

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TÜRKİTE'DE AOD KONVERTERİ İLE PASLANMAZ ÇELİK
ÜRETİMİNDE PROSES PARAMETRELERİNİN MALZEME
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

Metalurji ve Malzeme Müh. Ahmet Metin NARİN

**FBE Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı Malzeme Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Adem BAKKALOĞLU

İstanbul, 2008

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTMA LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	vii
ÖNSÖZ	viii
ÖZET	ix
ABSTRACT	x
1. GİRİŞ	11
2. DÜNYADA ve TÜRKİYE'DE PASLANMAZ ÇELİĞİN MEVCUT DURUMU	12
3. PASLANMAZ ÇELİK ÜRETİMİNE GENEL BİR BAKIŞ	15
3.1 Paslanmaz Çeliğin Önemi ve Kullanım Alanları	15
3.2 Paslanmaz Çeliğin Türleri	19
3.2.1 Ferritik Paslanmaz Çelikler	20
3.2.2 Martenzitik Paslanmaz Çelikler	22
3.2.3 Östenitik Paslanmaz Çelikler	24
3.2.4 Östenitik-Ferritik (Dubleks) Paslanmaz Çelikler	26
3.2.5 Çökeltme Sertleşmesi (Yaşlandırma) Uygulanabilir Paslanmaz Çelikler	27
3.3 Paslanmaz Çelik Üretim Yöntemleri	28
3.3.1 Argon Oksijen Dekarbürizasyonu (AOD)	30
3.3.2 Vakum Ark Ergitmesi (VAR)	30
3.3.3 Vakum Oksijen Dekarbürizasyonu (VOD)	30
3.3.4 Elektro-Cüruf Ergitmesi (ESR)	30
4. AOD YÖNTEMİ İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER	31
4.1 AOD Yönteminin Tanıtılması ve Tarihsel Gelişiminin İncelenmesi	31
4.2 AOD Konverterinin Sağladığı Faydalar	32
5. AOD YÖNTEMİ İLE PASLANMAZ ÇELİK ÜRETİMİ	34
5.1 Dekarbürizasyon	35
5.2 Curufun Redüklenmesi	38
5.3 Desülfürizasyon	39
5.4 Azot İçeriğinin Kontrol Edilmesi	39

6.	AOD YÖNTEMİNDE PROSES PARAMETRELERİNİN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ.....	42
6.1	Sıcaklık	42
6.2	Kimyasal Bileşim.....	42
6.3	Karbon, Oksijen, Argon ve Azot Oranlarının Etkileri.....	44
6.3.1	Karbonun Etkileri	44
6.3.2	Oksijenin Etkileri.....	45
6.3.3	Argonun Etkileri	45
6.3.4	Azotun Etkileri.....	46
7.	AOD KONVERTERİNİN SAĞLADIĞI KALİTE İYİLEŞTİRMELERİ.....	47
7.1	Üretim Bazlı Kalite İyileştirmeleri	47
7.1.1	Alaşımla Tasarrufu	47
7.1.2	Üretim Artışı.....	47
7.1.3	Kükürt Giderimi.....	47
7.1.4	Etkili Gaz Giderme	48
7.1.5	Akıcılığın Artması	48
7.1.6	İnküzyonların kontrolü	48
7.2	Malzeme Özelliği Bazlı Kalite İyileştirmeleri.....	50
8.	AOD YÖNTEMİNDE İYİLEŞTİRME ÇALIŞMALARININ SONUÇLARI	52
8.1	Farklı Gaz Üfleme Hızlarında Elde Edilen Sonuçlar ve İdeal Gaz Üfleme Hızlarının Saptanması.....	52
8.2	Banyodaki Karışım Bölgeleri ve Reaksiyon Kinetikleri Üzerine Etkileri.....	56
8.2.1	Tüyer Bölgesi.....	58
8.2.2	Oksit/metal bölgesi	58
9.	AOD KONVERTERİ İLE İLGİLİ DAHA ÖNCE YAPILMIŞ ÇALIŞMALARIN İNCELENMESİ.....	60
10.	TÜRKİYE’DE AOD KONVERTERİNİN DEVREYE ALINMASI SÜRECİNDE KARŞILAŞILAN GÜÇLÜKLER.....	66
11.	SONUÇLAR.....	69
	KAYNAKLAR.....	71
	ÖZGEÇMİŞ.....	73

SİMGE LİSTESİ

N_{Fr}	Geliştirilmiş Forude Sayısı
d_{ni}	Tüyer İç Çapı
d	Tüyer çapı
ρ	Yoğunluk
L_H	Banyo yüzeyinde yayınma derinliği
p_{CO}	Karbonmonoksit kısmi basıncı
$\dot{Q}_{O_2}^{(j)}$	J elementi ile reaksiyona giren oksijen hacmi
\dot{Q}_{O_2}	Birim zamanda üflenen toplam oksijen miktarı
n	Stokiyometrik faktör
c_j	Metal içerisinde j elementinin molar konsantrasyonu

KISALTMA LİSTESİ

AOD	Argon Oksijen Dekarbürizasyonu
EDS	Enerji Dağılım Spektroskopu
EAO	Elektrik Ark Ocağı
VAR	Vakum Ark Ergitmesi
VOD	Vakum Oksijen Dekarbürizasyonu
ESR	Elektro-Cüruf Ergitmesi
CRE	Karbon Giderme Etkinliği
AISI	American Iron and Steel Institute
SEM	Scanning Elektron Microscope

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 3.1 2002 Yılı dünya paslanmaz çelik tüketimi	15
Şekil 3.2 Değişik paslanmaz çelik türleri için Ni ve Cr miktarları.....	19
Şekil 3.3 Çeşitli kalitellerdeki paslanmaz çeliklerin tipik iç kristal yapıları	20
Şekil 3.4 1.4021 Kalite çelik malzemenin ıslah diyagramı;.....	23
Şekil 3.5 Bazı paslanmaz çeliklerin soğuk deformasyon nedeniyle meydana gelen sertlikleri	24
Şekil 3.6 Bazı alaşım elementlerinin, östenitik çeliklerin 0,2 % genişleme sınırına olan etkileri	25
Şekil 3.7 Bazı paslanmaz çelik türlerinin içyapıları	28
Şekil 3.8 Paslanmaz Çelik Üretiminde Kullanılan Metotlar	29
Şekil 4.1 AOD Konverterinde işlem akışı.....	31
Şekil 5.1 Paslanmaz çelik üretim akış diyagramı	34
Şekil 5.2 Sıvı metal içerisinde karbon içeriğinin gaz üfleme süresi, sıcaklık ve CRE sayısı ile değişimi.....	36
Şekil 5.3 AOD Konverterinde paslanmaz çelik üretiminde kullanılan gaz üfleme rejimi	37
Şekil 5.4 Azot dağılımı ile ilgili bilgisayar destekli simülasyon sonucu	40
Şekil 5.5 Gaz emme sistemi etkinliğinde yaşanan düşme sırasında azot dağılımının incelenmesi	41
Şekil 6.1 AOD konverterinde dekarbürizasyon, redüksiyon ve düzenleme aşamalarında sıcaklık, % C ve % Cr değişimleri.....	43
Şekil 6.2 Krom-karbon- sıcaklık ilişkisi.....	44
Şekil 7.1 Malzeme yüzeyinde hataya sebep olan tipik inklüzyonları SEM mikro yapısı ve her fazın EDS incelemesi.....	49
Şekil 7.2 Ba elementi içeren inklüzyonların EDS analizi	50
Şekil 8.1 Gerçek bir AOD'ye geometrik olarak benzerliği sağlanmış deneysel model	53
Şekil 8.2 Model banyo içerisinde gaz jetinin yayılımı	54
Şekil 8.3 Yan duvardan gaz üflenilmesi esnasında oluşan akış doğrultularının iki farklı durum için şematik gösterimi (Fabritius T.M.J., Mure P.T., Harkki J.J. , 2003).....	55
Şekil 8.4 Paslanmaz çelik üretiminde reaksiyon bölgeleri	57
Şekil 9.1 Ön-normalizasyon ısı işleminin AOD çeliğinin darbe tokluğu üzerindeki etkileri .	62
Şekil 9.2 Ark ocağı ve AOD ile üretilen numunelerin çentik darbe dayanım dağılımlar	63
Şekil 9.3 Ark ocağı ve AOD ile üretilen numunelerin çentik darbe dayanım dağılımları	64
Şekil 9.4 Inklüzyonların hacimsel dağılımının oksijen ve kükürt içeriği ile değişimi	65
Şekil 10.1 Paslanmaz çelik üretim akış şeması	67

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1. Ham Paslanmaz ve Isıya Dayanıklı Çelik Üretimi (1000metrik ton)	13
Çizelge 2.2. Dünya Paslanmaz ve Isıya Dayanıklı Ham Çelik Üretimi (1000 metrik ton).....	14
Çizelge 3.3 Türkiye’de Paslanmaz Çelik Üretimini Değerlendirilmesi	18
Çizelge 3.4 Tavlanmış ve oda sıcaklığındaki ferritik paslanmaz çeliklerin mekanik değerleri	21

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tezimin hazırlanma sürecinde değerli bilgi ve tecrübeleriyle bana destek olan Saygıdeğer Hocam Prof. Dr. Adem BAKKALOĞLU'na teşekkürü borç bilirim.

Bu çalışmaya konu olan AOD konverterinin faaliyete geçeceği Akmetal Metalürji Endüstrisi A.Ş. çalışanlarına ve Sayın Dr. F. Can AKBAŞOĞLU'na destekleri için teşekkür ederim.

Hayatımın her döneminde bana desteklerini esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

ÖZET

Türkiye’de halen üretimi yapılamayan paslanmaz çeliklerin üretimi dünyada %75 oranında AOD Konverterlerinde yapılmaktadır. AOD paslanmaz çelik üretiminin temel adımıdır. Bu süreç, Elektrik Ark Ocağı veya İndüksiyon Ocağında elde edilen sıvı çeliğin, AOD Konverterinde, kalite iyileştirilmesi amacıyla işlem görmesinden ibarettir. Tüyerlerden kontrollü bir şekilde sıvı çeliğe üflenen Argon, Azot ve Oksijen gazları ile çok etkin bir dekarburizasyon gerçekleştirilerek, en az krom kaybı ile karbon oranının önemli ölçüde düşürülmesi gerçekleştirilmiş olur. Firmamızda üretimi tamamlanmak üzere olan konverter ile Türkiye’de ilk defa paslanmaz çelik üretimi gerçekleştirilerek Türkiye Sanayisi için önemli bir adım atılmış olacaktır. Bu çalışmada, konverterin özellikleri hakkında bilgi verilerek, çalışma prensipleri ve Türkiye’de paslanmaz çelik üretiminin gerçekleştirilmesi konusunda yapılan çalışmalar hakkında bilgi verilmiş ve süreç parametrelerinin, malzeme özellikleri üzerindeki etkileri irdelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: AOD, Paslanmaz Çelik, İkincil Metalürji, Dekarbonizasyon

ABSTRACT

Stainless steels haven't been produced in Turkey until today. AOD Converters are used for 75 percent of the stainless steel production in the world. AOD is the main step of the process for stainless steel production. This process can be defined generally by treating the liquid metal was melted in an Electrical Arc Furnace or Induction Furnace before, by blowing gases like Argon, Nitrogen and Oxygen. According to that, there will be an efficient decarburization in the liquid bath and carbon content will decrease without loss of chromium. When our AOD Converter will be ready for production, the first stainless steel production in Turkey will be achieved. This will be a major step forward for the Turkish industry. In this study, information about the specifications and process principles of the AOD Converter is explained, the studies currently taking place for achieving stainless steel production is discussed and the effects of the process parameters on the material properties is examined.

Keywords: AOD, Stainless Steel, Secondary Steel Making, Decarburization

1. GİRİŞ

Türkiye geçtiğimiz yıllarda döküm sektöründe hızla gelişerek, Avrupalı döküm kullanıcıları için önemli bir tedarikçi haline gelmiştir. 1970–1998 yılları arasında Avrupa'nın döküm kapasitesi %7,8 artarken, aynı süre içerisinde Türkiye döküm sanayisi % 250 oranında büyümüştür. Türkiye üretimiyle şuan dünya pazarının %1,1'lik, Avrupa pazarının ise % 3,5'lik kısmını karşılamaktadır. Bu üretim kapasitesiyle dünyada 13'üncü, Avrupa'da ise 6'ncı en büyük döküm üreticisi konumuna sahip olmuştur. Ancak gittikçe ağırlaşan piyasa koşullarında, bu yükselişin korunabilmesi için döküm alanında yeni teknolojilerin kullanılması ve kaliteli ve katma değeri yüksek ürünlere yönelmesi gerçeği bu noktada karşımıza çıkmaktadır. Bu gelişmiş sektörün halen paslanmaz çelikler gibi bazı metallerin üretimini gerçekleştirememesi ve bunları dışarıdan tedarik etmesi gelişen sektör için engelleyici bir rol oynamaktadır. AOD yöntemi, yeni bir teknoloji olmamakla beraber Türkiye'de kullanımı halen yoktur. AOD iki aşamalı bir sürecin bir adımıdır. Bu süreç öncelikle, hurda ya da ham madde, bir elektrik ark ya da indüksiyon fırınında ergitilmesi ve bunu takiben bu ergiyiğin AOD konverterinde işlem görmesinden oluşur. Argon veya azot ile karışık olarak, tüyerlerden kontrollü bir şekilde sıvı çeliğe verilen oksijen sayesinde dekarburizasyon gerçekleşir ve en az krom kaybı ile en düşük karbon seviyesi yakalanmış olur.

Bu yöntem ile paslanmaz çelik üretiminde malzeme ve işlem giderlerini düşürülerek üretim hacminin arttırılmasını sağlar. Bununla birlikte metalin empürite ve gaz açısından temiz olmasına bağlı olarak oldukça iyi mekanik özelliklerin elde edilmesine olanak sağlar. Dünya genelinde paslanmaz çelik üretiminde etkin olarak kullanılan bu yöntemin Türkiye'de kullanıma geçirilmesinin sektöre yeni açılımlar kazandıracığı aşikârdır.

2. DÜNYADA ve TÜRKİYE'DE PASLANMAZ ÇELİĞİN MEVCUT DURUMU

Paslanmaz Çelikler %12 ila 30 arasında krom içerirler. Paslanmaz çelikler, paslanmazlık özelliğine sahip olabilmek için %12 üzerinde krom ihtiva etmelidirler Üretilen paslanmaz çeliklerin büyük bir bölümü en fazla %0.07 ya da %0.08 oranında karbon içermektedir. Mekanik özellikleri ve çalışma ömrünü iyileştirmek için farklı miktarlarda; nikel, molibden, bakır, kükürt, titanyum, niyobyum ve bunun gibi elementlerde eklenir. Paslanmaz Çelikler temel olarak östenitik, ferritik, martenzitik, dublex ve çökelme sertleşmesi uygulanabilir olmak üzere sınıflandırılırlar. 1930 yılına kadar Amerika Birleşik Devletlerinde ticari olarak üretilen ilk paslanmaz çelik alaşımları 302, 410, 420, 430 ve 4462'ya benzerken daha sonraki yıllarda 303, 304, 316, 321, 347, 416 ve 440 gibi alaşımlar markete sunuldu.

İlk yıllarda, paslanmaz çelikler elektrik ark ocaklarında ergitildiler. Bu yıllarda, karbon çeliği hurdası, demir cevheri ve kireç elektrik ark fırınına şarj edilirdi. Hurda ergitildikten sonra karbon oranı %0.02'nin altına düşüncüye kadar cevher ilave edilirdi. Daha sonra elektrotlar kaldırılarak alınabildiği kadar cüruf alınır ve bu işlem sonrasında ferrosilisyum, kireç ve fluspat ilaveleri neticesinde sıcaklık yükselir ve bu da yüksek miktarlarda düşük karbonlu ferrokrom ilavesi ile hedeflenen krom oranının yakalanmasına imkân verirdi. Bir yandan cüruf katı tutmak için sürekli ferrosilisyum ilave edilirken bir yandan da sıvı banyo karıştırılır ve son ilaveler yapılarak döküm sıcaklığında malzeme dökülürdü.

1970'li yıllara kadar paslanmaz çelikler bu şekilde ark ocaklarında üretildiler. Oksijen üretiminde sağlanan gelişmeler ark ocağında paslanmaz çelik üretim pratiğini baştan aşağı değiştirmiştir. Gaz fazındaki oksijenin dekarburizasyon etkinliğini yükseltmek amacıyla kullanılabileceği fikri ortaya çıktı. Buda oksijenin sıvı çeliğin içerisine su soğutmalı lanslar yardımıyla enjekte edilmesi şeklinde olabilirdi. (Patil B.V. vd. 1998)

Paslanmaz çelik üretiminde önümüzdeki elli yıl içerisinde yılda % 4 ila 6 arasındaki bir artış beklenmektedir. Bu artış neticesinde dünya paslanmaz çelik ihtiyacının 18 milyon ton seviyesine ulaşacağı öngörülebilir. Paslanmaz çeliğe olan talepler incelendiğinde, en yoğun talebin Kuzey Amerika, Avrupa ve Japonya üretiminin yaklaşık %20-30'u gibi bir oran ile ferritik paslanmaz çeliklere olduğu görülmektedir. Ayrıca otomobil egzoz sistemlerinde kullanılan azot içerikli ferritik paslanmaz çelikler ve çok düşük karbonlu paslanmaz çeliklere olan talep artışı da dikkat çekicidir. 1991 yılı verilerine göre batı ülkelerinde üretilen paslanmaz çeliğin %75,6'sı AOD Konverterleri ile üretilmektedir. (Ghosh A., 2001)

Uluslararası Paslanmaz Çelik Forumu, 19 Aralık 2007 tarihinde, Brüksel’de; 2006 yılının 3. çeyreğinde dünya paslanmaz ham çelik üretiminin 2005 yılına göre yüzde 30 civarında arttığını ve 7,1 milyon tona ulaştığını açıkladı. 2006 yılının ilk 9 ayında dünya paslanmaz çelik üretimi, önceki yıla göre %13 artarak 20,9 milyon ton oldu. Paslanmaz çelik üretiminde bu yüksek artış, paslanmaz çelik üreten bütün ülkelerde gerçekleşti. Uluslararası Paslanmaz Çelik Forumu, bu artışın dünya ekonomisinin başarısından kaynaklandığını ifade ediyor. Kuzey yarım küredeki birçok paslanmaz çelik üreticisi yüksek talebin etkisiyle durgunluk dönemini aştı. Üretici ve fabrikatörler hala 2005 yılında azalan stoklarını tamamlamaya devam etmişlerdir. Asya, 2006 yılının ilk 9 ayında 10,9 milyon tonluk paslanmaz çelik üretimiyle en çok paslanmaz üretilen bölge oldu (Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1. Ham Paslanmaz ve Isıya Dayanıklı Çelik Üretimi (1000metrik ton)

Bölgeler /Yıllar	Tam Yıl			2005/2004	İlk 9 Ay		2006/2005
	2003	2004	2005	+/- %	2005	2006	+/- %
Batı Avrupa/ Afrika	9.043	9.422	8.823	-6,4	6.679	7.426	11,2
Merkez ve Doğu Avrupa	322	318	310	-2,5	231	286	23,8
Amerika	2.830	2.933	2.688	-8,3	2.052	2.261	10,2
Asya	10.645	11.897	12.498	5,0	9.483	10.878	14,7
Dünya Toplamı	22.840	24.570	24.319	-1,0	18.445	20.851	13,0

Bu rakam, 2005 yılının aynı dönemine göre %15’lik üretim artışını ifade etmektedir. Çin, paslanmaz çelik üretiminde bir önceki yıla göre %50 artış sağladı ve açık farkla dünyada en çok paslanmaz çelik üreten, birinci ülke oldu. Batı Avrupa ve Afrika bölgesinde, aynı dönemde, paslanmaz çelik üretimi %11,2 artarak 7,4 milyon tona ulaştı. Paslanmaz çelik üretimi Amerika’da da belirgin bir şekilde arttı. Bölgedeki paslanmaz çelik üretimi %10 artarak 2,3 milyon tona ulaştı. Merkez ve Doğu Avrupa bölgesi yüzde olarak en yüksek artışa ulaştı. Rusya ve Ukrayna’da yüksek artışla paslanmaz çelik üretimi ilk 9 ayda bir önceki yıla göre %24 artarak 286 bin tona ulaştı. 2006 yılının üç aylık dönemleri kıyaslandığında paslanmaz çelik ve ısıya dayanıklı ham çelik üretiminde açık bir artış eğilimi görülmektedir. (Çizelge 2.2). İlk üç aylık üretim bir önceki yılın aynı dönemine göre çok az bir artış gösterdi. 2. üç ayın sonunda bu artış %12,6 oldu. 3. üç aylık dönemde ise %30,5 gibi çok yüksek bir artış gerçekleşti. (Kayır Y.Z., 2003)

Çizelge 2.2. Dünya Paslanmaz ve Isıya Dayanıklı Ham Çelik Üretimi (1000 metrik ton)

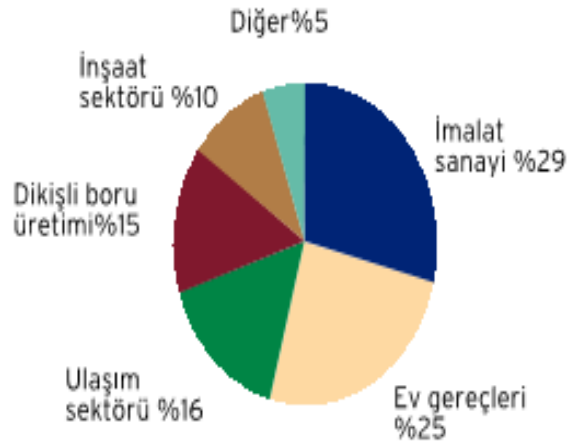
Bölgeler /Yıllar	1. Üçaylık Dönem		2006/2005	2. Üçaylık Dönem		2006/2005	3. Üçaylık Dönem		2006/2005
	2005	2006	+/- %	2005	2006	+/- %	2005	2006	+/- %
Batı Avrupa/ Afrika	2.448	2.421	-1,1	2.417	2.615	8,2	1.813	2.384	31,5
Merkez ve Doğu Avrupa	70	87	24,7	79	97	22,7	82	102	24,1
Amerika	731	760	4,1	730	808	10,7	592	757	27,9
Asya	3.336	3.348	0,4	3.216	3.735	16,1	2.931	3.824	30,5
Dünya Toplamı	6.585	6.617	0,5	6.442	7.256	12,6	5.418	7.067	30,4

ABD, Japonya, Çin, Almanya, İtalya, Güney Kore, Fransa, Hindistan, Tayvan ve İspanya'nın paslanmaz çelik üretimleri toplamı dünya üretiminin yaklaşık %80'idir. Dünyada yıllık 20 milyon ton civarında paslanmaz çelik tüketilmektedir. Bunların büyük çoğunluğu yassı mamul biçimindedir. Daha az miktarlarda ise; çubuk, tel, boru, dövme parça ve döküm parça olarak kullanılmaktadır.

3. PASLANMAZ ÇELİK ÜRETİMİNE GENEL BİR BAKIŞ

3.1 Paslanmaz Çeliğin Önemi ve Kullanım Alanları

Paslanmaz çeliğin çok değişik kalite ve özelliklerde temin edilebiliyor olması, bunların kullanımını da sürekli olarak yaygınlaştırmaktadır. Günümüzde artık ziynet eşyasından büyük sanayi tesislerine kadar uzanan geniş bir yelpazede kullanılmaktadır. Günlük hayatımızda kullandığımız pek çok ürün bugün paslanmaz çelikten yapılmaktadır. Paslanmaz çelik hemen her gün kullandığımız bir mutfak aleti olarak karşımıza çıktığı gibi, gezinti yaptığımız bir meydanda beğenimizi kazanan bir sanat eseri şeklinde de kendini gösterebilir. Büyük bir kimya tesisinin hemen her yerinde gördüğümüz bu malzeme güzel bir gökdelenin duvarlarını kaplayan dekoratif bir malzeme olarak da kullanılabilir. Keyif duyduğumuz bir alışveriş merkezinde pek çok detayda dikkatimizi çeken paslanmaz çelik, gerçekte hiçbir zaman görmediğimiz yerlerde bizim konforumuzu ve güvenliğimizi sağlayan endüstriyel ürünlerde de yaygın olarak kullanılabilir. Paslanmaz çeliğin nerelerde hangi oranda kullanıldığı, ülkelerin ekonomisi hakkında doğrudan bilgi veren bir gösterge niteliğini de taşımaktadır.



Şekil 3.1 2002 Yılı dünya paslanmaz çelik tüketimi

Kullanım oranının bireysel tüketim ürünlerinde fazla olması genellikle zayıf ekonomilere sahip ülkelerde görülür. Enerji, makine imalat ve ulaşım sektörlerinde kullanımın artması ekonomik yapının kuvvetli olduğunu gösterir. Şekil 3.1'deki grafik 2002 yılında Dünya paslanmaz çelik tüketiminin oransal dağılımı hakkında bir fikir vermektedir. (Sarıtaş, 2007)

Dünyada paslanmaz çelik tüketimi, teknolojik gelişme ile birlikte sürekli artış göstermektedir. Teknolojik gelişme ile birlikte ilk yatırım masraflarının yüksek olmasına karşın, bakım ve yenileme açısından daha az sorun yaratan malzeme kullanımına eğilim artmıştır. (Düşünceli H., 1999).

Gelişmiş ülkelerde çelik sektörü entegre tesislere dayalı olup, katma değeri yüksek; paslanmaz çelik, vasıflı çelik, özel çelikler gibi ürünlere yönelmiştir. Gelişmekte olan ülkelerde çelik sektörü, yarı entegre tesislere dayalı olup, hurda gibi parçalı girdilerden nispeten ucuz ürünler üretmektedir.

1950'li yılların başında 1 milyon ton civarında olan dünya paslanmaz çelik üretimi, 20. yüzyılın sonunda 20 milyon tona ulaşmıştır. 2010 yılında dünya paslanmaz çelik üretiminin 30 milyon tona yükseleceği tahmin edilmektedir. Kişi başına paslanmaz çelik tüketimi, gelişmiş ülkelerde 6,5-7 kg, ülkemizde ise 1,5 kg civarındadır. (Kayır Y.Z., 2003)

Paslanmaz çeliğin kullanımı her ülkenin refah seviyesi ile büyük ölçüde doğru orantılıdır. Sanayileşmiş ülkelerde %3,5 gibi bir ortalama yıllık artış gösterirken, %10'lara varan artış hızı gösteren gelişmekte olan ülkeler de bulunmaktadır. Dolayısıyla kalkınmış ülkelerde yüksek miktarlarda paslanmaz çelik çok çeşitli sanayi alanlarında kullanılmaktadır. Paslanmaz çelik malzeme ilk yatırım tutarını yükseltmekte, fakat uzun vadede çok büyük ekonomik kazanç sağlamaktadır. Dünyadaki kaynakların korunması ve çevre koruma önlemleri sonucunda gelecek yüzyılın sonunda yerine geçecek başka bir malzeme keşfedilmez ise karbon çeliklerinin yerini tamamen alması söz konusu olabilir. (Kaçar R. 2003)

Paslanmaz çelikler diğer çeliklere oranla fiyat bakımından daha pahalıdır, ancak bakımlarının ucuz ve kolay olması, uzun ömürlü olmaları, tümüyle geri kazanabilmeleri ve çevre dostu bir malzeme olmaları çok büyük avantajlar sağlar. Dolayısıyla parçanın tüm ömrü dikkate alınarak yapılacak fiyat analizlerinde, tasarımlarda paslanmaz çelik kullanımının daha ekonomik olduğu görülür (Kayır Y.Z. 2003)

1990'dan beri Türkiye'de 65 000 ile 85 000 ton arasında paslanmaz çelik tüketilmektedir. Ülkemizde kişi başına paslanmaz çelik tüketimi yaklaşık olarak 1,5 kg civarındadır. Bu miktar, dünya tüketiminin %0,5'ine karşılık gelmektedir. Türkiye, AB'nin dışında Avrupa kıtasındaki en önemli tüketicidir. Sonuç olarak dünya ile ülkemizdeki paslanmaz çelik üretimi ve tüketimi kıyaslandığında dünya ortalamalarının altında bir değerde yer almaktadır.

Yurt içi paslanmaz çelik tüketimimiz yaklaşık 100 000 ton olarak kabul edilebilir. Bu rakama yurt dışı talep için 50 000 ton eklendiğinde, 150 000 tonluk yıllık paslanmaz çelik tesisine ihtiyaç vardır. Bu kapasitede bir tesis katma değeri yüksek ürünleri üretme olanağı sağlayacaktır. Bu olgudan yola çıkarak şu anda ülkenin çok hızlı bir paslanmaz çelik üretim yatırımına girmesi gerektiği sonucu çıkarılmaktadır (Kaçar R. 2003)

Argon Oksijen Konverterinde sıvı metalin karbonu azaltıldıktan sonra ferrokrom ve ferronikel ve diğer alaşım elementleri eklenerek paslanmaz çelik üretilebilir. Böyle bir paslanmaz çelik tesisi için gerekli yatırım tutarı, Argon Oksijen Karbon Giderici, sürekli döküm tesisi, haddehane, ısıtma işlemi, asitle temizleme ve malzeme kontrol ünitelerinden oluşacaktır. Gerekli olan bu ünitelerin bazıları mevcut tesislerimizde zaten vardır ve mevcutların paslanmaz çelik üretimine uyarlanması gerekecektir. Böyle bir "Paslanmaz Çelik Tesisi" için gerekli yatırım tutarı yeni bir paslanmaz çelik tesisinin tutarıyla kıyaslandığında yeni tesis tutarının % 20-30'u gibi bir yatırım tutarının yeterli olacağı tahmin edilmektedir.

Türkiye'de Demir Çelik Sektörü ve Paslanmaz Çelik Üretimi değerlendirilmeye çalışılarak, paslanmaz çelik üretimi konusunda ülkemizin güçlü ve zayıf yönleri, fırsat ve tehditleri Çizelge 3.3'te sunulmuştur. Bu tabloda görüldüğü gibi ülkemizin güçlü yönleri ve paslanmaz çelik üretiminin yaratacağı olanaklar; istihdam ve ekonomik faydalar oldukça fazladır. Mevcut demir çelik tesislerinin esnek bir biçimde dönüştürülmesiyle gerçekleştirilecek paslanmaz çelik üretimiyle bir yandan demir çelik sektörümüze rekabet gücü kazandırılacak; diğer yandan da mevcut istihdam korunacak ve ek istihdam yaratılmış olacaktır. (Kayır Y.Z. 2003)

Ülkemizde petro-kimya, kimya, petrol, gübre, kağıt, otomotiv, gıda sanayileri ile gemi ve yat yapımı, mutfak, hastane, ofis, alet ve donanım, baraj ve su türbinlerinde, yüksek sıcaklığa dayanabilen malzemelerde paslanmaz çelik giderek yaygınlaşan bir kullanım alanı bulmaktadır. (Kaçar R. 2003)

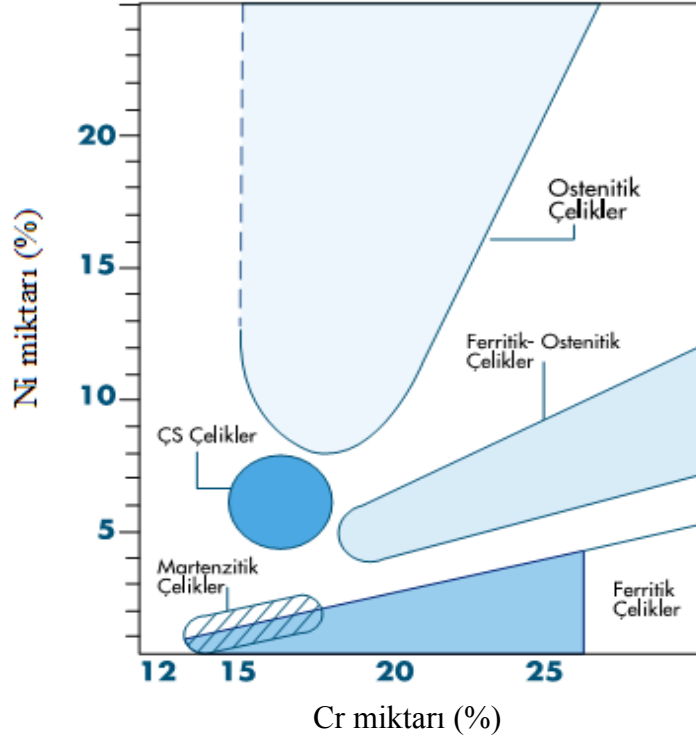
Çizelge 3.3 Türkiye’de Paslanmaz Çelik Üretimini Değerlendirilmesi

<p>Türkiye’nin Güçlü Yönleri</p> <ul style="list-style-type: none"> - Türkiye demir-çelik üretiminde birikim ve deneyim sahibidir. - Uluslar arası standartlarda üretim yapmaktadır. - Dünya demir-çelik üretiminde 11. sıradadır. - Kaliteli, yüksek tenörlü kromit rezervlerimiz vardır. - Turgutlu-Çaldağ’da nikel kobalt rezervlerimiz vardır. 	<p>Türkiye’nin Zayıf Yönleri</p> <ul style="list-style-type: none"> - Düşük alaşımlı çelik üretimi tecrübesi - Paslanmaz çelik yatırım finansmanı
<p>Türkiye’nin Fırsatları</p> <ul style="list-style-type: none"> - Paslanmaz çelik üretiminin mevcut demir-çelik tesislerinde gerçekleştirilmesi durumunda daha az finansman yeterli olacaktır. - Mevcut demir-çelik tesislerinde katma değeri yüksek ürünler de üretmek - Gençlere yeni istihdam olanakları yaratmak - Paslanmaz çelik ihtiyacını karşılamak - Paslanmaz çelik ihracatını yapmak - Dış ödemeler dengesini iyileştirmek - Dünya demir-çelik sektöründe rekabet üstünlüğü sağlamak ve etkinliği arttırmak - Paslanmaz çelik teknolojisini öğrenmek ve geleceği güvence altına almak 	<p>Türkiye’ye Yönelik Tehditler</p> <ul style="list-style-type: none"> - Enerji ve demir cevheri fiyatlarındaki yükselişler - Dünyada demir-çelik sektöründeki birleşmeler - Büyük DÇ üreten ülke ve üreticilerin yüksek talepleri sonrasında demir cevheri ve kömürde oluşan spekülasyonlar ve fiyat artışları - Çin’in demir-çelik üretiminde dünya lideri ve demir-çelik ihracatçısı olması

3.2 Paslanmaz Çeliğin Türleri

Paslanmaz çelikler kimyasal bileşimleri itibariyle iç kristal yapılarına göre sınıflandırılırlar. Bundan başka ayrılma sertleştirme özelliği olan paslanmaz çelikler de önem kazanmıştır.

Bu çeliklere Molibden (Mo), Bakır (Cu), Niyobyum (Nb), Alüminyum (Al) ve Vanadyum (V) gibi alaşım elementleri ilave edilir ve özel bir ısıl işlem yapılırsa, çekme mukavemetleri ve genişleme özellikleri önemli derecede artar.

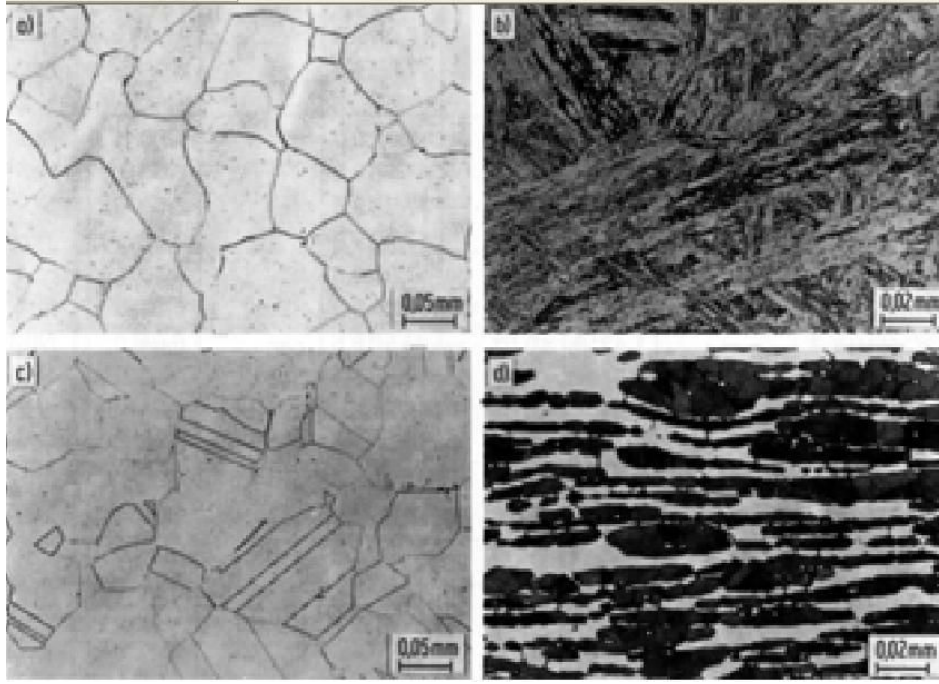


Şekil 3.2 Değişik paslanmaz çelik türleri için Ni ve Cr miktarları

Her bir çelik tipi kısa norm adı ve malzeme numarası ile belirtilmektedir. Kısa rumuz ve numaraların hatırlanması kolay olduğundan paslanmaz çeliklerin malzeme numaraları tercih edilerek kullanılır. Paslanmaz çelikler 5 ana grupta toplanırlar:

- Ferritik
- Martenzitik
- Östenitik
- Ferritik-Östenitik (dubleks)
- Çökeltme sertleşmesi uygulanabilen alaşımlar

Bu gruplandırma malzemelerin iç yapısına göre yapılmıştır. Bu gruplar içinde en yaygın olarak kullanılanlar östenitik ve ferritik çelikler olup, bunların kullanımları tüm paslanmaz çelikler içinde %95'e ulaşır. (Euroinox 2007)



Şekil 3.3 Çeşitli kalitelere sahip paslanmaz çeliklerin tipik iç kristal yapıları

- a) Çelik malzeme-no: 1.4511 ferritik içyapı
- b) Çelik malzeme-no: 1.4313 martenzitik içyapı
- c) Çelik malzeme-no: 1.4301 östenitik içyapı (östenitik)
- d) Çelik malzeme-no: 1.4462 östentik-ferritik içyapı

3.2.1 Ferritik Paslanmaz Çelikler

Ferritik paslanmaz çelikler kabaca iki alt grupta incelenirler:

-Yaklaşık % 11 ila 13 arası Cr içerenler

-Yaklaşık % 17 Cr İçerenler

Çizelge 3.4' te görülen ferritik çeliklerin mekanik özellikleri, ince taneli bir içyapı gerektirir. Bu yapı üretimin son safhasında maksada uygun bir tavlama ile elde edilir.

Göreceli olarak Cr elementinin alt sınırdaki olması nedeniyle (1.4003, 1.4512) atmosferik şartlarda veya ıslak ve nemli ortamlarda korozyona karşı mukavemetleri sınırlıdır.

Bu nedenle "korozyon taşıyıcı" olarak sınıflandırılırlar.

Çizelge 3.4 Tavlanmış ve oda sıcaklığındaki ferritik paslanmaz çeliklerin mekanik değerleri

Çelik Tipi Kısa Adı	Malzeme No.	Ürün Şekli biçimi ¹⁾	kalınlık veya çapı ¹⁾ mm max.	0,2 genleşme katsayısı ²⁾		çekme mukavemet N/mm ²	Kopma- uzaması % Min.	Interkristalin korozyonuna karşı dayanıklılığı işlem öncesi	kaynak sonrası
				Boyuna	kesitine				
				N/mm ² Minimum					
X2CrNi12	1.4003	k. B.	6	280	320	450 / 650	20	yok	yok
		w. B.	12	280	320	450 / 650	20		
		Bl.	25	250	280	450 / 650	18		
		D., St.	100	260	-	450 / 600	20		
X2CrTi12	1.4512	k. B.	6	210	220	380 / 560	25	yok	yok
		w. B.	12	210	220	380 / 560	25		
X6Cr17	1.4016	k. B.	6	260	280	450 / 600	20	var	yok
		w. B.	12	240	260	450 / 600	18		
		Bl.	25	240	260	430 / 630	20		
		D., St.	100	240	-	400 / 630	20		
X3CrTi17	1.4510	k. B.	6	230	240	420 / 600	23	var	var
		w. B.	12	230	240	420 / 600	23		
X3CrNb17	1.4511	k. B.	6	230	240	420 / 600	23	var	var
X6CrMo17-1	1.4113	k. B.	6	260	280	450 / 630	18	var	yok
		w. B.	12	260	280	450 / 630	18		
		D., St.	100	280	-	440 / 660	18		

1) k.B. = soğuk haddelenmiş band w.B. = sıcak haddelenmiş band; Bl = levha ; D=tel; St= çubuk

2) filmaşın teller için yalnızca çekme mukavemet değerleri geçerlidir.

3) < 3 mm'ye kadar bandlar için A80 diğerleri için A5 değerleri geçerlidir.

% 17 Cr içeren çelikler ise yüksek krom oranı nedeniyle korozyona daha iyi mukavemet gösterirler. % 1 Molibden ilavesiyle korozyona karşı mukavemetleri daha da artırılabilir. Bazı kaliteler Titanyum veya Niyobyum içermekle, karbonun ayrılarak karbid oluşturmasını engellerler. Böylece kaynak sonrasında herhangi bir ısıl işleme gerek kalmadan, kalın malzemeler dâhil, interkristalin korozyona karşı mukavemetlerini korurlar.

Östenitik Cr-Ni çeliklere kıyasla ferritik paslanmaz çeliklerin tercih edilmelerinin önemli bir avantajı da, özellikle klorid etkisiyle indüktif transkristalin gerilim çatlak korozyonuna karşı yüksek mukavemet göstermesidir. (Euroinox 2007)

Başlıca özellikler

- Orta ila iyi derecede olan korozyon dayanımı, krom miktarının artması ile iyileşir.
- Isıl işleme dayanım artırılmaz ve sadece tavlanmış durumda kullanılır.
- Manyetikler.

- Kaynak edilebilme kabiliyetleri düşüktür.
- Östenitik çelikler kadar kolay şekillendirilemezler.

Bazı Kullanım Yerleri:

Mutfak gereçleri, dekoratif uygulamalar, otomobil şase parçaları, egzoz elemanları, sıcak su tankları. (Sarıtaş 2007)

3.2.2 Martenzitik Paslanmaz Çelikler

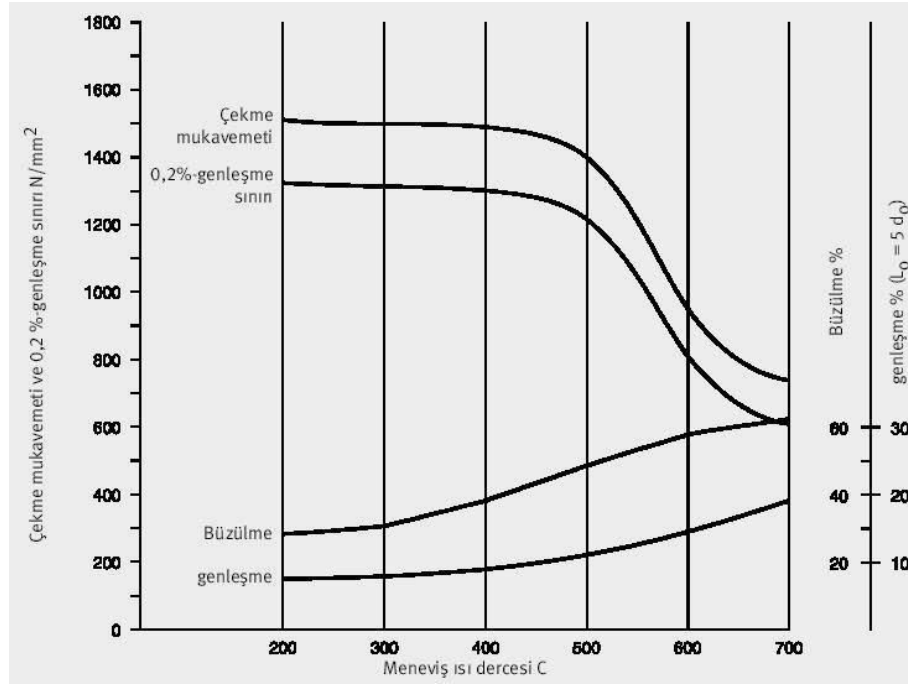
% 12-18 arası Krom ve % 0,1 den daha fazla Karbon içeren çelikler, yüksek derecelerde östenitik yapıdadırlar. Östenitik yapıya eriştiği ve aniden soğutulduğunda, bunun anlamı sertleştirildiğinde, östenitik kristal yapı, martenzitik yapıya dönüşür. Östenitik yapı oluşturmak için, çeşitli kalitelere göre, 950 ila 1050 C derece gerekir. Ani soğutma, alaşımsız çeliklere kıyasla daha yavaş olabilir (örneğin: Havada soğutma). Karbon oranı ne kadar yüksek olursa, sertlik de o derecede yüksek değerde olur.

Nikel alaşımlı martenzitik çeliklerde Karbon elementinin rolünü Nikel elementi üstlenmiştir. (Örneğin: 1.4313) Yüksek Karbon içeren türlerinde karbid eliminasyonu sonucu yüksek sertlik alma tehlikesi, Nikel alaşımı nedeniyle engellenir. Islah edilme niteliklerinin uygunluğu nedeniyle istenilen sertlik elde edilir. Ayrıca 400 mm çap'a kadar olan ölçülerin sertleştirilmesi mümkündür. Molibden ilavesiyle korozyona karşı mukavemet daha da arttırılmaktadır. (1.4418)

Ürün şekline göre martenzitik çelikler, yumuşak tavllanmış (sertleştirmeye hazır) veya sertleştirilmiş olarak temin edilirler. Yumuşak tavllanmış olanlara (soğuk ve sıcak haddelenmiş bantlar veya levhalar), kullanıcısı tarafından sıcak veya soğuk olarak son şekil verildikten sonra sertleştirme işlemi uygulanır (Örnek: kıvrıma, basma, şekillendirici kesim, derin sıvama, gibi) Islah işlemleri, sertleştirme ve sonuçta 650 ila 750 derece C 'de menevişten ibarettir.

Meneviş işlemi yapıldığında, çekme mukavemeti ve sertliği bir miktar azalır, akışmazlık değeri ise artar. 1.4021 kalitenin (5 numaralı resimde görülen) islah işlem diagramında, bu gruptaki çelikler gösterilmektedir Isıl işlem sonrasında mukavemet değerleri-nin değişimleri gözlenmektedir. Korozyona mukavemetin en iyi şekilde sağlanması, öngörülen ısıl işlem değerlerinin tam olarak uygulanmasına bağlıdır. Yeterli korozyona mukavemet ve yüzeyin istenilen özellikte olmasını sağlamak için, asit işlemi ile temizlemek veya ince bir taşlama

yapmak, sonuçta polisaj ile parlatmak, böylece düzgünlüğü gerçekleştirmek, gerekir.



Şekil 3.4 1.4021 Kalite çelik malzemenin ıslah diyagramı;

Sertleştirme : 1000 derece C/yağ Meneviş: meneviş ısısı 2 saat/havada soğutma (Schierhold)

Bu gruptaki çelikler, aşınmaya karşı yüksek dayanıklılık göstermeleri ve kesici özellikleriyle çok geniş bir alanda kullanılırlar. (Euroinox 2007)

Başlıca Özellikleri

- Orta derecede korozyon dayanımına sahiptirler.
- Isıl işlem uygulanabilir, böylece yüksek dayanım ve sertlikler elde edilebilir.
- Kaynak edilebilme kabiliyetleri düşüktür.
- Manyetikler.

Bazı Kullanım Alanları:

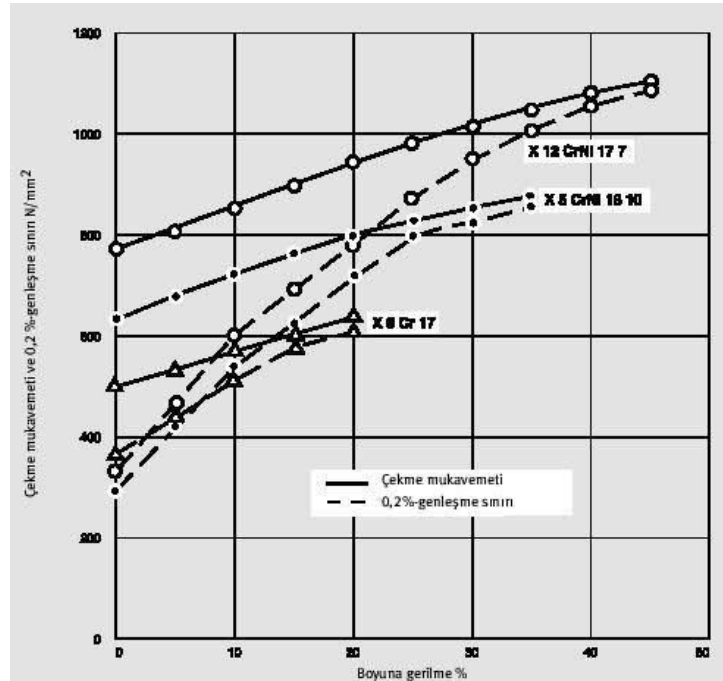
Bıçaklar, ameliyat aletleri, miller, pimler (Sarıtış 2007)

3.2.3 Östenitik Paslanmaz Çelikler

Paslanmaz çeliğin bileşiminde yeterince nikel bulunursa, içyapısı oda sıcaklığında dahi östenitik olur. Östenitik çeliklerin temel bileşimi %18 krom ve %8 niktir. Östenitik paslanmaz çelikler, biçimlendirme, mekanik özellikler ve korozyon dayanımı bakımından çok uygun bir kombinasyon sunarlar. Süneklikleri, toklukları ve biçimlendirilme kabiliyetleri düşük sıcaklıklarda bile mükemmeldir. Manyetik olmayan bu çeliklere, östenitik içyapıları dönüşüm göstermediği için normalleştirme veya sertleştirme ısıl işlemleri uygulanmaz, mekanik dayanımları ancak soğuk şekillendirme ile artırılabilir. (Sarıtaş 2007)

Çok geniş bir alanda kullanılabilirlikleri tavsiye edilmekle, paslanmaz çeliklerin en anlamlı ve önemli grubunu oluşturmaktadır. Bu çelik grubunun en önemli niteliği korozyona yüksek mukavemeti ile bilhassa Krom ve Molibden gibi alaşım elementleri oranlarının artırılması sonucu, mükemmel ulaşmasıdır

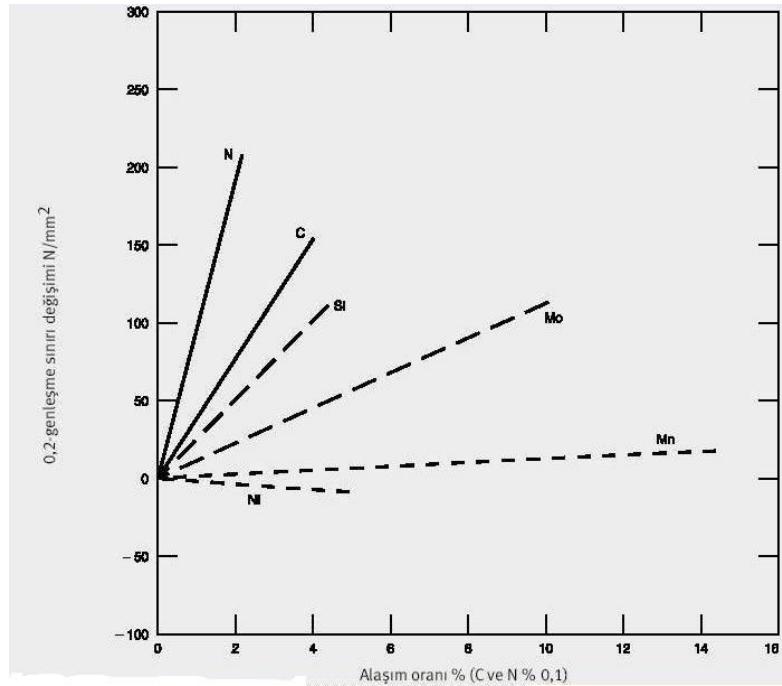
Ferritik çeliklerde olduğu gibi, östenitik çeliklerde de mükemmel teknolojik değerlerin elde edilmesi için hassas ve ince taneli kristal yapı şarttır. Isıl işlem sırasında ayrışıklığı önleyici tedbir olarak, 1000 ila 1150 derece C'de çözelti tavlaması ve akabinde suda veya havada soğutma yapılmalıdır. Östenitik çelikler, martenzitik çeliklerin aksine, sertleştirilemezler. Belirli alanlarda yüksek çekme mukavemeti değerleri içeren östenitik çelikler gerekmektedir.



Şekil 3.5 Bazı paslanmaz çeliklerin soğuk deformasyon nedeniyle meydana gelen sertlikleri

Soğuk şekillendirme sırasında genişleme sınırının artırılması mümkündür. Form değişikliği dereceleri, içyapının kademeli olarak sertleşmesine neden olur. Ferritik çeliklere kıyasla, soğuk şekillendirme sırasında daha fazla sertleşmeye meyillidirler

Bütün bunlara ek olarak soğuk şekillendirme nedeniyle martenzitik bir iç yapı da meydana gelebilir. Diğer bir ihtimal de, alaşım elementlerinin teknik önlemleri nedeniyle kristallerin karışması sonucu, sertliğin artması mümkün olabilmektedir. Önemli alaşım elementlerinin paslanmaz çeliğin 0,2 % genişleme sınır değerlerine olan etkisi resimde görülmektedir. En yüksek etkiyi Karbon (C) ve Azot (N) göstermektedir. Karbon oranının artırılmasından, korozyona karşı kimyasal reaksiyon nedeniyle, vazgeçilmiştir. Karbon yerine Azot elementinin katılmasının yararı, çekme mukavemetinin ve korozyona karşı dayanıklılığın artırılmasıdır. Yüksek çekme mukavemetine sahip Azot içeren östenitik çelikler örnek olarak: 1.4311, 1.4318, 1.4406, veya 1.4439' dur. Hedef seçilerek alaşım elementleri saptanan bir kalitenin 0,2 %-genleşme sınır değeri 400 N/mm² 'ye kadar çıkabilir (1.4565).



Şekil 3.6 Bazı alaşım elementlerinin, östenitik çeliklerin 0,2 % genişleme sınırına olan etkileri

(V.J.Mc Neely ve D.T.Llewellyn)

Yüksek genleşme özelliği Östenitik çeliklerin kopma uzaması değerleri ferritik çeliklere kıyasla bir mislidir ve çok iyi şekillendirme özelliği sağlamaktadır. Buradan hareketle, uygun derin çekme ve/veya germe ve abkant bükülme özelliklerini birlikte taşımaktadırlar. Aynı zamanda yüksek çentik değeri, düşük ısı ortamlarında dahi üst seviyededir.

Bu nedenle soğuk ortamlara dayanıklı paslanmaz çelikler, eksi 269 derece C'ye kadar çalışan tesislerde kullanılır. (Eurinox 2007)

Toplam paslanmaz çelik üretimi içinde östenitik çeliklerin payı % 70'tir ve aralarında en çok kullanılan 304 kalitedir.

Başlıca Özellikleri:

- Mükemmel korozyon dayanımına sahiptirler.
- Kaynak edilebilme kabiliyetleri mükemmeldir.
- Sünek olduklarından kolay şekillendirilebilirler.
- Hijyeniktirler, temizliği ve bakımı kolaydır.
- Yüksek sıcaklıklarda iyi mekanik özelliklere sahiptirler.
- Düşük sıcaklıklarda mekanik özellikleri mükemmeldir.
- Manyetik değildirler.(tavlanmış halde)
- Dayanımları sadece pekleşme ile artırılabilir.

Bazı Kullanım Alanları:

Makine ve imalat sanayinde çeşitli uygulamalar, asansörler, bina ve dış cephe kaplamaları, mimari uygulamalar, gıda işleme ekipmanları, mutfak gereçleri, kimya tesisleri ve ekipmanları, bilgisayar klavye yayları, mutfak evyeleri. (Sarıtaş 2007)

3.2.4 Östenitik-Ferritik (Dubleks) Paslanmaz Çelikler

Östenitik-ferritik çelikler iki ayrı içyapı özelliği gösterdiklerinden genelde Dublex çelikler

olarak anılmakta, sürekli olarak daha çok anlam kazanmaktadırlar. Bu durum özellikle X2CrNiMoN 22-5-3 (Malzeme No. 1.4462) kalite için geçerli olup, %22 krom, %5 nikel ve %3 molibden ile eser miktarda azot içerir. Bu alaşım oranlarına göre dengeli bir östenitik-ferritik içyapı mevcuttur (Kurallara göre 50/50). 0,2% genleşme sınırı, östenitik çeliklere kıyasla, belirgin bir farkla üst düzeydedir. Olumlu niteliklerini saymaya devam ettiğimizde, korozif ortamlarda dayanıklılığın devamlılığından söz etmemiz gerekir.

Östenitik-ferritik çeliklerin korozif ortamlarda gösterdiği dayanıklılığı, östenitik çeliklerle mukayese ettiğimizde, İndüktif klorid'e bağlı gerilim kopması korozyonuna çok daha iyi mukavemet gösterdiğini saptayabiliriz. Östenitik-ferritik çeliklerin kaynak yapılabilirliklerinde herhangi bir problem yoktur. Genel anlamda uygun nitelikleri geniş bir kullanım alanında başarılı olduklarını, ağırlıklı olarak kimya endüstrisi tesislerinde, çevre koruması ünitelerinde, Denizcilikte ve off-shore teknik araştırmalarında kullanılmaları göstermektedir.

Son yıllarda "Super Duplex olarak adlandırılan" kaliteler geliştirilmiş olup, korozyona karşı mükemmel dayanıklılık göstermektedirler. Bu yeni geliştirilen kaliteler % 25 Cr , % 7 Ni, % 3,5 Mo ile Azot içermekte, eser miktarlarda diğer elementler de alaşıma katılmaktadırlar.

Başlıca Özellikleri:

- Gerilmeli korozyona karşı yüksek dayanıklılığa sahiptirler.
- Klor iyonunun bulunmadığı ortamlarda daha yüksek korozif dayanım gösterirler.
- Östenitik ve ferritik çeliklerden daha yüksek mekanik dayanım sağlarlar.
- İyi kaynak edilebilirlik ve şekil alma kabiliyeti vardır.

Bazı Kullanım Alanları:

Deniz ve tuzlu su ortamında, özellikle orta sıcaklıklarda, ısı değiştiricilerinde, petrokimya tesislerinde kullanılmaktadır. (Sarıtış 2007)

3.2.5 Çökeltme Sertleşmesi (Yaşlandırma) Uygulanabilir Paslanmaz Çelikler

Bunların ana içyapıları östenitik, yarı-östenitik veya martenzitik olabilir. Çökeltme olayını gerçekleştirebilmek için bazen önce soğuk şekil vermek gerekebilir. Çökelti oluşumu için alüminyum, titanyum, niyobyum ve bakır elementleri ile alaşımlama yapılır. Bu sayede mukavemetleri 1700 MPa kadar çıkan paslanmaz çelikler elde edilebilir. Piyasada çözme tavı

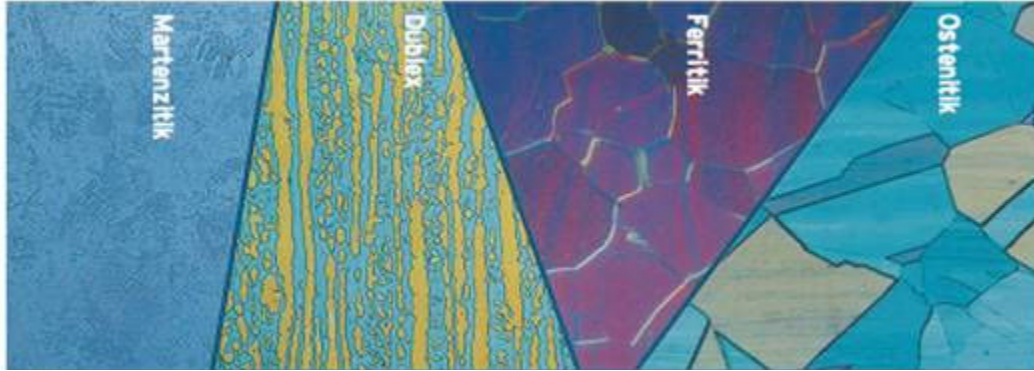
görmüş halde satılır. Malzeme bu durumda yumuşak olup, imalat işlemleri uygulanabilir ve daha sonra tek kademeli bir düşük sıcaklık yaşlandırması ile sertleştirilebilir.

Başlıca Özellikleri:

- Orta ila iyi derecede korozyon dayanımı vardır.
- Çok yüksek mekanik dayanım gösterirler.
- Kaynak edilebilme kabiliyetleri iyidir.
- Manyetikler, çeliklerin çoğunluğu %2,5-4 molibden içerir.

Bazı Kullanım Alanları:

Pompa ve vana şaftları. (Sarıtış 2007)



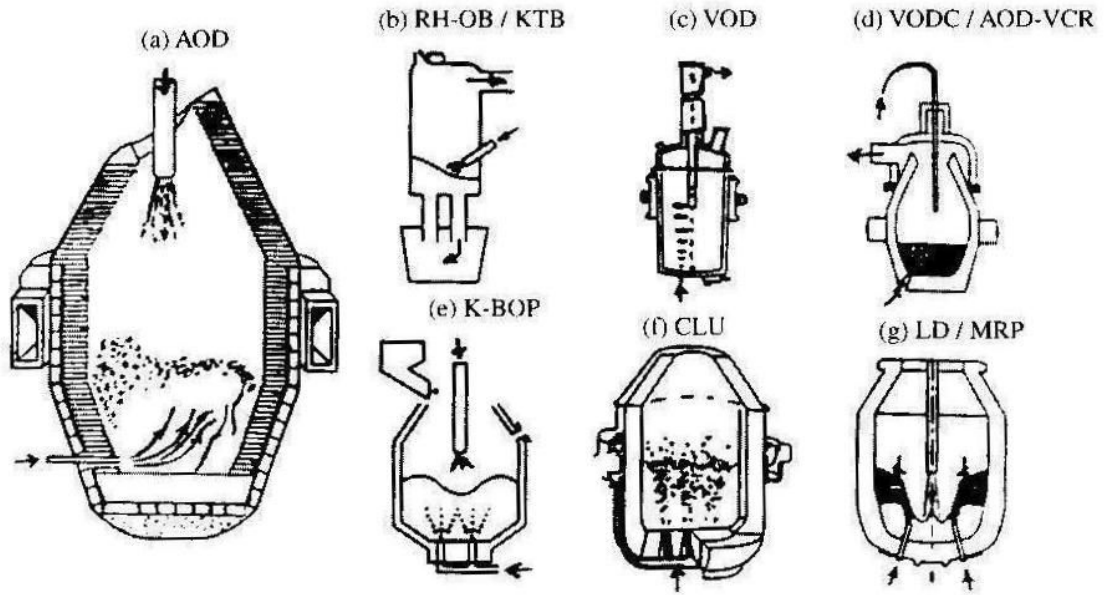
Şekil 3.7 Bazı paslanmaz çelik türlerinin içyapıları

Şekilden de görüldüğü gibi östenitik paslanmaz çeliklerin mikro yapısının östenit tanelerinden meydana gelirken, ferritik paslanmaz çeliklerin yapısı ince ferrit tanelerinden oluşmaktadır. Martenzitik paslanmaz çeliklerin yapıları ise ferrit tane yapısı içerisindeki karbür dağılımları şeklinde görülmektedir. Dupleks paslanmaz çeliklerin yapısı ise östenit matriks içerisinde uzanmış ferrit levhalarından meydana gelmektedir. (Kaçar R. 2003)

3.3 Paslanmaz Çelik Üretim Yöntemleri

Paslanmaz çelik üretiminde ekonomik olarak ark ocakları kullanılır. Ancak bu yöntemle düşük karbonlu çelikler üretilmemektedir. Genellikle yüksek kromlu çeliklerin üretimi

yapılabilir. Yüksek kromlu çeliklerin yapımı, yüksek kromlu ve yüksek karbonlu eriyikten karbonun, olabildiğince yüksek sıcaklıklarda istenilen düzeye kadar oksitlenmesi esasına dayanır. Karbonun oksitlenmesinde oksijen kaynağı olarak demir cevherinin kullanılması, krom veriminin düşmesine, astar aşınmasına ve dökümden döküme geçen sürenin uzamasına neden olur. %0,10 'un altında karbon içeren paslanmaz çeliklerin üretimi için cevher kullanılması mümkün değildir, bu yüzden $C \rightarrow CO$ reaksiyonunun oluşması için genellikle banyo içine oksijen üflenir. Bu arada banyodaki kromun bir kısmı Cr_2O_3 halinde cürufa geçer. Banyodaki % karbon miktarı istenen seviyeye düşürülmüş olduğundan yeniden karbon yükselmesini önlemek üzere, cüruftaki kromun kazanılması için eklenecek Fe-Si-Cr, Fe-Si ve Al-Si gibi redüktan alaşımlarının düşük karbonlu olmasına dikkat edilir. Aynı şekilde istenen analizi elde etmek için alaşım ilavesi yaparken de düşük karbonlu alaşımlar kullanılır. Karbonu düşük olan bu ilave maddelerinin fiyatları da çok yüksektir. Bundan dolayı, elektrik ark ocağı ile paslanmaz çelik üretiminde, pahalı cüruf yapıcı redüktan kullanımı mümkün olduğunca azaltılmaya çalışılır. (Düşünceli H., 1999),



Şekil 3.8 Paslanmaz Çelik Üretiminde Kullanılan Metotlar

(Ghosh A., Secondary Steel Making,2001)

Son yıllarda ark ocaklarında çelik yapım işleminde değişiklik yapılarak pota metalurjisi işlemine geçilmiştir. Yani çelik yapım safhalarının hepsini ark ocaklarında tamamlanmayıp bir kısmının potada yapılması gibi bir uygulamaya başlanmıştır. Pota metalurjisinin esası; ark

ocağında ergime tamamlandıktan ve belli bir sıcaklık seviyesine ulaşıldıktan sonra sıvı çelik potaya alınır. Ark ocağına derhal yeni şarj yapılarak ergime işlemine devam edilir. Diğer bir ifadeyle numune alma, alaşımlama, sıcaklık ayarlama, kükürt giderme, karıştırma gibi çelik yapım safhalarının hepsi potada tamamlanmaktadır.(Oktav A., 2003)

3.3.1 Argon Oksijen Dekarbürizasyonu (AOD)

AOD teknolojisi öncelikle paslanmaz çelik üretiminde kullanılmıştır. Günümüzde paslanmaz çelik üretiminin %75'i bu yöntemle yapılmaktadır. Bu proseste önce hurda ya da hammadde elektrik ark fırınında sadece ergitilir, sonra rafinasyon işlemi alt tüyerlerden ve üstten üflemlerle konverterde oksijenle birlikte argon üflenerek gerçekleştirilir. Bu yöntemle dekarbürizasyon, redüksiyon ve düzenleme işlemleri gerçekleştirilir. AOD yöntemi diğer yöntemlere göre daha ekonomiktir. (Polat Ş., 2004)

3.3.2 Vakum Ark Ergitmesi (VAR)

Bu yöntem, bir cüruf örtüsü altında hava ile ergitme yöntemidir. Elektrot, tipik olarak sabit bir bakır kalıp üstünde yer almaktadır. Katı elektrot ve ergiyik havuzu arasında ark oluşturularak ergime gerçekleştirilir. Çelik elektrot, düşük gaz içeriği ile çok sık şeffaf bir kalıp içinde ergimekte ve tekrar katışmaktadır. Bu proses pahalı ve sadece özel ürünler için kullanılmaktadır. (Matway T. J., 2005),

3.3.3 Vakum Oksijen Dekarbürizasyonu (VOD)

VOD prosesinde, vakum odası içinde bir oksijen lansı ergiyik üstünden üflenmektedir. Kükürt giderici cüruf işlemleri gaz gidermeden sonra yapılır.

3.3.4 Elektro-Cüruf Ergitmesi (ESR)

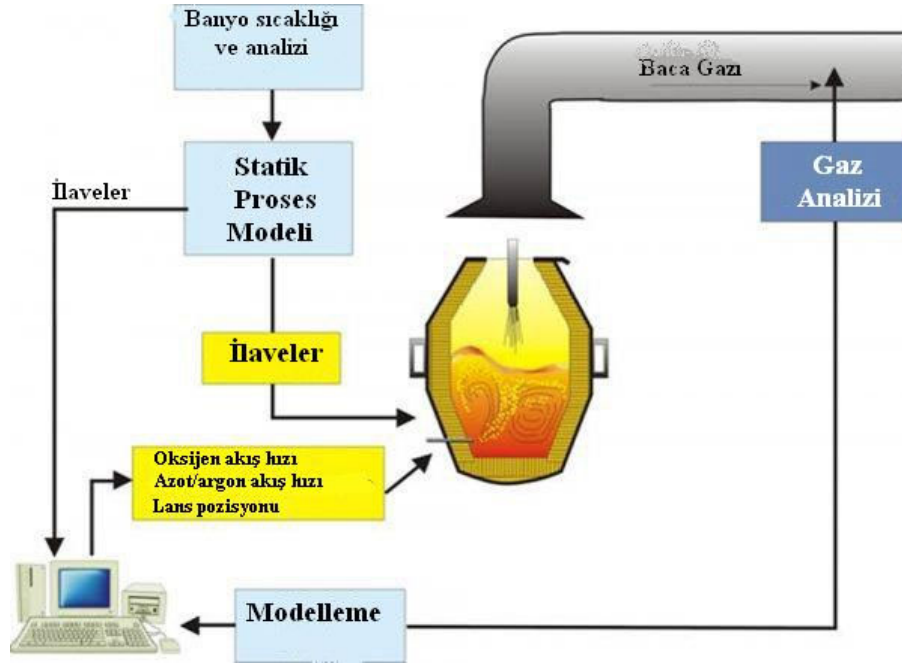
VAR prosesine benzerdir, bir cüruf örtüsü altında hava ile ergitmedir. Elektrot tipik olarak sabit bakır bir kalıp üzerinde yer almaktadır. Ergitme bölgesi, katı elektrottan ergiyik cüruf örtüsü tarafından ayrılmıştır. Vakum yerine bir cüruf havuzu atmosferden ergiyiği ayırmak için kullanılmaktadır. Katı elektrot ve ergiyik havuzu arasındaki cüruf örtüsü içinden elektrik akımı geçerek ergime gerçekleştirilir. (Matway T. J., 2005)

4. AOD YÖNTEMİ İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER

4.1 AOD Yönteminin Tanıtılması ve Tarihsel Gelişiminin İncelenmesi

1973 yılının sonlarına doğru bilinen ilk AOD Konverteri Esco firmasında faaliyete geçti. AOD Konverteri kullanılarak işlem gören bu ilk şarjda nükleer enerji sisteminde kullanılan bir pervane dökülmüş ve bu deneme üretimi sayesinde dökümhane maliyetleri açısından bu gibi parçaların üretiminde en iyi yöntemlerden biri olduğu ispatlanmıştır. (Venne L.J., Oldfather C.Z., 1978)

AOD Konverterinin icat edilmesindeki esas amaç olan paslanmaz çelik üretiminde kullanılan malzeme ve işlem maliyetlerini düşürmeye ilave olarak malzeme yapısında son derece düşük kalıntı element ve gaz yüzdesi saptanmıştır ki bu sonuçlar AOD ile üretilmiş malzemenin çok daha yüksek mekanik özellikleri yakalamasını olası kılmıştır. Bu süreç esas olarak paslanmaz çelik üretmek amacıyla bulunmuş olsa da AOD Konverteri yardımıyla takım çelikleri, elektriksel (silis içerikli) çelikler, karbon çelikleri, düşük alaşımlı çelikler, yüksek dayanımlı-düşük alaşımlı çelikler, yüksek sıcaklık çelikleri ve süper alaşımlar da üretilebilmektedir. (Masterson I.F., Metals Handbook)



Şekil 4.1 AOD Konverterinde işlem akışı

AOD'nin açılımı Argon Oksijen Dekarbürizasyonu olarak ifade edilir ki bu da aslında süreci kısaca özetlemektedir. Oksijen, Azot veya Argon gibi bir asal gaz ile birlikte sıvı banyonun dekarbürize edilmesinde kullanılır. Şekil itibarı ile yan duvarlarında, gaz üfleme amacıyla

yerleştirilmiş tüyerler bulunan bir Bessemer Fırınına benzetilebilecek olan konverterin içerisinde ergitme yapılmayıp, daha önceden ergitilmiş sıvı şarj yüklenmelidir. Yüklenen sıvı şarja oksijen ve asal gaz değişik oranlarda üflenerek karbonun giderilmesi sağlanır. Genellikle, redükleyici bileşenlerin ilave edilmesi ve karıştırılması, hedeflenen karbon oranı yakalandıktan sonra gerçekleşir. Uygun sıcaklık ve kimyasal bileşim yakalandığında şarj potaya aktarılır. (Venne L.J., Oldfather C.Z., 1978)

4.2 AOD Konverterinin Sağladığı Faydalar

Bu prosesin paslanmaz çelik üretiminde endüstriyel anlamda başarılı olmasının altında birkaç neden yatar. Bunların başında şarj yüksek miktarlarda yüksek karbonlu ferrokrom içerse bile buna rağmen krom %98 oranında geri kazanılabilir. Ayrıca alaşımlama çok daha etkili bir şekilde yapılabilir ki buda alyaj malzemelerinden tasarruf edilmesini sağlar. Redüksiyon için daha az silisyuma ihtiyaç duyulur. Bunun nedeni ise karbonunun giderilmesi aşamasında daha az krom oksitlenir. (Venne L.J., Oldfather C.Z., 1978)

- 1) Gerekli süre içerisinde, %0,01 mertebesinde çok düşük karbon seviyelerine, metallerin aşırı oksidasyonu olmaksızın uygun sıcaklıklarda kolayca ulaşılabilir.
- 2) Üretilen paslanmaz çeliğin içerdiği oksijen, hidrojen, azot ve kükürt seviyeleri çok düşüktür. Böylece çelik daha kaliteli bir yüzeye sahip olur ve çeliğin korozyon direnci ve şekillendirilme yeteneği artar.
- 3) Düşük azot seviyelerine, banyodaki CO'in ve üflenen argonun etkisiyle kolayca ulaşılabilir. Diğer yandan, azotlu çeliklerin üretiminde pahalı azot alaşımları yerine azot gazından faydalanılır.
- 4) Pahalı desülfürizasyon alaşımları kullanılmadan kükürt içeriği %0,005 ve daha altına düşürülebilir.
- 5) Tek başına %97'lik bir metal verimine sahip olan AOD konverteri ile dubleks EAO-AOD'de yaklaşık %93 metal verimi sağlanabilir. Cr, Ni, Mo ve W gibi alaşım elementlerinin geri kazanılma verimi genellikle %97-100 arasındadır.
- 6) AOD konverterinde banyonun çok iyi karışması, hızlı metalurjik değişime iyi yönde etki eder. Banyo daha iyi karıştığı için üretilen çeliğin temizliği artar.
- 7) Çok iyi bir sıcaklık kontrolü sağlanır. Hurda, kireç, metalik oksitler veya ferroalaşımlardan seçilen ilaveler ergitmede gittikçe artan bir enerjiden yararlanma olanağı sağladığı gibi aynı zamanda konverterin yavaşça soğumasını kolaylaştırır.

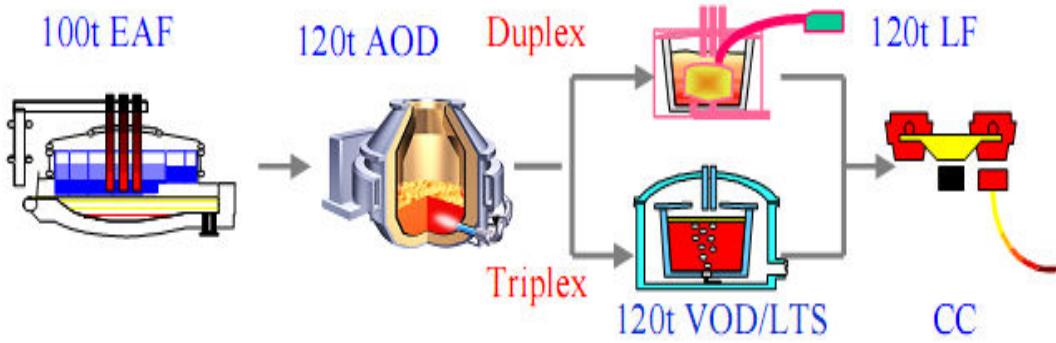
Alternatif olarak, uygun Oksijen / Argon oranlarında yapılan üfleme ile beraber belli miktarda Si ya da Al ilaveleri, önceden belirlenen sıcaklığa hızla ulaşılmasını sağlar.

- 8) Konverterden çok düşük ısı kaybı, yeniden üfleme gerekmeden uzun bekletme sürelerine olanak verir. Gerekli sıcaklığa ulaşmak için, yeniden üfleme yapıldığında istenilen kimyasal bileşim herhangi bir sapma olmadan elde edilebilir.
- 9) AOD yönteminde sıcaklık ve analiz kontrolü tam olduğu için dekarbürizasyon, redüksiyon ve diğer işlemler daha etkin olarak başarılabılır, istenilen bileşimde paslanmaz çelik üretilebilir.
- 10) AOD yönteminde kullanılan hurdanın kontrol maliyeti minimumdur.
- 11) Bir AOD konverteri aynı kapasitedeki iki EAO'na eşdeğer verimdedir.
- 12) EAO'dan rafinasyon kademesinin çıkarılması ile akım, elektrot ve refrakter sarfiyatı azalmıştır. EAO oksijen üflemesinin yarattığı aşırı sıcaklık ve uzun süreli rafinasyon işlemlerinin etkisi altında kalmadığından refrakterlerin ömürlerinde belirgin bir artış olur. Bu tasarruflar, AOD konverterindeki rafinasyon işleminin fiyatını dengeler.
- 13) AOD yöntemi düşük karbonlu pahalı ferrokrom kullanma gereğini ortadan kaldırmıştır. Yüksek karbonlu ferroalaşımlar, metalik oksitler ve düşük kaliteli hurda gibi düşük fiyatlı ham maddelerin kullanılmasıyla önemli bir tasarruf sağlanır. AOD yöntemi çeşitli bölgesel ham maddelere çok iyi uyabilir. %3'ün altında veya üstünde karbon içeren şarjlar, herhangi bir zorlukla karşılaşmadan kullanılabilir.
- 14) Kullanılan argon ve redüksiyon malzemesi ile daha fazla kullanılan refrakter malzemelerin neden olduğu ek masraflar yukarıda bahsedilen avantajlar sayesinde oldukça iyi bertaraf edilir.
- 15) AOD yöntemi yüksek bir işlem esnekliğine sahiptir. Beklenilmeyen gecikmeler, programdan sapmalar ya da önemli spesifikasyonlardan dolayı özel sıcaklıklar için, işleme gereksinim duyulduğu zaman bunun ufak bir çabayla düzeltilmesi için pratik değiştirilebilirler.
- 16) AOD konverteri, banyo seviyesinin üzerinde açıkta bırakılan tüyerler ile yatay pozisyonda tüm şarjı içine alabilecek şekilde dizayn edildiğinden çok emniyetlidir.(GürkanT.,1982),

5. AOD YÖNTEMİ İLE PASLANMAZ ÇELİK ÜRETİMİ

AOD Konverterine yüklenecek sıvı metal kaynağı birçok farklı ergitme ünitesinde ergitilebilir. Ancak en yaygın olarak kullanılan ergitme ünitesi elektrik ark ocağıdır. AOD Konverterinde işlem görecekt sıvı metalin sıcaklığının yaklaşık olarak 1500°C-1540°C arasında olması istenilir. Buna bağlı olarak elektrik ark ocağında sıvı metal sıcaklığı döküm anında bundan 80°C - 100°C daha yüksek olmalıdır ki bu da 1600°C - 1640°C arasında tekabül eder. Bütün alaşım elementleri için ideal bir transfer kompozisyonu vardır. Sıvı metal AOD'ye bu hedef kompozisyon yakalandığında aktarılır. (Bury R., 2008)

Genel olarak AOD' ye aktarılan şarjın kimyasal analiz sonuçlarında krom, nikel ve mangan konsantrasyonlarının orta seviyelerde olduğu görülür. Karbon değeri ise kullanılan hurdaya bağlı olarak %0.50 - %3.0 arasında değişebilmektedir. (Masterson I.F.)



Şekil 5.1 Paslanmaz çelik üretim akış diyagramı

(Donggang Li, 2007)

AOD içerisinde konvansiyonel bir ısı kaynağı olmayıp, gerekli ısı ihtiyacı kimyasal reaksiyonlar neticesinde (Al ve Si' un ekzotermik reaksiyonları) karşılanır. Tüm bunlar göz önüne alındığında elektrik ark ocağından hedeflenen transfer şarjı kompozisyonundan sapsmış bir sıvı metal AOD' ye aktarıldığında bu kompozisyonu düzenlemek için katılacak soğuk alaşımlama ilaveleri ve bu ilaveler neticesinde düşecek olan sıcaklığın dengelenmesi için katılacak ilaveler AOD işlem süresini uzatacaktır. Bu nedenle elektrik ark ocağından alınan şarjın sıcaklığı ve kompozisyonu tüm sürecin maliyeti ve kalitesi açısından son derece önemlidir. Ayrıca AOD Konverterine transfer edilmeden hemen önce ark ocağında ve ya transfer potasında cürufu alınması da son derece önemlidir. (Bury R., 2008)

5.1 Dekarbürizasyon

Elektrik ark fırınından alınan işlenmemiş çeliğin sıcaklığı, konvertere aktarıldığında genellikle 1550°C civarındadır. Genellikle ilk aşamada oksijen gazı ile birlikte azot üflenirken son aşamalara doğru soy gaz olarak argon gazı üflenir. Bunun amacı çeliğin içerisinde çözünmüş azot yüzdesini düşürmektir. Üflenen gazların oranları işlem süresince değişmektedir. Oksijene ilave olarak soy gaz ilavesindeki temel amaç karbon oranının daha etkili bir şekilde düşürülebilmesidir. Çizelge 5.1’de ticari olarak üretilen bazı paslanmaz çelik alaşımlarının kimyasal bileşimleri verilmiştir.

Çizelge 5.1 Bazı paslanmaz çelik alaşımlarının kimyasal bileşimleri

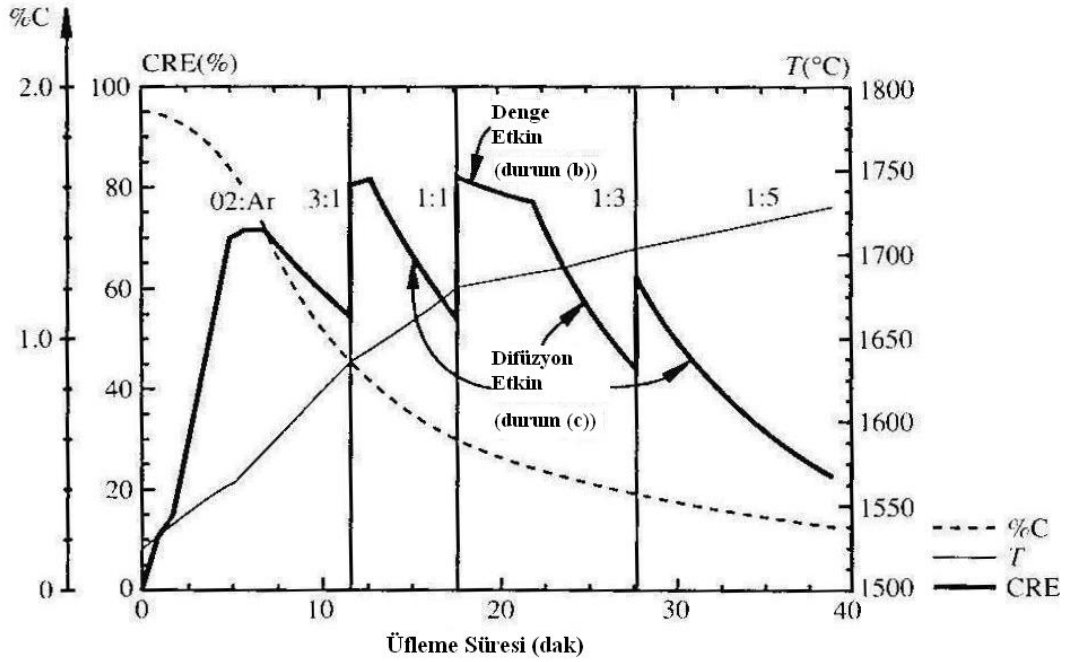
(Engh T.A., Siemens C. J., Wijk O., 1992)

Element	Standart		
	AISI 304 L	AISI 316 L	AISI 310 S
C	≤0.030	≤0.030	≤0.08
Si	≤1.0	≤1.0	≤1.5
Mn	≤2.0	≤2.0	≤2.0
P	≤0.045	≤0.045	≤0.045
S	≤0.030	≤0.030	≤0.030
Cr	17.2-20.0	16.0-18.5	24.0-26.0
Ni	9.0-12.0	11.0-14.0	19.0-22.0
Mo	-	2.0-2.5	-

Şekil 5.2 te metal banyonun karbon içeriğinin, üfleme esnasında banyo sıcaklığı ve karbon giderme etkinlik katsayısına (CRE) bağlı olarak nasıl değiştiğini göstermektedir. CRE sayısı ne kadar oksijenin karbon ile reaksiyona girdiğinin bir ölçüsüdür ve aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$CRE = \frac{\text{Karbon ile reaksiyona giren oksijen miktarı} \times 100}{\text{Toplam eklenen oksijen miktarı}} \quad (5.1)$$

İlk aşamalarda CRE sayısının oldukça düşük olduğu dikkati çeker. Bunun nedeni üflenen oksijenin Si, Mn ve Cr ile tepkimeye girmesidir. Si ve Mn içeriği azaldıkça, cüruftaki krom bakımından doygun pozisyona gelecek ve ekzotermik reaksiyonlara bağlı olarak banyo sıcaklığında yükselmeyi takiben karbon oksitlenmeye başlayacak ve bununla beraber CRE sayısında bir düşüş gözlemlenecektir.



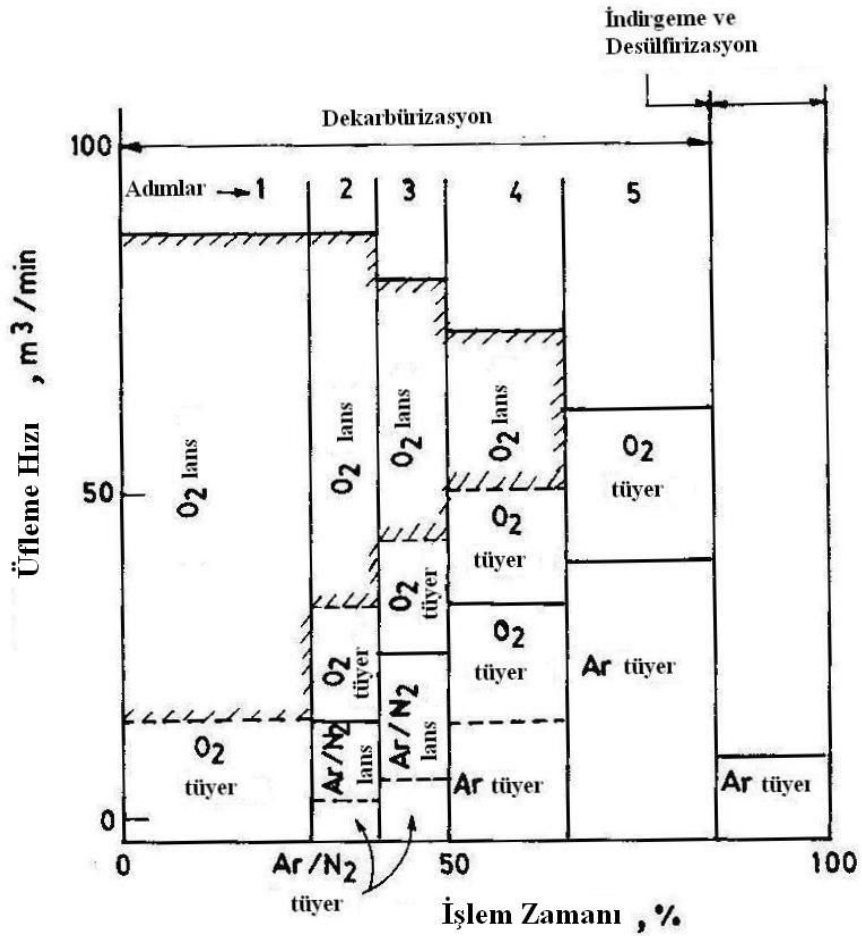
Şekil 5.2 Sıvı metal içerisinde karbon içeriğinin gaz üfleme süresi, sıcaklık ve CRE sayısı ile değişimi

Ancak metal banyo içerisindeki karbon aktifliğinin düşüşüne bağlı olarak, krom oksitlenmeye başlar ve dekarburizasyon hızı düşer. Sıcaklığa (yaklaşık 1725°C üzerinde olmayan sıcaklıklarda) ya da CRE sayısına ve ya metal banyo içerisindeki karbon aktifliğine bağlı olarak saptanan belirli bir noktada üfleme rejiminde 2. aşamaya geçilir. Bu aşamada üflenilen oksijenin ile soy gaz tarafından seyreltilme oranı artar. Bu aşamada sıvı banyonun üzerini kaplayan cüruf, oldukça düşük CRE sayısına bağlı olarak aşırı oksitlenmiş durumdadır. CRE sayısındaki düşüş 2. ve 3. aşamalar boyunca düşüşe devam edecek ancak 4. aşamaya gelindiğinde soy gaz ile karıştırma esnasında hedeflenen karbon bileşiminin yakalanacaktır.

Üfleme esnasında karşılaşılan krom kayıplarını önlemek amacıyla cüruf kimyasını kontrol etmek son derece önemlidir. Bunun gerçekleştirilebilmesi içinde üfleme aşamasının hemen öncesinde kireç ilave edilir. Eklenilecek kireç miktarı konvertere şarj edilen sıvı metalin silisyum içeriğine göre hesaplanır. Burada hedeflenen CaO:SiO₂ için ölçülen baziklik değerinin 1.7 civarında olmasıdır. Daha düşük baziklik cürufun vizkozitesinin düşmesine, krom oksidin çözünürlüğünün yükselmesine ve $a_{Cr_2O_3}$ değerinin daha düşük olmasına sebebiyet verir ki bu da sıvı banyo içerisinde düşük karbon seviyelerinde yüksek krom oranını yakalamak konusunda bir dizi problemlere vesile olur. (Engh T.A., Siemensen C. J., Wijk O., 1992)

Bütün düşük alaşımlı ve paslanmaz çeliklerin üretiminde oksijen ve bir inert gaz yardımıyla sıvı banyonun seyreltilmesi sonucunda, en düşük metal oksitlenmesi yakalanırken, aynı zamanda en etkili karbon giderimi sağlanmaktadır. Paslanmaz çelikler için % 0.01 gibi son derece düşük karbon değerlerinin bu şekilde yakalanması olasıdır. (Masterson I.F.)

Gerçek işlem sırasında oksijen bir inert gaz ile birlikte sıvı metal içerisine üflenilmesi sonucunda gerçekleşen oksidasyon ile çeliğin içerisindeki karbonun giderilmesi sağlanır. Oksijen ve üflenilen soy gaz oranı çeliğin içerdiği karbon oranının değişimine bağlı olarak değişir. Genellikle uygulamada kullanılan üfleme adımları aşağıdaki gibidir.



Şekil 5.3 AOD Konverterinde paslanmaz çelik üretiminde kullanılan gaz üfleme rejimi

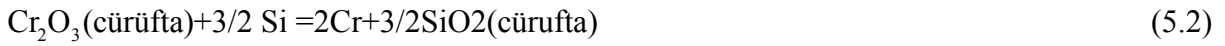
(Secondary Steelmaking, Ghosh A., 2001)

Dökümhane uygulaması esnasında bu adımlardan bazıları genellikle atlanır. (Bury R., 2008)

5.2 Cürufun Redüklenmesi

Sıvı çeliğin karbon bileşiminin düşürülmesi amacıyla oksijen üfleme aşaması sırasında bir miktar metalin oksitlenerek cürufa kaçması söz konusudur. Alüminyum ve silisyumun sitokiyometrik oranlarda kullanılması ile neredeyse tüm metalik elementlerin %97 ve hatta %100 oranında geri kazanımları olasıdır. Tipik olarak cüruftan krom geri kazanma verimi %97.5 iken bu değer nikel ve molibden için yaklaşık olarak %100 olarak saptanmıştır. (Masterson I.F.,)

Dekarbürizasyon süreci sonrasında, ton başına yaklaşık olarak 70 kg cüruf bulunur. Bu cürufun ortalama kompozisyonu ise %20-30 CaO, %10-15 SiO₂, %5-7 MgO (esas olarak refrakter hasarına dayalı olarak bulunur, çünkü ilave edilmemiştir.), %5-10MnO, %5-10 FeO, %1-5 Al₂O₃ ve %25-40 Cr₂O₃ olarak saptanacaktır. En fazla krom geri kazanımını sağlamak için silisyum gibi bir redükleme ilavesi (ferrosilisyum olarak ilave edilir.) yapılarak cürufun redüklenmesi sağlanır. 5 ila 8 dakika süren argon ile karıştırma esnasında redüksiyon gerçekleşir. Özellikle son derece düşük kükürt içerikleri istenildiğinde ferrosilikon yerine redükleme ilavesi olarak alüminyum metali de kullanılabilir. Yine bu iki ilavenin farklı oranlarda katıldığı uygulamalarda vardır. Silisyum ile yapılan redüklemeye gerçekleşen genel reaksiyon aşağıdaki gibidir.



Reaksiyonun gerçekleşmesi cüruf içerisinde düşük SiO₂ aktivitesi ve yüksek Cr₂O₃ aktivitesi ile desteklenmektedir. Buna örnek olarak bazik bir cüruf, metal içerisinde düşük bir krom aktivitesi ve yüksek sıcaklık şartları verilebilir. Metal banyosunun kimyasal bileşiminin ayarlanmasında bitmiş ürünün de hedeflenen değerler olması nedeniyle kromun aktivitesi üzerinde değişiklik yapmak zordur. Silisyumun aktivitesi ise redükleme esnasında % 0.3-0.5 arasında silisyum ilave edilmesi ile artar. İlave edilecek silisyum miktarını saptarken, dekarbürizasyon esnasında oksitlenecek krom miktarının öngörülerek en son aşamadaki silisyum içeriğinin hedeflenen değerler arasında kalmasını sağlamak son derece etkili bir süreç modellemesini gerektirir. Eğer redüksiyon doğru bir şekilde yapıldıysa, cüruf içerisinde ölçülen krom miktarı %0.5'in altında olmalıdır. Yapılacak süreç modellemesi aynı zamanda yaklaşık 1.7 olan cüruf bazikliği (CaO:SiO₂) yakalamak için ilave edilmesi gereken kireç miktarı hakkında da bilgi vermelidir. Pahalı bir alaşımlama malzemesi olan düşük karbonlu ferrokrom kullanımının önüne geçebilmek için redükleme aşaması sonucunda elde edilecek krom bileşiminin önceden tahmin edilmesi de son derece önemlidir. (Engh T.A., vd. 1992)

5.3 Desülfürizasyon

Cürufun redüklenmesinin ardından, cüruf alımı gerçekleştirilir ve eğer gerekli ise desülfürizasyon için ton çelik başına yaklaşık olarak 10-15 kg kireç ve fluspat karışımı eklenir. Bunu takiben sıvı çelik banyosu 5 ila 10 dakika arasında bir süre argon ile karıştırılır. Eğer bir önceki aşamada gerçekleşen cüruf redüklenmesi yeterli derecede gerçekleştirilebilmiş ise, sistemin oksijen potansiyeli düşük olacağından yüzde 0.003 gibi çok düşük kükürt seviyelerinin yakalanması olası olacaktır. Redükleyici olarak alüminyum kullanımı kükürt'ün giderilmesinde son derece etkili sonuçlar alınmasını olanak sağlamaktadır. Literatürde alüminyumun redükleme ajanı olarak kullanımı sonucunda 10p.p.m. seviyesinde kükürt içeriğinin tek cüruf alımı ile gerçekleştirildiği durumlar kayda geçmiştir.

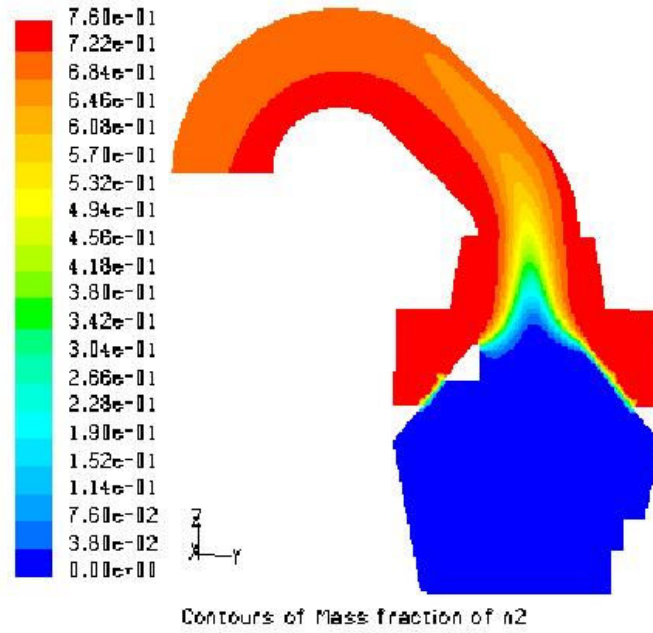
Bir AOD Konverterinde iki döküm arasında geçen süre tipik olarak 90-120 dakika olarak saptanmıştır. Dekarbürizasyon süreci yaklaşık olarak 35-90 dakika sürmektedir. Ancak bu süre başlangıçta çok yüksek karbon ve krom bileşiminden, düşük nikel ve düşük karbon oranlarının yakalanmasının hedeflendiği çok uç durumlarda artabilir. AOD işlemi esnasında yapılan tipik harcamalara değinmek gerekirse %18Cr, %8Ni içeren ve karbon oranı %2 olan bir çelik için ton çelik başına harcanan; Ar = 9-12Nm³, N₂ = 9-11Nm³, O₂ = 30-38 Nm³, kireç = 35-45kg, fluspat = 2-3kg ve ferrosilisyum (%75 Si) = 8-11kg olarak ifade edilebilir.

Yukarıda bahsedildiği üzere paslanmaz çelik üretimi esnasında, gerçekleşen bu işlem adımlarından her biri diğerine son derece bağımlıdır. Gerçekleştirilen etkili bir dekarbürizasyon, en az miktarda krom oksitlenmesinin gerçekleşmesine imkân sağlayarak daha sonraki adımlarda harcanacak gaz ve redükleme ajanı kullanımından tasarruf edilmesine imkân sağlayacaktır. Kullanılan redükleme ajanının çeşidi ve miktarı elde edilen nihai kükürt içeriği üzerinde son derece etkilidir. (Engh T.A., Siemensen C. J., Wijk O., 1992)

5.4 Azot İçeriğinin Kontrol Edilmesi

Argon oksijen dekarbürizasyon tekniği ile gaz gideriminde soy gaz ile yapılan yıkama işlemi etkili olmaktadır. Sıvı banyoyu terk eden her argon ve CO (karbonmonoksit) baloncuğu ardında eser miktarda çözülmüş azot ve hidrojen bırakır. Nihai bileşimdeki azot miktarının hesaplanmasında saflaştırma esnasında kullanılan argon yerine azot koyularak etkili bir şekilde kontrol edilebilir. Düşük alaşımlı çeliklerde 25 ila 30ppm gibi düşük azot seviyeleri yakalanırken, paslanmaz çeliklerde de 100 ila 150ppm mertebesinde azot içeriği elde edilebilir. (Masterson I.F.)

AOD konverteri ile özellikle bazı azot seviyesi çok düşük alaşımlar üretilirken redüksiyon aşamasında azot seviyesindeki artış saptanmıştır. Sıvı çeliği bu azot girdisinin paslanmaz çelik üretimi esnasında, AOD'nin ağız ile gaz toplama bacası arasında kalan boşluktan hava girişinden kaynaklanabileceğinden doğan şüpheler üzerine yapılan bilgisayar destekli simülasyon çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmada denge ve denge dışı durumlarda üflenen gazlar neticesinde konverterin iç kesimlerindeki gaz akışları ve sıcaklık dağılımları incelenmiş ve AOD'nin yükleme ağız ile gaz emme bacası arasında hava ve neticede azot girişinin olası olup olmadığı sorgulanmıştır.



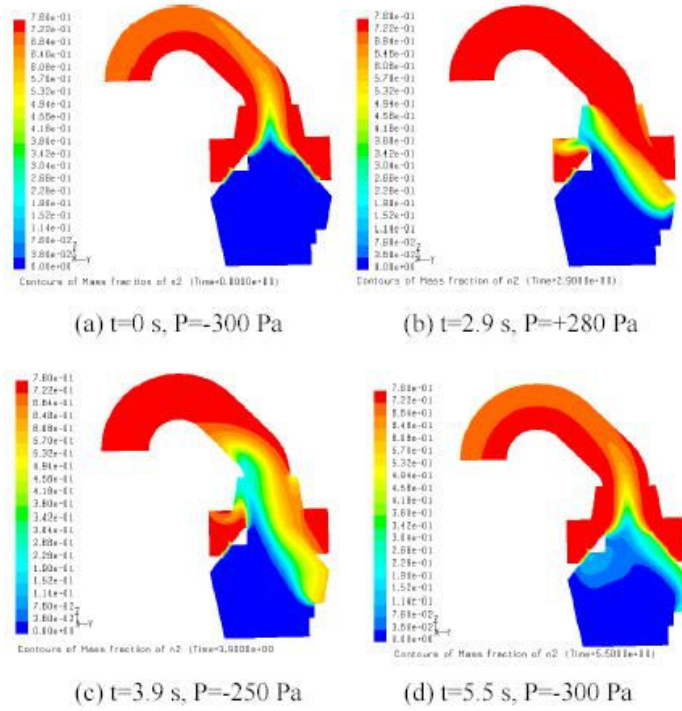
Şekil 5.4 Azot dağılımı ile ilgili bilgisayar destekli simülasyon sonucu

Şekil 5.4'te görüldüğü üzere yapılan incelemeler göstermiştir ki çok büyük miktarda azot gaz toplama bacası tarafından emilmektedir. Azot bileşimi incelendiğinde de konverterin yükleme ağız ile gaz toplama bacası arasında kalan boşluktan herhangi bir hava girişi ibaresine rastlanmamıştır.

Üretimde karşılaşılan bazı durumlarda sıvı banyoda karşılaşılan çalkalanma hareketi neticesinde gaz emme sisteminin etkinliğinde azalma yaşanabileceği saptanmıştır. Bu durumda azot içeriğinde bir artış olabileceği düşünülerek incelemeler yapılmıştır.

Şekil 5.4 (d) de görüldüğü üzere yapılan inceleme sonucunda konverterin sağ bölümünde azotça zengin bir alan oluşmaktadır. Bu bölgedeki basınç değeri 1 saniyeyi aşkın bir süre -300 pascalın altında kalmasına rağmen %30 civarında bölgesel bir azot dağılımı saptanmaktadır.

Buna dayanarak gaz emme sisteminin etkinliğinde yaşanılacak bir düşüş neticesinde AOD yüklem ağzının sağ tarafında azot içeriğinde bir artış beklenebileceği açıktır. Bu sonuçların söz konusu AOD Konverterinin geometrisine son derece bağımlı olduğu unutulmamalıdır. Geometri değişikçe saptanan bu içerik değişikliğinin etkinliği son derece değişecektir. Tüm bunlara rağmen, bu denge dışı koşullar altında yapılan ölçümlerde sıvı çelik içeriğinde kayda değer miktarda bir azot artışı saptanmamıştır. (Tang Y., Fabritius T., Harkki J., 2003)



Şekil 5.5 Gaz emme sistemi etkinliğinde yaşanan düşme sırasında azot dağılımının incelenmesi

Hedeflenen azot seviyelerinin yakalanabilmesindeki kolaylık, alışım standartlarını yakalamak için azotlu ferroalaşımın kullanılması gereğini azaltır. Ayrıca bu durum argon kullanımını da en aza indirir. Bununla beraber 1.5ppm gibi son derece düşük hidrojen seviyeleri yakalanabilir. (Masterson I.F.)

6. AOD YÖNTEMİNDE PROSES PARAMETRELERİNİN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Bu konuda sıcaklığın; kimyasal bileşimin; karbon, oksijen, argon ve azotun; süresi; gaz üfleme sırasında AOD konverterinin salınımı; üfleme prosesinin etkileri incelenmiştir.

6.1 Sıcaklık

AOD prosesinde dekarbürizasyon aşaması argon ve oksijen gaz karışımının yan tüyerlerden ve üstten üflenmesi ile başlar. AOD yönteminde üfleme yaklaşık 1500 °C’de başlatılmak üzere planlanmıştır. Bu yüzden, fırından boşaltma sıcaklıkları 1500-1600 °C olmalıdır.

Üfleme sırasında sıcaklık 1700°C’ye kadar çıkabilir. Daha yüksek sıcaklıklar krom kaybını azaltacak, fakat buna karşılık refrakter malzemenin aşınmasına neden olacağından maliyeti arttıracaktır. Bu yüzden, AOD yönteminin belirli bir özelliği banyo sıcaklığının 1700 °C’yi geçmemesidir. İlk üfleme sırasında banyo sıcaklığı artar ve bu sıcaklığı kontrol etmek için soğutucu ilave edilir. Eğer argonun fazla miktarda kullanımı ekonomik sorun yaratmazsa, üflenen gazdaki argon artışı sıcaklığı kontrol altında tutabilir. Fakat pratikte argon sarfiyatını arttırmadan, çok az bir miktarda kromun oksitlenmesine izin verilerek gerekli sıcaklık sağlanır.

Esas olarak dekarbürizasyon esnasında C ve Cr dengesini sıcaklığın, zamanın ve ortamdaki CO kısmi basıncının fonksiyonu olarak sağlamak için üflenen gazın Argon / Oksijen oranı ayarlanır. Başlangıçtaki 1 / 3 oranı daha sonraki safhalarda 1 / 1 ve 3 / 1 oranlarına kadar yükseltilir.



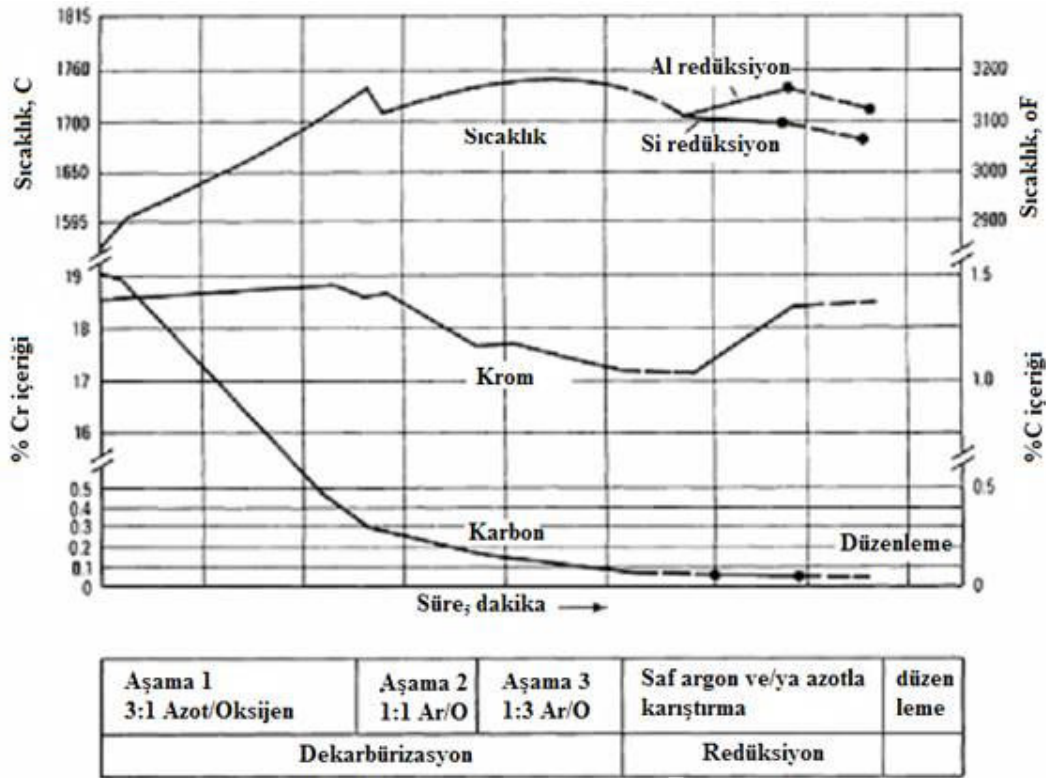
Eşitlik (6.1)’de reaksiyon ekzotermik olduğundan banyodaki sıcaklık artışı oksitlenen Cr miktarına karşı duyarlıdır. Bu nedenle banyodaki aşırı bir sıcaklık artışını önlemek için Cr oksidasyonunun bir minimuma indirilmesi gerekir.

Yüksek nikel içeriği, oksijenin krom ve demire olan afinitesini artırır. Bu yüzden östenitik çelik çeşitlerinde cüruflaşma ve sıcaklık artışı biraz daha fazladır.

6.2 Kimyasal Bileşim

Şekil 4.1’de 30 tonluk bir AOD konverteri içinde üfleme aşamaları sırasında meydana gelen dekarbürizasyon, redüksiyon ve düzenleme (trim) işlemlerinde % krom içeriği ve % karbon

içeriğindeki değişimler, sıcaklığın alüminyum veya silisyum ile redüksiyonda oluşan değişimleri gösterilmektedir



Şekil 6.1 AOD konverterinde dekarburizasyon, redüksiyon ve düzenleme aşamalarında sıcaklık, % C ve % Cr değişimleri

EAO'da elde edilen sıvı metalin içerisinde %0,5 Cr, %0,25-3 arasında C ve %0,2-1,5 arasında Si vardır. Buradaki Si içeriği oksitlenerek cürufa geçen kromun minimum tutulmasını sağlar. Böylece, AOD kademelerinden olan redüksiyon aşamasında oksitlenen alaşım elementlerinin geri kazanımı için banyoya %75'lik ferrosilis ilavesiyle, kromun hemen hemen tamamı redüklenip, %98 verimle kazanılması sağlanır. Başlangıçtaki %18 kromun yaklaşık %1,5'i cürufa geçer, %16,5'i geri kazanılmaktadır. Ortalama olarak üretilen çeliğin bileşimine göre redüksiyon için ferrosilis gereksinimi 12-16 kg/ton değerindedir. Redüksiyon için ferrosilis ile beraber kireç ilavesi de yapılır, kireç / ferrosilis oranı 1,5-2 arasında olmalıdır

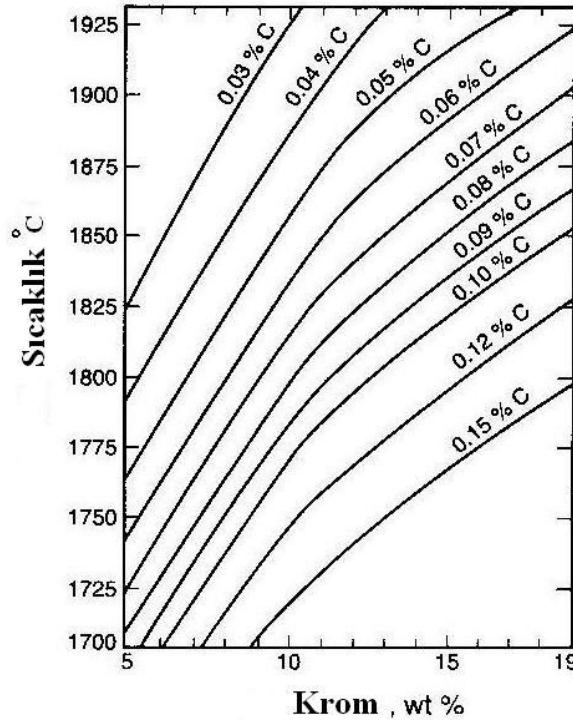
Desülfürizasyon aşamasında kireç ilaveleri, metal banyosundaki kükürdü seyreltmek için kullanılır. Alüminyum veya silikon da oksijeni uzaklaştırmak için eklenebilir. Bu aşamada da kükürt içeriği %0,15 ve altına düşürülebilir. (Polat Ş. 2004) (Gürkan T. 1982)

6.3 Karbon, Oksijen, Argon ve Azot Oranlarının Etkileri

AOD yönteminde EAO'dan gelen ergiyik AOD konverterine transfer edilerek istenilen bileşimde çok düşük karbonlu paslanmaz çelikler üretilir. Konverterde oksijen ve argon gaz karışımının kontrollü üflenmesi ile CO kısmi basıncı düşürülerek krom kaybı olmaksızın karbonun çok düşük seviyelere indirilmesi yöntemin en önemli avantajıdır. AOD yöntemini bu avantajı, yüksek karbonlu ferroalaşımlar ve düşük fiyatlı ham maddelerin kullanımını sağlamıştır. AOD yönteminde argon üflenmesi ile çelik banyosu karıştırıldığı için temiz çelik üretilmektedir. (Polat Ş. 2004)

6.3.1 Karbonun Etkileri

Paslanmaz çeliklerde karbon oranı mekanik özelliği nedeniyle istenmez. Bu yüzden paslanmaz çelik üretiminde geliştirilen yöntemlerden olan AOD prosesinde, yan tüyerlerden argon-oksijen gaz karışımı ve üstten oksijen üflenmesi ile karbonu uzaklaştırmak esas amaçtır. Böylece paslanmaz çelikteki karbon, fazla krom oksidasyonu olmadan uzaklaştırılabilir. (Polat Ş. 2004) (Gürkan T. 1982)



Şekil 6.2 Krom-karbon- sıcaklık ilişkisi

(Iron&Steel Society, Warrendale,PA,USA)

Genelde AOD yönteminde gaz üfleme beş aşamaya bölünmüştür. Birinci ve ikinci aşamada ergiyik çelik içindeki karbon %0,4 ve krom %17,8 içeriğinde; üçüncü aşamada C %0,16 ve Cr

%17 içeriğinde; dördüncü aşamada C daha da içerikte; beşinci olan son aşamada C %0,01'in altında bir içeriktedir ve Cr içeriği artmaktadır.

Ergiyik metal içerisine üflenen oksijen oranı öncelikle soy gaza kıyasla fazladır. Banyodaki karbon içeriği düştükçe, Oksijen / Argon oranı da düşer. Oksijenin argon tarafından seyreltilmesi ile banyo içindeki kabarcıklardaki CO kısmi basıncının düşmesine neden olurlar. (Tang Y., Fabritius T vd., 2003)

6.3.2 Oksijenin Etkileri

Üflenen oksijen, çelikteki karbon, krom, silisyum ve manganı ve demiri matris olarak oksitler; fakat oluşan FeO çelikteki karbon, krom, silisyum ve manganın da oksidanıdır. Tüm olası oksidasyon – redüksiyon reaksiyonları, eş zamanlı meydana gelir ve sıvı-kabarcık ara yüzeyinde bir dengeye ulaşırlar. Ayrıca, yüksek karbon seviyelerinde elementlerin oksidasyon hızı öncelikle oksijen hızına ve düşük karbon seviyelerinde dekarbürizasyon hızı çoğunlukla ergiyik çelikten reaksiyon ara yüzeyine karbonun kütle transferi ile saptanır. Banyoya üflenen reaksiyona girmemiş oksijen, çelik içinde kalmayıp baca gazı ile uzaklaştırılmaktadır. (Ji-He Wei, De-Ping Zhu, 2002)

6.3.3 Argonun Etkileri

İnert gaz AOD yönteminde oksijen ile üflenip oksijeni seyreltir ve oksijenin CO kısmi basıncını düşürmesini sağlar. Argon, oksijen ile AOD konverterinin yan tüyerlerinden üflenmektedir. Argonun üflenmesi aynı zamanda oksitlenip cürufa geçebilen krom miktarında da önemli azalış sağlayarak krom kaybını en aza indirir.

Karbon içeriği üflemler yoluyla istenilen düzeye indirildiği zaman oksitlenmiş alaşım elementlerinin deoksidasyonu için çelik banyosu redükleyici alaşım elementleri ile redüklenir. Kromun hemen hemen tamamı redüklenir ve başlangıçtaki kromun konverterden %98 verimle kazanılması sağlanır. Redüksiyon banyosunun sadece argon ile karıştırılmasıyla beş dakika sürer. Üflenen saf argon, karbon içeriğini %0.01'e kadar düşürebilir. Bu ilave dekarbürizasyon, karbonun banyoda kalan oksijen tarafından oksitlenmesi ile olur.

Redüksiyondan sonra banyonun yeniden argon ile karıştırılmasıyla yapılan desülfürizasyon ile kükürt içeriği %0.015 ve altına indirilebilir.

AOD yönteminde ayrıca bir gaz giderme işlemi uygulanmamasına karşın dekarbürizasyon, redüksiyon ve desülfürizasyon işlemleri esnasında istenilen gaz içeriğine göre işlem

koşullarının ayarlanması ve banyonun argon ile çok iyi karıştırılması sonucu istenilen miktarlarda N_2 , O_2 ve H_2 içeriklerine ulaşılmaktadır. (Polat Ş., 2004)

6.3.4 Azotun Etkileri

AOD yönteminde oksijen ve inert gaz olarak da argon kullanılır. İnert gaz AOD yönteminde oksijen ile üflenip oksijeni seyreltir ve oksijenin CO kısmi basıncını düşürmesini sağlar ve Cr kaybını azaltır.

Kusursuz bir üfleme programı yapmak için sadece dekarburizasyon değil, ekonomik maliyeti de göz önünde bulundurmak gerekir. Üfleme pratiğinde yapılan büyük bir değişiklikle 1. safhanın tümünde 3/1 oranındaki Oksijen/Argon karışımında argon yerine azot kullanılmıştır. Argon yerine azot kullanma, östenitik paslanmaz çeliklerin çoğunda bir miktar azot bulunabildiği için bunların üretiminde uygulanabilir. Fakat ferritik paslanmaz çeliklerin üretimi esnasında argon yerine azot üflenmesi (1. safhada) çok dikkatli limitlerde kontrollü olarak yapılmalıdır. Üfleminin 1. safhasında argon yerine azot kullanılarak dekarburize edilen östenitik paslanmaz çeliğin son azot içeriği istenirse %0,015 değerine kadar düşürülebilir. Argon yerine azot kullanmak, zararsız empürite olarak %2 O_2 ve %0,4 N içeren saf argon şeklindeki argon tüketiminin fazla oluşunu bir ölçüde azaltmak içindir. (Polat Ş., 2004)

7. AOD KONVERTERİNİN SAĞLADIĞI KALİTE İYİLEŞTİRMELERİ

7.1 Üretim Bazlı Kalite İyileştirmeleri

7.1.1 Alaşım Tasarrufu

AOD konverterinin sağladığı en büyük avantajlardan biri oksijen ve soy gaz ile birlikte karbon giderme etkinliğinin çok yüksek olması ve bu işlem sırasında metalik oksidasyonun çok yüksek değerde gerçekleşmemesidir. Bu daha düşük maliyetli hurda ve rafine edilmemiş düşük maliyetli ferroalaşım kullanımını olası kılar ki bu da maliyeti düşürür. Buna ek olarak cürufun alüminyum ve silisyum ile etkin bir şekilde redüklenmesi ile krom, mangan ve vanadyum gibi değerli metaller neredeyse tamamen geri kazanılabilir. Dekarbürizasyon sırasında yine düşük maliyetli olan azot kazı kullanılır ancak daha sonraki aşamalarda çeliğin nihai azot içeriğinin yakalanması için argon gazı kullanımı mecburidir. (Wiesser P.F., Selines R.J.)

AOD uygulaması ile gaz ve kalıntı element içeriklerinin düşürülebilmesi neticesinde bir takım kritik malzeme özellikleri üzerinde son derece önemli iyileştirmeler gerçekleşmiştir. Bu iyileştirmeler, toplam metalik olmayan kalıntı miktarındaki azalama, inklüzyonların şekillerinin kontrol edilebilmesi ve istenmeyen çözünebilir kalıntı elementlerin redüklenmesi neticesinde sağlanan tokluk kazanımı ile bağdaştırılabilir. (Selines R.J., Mehlman S.K.)

7.1.2 Üretim Artışı

Sıvı çeliğin işlenmesi AOD Konverterinde yapıldığı için elektrik ark ocağı sadece ergitme ünitesi olarak hizmet vermektedir. Buda iki döküm arasındaki süreyi düşürmek suretiyle üretimde önemli derecede bir artış sağlamaktadır. Ayrıca refrakter, elektrot ve enerji sarfiyatında düşmesine yardımcı olarak toplam ergitme maliyetinin düşürülmesine vesile olur.

7.1.3 Kükürt Giderimi

Cüruf kimyasının ve banyo sıcaklığının çok iyi kontrol edilebilmesi ile birlikte metal-cüruf temasının çok iyi olması çok hızlı bir desülfürizasyonun gerçekleşmesine olanak sağlar. Bu değer karbon çelikleri ve düşük alaşımlı çeliklerde %0.005 mertebesinin altına düşebilirken, paslanmaz çeliklerde %0.010 değeri oldukça basit bir şekilde yakalanır. Ancak paslanmaz çeliklerde % 0.005 kükürt değerine inilebilmek için cüruf alma işlemini iki defa

gerçekleştirmek söz konusu olabilir. Yakalanan bu düşük kükürt değerleri çekme dayanımı, tokluk, kaynak edilebilirlik ve sıcak yırtılmaya ve çatlak oluşumuna karşı dayanımı arttıracaktır. Bunun gerçekleşmesinde ise kükürt inklüzyonlarının sayı ve boyutlarındaki düşüş etkili olmaktadır. (Wiesser P.F., Selines R.J.)

7.1.4 Etkili Gaz Giderme

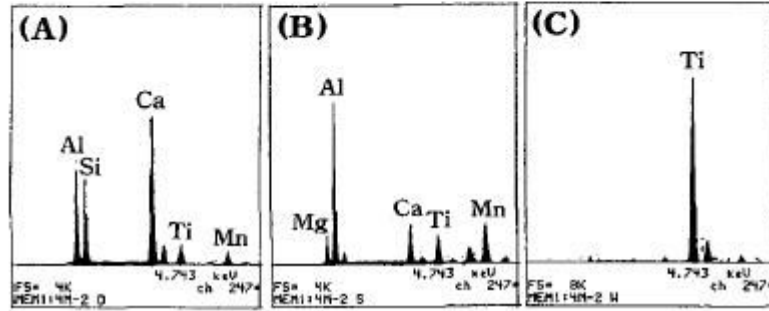
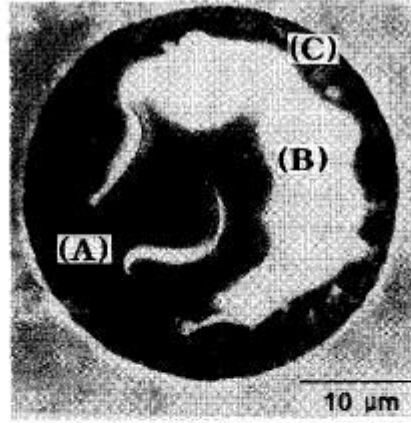
Üflenen argon ve azot gazları ve oluşan karbonmonoksit neticesinde gerçekleşen etkili gaz giderimi nihai yapıdaki gaz içeriğinin son derece düşük olmasını olası kılmaktadır. Nihai yapıda oksijenin düşük olması mikro yapının daha temiz olmasına ve daha iyi süneklik ve tokluk değerlerinin sağlanmasına imkân verir. Daha düşük bir azot seviyesi ise alüminyumnitrit oluşumuna bağlı görülebilecek kırılma hatası ve hidrojen çatlağı ile karşılaşma olasılığını düşürür. (Wiesser P.F., Selines R.J.)

7.1.5 Akıcılığın Artması

Düşük kükürt ve oksijen içeriği ve daha temiz bir içyapı eldesi metalin akıcılığında artışa sebep olur. Bu ise döküm sıcaklıklarının düşmesine imkân sağlayarak kalıp-metal reaksiyonları, yanma, sinterlenme ve çekme problemleri ile karşılaşma riskini düşürür. Bunun neticesinde döküm hatalarında sağlanan düşüş ve yüzey kalitesinde sağlanan artış daha sonraki yüzey temizleme işlemlerine harcanacak zamandan kazanılmasına imkân verecektir. (Wiesser P.F., Selines R.J.)

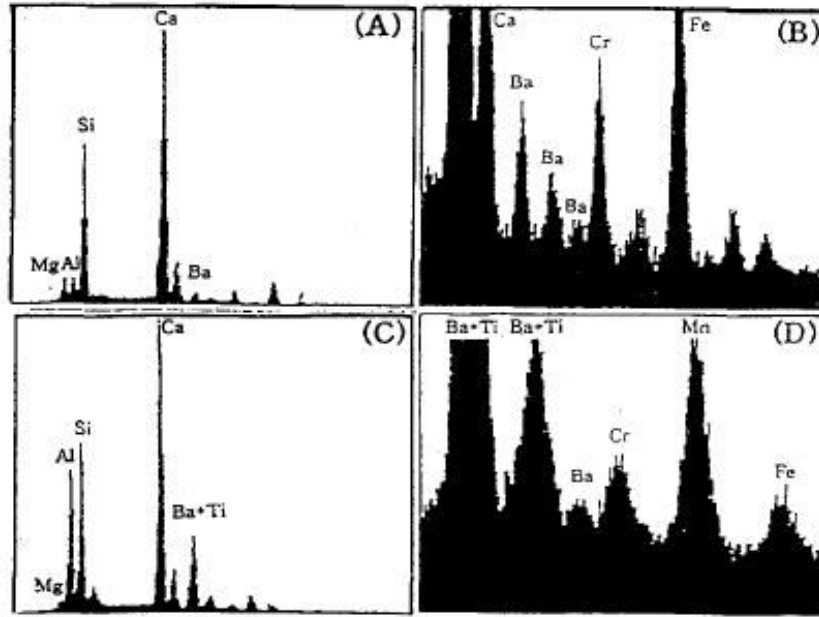
7.1.6 İnküzyonların kontrolü

Ergiyik 304 kalite bir paslanmaz çeliğin oksijen içeriğinin kontrol edilmesinde etkili olan mekanizma silisyum deoksidasyonudur. Elektrik ark ocağı, AOD ve aktarma potası rotası kullanılarak paslanmaz çelik üretiminde, AOD konverterinde ilaveten bir aktarma deliği olmadığından, sıvı metalin bir miktar cüruf ile aktarılması söz konusudur. Bu nedene metalik olmayan inklüzyonları oluşma mekanizması alüminyum ile işlem görmüş düşük alaşımlı çeliklere kıyasla farklı olacaktır.



Şekil 7.1 Malzeme yüzeyinde hataya sebep olan tipik inklüzyonları SEM mikro yapısı ve her fazın EDS incelemesi

Şekil 7.1’de bu inklüzyonların SEM mikro yapısı ve EDS bileşim incelemeleri görülmektedir. Bu inklüzyonlar soğuk ve sıcak hadde işlemlerinde karşılaşılan yüzey hatalarının en önemli nedenidirler. Burada üç farklı bileşime sahip, üç farklı faz bulunmaktadır. Bunlar (A) CaO-SiO₂-MgO, (B) MgO-Al₂O₃ (spinel) ve (C) TiO₂ (rutil). Bu fazların her birinin ergime noktası oldukça yüksektir. Örneğin spinel (2135°C), rutil (1830°C) de ergir ve bu durumda operasyon esnasında oluşan yüzey hatalarının temel nedeni olarak ifade edilir. Yapılan inceleme sonucunda toplam alüminyum içeriği toplam alüminyum 30 ppm’in altında olmasına rağmen, inklüzyonların Al₂O₃ içeriği spinel fazı oluşturmak için yeterli olmaktadır. CaO-SiO₂-MgO oluşumunun olası nedeni olarak sıvı çelik içerisinde Ca, Si ve Mg’un deoksidasyon ürünleri ya da AOD ve ya potada bulunan cüruf olarak tahmin edilmektedir. Inklüzyonların oluşumunda etkili olan mekanizmanın anlaşılabilmesi için izleme amacıyla AOD konverterine saflaştırma aşmasının sonuna doğru kütlece %5 oranında BaCO₃ ilave edilmiştir. Ayrıca AOD işleminin sonrasında potaya alınan sıvı çelik cüruf bölgesine de yine bu izleme elementi eklenmiştir. Daha sonra bu bölgelerden daldırma yöntemi ile alınan numuneler metalografik olarak hazırlanıp incelemeye tabi tutulmuştur. Burada amaç ilave edilen izleme elementinin yapılan SEM ve EDS incelemelerinde CaO-SiO₂-MgO fazı içerisinde saptanılıp saptanılmayacağıdır.



Şekil 7.2 Ba elementi içeren inklüzyonların EDS analizi

Şekil 7.2 AOD cürufundan alınan test sonuçlarını göstermektedir. Bu sonuçlara göre (D) bölümünde saptanan üçüncü Ba piki $\text{CaO-SiO}_2\text{-MgO}$ fazı içerisinde izleme elementinin saptandığını göstermektedir. Bu izleme elementine aynı şekilde gerçekleştirilen inceleme sonrasında potadan alınan numunede rastlanamamıştır. Bu sonuçlar ışığında inklüzyonlarda saptanan ve önemli hatalara sebep olan $\text{CaO-SiO}_2\text{-MgO}$ fazının AOD cürufu kaynaklı olduğu sonucuna varılmıştır.

Buna göre 304 paslanmaz çelikte karşılaşılan $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-MgO-TiO}_2$ içerikli inklüzyonların oluşma nedeni AOD cürufu içerisinde alüminyum ve titanyum'un deoksidasyona uğramalarıdır. Inklüzyonlardan en yüksek ergime noktasına sahip olan birincil kristallenme fazı olarak karşımıza çıkar ve bunun hangi bileşimde olacağı Al_2O_3 ve MgO içeriğine ve inklüzyonların baziklik değerine bağlıdır. Inklüzyonların ergime noktası oldukça yüksek olan $\text{MgO}.\text{Al}_2\text{O}_3$ spinel formda kristalleşmesinin önüne geçebilmek için çeliğin alüminyum içeriği ve AOD cürufunun MgO içeriği düşürülmelidir. CaO.TiO_2 fazının oluşumuna bağlı zararlı inklüzyonların oluşumunu engellemek için ise AOD cüruf bazikliğini ($\% \text{CaO}/\% \text{SiO}_2$) düşürmek, en etkili yöntem olarak karşımız çıkmaktadır. (Kim J.W., vd, 1996)

7.2 Malzeme Özelliği Bazlı Kalite İyileştirmeleri

AOD işlemi sonucunda sağlanan düşük gaz ve kalıntı element içeriği sayesinde oldukça önemli bir dizi malzeme özellik iyileştirmeleri gerçekleştirilebilir. Gerçekleşen bu

iyileştirmeler gerek toplam metalik olmayan inklüzyon içeriğindeki azalma ile gerek bu inklüzyonların boyut ve şekillerinin etkili bir şekilde kontrol edilebilmesi ile gerekse de istenilemeyen çözünebilir kalıntı elementlerin redüklenmesi sonucunda sağlanan tokluk artışı ile bağlantılı olabilir.

Metalik olmayan inklüzyonların kırılma tokluğu, süneklik ve yorulma dayanımı malzeme özellikleri üzerindeki son derece önemli etkileri olduğu yapılan çalışmalar neticesinde belgelenmiştir. Bu malzeme özellikleri, söz konusu inklüzyonların hacim, dağılım uzunluk, konum ve boyut gibi parametreleri ile bağıntılıdır. Bununla birlikte inklüzyonların şekillerinin kontrol edilmesi sayesinde, inklüzyon konum ve tümleşik uzunluk gibi parametreleri üzerinde olumlu etkilerde bulunmak suretiyle, anizotropide sağlanan düşüş neticesinde mekanik özelliklerde önemli derecede artış yakalanmasına olanak sağlamaktadır.

Burada AOD ile gerçekleştirilen kükürt giderimi neticesinde mangansülfür (MnS) inklüzyonlarının hacminde tipik oksit inklüzyonu hacimlerinin de altında bir değer aralığında, önemli bir azalma kaydedildiği göze çarpmaktadır. AOD ile işlem görmüş çelikte karşılaşılan aşırı derece düşük kükürt inklüzyonu, oksit inklüzyonlarını kayda değer inklüzyon çeşidi olarak görmemize neden olur ki oksit inklüzyonları mekanik özellikler üzerinde son derece etkilidir. AOD ile ulaşılan düşük oksijen seviyeleri sayesinde oksit inklüzyon içeriğinde de oldukça önemli azalmaya olanak sağlar. (Kim J.W., vd, 1996)

8. AOD YÖNTEMİNDE İYİLEŞTİRME ÇALIŞMALARININ SONUÇLARI

8.1 Farklı Gaz Üfleme Hızlarında Elde Edilen Sonuçlar ve İdeal Gaz Üfleme Hızlarının Saptanması

AOD Konverterinde paslanmaz çeliğin dekarbürizasyonu, oksijen/asal gaz karışımı ile gerçekleştirilir. İşlem ilerledikçe artan asal gaz/oksijen oranı ile krom oksidasyonunun önüne geçilmesi amaçlanır. İndirgenme aşamasında, oksitlenen krom, desülfirasyon ile eşzamanlı olarak cüruftan metal faza geri kazanılır. İşlem sırasında tüyerlerden üflenen gaz hızları oldukça geniş bir aralıkta değişebilir. Bu durum ise en uygun tüyer çapı, sayısı ve her bir tüyer arasındaki açı ile ilgili çelişkili talepleri gündeme getirir. Düşük gaz üfleme hızları karşı-saldırı fenomeni (back-attack), tüyerlerin bloke edilmesi ve hatta refrakter aşınmasına sebep olur. Fakat diğer yandan yüksek gaz üfleme hızlarında oldukça güçlü osilasyon ve sıçrama meydana gelir.

AOD için akış modelleri bir dizi fiziksel ve nümerik modeller yardımıyla yapılmıştır. Themelis et al sıvı banyo içerisindeki jet yörüngesi ile ilgili oldukça meşhur denkleme ulaşmıştır. Igwe et al ve Hoefele ve Brimacombe ayrıca jetin yayılımının Themelis'in denkleminde belirttiği gibi, geliştirilmiş Froude sayısı (N_{Fr}) ve yoğunluk oranı (ρ_g/ρ_l) ile arttığını saptamışlardır. Daha önceki çalışmalara dayanılarak, AOD Konverterinde yapılan yan duvardan üfleme iki asimetric karıştırma alanı oluşturur; yan duvar tüyerlerinin yan tarafında yer alan küçük karıştırma alanı ve bu bölgenin uzağında yer alan daha geniş bir karıştırma alanı. Yan duvardan üfleme etkinliği arttıkça bu döngüsel akışın konumu tüyerlerden daha uzaklaşacaktır. (Fabritius T.M.J., Mure P.T., Harkki J.J. , 2003)

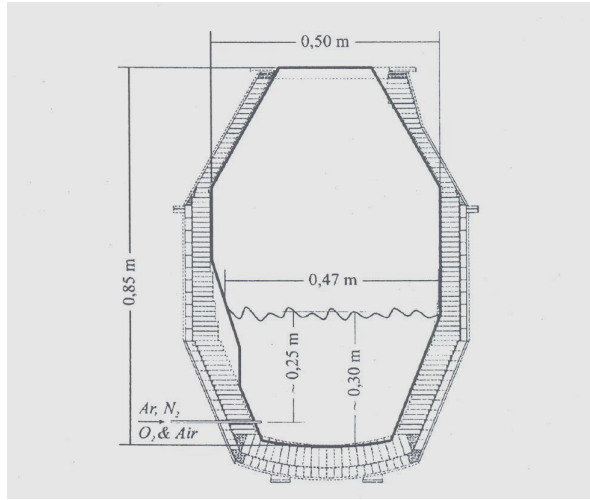
Ishibashi yan duvardan üflemenin gerçekleştiği bir banyo yüzeyinde yayınma derinliğinin hesaplanması için aşağıdaki deneye dayalı denkleme ulaşmıştır.

$$L_H = 3.7 d_{ni} Fr_m^{1/3} \quad (8.1)$$

$$Fr_m = \rho_g Q_g^2 / (\rho_L g d_{ni}^5) \quad (8.2)$$

Bu denklemde d_{ni} tüyer iç çapı, Fr_m geliştirilmiş Froude sayısı, ρ_L sıvının yoğunluğunu, g yerçekimine bağlı ivme olarak ifade edilir. Bu denklem $2 < Fr_m < 5 \times 10^3$ aralığında kullanılabilir. (Bjurström M., vd., 2006)

Belirli şartlar altında, gazın sıvı banyoya enjekte edilmesi ile döngüsel ya da titreşen dalgaların şekillerinde birtakım akış değişimleri gözlenebilir. Sıvı banyoda oluşan bu titreşim hareketi, sadece üfleme operasyonunu etkilemekle kalmaz aynı zamanda konverterin yapım aşamasında zorluklar çıkarır ve önemli ölçüde refrakter hasarına sebebiyet verir. Özellikle asal gazın üflendiği aşamada oldukça güçlü titreşim hareketlerinin gerçekleştiği belirlenmiştir. Dalga hareketinin ancak gaz akışı belirli bir değere ulaştığında gözendiği saptanmıştır. Gaz akış hızı ise, üfleme koşulları (tüyerlerin pozisyonu) ve konverter geometrisine (sıvı banyosunun çapı ve yüksekliği) bağlı olarak değişir.



Şekil 8.1 Gerçek bir AOD'ye geometrik olarak benzerliği sağlanmış deneysel model

AOD Konverteri gibi yan duvardan gaz üfleme prensibine bağlı olarak çalışan bir sistemde dalga hareketinin ancak ve ancak tüyerler arasındaki açı ve gaz akış hızı ile kontrol edilebileceğini bilmek son derece önemlidir. Daha önce yapılan çalışmalar, yan duvardan üfleme prensibi ile çalışan bir konverter içerisinde, metal banyosunda oluşan titreşim hareketinin sebebi ile ilgili bir açıklama getirmemişleridir.

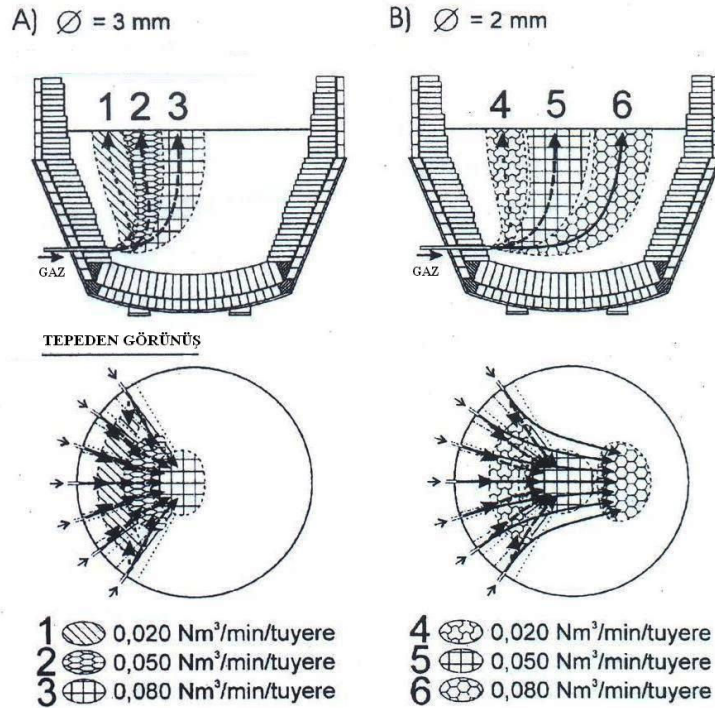
Faritius, mekanik modelleme esasına dayanarak yaptığı çalışmada krom'dan yapılmış bir konverter modeli kullanmıştır. Gerçek ve model arasındaki dinamik benzerliği sağlamak amacıyla tüyerlerin boyutsuz çap aralığı 1.1d-1.4d olarak belirlemiştir. Su ile sıvı çeliğin kinematik viskoziteleri oldukça benzer olduğu için deneyde sıvı faz olarak su kullanılmıştır.

Bu arada cüruf tabakası göz ardı edilmiştir. Böylece model ve gerçek sistem arasındaki metrik benzerlik sağlanmıştır.

Tepeden üflemede göz ardı edilmiştir. Bunun nedeni ise bu işlemin, üfleme bölgelerinin şekil ve boyutu üzerindeki etkisinin önemsiz olmasıdır. Bununla birlikte, gerçek süreç esnasında da tepeden üfleme bütün işlem boyunca uygulanmaz. Testler farklı tüyer bölge açıları (her bir tüyer arası açı 16° , 18° ve 20° , ve her tüyerden gönderilen hava akış hızları ($0.020\text{Nm}^3/\text{min}$, $0.050\text{Nm}^3/\text{min}$ ve $0.080\text{Nm}^3/\text{min}$) da farklı değerlerde yapılmıştır. Ayrıca bu model için iki farklı tüyer çapı (2 mm ve 3 mm) kullanılmıştır.

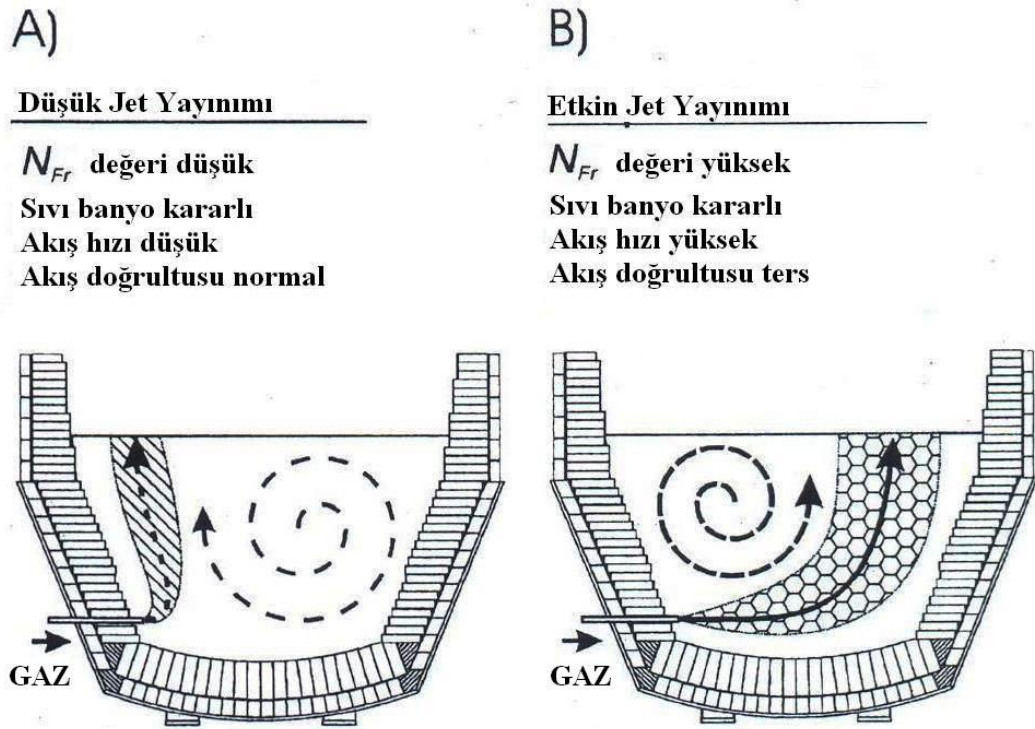
Karıştırma ve gecikme zamanlarının ölçülmesinde elektriksel iletkenlik metodundan faydalanılır. Dokuz (9) bakır elektrot modelin içerisine yerleştirilmiştir. NaCl solüsyonu izlenebilirliği arttırmak amacıyla elektrot civarına enjekte edilmiştir. Yapılan ölçümler çözeltinin konsantrasyonu her deneyde sabit olacak şekilde üç (3) defa tekrarlanmıştır. Suyun Ohmik basıncındaki değişimler, zamanın fonksiyonu olarak ölçülmüş ve bir veri kaydedici ile toplanmıştır. Gaz kabarcıkları dolayısı ile oluşan gürültü filtrelenmiştir. Sıvı akışının bir elektrottan diğerine yol alması için geçen süre gecikme zamanı olarak belirlenmiştir.

Gaz jetinin, sıvı banyosu içerisindeki yayılımı gözle inceleme ve iletkenlik metodu ile izlenir. Titreşim hareketinin oluşumu ve frekansı yine gözle incelenerek belirlenir. Titreşim frekansının saptanmasında modelin içerisinde 30 titreşimin gerçekleşmesi için gerekli zaman göz önüne alınmıştır.



Şekil 8.2 Model banyo içerisinde gaz jetinin yayılımını

Ana akış hızlarının çapı 3 mm olan tüyer kullanıldığında daha yüksek olduğu görülmektedir. Ölçümler arasındaki sapma değeri oldukça yüksek olduğu görülüyor. Bunun nedeni ise veri kaydedicinin düşük örnekleme zamanıdır. Deneylere göre, geniş bir tüyer alanı (iki tüyer arasında 20°) daha etkili bir karıştırmanın oluşmasına neden olur. Bu durum daha önce iki yan duvar tüyeri ile yapılan su modelinde elde edilen sonuçlar ile örtüşmektedir. Karıştırmanın etkinliğini belirleme amacıyla yapılan ölçümler sonucunda söz konusu olan üfleme prosedürlerinin etkinliği açıkça ortaya konulmuştur.



Şekil 8.3 Yan duvardan gaz üflenilmesi esnasında oluşan akış doğrultularının iki farklı durum için şematik gösterimi (Fabritius T.M.J., Mure P.T., Harkki J.J. , 2003)

2 mm'lik tüyer kullanıldığında gerçekleşen en şiddetli üfleme ($0.080 \text{ Nm}^3/\text{min}/\text{tüyer}$) ile birlikte akış modelleri değişir (Şekil 8.3 (B)). Bu çalışmada, gaz jetinin yayılımı mükemmel olarak gerçekleşmiş ve tüyerlerden oldukça uzakta tek ve büyük bir karışma bölgesi oluşmuştur. Oluşan bu karıştırma alanının yönü ise ana döngüsel akış yönünün tersidir.

Özellikle asal gaz üfleme sırasında, sıvı banyo yükseklik oranı ve çap yüksek olduğu durumda, yan-duvar tüyerlerinden üflenilen gazlar ana döngüsel akış yönünün değişmesine neden olur.

Bu çalışma sonuçları incelendiğinde, yan duvardan üflemede, oluşan titreşim hareketinin

temel nedeni; gaz jetlerinin oldukça derine yayınması sonucunda oluşan akış demetinin düşey ekseninde simetri göstermesidir.

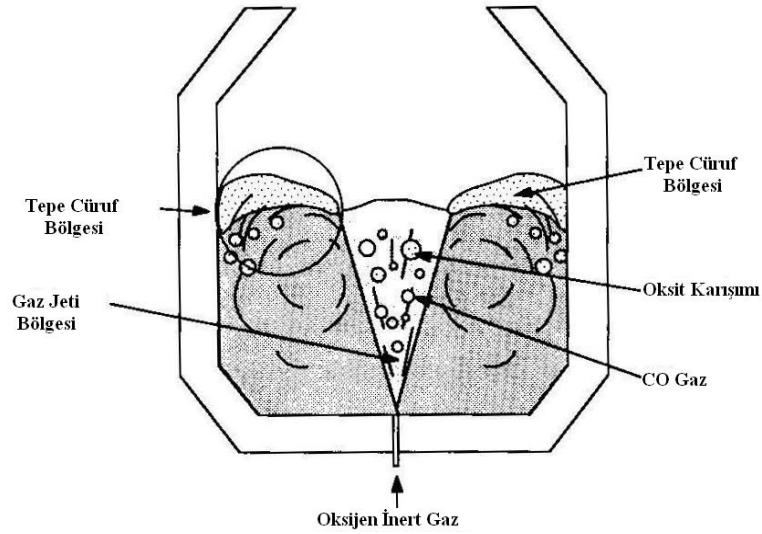
Daha geniş tüyerler kullanıldığında titreşim hareketinin oluşumu yüksek ihtimalle indirgenme aşamasında ya da jet yayımının asal gaz üfleme esnasında en fazla olması nedeniyle ise dekarbürizasyon periyodunun son aşamasında esnasında gerçekleşecektir. Bunun tam tersine, daha küçük tüyerler kullanıldığında, gaz jetlerinin yayımını daha derinde gerçekleştirecek ve bunu takiben simetrik bir akış demeti ile birlikte titreşim hareketi yüksek olasılıkla dekarbürizasyon esnasında gerçekleşir. (Fabritius T.M.J., Mure P.T., Harkki J.J., 2003)

Benzer bir çalışma yapan Bjurström deney düzeneği olarak akrilik plastikten 100ton kapasiteli bir AOD konverterinin belirli bir ölçekte küçültülmüş modeli üzerinde çalışmalar yapmıştır. Bu model düzeneğinde yapılacak ölçümlerin değerlendirilmesinde kolaylık sağlanması amacıyla sadece bir adet tüyer kullanılmıştır. Kullanılan tüyerin iç çapı 0.003m. olarak belirlenmiştir. Bu düzenekte yakalanan hızların ölçümünde lazer destekli bir hızölçer ve bilgisayar sistemi kullanılmıştır. Deneysel çalışma üç farklı banyo yüksekliği (0.07 m, 0.09 m ve 0.11 m) ve dört farklı üfleme hızında ($240 \text{ cm}^3/\text{s}$, $440 \text{ cm}^3/\text{s}$, $640 \text{ cm}^3/\text{s}$ ve $800 \text{ cm}^3/\text{s}$) gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda üflenen gazların tüyer seviyesi ve yüzeyde saptanan yayınma derinliğinin, sıvı banyo yüksekliğinden çok gaz akış hızında gerçekleşen bir artıştan etkilendiği saptanmıştır. Bununla birlikte sistemin toplam akış dağılımının banyo seviyesindeki ve gaz akış hızlarında gerçekleşecek bir artışa son derece bağlı olduğu belirlenmiştir. Bu çalışma sonucunda konverter içerisinde gerçekleşen sıvı akışı ile ilgili genel bir bilgiye sahip olunmuştur. Matematiksel modellemenin daha yaygın olarak kullanılmasının nedeni ise bu yöntem ile sıvı akışına ilave olarak sıvı metal içerisinde gerçekleşen reaksiyonlarında değerlendirilmesine olanak sağlamasıdır. (Bjurström M., vd., 2006)

8.2 Banyodaki Karışım Bölgeleri ve Reaksiyon Kinetikleri Üzerine Etkileri

AOD Konverterinde kullanılan yan duvar tüyerlerine ilave olarak tepe noktasından bir lans ile birlikte yapılan kombine üflemenin amacı reaksiyon alanları ve buna bağlı olarak dekarbürizasyon hızının artırılmasıdır. Karbon içeriği düştükçe karbonmonoksit kısmi basıncını p_{CO} düşürebilmek için azot ve ya argon oksijen ile birlikte tüm bu üfleme aygıtlarından metal banyoya verilir. Üflenen bu gazların toplam miktarları ve karışım oranlarının saptanmasında termodinamik denklemler ve reaksiyon kinetikleri esas alınır. (Scheller P.R., Wahlers F.J. 1996)

Üretim sürecinin en verimli hale getirebilmek için bir konverter için dekarbürizasyon hızında etkili olan parametreler ile ilgili bilgi sahibi olmak son derece önemlidir. Şekilde görüldüğü üzere bir paslanmaz çelik üretimi yapılan konverterin şematik gösteriminde sistem üç farklı faz içermektedir. Bunlardan biri içerisinde C, Si, Mn, Cr, Ni ve N gibi çözünmüş halde alaşım elementleri içeren sıvı metal, diğeri CaO , Al_2O_3 , SiO_2 , MnO , MgO , Cr_2O_3 ve FeO gibi oksitler içeren katı ya da sıvı halde bulunabilen cüruf tabakasıdır. Diğeri faz olarak ise Karbonmonoksit oluşturmak üzere reaksiyona giren soy gaz ve oksijen karışımına çıkmaktadır. Bu tablo incelendiğinde iki sonuca varılır. Bunlardan biri, yapılan üfleme sonucunda oluşan gaz baloncukları ile yapılan etkili temizleme ve karıştırma neticesinde metal banyo içerisinde herhangi bir konsantrasyon gradyanı oluşmaz. Diğeri ise üflenene soy gaz miktarında önemli bir artış olmadığı müddetçe gaz baloncukları ile metal arasındaki ara yüzey dekarbürizasyon süresi boyunca kararlı durumdadır. Konverter içerisinde gerçekleşen metalürjik süreç ile ilgili modelleme çalışmaları yapılırken konverteri ayrı bölgelere bölerek çalışmak ve daha sonra tüm sistem ile ilgili değerlendirme yaparken bu bölgeleri bir araya getirmek faydalı bir yaklaşımdır.



Şekil 8.4 Paslanmaz çelik üretiminde reaksiyon bölgeleri

(Secondary Steel Making 2001)

Yukarıdaki şekilde görüldüğü gibi konverter, dekarbürizasyon boyunca aktif olan üç bölgeye ayrılmıştır. Bunlar tüyer bölgesi, gaz jeti bölgesi ve cüruf bölgesi olarak adlandırılabilir. Bununla birlikte bir dakikada ton çelik başına düşen gaz üfleme hızının değeri 1 Nm^3 gibi son derece yüksek değerlere ulaştığından tanımlanan cüruf bölgesi ihmal edilebilir. Belirsizlikleri

ortadan kaldırabilmek için cüruf ve gaz jeti bölümü beraber değerlendirilerek oksit/metal bölgesi olarak isimlendirilecektir.

8.2.1 Tüyer Bölgesi

Tüyerlerin hemen önünde yer alan bu bölgede, üflenen oksijen metal banyo içerisinde çözülmüş olarak bulunan alaşım elementleri ile reaksiyona girecektir. Yüksek olan bölgesel oksijen potansiyeline bağlı olarak her element atomik yüzde oranlarına bağlı olarak değişik oranlarda oksitlenmeye uğrayacaktır. Buna göre aşağıdaki reaksiyonlar gerçekleşecektir.



Bahsi geçen elementler ile reaksiyona giren oksijen miktarının hesaplanmasında;

$$\dot{Q}_{O_2}^{(j)} = \frac{c_j n_j \dot{Q}_{O_2}}{\sum c_j n_j} \quad (8.6)$$

Burada $\dot{Q}_{O_2}^{(j)}$ j elementi ile birim zamanda reaksiyona giren oksijenin hacmi (Nm³/s), c_j metal içerisinde j elementinin molar konsantrasyonu (kmol/m³), \dot{Q}_{O_2} birim zamanda üflenen toplan oksijen miktarı (Nm³/s), n_j ise çeşitli reaksiyonlar için tanımlanmış stokiyometrik faktör olarak tanımlanmıştır.

8.2.2 Oksit/metal bölgesi

Oksit/metal bölgesinde tüyer bölgesinde oluşan oksitlerin karışımı metal banyosunda çözülmüş bir dizi element tarafından indirgenir. Gaz ve oksitlerin tüyerlerden yüzeye nakledilmesi ile oluşan bu bölge oksit ve sıvı metal emülsiyonu olarak tanımlanabilir.

Dekarbürizasyon hızı ile ilgili bir fikre varabilmek için aşağıdaki varsayımlarda bulunulabilir.

1. Yüksek krom içeriğine bağlı olarak krom oksit oluşumu yüksek oranda tüyer bölgesinin üzerinde gerçekleşir. Si ve Mn gibi diğer çözülmüş elementler krom oksit ile denge halindedir. Dekarburizasyon reaksiyonunun metal banyosu içinde çözülmüş karbon ile oksit arasında olduğu varsayılır.
2. Oksit fazı içerisindeki oksit aktivitesi üfleme esnasında 1 olarak kabul edilir. Bu oksit karışımı içinde bir miktar kalıntı krom oksit olacağına işaret eder.
3. Oksit karışımı ve karbon arasında gerçekleşen reaksiyon sonucunda meydana gelen karbonmonoksit gaz fazına ait bir bileşen olup metal banyoyu terk eden gaz kabarcıklarının karbonmonoksit kısmi basınçlarının değişmesine neden olur. (Engh T.A., Siemensen C. J., Wijk O., 1992)

9. AOD KONVERTERİ İLE İLGİLİ DAHA ÖNCE YAPILMIŞ ÇALIŞMALARIN İNCELENMESİ

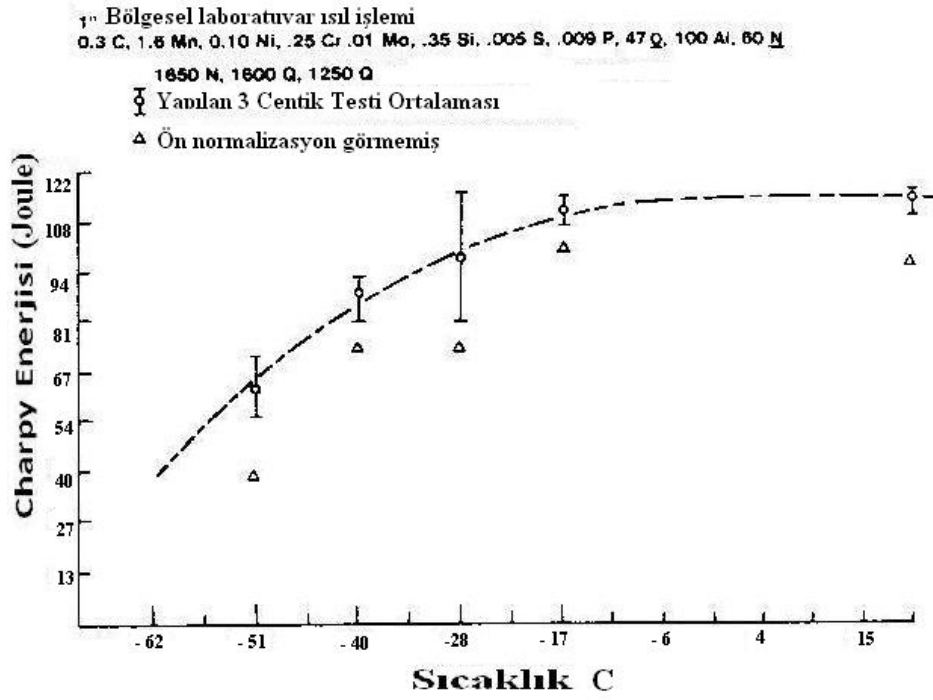
AOD Konverterinde düşük gaz, kükürt ve inklüzyon seviyesine bağlı olarak elde edilen mükemmel yakın temizlikte çelik şekilde gösterildiği gibi bir dizi mekanik özellik iyileştirmelerine olanak sağlar. Bu grafikte martenzitik paslanmaz çelik olan CA6NM malzemesinin ark ocağında üretilmesi ve AOD ile saflaştırılması sonucunda elde edilen çekme dayanımı, kesit daralması ve çentik darbe dayanımları karşılaştırılmıştır. Bu grafikte özellikle kükürt seviyelerindeki fark çok fazla olmamasına rağmen (örneğin yüzde 0.022 kükürt içeriği AOD, yüzde 0.025 elektrik ark ocağı) kırılma tokluğu değerlerinde sağlanan iyileştirme dikkat çekmektedir. Benzer sonuçlara karbon çeliklerinde ve bir takım nikel içerikli çelik alaşımlarında da rastlanmaktadır. Yapılan çalışmalar da HY-130 malzemenin AOD ile işlenmesi sonucunda %50 oranında çentik darbe dayanımı artışı yakalandığı saptanmıştır. Bunların ışığında AOD ile yapılan işlemin nihai ürünün süneklik ve tokluk değerlerinde önemli bir artış sağladığı söylenebilir. Bununla birlikte çekme dayanımında hedeflenen kimyasal bileşimdeki değişimler etkili olurken, malzemenin tokluk ve süneklik değerleri üzerinde daha çok ikincil fazların varlığı ve kalıntı elementlerin varlığı ve karakteristiği daha önemli rol oynamaktadır.

Yapılan deneysel çalışmada darbe tokluğunda AOD ile sağlanan iyileştirmeyi anlamak için iki farklı yöntemle üretilmiş olan numuneler teste tabi tutulmuştur. Biri indüksiyon ocağında ve diğeri AOD kullanılarak üretilmiş iki farklı numune oda sıcaklığı yerine 100°C 'de Charpy Çentik Darbe testine tabi tutulmuştur. Bunun nedeni indüksiyon ocağında üretilen numunenin oda sıcaklığında kırılma yüzeyinde kısmi yarı oluşumu gözlenmesidir. İki test numunesinde normalize, temper ve gerilim giderme ısıl işlemlerine tabi tutulmuşlardır. İki numune içinde standart test prosedürleri gerçekleştirilmiştir. Inklüzyon boyut ve yerleşimleri hazırlanan optik mikroskop numunelerin incelenmesi sonucunda elde edilmiştir. Yapılan SEM incelemesinde çukur çaplarının ölçülmesinde 500 numune boyut popülasyonu esas alınmıştır. Yapılan çalışmada karbon (C-Mn) ve düşük alaşımlı (C-Mn) deneme şarjları hem elektrik ark fırını hem de AOD Konverterinde işlem görmek suretiyle üretilmiştir. Yapılan bu çalışmada 5 ton kapasiteli bir AOD Konverteri kullanılmış ve alınan sıvı çelik 1 ile 3 inç arasında kalınlıkları değişen dikey kalıplanmış test blokları halinde dökülmüştür. Tüm şarjlar potada alüminyum ile oksit giderme işlemine tabi tutulmuştur. Alınan ilk şarj (C-Mn) tipik bir AOD şarjında rastlanabileceği gibi eser miktarda krom, nikel ve molibden ve düşük seviyede kükürt, oksijen ve azot içermektedir. Alınan ilk şarj sonrasında test bloklarının katılaşması esas alınarak

yolluk ve besleyici sisteminde yenilenme yapılmıştır. Alınan ikinci şarjda sertleşebilme kabiliyetini arttırmak ve tane yenilenmesini iyileştirebilmek amacıyla molibden ilavesi yapılmıştır. Yine alınan ikinci şarjda da eser miktarda nikel ve krom ile düşük seviyede kükürt ve azot içermektedir. Ancak kullanılan pota devirme tekniği nedeniyle alınan ikinci şarjda oksijen seviyesi bir miktar yüksek olarak saptanmıştır. Test bloklarının ısıtma işlemleri bir endüstri fırınında gerçekleştirilmiştir. Bütün numuneler normalize edilmiş ve 480-550MPa ve 680-750MPa çekme dayanımı sağlamak üzere suda ıslah edilmiş ve temperlenmiştir. C-Mn-Mo çeliklerinden bazıları 480-550Mpa seviyesinde akma dayanımı sağlamak üzere normalize ve temper olarak üretilmiştir.

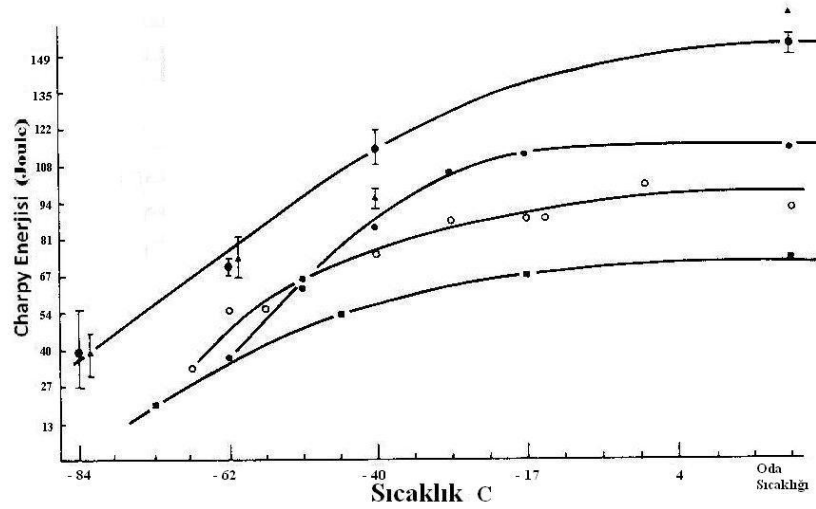
Charpy çentik darbe testi, dinamik yük altında yırtılma ve serbest düşme darbe testi uygulanarak malzeme özellikleri hakkında fikir sahibi olmaya çalışılmıştır. Yapılan değerlendirmelerde AOD ile saflaştırılmış çelik ile ark ocağı kullanılarak üretilen çeliğin malzeme özellikleri karşılaştırılmıştır. Şekil 9.1'de AOD ile saflaştırılmış 503-552Mpa akma dayanımı sağlayacak şekilde ısıtma işlemi görmüş C-Mn çeliğinin çentik darbe testi sonuçları görülmektedir.

Sonuçlara göre önce normalize edilip daha sonra ıslah edilip, temperlenen çeliğin ortalama çentik darbe dayanımı, önceden normalizasyon görmemiş çeliğe kıyasla yaklaşık olarak 13 17.6J daha yüksektir. Dahası çentik darbe dayanımında ön-normalizasyon ile yakalanan bu iyileştirme testlerin yapıldığı sıcaklık aralığı olan $-51^{\circ}\text{C}\sim 21^{\circ}\text{C}$ arasında değişen sıcaklık aralığı boyunca saptanmıştır. Gerçekleşen bu iyileştirmenin altına yatan sebep ön-normalizasyon sonucunda tane boyutu küçülmesidir.



Şekil 9.1 Ön-normalizasyon ısıtma işlemi AOD çeliğinin darbe tokluğu üzerindeki etkileri

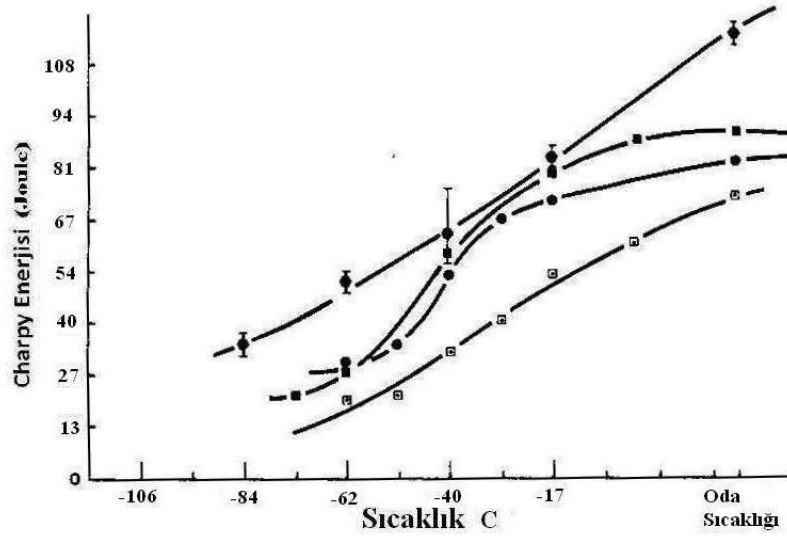
Ark ocağı kullanılarak üretilen çeliklerde de ön-normalizasyon sonrasında çentik darbe dayanımında artış saptanmıştır. Ancak saptanan bu artış AOD ile işlem görmüş çeliklerde olduğu kadar yüksek oranda değildir. Ark ocağında sağlanan bu dayanım artışının yüksek miktarda oksit ve sülfür içeriği ile bağlantılı olduğu düşünülmektedir. Şekil 9.2 ve 9.3'te AOD Konverteri ve ark ocağından yaklaşık akma dayanımına sahip numunelere yapılan çentik darbe sonuçları karşılaştırılmıştır.



	Şarj #	Yöntem	Analiz %									Boyut	Numune Bölgesi	Isıl İşlem	Ys/ Mpa
			C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	S	P	Al				
●	1	AOD	.30	1.60	.35	.25	.10	.01	.005	.009	.01	1"	Numune	1650N, 1600WQ, 1250WQ	524
●	2	AOD	.24	1.36	.30	.31	.14	.23	.003	.011	.035	2"	Numune ¼T	1700N, 1650WQ, 1200AC	503
▲												3"	Numune ¼T	1700N, 1650WQ, 1200AC	475
○	99513 (9) DOFASCO	Bazık Ark Ocağı	.24	1.14	.41	.65	.66	.27	.015	.013	.066	1¼"	Numune ¼T	1750N, 1750WQ, 1250WQ, 1275WQ	558
■	AAR DATA (9)	Bazık Ark Ocağı	.26	1.00	.47	.47	.05	.20	.026	.018	.03	1"	Numune ¼T	1675WQ, 1250AC	503

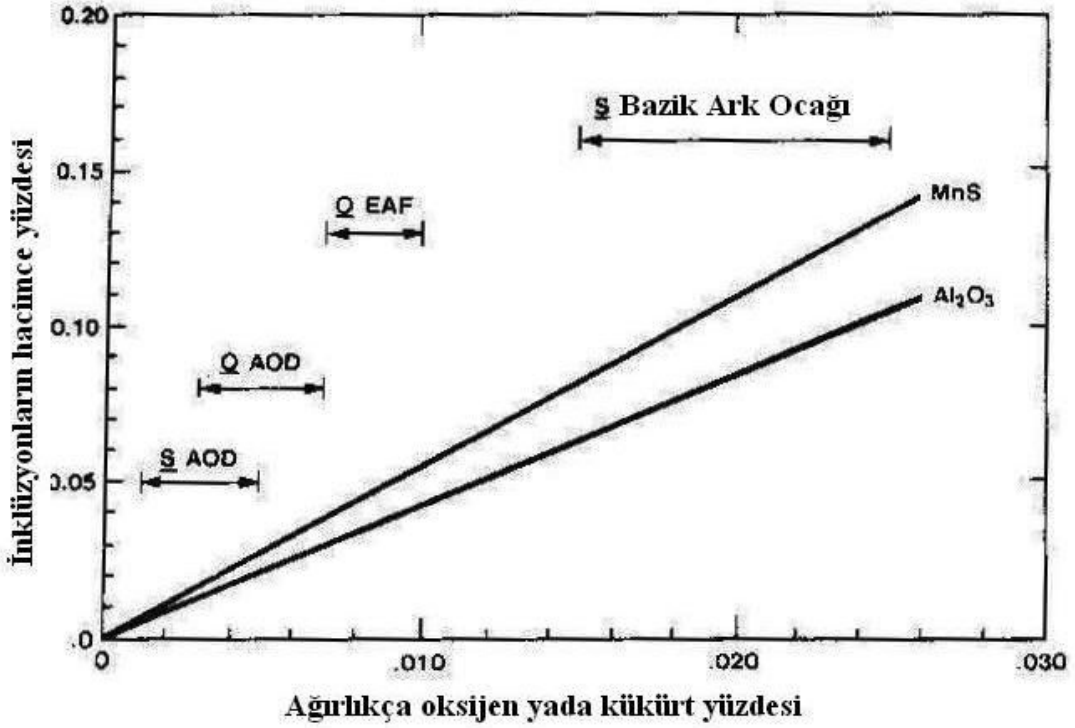
Şekil 9.2 Ark ocağı ve AOD ile üretilen numunelerin çentik darbe dayanım dağılımları

Bu grafikteki sonuçlar incelendiğinde ark ocağında ve AOD ile üretilmiş C-Mn-Mo çeliğinin karşılaştırılan çentik darbe dayanımlarının bütün sıcaklık aralığında, AOD çeliğinde iki kat daha yüksek sonuçların yakalandığı göze çarpmaktadır. Şekil 9.2'de yer alan kimyasal değerler incelendiğinde AOD ile üretilen çeliğin kükürt içeriği %0.003 iken ark ocağında ancak %0.026 gibi bir kükürt içeriğinin yakalanabildiği görülür. Bu elde edilen sonuç ayrıca C ve Mn içeriğinin fark edilir oranda düşürülüp alaşımlama elementi olarak molibden kullanılması sonucunda AOD çeliğinin çentik darbe dayanımının önemli derecede artacağına da bir kanıt olarak görülebilir. Bu dayanım artışı molibdenin katı çözültü oluşturma etkisi, tane yenilenmesi ve sertleşebilirlik üzerindeki olumlu etkileri ile bağdaştırılabilir.



	Şarj #	Yöntem	Analiz %									Boyut	Numune Bölgesi	Isıl İşlem	Ys/ Mpa
			C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	S	P	Al				
●	2	AOD	.24	1.36	.30	.31	.14	.23	.003	.011	.035	2"	Yüzey	1700N, 1650WQ, 1050AC	696
●	1	AOD	.30	1.60	.35	.25	.10	.01	.005	.009	.01	1"	¼T	1650N, 1600WQ, 1050WQ	703
■	99513 (9) DOFASCO	Bazık Ark Ocağı	.24	1.14	.41	.65	.66	.27	.015	.013	.066	1½"	¼T	1750N, 1750WQ, 1050AC	772
□	4"											¼T	1750N, 1750WQ, 1050AC	655	

Şekil 9.3 Ark ocağı ve AOD ile üretilen numunelerin çentik darbe dayanım dağılımları



Şekil 9.4 İnküzyonların hacimsel dağılımının oksijen ve kükürt içeriği ile değişimi

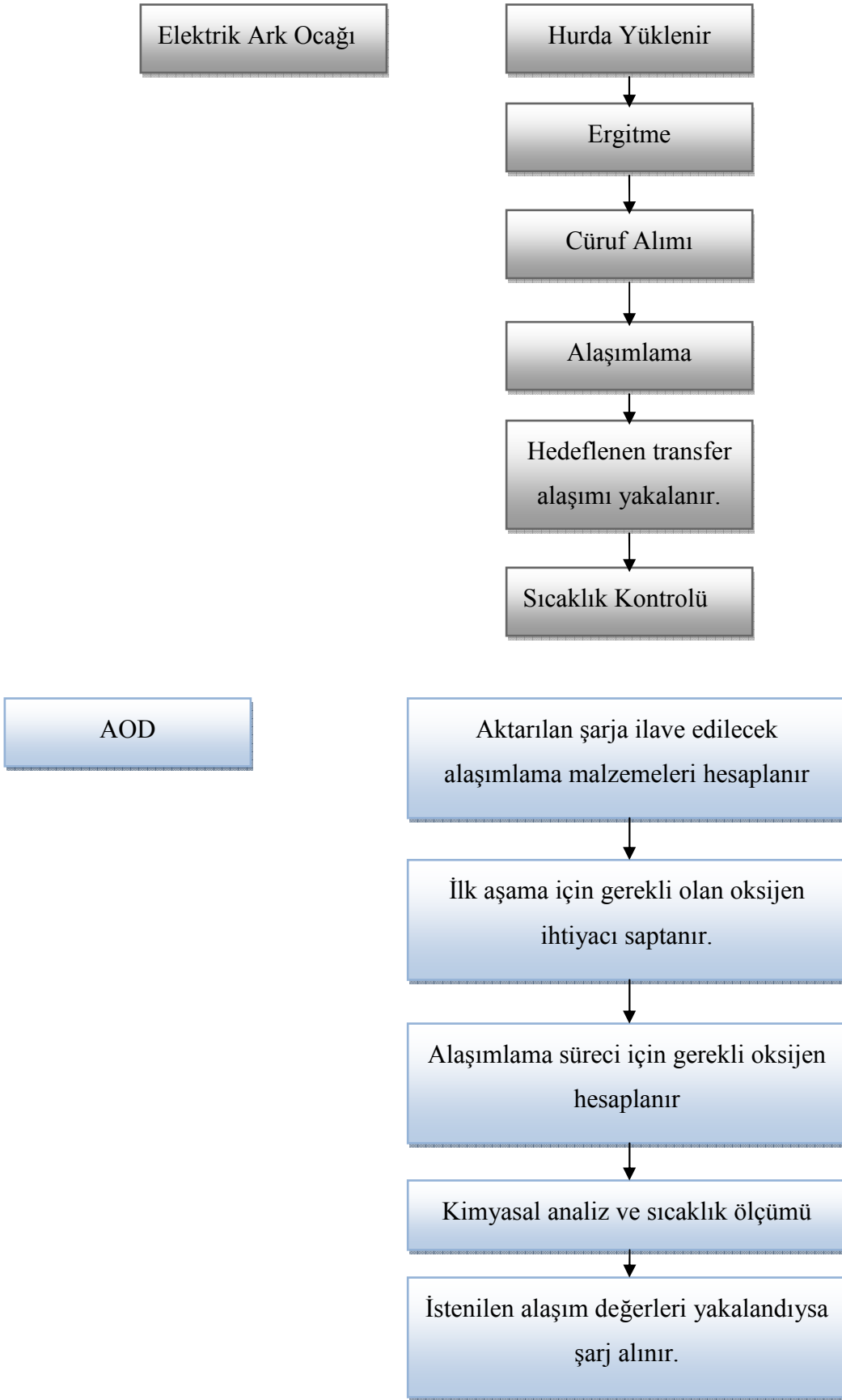
Şekil 9.4'te inklüzyonların teorik hacimsel dağılımlarının çelik içerisindeki oksijen ve kükürt içeriğine bağlı olarak değişimi ifade edilmiştir. Buna göre %0.026 kükürt içeren çelik içerisinde %0.15 hacim kükürt inklüzyonları tarafından kaplanırken, %0.003 kükürt içerikli çelikteki kükürt inklüzyonlarının hacimsel oranı %0.02 olarak saptanacaktır ki bu da çentik darbe dayanımında sağlanan artışın nedenidir. Buna ilave olarak bu iyileşme üzerinde AOD çeliğinin son derece temiz içyapısının da etkili olduğunu yadsımamak gerekir.

Buradan yola çıkarak elde edilen bu mekanik özellik iyileştirmeleri neticesinde bu alaşımlar ile üretilen parçaların tasarımlarında değişiklikler yapılarak, daha düşük maliyetlerle daha iyi sonuçların alınabileceği saptanmıştır. (Agrawal B., 1982),

10. TÜRKİYE'DE AOD KONVERTERİNİN DEVREYE ALINMASI SÜRECİNDE KARŞILAŞILAN GÜÇLÜKLER

Dünya genelinde paslanmaz çelik üretiminde etkin olarak kullanılan AOD Konverterinin bu projeye konu olmasının gerekçesi Türkiye'nin önemli çelik döküm firmalarından olan Akmetal Metalürji Endüstrisi A.Ş. firmasında yürütülmekte olan 12 ton azami kapasiteye sahip konverter projesidir. Bu çalışmada, hayata geçecek olan konverterde alınan sonuçların değerlendirilerek, AOD Konverterinin hem malzeme özelliklerine olan olumlu etkileri, hem Türkiye Demir-Çelik Sektörüne kazandıracığı yeni açılımlar ile ilgili bilgi verilmesi amaçlanmıştır. Yapılması hedeflenen çalışmada Türkiye'de üretilecek ilk paslanmaz çelik şarjından alınan numuneler, farklı gaz üfleme rejimlerinde değerlendirilmesi, bu sonuçların karşılaştırılarak yorumlanması, saptanan özellik iyileştirmelerinin gerekçelerinin malzeme yapıları ile ilgili yapılan incelemeler ile gerekçelendirilmesi amaçlanmıştır. Tüm bu sonuçlar ışığında orta ölçekli bir firmada paslanmaz çelik üretimi gerçekleştirilmiş ve bu üretimin maliyet analizi yapılması hedeflenmiştir. Hedeflenen bu deneysel çalışmaların gerçekleşmesi için konverterin imalat sürecinin tamamlanması beklenmiştir. Ancak Türkiye'de bu prensip ile çalışan konverter olmaması ve üretimde karşılaşılan aksaklıklar neticesinde öngörülen sürede AOD Konverterinin sıcak devreye alma sürecine geçilememiştir. Bütün aksamı Türkiye'de üretilen bu konverterin, gerek refrakter tuğlaların tasarımının ve üretiminin gerçekleştirilmesi, gerek konverterin gövde, yükleme sistemi ve yan sistemlerin imalatında karşılaşılan aksaklıklar neticesinde bu tez çalışması boyunca hayata geçememiştir. Dolayısı ile bu çalışmada, önümüzdeki yıllarda önemi daha da artacak olan bu konu ile ilgili ayrıntılı bilgi verilmesi amaçlanmıştır.

Firmada faaliyete geçecek olan konverter bu çalışmada ifade edildiği üzere azami kapasitesi 9 ton civarında olan bir Elektrik Ark Ocağı ile birlikte çalışacaktır. EAO'da alaşımlama ve cüruf alma işlemleri sonrasında uygun sıcaklık ve kimyasal bileşim yakalandığında, sıvı çelik, aktarma potaları yardımıyla AOD Konverterine aktarılacaktır. Konverter yine yerli bir firma ile beraber tasarlanıp üretilen PLC kontrollü bilgisayar sistemi yardımıyla işlem görecektir ve analize göre yapılacak ilaveler ve üfleme hızları saptanacak ve operatör tarafından saflaştırma işlemi gerçekleştirilecektir. İlk devreye alma sürecinde düşük karbonlu paslanmaz çelik, takım çeliği ve düşük alaşımlı çelik alaşımlarının üretilmesi hedeflenmiştir. Bu tez çalışmasında yapılması planlananda paslanmaz çelik üretimindeki işlem parametrelerindeki değişiklikler neticesinde malzemenin mekanik özellikleri üzerindeki etkilerinin incelemesidir.



Şekil 10.1 Paslanmaz çelik üretim akış şeması

Daha sonra alınan numunelerde yapılan kimyasal analiz ve sıcaklık ölçümleri takip edilerek, uygun bileşim yakalandığında konverterdeki işlem tamamlanır. AOD Konverterinde işlemi tamamlanan saflaştırılmış çelik, serbest dövme presinde kullanılacak ingot kalıplarına dökülecektir.

Bu çalışmada tüm bu veriler kullanılarak AOD Konverterinde alınan sonuçlar karşılaştırılıp, Türkiye’de uygulanmasını Türkiye Döküm Sanayisine sağlayacağı faydalar belgelenecektir. Bu sayede yurt dışından gelen özellikler enerji santralleri gibi çok kritik ve katma değeri yüksek dökümlerin gerçekleştirilmesi gibi faydaları neticesinde günden güne rekabet seviyesi artan sektörde yeni bir alanda faaliyet göstermemizi mümkün olacaktır. Bunun gibi özel alaşımların ülke sınırları içerisinde üretilmesi de son derece önemlidir.

11. SONUÇLAR

Günümüz teknolojisinde önemli kullanım alanlarına sahip olan paslanmaz çeliklerin üretimi, ergitme ve rafinasyon olmak üzere iki kademe yapılr. Başlangıçta sadece şarjın ergitilmesi için kullanılan elektrik ark fırınında veya indüksiyon fırınında (genellikle EAO kullanılmaktadır.) işlem, şarjın oksidasyonu minimum olacak şekilde gerçekleştirilir. Ancak büyük kapasiteli fırınlarda, silisyum içeriğini ayarlamak ve homojen olarak istenilen sıcaklığa kısa sürede ulaşmak için kontrollü olarak az miktarda oksijen üflenmesi etkilidir. Ergitmeden sonra paslanmaz çelikler, AOD konverterlerinde ya da vakum sistemlerinde rafine edilmektedir. Yani ark fırını ile dubleks çalışılarak iki kademe AOD, VOD, VAR, VIM ve ESR yöntemleri ile paslanmaz çelikler üretilmektedir.

AOD prosesi, hurda veya ham maddelerin bir elektrik ark fırını veya indüksiyon fırınında ergitilmesi ve sonra özel bir AOD konverteri içinde dekarbürize ve rafine işlemlerin yapıldığı bir ikincil işlemdir. Kontrollü üflenen oksijen ile argon veya azot, istenmeyen metalik oksidasyonu minimum tutarak ergiyik çeliği dekarbürize eder. AOD yöntemiyle, istenilen bileşimde çok düşük karbon içeren paslanmaz çeliklerin üretimi gerçekleştirilebilir. Krom kaybı olmaksızın karbonun çok düşük seviyelere az maliyetle indirilmesi yöntemin en önemli avantajıdır.

AOD yöntemi düşük karbonlu pahalı ferrokrom kullanma gereğini ortadan kaldırarak, yüksek karbonlu ucuz ferrokrom kullanılmasını sağlamıştır. Yüksek karbonlu ferroalaşım, metalik oksitler ve düşük kaliteli hurda gibi düşük fiyatlı ham maddelerin kullanımıyla AOD prosesinde önemli ölçüde tasarruf sağlanır. AOD konverterinde , artan sıcaklığı kontrol eden soğutucu ilavelerinin miktarı sadece banyo durumuna bağlı olmayıp, konverterin ısı kayıplarına, işlem süresine, cüruf yapıcı ilavelerinin etkilerine, ekstra dekarbürizasyon gereğine ve döküm sıcaklığına bağlıdır. Pratikte soğutucu ilave miktarı %5'in biraz üzerindedir. Dekarbürizasyon, redüksiyon ve desülfürizasyon işlemleri esnasında, çelikte istenilen gaz içeriklerine göre işlem koşullarının ayarlanması ve banyonun argon gazı ile çok iyi karıştırılması sonucunda istenilen miktarlarda azot, oksijen ve hidrojen içeriklerine ulaşılabilir. Üretilen çelikteki oksijen, hidrojen, azot ve kükürt seviyelerinin düşük oluşu çeliğin daha kaliteli bir yüzeye sahip olmasını, korozyon direnci ve şekillendirme yeteneğinin artmasını sağlar. AOD prosesi ile temiz metal üretilir, vakumla gaz giderme yöntemleri ile

retilenlerde artık oksijen, azot ve hidrojen daha çok bulunur. Yani AOD yönteminde ekstra gaz giderme ünitelerine ihtiyaç duyulmaz.

Bu tez çalışması ile eş zamanlı olarak Akmetal Metalürji Endüstrisi A.ř. firması bünyesinde Türkiye'nin ilk AOD Konverterinin kurulumu devam etmiş ancak konverterin imalatında karşılaşılan aksaklıklar neticesinde proje hedeflenen zamanda bitirilememiştir. Bu tez çalışmasında amaçlanan bu firmada faaliyete geçen konverterden alınan numuneler ve üretim verileri yardımıyla paslanmaz elik üretiminin incelenmesi, AOD Konverterinin alışma mekanizması ile ilgili elde edilen verilerin paylaşılması ve saptanan mekanik özelliklerin yorumlanması, Konverter henüz faaliyete geçmediğinden bu çalışmaya dâhil edilememiştir.

AOD yöntemi ile üretilen bir paslanmaz elik tesisi için gerekli yatırım tutarı, Argon Oksijen Karbon Gidericisi, sürekli döküm tesisi, haddehane, ısıl işlem, asitle temizleme ve malzeme kontrol ünitelerinden oluşacaktır. Türkiye'de AOD tesisi kurmak için, gerekli olan bu ünitelerin bazıları mevcut tesislerimizde zaten vardır. Böyle bir paslanmaz elik tesisi için gerekli yatırım tutarı, yeni bir paslanmaz elik tesisinin tutarıyla kıyaslandığında yeni tesis tutarının % 20-30'u gibi bir yatırım tutarının yeterli olacağı tahmin edilmektedir.

KAYNAKLAR

Patil B.V., Chan A.H., Choulet R.J., (1998), "Refining of Satinless Steels", The AISE Steel Foundation, Pitsburg,PA.

Venne L.J., Oldfather C.Z., (1978), "Enhancement of Physical Properties by AOD", Esco Corporation Portland, Oregon

Engh T.A., Siemensen C. J., Wijk O., (1992), "Principles of Metal Refining", Oxford University Press, 281,

Masterson I.F., Metals Handbook, Argon Oxygen Decarburization (AOD),

Kim J.W., Kim S.K., Kim D.S., Lee Y.D., Yang P.K., (1996), "Formation Mechanism of Ca-Si-Al-Mg-Ti-O Inclusions in Type 304 Stainless Steel", ISIJ International, Vol 36 (1996), Supplement,pp.S140-S143

Donggang Li, Hebing Chi et. al., (2007), "The Analysis of the Blowing Process with the Top Lance of the AOD in Baosteel", <http://www.scientific.net>, Switzerland.

Bury R., (2008), "Basic Training Course on AOD for AKMETAL", Bury Consulting s.p.r.l.

Tang Y., Fabritius T., Harkki J., (2003), "Investigation of Air Entrapment into an Argon Oxygen Decarburization Converter at the Reduction Satge", Third International Conferance on CFD in the Minerals and Process Industries CSIRO, Melbourne, Australia, 10-12 December 2003

Ghosh A., (2001) Secondary Steel Making Principles and Applications, CRC Press LCC

Sarıtaş (2007), <http://www.saritas.com/Paslanmaz/20Celik/20Saritas/2002> giriş, Giriş Tarihi: 25.10.2007

Düşünceli H., (1999), "Paslanmaz Çelikler", Bitirme Ödevi, İstanbul Teknik Üniversitesi Kimya Metalurji Fakültesi.

Oktav A., (2003), "Paslanmaz Çelikler", Bitirme Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Kimya Metalurji Fakültesi.

Kayır Y.Z., (2003), "Türkiye Paslanmaz Çelik Üretebilir Mi?", Metalurji Dergisi, Sayı 136, KOSGEB Sincan Müdürü.

Kaçar R., (2003), "Paslanmaz Çeliklerin Ülke Ekonomisindeki Yeri", ZKÜ. Karabük Tek. Eğt. Fak. Metal Eğitimi Bölümü.

Euroinox (2007), European Stainless Steel Development Association, (2007), "Stainless Steels Properties"

Polat Ş., (2004), "Paslanmaz Çeliklerin Üretim Teknolojileri", Kocaeli Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü.

Matway T. J., (2005), "Specialty Metals Production Considerations for SOFC", ATI Allegheny Ludlum, General Manager

Gürkan T., (1982), "AOD Yöntemi İle Paslanmaz Çelik Üretimi", Bitirme Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Tang Y., Fabritius T. et. al., (2003), "Investigation of Air Entrapment into an AOD Converter at the Reduction Stage", University of Oulu, Finland.

Ji-He Wei, De-Ping Zhu, (2002), "Mathematical Modeling of AOD Refining Process of Stainless Steel: Part 1. Mathematical Model of Process"

Wiesser P.F., Selines R.J. "Improvement of Cast Carbon and Low Alloy Steel Properties by AOD Processing", Union Carbide Corporation – Linde Division

Selines R.J., Mehlman S.K., (1983) "AOD Refining for Wrought Carbon and Low Alloy Steels", Union Carbide Corporation – Linde Division

Fabritius T.M.J., Mure P.T., Harkki J.J. (2003) "The Determination of the Minimum and Operational Gas Flow Rates for Sidewall Blowing in the AOD-Converter", University of Oulu, Finland

Agrawal B., (1982), "Mechanical Properties of AOD Refined Cast Carbon and Low Alloy Steels", Steel Founders' Society, 37th Annual Technical Conference, Chicago, Illinois

Bjurström M., Tilliander A., Iguchi M., Jönsson P., "Physical-modelling of Fluid and Gas Penetration in a Side-blown AOD Converter", ISIJ International, Vol. 46 (2006) no:4, pp.525-529

Scheller P.R., Wahlers F.J., "Reaction Areas during Combined Blowing in the AOD-converter", ISIJ International, Vol. 36 (1996), Supplement, pp. S69-S62

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 13.07.1980

Doğum yeri İstanbul

Lise 1995-1999 Haydarpaşa Lisesi / İstanbul

Lisans 1999-2005 Yıldız Üniversitesi Mühendislik Fak.
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü

Çalıştığı kurum(lar)

2006-2008 Akmetal Metalürji Endüstrisi A.Ş.

