme uygulanan ve uygulanmayan ikili üfleme sistemlerinde üründeki [%C][O] benzer değerlere sahiptir.

5.1.6.2 Ekonomik Avantajları

Öncelikle curuf püskürtme işleminin işletmeye getireceği ek maliyetler aşağıda verilmektedir [7].

- Azot üretimi (komprasör, borulama v.b.) ve tuğla kalınlığı ölçümü amacı ile lazer ölçüm sistemi gibi büyük giderler. İşletmede bu fabrika ve sistemler zaten bulunuyorsa maliyetler azalacaktır.

- Curuf yapısının ayarlanması amacı ile kullanılan MgO içeriği zengin malzemelerin maliyetleri.

- Konverterde taban yükselmesi problemini çözmek için silikon blok ile yıkama ya da oksijen üfleme nedeni oluşan ilave maliyetler.

- Su, enerji, lans skallanması ve azot üflemesi sırasında sıcaklık düşmesi gibi diğer giderler.

Yukarıdaki giderler aşağıda sıralanan tasarruflar ile dengelenmektedir [7].

- Hem çalışma hem de emniyet astarında refrakter malzemesi değişimlerinde malzeme ve işçilikten tasarruf sağlanmaktadır.

- Sıcak tamir malzemesi kullanımında, 2 kg / ton çelik `ten 0,6 kg / ton çelik `e değişen miktarda azalma sağlanmaktadır.

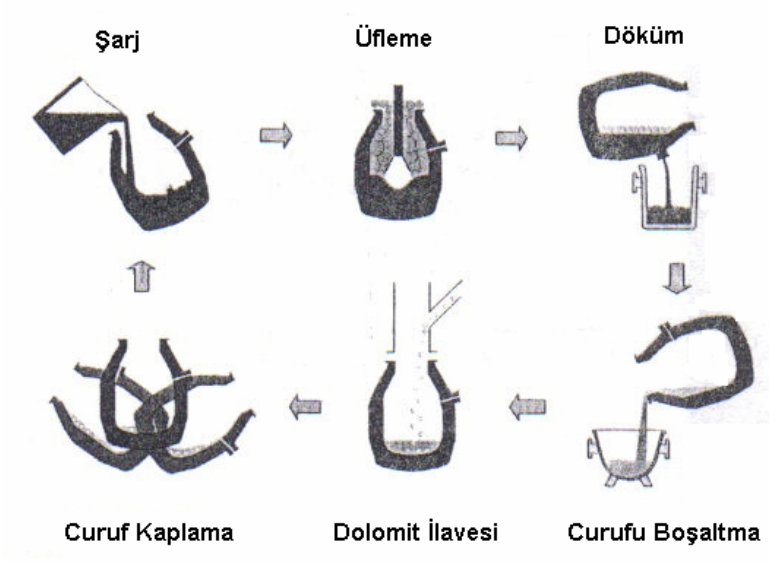
- Kampanya duruş sürelerinin 40 gün/yıl `dan 10 gün/yıl `a ya da 81 gün/yıl `dan 11 gün/yıl `a düşmekte ve konverterin ulaşılabilirlik oranı 78 `ten %97 `ye çıkmaktadır.

- CaO giderleri azalmaktadır.

Curuf püskürtme işlemi için gerekli yatırım miktarı 0,1 ila 1,0 milyon $ arasında değişmekte ve tasarruflar sayesinde aylık geri ödeme 300 000 $ `ları bulabilmektedir. Curuf püskürtme işlemi ile ABD `de ton çelik başına 1,5 $ tasarruf sağlanırken Çin `de bu rakam 0,7 $ olarak gerçekleşmektedir. Azot, refrakter ve işçilik maliyetleri dünyanın değişik bölgelerinde önemli değişiklikler göstermektedir.

5.2 Curuf Sıvama İşlemi

Çalışma astarının curuf korozyonu sebepli aşınmasının önlenmesi amacı ile konverter çalışma astarının uygun özelliklerdeki curuf ile kaplanması yöntemidir Şekil 5.12 `de özet olarak gösterildiği gibi döküm sonrasında, viskozite, sıcaklık, toplam demir içeriği gibi curuf özellikleri dikkate alınarak curufun bir kısmı konverterde bırakılır. Konverterde bırakılan curuf içerisine ham dolomit ilave edilir. Bu sayede curufun MgO içeriği artırılarak, akışkanlığının kontrolü ve soğutulması sağlanır. Konverter çevrilerek uygun akışkanlıktaki curufun konverter duvarlarını kaplaması sağlanmaktadır. [9].



Şekil 5.12 BOF işlem basamakları [12].

Curufa argon ya da azot üflenerek püskürtme yapılamadığı durumlarda uygulanan bu yöntem İSDEMİR `de 2004 yılında tatbik edilmiş; astar ömürlerinde bir miktar artışa sebep olmakla birlikte hedef değerlere ulaşılamamıştır. Azot üfleme mümkün olmadığından araştırmalar sonucunda ham manyezit uygulamasına geçilmiştir. Konverterde üfleme sonrası curufun bileşimindeki MgO içeriğini artırmak için ham

manyezit verilirken, üfleme sonu verilen malzemeyle birlikte curufta köpürmenin sağlanabilmesi için CO_2 kaynağı olarak da kok tozu karışıma ilave edilmiştir. Bu malzemeler döküm sonrasında konvertere hızlı şekilde verilmekte, konverter içerisinde CO_2 çıkışı ile birlikte ani bir parlama olmakta ve uygun bileşimdeki curuf duvarlara sıvanmaktadır.

İyi bir kaplama için curufun köpürme özellikleri önem kazanmaktadır. BOF curufunun viskozite başta olmak üzere yüzey gerilimi, yoğunluk ve kabarcık boyutu gibi fiziksel özellikleri, köpürme dengesinde belirleyici rol oynamaktadırlar [14].

Köpürme özelliklerinin sıvı curufun fiziksel özellikleri yakından ilişkili olduğu çeşitli boyutsal analizler ile ortaya konulmuştur. Çoklu deliğe sahip nozuldan verilen argon gazı ile üretilen küçük kabarcıklı curuflarda, köpürme indeksi denklem 5.8`de verilen şekilde ölçülmüştür [13].

$$\Sigma = 115\ \mu^{1.2} / \sigma^{0,2}\ \rho\ D_b^{0,9} \qquad \textbf{(5.8)}$$

Σ = Köpürme indeksi (sn) σ = Yüzey gerilimi (N/m)

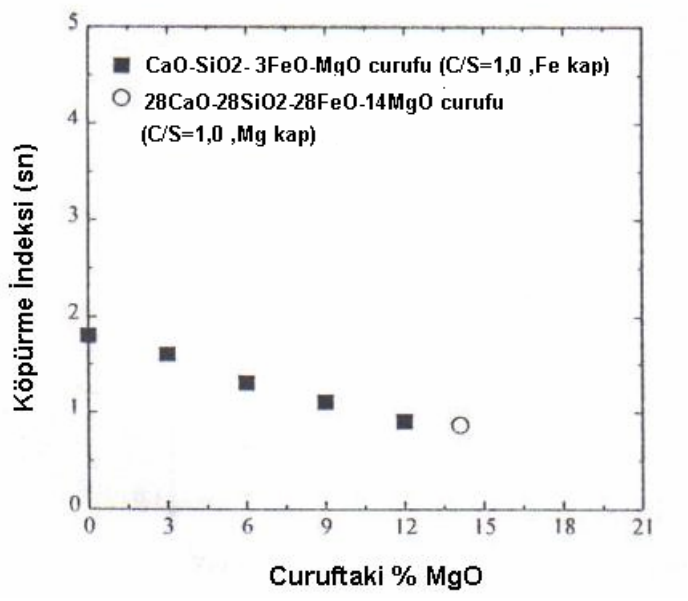
μ = Viskozite (N sn/m^2) ρ = Yoğunluk (kg/m^3)

D_b = Kabarcık çapı (m)

BOF curuflarında köpürme özellikleri üzerinde etkili olan yukarıda belirtilen fiziksel özellikler, curufun içeriği ya da ortam şartlarından dolayı çeşitli değişiklikler gösterir.

5.2.1 MgO İçeriğinin Curuf Köpürme Kararlılığına Etkisi

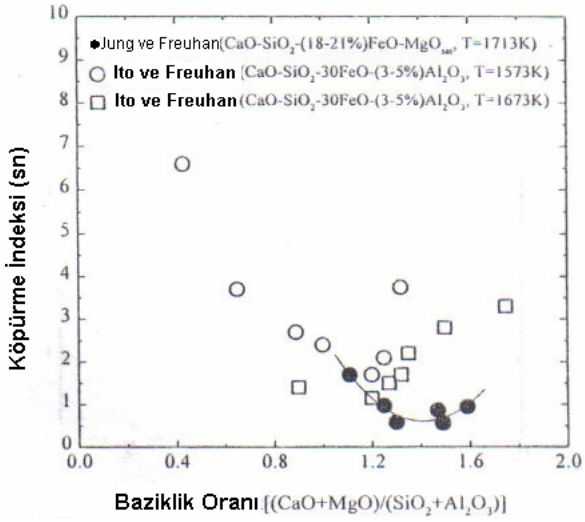
Curufun MgO içeriği ile köpürme kararlılığı arasındaki ilişki Şekil 5.13 `de verilmiştir. %35 CaO - %35 $SiO_2$ - %30 FeO bileşimindeki curufa kademeli olarak MgO ilavesi yapılmış ve ölçümler alınmıştır Şekil 5.13 `de görüldüğü gibi köpürme indeksi artan MgO ilavesi ile azalmaktadır [13].



Şekil 5.13 CaO-SiO_2-FeO-$MgO_{doymuş}$ curufları için 1713 K sıcaklığında MgO içeriğine bağlı olarak köpürme indeksinin değişimi [13].

5.2.2 Baziklik Oranının Curuf Köpürme Kararlılığına Etkisi

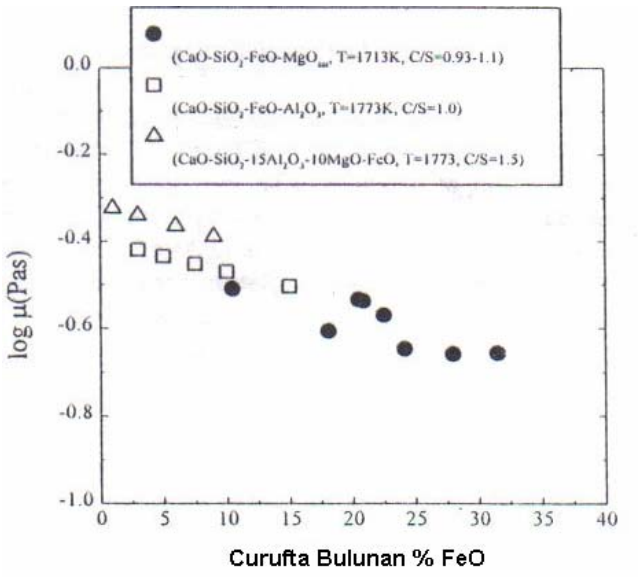
Genel anlamda bazikliğin yükselmesi ile yüzey geriliminin arttığı, viskozitenin düştüğü bilinmektedir. Curuf Köpürme kararlılığını sağlamak için düşük yüzey gerilimi ve yüksek viskozite hedeflenir. Şekil 5.14 `de CaO-$SiO_2$-FeO-MgO curufu için 1713 K `de köpürme indeksinin baziklik oranı ile değişimi görülmektedir. Minimum köpürme indeksinin görüldüğü 1573 K sıcaklıkta 1,20 baziklik oranı ve 1673 K sıcaklıkta 1,22 baziklik oranı kritik baziklik oranlarıdır. Sıcaklık değerleri CaO – SiO_2 – FeO – Al_2O_3 curufunun likidus sıcaklığı ile uyumludur. Bu durumun sebebinin $2CaSiO_2$ benzeri katı partiküllerin zengin CaO içeriği ile çökmeleri ve curuf kararlılığını belirgin şekilde artırmaları olduğu düşünülmektedir. Benzer şekilde curuf içeriğinde SiO_2 düşük CaO yüksek olduğunda curuflar çelik yapım sıcaklıklarında kristalize olabilirler. Kristalize olan bileşik çoğu durumda orthosilikat yapıdaki Ca_2SiO_4 `tür. bazik curuflar CaO ile değil, Ca_2OSiO_4 ile ya da bazı durumlarda $3CaOSiO_2$ ile doymuş hale gelmektedir. Eğer curuf, BOF curuflarında olduğu gibi, yeteri kadar yüksek magnezya içeriğine sahipse magnezyavüstit [(Fe,Mg)] ilk kristalleşen faz olabilir [13].



Şekil 5.14 Curuf köpürme indeksinin curufun baziklik oranı ile değişimi [13].

5.2.3 FeO İçeriğinin Curuf Köpürme Kararlılığına Etkisi

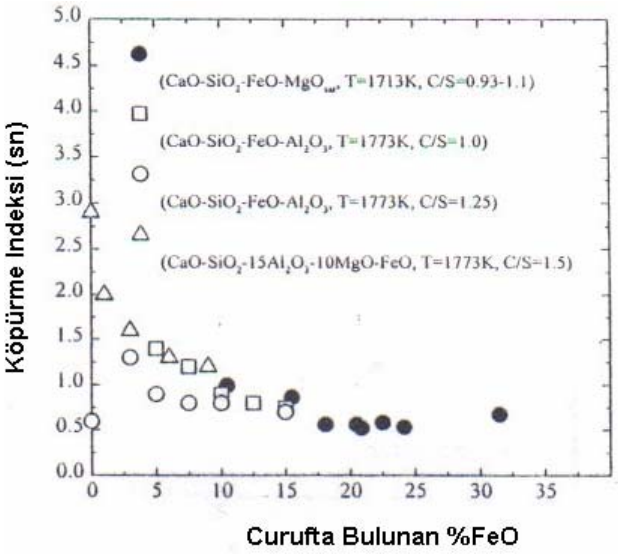
FeO içeriği ile viskozitenin değişimini gösteren Şekil 5.15 `de görüldüğü gibi FeO içeriği ile viskozite düşmektedir. Şekil 5.15 `deki sonuçtan curufun kararsız yapısındaki en belirleyici etkenin viskozite olduğuna inanılmaktadır [13].



Şekil 5.15 Curuftaki FeO içeriği ile viskozite arasındaki ilişki [13]

Şekil 5.16 `daki grafikte köpürme indeksinin curuftaki FeO `in artması ile değişimi verilmektedir. Curuftaki %20 FeO içeriğine kadar FeO oranının artışının, köpürme indeksini düşürdüğü ve %20 FeO `dan sonraki FeO artışının köpürme indeksinde kayda değer bir değişikliğe neden olmadığı görülmektedir. Bu durumu Şekil 5.16

`daki grafikte görülen %25 FeO artışının viskozite değerinde değişikliğe neden olmamasını açıklamaktadır [13].



Şekil 5.16 Curuf köpürme indeksinin % FeO içeriği ile değişimi [8].

5.2.4 Sıcaklığın Curuf Köpürme Kararlılığına Etkisi

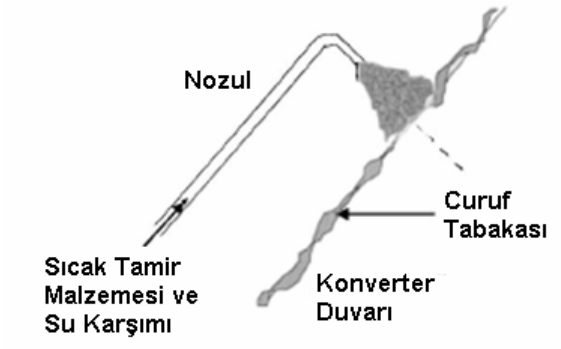
Curuf köpürme indeksinin sıcaklığa bağlı değişimi 5.9 no `lu bağıntıda olduğu gibi ifade edilebilir. 5.9 no `lu bağıntı farklı sıcaklıklardaki curuf köpürme indeksinin önceden belirlenmesinde kullanılabilmektedir [9].

$$\text{Log } E = (6610\ T^{-1}) - 3{,}90 \qquad \textbf{(5.9)}$$

5.3 Sıcak Tamir Malzemesi Kullanımı

Sıcak tamir malzemeleri (gunning materials) şekilsiz refrakterlerdir. Sıcak tamir malzemeleri yaygın olarak çelik yapım konverterlerinin astarlarının tamirinde kullanılır. Uygulama pratiği su/toz karışımının, basınçlı hava ile sıcak curufla kaplı duvara fırlatılması (torketleme) temeline dayanmaktadır (Şekil 5.17). Su ilavesine hem nozulun soğutulması için hem de uygun tamir malzemesinin hazırlanabilmesi için ihtiyaç duyulmaktadır. Uygulama pratiği nedeniyle, duvara yapışarak aradaki bağı artırma gibi spesifik özellikler gerektirmektedir. Bağlanma ayrıca, torketleme işleminden önce curuf püskürtme işlemi yapılması ile de büyük oranda artmaktadır. Sıcak tamir malzemesi ara bölgede katılaşan curufa bağlanmaktadır. Ayrıca

torketlemeden sonra curuf püskürtme yapılmasının tamir işleminin ömrünü artırdığı gösterilmiştir. Tamir malzemesi ile curuf arasında meydana gelen etkileşim, tamir kalitesini belirleyen ana faktör olması sebebiyle araştırmalar ara yüzeyde meydana gelen olayları anlamaya yönelmiştir [10, 14].



Şekil 5.17 Sıcak tamir malzemesi uygulamasının şematik gösterimi [10]

Tuğla kalınlık ölçüm cihazı kullanıldığında, ölçüm sonuçlarına göre astarın hızlı aşınan bölgelerine sıcak tamir malzemesi tatbik edilmekte ve böylelikle gereğinden fazla tamir malzemesi sarfının önüne geçilmektedir [15].

5.4 BOF Astar Tasarımındaki Değişiklikler

Konverter astar malzemesi olarak kullanılan refrakter tuğlalar, aşınma şiddeti ve ekonomik sebepler göz önünde bulundurularak seçilmektedir. BOF astar tasarımında, refrakter malzemelerdeki gelişime paralel olarak önemli değişimler meydana gelmiştir.

1970 `li yıllarda aşınmanın en şiddetli olduğu bölgelerde pişirilmiş yüksek yoğunluklu manyezit tuğla ya da temperlenmiş %90 manyezit içeren tuğla kullanılmıştır. Tablo 5.2`de ABD `nin Cleveland eyaletinde kurulu bir çelikhanende bulunan ve kampanya döküm sayıları ortalama 500 olan konverterlerin astar bölgelerinde tercih ettiği tuğla çeşitleri bulunmaktadır [16].

Tablo 5.2 1970 `li yıllarda BOF astarında kullanılan refrakter tuğla çeşitleri. [16].

Bölge	Refrakter Türü
Taban	Dolomit
Fıçının alt bölgesi	Dolomit
Orta kısım ve fıçının üst bölgesi	%90 Manyezit içeren temperlenmiş tuğla ya da zift bağlı tuğla.
Koni	Dolomit
Emniyet astarı	Manyezit

Tasarım mühendislerinin günümüzde konverterde çalışma astarında kullanabilecekleri refrakter bileşenlerinin sayısı 30 `un üzerindedir. Genellikle 5 ila 10 değişik türde refrakter tuğla astar örümü için tercih edilmektedir. Şekil 5.18 `de günümüzde LD tipi konverterde tercih edilen tipik bir tuğla astar tasarımı verilmektedir [8].

Aşınma şiddetinin yüksek olduğu muylu bölgesi, döküm duvarı ve curuf ile uzun süreli temas halinde bulunan kısımlarda antioksidan içeren özel kalite magnzeya-grafit tuğlalar tercih edilmektedir. Mekanik özelliklerin daha fazla önem kazandığı şarj duvarında ise pişirilmiş, zift emdirilmiş tuğlalar yaygın olarak tercih edilmektedir.



Şekil 5.18 LD Tipi konverter astarının tipik tuğla astar örümü [8]

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE SONUÇLARI

İSDEMİR çelikhanesinde konverter astar ömürlerinin artırılmasına yönelik çalışmalar 1995 yıllarında başlatılmış ve curufta % 3-3.5 MgO hedeflenerek flaks (curuf yapıcı) malzeme olarak verilen kalsine kireçle beraber kalsine dolomitik kireç ilave pratiğine geçilmiştir. Bu uygulamayla beraber konverter astar döküm sayıları 1200 dökümlerden 1400 dökümlere yükseltilmiştir.

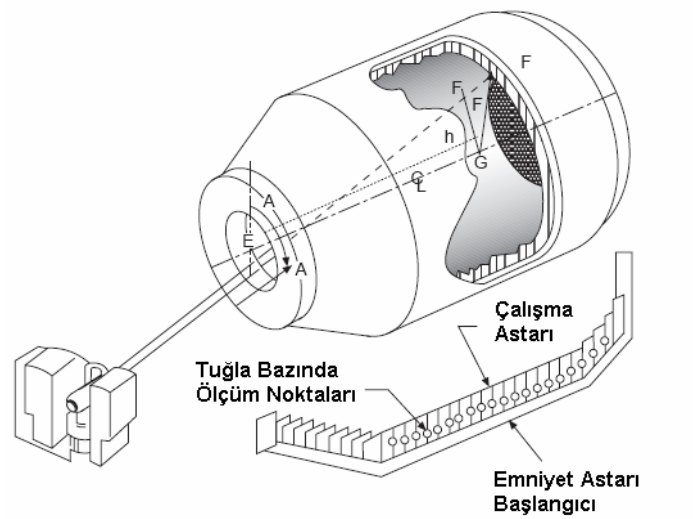
2003 yılında düşük karbonlu (elektrot ve tellik kaliteler) çeliklere olan müşteri taleplerinin artması ile astar ömrünü artırma çalışmaları daha fazla önem kazanmıştır. Zira düşük karbonlu çeliklerin üretiminde konverterde oksijen üfleme işlemi sonucu çeliğin karbonunun % 0.03 – 0.04 değerlerine inmesi gerektiğinden konverter tabanlarının aşırı oksitli curuf nedeniyle (% 25 – 28 FeO) hızlı aşınması problemiyle karşı karşıya kalınmış ve konverter gövdesi ile taban arasından çelik sızdırması olayları meydana gelmeye başlamıştır.

Hem konverter tabanlarını düşürmemek ve hem de düşük karbonlu çeliklerin üretilebilirliğini sağlamak için 2003 Haziran ayından itibaren her biri 100 ton/gün kapasiteli 6 adet kireç fırınından bir tanesinde daha dolomitik kireç üretimi gündeme gelmiştir. Söz konusu uygulamadan sonra curufta % 5 – 6 MgO değerlerine ulaşılmış ancak konverter astar ömürlerinde bir miktar daha artış sağlanmasına rağmen taban aşınma problemi tam olarak çözülememiştir.

Çalışan iki adet dolomit fırınının da curufta yeterli oranda MgO sağlamaması üzerine, 2005 Şubat ayından itibaren dolomit kalsinasyon fırınlarından bir tanesi kalsine manyezit üretimi için kullanılmaya başlanmıştır. 1 dolomit ve 1 manyezit kalsinasyon fırını ile konverter curufundaki MgO değerleri % 8 – 10 değerlerine çıkmıştır.

6.1. Lazerli Tuğla Kalınlık Ölçüm Cihazı Kullanımı

2004 yılında bir adet konverter astarı aşınma profilini ölçen cihaz temin edilerek konverter aşınma profili değerlerinin kayıt altına alınmasına başlanılmıştır. Curuf kaplama çalışması ile birlikte konverterlerden günde bir kez lazerli tuğla kalınlık ölçüm cihazı ile ölçüm yapılmış ve curuf analizleri ile ölçüm sonuçları karşılaştırılmıştır. Tuğla kalınlık ölçümünde en yaygın kullanıma sahip yöntem, Şekil 6.1 `de şematik gösterimi verilen lazerli tuğla ölçüm cihazının kullanıldığı yöntemdir.



Şekil 6.1 Tuğla kalınlığı ölçüm cihazı çalışma prensibi [8].

Bu uygulamada bir lazer demeti konverterin içerisindeki kalibrasyon noktalarına çarpıp geri gelerek, astarın aşınan bölgelerindeki noktalar ile aşınma görülmeyen noktaları mukayese etmektedir. Daha sonra bir bilgisayar analiz programı vasıtası ile astar kalınlık değerleri elde edilmektedir. Tuğla kalınlığı ölçüm sonuçları ile farklı refrakterlerin aşınma hızlarını mukayese etme ve zırh hasarlanmaları ya da tuğla kopmalarını önleme v.b. çok önemli bilgilere ulaşılabilmektedir [8].

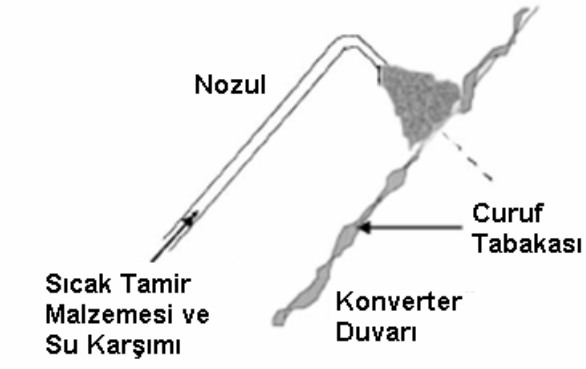
6.2 Sıcak Tamir Malzemesi Kullanımı (Gunning)

Aşınan bölgelere püskürtme tamiri (torket; gunning) yapabilmek için, Şekil 6.2 `de fotoğrafı verilen yarı robotik bir konverter püskürtme tamir makinası temin edilerek daha etkin tamir yapabilme imkanı elde edilmiştir.



Şekil 6.2 Robotik sıcak tamir malzemesi püskürtme cihazı (Torketleme Cihazı)

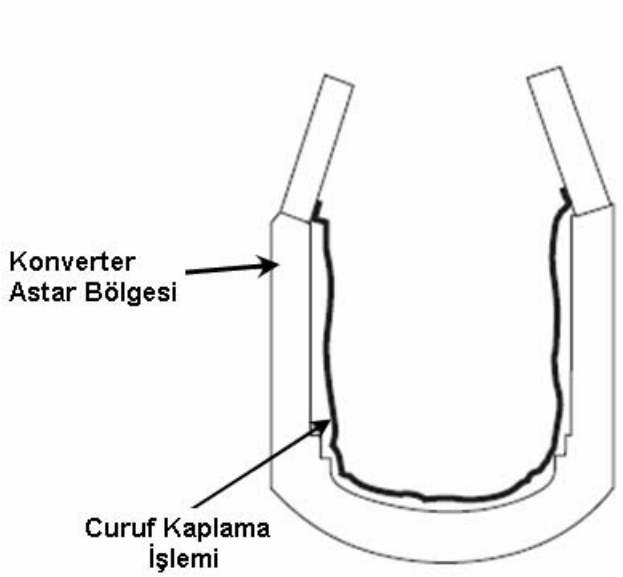
Tuğla kalınlığı ölçümleri ile elde edilen bilgiler dikkate alınarak konverter astarının hızlı aşınan bölgelerine göre sıcak tamir malzemesi püskürtülerek tercihli tamir yapılabilmektedir. Şekil 6.3 ´de refrakter harcı ile yapılan bir tamir işleminin şematik gösterimi verilmektedir. Tamir malzemesi olarak kullanılan malzeme en az % 85 MgO içermektedir [8,30].



Şekil 6.3 Sıcak tamir malzemesi uygulamasının şematik gösterimi [10]

6.3 Curuf Kaplama

Uygun bileşim (%8-10 MgO içeren) ve kıvamda (krem gibi) hazırlanmış curufun konverterde üfleme sonrası püskürtülüp konverter duvarlarının curufla kaplanarak astarın aşınmaya karşı korunması ve bu yolla astar ömrünün artırılması uygulamasıdır. Uygun bileşim ve kıvamdaki curufla konverter astarı Şekil 6.4 `de verilen şekilde kaplandığında, duvarlarda gerçekleşen curuf korozyonu vb kaynaklı aşınmalar kaplama bölgesinde olmakta, astarda aşınma kaplamasız duruma kıyasla daha az olmaktadır (Şekil 6.4).



Şekil 6.4 Curuf kaplama işlemi [8].

Azot ya da argon üfleme sistemi bulunan konverterlerde bu işlem azot ya da argon üflenerek yapılmaktadır. İsdemir çelik yapım konverterlerinde ise sıvama malzemesinin, (ham manyezit karışımı) damper vasıtasıyla ani olarak konvertere verilmesi sonrasında gerçekleşen püskürme ile konverter duvarlarının hazırlanmış curuf ile kaplanması sağlanmıştır. 1. konvertere ilaveten 2. ve 3. konverterlere de damper yapılmıştır. Ham manyzetin ince taneli olması reaksiyona girme süresini kısaltmaktadır (Tablo 6.1). Üfleme sonrasında belirli oranda kok tozu ile karıştırılmış 700- 800 kg ağırlığındaki ham manyezit damperden ani olarak konvertere şarj edilmektedir. CO_2 `in çözülmesi ile curufun püskürtülmesi sağlanmaktadır. Püskürtme işlemi ile birlikte süratli bir şekilde sıvama işlemi gerçekleşmektedir.

Tablo 6.1 Ham manyezit elek analizi

Elek açıklığı	%
+5 mm	0.0
-5mm	100.0

Çünkü, kok tozu ilavesinden gelen C ve küçük tane boyutu, ham manyezitin kalsinasyon sıcaklığının düşmesine neden olmaktadır. Kullanılan ham manyezitin MgO içeriği %46`dır (Tablo 6.2).

Tablo 6.2. Kullanılan ham manyezitin kimyasal analizi

Kimyasal Bileşim	**% Oran**
Al_2O_3	Eser
Fe_2O_3	0.619
SiO_2	3.745
MgO	46.000
CaO	1.161
K.K.	48.250

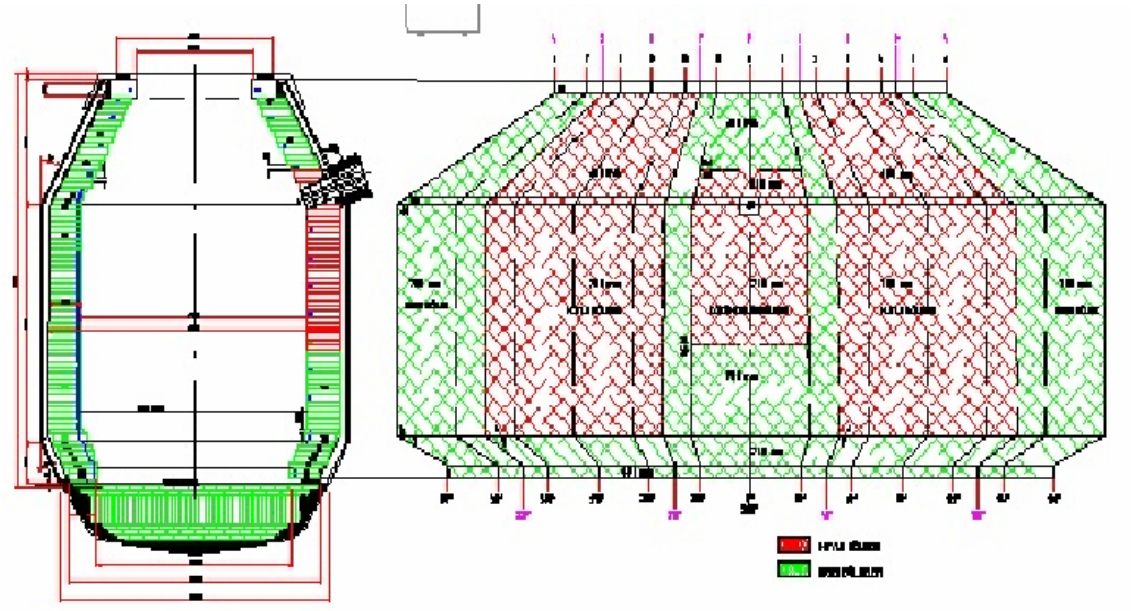
Ham manyezit ilavesi sonrası curuftaki MgO oranı %3 artıp FeO oranı %2 azalır. Bu kimyasal değişim curufun donma noktasını düşürür. Bu sayede sıvama için gerekli olan ‘krem gibi’ (pasty) olarak tabir edilen uygun curuf kıvamı elde edilmektedir.

Tablo 6.3 Kullanılan ham manyezitin fiziksel özellikleri

Yoğunluk (gr/cm^3)	1.63
% Rutubet	0.35

6.4 İSDEMİR Çelikhanesi Konverter Astar Malzemeleri

İsdemir çelik yapım konverterlerinde astar malzemesi olarak kullanılan tuğlalar iki çeşittir. Şekil 5.5. `te görülen aşınmaya en çok maruz kalan muylu bölgeleri ve döküm duvarı kısmında MgO içeriği açısından daha zengin ve %SiO_2 oranı düşük tuğlalar kullanılmaktadır.



Şekil 6.5 İSDEMİR çelik yapım konverter astarları tuğla örüm resmi.

Tablo 6.4 `te muylu bölgeleri, döküm duvarı ve döküm deliği civarında kullanılan tuğlanın spesifikasyonu,

Tablo 6.4. Muylu bölgesi, döküm duvarı ve döküm deliği civarında kullanılan tuğla özellikleri

Kimyasal Bileşim	Oran
MgO (%, min)	98,0
SiO_2 (%)	0,5
CaO/SiO_2	2,0

Tablo 6.5 `te konverterin diğer bölgelerinde kullanılan tuğlanın spesifikasyonu verilmektedir. Her iki tuğla çeşidinin de ortak özelliği reçine bağlı olmaları ve antioksidan içermeleridir.

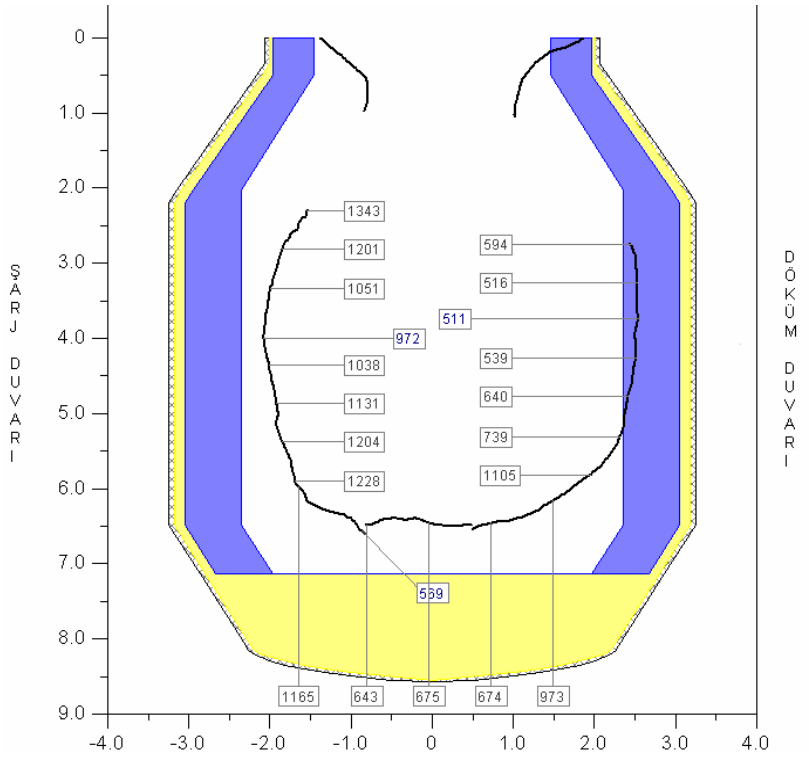
Tablo 6.5 Muylu bölgesi, döküm duvarı ve döküm deliği dışında kullanılan, tuğla özellikleri

Kimyasal Bileşim	**Oran**
MgO (%, min)	97,0
SiO_2 (%)	0,6
CaO/SiO_2	2,0

6.5. Curuftaki MgO – Tuğla Kalınlığı İlişkisi

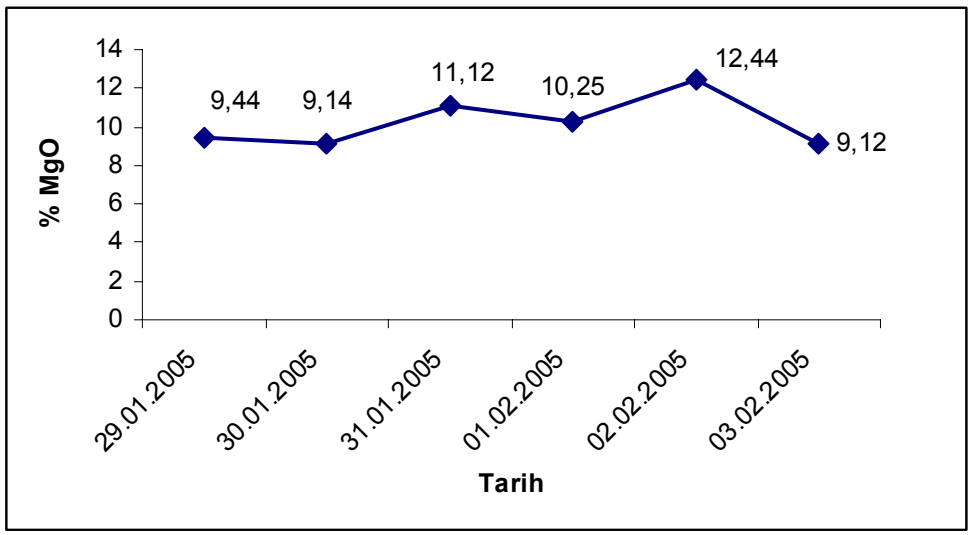
Konverter astarından lazerli tuğla ölçüm cihazı ile elde edilen sonuçlar ile konverter curufundaki % MgO değerindeki değişim çeşitli dönemlerde karşılaştırılmıştır.

Şekil 6.6 `da görüldüğü üzere astar ömrünün 1500. dökümünde iyi bir curuf kaplaması yapılmıştır. Şarj duvarında ve tabanda astar kaplanan curuf ile korunmuştur. Şarj duvarındaki en ince nokta 972 mm olarak ölçülmüş, şarj duvarında aşınmanın çalışma astarına ulaşmadığı görülmektedir. Döküm duvarı kısmında ise çalışma astarında bir miktar aşınma görülmektedir. Döküm duvarında astar kalınlığının minimum olduğu yer 511 mm`lik kalınlığa sahiptir. En düşük taban noktası 539 mm olarak ölçülmüştür. Taban seviyesi düşük kabul edilebilir.



Şekil 6.6 1500. dökümde yapılan tuğla kalınlık ölçüm sonucu.

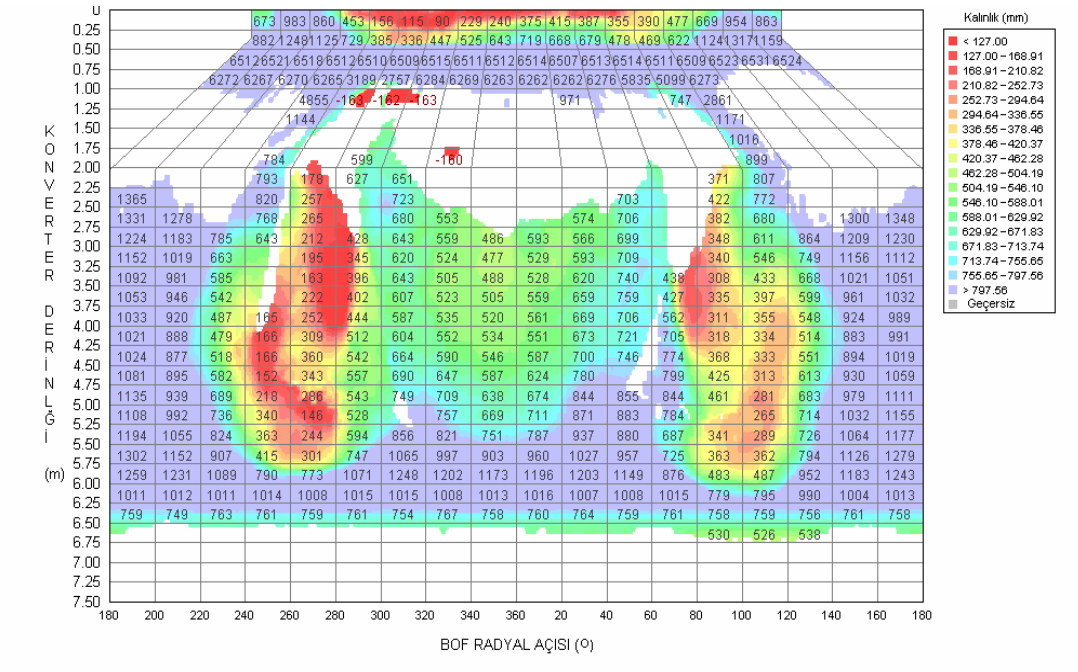
Konverter astarının curuf korozyonu sebepli aşınmasında etken olan aynı dönemdeki curuf analizleri incelenmiştir. Analizlerden curuftaki %MgO oranı ile ilgili değişim Şekil 6.7 `de gösterilmiştir.



Şekil 6.7 Curuftaki %MgO oranı

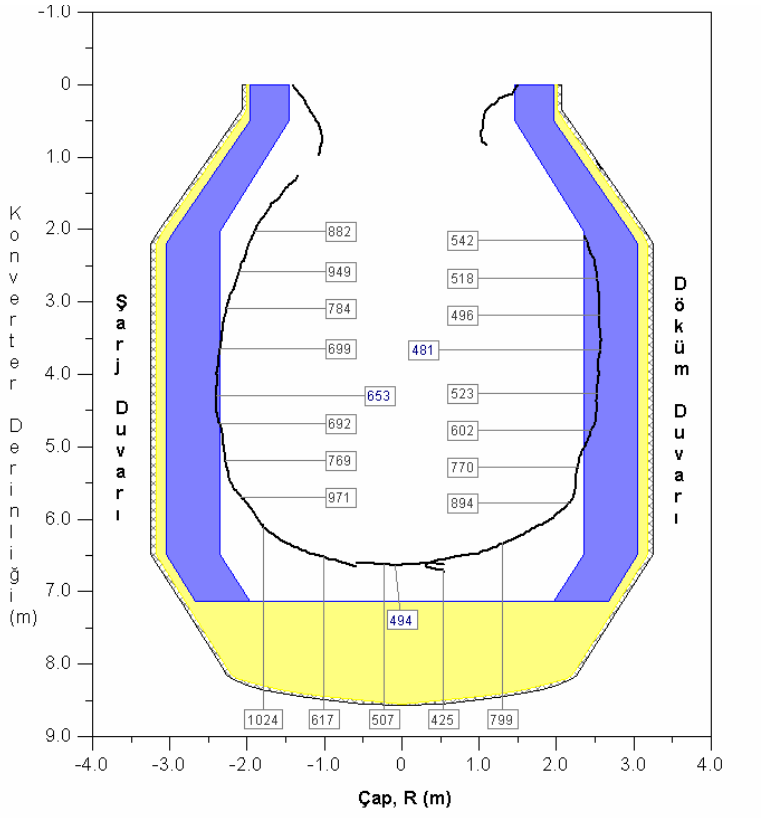
Şekil 6.7 `de bulunan grafik tuğla ölçümünde elde edilen başarılı curuf kaplamasını destekler niteliktedir. Curufta hedeflenen %MgO oranına yakın veya üzerinde değerler yakalanmıştır.

Şekil 6.8 `de konverterin merkezden tutularak iki yana açılmış şeklinde görüntüsü görülmektedir. Bu şekilde konverterin tüm astarının tuğla aşınma durumu tek bir grafikte görülebilmekte ve incelmenin tehlikeli boyutlara ulaştığı bölgelere robotik bir cihaz yardımı ile sıcak tamir malzemesi (şekilsiz refrakter harç malzemesi) tatbik edilmektedir. Şekil 6.8 `de görüldüğü gibi döküm deliği ve muylu bölgelerinde çalışma astarında bir aşınma gözlemlenmektedir.



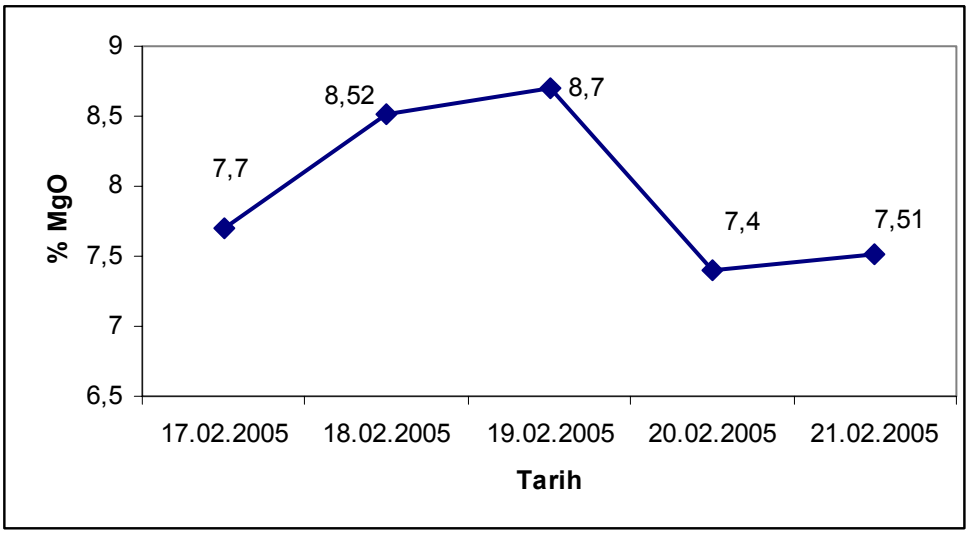
Şekil 6.8 Konverter astarının tuğla ölçümü kesit görüntüsü (1500. Döküm)

Şekil 6.9 `da görüldüğü üzere astar ömrünün 1750. dökümünde iyi bir curuf kaplaması yapılmıştır. 1500. Dökümde yapılan incelemeye göre şarj duvarında curuf kaplama kalınlığının azalmış olduğu ve en düşük kalınlığın 653 mm`ye düştüğü görülmektedir. Döküm duvarı kısmında ise çalışma astarındaki aşınmanın yaklaşık olarak aynı kaldığı görülmektedir. Döküm duvarında astar kalınlığının minimum olduğu yer 481 mm`ye düşmüştür. Taban bölgesi bir miktar daha düşmüş ve en düşük taban noktası 494 mm olarak ölçülmüştür.



Şekil 6.9 1750. Dökümde yapılan tuğla kalınlık ölçüm sonucu.

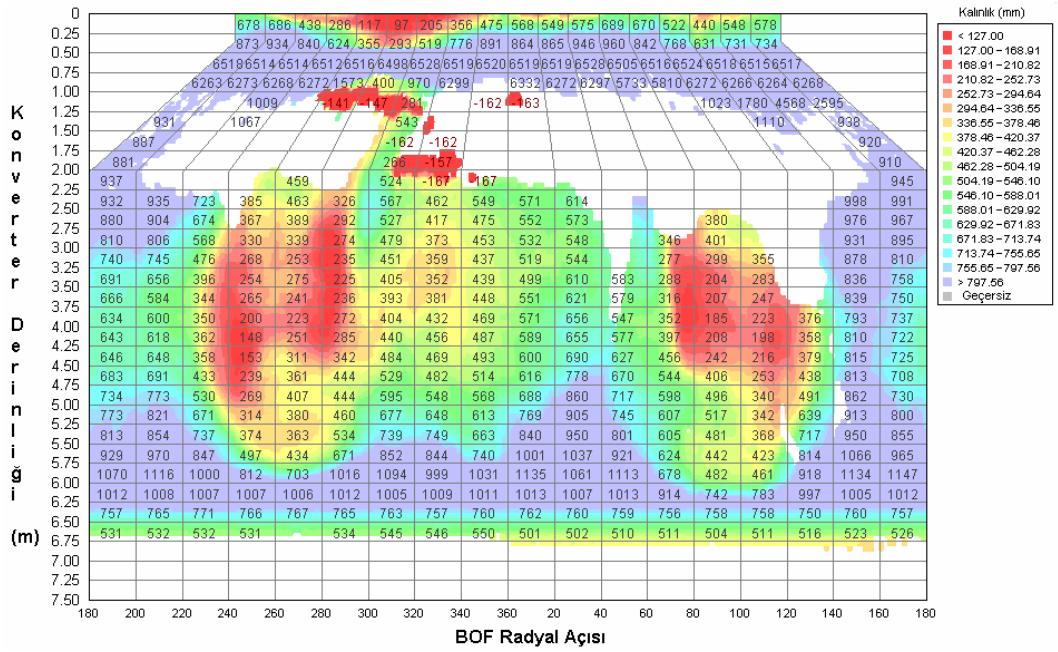
Konverter astarının curuf korozyonu sebepli aşınmasında etken olan aynı dönemdeki curuf analizleri incelenmiştir. Analizlerden curuftaki %MgO oranı ile ilgili değişim Şekil 6.10 `da verilmiştir.



Şekil 6.10 Konverter curufundaki % MgO değişimi.

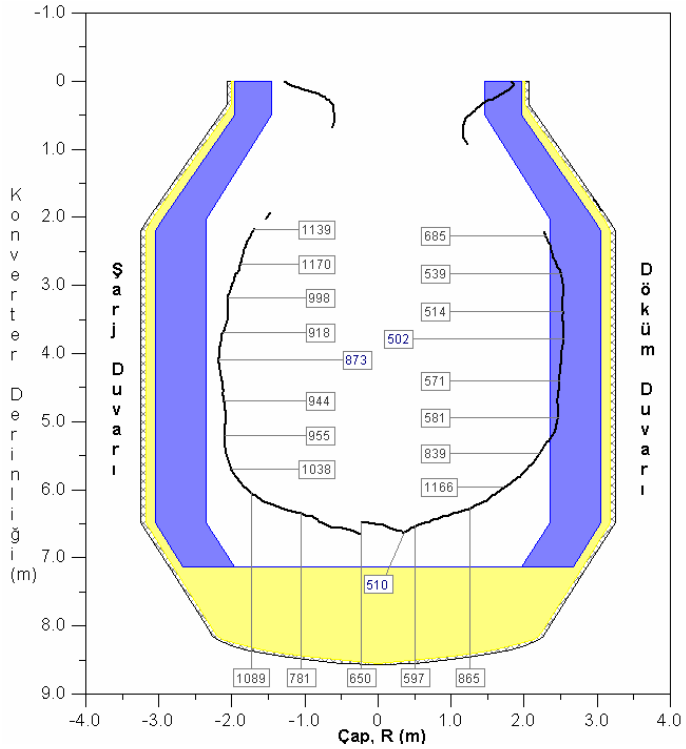
Şekil 6.10 `da görüldüğü gibi 17-21.02.2005 döneminde konverter curufundaki % MgO değeri düşük kalmıştır. Bu durum curuf kaplamasının istenilen ölçüde yapılamamasının şarj duvarında astar kalınlığının ortalama 346 mm, döküm duvarında ise ortalama 8,75 mm `lik azalma olmasında etkili olduğu düşünülmektedir.

Şekil 6.11 `de muylu bölgeleri ve döküm deliği çevresinde astar kalınlığındaki azalma görülmektedir.



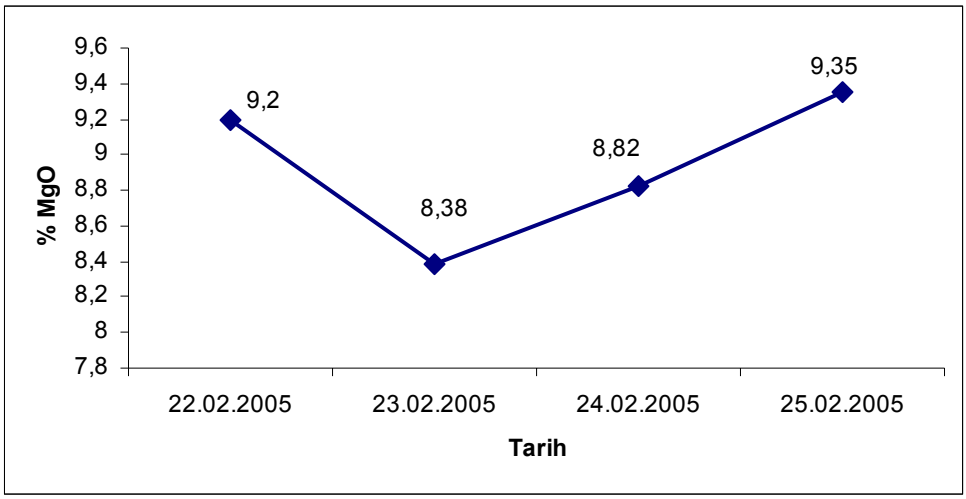
Şekil 6.11 Konverter astarının tuğla ölçümü kesit görüntüsü (1750. Döküm)

Şekil 6.12 `de görüldüğü üzere astar ömrünün 2000. dökümünde iyi bir curuf kaplaması yapılmıştır. 1750. Dökümde yapılan incelemeye göre şarj duvarında curuf kaplama kalınlığının artmış olduğu ve en düşük kalınlığın 873 mm`ye çıktığı görülmektedir. Döküm duvarı kısmında ise çalışma astarındaki aşınmanın yaklaşık olarak aynı kaldığı görülmektedir. Döküm duvarında astar kalınlığının minimum olduğu yer 502 mm olarak ölçülmüştür. Taban bölgesinde kalınlık korunmuş ve en düşük taban kalınlığı 510 mm olarak ölçülmüştür.



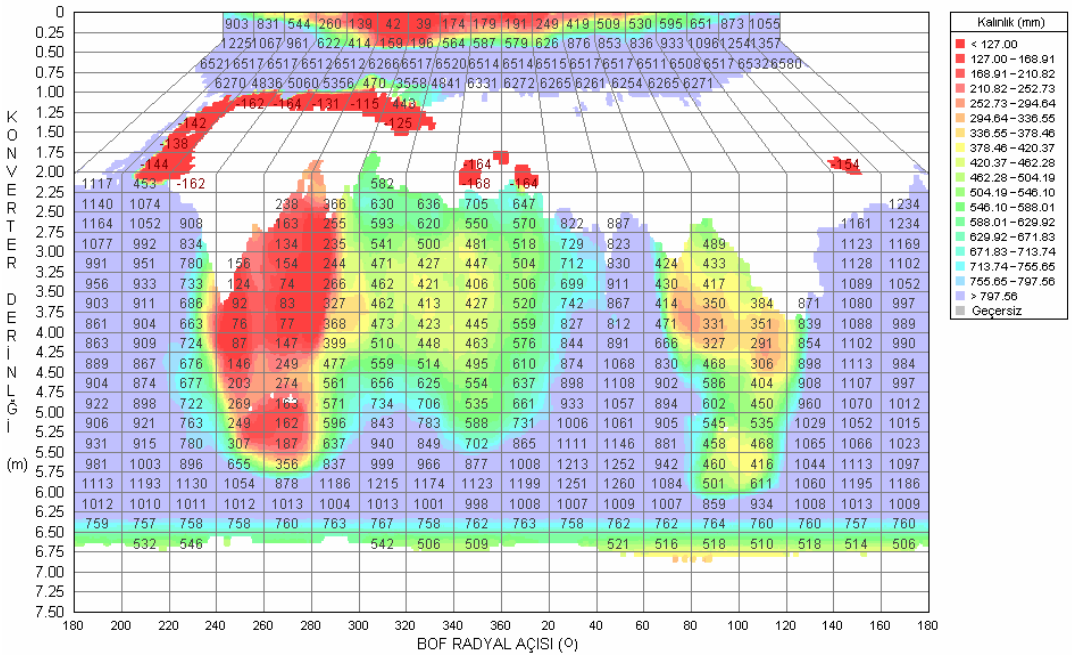
Şekil 6.12 2000. dökümde yapılan tuğla kalınlık ölçüm sonucu.

Konverter astarının curuf korozyonu sebepli aşınmasında etken olan aynı dönemdeki curuf analizleri incelenmiştir. Analizlerden curuftaki %MgO oranı ile ilgili değişim Şekil 6.13 `de gösterilmiştir. Şekil 6.13 `de görüldüğü gibi 22-25.02.2005 döneminde konverter curufundaki % MgO değerinde yükselme görülmüş ve 17-21.02.2005 döneminde ortalama % 8,02 iken 22-25.02.2006 döneminde % 8,95 `e yükselmiştir. Konverter astar kalınlığının şarj duvarında ortalama 204,5 mm, döküm duvarında ise ortalama 61 mm artmış olması konverter curufundaki ortalama %MgO oranının yükselmiş olmasın ile paralellik göstermektedir.



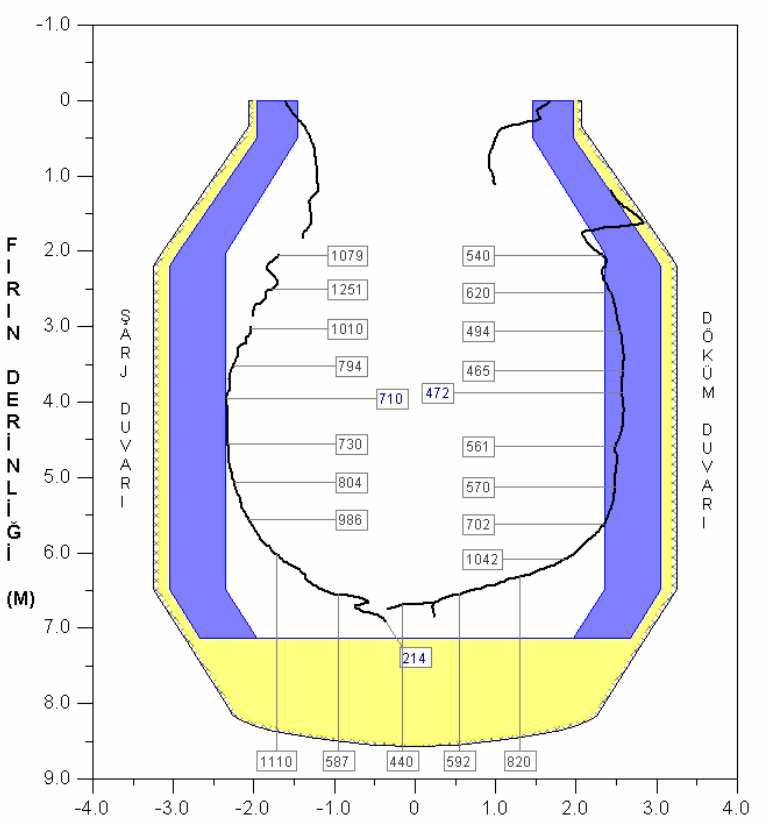
Şekil 6.13 : Konverter Curufundaki % MgO değişimi

Şekil 6.14 `te konverter astar tuğla kalınlığı ölçüm sonuçlarına göre tuğla kalınlığında 1750. dökümde alınan ölçüm sonuçlarına göre bir artış olduğu görülmektedir. Muylu bölgesi ve genel anlamda astar tuğla kalınlığında bir artış görülmektedir.



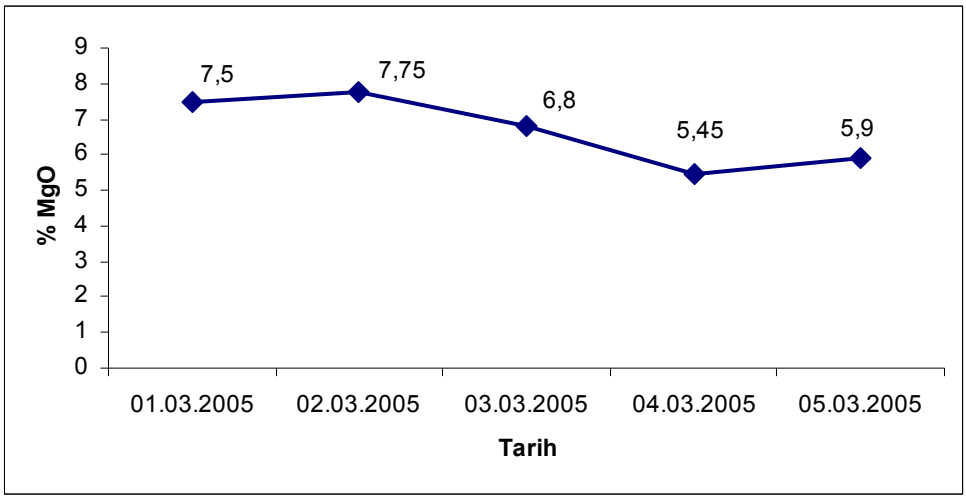
Şekil 6.14 : Konverter astarının tuğla ölçümü kesit görüntüsü (2000. Döküm).

Şekil 6.15 `de görüldüğü üzere astar ömrünün 2250. dökümünde çalışma astar kalınlığında aşınmalar gözlemlenmektedir. 2000. Dökümde yapılan incelemeye göre şarj duvarında curuf kaplama kalınlığının azalmış olduğu ve en düşük kalınlığın 710 mm `ye düştüğü görülmektedir. Benzer şekilde döküm duvarı kısmında ise çalışma astar kalınlığının minimum olduğu yer 472 mm olarak ölçülmüştür. Taban bölgesindeki seviyede düşme görülmüş ve en düşük taban kalınlığı 214 mm olarak ölçülmüştür.



Şekil 6.15 2250. dökümde yapılan tuğla kalınlık ölçüm sonucu.

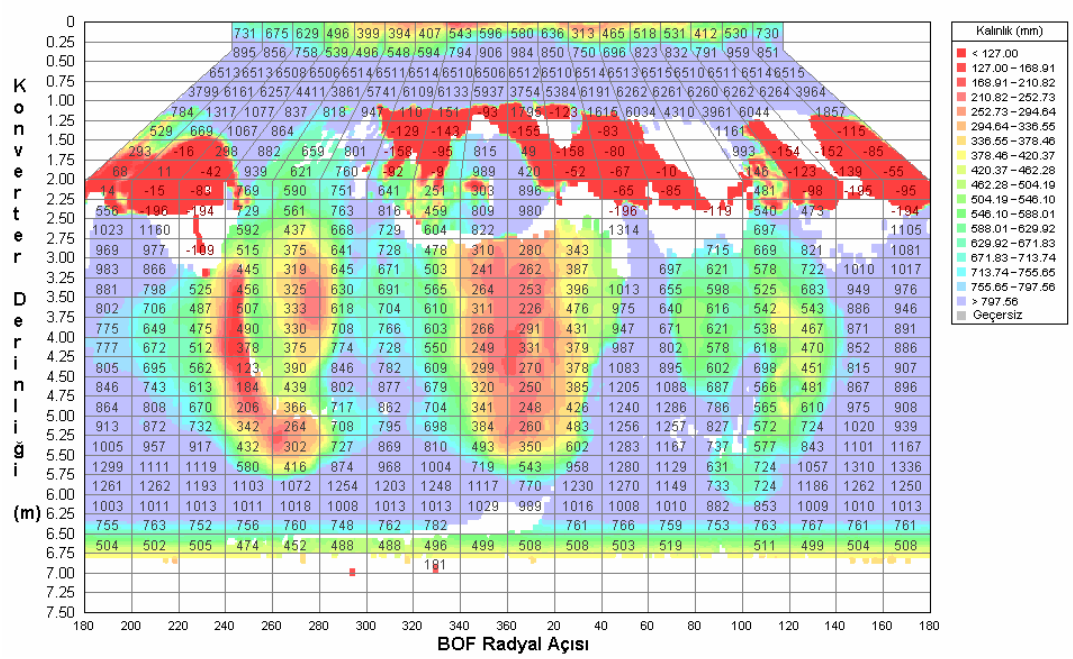
Konverter astarının curuf korozyonu sebepli aşınmasında etken olan aynı dönemdeki curuf analizleri incelenmiştir. Analizlerden curuftaki %MgO oranı ile ilgili değişim Şekil 6.16 `da gösterilmiştir.



Şekil 6.16 Konverter curufundaki % MgO değişimi

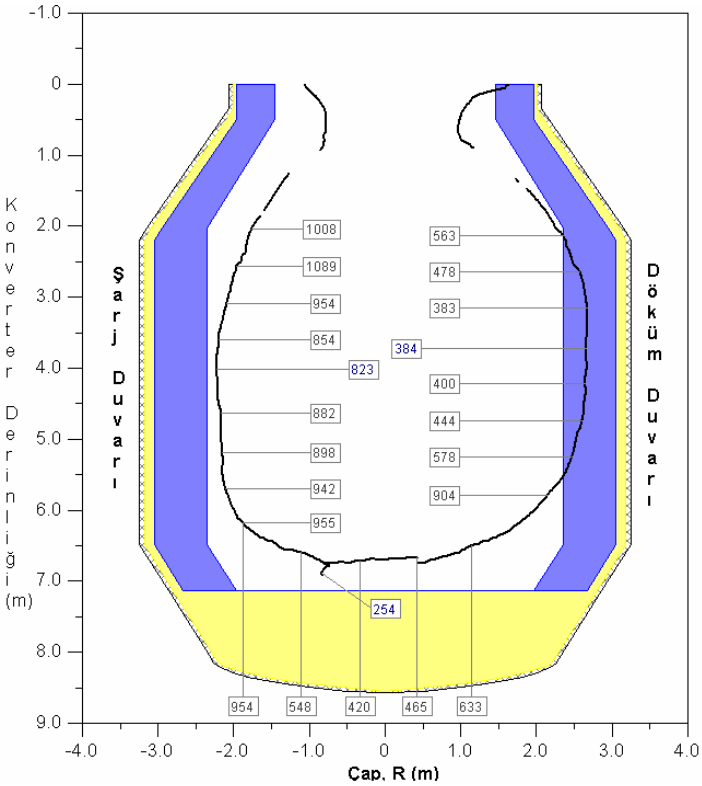
Şekil 6.16 `da görüldüğü gibi 01-05.03.2005 döneminde konverter curufundaki % MgO değerinin hedef değerin altında gerçekleştiği görülmüş ve 22-25.02.2006 döneminde ortalama % 8,95 iken 01-05.03.2005 döneminde 5,28 `e düşmüştür. Bu durumda curuf kaplamasının istenilen ölçüde yapılamamasına dolayısıyla konverter astarında incelmeye sebep olmuştur. Şarj duvarında astar kalınlığında ortalama 671 mm, döküm duvarında ise ortalama 396 mm azalma ölçülmüştür.

Şekil 6.17 `de muylu bölgesi, döküm duvarı ve koni bölgesinde astar kalınlığındaki azalma görülmektedir.



Şekil 6.17 Konverter Astarının Tuğla Ölçümü Kesit Görüntüsü (2250. Döküm)

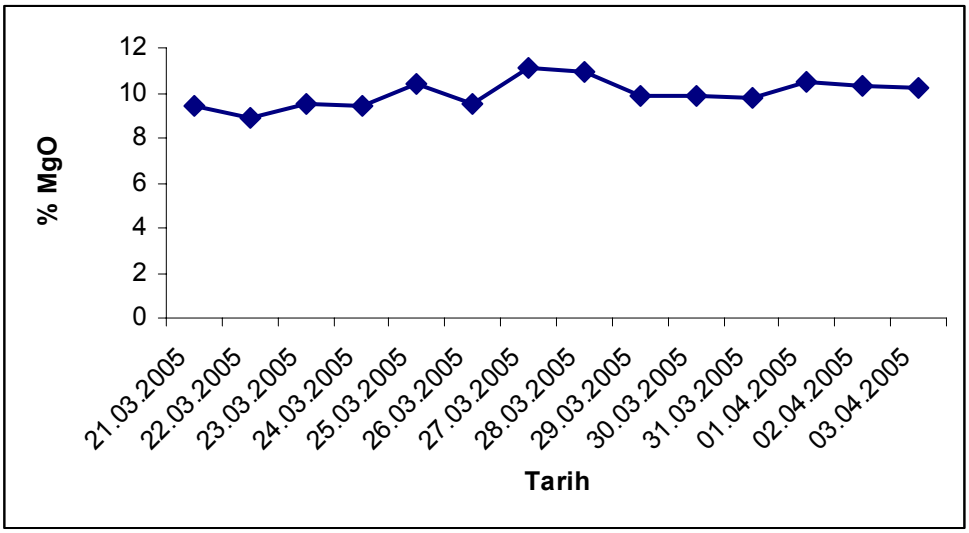
Şekil 6.18 `de 2500. dökümde çalışma astar kalınlığına ait değerler görülmektedir. 2250. Dökümde yapılan incelemeye göre şarj duvarında curuf kaplama kalınlığının şarj duvarında artmış olduğu buna karşılık döküm duvarında azalma olduğu ve en düşük kalınlığın şarj duvarında 823 mm`ye döküm duvarı kısmında ise alışma astar kalınlığının minimum olduğu yerin 384 mm olarak ölçüldüğü görülmektedir. Taban bölgesindeki seviye ise kısmen yükselmiş ve en düşük taban kalınlığı 254 mm olarak ölçülmüştür.



Şekil 5.18 2500. dökümde yapılan tuğla kalınlık ölçüm sonucu.

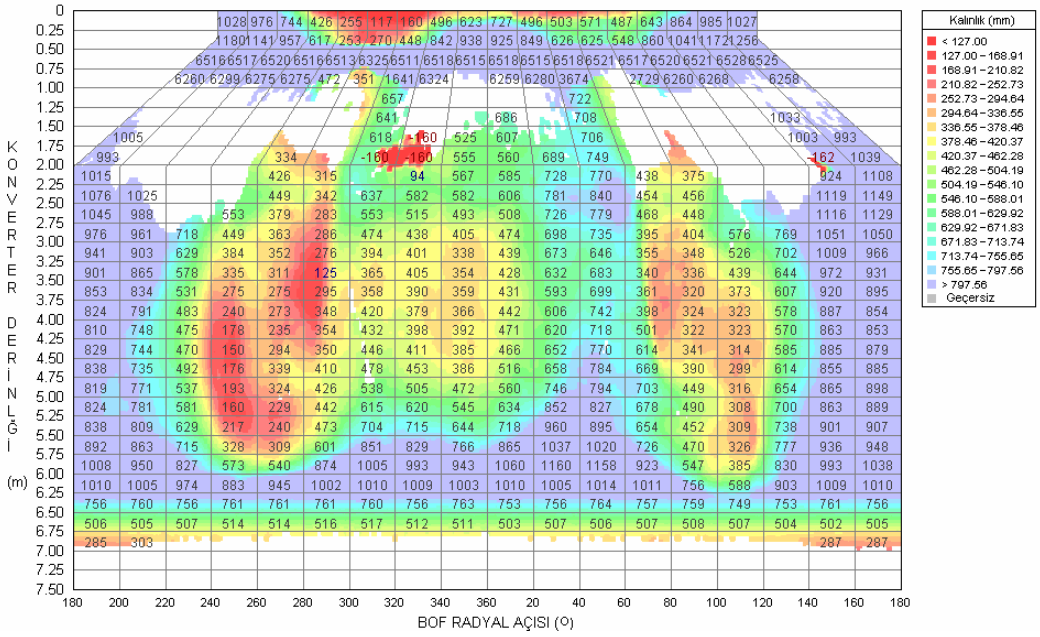
Konverter astarının curuf korozyonu sebepli aşınmasında etken olan aynı dönemdeki curuf analizleri incelenmiştir. Analizlerden curuftaki %MgO oranı ile ilgili değişim Şekil 6.19 `da gösterilmiştir.

Şekil 6.19 `da görüldüğü gibi 21.03.2005 - 03.04.2005 döneminde konverter curufundaki % MgO değerinin hedef değere çok yakın seyrettiği görülmektedir. Bu dönemde konverter curufundaki %MgO ortalama % 9,89 `a çıkmıştır. Şarj duvarı ortalama astar kalınlığı 934 mm ve döküm duvarı ortalama astar kalınlığı ise 517 mm olarak ölçülmüştür.



Şekil 6.19 Konverter Curufundaki % MgO değişimi

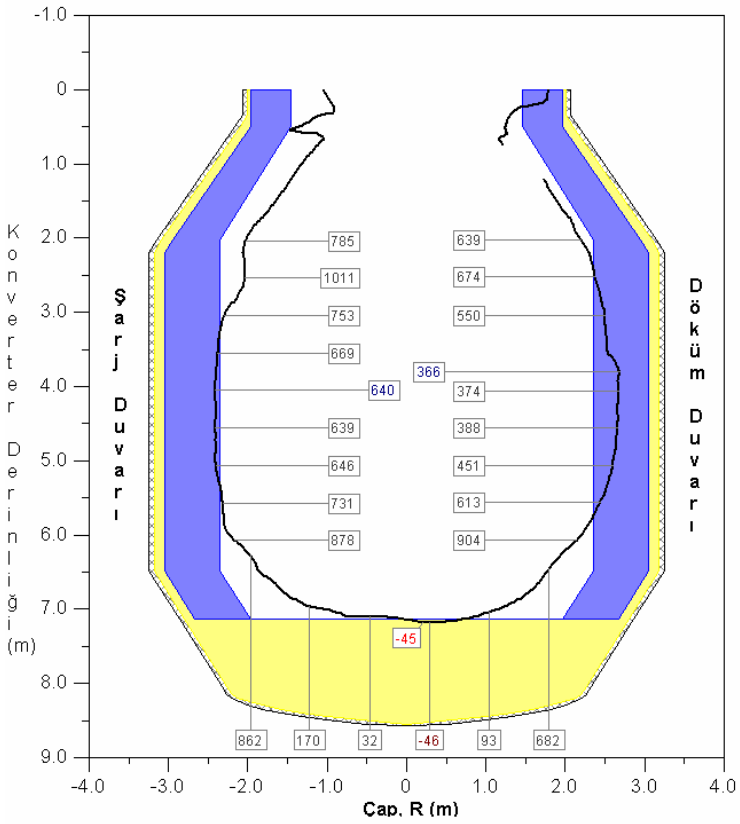
Şekil 6.20 `de muylu bölgesi, döküm deliği civarı ve konverterin ağız kısmında aşınma gözlemlenmektedir.



Şekil 6.20 : Konverter Astarının Tuğla Ölçümü Kesit Görüntüsü (2500. Döküm)

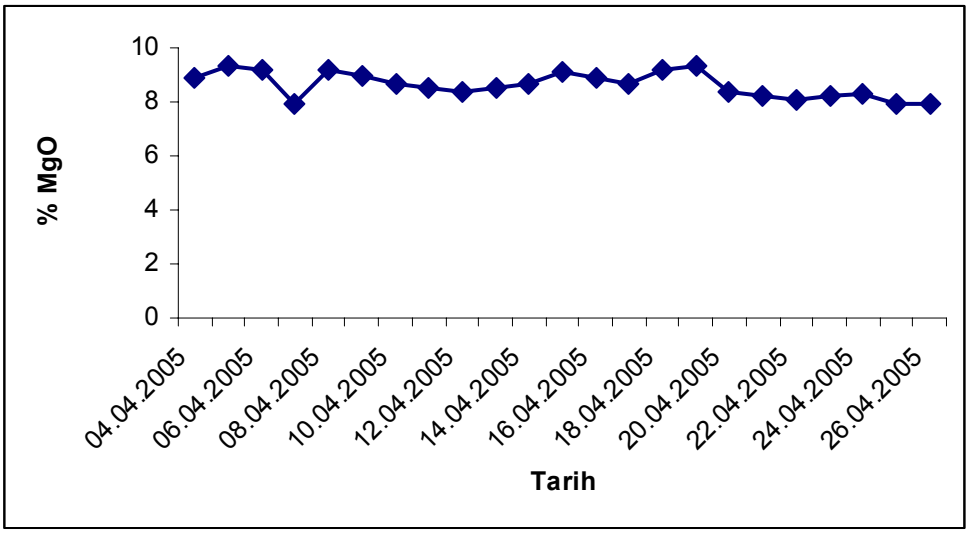
Şekil 6.21 `de 2750. dökümde çalışma astar kalınlığına ait değerler görülmektedir. 2500. dökümde yapılan incelemeye göre curuf kaplama kalınlığının şarj duvarında ve döküm duvarında azalmış olduğu; en düşük kalınlığın şarj duvarında 640 mm`ye döküm duvarı kısmında ise alışma astar kalınlığının minimum olduğu yerin 366 mm

olarak ölçüldüğü görülmektedir. Taban bölgesindeki seviyenin düştüğü ve en düşük taban kalınlığı -46 mm olarak ölçüldüğü görülmektedir.



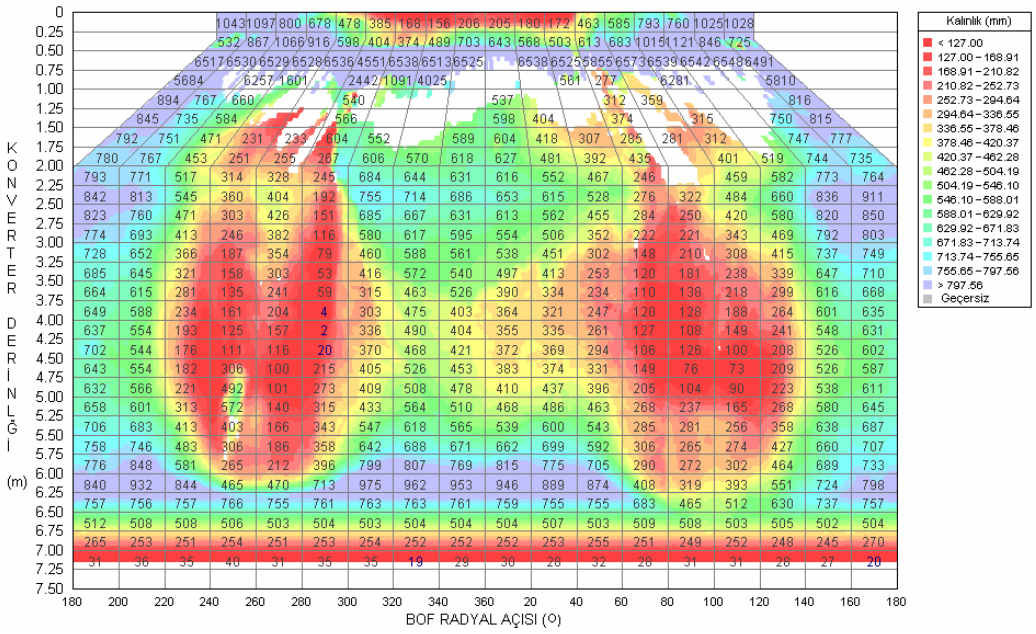
Şekil 6.21 2750. dökümde yapılan tuğla kalınlık ölçüm sonucu.

Konverter astarının curuf korozyonu sebepli aşınmasında etken olan aynı dönemdeki curuf analizleri incelenmiştir. Analizlerden curuftaki %MgO oranı ile ilgili değişim Şekil 6.22 `de verilmektedir. 04.04.2005 - 25.04.2005 döneminde konverter curufundaki % MgO değerinin ortalama %8,75 `e düştüğü görülmektedir. Bu dönemde konverter Şarj duvarı ortalama astar kalınlığı 750 mm `ye, döküm duvarı ortalama astar kalınlığı ise 551 mm olarak ölçülmüştür.



Şekil 6.22 Konverter curufundaki % MgO değişimi

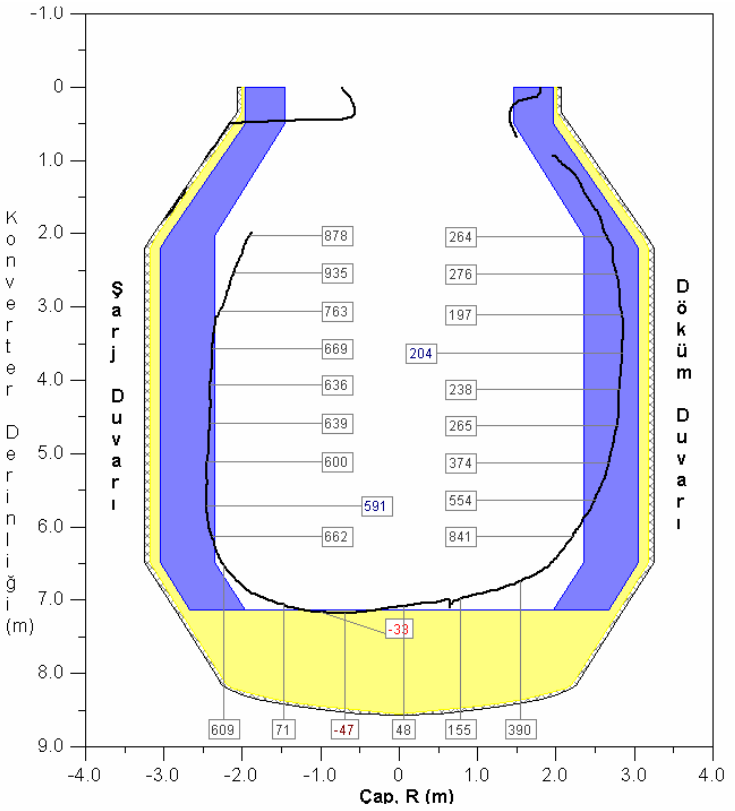
Şekil 6.23 `de muylu bölgeleri, koni bölgesi, konverterin ağız kısmında ve tabanlarda ciddi aşınmalar gözlemlenmektedir.



Şekil 6.23 Konverter Astarının Tuğla Ölçümü Kesit Görüntüsü (2750. Döküm)

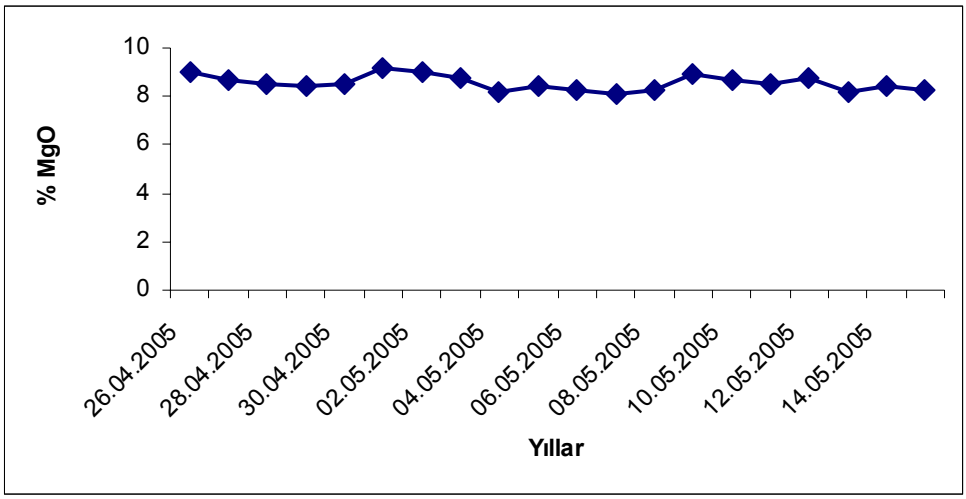
Şekil 6.24 `te 3000. dökümde çalışma astar kalınlığına ait değerler görülmektedir. 2750. Dökümde yapılan incelemeye göre curuf kaplama kalınlığının şarj duvarında ve döküm duvarında azalmış olduğu, konverterin çalışma astarında önemli oranda özellikle döküm duvarında emniyet astarına yaklaşan aşınmalar gözlemlenmiştir. Şarj duvarında en düşük kalınlığın 591 mm`ye döküm duvarı kısmında ise minimum

astar kalınlığının 204 mm olarak ölçüldüğü görülmektedir. Taban bölgesindeki seviyenin düştüğü ve en düşük taban kalınlığının -47 mm olarak ölçüldüğü görülmektedir.



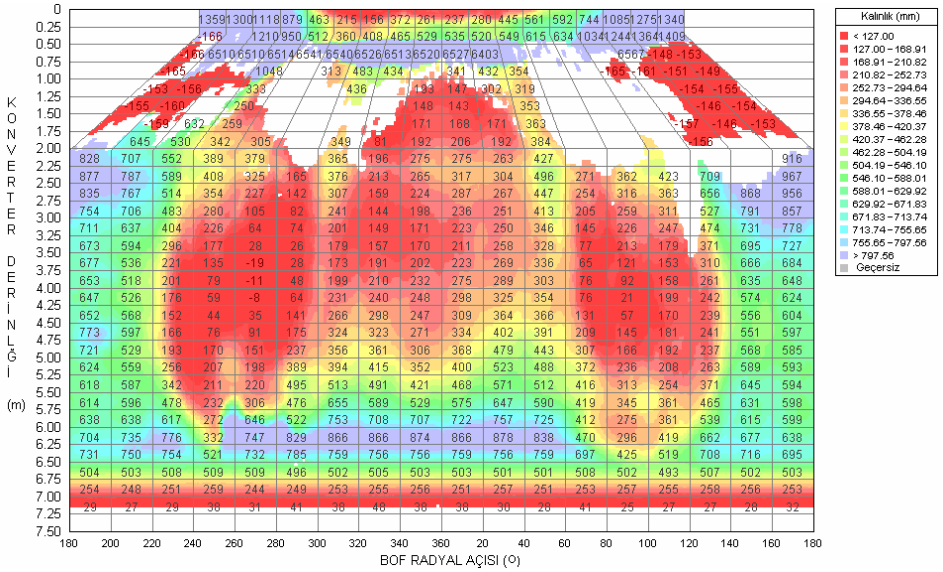
Şekil 6.24 : 3000. dökümde yapılan tuğla kalınlık ölçüm sonucu.

Konverter astarının curuf korozyonu sebepli aşınmasında etken olan aynı dönemdeki curuf analizleri incelenmiştir. Analizlerden curuftaki %MgO oranı ile ilgili değişim Şekil 6.25 `de verilmektedir. 26.04.2005- 14.05.2005 döneminde konverter curufundaki % MgO değerinin ortalama % 8,55 olarak gerçekleştiği görülmüştür. Bu dönemde konverter şarj duvarı ortalama astar kalınlığı 708 mm `ye, döküm duvarı ortalama astar kalınlığının ise 357 mm `ye düştüğü görülmektedir.



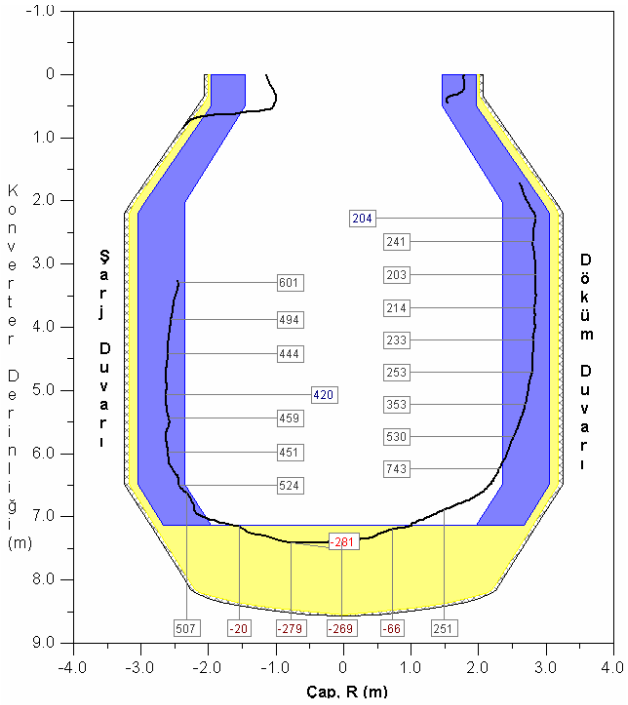
Şekil 6.25 : Konverter curufundaki % MgO değişimi

Şekil 6.26 `da muylu bölgeleri, koni bölgesi, döküm duvarı ve döküm deliği civarı, ağız kısmı ve tabanlarda ciddi aşınmalar gözlemlenmektedir. Özellikle muylu bölgesinde çalışma aşınmanın çalışma astarını tüketerek emniyet astarına ulaştığı kısımlar gözlemlenmektedir. Özellikle muylu bölgelerine ve koni kısmına torket yapılarak tamir yapılmıştır.



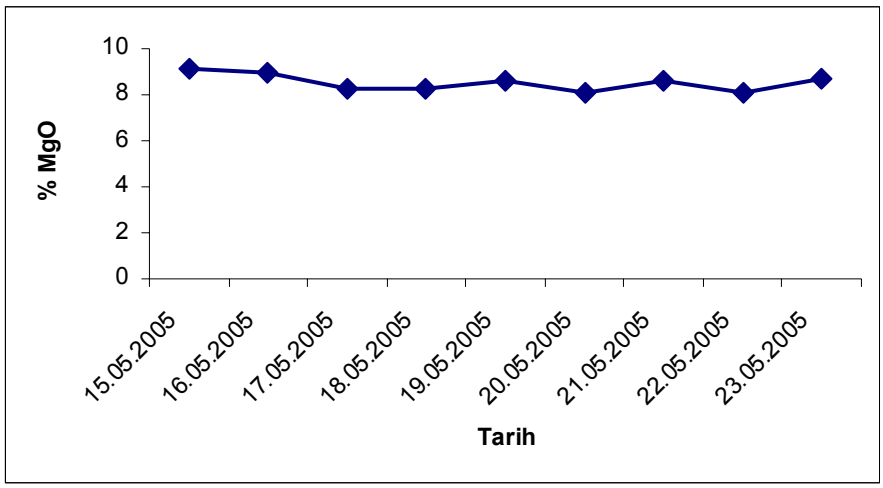
Şekil 6.26 Konverter Astarının Tuğla Ölçümü Kesit Görüntüsü (3000. Döküm)

Şekil 6.27 `de 3166. dökümde çalışma astar kalınlığına ait ölçüm sonuçları görülmektedir. Şarj duvarında ortalama astar kalınlığının 484 mm`ye, döküm duvarında ise döküm duvarında ortalama astar kalınlığı ise 330 mm olarak ölçülmüştür.



Şekil 6.27 3116. dökümde yapılan tuğla kalınlık ölçüm sonucu

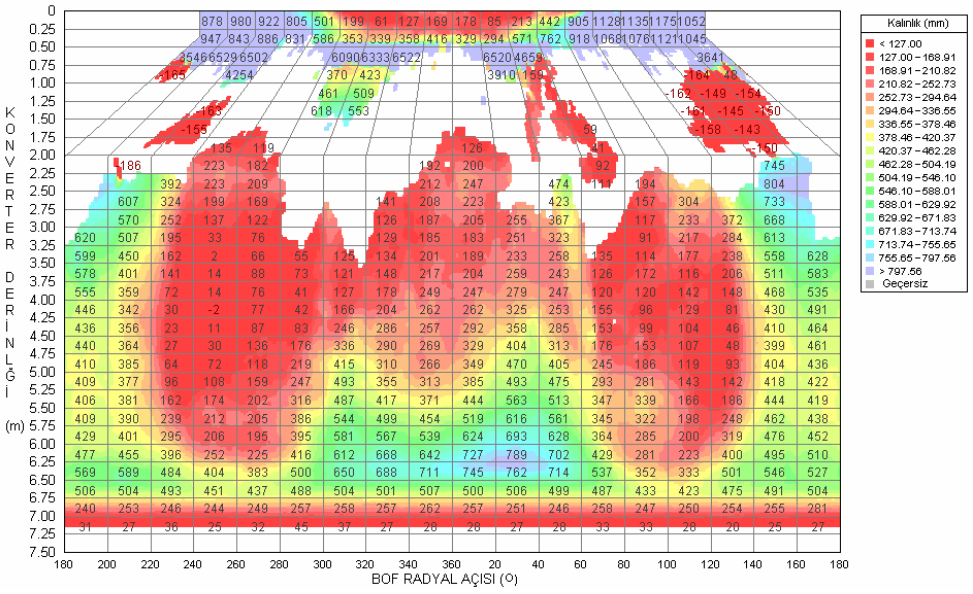
Konverter astarının curuf korozyonu sebepli aşınmasında etken olan aynı dönemdeki curuf analizleri incelenmiştir. Analizlerden curuftaki %MgO oranı ile ilgili değişim Şekil 6.28 `de verilmektedir. Şekil 6.28 `de görüldüğü gibi 13.05.2005 - 23.05.2005 döneminde konverter curufundaki % MgO değerinin ortalama % 8,61 olarak gerçekleştiği görülmüştür.



Şekil 6.28 Konverter Curufundaki % MgO değişimi

Şekil 6.29 `da muylu bölgeleri, koni bölgesi, döküm duvarı, ağız kısmı ve tabanlarda ciddi aşınmalar gözlemlenmektedir. Özellikle muylu bölgesi ve koni kısmında

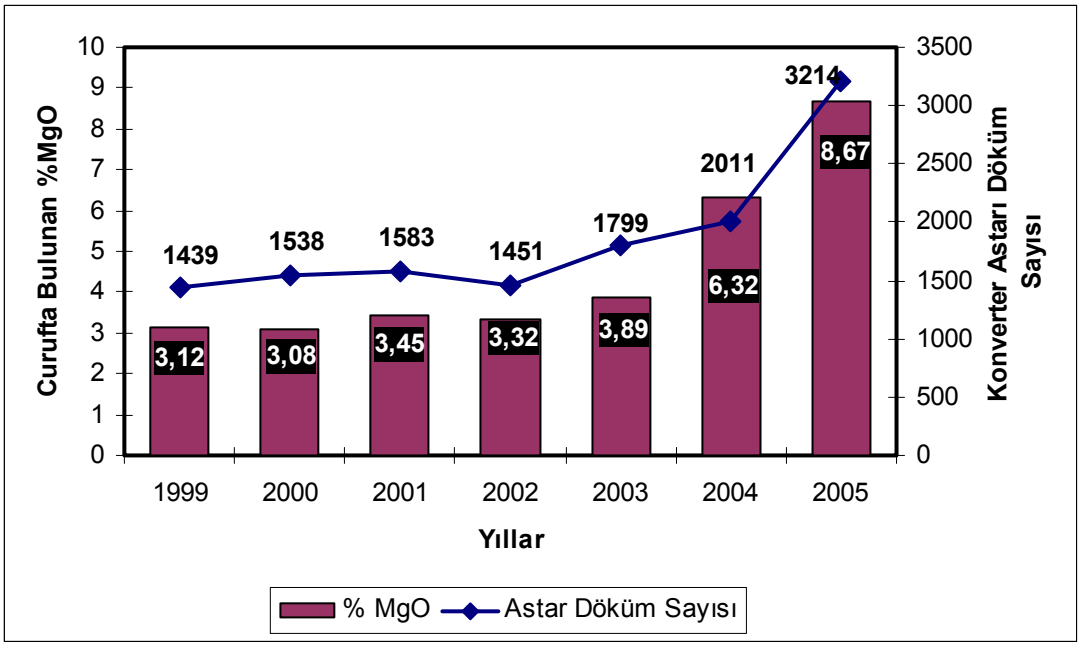
aşınmanın çalışma astarını tüketerek emniyet astarına ulaştığı kısımlar gözlemlenmektedir. Konverter astarının durumu değerlendirilmiş ve konverterin çalışma şartlarının sürdürülebilir olmadığı ve riskler ihtiva ettiği düşüncesi ile 163-24 no`lu kampanyanın bitirilerek konverterin durdurulmasına karar verilmiştir.



Şekil 6.29 Konverter Astarının Tuğla Ölçümü Kesit Görüntüsü (3166. Döküm)

7. DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

2004 Yılı konverter curufundaki % MgO oranı 6,32 curuf kaplama yöntemi ile konverter astar ömrünün artırılması çalışmasının yapıldığı 2005 yılında ise konverter curufundaki % MgO oranı **%** 8,67 olmuştur. Şekil 6.1 `de yıllara göre curuftaki %MgO ve kampanya astar döküm sayıları aynı grafikte birlikte verilmiştir. Curuftaki ortalama %MgO `nun % 8 `in üzerine çıkması ile kampanya astar döküm sayılarında 3000 dökümlerin üzerine çıkmak mümkün olmuştur.

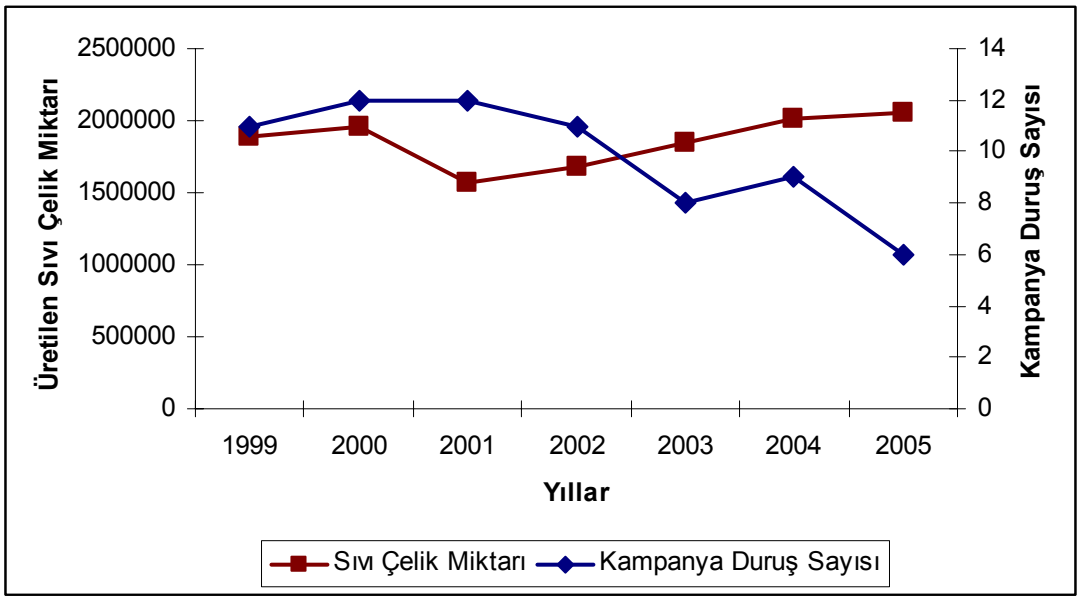


Şekil 7.1 Yıllara göre gerçekleşen kampanya astar döküm sayıları ve curuftaki %MgO değişimi.

1 no`lu Konverterin 163/23 no`lu kampanyasında (31.10.2004 – 23.05.2005) astar döküm sayısı rekoru 2177 `den 3166 `ya çıkartılmıştır. 3 no`lu Konverterin 113/9 no`lu kampanyasında (02.01.2005 - 25.07.2005) ise astar döküm sayısı rekoru 2454 `ten 3214 `e çıkartılmıştır.

Gerçekleştirilen uzun süreli kampanyalar sayesinde 2004 yılında 9 olarak gerçekleşen kampanya duruş sayısı 2005 yılında 6 `ya düşürülmüştür. Daha az

kampanya duruşu gerçekleştirilmekle birlikte üretilen sıvı çelik miktarı artmıştır. Yıllara göre konverter kampanya duruş sayıları ve üretilen sıvı çelik miktarları Şekil 7.2 `de verilmektedir.



Şekil 7.2 Yıllara göre İsdemir Çelikhanesi üretim miktarları ve konverter kampanya duruş sayıları.

Kampanya duruşu bir konverterin 6-10 gün arasında durmasını gerektirmektedir. Bu süre zarfında kampanya bakımında olan konverterde üretim tamamen durmaktadır. 2005 yılında konverter astar ömürlerinin artırılması ile 2004 yılına göre Çelikhanede bir adet konverterin ilave 18 ila 30 gün daha fazla üretimde kalması sağlanmıştır.

2005 yılı üç konverterin günlük döküm ortalaması 47 dökümdür. 2005 yılı bir pota çeliğin değeri 65000 YTL `dir. Buradan daha az kampanya bakım duruşunun mali getirisi; konverterin 18 gün daha fazla üretimde bulunması için:

$$(47/3) \times 18 \times 65000 = 18{,}33 \text{ milyon YTL}$$

30 gün daha fazla üretimde bulunması için ise,

$$(47/3) \times 30 \times 65000 = 23{,}4 \text{ milyon YTL}$$

olarak hesaplanabilmektedir. Bununla birlikte, İSDEMİR `in entegre bir tesis olması, 2005 yılında iki yüksek fırının faaliyette bulunması ve üretim kapasiteleri dikkate alındığında çalışmanın maddi getirisinin 5-6 milyon YTL mertebesinde olduğu hesaplanmaktadır.

8. GENEL SONUÇLAR

Bu çalışmada konverter astar ömrünü artırmak için konverter curufundaki %MgO oranını artırarak konverter çalışma astarını uygun bileşimdeki curuf ile kaplama yöntemi belirlenmiştir. Konvertere çelik boşaltıldıktan sonra, curuftaki %MgO oranını artırmak için ham manyezit ilavesi yapılmıştır. Konverter curufundan analiz alınarak gerçekleşen %MgO değeri takip edilmiş, tuğla kalınlığı ölçülmüş ve incelen bölgelere selektif olarak sıcak tamir malzemesi ile tamir yapılmıştır. İSDEMİR Çelikhanesi çelik yapım konverterlerinde refrakter astar ömrünü artırma çalışmaları neticesinde elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmektedir.

1. İSDEMİR çelik yapım konverter curuflarında bulunan ortalama % MgO değeri 2004 yılında % 6,43 iken, ham manyezit uygulamasının yapıldığı dönemde % 8,67 olarak gerçekleşmiştir.

2. Tuğla kalınlığı ölçüm sonuçlarından, konverter curuflarındaki % MgO değerinin 9`un üzerinde gerçekleştiği dönemlerde, konverter astarının curuf ile başarılı şekilde kaplandığı; düşük değerlerde gerçekleştiği dönemlerde ise astarın curuf ile kaplanması işleminin başarısız olduğu tespit edilmiştir.

3. Refrakter astarı tuğla değişimi nedeni ile gerçekleştirilen konverter kampanya duruş sayısı 2004 yılında 9 iken bu çalışma ile daha fazla miktarda çelik üretiminin gerçekleştirildiği 2005 yılında 6 kampanya duruşu gerçekleştirilmiştir.

4. Konverter kampanya duruş sayısının azalması ile her bir konverterin yıllık 18-30 gün daha fazla ulaşılabilir olması sağlanmıştır. Bu sayede üretilebilir çelik kalitesi artmış ve şirket açısından katma değer artışı sağlanmıştır.

5. Bu çalışma sonucunda konverter astarının aşınması azaldığından sıcak tamir malzemesi ve refrakter tuğla tüketimleri azalmıştır.

KAYNAKLAR

[1] www.steeltimes.com

[2] www.steel.org

[3] İTÜ tarafından gerçekleştirilen İSDEMİR TS18001 Toz, Gaz, Gürültü Ölçüm Raporu, 2005.

[4] **Özen, İ**., 1992. Magnezya karbon refrakterler,inde Granülasyon incelemesi ve antioksidan katkısı, *Yüksek Lisans Tezi,* İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[5] **Gökçe**, **A.S**., 2003. Antioksidan katkıların magnezya-karbon refrakterin oksidasyon davranışına etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[6] **Brezny, B**., 1993. The microstructures and properties of magnesia-carbon refractories, *Key Engineering Materials*, 88, 21-40.

[7] **Mills, K.C., Su Y., Fox A.B., Li Z., Thackray R.P. ve Tsai H.T.,** 2005. A review of slag splashing, *ISIJ International,* 45, 619-633.

[8] **Hubble, D.H., Russell, R.O., Vernon, H.L. ve Marr, R.J.,** 1998. Steelmaking refractories, *The Making, Shaping and Treating of Steel*, *11th Edition Steelmaking and Refining Volume*, 227-242, USA.

[9] **Gürcan**, **C.**, 2002. Doğru akım elektrik ark fırınında ergimiş magnezya üretimi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[10] **Rivenet, M., Ruchaud, N., Boivin J.C., Abraham, F. ve Hubert, P.,** 2000. A basic gunnning material interfaces study, *Journal of the European Ceramic Society,* 20, 1645-1651.

[11] **Luomala, T.M.J., Fabritius, T.M., Virtanen, E.O., Siivola, T.P., Fabritius T.L.J., Tenkku, H. ve Harkki, JJ.,** 2002. Physical model study of selective slag splashing in the BOF, *ISIJ International*, 42, 1219-1224.

[12] **Park J.M.,** 2001. MgO solubility in BOF slag equilibrated with ambient air, *Steel Research,* 72, 141-145.

[13] **Jung S.M. ve Ftuehan J.R.,** 2000. Foaming Characteristics of BOF Slags, *ISIJ International,* 40,348-355.

[14] **Rivenet, M., Cousin O., Boivin J.C., Abraham F., Ruchaud N. ve Hubert, P.,** 2000. A study of the Na_2O-CaO-P_2O_5-SiO_2 system with respect to the behaviour of phospate bonded basic refractories at high temperature, *Journal of the European Ceramic Society,* 1169-1178.

[15] **The Technical Association of Refractories,** 1998. Refractory Handbook, 46-50, Japonya

[16] **Iyengar, R.K. ve Petrilli, F.C.,** 1972. Statistical analysis of BOF lining life, *Journal of Metals,* 46-50.

ÖZGEÇMİŞ

Mustafa SAĞLAM 28 Ekim 1976 tarihinde Çorum ’da doğmuştur. İlk öğrenimini İstanbul Fethiye İlkokulu `nda, orta ve lise öğrenimini İstanbul Özel Çavuşoğlu Lisesi ’nde tamamlamıştır. 2001 yılında İTÜ Kimya Metalurji Fakültesi Metalurji Mühendisliği bölümünden mezun olmuş 2003 yılında İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Malzeme Ana Bilim Dalı, Malzeme Mühendisliği Programına girmiştir. Halen İskenderun Demir Çelik Fabrikaları T.A.Ş. ’de Metalurji Mühendisi olarak çalışmaktadır.