

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**PASLANMAZ ÇELİKLER ve ÜRETİM YÖNTEMLERİNİN
İNCELENMESİ**

Metalürji ve Malzeme Mühendisi, Cüneyt ÖZDEMİR

FBE Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Üretim Ana Bilim Dalında Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Yrd.Dç.Dr. Öznur ÇAKIR DANIŞMAN (Yıldız Teknik Üniversitesi)

İstanbul, 2010

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	vi
KISALTIMA LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	x
ÖNSÖZ.....	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT	xiii
1. GİRİŞ	1
2. ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ÇELİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ.....	3
2.1 Kromun Etkisi.....	9
2.2 Nikelin Etkisi	9
2.3 Molibdenin Etkisi	10
2.4 Diğer Elementlerin Etkisi	10
3. PASLANMAZ ÇELİKLERİN SINIFLANDIRILMASI	12
3.1 Östenitik Paslanmaz Çelikler.....	12
3.2 Ferritik Paslanmaz Çelikler	21
3.3 Martenzitik Paslanmaz Çelikler.....	26
3.4 Dupleks Paslanmaz Çelikler	28
3.5 Çökeltme Yoluyla Sertleşebilen Paslanmaz Çelikler	31
4. PASLANMAZ ÇELİK ÜRETİMİ	33
4.1 Üretim	33
4.1.1 Vakumsuz İki Aşamalı Üretim	35
4.1.1.1 Argon Oksijen Dekarbürizasyon(AOD) Yöntemi	35
4.1.1.2 Krupp Combined Blowing Stainless (KCB-S) Yöntemi	35
4.1.1.3 Creusot-Loire Uddeholm (CLU) Yöntemi	38
4.1.2 Vakumlu İki Aşamalı Üretim	38
4.1.2.1 Dortmund-Hörder (D-H) Yöntemi	38
4.1.2.2 Ruhrstahl-Heraus (R-H) Yöntemi.....	39
4.1.2.3 Vakum Oksijen Dekarbürizasyon (VOD) Yöntemi	40
4.2.2.4 VOD-C Yöntemi.....	45
4.2 Bazık Ark Ocakları	49
4.2.1 Bazık Cüruf.....	49
4.2.2 Bazık Astar	50
4.2.2.1 Dolomit	50
4.2.2.2 Magnezit	50
4.3 Bazık Ark Ocaklarındaki Gelişmeler.....	50

4.4	Bazık Ark Ocağı ile İlgili Kriterler.....	51
4.4.1	Ocağın Durumu	51
4.4.2	Şarj Malzemeleri.....	52
4.4.2.1	Hurdalar	52
4.4.2.1.1	İşyeri Hurdası.....	52
4.4.2.1.2	Piyasa Hurdası	52
4.4.2.1.3	Pik Demir ve Gri Dökme Demir Hurdası	52
4.4.2.1.4	Sünger Demir Hurdası	52
4.4.2.1.5	Hurdadaki Safsızlıklar	53
4.4.2.1.6	Hurda Hazırlanması	53
4.4.2.2	Alaşım Malzemeleri.....	53
4.4.2.3	Metalik Olmayan Şarj Malzemeleri.....	54
4.4.2.3.1	Yanmış Kireç	54
4.4.2.3.2	Kireçtaşı	54
4.4.2.3.3	Cüruf İnceltici	54
4.4.2.3.4	Cüruf İnceltici (Kolemanit)	55
4.4.3	Şarj Yöntemleri.....	55
4.4.4	Şarj Tiplerine Göre Ergitme Pratikleri	55
4.4.4.1	Önceden Yapılmış Karbon Çeliğini Veya Saf Demiri Kullanma.....	56
4.4.4.2	Geri Dönen Alaşımli Hurdayı Kullanma.....	56
4.4.4.3	Geri Dönen Alaşımli Hurdayı Arıtmasız Kullanma	56
4.4.5	BAO'da Ergitme Prensipleri	57
4.4.5.1	Ark Radyasyonlarının Astar Ömrüne Etkisi.....	57
4.4.5.2	Ergimenin Hızlandırılması	57
4.4.5.3	Kirecin Ergime Hızına ve Astara Etkisi	57
4.4.5.4	Ergime Süresi.....	57
4.4.6	Arıtmanın Esasları	58
4.4.6.1	Oksitleyici Cüruf Aşaması.....	58
4.4.6.1.1	Alaşımsız Yüksek P'lu Hurda Kullanımı Halinde	58
4.4.6.1.2	Alaşımli ve Düşük P'lı Hurda Kullanılması Halinde.....	58
4.4.6.1.3	Karbon Kaynamasının Faydaları	59
4.4.6.2	Redükleyici Cüruf Aşaması	59
4.4.7	Alaşımlandırma.....	57
4.4.7.1	Alaşım Maddelerinin Fazlalığı Sorunu.....	61
4.4.7.2	Alaşım Maddelerinin Gaz Sorunu	62
4.4.7.3	Cürufa Geçen Alaşım Elementlerinin Geri Kazanımı	62
4.4.8	Çeliğin Deoksidasyonu	62
4.4.8.1	Tek Cüruf Yöntemi Uygulandığında	62
4.4.8.2	Çift Cüruf Yöntemi Uygulandığında	63
4.4.9	Ocaktan Döküm	63
4.5	%18 Cr'lu Paslanmaz Çeliğin BAO'da Üretimi	64
4.5.1	Genel.....	64
4.5.2	Ocak Astarı	65
4.5.3	Şarj.....	65
4.5.4	Oksitleyici Cüruf	66
4.5.5	İndirgeyici Cüruf	67
4.5.6	Sıcak Haddeleme	68
4.5.7	Normalizasyon Tavlama	69
4.5.8	Soğuk Haddeleme	69
4.5.9	Parlak Tavlama	70
4.6	Östenitik Paslanmaz Çeliğin 0,5 Tonluk BAO'da Üretimi.....	70

4.6.1	Genel.....	70
4.6.2	Cüruf Pratiği	70
4.6.3	Şarj Pratiği I.....	70
4.6.3.1	Oksitleyici Cüruf	71
4.6.3.2	İndirgeyici Cüruf	71
4.6.4	Şarj Pratiği II.....	71
4.6.5	Sıcak Şekillendirme	70
4.6.5.1	Dövme.....	72
4.6.5.2	Sıcak Haddeleme	72
4.7	Çok Düşük Karbonlu Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Üretimi.....	73
4.7.1	Genel.....	73
4.7.2	Şarj.....	73
4.7.2.1	Karbon Çeliği Hurdası Kullanılırsa.....	73
4.7.2.2	Geri Dönen ELC Çelik Hurdaları Kullanırsa	73
5.	POTA METALÜRJİSİ.....	74
5.1	Genel.....	74
5.2	Pota Metalürjisinde Kullanılan Başlıca Gereçler	74
5.2.1	Pota	74
5.2.2	Numune Alma ve Sıcaklık Ölçme	74
5.2.3	Karıştırma Sistemi	74
5.2.4	Potada Vakum Sistemi.....	75
5.2.5	Isıtma Sistemi	75
5.2.6	Cüruf Sıyırma Sistemi	75
5.2.7	Oksijen Üfleme Sistemi.....	75
5.2.8	Toz Enjeksiyon Sistemi	76
5.2.9	Alaşım İlave Sistemleri.....	76
5.2.10	Pota Ön Isıtma Sistemi	76
5.3	Elektrik Ark Ocağından Pota Ocağına Döküm	76
6.	EAF/AOD YÖNTEMİ.....	77
6.1	Genel.....	77
6.2	Elektrik Ark Fırını	78
6.2.1	Ön Isıtma	78
6.2.2	Şarj Etme	78
6.2.3	Ergitme	79
6.2.4	Şarj Alma.....	79
6.3	Argon-Oksijen Dekarbürizasyonu	79
6.3.1	AOD Prosesinin Avantajları.....	84
7.	PASLANMAZ ÇELİKLERİN KAYNAĞI.....	87
7.1	Standart Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı.....	88
7.2	Tam Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı.....	88
7.3	Ferritik-Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı.....	89
7.4	Yarı Ferritik Kromlu Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı.....	89
7.5	Tam Ferritik Kromlu Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı.....	90
7.6	Martenzitik Kromlu Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı.....	90
7.7	Yumuşak Martenzitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı.....	91
8.	PASLANMAZ ÇELİKLERDE YÜZEY KALİTELERİ	92
9.	DÜNYADA VE TÜRKİYE' DE PASLANMAZ ÇELİK SEKTÖRÜ	95

9.1	Paslanmaz Çeliğin Hammaddelerinin Rezervleri ve Üretim Miktarları.....	95
9.1.1	Krom	95
9.1.2	Nikel	96
9.1.3	Molibden.....	96
9.1.4	Demir Çelik Hurdaları	97
9.1.5	Sünger Demir.....	97
10.	DENEYSEL ÇALIŞMA.....	98
10.1	Deneyin Amacı	98
10.2	DeneySEL Çalışmaların Yürütülmesi	98
10.2.1	Metal Üretimi.....	98
10.2.2	Kimyasal Analiz	105
10.2.3	Isıl İşlem	106
10.2.4	Mikroyapı Tayini	109
10.2.5	SEM Görüntülemesi	110
10.2.6	Feritik Yapı Miktarı Görüntülemesi (Image Analyzer)	117
10.2.7	Mikrosertlik Ölçümü	120
10.2.8	Yüzey Durumu.....	121
10.3	Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	122
11.	GENEL SONUÇLAR.....	125
KAYNAKLAR.....		127
İNTERNET KAYNAKLARI.....		129
ÖZGEÇMİŞ.....		130

SİMGE LİSTESİ

α	Alfa
γ	Gama
δ	Sigma
$^{\circ}\text{C}$	Santigrat Derece
%	Yüzde
$^{\circ}\text{F}$	Fahrenhayt Derece
ppm	Milyonda Bir
μm	Mikrometre
p^{CO}	Vakum Altında CO Kısmi Basıncı
K	Denge Sabiti

KISALTMA LİSTESİ

AISI	American Iron and Steel Institute
ASME	American Society of Mechanical Engineers
UNS	Unified Numbering System for Metals and Alloys
EN	European Norm
BAO	Bazik Ark Ocağı
EAF	Elektrik Ark Fırını
AOD	Argon Oksijen-Dekarbürizasyon
VOD	Vakum Oksijen-Dekarbürizasyon
AVR	Argon-Vakum-Rafinasyon
KCB-S	Krupp Combined Blowing Stainless
CLU	Creusot-Loire Uddeholm
D-H	Dortmund-Hörder
R-H	Ruhrstahl-Heraus

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	Demir-krom denge diyagramı.....	3
Şekil 2.2	Çeşitli demir sistemlerinde oluşan gama eğrileri.....	4
Şekil 2.3	Demir-nikel denge diyagramı	5
Şekil 2.4	Demir alaşımları faz diyagramlarının sınıflandırılması.....	8
Şekil 2.5	%0,01 C yüzdesinin altında Fe-Cr diyagramında östenit fazı bölgesi	9
Şekil 2.6	Schaffler diagramı.....	11
Şekil 3.1	1250 °C' den su verilmiş, %0,05 karbon içeren 304 tipi paslanmaz çelikte $M_{23}C_6$ çökeltme kinetiği	15
Şekil 3.2	475 °C' de yaşlandırma zamanının Fe - %27 Cr havada ergitilmiş çeliğin oda sıcaklığı yaşlandırma özellikleri üzerine etkisi	24
Şekil 4.1	KCB-S konverteri	36
Şekil 4.2	KCB-S ve AOD yöntemlerinde rafinasyon süresi içinde karbon düşürülmesi.	37
Şekil 4.3	D-H yöntemiyle vakum alınması	39
Şekil 4.4	R-H vakum sistemi	40
Şekil 4.5	1600 °C' de Hidrojen kısmi basıncına bağlı olarak ergimiş çelik içindeki hidrojen miktarı.....	41
Şekil 4.6	Basınç altında demir-krom eriyiğinde karbon-oksijen arasındaki denge durumu.	43
Şekil 4.7	VOD vakum sistemi.....	44
Şekil 4.8	VOD- C konverteri	45
Şekil 4.9	Paslanmaz çelik üretiminde uygun C ve Cr düzeyine ulaşabilmek için değişik rafinasyon tekniklerindeki O_2 ve Argon üfleme miktarı ve çeşitli alaşımlarda % C ve % Cr miktarının değişimi.....	46
Şekil 4.10	a) ve b) Paslanmaz çelik üretim prosesleri	48
Şekil 4.11	Saf demir içinde çözülmüş olarak bazı alaşım elementlerinin sertliğe etkileri yukarıdaki grafikte gösterilmiştir. C artışı alaşım elementlerinin sertliği arttırmalarına etki eder.....	65
Şekil 4.12	500 kg'lık BAO'da akmonital çeliğinin yapım aşamaları.	67
Şekil 4.13	Normalizasyon tavlama.....	69
Şekil 4.14	Östenitik paslanmaz çeliğin 0,5 tonluk BAO'da P gidermesiz olarak üretim aşamaları	72
Şekil 6.1	Karbon-Krom denge eğrileri.....	80
Şekil 6.2	Argon Oksijen dekarburizasyon konverterinin şematik gösterimi	83
Şekil 6.3	Paslanmaz çelik üretim aşamaları	86
Şekil 10.1	Kullanılan kalıp malzemesinin hazırlanması.	98
Şekil 10.2	Kullanılacak suyun hassas tartımda ölçülmesi	99
Şekil 10.3	Kalıp malzemesinin karıştırılması için mikserin kurulması	99
Şekil 10.4	Kalıp malzemesinin içindeki gözenekleri titreşimle gidermesi işlemi	100
Şekil 10.5	Kalıp malzemesinin pişirilmesi.....	100
Şekil 10.6	Hurda ve alaşımın vakum ergitme fırınına yüklenmesi.....	101
Şekil 10.7	Ergitme işlemi	101
Şekil 10.8	Üretilen yeni paslanmaz çelik numunenin hassas olarak tartılması.....	103
Şekil 10.9	Üretilen numunelerin alkol içerisinde bekletilmesi	105
Şekil 10.10	1. numunenin ısıtma işlemi için kesilmiş hali.....	107
Şekil 10.11	2. numunenin ısıtma işlemi için kesilmiş hali.....	107
Şekil 10.12	Yapılan ısıtma işleminin grafiksel gösterilişi	108
Şekil 10.13	Numune hazırlamak için kullanılan zımparalama ve parlatma cihazları.....	109
Şekil 10.14	Dağlama işlemi için kullanılan hava akımının olduğu tezgah.....	110

Şekil 10.15	1. ince numune 350X büyütmede	111
Şekil 10.16	1. ince numune 1000X büyütmede	112
Şekil 10.17	1. ince numune 5000X büyütmede	112
Şekil 10.18	1. kalın numune 350X büyütmede	113
Şekil 10.19	1. kalın numune 1000X büyütmede	113
Şekil 10.20	1. kalın numune 5000X büyütmede	114
Şekil 10.21	2. ince numune 350X büyütmede	114
Şekil 10.22	2. ince numune 1000X büyütmede	115
Şekil 10.23	2. ince numune 5000X büyütmede	115
Şekil 10.24	2. kalın numune 350X büyütmede	116
Şekil 10.25	2. kalın numune 1000X büyütmede	116
Şekil 10.26	2. kalın numune 5000X büyütmede	117
Şekil 10.27	1. ince numunenin 100X altında görüntüsü	118
Şekil 10.28	1. kalın numunenin 100X altında görüntüsü	118
Şekil 10.29	2. ince numunenin 100X altında görüntüsü	119
Şekil 10.30	2. kalın numunenin 100X altında görüntüsü	119
Şekil 10.31	Mikrosertlik cihazının görünümü	121
Şekil 10.32	2207 kalite paslanmaz çeliğin yüzeyinde oluşan yanma 1000X büyütmede..	122
Şekil 10.33	2211 kalite paslanmaz çeliğin yüzeyinde oluşan yanma 1000X büyütmede..	122

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 3.1	Östenitik paslanmaz çelik serileri	16
Çizelge 3.2	Bazı östenitik paslanmaz çeliklerin başlıca kullanım alanları	20
Çizelge 3.3	Ferritik paslanmaz çelik serileri	22
Çizelge 3.4	Bazı ferritik paslanmaz çeliklerin başlıca kullanım alanları	23
Çizelge 3.5	Ferritik paslanmaz çeliklerdeki intermetalik fazların karakterleri	25
Çizelge 3.6	Martenzitik paslanmaz çeliklerin sınıflandırılması	27
Çizelge 3.7	Martenzitik paslanmaz çelik serileri	27
Çizelge 3.8	Bazı martenzitik paslanmaz çeliklerin başlıca kullanım alanları	28
Çizelge 3.9	Dubleks paslanmaz çeliklerin başlıca türleri	30
Çizelge 3.10	Çökme yoluyla sertleşen paslanmaz çeliklerin başlıca türleri	32
Çizelge 4.1	Sıvı çelikteki alaşımlar	60
Çizelge 4.2	Sıvı çelikteki alaşım verileri	61
Çizelge 6.2	304 kalite paslanmaz çelik için AOD konverterindeki proses parametreleri ...	81
Çizelge 6.3	AISI 304 paslanmaz çeliğin konverterde gaz üfleme işlemleri	82
Çizelge 6.4	AISI 304 paslanmaz çeliğin AOD konverterinde üretiminde sarfiyat	84
Çizelge 6.5	Düşük karbonlu üretimde konvansiyonelle AOD metodu karşılaştırılması	85
Çizelge 8.1	Düz yüzeyli paslanmaz çeliklerin yüzey durumları	93
Çizelge 10.1	ASTM A-890-94a' ya göre ısıl işlem uygulamaları	107
Çizelge 10.2	Numunelerde ferritiklik-östeniklik alan tayini	120
Çizelge 10.3	Numunelerde mikrosertlik tayini	120

ÖNSÖZ

Bu çalışma Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya – Metalürji Fakültesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Üretim Anabilim Dalında yapılmıştır. Çalışma “Paslanmaz Çelikler ve Üretim Yöntemlerinin İncelenmesi” ‘ne yönelik araştırma ve deneme çalışmalarını kapsamaktadır.

En başta bu konuyu özgür irademle seçmemde bana her türlü desteği veren bölüm başkanımız Sayın Prof. Dr. Ahmet EKERİM’ e, saha çalışmalarında bana her türlü desteği veren aynı zamanda, bu çalışmayı yapmamı sağlayan değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Öznur ÇAKIR DANIŞMAN’ a, araştırma görevlisi Kerem Altuğ GÜLER’ e iş hayatının getirdiği yüklerle rağmen okul hayatını düzenli takip etmem için bana verdikleri tüm desteklerden dolayı Tunç Metal Paslanmaz Ltd. Şti. çalışanlarına, tüm çalışmalarım süresince benden desteğini esirgemeyen dostlarıma ve hayatımın ayrılmaz parçası annem, babam ve biricik kardeşime teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Metalürji ve Malzeme Müh.

Cüneyt ÖZDEMİR

ÖZET

Paslanmaz çelikler; yüksek korozyon dirençleri, yüksek ve düşük sıcaklık dayanımları, iyi mekanik özellikler göstermeleri, estetik görünüşleri gibi birçok özellikleri nedeniyle kimya, petrokimya, enerji, ilaç, inşaat, otomotiv, dekorasyon, gıda gibi farklı endüstrilerde kullanım alanı bulmaktadır. Ülkemizde de kullanımı hızla artan paslanmaz çelik ürünlerinin tamamına yakını yurtdışından ithal olarak gelmektedir. Son yıllarda, ülkemizde önde gelen firmaların, fizibilite çalışmaları sonuçlarını verdiğinde, gelecekte ülkemizde de paslanmaz çeliğin üretimi yaygın olarak gerçekleşecektir. Bu çalışmada, paslanmaz çeliklerin oluşumları, mekanik ve kimyasal özellikleri, üretim yöntemleri, kullanım yerleri incelenmektedir. Çalışma sonunda deneysel ortamda farklı paslanmaz çelik türlerinin üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen paslanmaz çelik türlerinin mekanik, kimyasal ve magnetik özellikleri araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Paslanmaz, paslanmaz üretimi, östenit, paslanmaz kaynak, nikel, krom, dubleks.

STAINLESS STEEL AND STUDYING OF PRODUCTION METHODS

ABSTRACT

Stainless steels are used with their high corrosion resistance capability, high and low temperature resistance capability, showing good mechanical characteristics, esthetical appearance, and lots of other specialities, at chemical industries, petrochemical industries, energical, medicine, constructional, automotive, decoration, and food industry. Stainless steel products' whole close are imported which are used in our country. If ahead companies at our country's workings are finished about stainless steel of late years, production of stainless steel will be growded. This workout includes, stainless steels' formations, mechanical and chemical properties, production methods and working areas. Different stainless steel types are producted last paper at this workout. Mechanical, chemical and magnetic properties are analyzed.

Keywords: Stainless, stainless steel production, austenite, stainless welding, nickel, chrome, duplex.

1. GİRİŞ

Paslanmaz çelik üretiminin ilk adımları 19. yüzyılda başlamıştır. Bu konuda ilk çalışmaları yapanlar İngiliz bilim adamları Stoddard, Farraday (1820) ve Fransız bilim adamı Pierre Berthier'dir (1921). Çalışmalar sırasında, demir-krom alaşımlarının asitlere karşı daha dayanıklı olduğu gözlemlenmiş, kullandıkları numuneler düşük krom içeriğine sahip çelikler olduğundan, istenilen sonuçlara ulaşılamamıştır. Daha sonraki deneylerde, yüksek krom içeren alaşımlar kullanmasına karşın, karbon miktarı düşürülemediği için çalışmalar başarısız olmuştur.

1872 yılında İngiliz bilim adamları M. Woods ve J. Clark, %30-35 krom, %2 tungsten içeren, aside ve yağmura dayanıklı bir çeliğin patentini almışlardır. Bu patent, üretilen ilk paslanmaz çelik olarak belirtilmiştir.

İlk üretimi yapılan paslanmaz çeliklerde karbon miktarı yüksek miktarlarda olmuştur. Ancak karbon içeriği konusunda 1875 yılında önemli gelişmeler yaşanmıştır. Fransız bilim adamı Brustlein, paslanmaz çelik üretimi için demir alaşımının yüksek krom içermesi gerektiğini, buna karşın karbon oranının %0,15'i aşması halinde istenilen sonucun alınamayacağını belirtmiştir (Peckner,1977).

1895 yılında Alman Hans Goldschmidt, alüminatermik redüksiyon ile karbon içermeyen krom üretimini gerçekleştirmiştir. Karbon oranı düşük ferrokrom üretilmeye başlanması, paslanmaz çelik üretiminin gerçekleştirilmesi açısından önemli bir gelişme olmuştur. 1904 yılında Fransız bilim adamı Leon Guillet, ferritik kaliteleri içeren çeşitli çalışmalar yapmış olup, günümüzde kullanılan AISI (American Iron and Steel Institute – Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü) 410, 420, 442, 446 ve 440-C gibi ferritik kaliteleri üretmiştir. 1906 yılında paslanmaz çelik ailesinin (AISI 300 serisi) geliştirilmesinde önemli katkıları olmuştur (Sarıtış, 2010).

Silahlarda namlu içi erozyonunu önlemek için yapılan çalışmalarda % 6 – 15 krom ve farklı bileşimlerde karbon içeriğine sahip alaşımlar kullanılmıştır (Harry Brearley, 1912). Bunlar içinde %12,8 krom ve %0,24 karbon içeriğinde üretilen çeliğin, asitlere karşı üstün direnç gösterdiği gözlemlenmiştir. Çalışmalar sonucunda geliştirilen kalitenin kesici bıçaklarda kullanımı tasarlanmıştır.

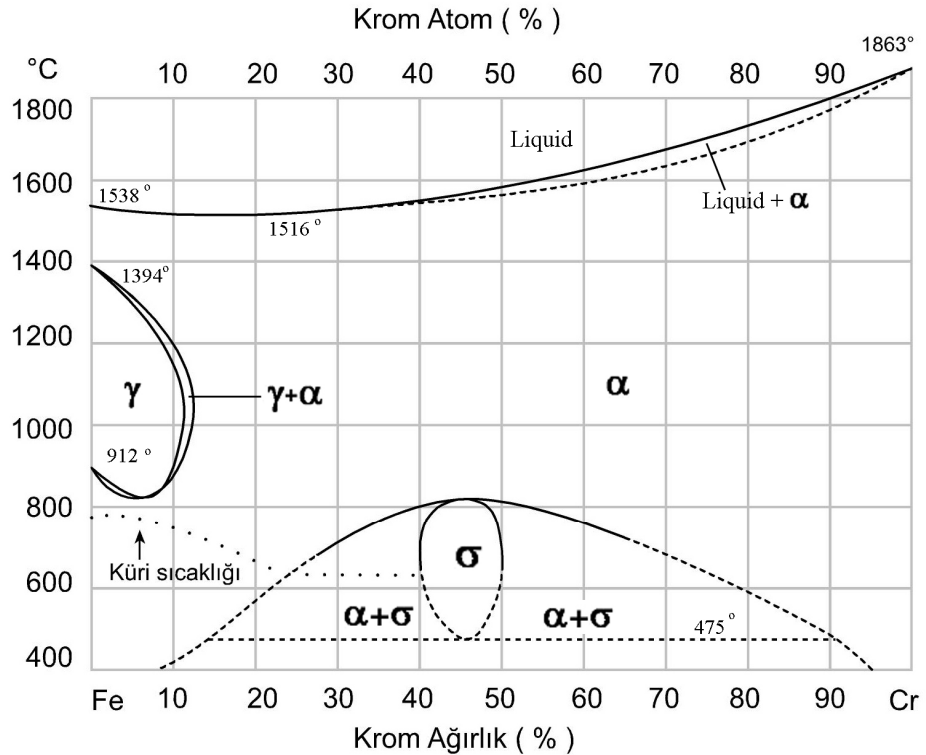
Harry Brearley' nin keşfinden bir yıl kadar sonra Almanya'da Krupp Iron Works şirketi, alaşıma nikel eklemiştir. Krupp firmasının ürettiği çelik, Brearley' nin geliştirdiği kaliteden daha sünek, işlenmesi daha kolay ve asitlere karşı direnci daha yüksek düzeydedir. Bu çalışmalar sonucunda, Birinci Dünya Savaşı öncesi AISI 400 serisi martenzitik ve AISI 300 serisi östenitik çeliklerin üretimi gerçekleştirilmiştir. Birinci Dünya Savaşı paslanmaz çelikler konusundaki araştırmaları sekteye uğratmış, ancak 1920'lerin başından itibaren %20 Cr - %6 Ni, %17 Cr - %7 Ni, %15 Cr - %11 Ni gibi bileşime sahip AISI 300 serisi kalitelerin üretimi gerçekleştirilmiştir. 1924 yılında daha önce Harry Brearley' nin çalışmalarını yaptığı Brown Firth Laboratories' de çalışan Dr. W. H. Hatfield, bugün yaygın olarak kullanılan %18 Cr - %8 Ni östenitik paslanmaz çeliğini geliştirmiştir.

Bugün kullanılan birçok kalite 1913 ile 1935 yılları arasında geliştirilmiştir. İkinci Dünya Savaşı ile birlikte askeri sanayide kullanılmak üzere ağırlık-mukavemet oranı daha düşük, yüksek mekanik özelliklere sahip paslanmaz çelikler üretilmiştir. 1970'lerde dubleks paslanmaz çelikler geliştirilmiştir. Günümüzde de daha yüksek korozyon dayanımlı, daha iyi mekanik özelliklere sahip kalitelerin geliştirilmesine çalışılmaktadır.

2. ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ÇELİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

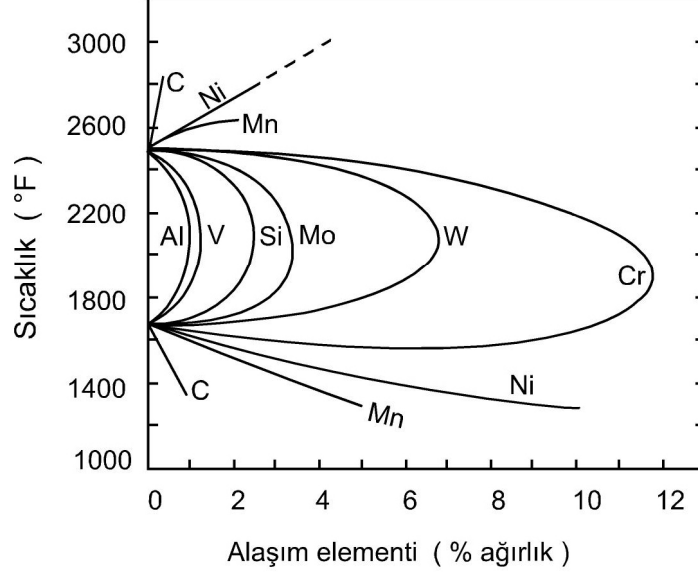
Demir alaşımlarında, alaşım elementi olarak %12' yi aşan miktarda krom bulunması, "Paslanmaz" karakterini oluşturmak için kullanılır. Korozyon direncinin diğer çeliklere göre artması, kromun paslanmaz çeliklerin yüzeyinde ince bir oksit tabakası oluşturabilme kabiliyetindedir. Oksit tabakası çok ince, sadece birkaç atom tabakası sıklığındadır ve bir çok korozif ortam da paslanmaz çelikleri etkili bir şekilde korur veya pasifize eder. Bütün paslanmaz çelikler geniş miktarlarda krom içermektedir.

Paslanmaz çeliklerde faz ilişkileri ve mikro yapıları şekil 2.1' de (Fe-Cr) faz denge diyagramında gösterilmektedir. Fe-C sisteminde olduğu gibi, demirin allotropik formları, diyagramın sonunda demiri oluşturur. Krom, demirin hacim merkezli kübik ferrit yapısını kararlı hale getiren elementtir. Bundan dolayıdır ki, artan krom içeriği yüksek sıcaklık, düşük sıcaklık, delta ve alfa ferrit alanları oluşturur.



Şekil 2.1 Demir-krom denge diyagramı (Honeycombe, 1994)

Şekil 2.2’ de demir ile alaşımlandırılabilen metaller gama eğrileri ile gösterilmiştir. Bunlar ferrit alanını kararlı hale getirirler



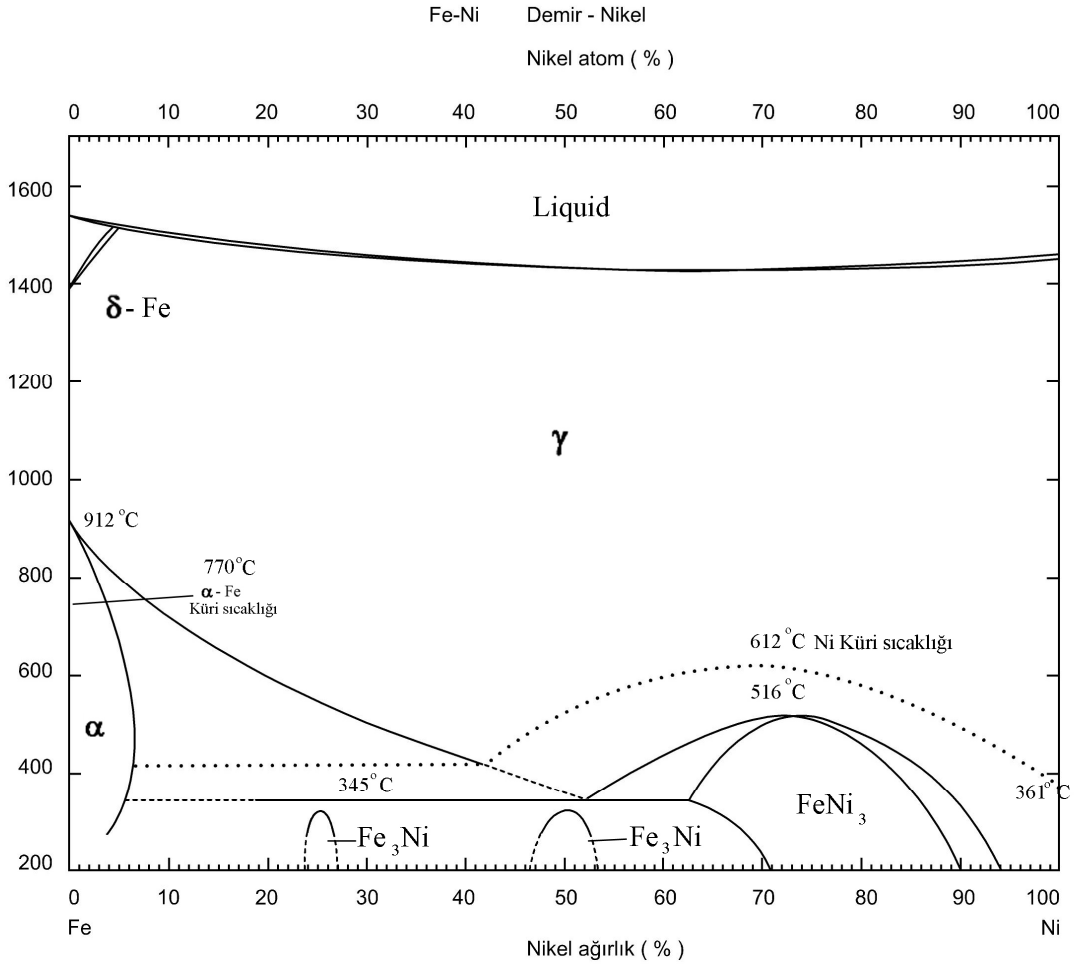
Şekil 2.2 Çeşitli demir sistemlerinde oluşan “Gama eğrileri” (Honeycombe, 1994)

%12 krom civarında hacim merkezli kübik ferrit, oda sıcaklığından ergime noktasına kadar tamamen kararludur. Ferrit bölgeler oluşurken, östenit bölge daralır, üretim çok sık gama bölgesine döner.

Fe-Cr diyagramı martenzitik ve ferritik paslanmaz çelikler için temel oluşturmaktadır. Martenzitik paslanmaz çelikler, soğutmada martenzite dönüşebilecek östeniti oluşturabilmelidir. Bu yüzden martenzitik paslanmaz çeliklerin kompozisyonları gama eğrileri ile beraber oluşmalı ve paslanmaz korozyon karakteri oluşturacak miktarda krom içermelidir. Ferritik paslanmaz çelikler, martenzitik paslanmaz çeliklere göre çok daha fazla miktarlarda krom ile alaşımlandırılmıştır. Bu yüzden ferrit, şekil 2.1’ den görüldüğü gibi tüm sıcaklıklarda kararludur.

Kromun yanında alaşım elementi olarak nikel, paslanmaz çeliklerin bazı türlerine kuvvetli etkilerde bulunur. Nikel, demirin yüzey merkezli kübik yapısını kararlılaştırır ve böylece demire alaşımlandırıldığında östenit veya gama faz alanını geliştirir. Demir-nikel (Fe-Ni) denge diyagramı, (Şekil 2.3) yeterli miktarda nikelin, östeniti oda sıcaklığının üzerindeki tüm

sıcaklıklarda kararlı kaldığını gösterir. Fe-Ni ikili alaşımlarında %30 Ni, östeniti tamamen kararlı yapmasının bir nedeni de, oda sıcaklığına bağlı olarak demir ve nikel difüzyonunun ferrit ve östenit karışımı oluşturamayacak kadar yavaş olmasıdır. Eğer aynı zamanda paslanmaz karakter oluşturacak kadar kromda bulunsaydı, östeniti kararlı hale getirmek için çok daha az miktarda nikel gerekirdi. Bu alaşımlar, tipik olarak %18 Cr, %8 Ni içerir ve oda sıcaklığından ergime sıcaklığına kadar tamamen östenit yapıdadır. Diğer çelik türleri östenitik paslanmaz çelik olarak tasarlanmış çok önemli alaşım gruplarını oluşturur.



Şekil 2.3 Demir-nikel faz diyagramı (Honeycombe, 1994)

Paslanmaz çelikler üç veya daha fazla bileşene sahiptirler ve bu yüzden faz ilişkileri, sıcaklık ve bileşimin fonksiyonu olarak üçlü faz diyagramlarıyla belirlenir. Sistemlerde üçten daha fazla bileşen bulunması halinde, östenit ve ferriti kararlı hale getiren çeşitli elementleri kombine eden diyagramlar oluşturulur ve oda sıcaklığında bulunan fazlar iki grup alaşım

elementi halinde belirlenir. Verilen bileşen miktarının sabit tutulduğu, üçlü sistemlerin sık ve dik kesitleri sıcak işlem ve ısı işlem programlarını düzenlemek amacıyla kullanılır.

Paslanmaz çeliklerin paslanmazlık özelliklerinin temelinde, kromun %10,5 mertebesinde üzerinde oluşan oksit tabakası vardır. Krom, paslanmaz çelik üretimi için vazgeçilemez bir elementtir. AISI 400 serisi gibi kalitelerde büyük ölçüde krom ilavesi yeterli olmaktadır. Ancak AISI 300 gibi kalitelerde nikel bulunması östenitik faz oluşumunu sağlar. Oyuklanma korozyonuna karşı direnç için molibden ilavesi yapılabilir. Bunun yanında yüksek sıcaklıklarda tufalleşme olmaması için silisyum veya alüminyum da bileşime eklenebilir.

Demir ikili denge diyagramında 4 ana kategori vardır. Bunlar; γ alanını açan ve kapatan sistemler ve γ alanını genişleten ve daraltan sistemlerdir. Alaşım elementleri denge diyagramını iki yoldan etkilediğini göstermektedir;

- a. γ alanını genişletip, kompozisyonel sınırların üstünde östenitin oluşumunu sağlamaktır. Bu elementler γ -stabilizörleri olarak adlandırılırlar.
- b. γ alanının daraltılmasıyla, ferritin oluşumunu kompozisyonel sınırların üstünde sağlamaktır. Bu elementlerde α -stabilizörleri olarak adlandırılırlar (Honeycombe, 1994).

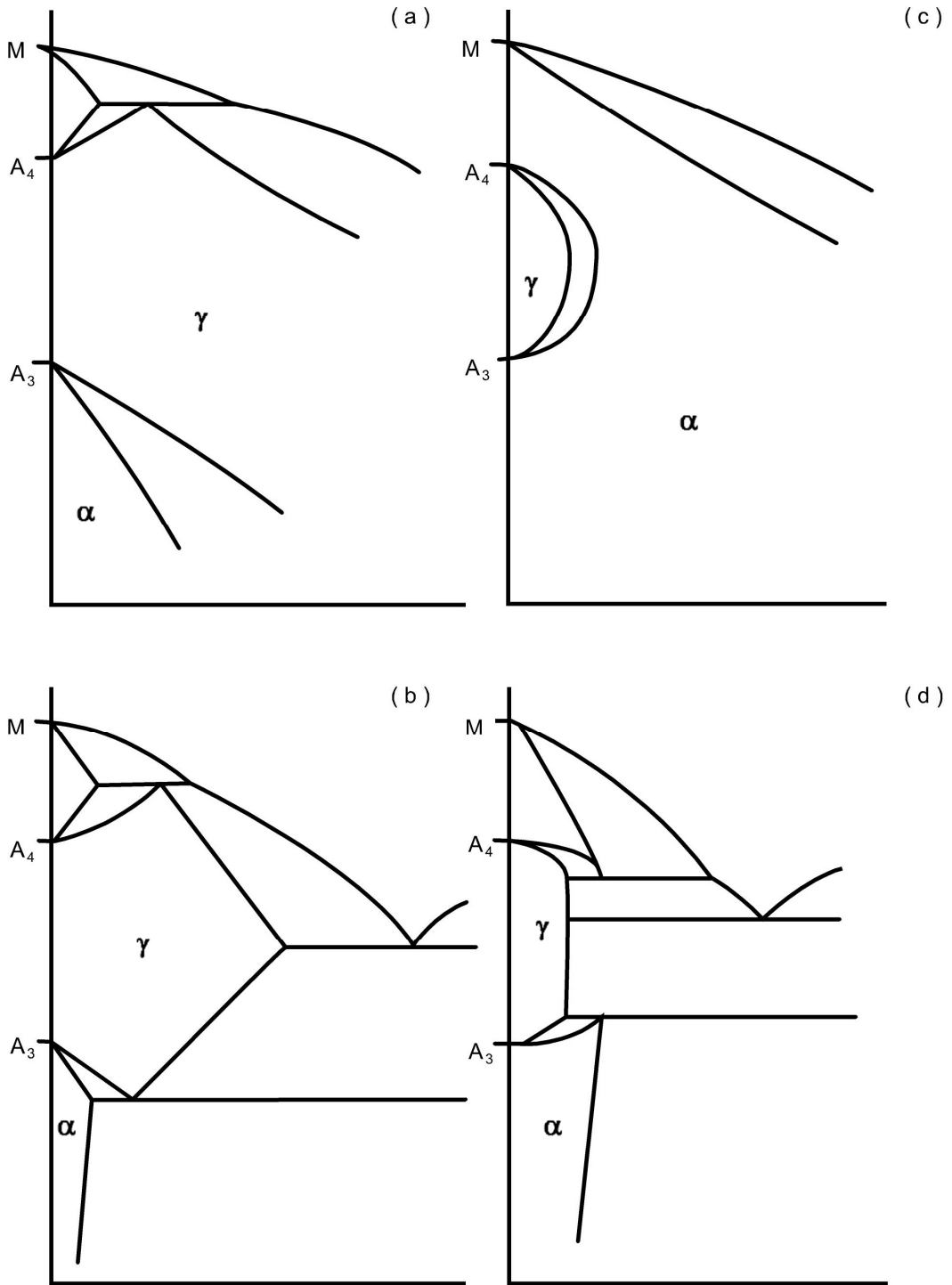
1. Grup : γ alanının açılması; Bu grup önemli alaşım elementlerinden nikel ve mangana sahiptir. Kobalt ve inert metaller rutenyum, rodyum, paladyum, osmiyum, iridyum ve platinde nikel ve manganla benzer etkiyi gösterirler. Eğer nikel ve manganın her ikisi de, yeterli yüksek konsantrasyonda eklenirse kübik hacim merkezli α -demirini tamamen yok eder ve onun yerine γ fazı geçer, oluşum sıcaklığı ise oda sıcaklığına düşer. Yani, nikel ve mangan γ 'dan α 'ya faz dönüşümü sıcaklığını azaltır. Ac_1 ve Ac_3 noktaları aşağı düşer. γ bölgesinden oda sıcaklığına hızlı soğutmayla (su verme) östenit elde etmeyi daha da kolaylaştırır. Sonuç olarak östenitik çeliğin oluşumunda nikel ve mangan yararlı elementlerdir (Şekil 2.4.a).

2. Grup : γ alanının genişlemesi; Karbon ve azot bu gruptaki en önemli elementlerdir. γ faz alanı genişler, fakat bulunma oranı bileşimin oluşumuyla kısa kesilir (Şekil 2.4.b). Bakır, çinko ve altın da benzer etkiyi gösterirler. Karbon ve azotla γ alanının genişlemesi %2 C ve

%2,8 N içeriğiyle östenit katı çözültisinin homojen şekillenmesiyle çeliğin tüm ısıl işleminin temelini oluşturur.

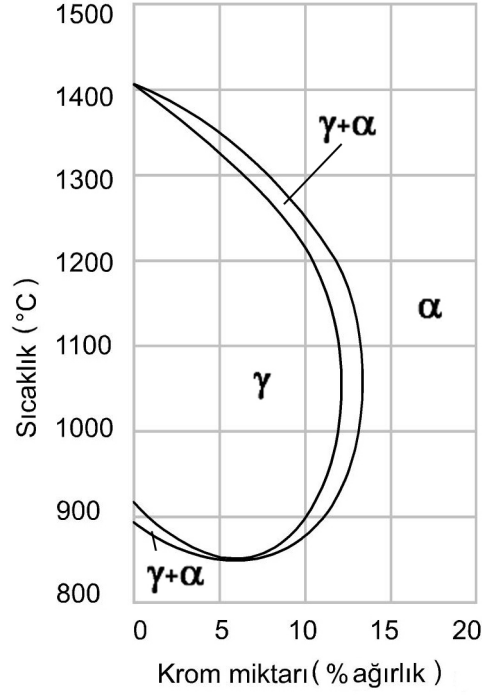
3. Grup: γ alanının kapanması; Birçok element γ -demirinin oluşumunu engelleyerek diyagramın küçük bir alanın γ alanı olmasına neden olur (Şekil 2.4.c). Yani, ilgili elementler kübik hacim merkezli ferrit oluşumunu teşvik eder ve bir sonuçta δ ve α faz alanlarının aralıksız olmasını sağlar. Bu alaşımlarda, dolayısıyla normal ısıl işlemlerin gerektirdiği soğuma sırasında γ / α faz dönüşümü mümkün olmaz. Silisyum, alüminyum, berilyum ve fosfat bu kategoridedirler, bununla birlikte kuvvetli karbür yapıcı elementler titanyum, vanadyum, molibden ve krom da bu kategoridedirler.

4. Grup: γ alanının daraltılması; Bor bu gruptaki en önemli elementtir, bununla birlikte karbür yapıcı elementlerden tantalyum, niyobyum ve zirkonyum da bu gruptadırlar. γ alanı oldukça daralır, fakat bileşim şekillenmesiyle birlikte olur (Şekil 2.4.d).



Şekil 2.4 Demir alaşımları faz diyagramlarının sınıflandırılması a) açık γ alanı, b) genişletilmiş γ alanı, c) kapatılmış γ alanı, d) daraltılmış γ alanı (Honeycombe, 1994)

2.1 Kromun Etkisi



Şekil 2.5 %0,01 C yüzdesinin altında Fe-Cr diyagramında östenit fazı bölgesi (Tunç,1984).

Krom bir ferrit yapıcıdır. Dolayısıyla ferrit östenit ortak fazını daraltıcı bir etki yapar. Şekil 2.5'te düşük karbonlu alaşımların sıcaklığa bağlı olarak çizilen faz diyagramına bakıldığında, ısıtıldıklarında sıcaklıktan bağımsız olarak %13 Cr' dan itibaren tüm kromlu paslanmazların, tamamen ferrit fazını içerdiği görülür. Bu çelikler ısıtıldıklarında herhangi bir faz değişikliğine uğramaz ve hiçbir zaman östenit fazına geçmezler. Buna karşılık düşük kromlu çelikler, karbonlu çelikler gibi bir özellik gösterir ve ısıtıldıklarında, krom miktarına bağlı olarak belli bir sıcaklıkta östenit fazına, yani kübik yüzey merkezli kafes sistemine geçerler. Bu çeliklerin soğutulması sırasında östenit fazı dönüşüme uğrayarak kübik hacim merkezli ferrit ve karbürler oluşur. Daha yavaş bir soğutma uygulandığında ise ferrit bir matris içinde bir miktar küresel karbürlere dönüşür. Hızlı soğutma halinde ise martenzitik yapıya dönüşür, yani çelik sert bir yapı oluşturur (Çamlıdere, 1999).

2.2 Nikelin Etkisi

Nikel, paslanmaz çeliklerde çok sık bulunan bir alaşım elementidir. Kromun aksine, östenit yapıcı olarak rol oynar. % 24 Ni içerikli düşük karbonlu çelikler, oda sıcaklığında bile östenit

halindedirler. Karbon arttıkça östenit fazında kalabilmek için gerekli nikel miktarı da azalır. Eğer kromlu çeliklere nikel katılırsa, bu iki elementin etkisiyle östenit ve ferrit fazı birlikte oluşur. %18 Cr ve %8-10 Ni içerikli çeliklerde ise tamamen östenit fazından oluşan bir yapı elde edilir. Nikel, paslanmaz çeliklerde korozyon direncini arttırdığı gibi, şekillenebilirliği ve tokluğu da yükseltmektedir (Çamlıdere, 1999).

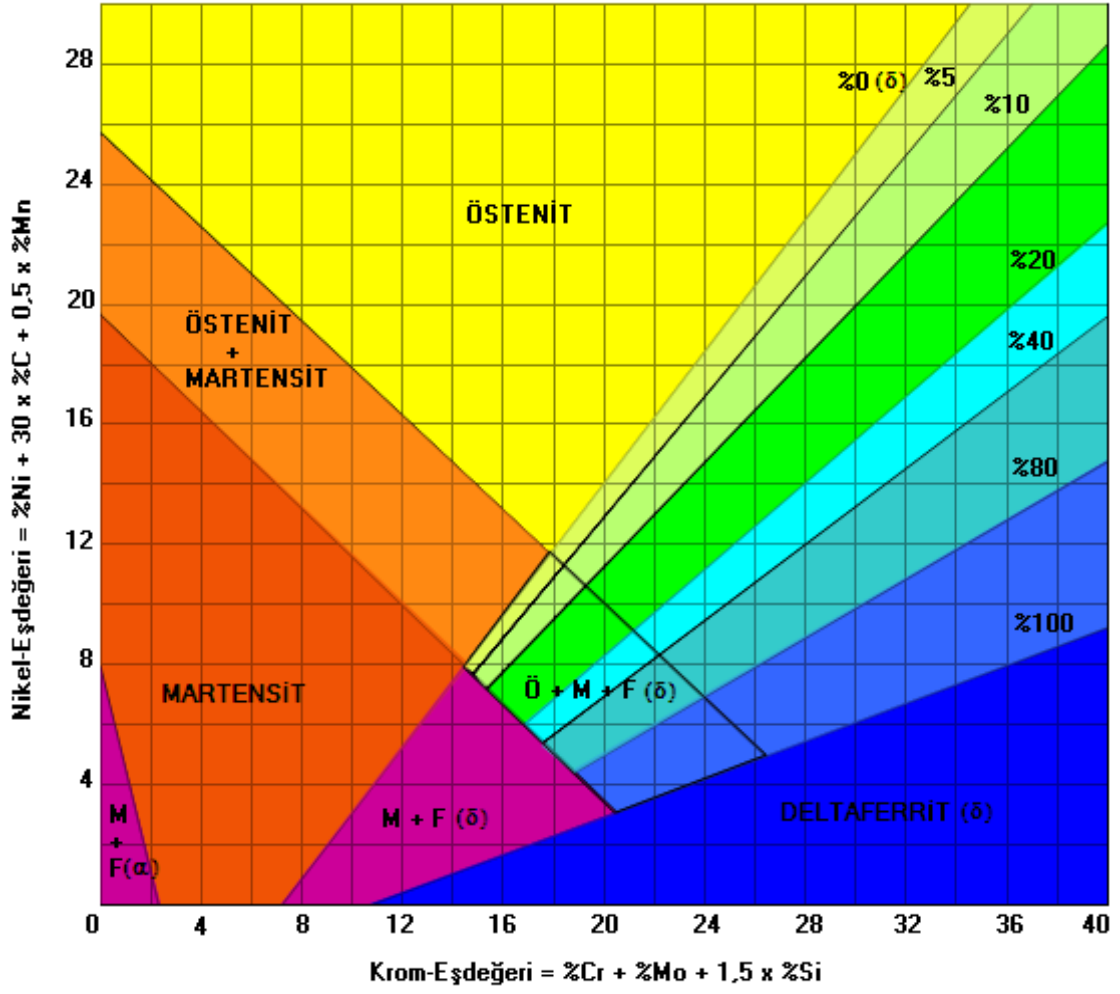
2.3 Molibdenin Etkisi

Molibden ferrit ve karbür yapıcı bir elementtir. Yüksek sıcaklıkta katı faz içine girer, yavaş soğumada karbon ve molibden miktarına bağlı olarak çeşitli formlarda çökelir. Molibden paslanmaz çeliklerde mukavemeti arttırmaktadır (Çamlıdere, 1999).

2.4 Diğer Elementlerin Etkisi

Silisyum ve alüminyum da ferrit yapıcı rol oynarlar ve ferrit fazını stabilize ederler. Titanyum ve kolombiyum da aynı yönde işlev görmekle birlikte karbonu bağlayarak, özel bazı korozyon olaylarını önleyen paslanmaz çeliklerin üretilmesi için alaşıma eklenirler. Kükürt ve selenyumda talaşlı imalata uygun paslanmaz çelik üretiminde kullanılırlar.

Şekil 2.6 'de görülen Schaffler Diagramı yardımıyla, kompozisyonu bilinen bir paslanmaz çeliğin içindeki ferrit, östenit ve martenzitin alanlarını hesaplamak mümkündür. Örneğin; %0,07 C, %1,55 Mn, %0,57 Si, %18,02 Cr, %11,87 Ni, %2,16 Mo ve %0,80 Cb içeren AISI 318 (Kolombiyumlu AISI 316) çeliğinin krom ve nikel eşdeğerlerini hesaplayıp grafiğe uyguladığımızda x noktasını buluruz. Bu nokta % 2 ferrit, % 98 östenit belirtmektedir (Çamlıdere, 1999).



Şekil 2.6 Schaffler diagramı (Honeycombe, 1994)

3. PASLANMAZ ÇELİKLERİN SINIFLANDIRILMASI

Karbon çeliklerinde kullanım alanına bağlı olarak farklı özellikler (mukavemet, sertlik, tokluk vs.) gösteren kalite çeşitleri olduğu gibi paslanmaz çeliklerde de kullanım şartlarına bağlı olarak farklı mekanik ve kimyasal özellikler gösteren kaliteler vardır. Paslanmaz çeliklerde korozyon direnci ve mukavemet değerleri farklı kaliteler arasında önemli değişim gösterebilmektedir. Bu değişim içyapının değişmesinden kaynaklanmaktadır. Paslanmaz çeliklerde içyapıyı belirleyen en önemli elementler önem sırasına göre krom, nikel, molibden ve mangandır. Özellikle krom ve nikel, çeliğin ferritik veya östenitik olmasında etkilidir. Farklı özellikler sağlamak amacıyla bu alaşım elementleri çeliğe katılmakta, böylece beş farklı kalite ortaya çıkmaktadır (Oktav, 1999). Bunlar;

- a) Östenitik paslanmaz çelikler
- b) Ferritik paslanmaz çelikler
- c) Martenzitik paslanmaz çelikler
- d) Dupleks (çift fazlı) paslanmaz çelikler
- e) Çökelme yoluyla sertleşebilen paslanmaz çelikler

'dir.

3.1 Östenitik Paslanmaz Çelikler

Östenitik paslanmaz çelikler temel olarak demir-krom-nikel üçlü alaşımlarıdır. Tüm dünyada üretilen toplam paslanmaz çeliğin %65-70 kadarını östenitik paslanmaz çelik oluşturmaktadır. Östenitik kaliteler AISI' da 200 ve 300 serisi olarak adlandırılmaktadır. Bileşim değerleri %16-26 krom, %10-24 nikel ve en fazla %0,40 karbon'dur. Düşük miktarlarda molibden, titanyum, niyobyum, tantal gibi alaşım elementleri içermektedirler. Nikel östenit alanını genişletici etkisiyle östeniti oda sıcaklığında kararlı kılmaktadır. Molibden ilavesi ile korozyon direnci artırılmaktadır. Östenitik paslanmaz çelikler yüksek tokluk ve mukavemet değerleri göstermektedirler, ayrıca korozyona karşı dayanımları ferritik ve martenzitik paslanmaz çeliklerden fazladır. Genel olarak özellikleri;

- Üstün sünekliğe ve şekil değiştirme kabiliyetine sahiptirler.
- Düşük sıcaklıklarda darbe dirençleri yüksektir.

- Östenitik yapıdan dolayı manyetik özellik göstermezler.
- Kaynaklanabilirlikleri iyidir.
- Korozyon dirençleri yüksektir.
- Östenitik yapısının kararlılığından dolayı su verme yerine plastik deformasyonla sertleştirilebilmektedirler.
- Düşük termal iletkenliğe ve yüksek termal genleşme katsayısına sahiplerdir.
- Kristal kafes yapısı yüzey merkez kübiktir.

Östenitik paslanmaz çelikler, ısıtma ile transformasyona uğramamaktadırlar ve bunun sonucu hızlı soğutma ile sertleşmemektedirler. Yüksek sıcaklığa çıkarıldıklarında dönüşümsüz olarak tane büyümesi ortaya çıkmaktadır. Bu tane büyümesi gevrekliğe neden olmamaktadır. Bunun için östenitik paslanmaz çeliklerin kaynak edilmesinde bir sorun bulunmamaktadır. Tersine östenitik paslanmaz çelikler iyi kaynak edilme özelliğine sahiptirler.

Östenitik paslanmaz çeliklerin dayanımları, diğer paslanmaz çelik türlerine göre daha azdır. Soğuk çekme ile bu dayanımları artırılabilir. Karakteristik olarak yüksek esnekliğe, iyi şekil vermeye ve özellikle derin çekilebilirlik özelliğine sahiptirler (Robiette, 1996). Genel olarak östenitik paslanmaz çeliklerin ısıtma işlemi, 1000 °C' ye kadar ısıtma ve ebada bağlı olarak su veya havada hızlı soğutmadan oluşmaktadır. Isıtma katı eriyik içinde homojen östenit oluşturmaktadır. Hızlı soğutmanın amacı, bu yapıyı korumak ve karbür çökmesine engel olmaktır. Bu şartlarda %0,05-0,10 C içeriğinde ortalama mekanik özellikler;

Çekme dayanımı : 55-70 kg/mm²

Akma dayanımı : 15-20 kg/mm

Uzama (L=5d) : %30-40

olur. Bazı alaşım elementlerinin ilavesi, bu mekanik özelliklere etki eder. Karbon ve azot, çekme ve akma dayanımını artırırken, titanyum çekme dayanımını düşürmektedir (Wegst, 1989). Soğuk işlem östenitik paslanmaz çeliklerin sertleşmesine sebep olmaktadır. Martenzitik ve ferritik paslanmaz çeliklerin aksine, östenitik paslanmaz çelikler, soğutma esnasında çok düşük sıcaklıklarda bile martenzite dönüşmediklerinden, esneklik özelliklerini korumaktadırlar. Östenitik paslanmaz çelik 1100 °C' ye çıkarılıp, yavaş soğutma ile 500-800 °C' ye indirilerek bu sıcaklıkta bir müddet tutulduğunda, karbon tane sınırlarında karbür olarak çökelebilmektedir. Bunun sonucunda, özellikle düşük sıcaklıklarda, esneklik bir miktar

azalmaktadır. En ciddi durumda, krom karbürün çökmesi sonucu, tane sınırlarında kromun azalması sebebiyle taneler arası korozyon oluşabilmektedir. Bu tip korozyon, bakır tuzları içeren sülfürik asit solüsyonu ve kaynamakta olan konsantre nitrik asit gibi çeşitli solüsyonlarda açıkça görülebilmektedir. Bu iki solüsyon taneler arası korozyona hassasiyeti ölçmede kullanılmaktadır.

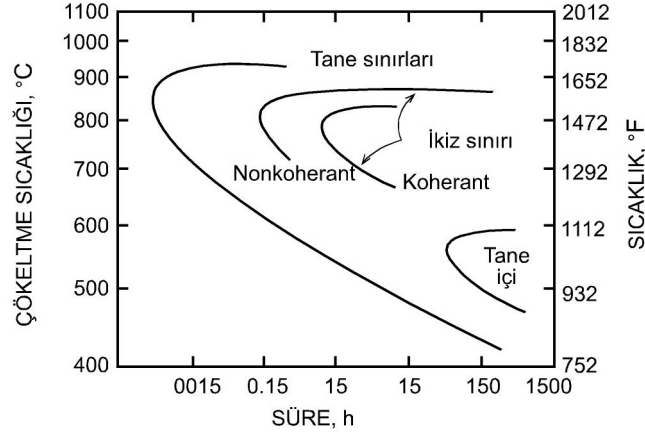
Taneler arası korozyona engel olmak için, çok düşük karbonlu (0,03'ün altında, çoğunlukla 0,02) paslanmaz çelikler ticari olarak üretilmiştir. Bunlarda bulunan karbon miktarı, krom karbürler halinde taneler arasına yerleştiği zaman, korozyonu oluşturmaya yeterli değildir. Molibden varsa, karbonun biraz yükselmesine izin verilebilmektedir (Chadley, 1978).

Tavlanmış durumda bu çelikler manyetik değildirler. Soğuk işlemden sonra kısmen manyetik olmaktadırlar. Dövme ve haddeleme ile sıcak işlenebilmektedirler ve ferritik paslanmaz çelikler gibi kırılma tehlikeleri olmadan havada soğutulabilirler.

Bu grup paslanmaz çelikler kolaylıkla kaynak edilebilirler. Kaynak, kuvvetli ve tok bir kaynak dikişi oluşturmaktadır. Ancak kaynak bölgesi, kaçınılmaz olarak, karbür çökmesine uygun sıcaklığa kadar ısıtıldığından, kaynak işleminden sonra, tam tavlanma gereklidir. Kaynaktan sonra tavlamanın yapılamayacağı yerlerde taneler arası korozyona dayanımlı tipler (AISI 321 veya 347) kullanılmalıdır (Robiette, 1996).

İdeal olarak östenitik paslanmaz çelikler yalnızca polikristalin mikroyapıdadır. Buna rağmen soğutma sırasındaki segregasyon yüzünden, ferrit oluşma eğilimindedir. Yapıda ferrit bulunması sigma fazının oluşmasına sebebiyet verebilmektedir. Bu da süneklik, tokluk ve korozyon dayanımını olumsuz etkileyebilir. Sigma fazı Fe-Cr diyagramının orta bölgesini öne çıkarır. Bu yüzden yüksek alaşımlandırılmış ferritik paslanmaz çeliklerin proses ve performansları için önemli bir faktördür. Sigma fazı merkezi bileşimi elit miktarda demir ve krom içeren intermetalik bir fazdır. Kristal yapısı kompleks ve her hücrede 30 atom içeren hacim merkezli tetragonaldir. Ayrıca molibden gibi diğer elementleri de içerebilmektedir. Soğuma sırasındaki bölünme sonucu ferrite konsantre edilen en önemli bileşeni olan kromdan dolayı ferritik bölgelerde oluşur. Ferrit' in sigma fazına dönüşümü yavaştır ve alaşım bileşimine dayanır. Bu yüzden sigma fazı genelde 500-700 °C sıcaklık seviyelerinde uzun süre tutulan östenitik paslanmaz çelik bileşenlerinde bulunmaktadır.

Östenitik paslanmaz çeliklerde yapıda tane sınırlarında karbürler oluşabilmektedir. Karbürler $M_{23}C_6$ olarak gösterilirler. “M” karbürün metal atom içeriğini gösterir. $M_{23}C_6$ partikülleri çökeltmesi sebep olduğu korozyon dayanımının yanı sıra, azalan krom içeriği nedeniyle Ms (martenzit start) sıcaklıklarını artırabilir ve martenzit oluşumuna sebep olabilir. Taneler arası korozyonun, krom karbür çökmesine bağlı olarak oluşan zararlı sonuçları, yapılabilecek birkaç ısıtım işlemi ve alaşımlandırma ile giderilmeye çalışılabilmektedir. Farklı bir yöntemde 304 gibi östenitik paslanmaz çeliklerin ekstra düşük karbonlularını 304L çeşitlerini seçmektir. Bu tipler üst limit olarak % 0,03 karbon içermektedirler.



Şekil 3.1 1250 °C ‘ den su verilmiş, %0,05 karbon içeren 304 tipi paslanmaz çelikte $M_{23}C_6$ çökeltme kinetiği (Honeycombe, 1994)

Şekil 3.1’ de 304 tipi paslanmaz çeliklerin oluşum eğrileri verilmiştir. Kinetik “C” yay karakteri ile beraber 800-900 °C arasında meydana gelen en hızlı oluşumu gösterir. 925 °C’nin üzerinde krom ve karbon östenit kristal içerisinde atomlarına ayrılır ve burada krom karbür oluşturabilecek termodinamik kuvvet bulunmaz. 500 °C’nin altında $M_{23}C_6$ çökmesi için gerek krom atomlarının difüzyonu çok yavaştır ve karbür oluşumu neredeyse durur. $M_{23}C_6$ çökeltme kinetiğine bağlı olarak, düzgün östenitik paslanmaz çelik ürünleri tavlınır veya 1040-1150 °C arasında çözeltiye alınır. Bu çözelti işlemi sırasında $M_{23}C_6$ karbürleri çözülür ve hızlı soğumayla birlikte “C” eğrisinin burun bölgesindeki kritik sıcaklık seviyesinde tekrar karbür oluşumu önlenir. Bu kaynak işlemi görmüş östenitiklerin, sıcaklıktan etkilenmiş, $M_{23}C_6$ karbürlerinin çökeldiği, bölgelerde de etkilidir.

Krom karbürlerin çökmesini azaltmak için başka bir yöntemde, karbür yapıcı elementler olan titanyum, niobyum ve tantal gibi elementleri yapıya eklemektir. Alaşım elementleri TiC ve NbC karbürlerini oluşturur ve $M_{23}C_6$ çökmesi için gereken karbonu azaltır. 840 °C ve 900 °C arasında dengeleyici ısı işlemler uygulanarak ya da krom karbür oluşumunu ve taneler arasındaki hareketi azaltmakla bu sorun giderilmiş olur. Kaynak işlemlerinde ise çıkan yüksek sıcaklıklar sonucu TiC ve NbC karbürlerinin çözülmesine ve $M_{23}C_6$ çökmesine yol açabilir. Bu bıçak hattı atağı olarak adlandırılan bölgesel korozyona yol açabilir ve buraya uygulanacak ısı işleme sorunun oluşumu engellenmiş olur.

Çizelge 3.1 Östenitik paslanmaz çelik serileri (Önlendiren S ile belirtilenler UNS sistemine göre isimlendirilmiştir.) (Şanbaşıoğlu,1985)

AISI No	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Diğeri
301	0.15	1.00	2.00	0.045	0.030	16.0/18.0	-	6.00/8.00	N 0.10
301L	0.03	1.00	2.00	0.045	0.030	16.0/18.0	-	6.00/8.00	N 0.20
301LN	0.03	1.00	2.00	0.045	0.030	16.0/18.0	-	6.00/8.00	N 0.07/0.20
302	0.15	0.75	2.00	0.045	0.030	17.0/19.0	-	8.00/10.0	-
302B	0.15	2.00/3.00	2.00	0.045	0.030	17.0/19.0	-	8.00/10.0	-
303	0.15	1.00	2.00	0.20	0.15 min	17.0/19.0	0.60	8.00/10.0	Zr 0.60
XM-5 (303Plus x)	0.15	1.00	2.50/4.50	0.20	0.25 min	17.0/19.0	-	7.00/9.00	-
303Se	0.15	1.00	2.00	0.20	0.060	17.0/19.0	-	8.00/10.0	Se 0.15 min
303Cu	0.15	1.00	2.00	0.15	0.10 min	17.0/19.0	-	6.00/10.00	Cu 2.5/4.00; Se 0.10
304	0.08	0.75	2.00	0.045	0.030	18.0/20.0	-	8.00/10.5	-
304L	0.03	0.75	2.00	0.045	0.030	18.0/20.0	-	8.00/12.0	-
302HQ	0.03	1.00	2.00	0.045	0.030	17.0/19.0	-	8.0/10.0	Cu 3.0/4.0
XM-21 (304HN)	0.08	1.00	2.00	0.045	0.030	18.0/20.0	-	8.00/10.00	N 0.16/0.30

304LN	0.030	0.75	2.00	0.045	0.030	18.0/2 0.0	-	8.00/1 2.0	N 0.10/0. 16
S3045 4	0.03	1.00	2.00	0.045	0.030	18.0/2 0.0	-	8.0/11. 0	N 0.16/0. 30
305	0.12	1.00	2.00	0.045	0.030	17.0/1 9.0	-	10.5/1 3.0	-
308	0.08	1.00	2.00	0.045	0.030	19.0/2 1.0	-	10.0/1 2.0	-
316	0.08	1.00	2.00	0.045	0.030	16.0/1 8.0	2.00/3. 00	10.0/1 4.0	-
316L	0.03	1.00	2.00	0.045	0.030	16.0/1 8.0	2.00/3. 00	10.0/1 4.0	-
316Ti	0.08	0.75	2.00	0.045	0.030	16.0/1 8.0	2.00/3. 00	10.0/1 4.0	Ti 5x (C+N) / 0.70
316Cb	0.08	0.75	2.00	0.045	0.030	16.0/1 8.0	2.00/3. 00	10.0/1 4.0	Nb 10x C / 1.10
316LN	0.03	0.75	2.00	0.045	0.030	16.0/1 8.0	2.00/3. 00	10.0/1 4.0	N 0.10/0. 16
317	0.08	1.00	2.00	0.045	0.030	18.0/2 0.0	3.00/4. 00	11.0/1 5.0	-
317L	0.030	0.75	2.00	0.045	0.030	18.0/2 0.0	3.00/4. 00	11.0/1 5.0	N 0.10
317L M	0.030	0.75	2.00	0.045	0.030	18.0/2 0.0	4.0/5.0	13.5/1 7.5	N 0.20
317LN	0.030	0.75	2.00	0.045	0.030	18.0/2 0.0	3.0/4.0	11.0/1 5.0	N 0.10/0. 20
321	0.08	1.00	2.00	0.045	0.030	17.0/1 9.0	-	9.00/1 2.0 5	Ti 5 x C min
347	0.08	1.00	2.00	0.045	0.030	17.0/1 9.0	-	9.00/1 3.0	Nb+Ta 10 x C min
347F	0.08	1.00	2.00	0.040	0.18/0. 35	17.0/1 9.0	0.75	9.00/1 2.00	Nb 10xC / 1.10; Cu 0.75; Ta 0.05
348	0.08	0.75	2.00	0.045	0.030	17.0/1 9.0	-	9.00/1 3.0	Nb+Ta 10 x C / 1.00; Ta:0.1 0 max; Co 0.20

384	0.08	1.00	2.00	0.045	0.030	15.0/1 7.0	-	17.0/1 9.0	-
201	0.15	1.00	5.50/7. 50	0.060	0.030	16.0/1 8.0	-	3.50/5. 50	N 0.25
S2010 3	0.03	0.75	5.5/7.5	0.045	0.030	16.0/1 8.0	-	3.5/5.5	N 0.25
S2015 3	0.03	0.75	6.4/7.5	0.045	0.015	16.0/1 7.5	-	4.0/5.0	N 0.10/0. 25; Cu 1.00
Gall- Tough	0.15	3.0/4.0	4.0/6.0	0.040	0.040	15.0/1 8.0	-	4.0/6.0	N 0.08/0. 20
S2016 2	0.15	2.5/4.5	4.0/8.0	0.040	0.040	16.5/2 1.0	0.05/0. 25	6.0/10. 0	N 0.05/0. 25
202	0.15	1.00	7.50/1 0.0	0.060	0.030	17.0/1 9.0	-	4.00/6. 00	N 0.25
S2040 0	0.030	1.00	7.0/9.0	0.040	0.030	15.0/1 7.0	-	1.50/3. 00	N 0.15/0. 30
205	0.12/0. 25	1.00	14.0/1 5.5	0.060	0.030	16.5/1 8.0	-	1.0/1.7	N 0.32/0. 40
XM-19 (Nitron ic 50)	0.06	0.75	4.0/6.0	0.040	0.030	20.5/2 3.5	1.50/3. 00	11.5/1 3.5	Nb 0.10/0. 30; V 0.10/0. 30
XM-31 (Tenel on)	0.12	0.30/1. 00	14.0/1 6.0	0.045	0.030	17.0/1 8.5	-	1.00	-
XM-14	0.12	0.75	14.0/1 6.0	0.060	0.030	17.0/1 9.0	-	5.0/6.0	N 0.35/0. 50
XM-17 (216)	0.08	0.75	7.5/9.0	0.045	0.030	17.5/2 2.0	2.00/3. 00	5.0/7.0	N 0.25/0. 50
XM-18 (216L)	0.03	0.75	7.5/9.0	0.045	0.030	17.5/2 2.0	2.00/3. 00	5.0/7.0	N 0.25/0. 50
Nitroni c 60	0.10	3.5/4.5	7.0/9.0	0.060	0.030	16.0/1 8.0	-	8.0/9.0	N 0.08/0. 18
21-6-9 (Nitron ic 40)	0.08	1.00	8.0/10. 0	0.045	0.030	19.0/2 1.50	-	5.50/7. 50	N 0.15/0. 40
XM-11 (Nitron ic 40)	0.04	1.00	8.0/10. 0	0.045	0.030	19.0/2 1.50	-	5.50/7. 50	N 0.15/0. 40
XM-29	0.08	0.75	11.5/1	0.060	0.030	17.0/1	-	2.3/3.7	N

(Nitronic 33)			4.5			9.0			0.20/0.40
18-2Mn (Nitronic 32)	0.15	1.00	11.0/14.0	0.045	0.030	16.5/19.00	-	0.50/2.50	N 0.20/0.45
18-18 Plus	0.15	1.00	17.0/19.0	0.045	0.030	17.0/19.0	0.75/1.25	-	N 0.40/0.60; Cu 0.75/1.25
20Mo-4	0.03	0.50	1.00	0.035	0.035	22.50/25.00	3.50/5.00	35.0/40.0	Cu 0.50/1.50; Nb+Ta 0.15/0.35
20Mo6	0.03	0.50	1.00	0.03	0.03	22.00/26.00	5.00/6.70	33.0/37.20	Cu 2.00/4.00; N 0.10/0.16
Sanicro 28	0.030	1.0	2,50	0.030	0.030	26.0/28.0	3.0/4.0	30.0/34.0	Cu 0.6/1.4
AL-6X	0.035	1.00	2.00	0.040	0.030	20.00/22.00	6.00/7.00	23.50/25.50	-
AL-6XN	0.030	1.00	2.00	0.040	0.030	20.0/22.0	6.0/7.0	23.5/25.5	Cu 0.75; N 0.18/0.25
904L	0.020	1.00	2.00	0.045	0.035	19.0/23.0	4.0/5.0	23.0/28.0	Cu 1.0/2.0
1925h Mo	0.020	0.50	1.0	0.045	0.030	19.0/21.0	6.0/7.0	24.0/26.0	Cu 0.8/1.5 ; N 0.1/0.2
N08926	0.020	1,50	2.00	0.030	0.010	19.0/21.0	6.0/7.0	24.0/26.0	Cu 0.5/1.5 ; N 0.15/0.25
Cronifer 1815 LCSi	0.018	3.7/4.3	2.00	0.020	0.020	17.0/18.5	0.20	14.0/15.5	Cu 0.50
S30601	0.015	5.0/5.6	0.50/0.80	0.030	0.013	17.0/18.0	0.20	17.0/18.0	Cu 0.05; N 0.35
310Mo LN	0.020	0.50	2.00	0.030	0.010	24.0/26.0	1.60/2.60	0.09/0.15	N 0.09/0.

									15
254SMO	0.020	0.80	1.00	0.030	0.010	19.5/20.5	6.0/6.5	17.5/18.5	Cu 0.50/1.00; N 0.18/0.22
S31266	0.030	1.00	2.0/4.0	0.035	0.020	23.0/25.0	5.2/6.2	21.0/24.0	Cu 1.00/2.50; N 0.35/0.60; W 1.50/2.50
S31277	0.020	0.50	3.00	0.030	0.010	20.5/23.0	6.5/8.0	26.0/28.0	Cu 0.5/1.50; N 0.30/0.40
S32050	0.030	1.00	1,50	0.035	0.020	22.0/24.0	6.0/6.8	20.0/23.0	Cu 0.40
S32615	0.07	4.8/6.0	2.00	0.045	0.030	16.5/19.5	0.30/1.50	19.0/22.0	Cu 1.50/2.50
654SMO	0.020	0.50	2.0/4.0	0.030	0.005	24.0/25.0	7.0/8.0	21.0/23.0	Cu 0.30/0.60; N 0.45/0.55
Nirosta 4565S	0.030	1.00	5.0/7.0	0.030	0.010	23.0/25.0	4.0/5.0	16.0/18.0	N 0.40/0.60; Nb 10x C / 1.00
S35135	0.08	0.60/1.00	1.00	0.045	0.015	20.0/25.0	4.0/4.8	30./38.0	Ti 0.40/1.00

Çizelge 3.2 Bazı östenitik paslanmaz çeliklerin başlıca kullanım alanları (Peckner, 1977)

AISI 304-304L	Mutfak eşyaları, kimya ve petro-kimya sektörleri, otomotiv sanayi
AISI 321	Rezistanslar, egzost boruları, havacılık endüstrisi, kimya endüstrisi
AISI 316-316L	Kimya ve petro-kimya endüstrileri, buhar kazanları, ısıya dayanıklı eşanjörler, çeşitli kazan uygulamaları
AISI 309S	Yüksek sıcaklığa dayanıklı ekipmanların üretiminde
AISI 310-310S	Fırın parçaları ve yüksek sıcaklığa dayanıklı parçaların üretiminde, kimya ve petro-kimya endüstrileri

AISI 348	Nükleer endüstri, radyoaktif saçılma sistemlerinin tüp ve boruların üretiminde
AISI 384	Civata, vida, pim, perçin yapımı
AISI 201	Çatal bıçak takımlarında, otomobil jant kapaklarında, dekoratif amaçlı

3.2 Ferritik Paslanmaz Çelikler

Ferritik paslanmaz çelikler %12-30 krom ve %0,12' den daha az karbon içeren ferritik mikro yapılı çeliklerdir. Ferritik kaliteler AISI' de 400 serisi olarak adlandırılır. En belirgin özellikleri yüksek korozyon dirençleridir. Su verme ile martenzitik dönüşüm göstermemektedirler. Yüksek miktarda krom dışında az miktarda östenit yapıcı olarak azot veya nikel de bulunabilir.

Ferritik paslanmaz çelikler kullanım yerlerine göre değişen krom miktarlarına bağlı olarak 3 gruba ayrılabilir. Bunlar;

- Krom miktarı %11-13 arasında olanlar (AISI 405 ve 409 kaliteleri)
- Krom miktarı yaklaşık %17 olanlar (AISI 430 ve 434 kaliteleri)
- Krom miktarı %19-30 olan ve yüksek kromlu olarak isimlendirilenler (AISI 442 ve 446 kaliteleri)

Ferritik paslanmaz çeliklerin genel olarak özellikleri;

- Üstün korozyon direncine sahiptirler.
- Orta derecede şekillenebilme kabiliyetleri vardır.
- Deformasyon sertleşmesiyle mukavemetleri artırılır.
- Nikel içermediklerinden nispeten ucuzdurlar.
- Manyetik özellik gösterirler.
- Düşük tokluğa sahiplerdir.
- Gevrekleşme hassasiyetleri yüksektir.
- Kafes yapısı hacim merkez kübiktir.

1000 °C' nin üstüne, özellikle 1200-1300 °C' ye ısıtıldıklarında aşırı tane büyümesi sebebiyle çok kırılğan olmaktadır. Bu olay tane sınırlarında anormal derecede artar ve bu olumsuz durum ısıtılma işlemle düzeltilemez, ancak haddeleme, dövme gibi sıcak mekanik deformasyonla düzeltilebilmektedir. Isıl işlem bu çeliklere sıcak şekil vermeden sonra uygulanmaktadır.

Haddeleme, dövme gibi sıcak işlemler en az 800 °C' de bitirilmeli ve bu sıcaklıktan itibaren hızla soğutma yapılmalıdır.

Yüksek kromlu ferritik paslanmaz çelikler ferromanyetikler. Soğuk olarak makul şekilde doğrultulabilmektedirler. Bunların dövme ve sıcak haddeleme özellikleri martenzitik paslanmaz çeliklerden daha iyidir. Sıcak işlemde soma kırılma tehlikeleri olmadan havada soğutulabilmektedirler. Mekanik işleme özellikleri düşük karbonlu çeliklere benzer. Bu çelikler kolayca kaynak edilebilirler. Ama yüksek kromlu çelik olduklarından kaynak bölgesinde tane büyümesi ve gevreklik görülmemesi için, kaynak işleminden sonra normalize edilerek esneklik kazandırılmalıdır. Ferritik paslanmaz çeliklerden %16-18 Cr' luları korozyona dirençli olarak geniş çapta kullanılmaktadır. Temiz ya da kirli atmosferlerde çok uzun ömürlüdür. Hareketli deniz suyu, çeşitli sıcaklıklarda tuzlu sular, zayıf asitler ve 60-70 °C' ye kadar nitrik asit karşısında başarılı olarak kullanılmaktadırlar (Robiette, 1996).

Çizelge 3.3 Ferritik paslanmaz çelik serileri (Peckner, 1977) (Önlerinde S ile belirtilenler UNS sistemine göre isimlendirilmiştir.)

AISI No	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Diğeri
XM-34 (18-2FM)	0,08	1,00	2,50	0,04	0,15 min	17,5/19,5	1,50/2,50	-	-
S18235	0,025	1,00	0,50	0,030	0,15/0,35	17,5/18,5	2,00/2,50	1,00	N 0,025; (C+N) 0,035; Ti 0,30/1,00
403	0,15	0,50	1,00	0,040	0,030	11,5/13,0	-	-	-
405	0,08	1,00	1,00	0,040	0,030	11,5/14,5	-	-	Al 0,10/0,30
S40800	0,08	1,00	1,00	0,045	0,045	11,5/13,0	-	0,50	Ti 12xC/1,10
409	0,08	1,00	1,00	0,045	0,045	10,5/11,75	-	0,50	Ti 6xC/0,75
S40910	0,030	1,00	1,00	0,040	0,020	10,5/11,7	-	0,50	N 0,030; Ti: 6x(C+N)/0,50; Nb 0,17
S40920	0,030	1,00	1,00	0,040	0,020	10,5/11,7	-	0,50	N 0,030; Ti 0,15/0,50; Nb 0,10
S40930	0,030	1,00	1,00	0,040	0,020	10,5/11,7	-	0,50	N 0,030; (Ti+Nb) [0,08+8x(C+N)]/0,75; Ti 0,05

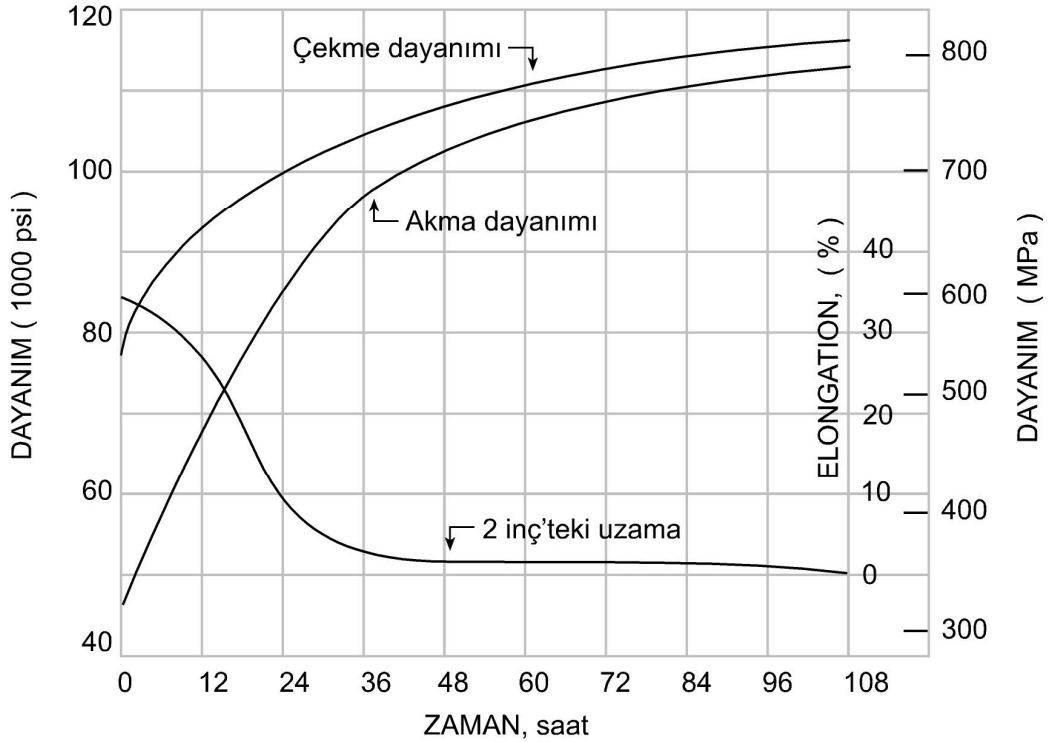
S40945	0,030	1,00	1,00	0,040	0,030	10,5/11,7	-	0,50	N 0,030; Ti 0,05/0,20; Nb 0,18/0,40
S40975	0,030	1,00	1,00	0,040	0,030	10,5/11,7	-	0,50/1,00	N 0,030; Ti: 6x(C+N)/0,75
S40976	0,030	1,00	1,00	0,040	0,030	10,5/11,7	-	0,75/1,00	N 0,040; Nb 10x(C+N)/0,80
S40977	0,030	1,00	1,00	0,040	0,015	10,5/12,5	-	0,30/1,00	N 0,030
S41003	0,030	1,00	1,00	0,040	0,030	10,5/12,5	-	1,50	-
410S	0,08	1,00	1,00	0,040	0,030	11,5/13,5	-	-	-
S41045	0,030	1,00	1,00	0,040	0,030	12,0/13,0	-	0,50	N 0,030; Nb 9x(C+N)/0,60
S41050	0,04	1,00	1,00	0,040	0,030	10,5/12,5	-	0,60/1,10	N 0,10
S41500	0,05	0,60	0,50/1,00	0,030	0,030	11,5/14,0	0,50/1,00	3,5/5,5	-
S41603	0,08	1,00	1,25	0,06	0,15min	12,0/14,0	-	-	-
S42035	0,08	1,00	1,00	0,045	0,030	13,5/15,5	0,2/1,2	-	Ti 0,30/0,50
430	0,12	1,00	1,00	0,040	0,030	16,0/18,0	-	-	-
430F	0,12	1,00	1,25	0,060	0,15 min	16,0/18,0	0,60	-	-
430FSe	0,12	1,00	1,25	0,060	0,060	16,0/18,0	-	-	Se 0,15
430Ti	0,10	1,00	1,00	0,040	0,030	16,00/19,50	-	0,75	Ti 5xC/0,75
434	0,08	1,00	1,00	0,040	0,030	16,0/18,0	0,75/1,25	-	-
442	0,20	1,00	1,00	0,040	0,035	18,0/23,0	-	-	-

Çizelge 3.4 Bazı ferritik paslanmaz çeliklerin başlıca kullanım alanları (Peckner, 1977)

AISI 405	Tavlama kutuları, oksidasyon dirençli bölmelerin yapımında
AISI 409	Egzost sistemleri, transformatör, kondansatör kasalar, zirai ilaçlama tankları
AISI 429	Nitrik asit etkisine maruz kalan parçalarda, borularda ve tanklarda
AISI 430	Kimya endüstrisi, asit tankları, tavlama kutuları, pikatörler, mutfak malzemeleri
AISI 434	Otomotiv endüstrisi, süs ve dekoratif

	kullanım
AISI 436	Korozyon ve yüksek sıcaklığa maruz kalan alanlar
AISI 442	Fırın parçaları, yanma odaları, döküm potasının yanma delikleri
AISI 446	Tavlama kutuları, yanma odaları, cam kalıpları, fırın parçaları, valfler, duman fanları

Ferritik paslanmaz çeliklerde 400-540 °C sıcaklık aralığında uzun bir zaman içerisinde bekletilirse 475 °C gevrekliği adı verilen kırılğan yapı oluşmaktadır. Bu ısıl işlem çekme gerilimi ve sertlikte artışa, darbe dayanımı değerlerinde ise büyük düşüşe neden olmaktadır. 475 °C kırılğanlığı, Fe-%27 Cr ferritik paslanmaz çeliğinin dayanımındaki artış ve süneklikte olağanüstü düşüş etkisi Şekil 3.2' de gösterilmiştir. 475 °C kırılğanlığı sağlamak uzun zamanlı izotermal uygulamaları gerektirdiği için bu tip kırılğanlık normal olarak ferritik paslanmaz çeliklerin ısıl işlemine ve kaynağa zarar vermez.



Şekil 3.2 475 °C' de yaşlandırma zamanının Fe - %27 Cr havada ergitilmiş çeliğin oda sıcaklığı yaşlandırma özellikleri üzerine etkisi (Uzunoglu,2004)

Orta düzeyden yüksek düzeye kadar karbon ve azot içerikli ferritik paslanmaz çelikler yaklaşık 950 °C' nin üzerine ısıtılıp ve daha sonra oda sıcaklığına soğutulduğunda şiddetli kırılma ve korozyon direncinde kayıp gösterirler. Yüksek sıcaklık kırılmasının nedeni kromca zengin karbür ve nitrürlerin tane sınırlarında ve dislokasyonlarda çökmesinden kaynaklanır. Fe-Cr alaşımları karbon ve azot için düşük eritebilirliğe sahip olduğu için bu alaşımlarda, ara yerler düşük seviyede tutulmadıkça krom karbürler oluşur. Bu tip kırılma özellikle hasar vericidir. Bu kırılmanın olduğu ferritik paslanmaz çelikler %0,12 karbon içeriğine sahip 429, 430, 430F, 430F Se, 434, 436, 442 ve 446 serilerine ait paslanmaz çeliklerdir.

Ferritik paslanmaz çeliklerin süneklik ve toklukları birçok faktörden etkilenebilir. Esas olarak, mukavemet ve hacim merkezli kübik ferrit yapıların plastik deformasyon kabiliyeti, özellikle oda sıcaklığının altında olmak üzere, sıcaklığa dayanmaktadır. Azalan sıcaklıkla mukavemet hızla artar ve süneklik keskince düşer. Bunun nedeni vida dislokasyonlarının hacim merkezli kübik yapıda çapraz kayma yeteneğini kaybetmesidir. Ferritik paslanmaz çeliklerde süneklik geçiş sıcaklığı oda sıcaklığının çok üzerinde olabilir. Geçiş sıcaklığını etkileyen faktörler; tane boyutu, çatlak oluşturabilecek karbon ve nitrojen içeriği ve ikincil fazların oluşumudur. Doğru yöntemlerle yapılan ısıtma işlemleri sonucunda süneklik ve tokluk artırılır. Argon-oksijen karbür gidermesi, vakumla ergitme, titanyum veya niobyum eklemek, karbon ve nitrojen ile bunlara bağlı olarak, ferritik paslanmaz çeliklerin tokluğuna zararlı olan karbür ve nitrür oluşumunu azaltmak için başvurulan önemli ergitme uygulamalarıdır.

Çizelge 3.5 Ferritik paslanmaz çeliklerdeki intermetalik fazların karakterleri (Uzunoğlu,2004)

Faz tipi	Yapı	Latis parametresi	Açıklamalar
Sigma	Hacim merkezli tetragonal, 30 atom/hücre	a = 0,88-0,91 nm c = 0,45-0,46 nm	Faz parametreleri süper alaşımlardan toplanmıştır.
Chi	Kübik, 58 atom / hücre	a = 0,884-0,893 nm	Çeşitli çeliklerden alınmıştır.
Lave	Hegzagonal	a = 0,475-0,495 nm c = 0,770-0,815 nm	Süper alaşımlardan alınmıştır.

3.3 Martenzitik Paslanmaz Çelikler

Yaklaşık % 12-17 arasında krom içerirler. Bu çeliklerin temel karakteri sertleşebilme kabiliyetleridir. Östenitik yapıya sahip olacak kadar ısıtılıp yeterli hızda soğutulduklarında, östenit yapı karbon miktarına bağlı olarak ulaşabileceği sertliğe gelecek şekilde, martenzitik yapıya dönüşmektedir. Bu açıdan bu çelikler ticari karbon çelikleri gibi işlem görebilirler. Benzer görüşle menevişleme ile yumuşatılabilir ve süneklikleri artırılabilir. Bu şekilde kullanılacağı yere ve ihtiyaca göre istenen mekanik özellikler sağlanabilmektedir (Peckner, 1977). İçerdikleri karbon miktarının fazla olmasından dolayı ısı etkisiyle belirli bir sıcaklıkta östenitik dönüşüm gösteren, ardından hızlı soğutma ile martenzitik yapı oluşturan paslanmaz çeliklerdir. Oluşan martenzit fazından ötürü martenzitik paslanmaz çelik adını alırlar. Su verme işleminden sonra tokluğu arttırmak için temperleme ısı işlemi uygulanır. Ancak dikkat edilmesi gereken nokta, soğutma şartlarına ve yapıya bağlı olarak yapıda artık östenit kalabilmesidir. Temperleme özelliklerini geliştirmek üzere alaşıma niyobyum, silisyum, volfram ve vanadyum eklenebilir. Tokluğu ve korozyon direncini arttırmak için ise az miktarda nikel katılabilir. Nikel ayrıca yüksek miktarda kromun etkisini dengeleyerek iç yapıyı serbest ferritlerden korur.

Bu tür paslanmaz çeliklerin korozyona mukavemetleri sertleşme sonucu çok iyi bir değere ulaşır. 600 °C veya daha yüksek sıcaklıkta menevişlendiklerinde korozyon mukavemetleri, iyi olduğu halde daha düşük sıcaklıklarda menevişlendiklerinde zayıflar. Bu zayıflama, krom karbürün çökmesi sonucu ana matrisde yer yer kromun azalmasına bağlanabilir.

Martenzitik paslanmaz çelikler ferromanyetiklerdir. Sıcak dövme ve haddeleme işlemine tabi tutulabilirler. Genellikle zorluk görmeden mekanik işlem ve soğuk işlem uygulanabilir. Havada da sertleşebildiklerinden uygun kaynak ortamının hazırlanması çok önemlidir. Martenzitik paslanmaz çeliklerin korozyona direnci, soğuk seyreltik nitrik asit, bazı organik asitler, nötr tuzlar, yiyecek malzemeleri, saf su ve temiz atmosfer ortamlarında genellikle iyidir. % 17 Cr, % 3 Ni içeren çelik, organik asitlere olduğu gibi çok az da olsa deniz suyuna da dirençlidir.

Martenzitik paslanmaz çelikler bileşimlerine göre 4 gruba ayrılırlar. Çizelge 3.6' da bu gruplar gösterilmiştir.

Çizelge 3.6 Martenzitik paslanmaz çeliklerin sınıflandırılması (Uzunoğlu,2004)

Grup	%Karbon	%Krom
Birinci Grup	0,15 maks.	12-14
İkinci Grup	0,20-0,40	13-16
Üçüncü Grup	0,60	14-16
Dördüncü Grup	1	16-18

Martenzitik paslanmaz çeliklerin genel özellikleri;

- Su verme ve temperleme sonrası mekanik özellikleri karbon miktarına bağlıdır.
- Elde edilen sertlik ve mukavemet değerleri karbon artışıyla beraber artar.
- Aşınma dayanımları yüksektir.
- Korozyon dayanımları orta düzeydedir.
- Sürünme ve yorulma dayanımları yüksektir.
- Manyetik özellik gösterirler.
- 650 °C' ye kadar uygulamalarda tercih edilirler.
- Kafes yapısı hacim merkez tetragonal'dir.

Çizelge 3.7 Martenzitik paslanmaz çelik serileri (Peckner, 1977) (Önlerinde S ile belirtilenler UNS sistemine göre isimlendirilmiştir.)

AISI No	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Diğeri
403	0,15	0,50	1,00	0,040	0,030	11,50	-	-	-
410	0,15	0,50	1,00	0,040	0,030	11,50-13,00	-	-	-
414	0,15	1,00	1,00	0,040	0,030	11,50-13,00	-	1,25-2,50	-
416	0,15	1,00	1,25	0,040	0,150	12,00-14,00	0,60	-	-
420	0,15-0,40	1,00	1,00	0,040	0,040	12,00-14,00	-	-	-
431	0,20	1,00	1,00	0,040	0,030	15,00-17,00	1,25-2,00	-	-
440A	0,60/0,75	1,00	1,00	0,040	0,030	16,00/18,00	0,75	-	-
440B	0,75/0,95	1,00	1,00	0,040	0,030	16,00/18,00	0,75	-	-
440C	0,95-1,20	1,00	1,00	0,040	0,030	16,00/18,00	0,75	-	-
416Se	0,15	1,00	1,25	0,060	0,060	12,0/14,0	-	-	Se 0,15 min
420F	0,15 min	1,00	1,25	0,060	0,15 min	12,0/14,0	0,60	-	-
420FSe	0,30/0,40	1,00	1,25	0,060	0,060	12,0/14,0	-	-	Se 0,15 min

429	0,12	1,00	1,00	0,040	0,030	14,0/16,0	-	-	-
440F	0,95/1,20	1,00	1,25	0,060	0,15 min	16,0/18,0	0,75	-	Zr 0,75
440FSe	0,95/1,20	1,00	1,25	0,060	0,060	16,0/18,0	-	-	Se 0,15 min

Çizelge 3.8 Bazı martenzitik paslanmaz çeliklerin başlıca kullanım alanları (Peckner, 1977)

AISI 403	Buhar türbini pervaneleri, jet motorları parçaları
AISI 410	Pompa şaftları, civatalar, maden işleme makineleri, jet motorları parçaları, tüfek namluları
AISI 414	Maden işleme makineleri, civatalar, yaylar, miller, valf yuvaları
AISI 416	Ağır kesicilerde, uçak sanayinde pervanelerde, perçinlerde
AISI 420	Buhar türbin pervanelerinde
AISI 431	Uçak sanayinde, kağıt makinelerinde, civata yapımında
AISI 440A-B-C	Kesicilerde, bilyalarda, valflerde, petrol pompalarında, cerrahi takımlarda
AISI 501	Isı değiştiricilerinde, petrol rafinasyon cihazlarında

Martenzitik paslanmaz çelikler 925 ve 1065 °C arasında östenitleme, daha sonra yağda veya havada soğutma uygulanarak sertleştirilebilmektedir. Seçilen östenitleme sıcaklığı, istenen karbür çözümlenmesinin derecesi ve aşırı ısıtma ile delta ferrit oluşumunu önlemek amacıyla özenle belirlenmektedir. Daha yüksek östenitleme sıcaklıkları, çok iyi karbür çözünümlü, daha iyi korozyon dayanımı ve mukavemete sebep olmaktadır (ASM, 1990).

Krom içeren martenzitik paslanmaz çeliklerin termal iletkenlikleri, karbon çeliklerine göre önemli derecede daha azdır.

3.4 Dupleks Paslanmaz Çelikler

Dupleks olarak adlandırılan çeliklerde östenitik ve ferritik fazlar bir arada bulunur ve bu sayede tek fazlı çeliklerden daha iyi özelliklere sahip paslanmaz çelik kaliteleri elde edilir. Yetmiş yıldan fazla bir süredir kullanılmaktadırlar. İlk dupleks paslanmaz çelikler 1930

yılında İsveç' te kağıt endüstrisinde kullanılmıştır. Daha sonraki yıllarda östenitik paslanmaz çeliklerde tanelerarası korozyon sonucu meydana gelen sorunları bertaraf etmek için kullanılmaya başlamış ve yaygınlaşmıştır. 1936 yılında Fransa' da içerdiği ferrit ve östenit miktarına göre farklı isimler altında patentleri alınmıştır.

Östenitik çeliklere kıyasla daha yüksek korozyon dayanımı gösterirler. Bunun yanında toklukları ve süneklilikleri de ferritiklerden yüksektir. Akma dayanımları da 550 MPa ile 690 MPa arasındadır. Mevcut ticari kaliteler %22-26 krom, %4-7 nikel, en fazla %4,5 molibden, yaklaşık %0,7 bakır ve volfram ile %0,08-0,35 azot içermektedirler. Dupleks paslanmaz çeliklere doğru uygulama yapıldığında kaynak kabiliyetleri iyidir.

Dupleks paslanmaz çelikler; petrol kuyularında, gıda üretimi yapan fabrikalarda, kağıt endüstrisinde, şaftlarda, ısı eşanjörlerinde, kimyasal vana parçalarında ve bağlantı ekipmanlarında yaygın bir biçimde kullanım alanları bulmaktadırlar.

1960 ve 1970 yıllarına gelindiğinde iki ana faktör dupleks paslanmaz çeliklerin gelişimlerine etki etmeye başlamıştır. Bunlardan birincisi en büyük rakipleri östenitik paslanmaz çeliklerin asıl alaşım elementi olarak katılan nikelin metal piyasalarında aşırı derecede değerlenmesi ve gelişen teknolojiyle birlikte çelik üretiminin yeni metotlarla üretime başlamasıdır. Bu yeni yöntemler sayesinde vakum altında çok daha temiz, düşük karbon içerikli ve stabilize olmuş metal üretimini gerçekleştirmek mümkün olmuştur. 1970' den sonra bu yöntemler kullanılarak artık daha düşük karbonlu olarak üretilen dupleks paslanmaz çeliklere düşük miktarlarda azot eklenerek korozyon dayanımları östenitiklerden daha iyi bir duruma gelmiştir. Bunun yanında ısıtım yöntemlerinin de gelişmesiyle birlikte soğutma aralıklarının da yeniden belirlenmesiyle, farklı soğutma işlemleri yapılarak, kullanım yerine göre farklı düzeylerde ferrit ve östenit alanlarına sahip yeni türleri geliştirilmiştir.

Dupleks paslanmaz çelikler dizaynlarından hemen hemen dengelenmiş miktarda ferrit ve östenit içerdiklerinden dolayı yani bir madde sınıfı oluştururlar. Bu mikroyapı, krom ve molibdenle oldukça yüksek bir bileşimde, östenitik paslanmaz çeliklerin yaklaşık iki katı mukavemette, çatlak, sülfür gerilimi ve klorür gerilimi korozyon ortamlarında oldukça iyi korozyon dayanımı üretmektedir. Ferritik paslanmaz çelikler için argon-oksijen ve karbür giderme gibi öngörülen çelik yapım yöntemleri düşük çatlak içerikli dupleks paslanmaz

çeliklerin iyi süneklik ve toklukta üretimini olanaklı hale getirir. Dupleks paslanmaz çeliklerin hem işlem, hem de döküm dereceleri geliştirilmiştir.

Dupleks paslanmaz çeliklerin bileşimleri, yeterli ferrit dengesini sağlamak için, tipik olarak sıralamada krom yüksek kenarda, nikel düşük kenarda olmak üzere, krom %17'den %30'a ve nikel %3'den %13'e sıralanmaktadır. Ferrit dengeleyici olan molibden de %2-5 arasında bulunur.

İşlenmiş dupleks paslanmaz çeliklerin termomekanik prosesleri iki fazlı ferrit-östenit bölgelerinde tamamlanır. Ferrit ve östenit alanlarının sınırları sıcaklıkla yer değiştirirse de, sıcak işlem ve tavlama sırasında sıcaklığın fonksiyonu olarak, ferrit ve östenit oluşturmaktadır. Yüksek sıcaklıklar daha fazla miktarda ferrit oluşturmaktadır. Bu yüzden belirtilen ferrit-östenit dengesini korumak amacıyla genellikle 1000 °C ve 1200 °C sıcaklıkları arasında, sıcak işlem kontrol edilmelidir.

Çizelge 3.9 Dupleks paslanmaz çeliklerin başlıca türleri (Alvarez, 2000)

Kalite	% Cr	% Ni	% C	% Mn	% Mo	% N	% Cu	% W
İlk Üretim Dupleks Paslanmaz Çelikler								
AISI 329	23.0-28.0	2.50-5.00	0.08	1.00	1.00-2.00	belirtilmemiş	23.0-28.0	2.50-5.00
3RE60	18.0-19.0	4.30-5.20	0.03	1.20-2.00	2.50-3.00	0.05-0.10	18.0-19.0	4.30-5.20
UR50	20.5-22.5	5.50-8.50	0.04	2.00	2.00-3.00	-	1.00-2.00	-
Geliştirilmiş Modern Dupleks Paslanmaz Çelikler								
2304	21.5-24.5	3.00-5.50	0.03	2.50	0.00-0.06	0.05-0.20	-	-
2205	21.0-23.0	4.50-6.50	0.03	2.00	2.50-3.50	0.08-0.20	-	-
DP-3	24.0-26.0	5.50-7.50	0.03	1.00	5.50-7.50	0.10-0.30	0.20-0.80	0.10-0.50
UR52N	24.0-26.0	5.50-8.00	0.03	1.50	3.00-5.00	0.20-0.35	0.50-3.00	-
255	24.0-27.0	4.50-6.50	0.04	1.50	2.90-3.90	0.10-0.25	1.50-2.50	-
DP-3W	24.0-26.0	6.80-8.00	0.03	1.00	2.50-3.50	0.24-0.32	0.20-0.80	1.50-2.50
2507	24.0-26.0	6.00-8.00	0.03	1.20	3.00-5.00	0.24-0.32	0.50	-
Zeron 100	24.0-26.0	6.00-8.00	0.03	1.00	3.00-4.00	0.20-0.30	0.50-1.00	0.50-1.00
Düşük Dupleksler								
S32101	21.50	1.50	0.03	2.00	0.30	0.22	-	-
S32304	23.00	4.00	0.02	2.50	0.30	0.10	0.30	-
Süper Dupleksler								
S32750	25.00	7.00	0.02	1.20	4.00	0.27	0.50	-
S32760	25.00	7.00	0.03	1.00	3.50	0.25	0.50	0.60

3.5 Çökeltme Yoluyla Sertleşebilen Paslanmaz Çelikler

Çökeltme sertleşmeli paslanmaz çelikler, paslanmaz çeliklerin korozyon dayanımını korurken aynı zamanda yüksek tokluk ve mukavemet sağlamaları amacıyla geliştirilmişlerdir. Çökeltme yolu ile sertleşen paslanmaz çelikler; östenitik paslanmaz çelik içerisine alüminyum, bakır, niyobyum veya tantal ilave edilmesi ile elde edilir. Böylece bu alaşımlama elementleri ile çökeltme sertleşmesi gerçekleştirilir. Bu çelikler, östenitleme, su verme ve yaşlandırma kademeleri ile üretilirler. Yaşlandırma ile martenzitik yapıda Ni_3Al ve diğer metallerarası bileşiklerin çökeltmesi sağlanır. Çökeltme yoluyla sertleştirilen paslanmaz çelikler iyi süneklik ve tokluk değerlerinin yanında orta ile iyi arasında korozyon dayanımına da sahiptirler. 1700 MPa değerine kadar çıkan akma dayanımı gösterirler. Ancak düşük karbon içerdiklerinden aşınma dayanımları zayıftır.

Çökeltme sertleşmeli paslanmaz çeliklerdeki alaşım elementleri, her an martenzite dönebilecek yarı kararlı östenit veya tamamen kararlı östenitin oda sıcaklığında martenzit yapı oluşturacak şekilde ayarlanabilmektedir. Bu alaşım dizaynı üç değişik çökeltme sertleşmeli paslanmaz çelik sınıfını; martenzitik, yarı östenitik ve östenitik olmak üzere, olanaklı kılar. Bütün sınıflara uygulanan yaşlandırma, çökeltme ile sertleştirme işlemleri benzerdir ve genelde, martenzitik 500 °C, östenitik 700 °C civarında olmak üzere düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilir. Östenit oldukça düşük kararlılıktadır ve oda sıcaklığında düşük karbonlu martenzite dönüşür. Bu martenzite daha sonra Ni_3Al gibi nikel içerikli bileşiklerin düzgün çökeltmesini sağlayan düşük sıcaklık yaşlandırması ile mukavemet kazandırılır.

Yarı östenitik çökeltme ile sertleştirilmiş paslanmaz çelikler yerleştirme veya çözelti işlemleri ile modifiye edilebilen, düşük alaşım dengesi olacak şekilde alaşımlandırılırlar. Çoğu kez biraz delta ferrit de mikroyapının bir bileşenidir. Yüksek östenitleme sıcaklıklarında bütün elementler çözülmüştür. Ms sıcaklıkları oda sıcaklığının çok altındadır ve oda sıcaklığında mikroyapı genellikle östenitiktir. Bu koşullarda, yarı östenitik çökeltme sertleşmeli paslanmaz çelikler, soğuk işlemle hemen oluşturulabilir. Düşük östenitleme sıcaklıklarında alaşım karbürleri çöker, östenit kararlılığı azalır ve Ms artar. Sonuç olarak, östenit oda sıcaklığının altına soğutma sırasında martenzite dönüşür. Yaşlandırma ile martenzitik mikroyapı üretiminde diğer bir yol ise kesitleri oda sıcaklığının altına soğutmaktır.

Martenzitik ve yarı östenitik çökelme sertleşmeli paslanmaz çeliklerde, her zaman akma ve 1400 MPa' lara erişebilen yüksek mukavemetleri ve iyi süneklik özellikleri için ısıl işlem uygulanabilir. Çözelti ve yerleştirme işlemleri, sıfırlı soğutma ve yaşlandırma işlemleri alaşıma özeldir ve alaşım çeşitleri için, uygun klavuz veya üretici öğütleri takip edebilir. Bu tip paslanmaz çelikler uçak ve uzay sanayi, ısı eşanjörleri gibi uygulamalarda kullanılırlar.

Çizelge 3.10 Çökelme yoluyla sertleşen paslanmaz çeliklerin başlıca türleri (Peckner, 1977)

AISI	% C	% Mn	% Si	% Cr	% Ni	% P	% S	% Diğer
PH 13/8	0.05	0.20	0.10	12	7.50- 8.50	0.01	0.008	2.00-2.50 Mo- 1.00 Al- 0.01 N
PH 15/5	0.07	1.00	1.00	14-15.5	3.50- 5.50	0.04	0.03	2.50-4.50 Cu-0.15-0.45 Nb
PH 17/4	0.07	1.00	1.00	15- 17.50	3.00- 5.00	0.04	0.03	3.00-5.00 Cu- 0.15-0.45 Nb
PH 17/7	0.09	1.00	1.00	16-18	6.50- 8.00	0.04	0.04	0.75-1.50 Al

4. PASLANMAZ ÇELİK ÜRETİMİ

4.1 Üretim

Paslanmaz çelikler, sade karbonlu ve düşük alaşımlı çeliklere nazaran paslanmaya ve kararmaya karşı dirençlidirler. Korozyona karşı yüksek direnç göstermelerinin nedeni içerdikleri yüksek miktardaki kromdur. Bakır, alüminyum, silisyum, nikel ve molibden gibi diğer elementlerinde paslanmaz çeliklerin korozyon direncine olumlu etkileri varsa da bu konudaki ana element şüphesiz kromdur (ASM,1990) .

Paslanmaz çelik üretimi; elektrik ark fırınlarında, endüksiyon fırınlarında, kupol ocağı ile kombine çalışan bazik oksijen konverterlerinde, vakum endüksiyon fırınlarında, elektrik ark fırını ve alttan ve üstten oksijen/inert gaz üflenen rafinasyon fırınının, kombinasyonu ile oluşan AOD (Argon Oksijen-Dekarbürizasyon) prosesi ile, elektrik ark fırını veya LD konverteri ile kombine çalışan vakum rafinasyon kabından oluşan VOD (Vakum Oksijen-Dekarbürizasyon) ve AVR (Argon-Vakum-Rafinasyon) prosesi ile yapılmaktadır.

80'li yıllara kadar düşük karbonlu ferrokromdan tek kademeli olarak üretilen paslanmaz çelikler, son yıllarda gelişen teknoloji ile ark fırınında ergitilen yüksek karbonlu ferrokromun rafinasyonu ve ikinci bir üniteye alaşım ayarlanması ile gerçekleştirilmektedir.

Paslanmaz çelik üretimi üç adımda gerçekleşir. İlk olarak çelik içerisine oksijen gönderilerek karbon, CO halinde eriyikten uzaklaştırılır. Çeliğe gönderilen oksijen, kromu da oksitleyerek cürufa geçmesine sebep olur. Ekonomik açıdan bu kromoksidin geri kazanılması amacıyla, redükleyici olarak silisyum eklenir ve krom ergimiş çeliğe alınırken silisyumoksit de cürufa geçer. Son olarak da çelik içerisine inert gaz verilmesi veya vakum uygulaması sonucu ortamdaki CO kısmi basıncı düşürülerek çeliğin dekarbürizasyon hızı artırılır.

Tek aşamalı üretimde, dekarbürizasyon banyoya saf oksijen üflenmesiyle gerçekleşir. Paslanmaz çelik alaşımı, dekarbürizasyon ürünü olarak çıkan CO ile banyo sıcaklığı arasında dengededir. Bu denge koşulları krom miktarını sınırlamaktadır. Dekarbürizasyon sırasında gönderilen oksijen kromun bir kısmının Cr_2O_3 halinde cürufa geçmesine sebep olur. Dekarbürizasyon işlemi ile karbon miktarı istenilen seviyeye indirildiğinden, cürufa kaçan kromun geri kazanılması için eklenen redükleyici Fe-Si-Cr, Fe-Si ve Al-Si' nin de düşük

karbonlu olması gereklidir. Kullanılan alaşım elementlerinin de aynı şekilde düşük karbonlu olması gerekmektedir. Günümüzde tek aşamalı paslanmaz çelik üretim yöntemi kullanılmamaktadır

Üretim yöntemlerinin tümünde şu reaksiyonlar oluşur;

1-Ergimiş çelik içerisindeki karbon oksijen ile temas ettirilerek CO halinde banyodan uzaklaştırılır.



2- Ergimiş çeliğe verilen oksijen, belirli şartlar altında çelik içindeki kromda oksitleyerek kromu cürufa geçirir.



3- Ekonomik şartlar, cürufa geçen bu kromu yeniden kazandırılmasını gerektirir. Kromun kazanılması, sisteme krom oksitten daha kararlı oksitler oluşturacak elementlerin eklenmesiyle mümkün olur. Sisteme bu amaçla silis eklenir,



Reaksiyonuyla cüruftaki krom oksidi indirger, kromu ergimiş çeliğe geçirir ve kendisi SiO₂ halinde cürufa geçer.

4- Ergimiş çelik içine proses gazlarının verilmesi veya vakum uygulanması sonucu banyo üzerindeki atmosferde CO' in kısmi basıncının düşmesiyle, banyonun dekarbürasyon hızı büyük ölçüde arttırılabilir. Ergimiş çelik üzerindeki karbonmonoksitin kısmi basıncı düşürüldüğünde daha düşük oksijen yüzdelerinden daha düşük karbon yüzdelerine ulaşmak mümkün olur. Aynı zamanda ergimiş çelik içinde belirli sıcaklıklarda Cr/C dengesi belirlidir. Sıcaklık yükseldikçe ve karbonmonoksitin kısmi basıncı azaldıkça bu oran yükselir. Daha düşük karbon miktarlarında banyoda krom miktarıda artar. Bu bilgiler sonucunda ark ocağında paslanmaz çelik üretiminde maliyeti azaltmak için çelik banyosu üzerindeki karbonmonoksitin kısmi basıncının düşürülmesi yoluna gidilmiştir.

İki aşamalı yöntemlerde ergimiş metal üzerindeki CO kısmi basıncı düşürülerek dekarbürizasyon işlemi gerçekleştirilir. Vakumlu veya vakumsuz (inert gaz) olmak üzere ikiye ayrılır.

- Vakumsuz İki Aşamalı Üretim
- Vakumlu İki Aşamalı Üretim

4.1.1 Vakumsuz İki Aşamalı Üretim

4.1.1.1 Argon Oksijen Dekarbürizasyon(AOD) Yöntemi

Bu yöntemde elektrik ark fırını sadece ergitme amaçlı kullanılmaktadır. Rafinasyon işlemi ise argon-oksijen gaz karışımının ergimiş metale gönderilmesiyle gerçekleşmektedir. Argon gazının kullanım amacı, oksijen kısmi basıncını düşürerek kromun oksitlenmesini engellemektir.

Bu yöntemde paslanmaz çelik hurdası ve yüksek karbonlu ferro alaşımlar elektrik ark fırınında ergitildikten sonra AOD konverterine alınır. Yüksek hızlarda, argon ile seyreltilmiş oksijen AOD konverterine alt kısımdaki tüyerlerden gönderilir. Yüksek hız, ergimiş metalin karışmasını ve reaksiyonların daha hızlı gerçekleşmesini sağlarken, argon gazı da sıcaklık artışını engeller, oksitleyici gazların kısmi basıncını düşürerek kromun neredeyse tamamının sıvı çelik içerisinde kalmasını sağlar. Cürufa geçen krom oksidin geri kazanılması amacıyla sıvı çeliğe karbon içeriği düşük ferrokromsilisyum eklenir (Uzunoğlu, 2004).

Bu yöntemdeki proses kontrolü sayesinde başlangıçtaki %1,5-0,2 karbon içeriği, % 0,01' e düşürülerek düşük empürite içerikli, yüksek kaliteli paslanmaz çelik üretilir.

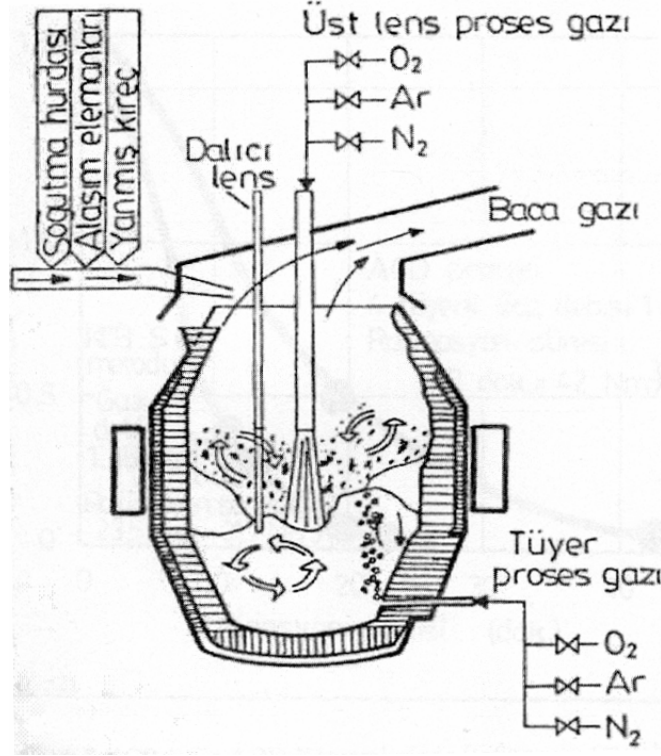
4.1.1.2 Krupp Combined Blowing Stainless (KCB-S) Yöntemi

AOD yöntemindeki rafinasyon süresini azaltma çalışmaları sonucu geliştirilmiştir ve 1972 yılında kullanılmaya başlanmıştır (Gould, 2007). Konvertere alt üfleme tüyerleri yanında, yukarıdan da lens aracılığıyla oksijen ve inert gaz karışımı gönderilir. Rafinasyon ara bölgeleri daha geniş bir alana yayıldığından istenilen düşük karbon oranına daha hızlı bir şekilde ulaşılır.

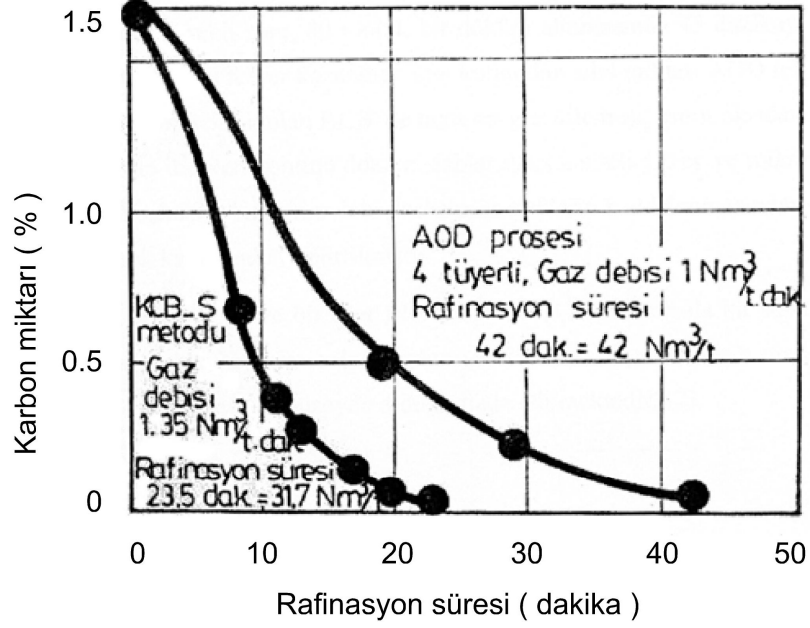
Krupp tesislerinde uygulamada paslanmaz çelik hurda, alaşımsız hurda ve katkı malzemeleri 80 MVA'lık trafosu olan 140 tonluk UHP (Ultra High Power) ocağında ergitilir. Ergimiş metal KCB sistemine dönüştürülmüş konverter tipindeki potaya alınır. Alttan 4 adet tüyer ve üstten 1 adet lensle proses gazları üflenir. Daha yüksek debide gaz üflenmesine karşın, süre daha az olduğundan toplam gaz tüketimi de AOD' ye nazaran daha düşüktür.

İstenen karbon miktarına inildiğinde konvertere silisli ferro alaşımlar eklenerek cürufa kaçan krom indirgenir. Bu malzemeler çeliği deokside ettiği gibi silis miktarını da ayarlar. Viskozite ve bazikliği istenen düzeye getirmek amacıyla eklenen flaks malzemeleri desülfürizasyonu sağlarken cüruftaki kromun da redüklenmesini kolaylaştırır. Tüm bu işlemler tek bir cürufta gerçekleştiğinden üretim çok kısa bir zamanda tamamlanır. Sonunda cüruf ile birlikte potaya alındıktan sonra özel bir işlem ile cüruf temizlenir. Bu yöntemde refrakter ömrü de AOD'ye göre daha yüksektir.

Hızlı bir şekilde gaz üflenmesi, yüzeydeki CO'nun yanması sonucu kromun oksitlenme oranını düşürmekte ve cürufa kaçan krom oksit miktarının azalmasını, dolayısıyla da kullanılan silis miktarının da azalmasını sağlamaktadır (Uzunoğlu, 2004).



Şekil 4.1 KCB-S konverteri (Chadley, 1978)



Şekil.4.2 KCB-S ve AOD yöntemlerinde rafinasyon süresi içinde karbon düşürülmesi
(Choudhyry, 1992)

Şekil 4.2' de her iki metodun karşılaştırılması görülmektedir. Sistemin sıcaklık kontrolü ve dalıcı lens kullanılarak sürekli numune alma ile çıkış gazlarının analizi sonucu, dinamik bir proses kontrolü sağlanır.

İstenen karbon yüzdesine inildiğinde, konverterde cürufta bulunan kromu indirgemek için silisli ferro alaşımları eklenir. Bunlar dökümü deokside ettiği gibi silisinde istenen seviyeye getirilmesini sağlar. Aynı zamanda ihtiyaç duyulan baziklikte ve viskozitede cüruf oluşturmak amacıyla flaks malzemeleri eklenir. Bunlar da dökümün desülfürizasyonunu ve cüruftaki kromun redüksiyonunu kolaylaştırır. Bütün bunlar tek cürufle elde edildiğinden konverterdeki işlem periyodu çok kısadır. Sonunda cürufle birlikte döküm alınır, özel bir düzenekle cürufu temizlenir. Bu yöntemde refrakter tüketimi de AOD' ye göre daha düşüktür (Dietrich,1995). Bütün bu işlemler için gerekli süre 80 tonluk bir döküm alınmasında 45 dakikaya kadar düşürülebilir. Cüruftaki Cr' u yeniden kazanmak için kullanılan silis miktarı AOD tekniğiyle aynıdır. Yani çok hızlı bir teknik olan KCB' de hızlı bir gaz üflemesi, krom oksidasyonunu artırmaz. Bu yöntemle üretilen sürekli döküm slablar daha kaliteli yüzey ve mikroskopik temizlik gösterir. Bu sebeple, bu durumdaki paslanmaz slabların haddelenmesinden önceki taşlama işlemine gerek kalmadığını belirtilmiştir (Dietrich, 1995).

4.1.1.3 Creusot-Loire Uddeholm (CLU) Yöntemi

AOD prosesinin değişik bir versiyonudur. Bu uygulamada argon veya azot gazlarının bir kısmının yerini su buharı almıştır. Diğer proseslerde olduğu gibi, EAF'de ergitilen çelik CLU konverterine alınmakta, %1.2 C içeren alaşım şarj edilmekte ve 1-1.5 saat gaz liflenmektedir. Bu işlem 1680°C'nin altında gerçekleşmektedir (Schlebusch, 1990).

4.1.2 Vakumlu İki Aşamalı Üretim

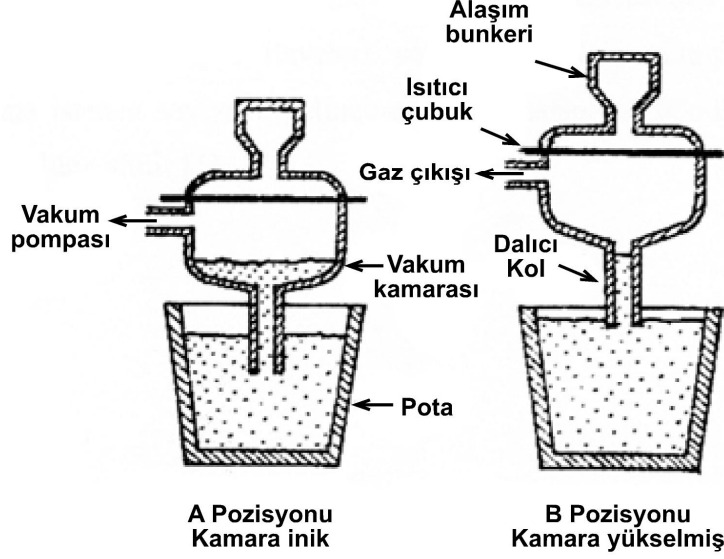
Çelik bir miktar gazı yapısında absorbe eder. Bu gazlar, çelik katılaştıktan sonra termal kırılmalara, gevrekliğe, mikroskobik boşluklara ve inklüzyonlara sebep olmaktadır. Çelik içerisinde absorbe olmuş oksijen, azot ve hidrojenin giderilmesi için, vakumda gaz alma yöntemi uygulanmaktadır.

Deokside edilmiş çelik içerisindeki karbon ve oksijen miktarları, belli sıcaklık ve basınç değerinde dengededir. Bu basınçtaki değişiklik karbon ve oksijen dengelerinde de değişikliğe sebep olacaktır. Vakum uygulandığında reaksiyon sonucu oluşan karbondioksit vakumla ortamdan uzaklaştırılır ve çelik içerisindeki karbon miktarı 100 ppm mertebesine kadar düşürülebilir. Vakum ile çelik içerisindeki hidrojen, oksijen, argon ve azot miktarı da azaltılmaktadır. Vakum uygulamasının etkinliği, uygulanan sıvı çeliğin yüzey alanı ve basınç ile orantılıdır. Daha düşük karbon seviyelerine inmek için daha düşük basınç gerekmektedir. Düşük basınç değerlerinde kromun oksitlenme oranı da düşük olduğundan, vakumda gaz alma yönteminde cürufa kaçan krom miktarı daha azdır (Uzunoğlu, 2004).

4.1.2.1 Dortmund-Hörder (D-H) Yöntemi

Alaşım ilaveleri yapılmış, döküm sıcaklığının 50-70 °C üzerinde, deokside edilmemiş ve cürufu alınmamış çelik, kamaranın altında bir dalıcı kol, kamara ile bağlantılı bir alaşım bunker ve vakum hücreni ısıtma amaçlı grafit bir elektrik direnci içeren refrakter kaplı vakum kamarasına alınır. Kamara grafit direnç ile 1550 °C' ye ısıtılmıştır. Vakum kamarası, altındaki karıştırıcı ile cürufu kurarak potaya indirilir. 300-600 mTorr'a kadar vakum uygulanır. Bu işlem sırasında çeliğin bir kısmı da vakum kamarasına geçer. Vakum kamarası bir miktar kaldırılarak vakum ortamı bozulur ve bu çelik potaya geri akar. Bu işlem 40-50 kez

tekrarlanarak alaşım ilaveleri yapılır. Gaz alma istenen düzeye geldiğinde atmosfer basıncına dönülerek döküm gerçekleştirilir (Uzunoğlu, 2004).



Şekil 4.3 D-H yöntemiyle vakum alınması (Tunç, 1984)

4.1.2.2 Ruhrstahl-Heraus (R-H) Yöntemi

Üretilecek çeliğin krom miktarına yakın krom içeren, döküm sıcaklığının 25-50°C üzerinde, deokside edilmemiş ve cürufu alınmamış çelik potaya alınır. Bu yöntemde kullanılan kamaranın iki dalıcı kolu mevcuttur. Bu kollardan biri içeriye gaz üfledebilmektedir. Vakum kamarasının kolları sıvı çeliğe 15 cm kadar batırılır ve vakum uygulanırken bir asal gaz da çıkış koluna verilmeye başlanır. Bu koldaki yoğunluk düştüğünden çelik vakum ortamına doğru yükselir. Gazı alındıktan sonra yerçekimi etkisiyle geri döner. Gazsızlaştırma esnasında karbon istenen seviyeye düşer. İşlemin sonuna doğru hassas alaşım ilaveleri ile deoksidanlar vakumlu besleyici ile verilir. Gazsızlaştırmayla karbon istenen seviyeye gelince atmosfer basıncına dönülerek döküm gerçekleştirilir (Tunç, 1984).

Yüksek üretim verimi, homojen ürün yapısı ve doldukça düşük karbon oranlarına inilebilmesi bu yöntemin avantajlarıdır (Tunç, 1984).

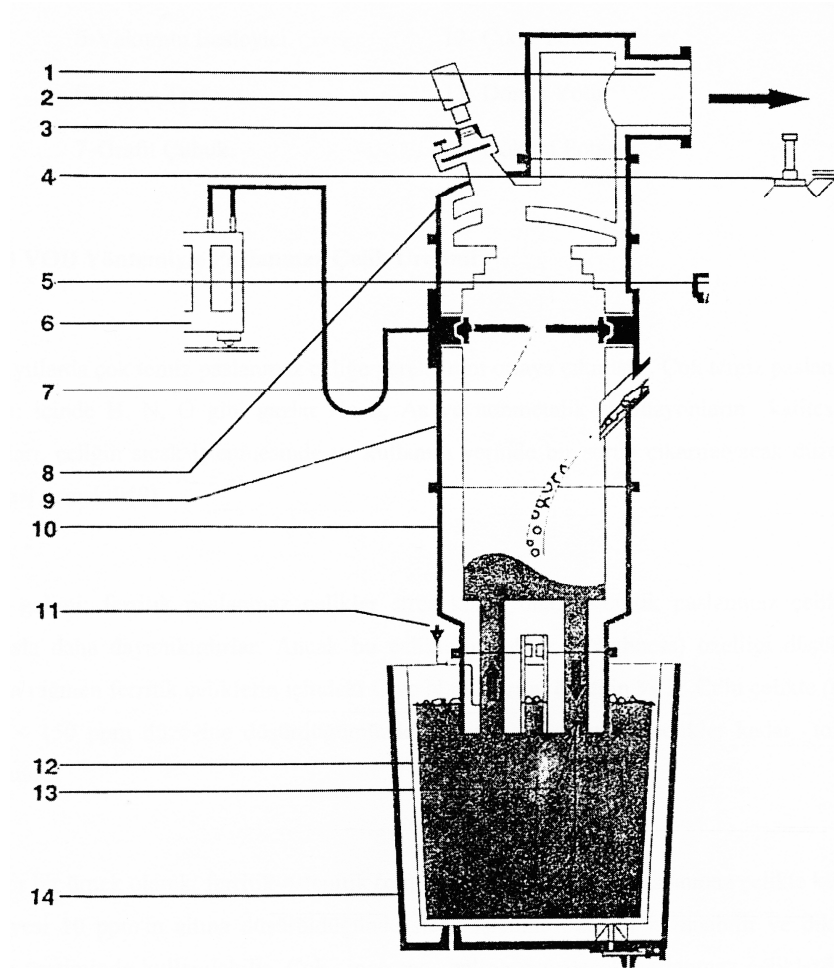
- | | | |
|-----------------------------|----------------------|----------------------|
| 1- Vakum Bağlantısı | 2- Görüntü Kamerası | 3- Gözetleme Noktası |
| 4- Vakumlu Alaşım Bunkerini | 5- Vakumlu Besleyici | 6- Isıtma Trafosu |
| 7- Grafit Çubuk | 8- Üst Bölüm | 9- Orta Bölüm |

10- Alt Bölüm

11-Yükseltici Gaz Bağlantısı 12- Çıkış Yolu

13-Dönüş Yolu

14- Döküm Potası



Şekil 4.4 R-H vakum sistemi (Tunç, 1984)

4.1.2.3 Vakum Oksijen Dekarbürizasyon (VOD) Yöntemi

Son yıllarda H, N, O gibi gazlar ile S, As (arsenik) ve metalik olmayan enklüzyon miktarlarının çeliğin sıcak işlenmesinde ve kullanım yerinde bir sorun çıkarmayacak orana indirilmesi amacıyla geliştirilmiştir. Elektrik ark fırınından ferro alaşımları ilave edilerek alınan sıvı çelik alttan argon üfleme olanağı olan potaya konularak vakum haznesine getirilir. Burada bir lens yardımıyla üstten oksijen üflenir. Vakum ortamında oksijen üflenmesi daha hızlı bir dekarbürizasyona sebep olur. Bu sırada sıcaklık yükselerek son alaşım ayarlamaları yapılacak düzeye çıkar. Aşırı ısınmayı engellemek için sıvı metale aynı kalitede paslanmaz çelik hurdası ilave edilir. Bu ısınma bir miktar krom kaybına sebep olduğundan, karbon oranı %0,05-0,10 düzeyine gelince oksijen üflenmesi kesilir. Bu işlemden sonra sadece gazsızlaştırma devam ederek istenen karbon, oksijen seviyesine ulaşılır (Dietrich, 1995).

Çelik yapımı esnasında ergimiş çeliğin içinde bir miktar gaz, absorbe edilmiş halde bulunur. Bunlar çelik katılaştıktan sonra termal kırılmalara, gevrekliğe, mikroskobik boşluklara, endüksiyonlara sebep olurlar. Özellikle hidrojen, kırılma ve gevrekliğe neden olur. Oksijen ve azot da çeşitli enklüzyonların oluşmasına neden olurlar. Vakum ergitme metotları, gazların ve enklüzyonların eliminasyonu ile buraya kadar anlatılan yöntemlerle üretilen çeliklerden daha kaliteli çelik yapımı için geliştirilmişlerdir (Schlebusch, 1990).

Ergimiş çeliğe vakum uygulamanın genel amaçları:

- 1- Ergimiş metalden hidrojen alma,
- 2- Oksijen miktarını azaltarak ergimiş çeliğin temizlenmesi,
- 3- Çok düşük karbonlu (0,03' den az) çelik üretilebilmesi,
- 4- Azot eliminasyonu.

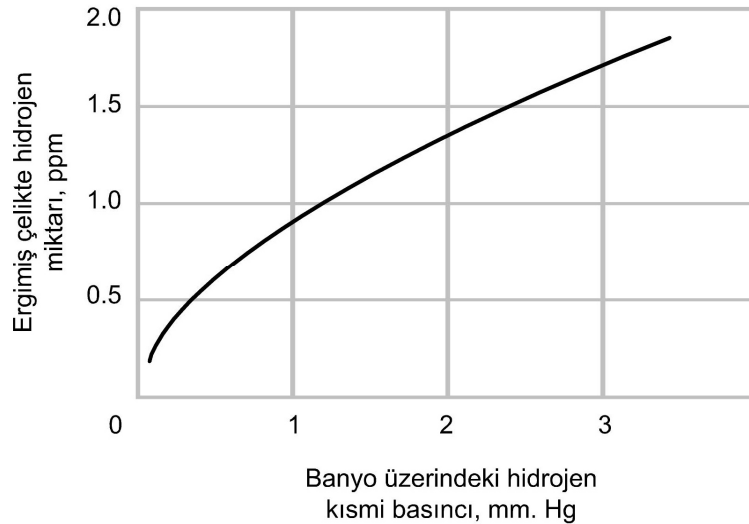
Ergimiş metal içerisindeki hidrojen miktarı şu eşitlikle belirlenir;

$$\% H = K.P_{H_2} \quad (4.4)$$

H = Ergimiş çelik içindeki H miktarı

K = Sıcaklığa bağlı bir sabit (1600 ° C' de 0.0027)

P_{H_2} = Ergimiş çelik banyosu üzerindeki hidrojen kısmi basıncı



Şekil 4.5 1600 ° C' de Hidrojen kısmi basıncına bağlı olarak ergimiş çelik içindeki hidrojen miktarı (Choudhyry, 1992)

Bu eşitlikten hidrojen kısmi basıncı düştükçe, ergimiş çelikte kalan hidrojen miktarının da düşeceği görülmektedir. Şekil 4.5'de ark ocağından alınmış ergimiş metalde 3.5-7 ppm

arasında hidrojen vardır. Vakum uygulamasında 2 ppm'in altına düşürülebilir (Choudhyry, 1992).

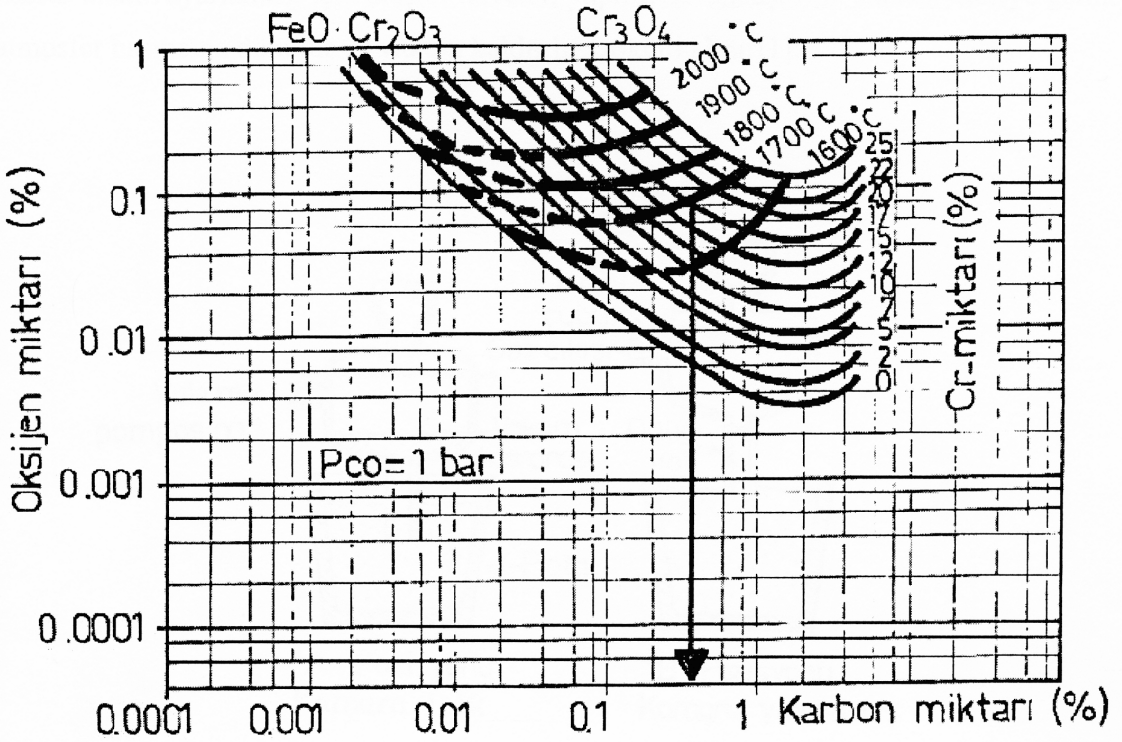
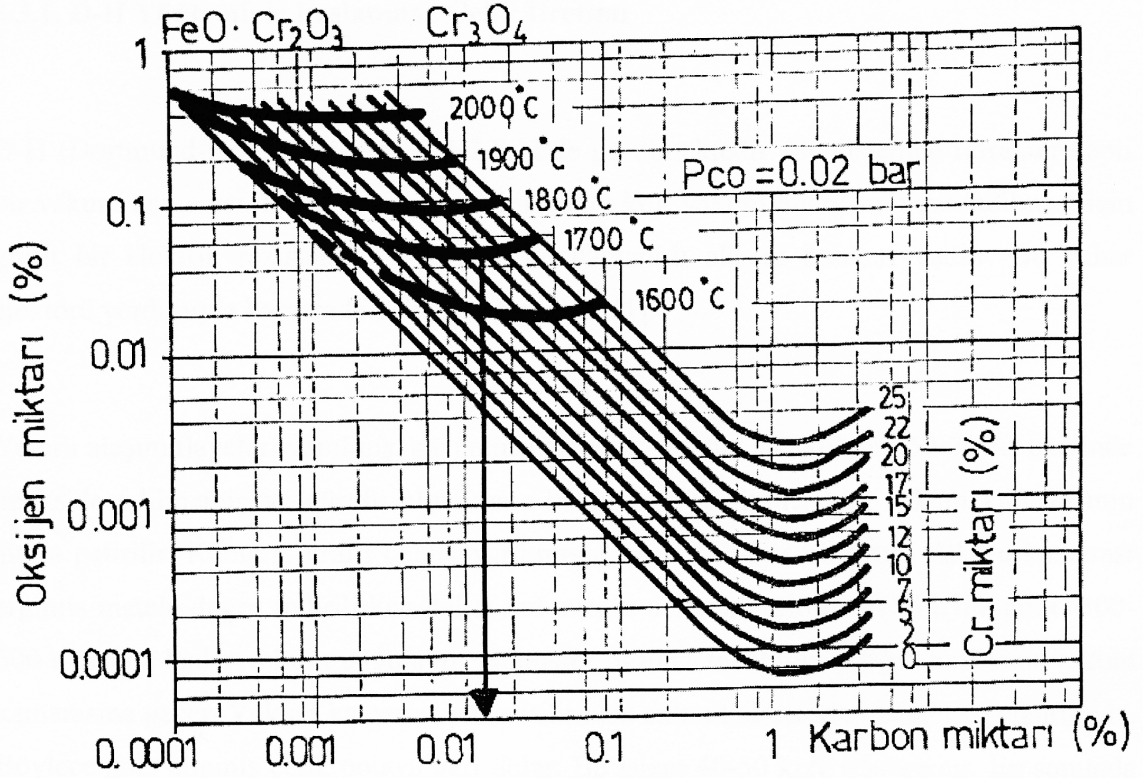
Vakum uygulaması oksijen miktarını da düşürerek çeliğin temizlenmesini sağlar. Deokside edilmemiş çelik banyosunda karbon ve oksijen miktarları belli bir sıcaklık ve basınç altında dengededir. Banyodaki basınç giderek düşürülürse, karbon ve oksijen arasındaki denge de yeni yeni eşitliklere dönüşür. Reaksiyon sonucu oluşan CO sistemden gaz olarak uzaklaşır. Oysa ki Al, Ti ve Si gibi kuvvetli deoksidanlar da ergimiş çeliğe ilave edildiklerinde oksijeni redüklerler, ancak metalik olmayan enklüzyonlar teşekkül ettirerek çeliğin temizliğini ve dolayısı ile mekanik özelliklerini bozarlar. Şekil 4.6' da atmosfer basıncında çelik banyo içindeki çeşitli deoksidan elementlerle oksijen arasındaki ilişki ile 1, 0,1 ve 0,01 atm'de karbon ve oksijen arasındaki ilişki görülmektedir. Buna göre 1 atm'de karbon silisten daha kuvvetli, 0,01 atm' de ise Ti ve Al 'dan daha kuvvetli deoksidandır (Choudhyry, 1992).

Konvansiyonel metotlarla karbon miktarını %0,03'ün altına düşürmek çok zordur. Ama deokside edilmemiş çelik banyosunda %0,04 C varsa, vakum uygulandığında çelikteki oksijenle reaksiyona girerek hemen %0,01 seviyesine düşer. Reaksiyon sonucu oluşan karbonmonoksit vakumla ortamdan hemen uzaklaşır.

Vakum altında hidrojen ve oksijen azalması olurken bir miktar da azot azalması olur. Ancak bunun miktarı azdır. Azot çelik içinde kararlı nitrürler oluşturma eğilimindedir. Vakum uygulamanın etkinliği sıvı çeliğin düşük basınca maruz kalan yüzey alanına bağlıdır. Elde edilmek istenen spesifikasyonuna göre çeşitli seviyelerde vakum oluşturulur. Düşük karbon seviyesine inmek için daha düşük basınç gereklidir (Schlebusch,1990).

Paslanmaz çeliklerin üretilmesi, ucuz malzeme kullanarak, yani yüksek karbonlu ferrokromla ekonomiktir. Bu karbonun düşürülmesi ise AOD konverterinde olduğu gibi banyoya oksijen üflemeyle mümkündür. 1700 °C'lik bir sıcaklıkta oksijen üflenmesi krom kaybına neden olur.

Vakum uygulaması ile C-O reaksiyonunun basınçla ilişkisi avantaj olarak kullanılmış ve krom oksidasyonu azaltılmıştır (Schlebusch,1990).



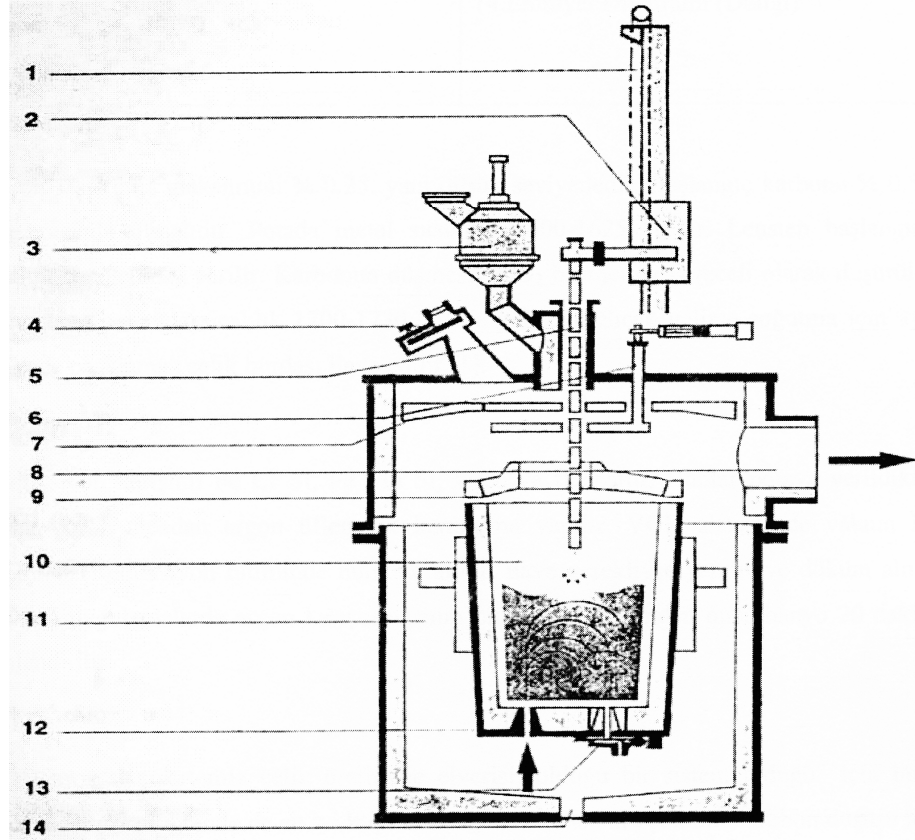
Şekil 4.6 Basınç altında demir-krom eriyiğinde karbon-oksijen arasındaki denge durumu
(Choudhry, 1992)

Şekil 4.6'da ki grafiklerde bu ilişki açıkça görülmektedir. Ortam basıncı 1 bar, sıcaklık 1700°C iken %17 Cr' lu banyoya oksijen üflendiğinde krom oksidasyonu %0,4 C seviyesinde

başlar. Oysa ki basınç 0,02 bar'a düşürüldüğünde aynı şartlarda krom oksidasyonu %0,015 C seviyesinde başlar.

Bu ilişkilerden yararlanılarak, paslanmaz çelik üretiminde, çok düşük karbonlu malzeme üretmek için vakum teknolojisi uygulanmaya başlanmıştır. Üretilmesi istenen paslanmaz çeliğin karbon yüzdesine göre değişik seviyelerde vakum uygulaması yapılır. Bütün vakum sistemleri vakum sırasında sıvı çeliğe deoksidanlar ve alaşım elemanları ilavesini mümkün kılacak şekilde dizayn edilmişlerdir. Sıvı çeliğe vakum uygulaması birkaç yöntemle yapılır.

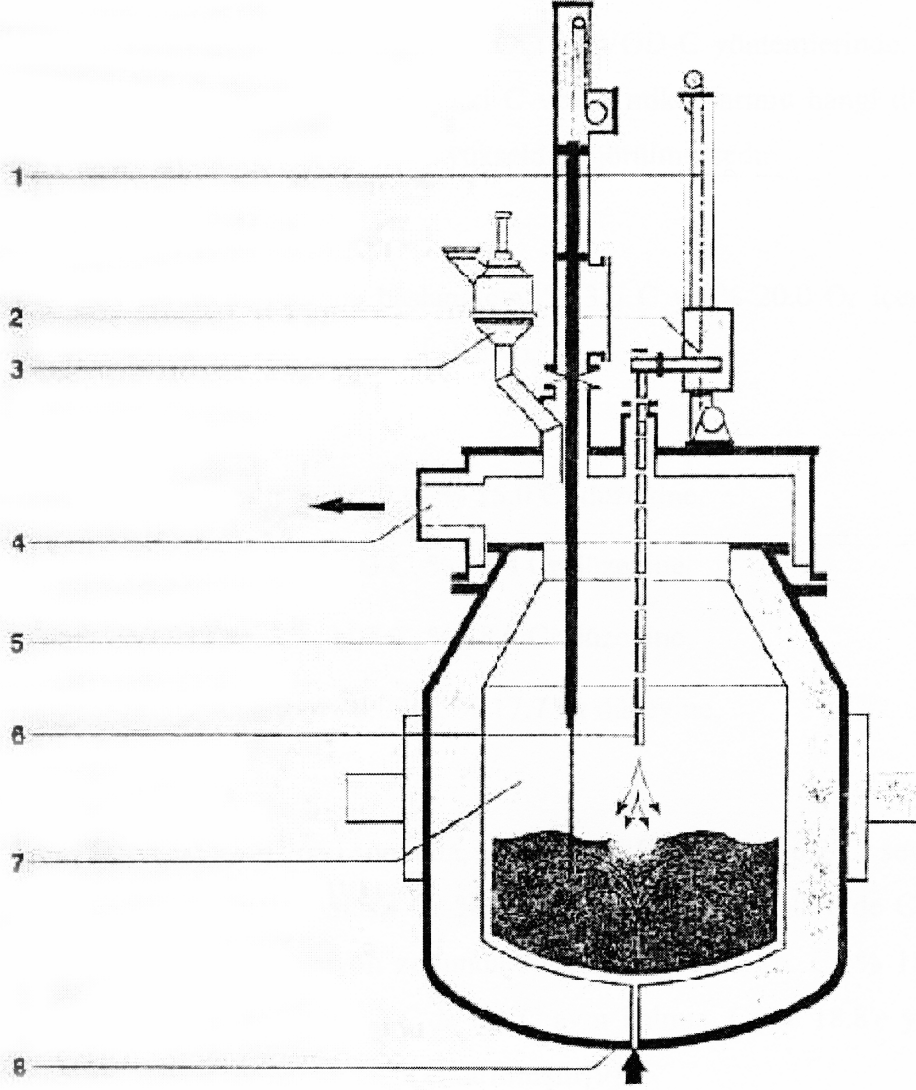
- | | |
|--------------------------------------|------------------------------------|
| 1- Oksijen Lensi Kumanda Mekanizması | 2- Oksijen Lens Taşıyıcı |
| 3- Vakumlu Alaşım Besleyici | 4- Gözetleme Noktası |
| 5- Oksijen Lensi Çalışma Pozisyonu | 6- Su Soğutmalı Sıçrama Muhafazası |
| 7- Sabit Isı Koruma Kapağı | 8- Vakum Bağlantısı |
| 9- Pota Kapağı | 10- Normal Çelik Döküm Potası |
| 11- Vakum Haznesi | 12- Asal Gaz Üfleme Poröz Tuğlası |
| 13- Pota Sürgü Nozulu | 14- Emniyet Diyaframı (Deligi) |



Şekil 4.7 VOD vakum sistemi (Choudhyr, 1992)

4.1.2.4 VOD-C Yöntemi

Başlangıç karbon miktarı yüksek malzemelerin kullanıldığı, VOD prosesinin konverterde gerçekleştirildiği uygulamadır. VOD ile aynı kalitede ancak daha hızlı olarak paslanmaz çelik üretimini sağlar. Yüksek yüzey alanına sahip sıvı çeliğin inert gaz yardımı ile karıştırılarak yüksek rafinasyon oranlarına ulaşılmasını sağlar.



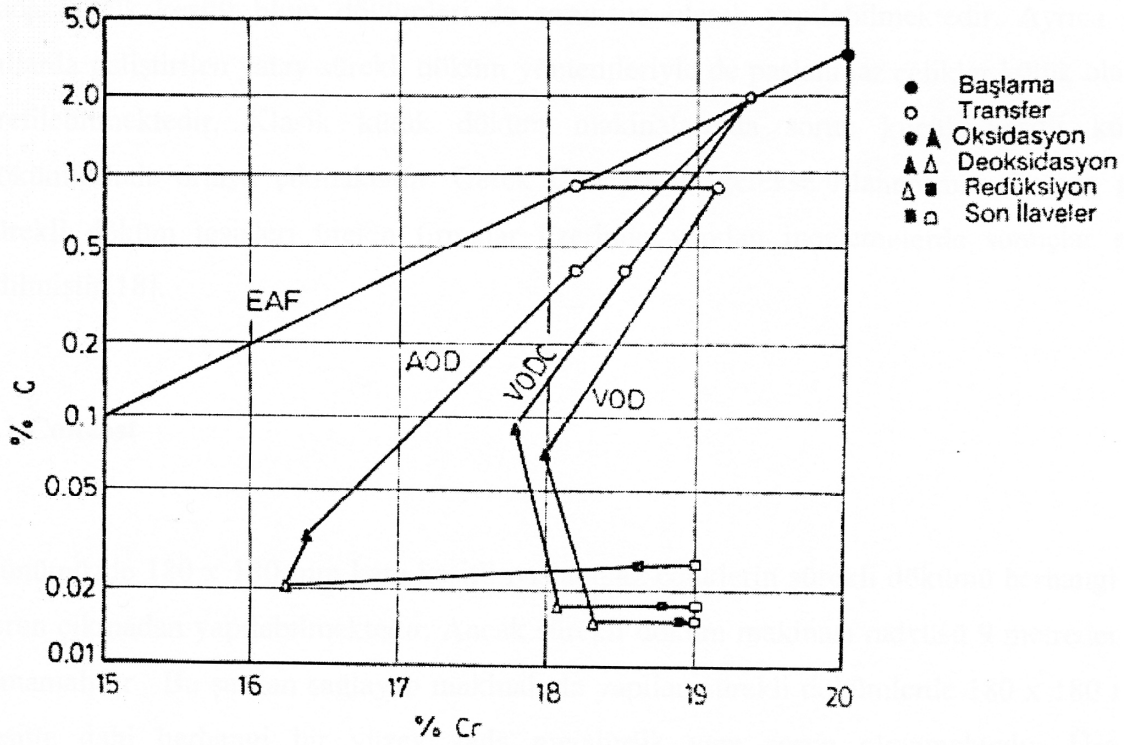
Şekil 4.8 VOD- C konverteri (Choudhyry, 1992)

1. Oksijen Lensi Kumanda Mekanizması
2. Oksijen Lensi Taşıyıcısı
3. Vakumlu Alaşım Besleyici
4. Vakum Bağlantısı
5. Vakumlu Sıcaklık Ölçme ve Numune Alma Lensi
6. Oksijen Lensi Çalışma Pozisyonu

7. Konverter

8. Asal Gaz Üfleme Deliği

Şekil 4.9'da ki grafikte EAO, AOD, VOD ve VOD-C yöntemlerinde, her aşamada asal gaz ve oksijen üflenmesiyle banyodaki C ve Cr miktarlarının hangi düzeylere indiği ve yeniden alaşım ilavesiyle Cr'un nasıl yükseldiği görülmektedir.



Teknik	Toplam Gaz Akışı m ³ / dak / ton	Asal Gaz
EAO	1.2	0
AOD	1.0	20-90
VOD	0.4	0.5-4
VOD-C	0.7	2-4

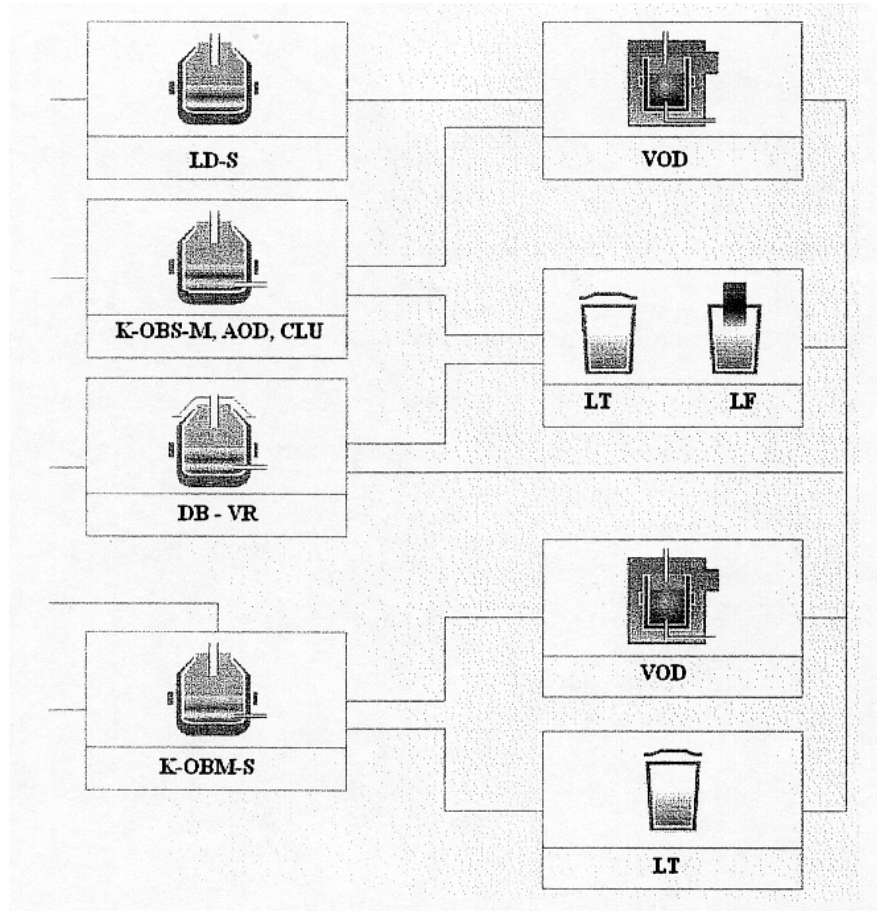
Şekil 4.9 Paslanmaz çelik üretiminde uygun C ve Cr düzeyine ulaşabilmek için değişik rafinasyon tekniklerindeki O₂ ve Argon üfleme miktarı ve çeşitli alaşımlarda % C ve % Cr miktarının değişimi (Dietrich, 1995)

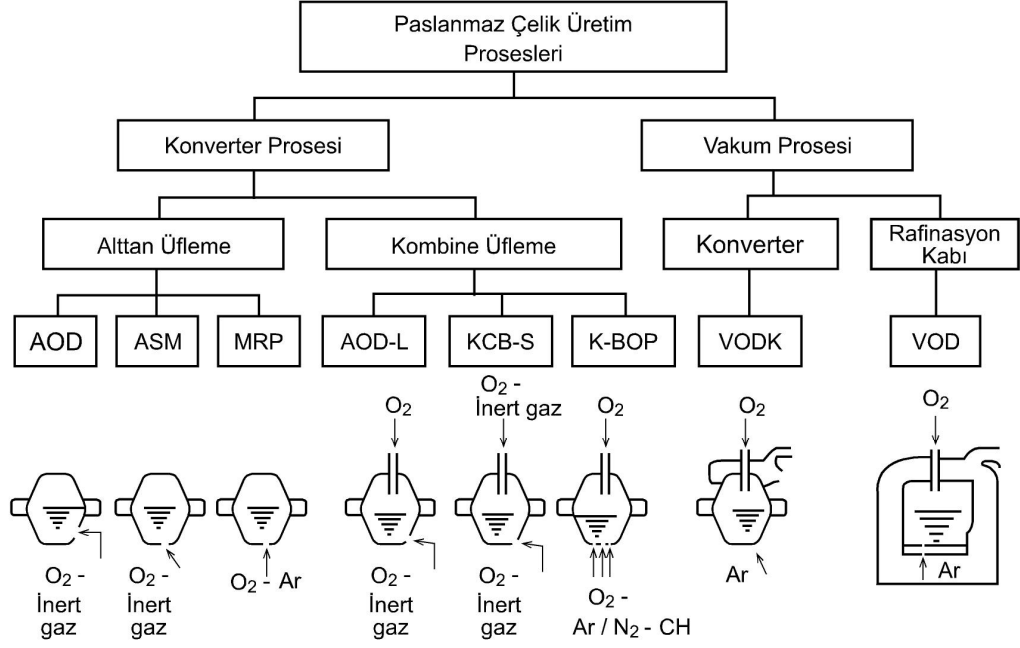
Dört rafinasyon tekniğinde de başlangıçta, % 3.5 C ve % 20.0 Cr içerikli ergimiş çelik alınmıştır. Oksidasyon zonu sonunda banyo,

- EAO'nda % 0.10 C, % 15.0 Cr düzeyine,
- AOD'de % 0.03 C, % 16.4 Cr düzeyine,
- VOD'de % 0.07 C, % 18.0 Cr düzeyine,
- VOD-C'de ise % 0.09 C, % 17.7 Cr düzeyine,

inmiştir. Deoksidasyon zonu sonunda, AOD'de % 0.02 C, % 16.2 Cr seviyesine düşerken, VOD de C % 0.016'ya düşmüş, Cr % 18.4'e yükselmiş, VOD-C'de C % 0,018'e, Cr % 18'e yükselmiştir. Redüksiyon zonunda AOD'de C % 0.03'e. Cr % 18.6'ya, VOD'de C aynı kalmış, Cr % 18.9'a, VOD-C'de ise C aynı kalmış, Cr % 18.8'e yükselmiştir. Daha sonra alaşım ilaveleriyle Cr % 19'a çıkarılmıştır (Choudhyry, 1992) .

Grafik bize VOD ve VOD-C' de AOD' ye oranla daha az Cr oksidasyonu olduğunu, çok daha az redükleyici ve alaşım ayarlanması için ilave yapıldığını göstermektedir.





Şekil 4.10.a-b Paslanmaz çelik üretim prosesleri (Tunç,1984)

Bütün çelik ergitme işlemlerinde olduğu gibi paslanmaz çelik üretiminde de gerekli standart işlemler vardır. Bunlar:

- Hammaddenin ergitilmesi
- Karbonun oksitlenmesi
- Kükürt, fosfor, gaz ve diğer metalik olmayan enklüzyonların rafinesi
- Deoksidasyon
- Alaşımlandırma
- Sıvı metalin döküm sıcaklığına kadar ısıtılması

Ergitme işleminde fırına çelik hurdası, demir cevheri, kireç taşı, nikel ve ferro-nikel şarj edilir. Yüksek sıcaklık ve oksitleyici ortamda ergitme yapılır. Bu aşamada gaz, cüruf ve metalik faz olmak üzere üç faz teşekkül eder. İlk aşamada oluşan demiroksitli cüruf alınır ve onun yerine fluşpat ve kireç ilavesiyle redükleyici cüruf oluşturularak empüritelerin rafinasyonu temin edilir. Deoksidasyonun devamında alaşımlandırma aşamasına geçilir. Oksijene afinitesi zayıf olan nikel gibi alaşım elementleri ergitme esnasında ilave edilebilir. Fakat krom ilavesi deoksidasyonu müteakip yapılmalıdır. Kromun oksijene afinitesi yüksek olduğundan banyodaki demiroksitlerin rafinasyonunun tamamlanmasını beklemek gerekir. Kullanılan ferrokrom miktarı çelikte istenilen en son karbon miktarı ile mutlaka ilintilidir. Paslanmaz çelik üretiminde karbon miktarının azaltılması elzemdir. Sıvı metalin sıcaklığı

arttırılarak veya dekarbürizasyonu sağlayacak ortam oluşturularak karbon miktarının belirlenen limitin üstüne çıkmamasına dikkat edilir.

4.2 Bazik Ark Ocakları

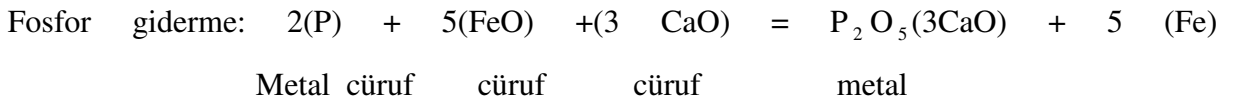
Bazik oksijen ocaklarında her çeşit alaşımli çelik üretilebilir. Kükürt ve fosforun giderilmesine olanak sağlayan bazik cüruf ve bazik astarın yapısal analizi aşağıdaki gibidir;

4.2.1 Bazik Cüruf

Hem oksitleyici, hem indirgeyici karakterlerde olabilir. Bazik cürufun ana bileşeni "CaO" dir. Ayrıca SiO_2 , MnO ve $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ vs ihtiva eder. Yanmış kireç (CaO)'in ergime derecesi çok yüksektir. (2600°C) Çelik yapım sıcaklıklarında akışkan bir cüruf oluşturmak için kirecin ergime noktasını düşürücü flaks olarak kalsiyumflorit veya kolemanit kullanıla. Çelik banyosundan P giderilmesi için demir cevheri kullanarak veya O_2 üflenerek cüruf oksitlenir. Etkili bir P rafinasyonu için şartlar;

- i. Cüruf baziklik oranı: $V=3$ olmalı
- ii. Cüruf akışkan olmalı
- iii. Banyo sıcaklığı düşük olmalı
- iv. Cüruftaki FeO yüksek olmalı

$V=3$ durumunda cüruf CaO'e doymuş durumdadır. Daha fazla kireç ilavesi faydasızdır.



reaksiyonuna göre gerçekleşir.

Bazik cürufa metal banyosundan S geçmesi için bazik cüruf deokside edilerek, oksijeni alınır. Etkili olacak şekilde S gidermek için;

- i. Baziklik oranı $V=3$ olmalı
- ii. Cüruftaki FeO çok düşük seviyelere indirilmeli (cürufun deoksidesi)
- iii . Banyo sıcaklığı yüksek olmalı
- iv. Cürufun akışkanlığı düşük olmalı

4.2.2 Bazik Astar

Refrakter tuğlalar; sıvı, cüruf ve sıvı çelikle temas halinde olduğu için yüksek sıcaklığa, basınca, sıcaklık değişikliklerine ve aşınmaya karşı dayanıklı olmalıdır. Bu nedenle yüksek ergime derecesine sahip metaloksitlerden oluşur. Ayrıca uygun ısı iletkenliği ve belirli bir elektrik direnci gerektirir.

4.2.2.1 Dolomit

Bazik astar malzemesinin başında gelir. Sinter dolomit BAO'da duvar ve ocak astar malzemesi olarak kullanılır. Ucuzluğu nedeniyle tüketimi magnezitten çok fazladır. Bazik astar için en iyi dolomit %32-40 MgO, %50-60 CaO, %3-6 SiO₂, %1-3 Fe₂O₃ + Al₂O₃ + Mn₂O₃ şeklindedir. Bu sinter dolomit %8 susuz katran ile karıştırılarak ya dövme harcı yada preslenmiş tuğla olarak kullanılır.

4.2.2.2 Magnezit

Sinter magnezit veya magnezit tuğlalar, hammadde olarak doğada kristalin veya amorf şeklinde bulunan MgCO₃' den elde edilir. Ham MgCO₃ kuyu veya döner tip fırınlarda pişirilir. Sinterlenmesini kolaylaştırmak için az miktarda demiroksit gibi flakslar ilave edilir. BAO' da kullanılan magnezit astar %70 üstünde MgO ve %3,5 - 9 Fe₂O₃ kadar sinterleyici flaks taşır. Sıcaklık değişmelerine karşı az dayanıklı olması ve yüksek ısı iletkenliğine sahip bulunması ve dolomite göre sinterleşmesinin zor olması magnezit astarın dezavantajlarıdır.

%20-40 krom cevheri (FeO, Cr₂O₃) ve düşük seviyelerde SiO₂ (max.%6) ile karıştırılarak dezavantajları giderilebilir. İlavelerin etkisi ile sıcaklık değişimlerine ve kimyasal reaksiyonlara karşı direnci artar, ısı iletkenliği düşer.

4.3 Bazik Ark Ocaklarındaki Gelişmeler

- 1.) Brülörler kullanılarak ergime süresi kısaltılmaktadır. Astar aşınmasını bertaraf etmek için soğutmalı paneller kullanılmaktadır.
- 2.) Dökümden-döküme geçen süre kısalmaktadır.

- 3.) BAO' dan ingot döküm, yerini kontinu döküme bırakmaktadır.
- 4.) Pota metalürjisi gelişmekte ve alaşımlı çeliğin yapım süresi kısalmaktadır.
- 5.) Ergime süresini kısaltmak için hurdalar ve alaşım elementleri ön ısıtmaya tabi tutulmaktadır.
- 6.) Proses kontrolü, monitör ve bilgisayarlarla yapılmaktadır.

4.4 Bazık Ark Ocağı ile İlgili Kriterler

Paslanmaz çelik üretiminde, %18 kromlu ferritik paslanmaz çeliğin ve östenitik paslanmaz çeliklerin BAO'da elde edilmesi incelenmeden önce kontrol edilmesi gerekli kriterler bulunmaktadır. Bunlar aşağıdaki gibidir;

- 1) Ocağın durumu
- 2) Şarj malzemeleri
- 3) Şarj yöntemleri
- 4) Şarj tiplerine göre ergitme pratikleri
- 5) BAO' da ergitme prensipleri
- 6) Arıtmanın esasları
- 7) Alaşımlandırma
- 8) Deoksidasyon
- 9) Ocaktan döküm

4.4.1 Ocağın Durumu

Alaşımlı çelik üretimi için ocak tabanı ve duvarları iyi durumda olmalıdır. Aynı astarda arka arkaya aynı cins alaşımlı çelik yapılması hem kalite hem de çalışma pratikliği açısından tercih edilmektedir. Her dökümden sonra ve en fazla iki dökümde bir ocak tabanı ve astar aşınması durumu kontrol edilmelidir.

Gerektiğinde aşınan yerler sinterlenmiş magnezit tozu ile yama yapılmalıdır. Yama yapılacak yer önce cüruf ve çelikten temizlenmeli ve yamanın refrakter malzeme üzerine yapılmasına dikkat edilmelidir. Yeni astarlanmış bir ocakta alaşımlı iyi kalite çelik yapımından önce düşük içerikli bir veya iki döküm alınmalıdır.

4.4.2 Şarj Malzemeleri

Şarj malzemeleri; metalik olanlar; yani hurdalar ve alaşım malzemeleri ile metalik olmayanlar yani cüruf yapıcılar şeklinde üç grupta incelenebilir.

4.4.2.1 Hurdalar

4.4.2.1.1 İşyeri Hurdası

Genel olarak bu cins hurdalar, kimyasal bileşimi bilinen iyi kalitede ve ağır hurdalardır. Haddehanelerden ve çelik dökümhanesinden dönüp gelirler. Atölyelerden gelen talaş hurdalar yağlıdır, hacimce fazla ve yoğunluğu düşüktür. Isı iletkenliği düşük olduğundan ergimesi yavaştır. Yüzey miktarı ağır hurdalara nispetle fazla olduğundan kolaylıkla oksitlenir, metal verimini düşürürler.

4.4.2.1.2 Piyasa Hurdası

Bunlar ekseriyetle otomobil sacı olup, temiz hurdalardır. P ve S muhteviyatları düşüktür. Otomobil sacının yanı sıra demiryolu, eski deniz taşıtları ve ağır endüstriyel cihaz hurdaları da bu gruptadır. Bu gruptaki hurdalar düşük enkülizyon ihtiva eden yüksek kaliteli hurdalardır.

Bu hurdalardan hafif olanlar yoğunluk artırma maksadıyla preslenmişlerdir. Preslenmiş hurda kullanımı-muhteviyatı tam bilinmediği için- risklidir.

4.4.2.1.3 Pik Demir ve Gri Dökme Demir Hurdası

Bu cins hurdalar pahalıdır. Ucuza mal edilebilirse belli oranlarda kullanılabilir.

4.4.2.1.4 Sünger Demir Hurdası

Ark ocaklarında yüksek kalitede çelik yapımı için uygundur, arzu edilir. Fakat Türkiye'de fiyatları yüksek olduğundan kullanımı ekonomik değildir.

4.4.2.1.5 Hurdadaki Safsızlıklar

Alaşımli çelikte genellikle Cu ve Sn istenmez. Çünkü sıcak ve soğuk işlemlerde kırılmalık yaparlar. Ayrıca bu elementlerin oksijene ilgisi çok az olduğundan karbon kaynaması esnasında cüruf geçmezler. Bu nedenlerden dolayı hurdadaki Cu < %0,15 ve Sn < % 0,02 olmalıdır.

Bazen hurdaya kansan lastik parçalardan, bazen otomat çeliği hurdalarından bazen de yağlı ve boyalı hurdalardan gelen S de mümkün olduğu kadar düşük olmalıdır. P nin mevcudiyeti ise %0,02'yi geçmemelidir.

4.4.2.1.6 Hurda Hazırlanması

Hurdanın temizlenmesi ve yoğunluğunun artırılması gerekir. Yoğunluğun arttığı oranda ergitme hızı da artacaktır. Enerji ve zaman tasarrufu açısından, hurdanın yoğunluğu $d=0,9 \text{ t/m}^3$ den az olmamalıdır. Yöntem olarak, presleme veya oksiasetlen kullanarak kesme işlemleri uygulanabilir.

4.4.2.2 Alaşım Malzemeleri

Ferro-Vanadyum (Fe-V) %50-80 V'lu alaşımdır.

Ferro-Wolfram (Fe-W) %80-81 W'lı alaşımdır.

Ferro-Titanyum (Fe-Ti) %40-70 Ti'li alaşımdır.

Ferro-Molibden (Fe-Mo) %70 Mo'li alaşımdır.

Ferro-Manganez (Fe-Mn) %76-78 Mn'lı yüksek C'lu (%6,5-7 C)

Standart ve düşük C'lu ($\leq \%1\text{C}$) olmak üzere iki tip kullanımı yaygındır.

Ferro-Bor (Fe-B) %15-20 B'lu alaşımdır.

Düşük karbonlu Ferro-Krom (Fe-Cr) %70 Cr ile %0,03 C, %0,06 C ve %0,10 C ihtiva eden üç ayrı tipi vardır.

Yüksek karbonlu Ferro-Krom (Fe-Cr) %70 Cr ile %4-6 C ve % 6-8 C içeren iki farklı tip vardır.

FerroNiobyum (Fe-Nb) %70 Nb'lu alaşımdır.

Ferro-Fosfor (Fe-P) %25 P'lu alaşımdır.

Ferro-Silisyum (Fe-Si) %75 Si içeren tipi en yaygın olanıdır.

Ferro-Silisyum-Magnezyum (Fe-Si-Mg) %5-9 Mg ihtiva eder.

Yukarıdaki alaşım malzemelerinin dışında ferro-nikel molibden ve ferro-alüminyum da kullanım alanlarına sahiptir.

Kobalt (%99) ve Nikel (%99) doğrudan kullanıldığı gibi Al-Co, Al-Ni şeklinde de çeliğe ilave edilebilir.

4.4.2.3 Metalik Olmayan Şarj Malzemeleri

4.4.2.3.1 Yanmış Kireç

BAO'da istenen kalitede cüruf yapmak için yanmış kireç aşağıdaki özelliklerde olmalıdır.

Kimyasal Özellikler:

Aktif CaO	%85-95
MgO	%5 max.
SiO ₂	%3 max.
Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃	%3max
S	%0,05-0,10

Fiziksel Özellikler:

Nem oranı %1,5 max

Nemi kontrol edebilmek için şarjdan önce 800°C' lik ön ısıtma yapılmalıdır.

4.4.2.3.2 Kireçtaşı (CaCO₃)

BAO'da yanmış kirecin alternatifidir.

4.4.2.3.3 Cüruf İnceltici (CaF₂)

Cürufun akışkanlığını temin için metalurjik floritte;

Aktif $\text{CaF}_2 > \%72$ (Tane boyutu 5-25 mm)

$\text{SiO}_2 < \%5$

$\text{CaCO}_3 < \%10$

S $< \%0,2$ şeklinde olmalıdır.

4.4.2.3.4 Cüruf İnceltici ($\text{CaB}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) (Kolemanit)

Florite alternatif teşkil eder. Bileşimi;

$\text{B}_2\text{O}_3 \quad \%40-45$

$\text{CaO}_3 \quad \%30-35$

$\text{SiO}_2 \quad \% 3-5$ (ve tane boyutları 5-25 mm) şeklinde olmalıdır.

4.4.3 Şarj Yöntemleri

Eğer hafif ve ağır tip hurdalar kullanılacaksa önce hafif hurdalar sonra ağır hurdalar ve tekrar hafif hurdalar sıra ile şarj edilir. Normal olarak hurda yüklemesi hurda kovası ile yapılır. Bir kova hurdanın yüklenme zamanı 4 dakikayı geçmemelidir. Ocak kapasitesine göre ergime tamamlandıktan sonra oluşan hacimden istifade ederek partiler halinde şarja devam edilir. Kireçtaşı, yanmış kireç, demir cevheri veya grafit tozu ilk hurda kovası ile ilave edilir. Diğer bir uygulama ise hurdadan önce ocak tabanına bir miktar yanmış kireç veya kireçtaşı konulur.

Kireçtaşı ve yanmış kirecin elektrotların altına gelmemesine dikkat edilmelidir. Aksi takdirde elektrotların ark yapması durur. Normal olarak elektrotların altına gelecek şekilde bir miktar kok konarak ergimenin başlangıcında elektrotların ark yapması kolaylaşır. Bu kok miktarı aynı zamanda karbon verici olarak da kullanılmış olur.

4.4.4 Şarj Tiplerine Göre Ergitme Pratikleri

Dünyada birkaç ergitme pratiği vardır. Her çelik dökümhanesi ürettiği alaşımlı çelik için kendi şartlarına en uygun ergitme pratiğini uygulamaktadır. Ergitme pratiği seçilirken düşük maliyet ve yüksek kalite faktörü göz önünde tutulmalıdır. Hurda şarj tipine göre ergitme pratiklerini üç başlık altında inceleyebiliriz.

4.4.4.1 Önceden Yapılmış Karbon Çeliğini Veya Saf Demiri Kullanma

Karbon kaynaması gerçekleştirilerek düşük C'lu çelik önceden yapılır. Bu arada çelikteki gazlar bünyeden süpürülerek giderilmiş olur. Ön alaşım şeklindeki bu çelik veya bazen de saf demir yüksek alaşımlı çelik yapımında hurda olarak tekrar ergitilir ve gerekli alaşım malzemeleri saf veya ferro alaşımlar şeklinde ocağa verilir.

Alaşımlı çelik yapımında bu en pahalı yöntemdir. Çünkü saf alaşım ve ferro-alaşım malzemeleri çok pahalıdır. Ayrıca şarj malzemesi olarak saf demirin kullanılması halinde maliyet daha da yükselir.

4.4.4.2 Geri Dönen Alaşımlı Hurdayı Kullanma

Bu ergitme pratiğinde ise şarj malzemesi alaşımlı çelik dökümlerin geri dönen hurdalarıdır. Oksitleyici periyotta karbon kaynaması ile çelikte çözünmüş gazların süpürülerek çelikten uzaklaştırılması sağlanır. Bu periyottan sonra oksitlenen alaşım elementlerinin indirgenmesiyle çelik banyoya dönme aşaması gerçekleştirilir.

Yapılmak istenen çeliğin norm değerlerine göre analiz sonuçlarını ayarlamak için alaşım malzemelerinin ilaveleri yapılır. Bu uygulama ile üretilen alaşımlı çelik kalitesi, ilk uygulama ile üretilen çelik mamullerle kıyaslanabilir seviyededir.

4.4.4.3 Geri Dönen Alaşımlı Hurdayı Arıtmasız Kullanma

İkinci ergitme pratiğinden farkı arıtmasız olmasıdır. Fakat yine daha önce yapılmış alaşımlı çelik dökümlerin geri dönen hurdaları şarj malzemesi olarak kullanılır. Elde edilen çelik ürünleri diğer pratiklere nazaran daha düşük kaliteye sahiptir. Mükerrer ergitmeler sırasında sıvı banyonun kaptığı gazlar çelik bünyesinde kalmakta, bu da döküm kalitesini bozmaktadır.

4.4.5 BAO'da Ergitme Prensipleri

4.4.5.1 Ark Radyasyonlarının Astar Ömrüne Etkisi

Ergime başlangıcında ocak duvarı ve tavanını ark radyasyonlarına karşı korumak gerekir. Bunun için elektrotların ocaktaki hurdaya çok çabuk dalış yapması sağlanmalıdır. Elektrotların hurda içine dalış hızı şarj edilen hurdanın yoğunluğu ile ters orantılıdır. Hurda yoğunluğu yüksek olduğunda dalma hızının düşeceği açıktır, öyleyse hafif hurdaların elektrotların altına gelecek şekilde şarj edilmesi mantıklıdır. Ergimenin son aşamalarına doğru ark gücü ve voltajı azaltılma yönünde ayarlanmalıdır, aksi takdirde ark radyasyonları ocak duvarına ve tavana çarparak refrakter aşınımını olumsuz yönde etkiler.

4.4.5.2 Ergimenin Hızlandırılması

Sistem çalıştırıldığında, elektrotların dibinde çok çabuk sıvı metal havuzcukları teşekkül eder. Güç, birkaç dakika kesilirse henüz ergimemiş hurdalar havuzcukların içine çekilebilir. Böylelikle ergime hızı artmış olur. Döner tip ark ocaklarında ise sıvı metal havuzcuklarının teşekkülünü müteakip elektrotlar geri çekilir, ocak birkaç derece döndürülür ve arkın ergimemiş hurdaya tesiri sağlanır. Dolayısıyla ergime hızlandırılmış olur.

4.4.5.3 Kirecin Ergime Hızına ve Astara Etkisi

Ergime hızı ocağa yüklenen yanmış kireç veya kireçtaşına da bağlıdır. Ergime sırasında teşekkül edecek olan asit oksitler bazik astarla reaksiyona girip astarın aşınmasına neden olurlar. Bazik karakterli kireç veya kireçtaşı buna mani olur.

4.4.5.4 Ergime Süresi

Hurdanın ön ısıtılması, oksijen üflenmesi ve oksijen -sıvı yakıt brülörlerinin kullanımı süreyi kısaltır.

4.4.6 Arıtmanın Esasları

BAO' da çelik yapımı bir çeşit arıtma işlemidir. İşlem, oksitleyici ve indirgeyici olmak üzere iki aşamada gerçekleşir.

4.4.6.1 Oksitleyici Cüruf Aşaması

4.4.6.1.1 Alaşımız Yüksek P'lu Hurda Kullanımı Halinde

Şarj; bu durumda oksitlenebilir alaşım elementleri ihtiva etmemelidir. Şarjdaki fosfor ve silisyumun tamamıyla cürufa geçmesini temin için ortamın oksitleyici, cürufun da bazik karakterde olması gerekir.

İstenmeyen kalıntıların ve hidrojen gibi gazların çelikten uzaklaştırılması da bu aşamada olur. Karbonun en az %0,3-0,4 kadarı oksitlenerek yanar, oluşan CO gazı banyoyu terk ederken H₂ gibi gazları süpürüp beraberinde götürür. Bu esnada banyoda oluşan karışma hareketi sayesinde istenmeyen kalıntıların oksitleyici cürufa doğru hareket etmesi temin edilir.

4.4.6.1.2 Alaşımız ve Düşük P'lı Hurda Kullanılması Halinde

Bu pratik Cr, V,W,Mn gibi oksitlenebilir elementler içeren hurdaların kullanımı halinde uygulanır. P ise çok düşük seviyede olup o çeliğin normunda istenen sınırlar içinde olmalıdır. Çünkü bu pratikte P giderilemez. Üflenen O₂ ve kullanılan demir cevheri ile şarjdaki %0,2-0,3C yakılarak karbon kaynaması gerçekleştirilir. Şarjdaki elementler oksitlenip cürufa geçer. Karbon kaynaması, çeliğin ergime sıcaklığının 45-85°C üstündeki sıcaklıklarda oksitleyici bir ortamda gerçekleşir. Oksijen üfleme durdurulup karbon kaynaması sona erince elde edilen oksitleyici cüruf Si, Al veya C tozu kullanılarak indirgeyici bazik cüruf haline getirilir. P ve oksitlenen diğer alaşım elementleri oksitlerinden indirgenerek çelik banyoya dönerler. Örneğin, düşük karbonlu paslanmaz çeliklerin dökümlerinden geri dönen hurdalarından alaşımız çelik üretirken bu cüruf pratiği uygulanır. Alaşım elementlerinin çelik banyoya dönmesi sağlandıktan sonra alınan ara numunenin analiz değerlerine göre o alaşımız çeliğin son kimyasal bileşimini tutturmak için alaşım ilaveleri ile ayarlamalar yapılır.

4.4.6.1.3 Karbon Kaynamasının Faydaları

O₂ temini için demir cevheri kullanılırsa %0,5 karbon/saat; fakat O₂ üflenirse %2 karbon/saat yanarak CO çıkışı sağlanmaktadır. Oksitleyici cüruf safhasında oluşan bu CO gazının banyoyu terk ederken meydana getirdiği kaynamanın çelik kalitesine etkileri şu şekilde özetlenebilir:

- I) Hidrojen ve azot gibi zararlı gazlar, CO vasıtasıyla banyodan süpürülerek büyük ölçüde azaltılır.
- II) Çelikte istenmeyen kalıntılar kaynama hareketiyle büyük ölçüde cürufa yüzdürülerek daha temiz çelik elde edilmesi sağlanır.
- III) Oluşan arktan, banyoya doğru iyi bir ısı transferi gerçekleşir.
- IV) Metal-cüruf banyolarının birbirleriyle iyi teması sağlanarak metal-cüruf banyoları arasındaki geçiş reaksiyonları kolaylaşır.
- V) Cüruf banyosundaki oksijen miktarı arttıkça çelik banyosundaki de artar. Bu nedenle cüruf banyosundaki oksijen miktarı kontrol altına alınmalıdır. Bu kontrol ise karbon kaynaması yardımıyla gerçekleşir.

4.4.6.2 Redükleyici Cüruf Aşaması

Oksitleyici cüruf aşamasında; fosfor, öngörülen sınırlar içine düştüğünde oksitleyici (renk.siyah) cürufun tamamen alınması elzemdir. Tamamı alınamıyorsa güç kesilir, cürufun donması beklenir ve sıyrılır. Mütakiben enerji tekrar verilir, indirgeyici bazik cüruf (renk: gri-beyaz) yapılır. İndirgeyici cürufta oksitlenmiş alaşım elementleri mevcutsa, bunlar redüklenerek çelik banyoya geri döner. Bu safhada FeS halinde mevcut olan kükürt aşağıdaki reaksiyon gereğince cürufa geçerek çelik banyoyu terk eder.



S'in giderilme oranı %50 ve üstündedir. İkincil olarak S mevcudiyetini %0,002-0,010 seviyelerine çekmek maksadıyla yanmış kireç ile kalsiyumflorit tozu (< 1 mm) karışımı pnömatik metotla cüruf banyosunun yüzeyinin tamamına üflenir. İndirgeyici cürufun (%25 kalsiyum florit +%75 ön ısıtılmış yanmış kireç) gaz kapma kabiliyeti yüksektir, bu nedenle

söz konusu işlem kısa tutulmalıdır. Aksi takdirde cüruf karakterini yitirir, siyahlaşır. Bu durumda cüruftaki S çelik banyosuna geri dönmeye başlayacaktır.

4.4.7 Alaşımlandırma

Alaşımli çelik yapımında alaşım elementlerinin verim sorunu vardır. Ferro alaşımların fiyatları oldukça yüksektir. Bu yüzden verim artırıcı tedbirlere ihtiyaç vardır. Verim hesabı aşağıdaki gibidir.

$$\% \text{ Verim} = \frac{\text{Potadaki sıvı çelikte alaşım elementinin miktarı (kg)}}{\text{Ocağa şarj edilen alaşım elementinin miktarı (kg)}} \quad (4.6)$$

Ni, Co, Mo için tedbire lüzum yoktur. Oksijene afiniteleri son derece zayıf olduğundan; ocağa, şarjla beraber ergime sırasında hatta C kaynaması safhasında verilebilirler. W,Cr,V,Nb gibi alaşım elementlerinin verimleri çalışma şartlarına bağlı olarak geniş bir aralıkta değişir. Çelik banyo sıcaklığı düşük sınırdaki, karbon miktarı yüksek seviyelerde ve cüruf hacmi az ise söz konusu elementlerin verimi artar. Çünkü bu şartlarda oksit cürufuna geçmiş bu elementlerin oksitlerinden indirgenerek metal banyosuna dönmeleri teşvik edilmiş olmaktadır.

Çizelge 4.1.Sıvı çelikteki alaşımlar (Choudhyr,1992)

Sıvı çelikte alaşım element miktarı %	Alaşım elementlerinin mutlak verimleri %				Düşünceler
	Ni	Co	Cu	Mo	
0-5	96	96	95	96	BAO' da yapılan tüm alaşımli çelikler için geçerlidir.
5-20	95	95	-	93	
20-50	93	-	-	-	
50>	91	-	-	-	

Si, Al ve Ti karbon kaynaması aşamasında tamamen oksitlenerek cürufa geçerler. Bunun için böyle alaşım elementlerinin potada ilave edilmesi uygun olur. Bu durumda Al verimi %85-95 ve Ti verimi ise %60-80 arasında değişir.

Çizelge 4.2 Sıvı çelikteki alaşım verileri (Choudhyry,1992)

Sıvı çelikte (%) alaşım elementi			Alaşım Verileri				Düşünceler
			Ferro- alaşımlardan (%)				Tek cüruf prosesi ile yapılan imalat ve takım çeliklerinde Si ve Al potaya ilave edilmiştir.
Si	Al	Ti	Hurdadan (%)	Si	Al	Ti	
0,1-3	0,1-2	0	0	90-100	85-95		
0,1-3	0,1-2	0,1-0,5	0			60-70	Paslanmaz ve sıcağa mukavim çeliklerde Ti potaya ilave edilmiştir.
		1,5-2,0		90-100	85-95	70-80	

4.4.7.1 Alaşım Maddelerinin Fazlalığı Sorunu

Bu kadar çok alaşım elementinin çeliğe verilme kuralları vardır. Genel uygulamalar şu şekildedir;

- 1.Ni, Mo gibi oksitlenmeyen alaşım elementleri şarjla beraber verilir.
- 2.Banyo sıcaklığı bilinmeli ve alaşım elementlerinin cinsine bağlı olarak belli bir seviyenin üstünde olmalıdır.
- 3.Oksitlenebilir alaşım elementlerinin ilavesi safhasında çelik banyosu mutlaka indirgen şartlarda olmalıdır.
- 4.Alaşım malzemeleri, çelik banyosuna birden değil, partiler halinde atılmalıdır. Böylelikle banyo sıcaklığı düşmemiş olur.
- 5.Yoğunluğu sıvı çelikten fazla olanlar banyonun dibine oturup metali dondurabilir. Bunu engellemek için alaşım malzemeleri ön ısıtmaya tabi tutulur, banyo sıcaklığı artırılır, tercihen manyetik karıştırıcılarla alttan karıştırma yapılır.
- 6.Yoğunluğu sıvı çelikten düşük olanlar; Al, Fe-Si, Fe-Ti gibi alaşım elementleri çelik bir çubuk yardımı ile daldırma veya enjeksiyon şeklinde banyoya ilave edilirler. Potada ilave daha pratik olur.

4.4.7.2 Alaşım Maddelerinin Gaz Sorunu

Alaşım malzemesindeki gaz miktarı düşük olmalıdır. Çünkü ilaveler karbon kaynaması safhasından sonra yapılmaktadır. N_2 , H_2 gibi gazlar çeliğin kalitesini bozmaktadır. Bu sorunu aşmak için ferro-alaşımların ön ısıtmaya tabi tutulmaları ve bu şekilde gazların uzaklaştırılması makul olur. Ayrıca doku yapısı iri olan ferro-alaşımlar daha az gaz içereceğinden boyut analizine dikkat edilirse daha da iyi netice alınabilecektir.

4.4.7.3 Cürufa Geçen Alaşım Elementlerinin Geri Kazanımı

Arıtma sırasında bir kısım elementler değişik sıcaklıklarda oksitlenip cürufa geçerler. Bir oksit oluşurken ne kadar negatif serbest enerji (AF) açığa çıkarsa o oksit o derecede kararlı bileşik olmaktadır. Diğer bir deyişle, bir oksidin teşekkül entalpisi (AH) yani o elementin oksidi oluşurken ortaya çıkarttığı ısı diğerinden fazla ise; teşekkül entalpisi daha az olan diğer bir elementi oksidinden indirger yani onu açığa çıkartmak suretiyle cüruftan çeliğe geri dönmesini temin eder. Örnek olarak paslanmaz çelik yaparken oluşan Cr_2C_3 bileşiğinden, oksit oluşum entalpileri daha fazla olan Al ve Si gibi elementler bileşiği indirgeyerek Cr'u açığa çıkarır. Benzer olarak Mo, Co, Ni ve Cu oksitlerinden Fe tarafından indirgenerek çeliğe dönmeleri sağlanır. Bu nedenlerle alaşımlama işlemi için Fe-Mo ile Co, Ni, Cu metalleri yerine bunların oksitleri direkt olarak kullanılabilir.

4.4.8 Çeliğin Deoksidasyonu

4.4.8.1 Tek Cüruf Yöntemi Uygulandığında

Genellikle nihai deoksidasyon pota içinde yapılır. Deoksidasyon maddeleri ocaktan potaya olan akıntıya atılır. Deoksidanların miktarı sıvı çelikte çözülmüş oksijenin miktarı ile orantılıdır. Oksijen miktarının tesbiti ise, o andaki C miktarı ya da cüruftaki FeO miktarı ölçülerek yapılabilir.

4.4.8.2 Çift Cüruf Yöntemi Uygulandığında

Si ve Al gibi deoksidanlar dökümden hemen önce sıvı banyoya verilir. Al çelikte çokça erir, zararlıdır, %0,01'in altında kalması temin edilmelidir. Al çelik bir çubuk yardımıyla banyoya birdenbire daldırılmalıdır. Ca,Mg gibi çok çabuk buharlaşabilen elementler çelik bir tüp içine konarak potadaki sıvı çeliğe daldırılır. Diğer bir yöntem bunların toz halinde, basınçlı hava ile potaya püskürtülmesidir. Çelik banyonun fazlaca oksitlenmemesi istenir. Daha temiz çelik için karbon kaynamasını çok iyi gerçekleştirmek gerekir. C, deoksidan olarak kullanılırsa CO gazı, karbon kaynamasını gerçekleştirir, daha temiz çelik elde edilir.

4.4.9 Ocaktan Döküm

Günümüzde birçok çeliklerin yapımı sırasında tek cüruf yöntemi uygulamasına doğru bir teamül vardır. Böylece dökümden-döküme geçen süre kısaltılmış olur. Ancak bu durumda oksitleyici cüruf (siyah cüruf) tarafından çelik tekrar oksitlenebilir. Buna mani olmak için oksitleyici cürufu döküm esnasında çelikten tamamen sıyrılmış olmak gerekir.

Çift cüruf pratiğinde ise dökümü indirgeyici cürufyla yapmak gerekir. Kalıplara en uygun döküm sıcaklığını tespit için dikkat edilmesi gereken birçok parametre vardır. Ocaktan döküm süresi, kapasite, potaya yapılacak ilaveler, cüruf hacmi ve potanın ön ısıtılma durumu bunlardan bazılarıdır. Ayrıca her çelik dökümhanesinin özel şartları; örneğin potada sıcaklık ölçme ile numune alma süreleri, kalıp yerinin uzaklığı ve potadan kalıplara döküm süresi vb. vardır. Bütün bu faktörler toplam ısı kaybını etkiler.

Çok yüksek döküm sıcaklıklarında, sıvı çelik hızla atmosferdeki gazları bünyesinde çözer ve katılaşma sırasında ortaya poroz, bozuk bir yapı çıkar. Ayrıca alaşım elementi ve deoksidan sarfiyatlı olur.

Olması gerekenden daha düşük döküm sıcaklıklarında ise çelik donabilir, dökülemez. Pota dibinde büyük artıklar kalabilir. Çeliğin akışkanlığı azalacağından döküm parçası üzerinde soğuk katlar (cold laps) oluşabilir. İnce kenarlı parçalarda da çelik iyi yürümeyeceğinden, kusurlar oluşur. Bu handikaplardan dolayı döküm sıcaklığı, hassas bir şekilde öngörülmalıdır. Aşağıda bu bağlamda, alaşım elementlerinin tesirlerini gösteren bir çizelge verilmiştir.

% C	0-0,5	arasında ise	%1 C	65°C	düşürür.
	0,5-1,0		%1 C	70°C	
	1,0-2,0		%1 C	75°C	
%Cr	0-18		%1 C	1,5°C	
% V	0-1,0	arasında ise	%1 V	2°C	düşürür.
%Mo	0-5,0		%1 Mo	2°C	
%Ni	0-9,0		%1 Ni	4°C	
%W	0-18		%1 W	1°C	
%Mn	0-1,5		%1 Mn	5°C	
%Si	0-3,0		%1 Si	8°C	
%Al	0-1,0		%1 Al	0°C	
%Cu	0-0,3		%1 Cu	5°C	
%Sn	0-0,03		%1 Sn	10°C	
%As	0-0,5		%1 As	14°C	
%S	0-0,08		%1 S	25°C	
%P	0-0,7		%1 P	30°C	

(Saf demirin ergime sıcaklığı 1539°C alınmıştır.)

Genellikle kalıba döküm sıcaklığı, ergime sıcaklığının 50-100°C üzerinde ayarlanır. Aşağıda verilen örnekte TÜBİTAK'ta 500 kg BAO'da yapılan denemelere ilişkin sonuçlar baz alınmıştır.

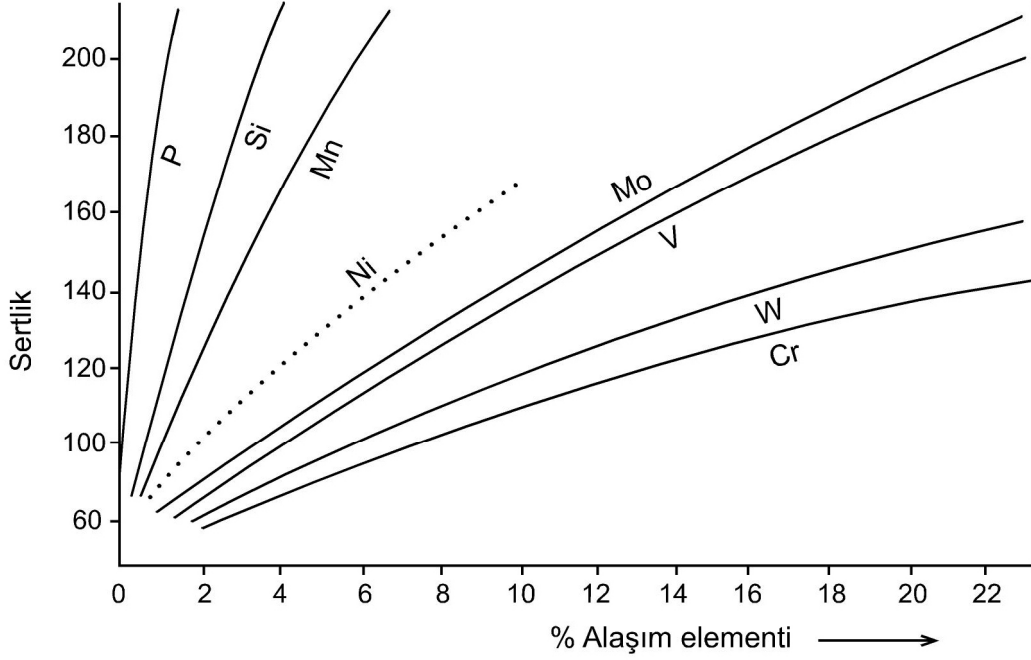
4.5 %18 Cr'lu Paslanmaz Çeliğin BAO'da Üretimi

4.5.1 Genel

Piyasada "Akmonital Çeliği" olarak bilinmektedir. Teorik ergime sıcaklığı 1498 °C'dir. Mikro yapısı tam ferritiktir. Kimyasal bileşimi (%)

C	≤ 0,05	P,S	≤0,025
Si	≤ 0,25	Cr	17-19
Mn	≤ 0,30		

şeklindedir. BAO' da nihai C bileşimini bu derece düşük seviyede tutturmak ve %18 Cr için kullanılacak Fe-Cr' un fazlalığının getireceği sorunları gidermek son derece dikkatli bir çalışmayı gerektirmektedir. Ayrıca bu çeliğin metalik olmayan kalıntılarını özenle giderilmelidir. Paslanmaz özelliğini temin eden Cr'un ferritik yapıda sertliğe etkisi limitlidir.



Şekil 4.11 Saf demir içinde çözülmüş olarak bazı alaşım elementlerinin sertliğe etkileri yukarıdaki grafikte gösterilmiştir. C artışı alaşım elementlerinin sertliği arttırmalarına etki eder (Choudhry,1992).

4.5.2 Ocak Astarı

Bu kalitede bir çeliğin yapılacağı astar kirli ise alaşımsız çok düşük C'lu bir şarj ergitilerek yıkanır. Astar yeni ise benzer şartlarda en az bir veya iki döküm yapılarak, sonuçlar analiz edilmelidir.

4.5.3 Şarj

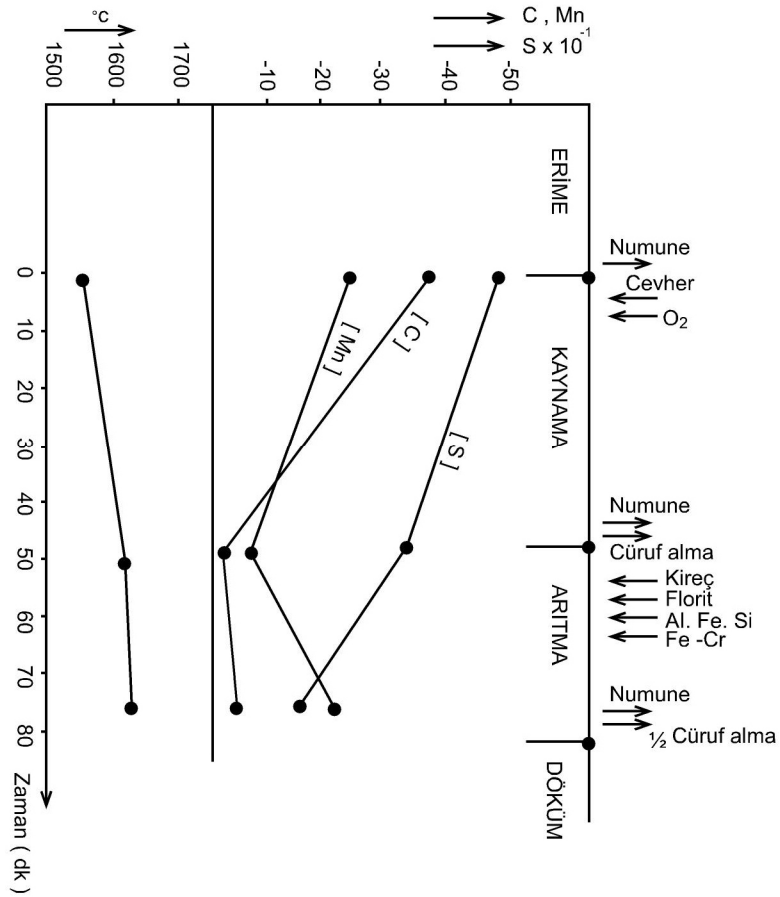
Toplam metalik yükleme için alaşım elementleri de hesaba katılarak 365 kg çelik hurdası kullanılır. Hurdada %0,65 Si mevcutsa, ergime esnasında 5-5,5 kg SiO₂ oluşacaktır. Cüruf bazıklığı; V= CaO/SiO₂ =3 amaçlanırsa ve %60 aktif CaO'li metalurjik kireç kullanılırsa 25

kg yanmış kireç (veya 50 kg kireçtaşı) ocak tabanına konulur. Bu kirecin üzerine hurdanın ağır parçaları ortaya gelecek şekilde şarj yapılır. Elektrotların altına gelecek şekilde hesaplı miktarda kok atılır. Bu kok hem ergime başlangıcını kolaylaştırır, hem de banyoya C verme görevini yapar. Karbon kaynamasının başarılı olması için ortamda %0,4-0,5 karbon bulunmalıdır.

4.5.4 Oksitleyici Cüruf

Ergime tamamlandıktan sonra kullanılan metalurjik kirecin %8-10'u kadar yani 2,5 kg civarında kalsiyum florit ilavesi yapılır. İstenilen cüruf akışkanlığı sağlanır sağlanmaz ara numune alınır. (%0,4 C var) Bu karbonu yakacak oksijen; banyo sıcaklığı 1580°C üzerine çıkınca 9-10 kg vasıflı hematit (11-12 kg manyetit) cevheri ilavesiyle ya da 1,9- 2,0 Nm³O₂ üflenmesiyle temin edilir(O₂ tüpleri kullanılır). Meydana gelen C kaynaması $2C+O_2 \rightleftharpoons 2CO$ reaksiyonu ile oluşurken banyodaki mevcut H₂, N₂ gibi istenmeyen gazlar süpürülerek giderilir. Metalik olmayan kalıntılarda kaynamanın yarattığı karıştırma ile cürufa yüzme imkanı bulacaktır.

Böylece şarjdaki C yanarken P'da oksitlenip kalsiyum-fosfat şeklinde cürufa geçer. (P giderme) Karbon kaynaması durunca ara numune alınır. Analiz sonucu gelene kadar sıcaklık ölçülür ve oksitleyici olan bu siyah cüruf sıyrılarak boşaltılır.



Şekil 4.12 500 kg'lık BAO'da akmonital çeliğinin yapım aşamaları (Choudhyry,1992)

Sıcaklık bu anda 1630°C üzerinde $\%C=0,01$ civarında ve P istenilen seviyelerde gelmelidir. (Ek bilgi: Kullanılan çelik hurda seçilirken P içeriği düşük tercih edilmiştir. P analizi nispeten zor olduğundan ara numunelerde göz önüne alınmamıştır.) Bundan sonra derhal indirgeyici yani beyaz cüruf yapımına geçilir.

4.5.5 İndirgeyici Cüruf

25 kg metalurjik kireç + 2,5 kg kalsiyum florit + 1 kg Al (veya 2 kg Fe-Si) tozu karıştırılıp ocağa verilir. Cüruf oluştuğundan sonra, rengi uçuk gri-beyaz olmalıdır, değilse biraz daha Al tozu ve Fe-Si tozu ilave edilir. Cüruf akışkanlığı da kontrol edilir, gerekirse kalsiyum florit ilave edilir. Sıcaklıkta 1630°C civarında ise düşük C'lu Fe-Mn (C %1,0)'dan 2 kg ve 133 kg ön ısıtmaya tabi tutulmuş (C < %0,1)' lik Fe-Cr partiler halinde boyut aralığı yumruk büyüklüğünü geçmeyecek şekilde ilave edilir.

İlave her partiden sonra banyo karışımı sağlanır ve dipte Fe-Cr kalmadığından emin olunur. Her ihtimale karşı, oksitlenmiş Cr' un çeliğe geri dönmesi için 1 kg Al tozu cüruf üzerine püskürtülür. Deoksidasyonu tamamlamak için 2 kg Fe-Si banyoya ilave edilir.

Pota hacmine göre indirgen cürufun bir kısmı çekilir ve sıcaklık ölçülür. 1640°C mertebelerinde ise ön ısıtılmış potaya döküme geçilir. Ocaktan çelik bir kısım indirgeyici cürufla beraber temas hali devam ettiği için çelik atmosferden korunmuş ve S tasfiyesine bir ölçüde devam edilmiş olur.

Bu aşamada dikkat edilmesi gereken, indirgeyici cüruf oluşur oluşmaz işlemlerin hızlandırılmasıdır. Aksi halde havanın O₂ 'i ile cüruf oksitlenir (siyahlaşır), S çelik banyoya geri döner, alaşım maddelerinin oksitlenerek kaybedilmelerine neden olur.

4.5.6 Sıcak Haddeleme

Elde edilen ferritik paslanmaz ingotların besleyici başlıklarını keserek çekme boşlukları temizlenir. İngotlar sıcak hadde öncesi iç ve yüzey kusurları taşımamalıdır. Kontroller yapılır, dış kabuk soyulur, lokal taşlamalarla yüzey kalitesi iyileştirilir.

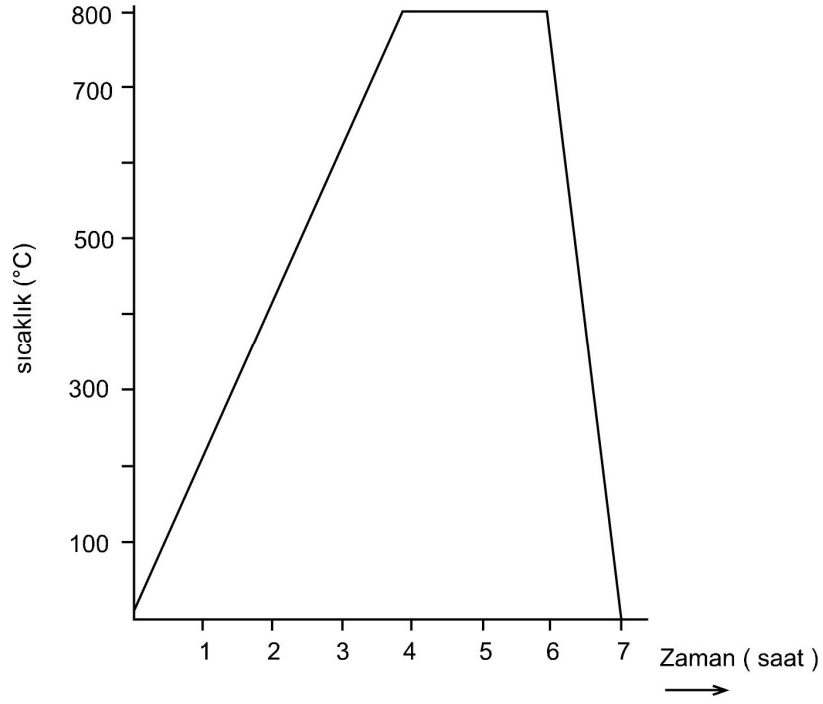
Bilhare ingotlar 750-850 °C sıcaklıktaki ingot ısıtma fırınlarına yüklenerek 1050-1150 °C'ye kadar ısıtılırlar. Isıtma hızı 250 °C saattir. İngot yüzey ve merkez sıcaklığının bu dereceye gelmesi (soaking time) için zamana ihtiyaç vardır. Gereken süre ingot merkezinden her 3 cm için 1 saat şeklinde kabaca hesaplanabilir.

Haddeleme sıcaklığına (1100 °C) merkez ve yüzey açısından çıkıldığında, bu sıcaklıkta beklenmesi sakıncalıdır, tane büyümesi olur. Tane büyümesi ise haddeleme sonrası yüzey kusurları oluşmasına neden olur.

Söz konusu çelik yumuşak karakterde olduğundan haddeleme bitiş sıcaklığı 820 °C'yi geçmemelidir. Aksi takdirde yayılma kusuru olur. Ferritik paslanmaz çelik 1000°C civarında deformasyona R=6 kg/mm² nispetinde direnç gösterir. Küçük taneli doku yapısı için hadde ikmal sıcaklığının daha da düşürülmesi gerekir. Paso derinlikleri (genelde %30-40) tecrübe ile tespit edilir. Sıcak hadde ikmal kalınlıkları, yüzey kalitesine ve haddeleme özelliklerine bağlı olarak 3-5 mm'e kadar düşürülebilir.

4.5.7 Normalizasyon Tavlaması

4-5 mm kalınlığa kadar sıcak haddelenmiş malzemeler bobin halinde veya kesilmiş demet halinde soğuk haddelemeden önce 800-820 C'ye ısıtılır. 2 saat kadar bu sıcaklıkta tutulur. Sonra durgun havada soğutulur.



şekil 4.13 Normalizasyon tavlaması (Choudhry,1992)

4.5.8 Soğuk Haddeleme

Normalizasyon tavlamasından sonra dekapaj işlemi yapılır. Bu işlem malzemenin tufal kırııcılardan geçmesi ve asitle yüzey oksitlerinin temizlenmesinden ibaret olup işlem sonucu yüzey, mat beyaz görünüm kazanır. Kenar kesme yapılır. Bu malzemelerin Brinell sertlik değerleri 120-140 nispetindedir. Bu değer malzemenin yumuşak karakterde olduğunu ifade eder ve pekleşme olmaması için verilebilecek toplam paso derinliği %60 civarı olabilir. %60'lık bir deformasyon 240-260 BSD sağlar. Bu eliğin oda sıcaklığında akma dayanımı 28 kg/mm² civarında olup artan deformasyonla 56 kg/mm² ' ye çıkılması mümkündür. Fakat bunun için ara tavlamar gerekebilir.

4.5.9 Parlak Tavlama

Yüzeylerin yeniden oksitlenmesini önlemek için kuru hidrojen ortamda tava ihtiyaç vardır. Evvela parlak yüzeylerde olabilecek yağ ve diğer pislikler iyice giderilir, kurutma yapılır. Parlak tav fırınına yükleme yapıldıktan sonra fırına 30 dak. süre ile kuru H₂ gönderilerek argon fırından çıkarılır. Saclar kuru H₂ atmosfer altında 950-1050°C'ye ısıtılır ve 50-70 dak. tavllanır. Sıcaklık hızla 50-75°C' ye düşürülür. Malzemeler açık havaya çıkarılmadan önce fırına argon basılarak, H₂ ortamdaki uzaklaştırılır. Parlak tav sonrası sertlik 100-130 BSD olmalıdır.

4.6 Östenitik Paslanmaz Çeliğin 0,5 Tonluk BAO'da Üretimi

4.6.1 Genel

Bu cins çeliklerin mikro yapısı östenitiktir. Paramagnetiktirler. DIN-X12-CrNiTi189 cinsi çeliğin kimyasal bileşimi (% ağırlık) aşağıda verilmiştir.

C ≤ 0,12	S ≤ 0,03	Ni:8-11
Si ≤ 1,0	P ≤ 0,045	Ti ≥ 4xC
Mn ≤ 2,0	Cr: 17-19	

4.6.2 Cüruf Pratiği

İstenilen miktarda P ve S giderme için çift cüruf yöntemi uygulanır. Cüruf bazıklığı V=3 seçilir ve 20-25 kg metalurjik kireç (veya 40-50 kg kireçtaşı) ocak tabanına konulur. Bu cüruf yapıcılar nemsiz olmalıdır.

4.6.3 Şarj Pratiği I

Ara analiz imkanı yoksa karbon çeliği hurdası ile çalışılır. 320 kg hurda kullanılır, (örneğimizdeki fırınının kapasitesi 500 kg'dır) Bu aşamada, normun izin verdiği miktarda nikelli hurda şarja eşlik edebilir. Eğer elektrolitik nikel kullanılacaksa C istenen seviyeye düştükten sonra 45 kg nikelin banyoya verilmesi uygundur.

4.6.3.1 Oksitleyici Cüruf

2,5 kg kalsiyum florit ilavesi yapılır. Banyoda %0,40-0,45 C bulunmalıdır. 1580°C üzerinde O₂ veya demiroksitler kullanılarak karbon kaynaması gerçekleştirilir. O₂, 30 m³/saat/ton'luk bir debi ile üflenmelidir. Kaynama hareketi durunca numune alınır ve sıcaklık ölçülür. T=1630°C civarında; C=0,01'e düşmüş ve P'de 0,04'e inmişse derhal oksitleyici cüruf alınır, diğer safhaya geçilir

4.6.3.2 İndirgeyici Cüruf

İlaveler; 25 kg metalurjik kireç (veya 50 kg kireçtaşı), 2,5 kg kalsiyum florit, 1 kg Al (veya 2kg Fe-Si) tozu, 3,5 kg düşük C'lu (\leq %1,0) Fe-Mn ve 133 kg düşük karbonlu (\leq %0,1) Fe-Cr şeklindedir.

4.6.4 Şarj Pratiği II

Geri dönen östenitik paslanmaz çelik hurdası kullanıldığında ara analiz imkanları olmalıdır. Ayrıca bu pratikte P gidermesi söz konusu olmadığından şarjdaki P muhteviyatı normdaki değerde ve düşük olmalıdır. Karbon kaynamasından evvel ara analizde C=%0,45, Cr=%13 değerleri elde edilmelidir. T=1600°C üzerinde ise O₂ üflemesine geçilir. Ara analizden sonra norma uygun çelik için son ilaveler cüruf üzerinden yapılır ve potaya döküm gerçekleştirilir (Tek cürufla çalışma) veya Cr'un tamamı indirgenip çeliğe geçtikten sonra cüruf alınır. (Alınan cüruf %2-4 Cr içerebilir) ve yeni indirgen cüruf (Kireçtaşı + Ca-florit + Fe-Si şeklinde) yapılır. Ara analiz sonuçlarına göre cüruf üzerinden alaşım elementi ilaveleri yapılır, döküme geçilir (Çift cürufla çalışma). Deoksidasyon için en iyi yol, biraz Al kullandıktan sonra Ca-Si-Mn veya Ca-Si-Mg ilave edilmesidir. Ti, karbür ve nitrür stabilizörü olarak deoksidasyondan sonra $5 \times \% C = \% Ti$ şeklinde kullanılır. Stabilizör olarak Nb'de kullanılabilir. $8 \times \% C = \% Nb$ oranı kafidir. Döküm sıcaklığı, çelikteki H₂ ve kalıbın rutubeti önemlidir. Döküm sıcaklığı 1500-1600°C seçilebilir. Östenitik paslanmaz çelikler ısıya ve korozyona direnç gerektiren her türlü uygulamalarda kullanım yeri bulurlar.

4.7 Çok Düşük Karbonlu Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Üretimi

4.7.1 Genel

Bu çelik östenitik Cr-Ni paslanmaz çeliği gibidir. Fakat $\% C \leq 0,03$ olması istenir. Çünkü bu seviyedeki C, kromkarbür oluşturamaz. Böylelikle kromkarbürlerin taneler arasına çökerek korozyon oluşturması önlenir. ELC (Extra Low Carbon grade) olarak bilinir. Nb ve Ti ile karbonu stabilize edilmiş östenitik paslanmaz çeliğin alternatifidir.

4.7.2 Şarj

4.7.2.1 Karbon Çeliği Hurdası Kullanılırsa

Ergime sonrası C %0,40-0,45 ve sıcaklıkta 1600°C civan olursa başarılı bir karbon kaynaması gerçekleştirilir. O₂ üfleme ve C kaynaması durunca ekzotermik reaksiyonlardan dolayı banyo sıcaklığı 1750°C ve üstüne çıkabilir. Bundan ötürü magnezit astar kullanımı önem kazanır. % C, oksitleyici cüruf aşamasından sonra 0,01-0,02 değerlerine inmiş olmalıdır, karbon bu seviyelere inince banyodaki çözülmüş oksijen miktarı hayli yükselmiş olur. Oksitleyici cürufun alınmasından sonra banyo tam deokside edilir ve derhal indirgeyici cüruf yapılır. Bu cüruf üzerinden çok düşük C'lu (%0,01-0,02 C) Fe-Cr ilavesi yapılır. ELC çeliği üretiminde en büyük tehlike grafit elektrotlardan C kapma olayıdır. Bu nedenle cürufsuz ergitme ve alaşımlandırma yapmak sureti ile ELC çeliği üretilemez. Banyo yüzeyinin tamamen cürufla kaplı olması gereklidir. Döküme hazırlanmış ve ön ısıtmaya tabi tutulmuş potaya indirgeyici cürufla beraber çelik boşaltılır.

4.7.2.2 Geri Dönen ELC Çelik Hurdaları Kullanılırsa

Ergime sonrası %0,40-0,45 C ve %13,5-14,5 Cr olacak şekilde bir şarj tipi uygulanır. Proses oksitlenen Cr miktarı çok fazla olması dezavantajına sahiptir. Cürufun deokside edilerek Cr'un geri kazanımı sağlanırken, Cr elektrotları C kapabilir. Bu tehlikeye karşı tedbir alınmalıdır. Cürufun durumu en önemli parametredir.

5. POTA METALÜRJİSİ

5.1 Genel

Son yıllarda ark ocaklarında çelik yapım işleminde değişiklik yapılarak pota metalürjisi işlemine geçilmiştir. Yani çelik yapım safhalarının hepsini ark ocaklarında tamamlamayıp bir kısmının potada yapılması gibi bir uygulamaya başlanmıştır. Pota metalürjisinin 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, zaman kazanılır. Çelik yapımının sonraki kademelerine potada devam edilir. Diğer bir ifadeyle numune alma, analiz sonuçlarına göre alaşımlama, sıcaklık ayarlama, S giderme, karıştırma v.s. gibi çelik yapım safhalarının hepsi potada tamamlanmaktadır. Bu işlemler;

- 1- Pota Fırınında desülfürizasyon yapılır. Sülfür içeriği % 0.008'in altına indirilir,
- 2- Alttan argon üflenerek homojen bir karıştırma sağlanır,
- 3- Sıcaklık ölçümü yapılır ve sıvı çelik döküm sıcaklığına getirilir,
- 4- Stabilize edilmiş paslanmaz çelik üretimi için Titanyum ve Niyobyum ilavesi yapılır.

5.2 Pota Metalürjisinde Kullanılan Başlıca Gereçler

5.2.1 Pota

Ark ocağında ergiyen sıvı metalin boşaltıldığı yerdir. Yüksek sıcaklığa mukavim refrakter astar vardır. Alaşımlandırma ve diğer safhalar burada gerçekleştirilir.

5.2.2 Numune Alma ve Sıcaklık Ölçme

Çelik banyosunun tamamını temsil edecek şekilde numune alma ve sıcaklığını ölçmek için otomatik sistemler vardır. Kimyasal bileşim ve sıcaklık hassas bir şekilde tespit edilebilmelidir.

5.2.3 Karıştırma Sistemi

Pota tabanından argon veya azot üfleyerek potadaki çelik merkez ile yüzeyi arasında homojen kimyasal bileşim ve sıcaklık dağılımı temini için sıvı çelik banyosu karıştırılır. Bu işlemin bir

faydası da çeliğin içindeki empürütelerin bir kısmının pota yüzeyine doğru yözdürölerek cürufa yönlendirilmesidir.

5.2.4 Potada Vakum Sistemi

Çelikteki gazları gidermeye çalışmak, metalik olmayan kalıntıların bilhassa oksijen kökenli olanların sayısını azaltmak ve daha arındırılmış çelik yapmak için vakum sistemi gereklidir.

5.2.5 Isıtma Sistemi

Potada çelik yapım safhalarında gerekli sıcaklık kaybını karşılama ve döküm sıcaklığını ayarlamak için ark ocağına benzer bir sistemi vardır. Yani elektrotlar, elektrot tutucuları ve su soğutmalı kabloları mevcuttur. Bu durumda ark ocağında refrakter tuğla sarfiyatı da azalmaktadır.

5.2.6 Cüruf Sıyırma Sistemi

Üst kısımda oluşan cüruf ile alttaki sıvı çelik banyosu arasında tersinir reaksiyonlar olur. Oksijen üfleme ve kükürt giderme safhalarında sözü edilen cüruf miktarı daha da artar. Kireç ilavesiyle cürufun baziklik derecesi ayarlanırken oksijen alıcılar kullanılarak indirgen cüruf karakteri sağlanır. Bu sırada cüruf hacminde artış devam eder. Çelik kalitesini iyileştirmek için bu cüruf zaman zaman sıyrılarak alınır.

5.2.7 Oksijen Üfleme Sistemi

Sıvı banyodan karbon fosfor gibi bazı elementlerin miktarını azaltmak diğeri bir deyişle onları oksitleyerek bir kısmını gaz halinde atmosfere diğeri bir kısmını da cürufa göndermek yani oksitleyici cüruf elde etmek için sıvı çelik banyosuna oksijen üflenir. Karbon oksitlenerek gaz halinde banyoyu terk ederken, hidrojen gibi bazı gazlar difüzyon yoluyla karbona geçer ve çeliği terk ederler. Karbon miktarı üretim sonundaki hedeflenen norm değeri altında kalacaksa grafit ilavesi yapılır.

5.2.8 Toz Enjeksiyon Sistemi

Bazen çok düşük kükürtlü çeliklerin üretilmesi istenir. Optimum koşullarda bile (bazıliklik açısından) kükürt tamamen giderilemez. Çözüm kükürde afinitesi yüksek elementlerin toz halinde sıvı çeliğe püskürtülmesidir. Kükürt bileşikleri yoğunlukları, çeliğe nispetle düşük olacağından bunlar yüzeye çıkar. Böylece istenen kükürt seviyelerine inilir.

5.2.9 Alaşım İlave Sistemleri

Pota ocağının üst kısmında, ocaktan daha yüksek bir seviyede, bunker, taşıyıcı band veya oluklar şeklinde bir düzenek vardır. Bu sistem yardımı ile alaşım elementleri potaya şarj edilirler.

5.2.10 Pota Ön Isıtma Sistemi

Sıvı çelik pota ocağına alınmadan önce potanın 1000-1100 °C seviyelerinde ısıtılması gereklidir. Öyle ki çelik likidüs sıcaklığının yaklaşık 130°C üzerinde iken bu potaya alınırsa potadaki çelik sıcaklığı likidüs üzerinde 70°C civarında olur. Bu kaybın önlenmesi gereklidir. Bu aşamada potadaki çeliğin sıcaklığı ölçülür, hemen enerji verilerek potadaki çeliğin sıcaklığı döküm sıcaklığına ayarlanır.

5.3 Elektrik Ark Ocağından Pota Ocağına Döküm

Üretim çeliğin cinsine bağlı olarak ergime sıcaklığının 120-150°C üzerinde iken döküm, elektrik ark ocağından pota ocağına boşaltılır. Boşaltma sırasında gerekli alaşım malzemeleri ve cüruf yapıcılar sıvı çelik akıntısına verilir. Sonra potaya alınan çeliği karıştırmak için dakikada 185 litre debi ile pota tabanındaki gözenekli tuğla vasıtasıyla azot üflenir. Bu arada elektrik ark ocağı derhal dik konuma getirilir. Pota ocağı ise pota arabasına bindirilir. Potadaki çeliği temsil edecek numune alınır ve sıcaklık ölçülür. Potanın ön ısıtması yapıp 900-1000°C mertebesine gelmişse, potadaki sıvı çeliğin, ergime sıcaklığının 70-100°C üzerinde bir sıcaklığa çıkartılması kafi olacaktır. Daha sonra azot debisi 135 lt/dk' ya düşürülür. C ve Si ilaveleri, çözünmesi geç olduğundan daha sonra da Mn ilavesi yapılır. S düşürüldükten sonra döküme geçilebilir.

6. EAF/AOD YÖNTEMİ

6.1 Genel

Paslanmaz çeliklerin ergitilmesi (EAF-elektrik ark fırını) ve rafine edilmesini (AOD-argon-oksijen dekarburizasyonu) içeren bu iki aşamalı proses, günümüzdeki üretimin ABD'de %90, dünyada %75'ini kapsar. Şarj elektrik ark fırınında ergitilir. Şarjı oluşturan preslenmiş paslanmaz çelik hurdası, hedeflenen nihai bileşim normu dikkate alınarak seçilir. Karbon çeliği hurdası, yüksek karbonlu ferrokrom alaşımı ve muhtemelen nikel, molibden ihtiva eden malzemeler şarjın genel karakteristiğini oluşturur. Fırın kapağına yerleştirilmiş olan karbon elektrotları üç fazlı alternatif akım oluşturarak şarjın ergimesini temin ederler. Ergimiş metal AOD konverterine transfer edilir. EAF/AOD prosesine ilgi 1970'li yıllardan itibaren artarak devam etmiştir. Böylelikle, gelişim gösteren sürekli döküm maliyet açısından ekonomik bir hal almış ve ürün kalitesinde gelişme meydana gelmiştir. Ayrıca bu sayede yeni paslanmaz çelik çeşitleri geliştirilmiştir. Geliştirilen bu modern çeşitler, klorür oyuklanması ve çatlama korozyonuna, geleneksel östenitik 304-316 tiplerine nazaran daha iyi dayanım göstermişlerdir. EAF/AOD prosesi sayesinde geliştirilen bu yeni tiplere örnek olarak; ferritik demir-krom-molibden kompozisyonları (%18-30 Cr, %1-4Mo,%4 Ni max) , yüksek nikelli östenitikler (%25-35 Ni, %3-6 Mo, %20-22 Cr) %50 östenit / %50 ferrit yapıları dubleksler (%18-26 Cr,%1,5-3,5 Mo, %5-6Ni) gösterilebilir. EAF/AOD prosesinin getirdiği yeniliklerden biride; %0,25'lik azotla dubleksdeki ferrit östenit dengesinin kontrolünü mümkün kılmasıdır.

Paslanmaz çelik üretimi için birçok farklı metot bulunmaktadır. Günümüzde bu metodları dubleks (2 aşamalı) ve tripleks (3 aşamalı) olarak ayırmak mümkündür. Burada yöntem seçimi yapılırken hammadde olanaklarına, istenilen kalitelerin özelliklerine, arz-talep dengelerine göre seçim yapılması gerekmektedir. Dünyada paslanmaz çelik üretiminde 2 aşamalı üretim metodu olarak izlenen yol EAF/AOD üretim aşamalarıdır. Dünya paslanmaz çelik üretiminin %70'ı EAF/AOD üretim metodu ile gerçekleştirilmektedir. 3 aşamalı üretim için AOD konverterinin ardından vakum altında işleme devam edilmesi gerekmektedir. Bunun için VOD kullanılır. VOD ile çok düşük karbon, azot ve kükürtlü çelik üretimi gerçekleştirilebilir (Peckner,1977).

6.2 Elektrik Ark Fırını (EAF)

Karbon çeliği üretiminde kullanılan elektrik ark fırınlarıyla, paslanmaz çelik üretiminde kullanılan fırınlar arasında fark yoktur, her iki üretimde de kullanılabilirler (Yılmaz, 1996). Ancak paslanmaz çelik üretiminde oksijen üfleme işlemleri AOD'de yapıldığından gaz üfleme tüyerleri EAF'de kullanılmaz. EAF 'de paslanmaz çelik üretimini 4 ayrı bölüme ayırabiliriz. Bunlar;

1. Ön ısıtma
2. Şarj etme
3. Ergitme
4. Şarj alma

6.2.1 Ön Isıtma

Hurda şarj edilmeden önce ön ısınmaya tabi tutulmalıdır. Böylece hurdanın üzerinde kalmış su buharlaştırılarak uzaklaştırılır. Aksi halde hurda içinde kalan su şarj etme esnasında patlama veya suyun parçalanması hidrojen miktarının artmasına sebep olabilir. Ön ısıtma hurdanın 200-500°C sıcaklığa çıkartılmasıyla gerçekleştirilir. Daha yüksek sıcaklıklara çıkılması ısı transfer verimini düşürür ve maliyeti artırır. Yüksek sıcaklıklarda hurdanın kaynaklanması veya köprülenme problemleri yaşanır ve şarj esnasında sorun teşkil eder.

6.2.2 Şarj Etme

Şarj yapılmadan önce döküm arası boşlukta hazne ve duvar tamiri yapılır. Haznenin tamiri için çeşitli bağlayıcılar katılmış, küçük tanecikli dolomit veya manyezittir. Bunların sarfiyatı ton çelik basma 30 kg'a kadar çıkabilir. Şarj edilecek malzeme, şarj kovaları ile fırına yüklenir. Şarj içinde karbon çeliği hurdası paslanmaz çelik hurdası, ferrokrom, kireçtaşı ve üretilecek çelik kompozisyonuna bağlı olarak diğer alaşım elementleri bulunur. Kireçtaşı, ergime sırasında oluşacak silikayı nötralize etmek için kullanılır. Ağır hurda haznenin altına yerleştirilir bunun sebepleri fırının astarını korumak ve ağır parçaların ergitme sırasında düşüp elektrotlara zarar vermesini önlemektir. Hafif hurda şarjı en son yapılmalıdır böylece en üstte yer alarak ark elektrotlarından gelen ısı absorblanacak ve yan duvarları koruyacaktır. Eğer 2 şarj yapılacaksa ilk şarjın %75'inin ergimesi tamamlandıktan sonra 2. şarj yapılmalıdır. Alaşımlandırıcılar şarjla beraber EAF'ye verilir. Hurdaları yoğunluklarına göre ayırırsak;

Hafif hurda.....	300-800 kg/m ³
Normal hurda.....	1,000-4,000 kg/m ³
Ağır hurda.....	4,000-4,800 kg/m ³

6.2.3 Ergitme

Şarj yapıldıktan sonra ergitme başlangıcında duvar ve tavanı arkın radyasyonundan korumak için elektrotlar çok hızla bir şekilde şarjın içine indirilmelidir. Şarj eridikten sonra arkın radyasyonu tavan ve duvar astarına zarar vermeye başlar. Bunu önlemek için arkın gücü azaltılır. Fırın astarlarının aşınması arkın gücüne ve voltajına bağlıdır. Ayrıca ocaktan çıkan gazlar ve cüruf da astar aşınmasında etkilidir. Ergitme sırasında sıcaklık 1530-1550°C çıktığında analiz için örnek alınır. Eğer üretilecek çelik bileşimi içinde nikel ve molibden de varsa, ergime koşullarında oksitlenmedikleri için bunlar alaşımlayıcı olarak eklenirler (Chaulet, 1997).

6.2.4 Şarj Alma

Sıvı paslanmaz çelik yaklaşık her 70 dakikada bir boşaltılır. Fırında sıvı çeliğin aktığı ağız vardır ve boşaltım sırasında eğilir. Cüruf potasına alınan sıvı çelik üzerinden cüruf sıyrılır. Cürufa eklenecek boraks, cürufun inşa işleri ve yol yapımında yan ürün olarak kullanılmasını sağlar. Numune alma, sıcaklık ve kalan cüruf miktarının tespiti AOD'ye beslemeden önce yapılır (Gould, 2007).

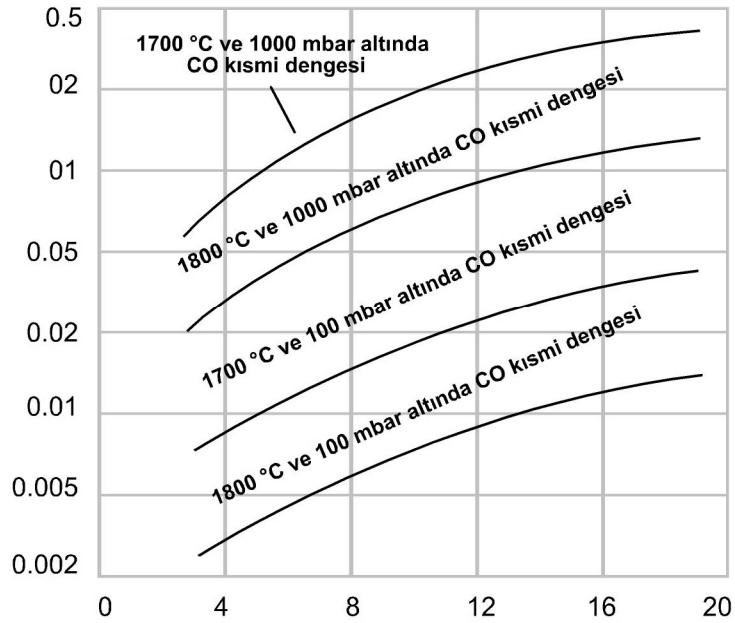
6.3 Argon-Oksijen Dekarbürizasyonu

AOD, operasyon ve malzeme maliyetleri düşüren verimi arttıran ikincil bir rafinasyon prosesidir. Ekonomik olduğu gibi istenmeyen kalıntı ve gazlardan arınmış yüksek mekanik özelliklere haiz temiz ve kaliteli paslanmaz çelik üretimini mümkün kılar. Kapasite 1 ila 175 ton arasındadır. Metal banyosuna, tüyerelelerden oksijen, argon ve azot üflenir. AOD prosesini anlamamız için C, Cr, Cr₃O₄ ve CO arasında cereyan eden reaksiyonların termodinamiğini incelememiz gerekir.



$$\text{Denge sabiti} = K = \frac{(a_C)^{3/4} (P_{CO})}{(a_{Cr_3O_4})^{1/4} (a_c)} \quad (6.2)$$

Bu ifadeden anlaşıldığı gibi CO'in kısmi basıncı düşürüldüğünde artan karbon miktarı ile dengeli olarak açığa çıkan Cr miktarı artacaktır. CO'in kısmi basıncını düşürmek için paslanmaz çeliğin dekarbürizasyonu esnasında oksijen karışımı ve inert gaz enjekte edilebilir.



Şekil 6.1 Karbon-Krom denge eğrileri. (ASM, 1990)

Şekil 6.1' de CO' in kısmi basıncı, sıcaklık parametrelerine göre krom ve karbon miktarlarındaki değişime işaret edilmektedir. CO'in kısmi basıncındaki azalmalar, karbon seviyesinde düşüşe ve krom seviyesinde artışa neden olmaktadır. Paslanmaz çelik rafinasyonunda C içeriğini %0,05'in altına çekmek önem arzeder. Dekarbürizasyon nihayetlenince düşük C içerikli ferrokrom ve diğer ferro alaşımlar sıvı metale eklenir. AOD konverterlerinde refrakter dolomit olarak seçilmektedir. Japonya'da ise magnezit krom refrakter kullanımı yaygındır. AOD konverterlerinde sistemdeki işleyiş monitör yardımıyla izlenir. Bilhassa üflenen oksijenin debisi sürekli kontrol edilir. Fabrikada en azından üç adet AOD konverteri bulunmalıdır. Birinde proses uygulanırken diğeri ön ısıtmaya tabi tutulur ve

üçüncüsüde ön ısıtılmış halde sırada bekletilir. Full otomatik sistemler olduğu gibi manuel uygulamalarda halen mevcuttur.

Konverterde üflenen oksijen ve inert gaz arasında, normdaki karbon bileşeni dikkate alınacak şekilde orantı kurulur. Bu orantı, azalan karbon seviyelerine göre (3:1, 1:1, 1:3) şeklindedir. Örneğin 409 çeliği %11 Cr içerir ve oksijen argon oranı 3:1 şeklinde kullanılırsa 0,2 %C seviyesi elde edilir. Benzer olarak, 1:3 için 0,003%C ve %18 Cr'lu çelik için 3:1 oranında %0,6 ve 1:1 oranında 0,4%C, son olarak da 1:3 için 0,003%C içeriğine ulaşılır.

Bir diğer örnek 304 kalite çelik olabilir;

Çizelge 6.2 304 kalite paslanmaz çelik için AOD konverterindeki proses parametreleri
(Toplam gaz akış debisi $\cong 1,5 \text{ m}^3/\text{dk/ton}$) (Cömert, 2001)

Karbon seviyesi (%)	Gaz Oranları			Kısmi Basınç (atm)			Sıcaklık (°C)
	O ₂	N ₂	Ar	Ar	N ₂	CO	
3,0-0,7	4	1	-		0,14	0,86	1510
1,0-0,25	3	1	-	-	0,20	0,80	1700
0,25-0,12	1	1	-	-	0,53	0,47	1700
0,12-0,04	1	-	3	0,83	-	0,17	1730
0,04-0,01	1	-	8	0,96	-	0,04	1730

Dünyada paslanmaz çelik üretiminin %75'den fazlası AOD yöntemiyle yapılmaktadır. Ham çelikten paslanmaz çeliğe dönüşüm gerçekleştirilen konverter, refrakterle astarlanmış çelik bir tank şeklindedir. Refrakter olarak genellikle dolomit tuğla kullanılmaktadır.

AOD'de adım adım paslanmaz çeliğin son bileşimine ulaşılır. Elektrik ark fırınında istenilen analizi karşılayacak şekilde krom ilavesi yapılmış olarak ergitilen çelik, cürufu alındıktan sonra, AOD konverterine alınır.

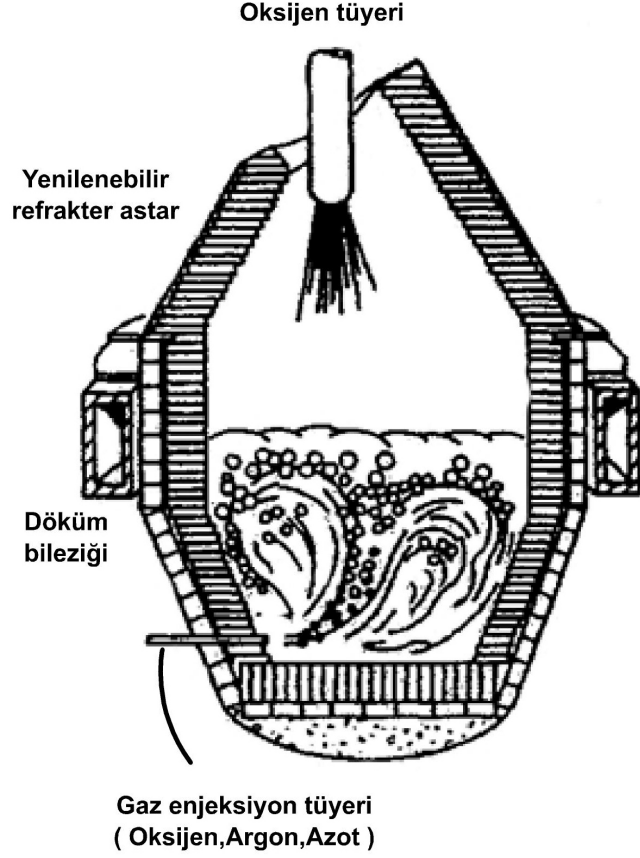
Dekarbürizasyon için üstten ve yanlardan argon ile seyreltilmiş oksijen yüksek hızlarda eriyiğe gönderilir. Paslanmaz çeliğin dekarbürizasyonunda oksijen-argon gaz oranı, karbon miktarı düştükçe azaltılmalıdır. %11 krom içeriğine sahip AISI 409 paslanmaz çeliğinin dekarbürizasyonunda oksijen-argon oranı önce 3:l'dir. Karbon miktarı %0.2'ye indirildikten

sonra oksijen-argon oranı 1:3'e getirilir. %18 krom içeren AISI 304 paslanmaz çelik üretiminde ilk üflemede oksijen-argon oranı 3:1'ken, karbon oranı %0.6'ya indikten sonra gaz karışımının oranı 1:1 ayarlanır. Karbon oranı %0.4'e geldikten sonra 3. üflemede oksijen-argon oranı 1:3 seviyesindedir. Dekarbürizasyonda aşamalı bir üfleme yapılmasının nedeni metal verimini (özellikle krom) yüksek tutmaktır (Cömert, 2001).

Çizelge 6.3 AISI 304 paslanmaz çeliğin konverterde gaz üfleme işlemleri

Üfleme 1 3:1 O ₂ :Ar	Üfleme 2 1:1 O ₂ :Ar	Üfleme 3 1:3 O ₂ :Ar	Saf argon ile indirgeme
Dekarbürizasyon			İndirgeme

Bu işlemler sonucunda çelik içerisindeki karbon oksijen ile yakılarak banyo dekarbürize edilir ve karbon içeriği istenilen seviyeye indirilir. Bu aşamada alaşımın bileşimindeki karbon yakılarak, gerekiyorsa %0.01'ye kadar düşürülebilir. Yüksek hızla gönderilen gaz karışımı, banyoyu karıştırır ve reaksiyonu hızlandırır. Argon gazı, hem sıcaklık artışını engeller hem de karbon monoksit kısmi basıncını düşürür. Oksitlenme eğilimi yüksek olan krom bu aşamada cürufa geçer. Bu nedenle krom ilavesinin büyük bir kısmı karbon giderme işlemi bittikten sonra yapılır. Dekarbürizasyon işleminden sonra kimyasal analiz yapılır. Analiz sonucu istenilen değerleri veriyorsa sülfürizasyona geçilir.



Şekil 6.2 Argon Oksijen dekarbürizasyon konverterinin şematik gösterimi (Cömert, 2001).

Sülfürizasyon işlemi tek cüruf alma yöntemi ile yapılırsa sülfür miktarı %0.01 seviyelerine indirilebilir. Eğer çok düşük sülfür miktarı isteniyorsa minimum 3 dakika 2. cüruf alma işlemi uygulanır. Bu sayede sülfür miktarı %0.001'e indirilebilir.

İndirgeyici cüruf uygulaması ile oksijen üflemesi sırasında oksitlenen metaller tekrar geri kazanılır. Şarj içine silis ve alüminyum oksit eklenerek indirgeyici bir cüruf oluşturulur. Krom verimi %97 civarındayken, nikel ve molibden verimi yaklaşık %100'dür (Cömert, 2001).

Şarj alma, numune alma ve döküm alma işlemlerinde konverter yatay pozisyona getirilir. Bileşim ve sıcaklık istenilen seviyeye geldiğinde pota yatay konuma getirilerek döküm potasına alınır. Bu aşamada da alaşıma bazı elementler ilave edilir ve eriyiğin homojenleşmesi için argon gazı ile eriyik karıştırılır. Bu yöntemde proses kontrolü mükemmeldir. Başlangıçta %1.0 - 0.2 seviyesindeki karbon miktarı %0.01'e seviyelerine indirilir. AOD 'de istenilen krom yüzdesine daha düşük karbon seviyesinde ulaşıldığından hammadde ihtiyacı daha azdır (Schlebusch,1990).

Çizelge 6.4 AISI 304 paslanmaz çeliğin AOD konverterinde üretiminde sarfiyat (Cömert, 2001)

	Ortalama Değerler	En Verimli Koşullardaki Değerler
Argon (Nm ³ /ton)	12	9
Azot (Nm ³ /ton)	9-11	9
Oksijen (Nm ³ /ton)	25-32	20
Kireçtaşı (kg /ton)	50-60	42
Alüminyum (kg /ton)	2	1
Silisyum (kg /ton)	8-9	6
Refrakter Tuğla (kg /ton)	5-9	2
İşlem Süresi (dakika)	50-80	40
Toplam Krom Verimi (%)	96-97	99.5
Toplam Manganez Verimi (%)	88	95
Toplam Metal Verimi (%)	95	97
% 1.8 Karbon, % 0.05 N ₂ , % 0.005 S ile başlayan döküm için		

6.3.1 AOD Prosesinin Avantajları

1. Düşük üretim maliyeti ve yüksek verimdir.
2. Şarj da daha ucuz olan yüksek karbonlu ferrokrom kullanabilme imkanındır.
3. Krom kazanımının daha iyi olmasıdır.
4. Bilgisayar kullanılarak bileşim oranlarının hassasiyetinin artırılması; eriyiğin spektrografik analizi bilgisayara direk geçilerek floppy diskte saklanabilir, AOD operatörü analiz verilerine göre hareket eder. Karbon ve sülfürün oksitlenmesini dijital analiz işlemesi takip eder ve spektrografa datayı yönlendirir. Dijital olarak gaz analizi yapan detektörler oksijen, hidrojen ve azotun sistemdeki mevcudiyeti ile bilgiyi, bilgisayara geçer. Tüm bu elektronik donanımlar sayesinde tam kontrol sağlanır.

5. Argon gazının karıştırıcı şeklinde üflenmesiyle uniform bir yapı elde edilir.

6. Non-metalik kalıntılarda daha düşük seviyeler elde edilir.

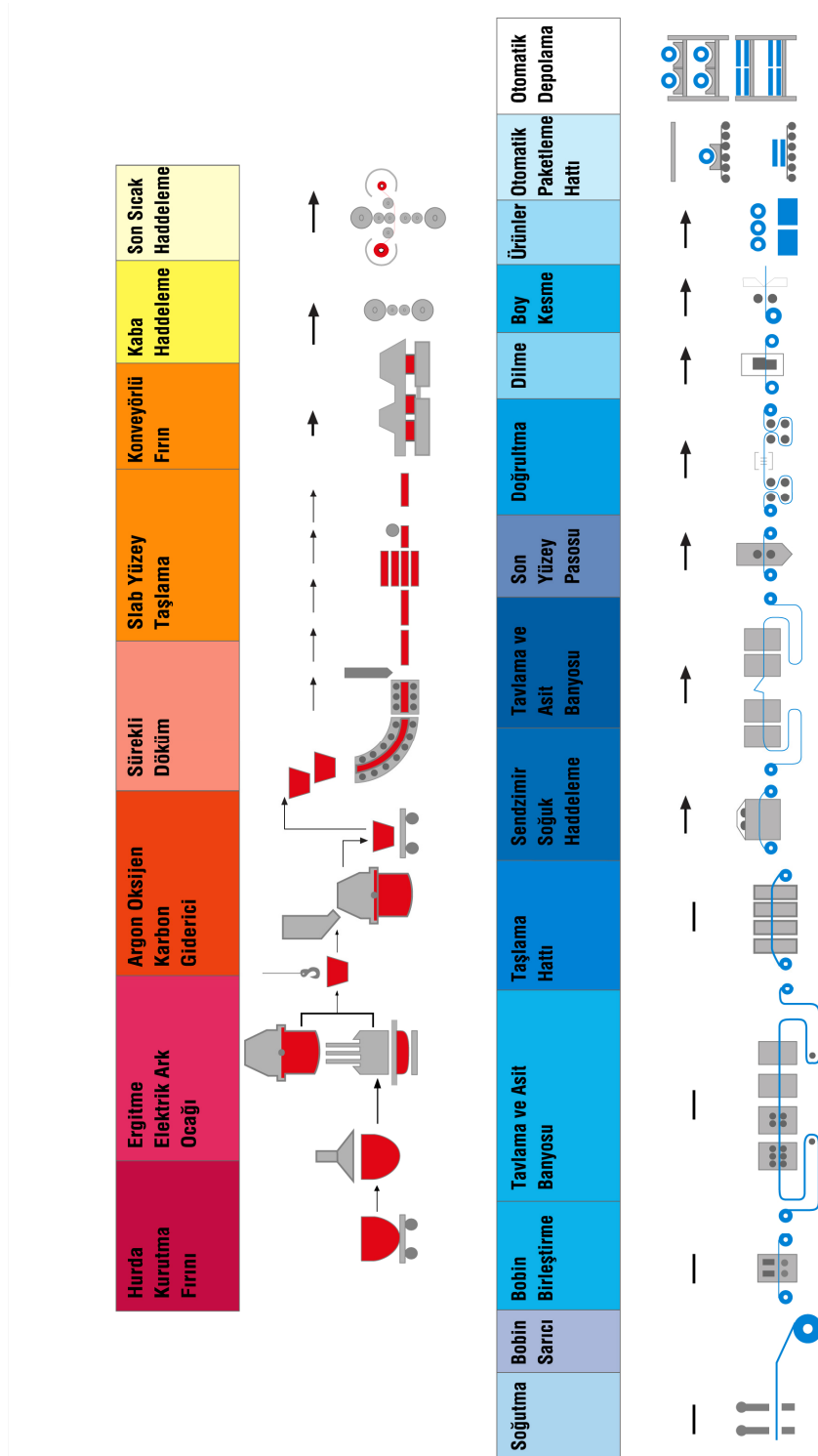
7. Yüksek kromlu ferritik alaşımlarda düşük karbon ve azot seviyeleri eldesidir.

8. AOD konverterleri ve kontinü döküm ekipmanlarının beraber çalışması metal kalitesini arttırdığı gibi zaman ve enerji tasarrufu da sağlanmıştır. Ayrıca vakumla gaz giderme ihtiyacı da kalmamıştır. Paslanmaz çelik eldesi için uygulanan ergitme ve rafinasyon proseslerinden en önemlisi EAF/AOD'dir. Fakat alternatif proseslerde mevcuttur, bunlar vakum oksijen dekarburizasyonu, vakum indüksiyon ergitmesi, vakum ark yeniden ergitmesi, elektro cürüflü yeniden ergitme, elektron huzmesi ile ergitmesidir.

Çizelge 6.5 Düşük karbonlu üretimde konvansiyonelle AOD metodu karşılaştırılması(Sarıtaş, 2010)

Konvansiyonel Ark Ocağı Metodu	AOD Metodu
Ergimiş Çeliğin Kompozisyonu	
İlk şarjda % 4 Krom bulunur. Ekstra düşük karbonlu üretim yapmak için krom genellikle daha az veya hiç konmaz.	İlk şarjda % 18 Krom bulunur. Ergimiş metalin cürufu alınır ve konvertere transfer edilir.
Oksijen Rafinasyon Safhası	
Karbon % 0.02' ye ininceye kadar lensle oksijen üflenir. Bu karbon sonuçta % 0.03' e çıkacaktır. Sıcaklık 1800 °C' ye çıkar. Bu sıcaklıkta ve 1 atm karbonmonoksit basıncı altında % 2 Cr kalır.	Karbon % 0.03' e ininceye kadar argon-oksijen üflenir. Sıcaklık 1700 °C' ye çıkar. Bu sıcaklıkta 0.1 atm karbonmonoksit basıncı altında % 16.5 Cr miktarı denge durumuna karşılık gelir. Cürufa geçen Cr % 1,50 kadardır. Argondan tasarruf etmek için başlangıçta argon-oksijen oranı düşüktür. Dekarbürasyon ilerledikçe argon oranı artırılır.
Bitirme Safhası	
FeCrSi gibi redüktan alaşımlar kullanılarak okside olmuş kromun bir kısmı cüruftan tekrar kazanılır. %2'nin yarısı, % 1' i geri	Oksitlenen kromun yarısı FeCrSi gibi redüktan alaşımı ilavesi ile geri alınır. Bu alaşımın verdiği kromla banyodaki krom %

alınır. Düşük karbonlu Fe-Cr ilave edilerek % 15-17 Cr eklenir ve böylece % 18-20 Cr miktarına ulaşılır.	18.5' e ulaşır. Bu sırada saf argon üflemesi ile kalan karbon dekarbürize edilerek karbon % 0.01' e kadar düşürülebilir.
Son Kompozisyon	
% 19 Cr, % 0.03 C	% 18.5 Cr, % 0.01 C



Şekil 6.3 Paslanmaz çelik üretim aşamaları (Saritaş, 2010)

7. PASLANMAZ ÇELİKLERİN KAYNAĞI

Paslanmaz çelikler, alaşımsız ve düşük alaşımlı çeliklerde kullanılan ergitme ve basınç kaynak yöntemleri ile kaynak yapılabilmektedir. Paslanmaz çeliklerin çok çeşitli alanlarda kullanımları, kaynak işlemine mükemmel uyumları, en önemli özelliklerindedir. Gerek korozyona dayanıklılık özelliklerinin, bunun yanında istenilen mekanik değerlerin, mukavemet ve elastikiyetlerinin kaynak dikişi ve ısının yayılma alanlarında da ana metal özellikleri ile örtüşmesi gereklidir. Paslanmaz ve ısıya dayanıklı çeliklerin kaynak işlemi kaynak yapılacak ana metalden beklenen özelliklere, örneğin; korozyon ve ısı dayanımına, göre değişiklik gösterebilir. Kullanılacak kaynak malzemesi ana metalle aynı kompozisyonda veya bazı uygulamalar için daha yüksek alaşımlı olmalıdır (Şanbaşıoğlu, 1985).

Paslanmaz çelikler, aynı türden olmaları kaydıyla birbirlerine kaynak yapılabilirler. Bununla beraber alaşımsız çeliklerle de kaynak yapılabilirler. Önemli olan, kaynak malzemesinin uygunluğudur. İşlem sırasında dikkat edilecek en önemli husus, paslanmaz çeliklerin, alaşımsız çeliklere kıyasla daha az ısı iletgenlik özelliğinin yanısıra daha güçlü genleşme katsayısı içermesidir. TIG (tungsten etkisiz gazı), plazma arkı, MIG (metal etkisiz gazı), SMAW (şiperli metal ark kaynağı) ve direnç kaynağı yöntemleri, paslanmaz çelik için özellikle uygundur. Kondansatör deşarjı kullanarak saplama kaynağı, panellerin birleştirilmesi için yaygın bir bağlantı yöntemidir ve kaynak temizliğini ve yüzey işaretleme ortadan kaldırır (Euro-inox , 2010).

Kaynaktan işlemlerinden önce şu bilgilere özellikle sahip olmak gerekir;

- Stabilize edilmiş paslanmaz çeliklerin ve kaynak metalinin yüzeyi çok fazla parlatılamaz,
- Stabilize edilmiş paslanmaz çelikler hem aynı bileşime sahip kaynak malzemeleri ile hem de düşük karbonlu kaynak malzemeleri ile kaynak yapılabilir,
- Düşük karbonlu paslanmaz çelikler mümkün ise yalnız düşük karbonlu kaynak malzemeleri ile kaynak yapılmalıdır,
- Azot (N)-alaşımlı paslanmaz çelikler, mekanik özellikleri yeterince yüksek olan normal (N-alaşımsız) kaynak malzemeleri ile kaynak yapılmalıdır. Ana metalle karışım mümkün olduğunca düşük tutulmalıdır.
- Termik genleşmesi yüksek olduğundan deformasyonu azaltmak için puntalama kısa pasolarla yapılmalıdır,

- Düşük termik iletkenliğe sahip olduğu için kaynak bölgesinde fazla ısı birikmesine neden olur, bu nedenle ısı girdisi sınırlandırılmalıdır.
- Temiz bir metalik yüzey elde edebilmek için kaynak sonrası ısıl işlem yapmak gereklidir, böylece hatasız bir pasif yüzey elde edilebilir.

7.1 Standart Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı

Kaynak metali % 4 ile % 12 (5 -15 FN) delta ferrit içerir, bu nedenle sıcak çatlağa karşı dirençlidir. Kaynaklı birleştirmelerden, manyetik olmaması, yüksek korozyon direncine sahip olması veya düşük sıcaklıklarda tokluk gibi özelliklerin istenmesi durumunda tamamen östenitik kaynak metalleri seçilmelidir. Ana metalle yapılan karışım %40'ın altında tutulmalıdır ve delta-ferrit oranını çok fazla düşürmemek için, mümkünse kaynak esnasında azot emilimi düşük tutulmalıdır. Ön ısıtma yapılmamalıdır, pasolar arası sıcaklık en fazla 150 °C olmalıdır. Ark başlangıçları kaynak ağzı içinde yapılmalıdır. Delta-ferrit manyetiktir bir fazdır. Cr-Ni'li östenitik paslanmaz çelikler Cr-Ni-Mo'li östenitik paslanmaz çeliklerle birleştirilebilir fakat korozyon direnci dikkate alındığında aynı bileşimdeki kaynak malzemesi tercih edilmelidir (Oerlikon, 2008).

7.2 Tam Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı

Tam östenitik kaynak metallerinde, sıcak çatlak eğiliminin yüksek olduğu bu tür çelikleri kaynak yaparken unutulmamalıdır. Bunların yanında şu noktalara dikkat edilmelidir: Kaynak bölgesinin kesinlikle çok temiz olması gerekir, sıcak-çatlağa neden olan kükürt v.b. maddelerin kaynak bölgesine girmesine izin verilmemelidir. Tasarım esnasında lokal gerilimler oluşturmaktan ve kalın kesitli malzeme kullanımından kaçınılmalıdır. Tane boyunu küçük tutabilmek ve kaynaklı birleştirmedeki kaynak sonrası gerilimleri düşük tutabilmek için büyük kaynak banyosundan ve yüksek ısı girdisinden kaçınılmalıdır. Bu ; sınırlı bir ısı girdisi (en fazla 10 -15 kJ/cm) demektir. Düz kaynak dikişi yapmak veya çok sınırlı bir salınım yapmaktır, ön ısıtma yapılmamak, pasolar arası sıcaklık en fazla 130 150 °C' de olmasıdır. Kraterleri doldurulmalı, gerekirse taşlanarak çıkartılmalıdır. Uzunlamasına oluşabilecek çatlakları önlemek için kök paso yeterli kalınlıkta yapılmalıdır (Oerlikon, 2008).

7.3 Ferritik-Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı

Dubleks paslanmaz çelikler ergitme kaynakları ile birleştirilebilir. Kaynaklı birleştirmeler en fazla 250 °C' ye kadar çalışabilir. 475 °C'de kırılğan fazların oluşması nedeniyle 250 °C ile 900 °C arasındaki sıcaklıklarda tokluğu düşer. Kaynak metalindeki delta ferrit oranını sınırlandırmak için, ana metalle aynı oranda azot (N) alaşımına sahip kaynak malzemelerinde, nikel miktarı ana metalinkinden biraz daha yüksektir. Nikel oranı düşük paslanmaz çeliklerle yapılan birleştirmelerde karışım % 40' ın altında tutulmalıdır. İlave metal kullanılmadan kaynak yapmak, yalnız çözündürme tavlama ve arkasından su verme işlemi yapılırsa mümkündür. Ön tav yapılmadan kaynak yapılmalı, pasolar arası sıcaklık 250 °C'yi (yaklaşık % 23 Cr içeren çeliklerde) veya 150°C' yi (yaklaşık % 25 Cr içeren çeliklerde) aşmamalıdır. Östenitik paslanmaz çeliklere göre biraz daha yüksek ısı girdisi seçilebilir. Kullanılan kaynak yöntemine ve malzeme kalınlığına göre; %23 Cr içeren çeliklerde, 5 - 25 kJ/cm ısı girdisi ile, %25 Cr içeren çeliklerde 2 - 15 kJ/cm ısı girdisi ile kaynak yapılabilir. Yüksek miktarda delta-ferrit içeren çelikler, hidrojen çatlağına meyillidir. Bu nedenle kaynak esnasında hidrojen emilimi mümkün olduğunca düşük tutulmalıdır (elektrotlar kullanılmadan önce kurutulmalı ve hidrojen içeren gazlar kullanılmamalıdır) (Oerlikon, 2008).

7.4 Yarı Ferritik Kromlu Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı

Aynı kimyasal kompozisyona sahip kaynak metalleri ve ısıdan etkilenen bölgeler martensit veya temperlenmiş yapıya sahip olabilir. Kaynak öncesi tav ve pasolar arası sıcaklık 200 - 300°C olmalıdır. Kaynak sonrasında 700–800 °C' lerde yapılan tav, martensitlerin temperlenmesini, krom-karbürlerin yuvarlaklaşarak tokluğun artmasını ve taneler arası korozyona direncin artmasını sağlar. Soğuk çatlak oluşma riski nedeniyle, kaynak esnasında hidrojen emilimi düşük tutulmalıdır (elektrotlar kullanılmadan önce kurutulmalı ve hidrojen içeren gazlar kullanılmamalıdır). Eğer ana metalle aynı renk ve aynı termik genleşme özelliği isteniyorsa, aynı kompozisyonda ve nikel içermeyen ilave metal kullanılmalıdır. Kaynak metalinden yüksek tokluk beklentisi varsa ve kaynak sonrası ısı işlem yapmak mümkün değil ise, ana metalden farklı bir kaynak malzemesi (Örneğin; östenitik paslanmaz çelik veya Ni-Cr alaşımı) kullanılabilir (Oerlikon, 2008).

7.5 Tam Ferritik Kromlu Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı

Tam ferritik paslanmaz çelikler 950 °C'nin üzerinde tane büyümesine eğilimlidir. İri taneli yapısı ise tokluğun düşmesine neden olur ki, tokluk hiçbir ısıl işlem ile tekrar aynı düzeye getirilemez. Bu nedenle, kaynak düşük ısı girdisi ile yapılmalıdır (düşük kaynak akımı, küçük çaplı elektrot kullanımı, düz veya az salımlı kaynak). Çentik darbe testi ile tespit edilen süneklikten kırılma eğilimine geçiş sıcaklığı ferritik paslanmaz çeliklerde oda sıcaklığı civarındadır. Isıdan etkilenen bölgede kırılmayı ve kaynak sonrası gerilimleri düşük tutabilmek için 200 – 300 °C' de ön tav ve pasolar arası sıcaklıklar uygulanmalıdır. Soğuk çatlak oluşma riski nedeniyle, kaynak esnasında hidrojen emilimi düşük tutulmalıdır (elektrotlar kullanılmadan önce kurutulmalı ve hidrojen içeren gazlar kullanılmamalıdır). Yüksek tokluğa sahip, farklı kimyasal kompozisyondaki (östenitik veya Ni-Cr alaşımları) kaynak malzemeleri kullanılırken çok pasolu kaynaklar tercih edilir. Ana metalle renk uyumu veya kaynak metalinin daha düşük nikel ihtiva etmesi isteniyorsa, kapak paso, ana metalle aynı kompozisyona sahip kaynak malzemesi ile yapılır. 700 – 800 °C' de yapılan tavlama ısıdan etkilenen bölgenin ve kaynak metalinin tokluğu artırır, kaynak sonrası artık gerilimleri düşürür ve taneler arası korozyona direncini önceki düzeyine getirir (Oerlikon, 2008).

7.6 Martenzitik Kromlu Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı

Bu çelikler havada sertleşme özelliğine sahiptir ve kısıtlı bir kaynak kabiliyetine sahiptir. Isıdan etkilenen bölgede sertliği düşük tutabilmek için 200 – 300 °C' de ön tav ve pasolar arası sıcaklıklar seçilmelidir. % 0.2' den daha fazla karbon içeren çelikler kaynaklı yapılar için uygun değildir. Kaynaktan hemen sonra 700°C' de yapılan temperleme kaynaklı birleştirmenin tokluğu artırır, kaynak sonrası artık gerilimleri düşürür. Soğuk çatlak oluşma riski nedeniyle, kaynak esnasında hidrojen emilimi düşük tutulmalıdır (elektrotlar kullanılmadan önce kurutulmalı ve hidrojen içeren gazlar kullanılmamalıdır). Eğer ana metalle aynı renkte ve nikel içermeyen bir kaynak metali isteniyorsa, kapak paso aynı kompozisyonda kaynak malzemesi kullanarak yapılabilir. Yüksek karbon içeren çeliklerde genellikle DIN 8556'ya göre farklı kompozisyona sahip östenitik kaynak malzemeleri kullanılır, ayrıca DIN 1736'ya göre Ni-Cr-alaşımı kaynak malzemeleri de kullanılabilir (Oerlikon, 2008).

7.7 Yumuşak Martenzitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı

% 0.05' e kadar sınırlanmış karbon miktarı, ısıdan etkilenen bölgede ve aynı kompozisyona sahip ana metalde sünek bir martensit fazının oluşmasını sağlar. Kalın kesitli malzemelerde 100 °C'de ön tav yapılmalı ve pasolar arası sıcaklıklar 100 – 150 °C' de olmalıdır. Soğuk çatlak oluşma riski nedeniyle, kaynak esnasında hidrojen emilimi düşük tutulmalıdır (elektrotlar kullanılmadan önce kurutulmalı ve hidrojen içeren gazlar kullanılmamalıdır). Ana metalle aynı kompozisyona sahip kaynak malzemeleri %0.04 karbon ve %5 delta ferrit içeren bir kaynak metali verir. Kaynak sonrası 580 – 620 °C' de temperleme sünekliği artırır (Oerlikon, 2008). İki paslanmaz malzemenin kaynak ile birleştirilmesi ve bunun için en uygun ilave (kaynak) metalinin seçilmesi oldukça zor bir problemdir. Elektrot kullanılıp yapılan kaynağın en önemli konusu genellikle yapılacak işin gereksinimine uygun elektrotun seçimidir (Tülbentçi, 1998).

8. PASLANMAZ ÇELİKLERDE YÜZEY KALİTELERİ

Paslanmaz çeliklerin ısı iletkenliği 800 °C' nin altında bulduklarında, karbon çeliklerinden ve düşük karbonlu çeliklerden daha azdır. Bu nedenle haddeleme sıcaklığına ısıtma sırasında özellikle 800 °C' nin altında seçilen sıcaklıklarda yüzeyde yanma gibi hataları önlemek amacıyla ısı kontrol yapılmalıdır. Sıcaklık tek fazlı yapı oluşturacak biçime geldiğinde, bütün paslanmaz çelikler için en iyi sıcak işlenebilirlik özelliği sağlanır. Östenitik ve martensitik paslanmaz çeliklerde az miktarda ferrit, ferritik paslanmaz çeliklerde ise az miktarda östenit tolere edilebilir (Şanbaşoğlu, 1985).

Martensitik paslanmaz çelikler sıcak olarak dövülebilir, delinebilir ve haddelenebilirler. Ancak bu çeliklerin havada sertleşme özelliği olduğu için haddelemeden sonra yavaş soğutma işlemine tabi tutulmalılar. Yüzey işlemleri, yüzey temizleme ve soğuk çekmeye maruz kalabilirler. Haddelenmiş yapıları gevrek haldedir.

Ferritik paslanmaz çeliklerde sıcak olarak dövülebilir, delinebilir ve haddelenebilirler. Sıcakken çok yumuşak olduklarından haddeleme esnasında yolluklar ve haddeler tarafından çizilebilirler. Yüksek sıcaklığa ısıtılırlarsa tanelerinde büyüme meydana gelir. Malzeme yırtılmaya ve kırılmaya eğimli hale gelir. Azot ilave edilerek tane büyümesi kontrol altına alınır. Ancak asıl uygun yöntem düşük sıcaklıkta tavlamaktan geçer.

Östenitik paslanmaz çelikler, haddeleme sıcaklığında ferritlere göre daha dirençlidirler. Sıcakta bunlarda da tane büyümesi gözlemlenir. Aşırı ısıtmaktan mutlaka kaçınmak gerekir. Düşük sıcaklıklara kadar haddeleme ile tane büyüklüğü yok edilebilir (Şanbaşoğlu, 1985).

Nikel içerikli paslanmaz çeliklerin tavlanması fırın atmosferinde kükürt bulunursa nikel sülfür yapısı oluşabilir. Tane sınırlarında görülen yapı haddeleme sıcaklığında sıvı haldedir. Bu yüzden fırın atmosferinde kükürt bulunması haddeleme sırasında yırtılmaya neden olabilir.

Paslanmaz çelik sac, levha gibi geniş yüzeye sahip metallerin EN 10088/2 standartına göre yüzey durumları aşağıda listelenmiştir (Euro-inox, 2010).

Çizelge 8.1 Düz yüzeyli paslanmaz çeliklerin yüzey durumları (EN 10088/2)

	Kısaltma	Yöntem Türü	Yüzey Son Durumu
Sıcak Haddelenmiş	1U	Sıcak haddelenmiş, ısıtılma işlem görmemiş, temizlenmemiş	Haddelenme tabakası ile kaplı, tufallı
	1C	Sıcak haddelenmiş, ısıtılma işlem görmüş, temizlenmemiş	Haddelenme tabakası ile kaplı, tufallı
	1E	Sıcak haddelenmiş, ısıtılma işlem görmüş, mekanik temizlenmiş	Tufalsız
	1D	Sıcak haddelenmiş, ısıtılma işlem görmüş, asit ile temizlenmiş	Tufalsız
Soğuk Haddelenmiş	2H	Sertleştirilmiş iş	Parlak
	2C	Soğuk haddelenmiş, ısıtılma işlem görmüş, temizlenmemiş	Isıtılma işleminden kalan tufalla birlikte düzgün
	2E	Soğuk haddelenmiş, ısıtılma işlem görmüş, mekanik temizlenmiş	Pürüzlü ve mat
	2D	Soğuk haddelenmiş, ısıtılma işlem görmüş, asitle temizlenmiş	Düzgün
	2B	Soğuk haddelenmiş, ısıtılma işlem görmüş, asitle temizlenmiş, kaplama yapılmış	2D' den daha düzgün
	2R	Soğuk haddelenmiş, parlak ve tavlanmış	Düzgün, parlak, yansıtıcı
	2Q	Soğuk haddelenmiş, sertleştirilmiş ve su verilmiş, tufalsız	Tufalsız
Soğuk Haddelenmiş	1G veya 2G	Taşlanmış	

	1J veya 2J	Taşlanmış tipten daha pürüzsüz	
	1K veya 2K	Saten cila	
	1P veya 2P	Parlak taşlanmış	
	2F	Soğuk haddelenmiş, ısı işlem görmüş, kabartılmış tomarlarda kaplama yapılmış	Tek biçimli, yansıtıcı olmayan, mat yüzey
	1M veya 2M	Desenli	Üzerinde anlaşılacak tasarım
	2W	Oluklu	Üzerinde anlaşılacak tasarım
	2L	Boyalı	Üzerinde anlaşılacak renk
	1S veya 2S	Yüzey kaplamalı	

9. DÜNYADA VE TÜRKİYE'DE PASLANMAZ ÇELİK SEKTÖRÜ

Bilinen saf çelik, paslanmazlık özelliği taşımaz. Paslanmazlığın yanında çeliğe tokluk, sertlik, işlenebilirlik gibi başka özellikler kazandırmak için çeliğin yapısına başta krom, nikel, molibden, titanyum, niobyum, vanadyum gibi elementler ferro alaşımlar şeklinde ilave edilir. Ferro alaşımlar, metaloksitlerin, oksijen ilgisi o metalden daha fazla olan çeşitli indirgeyicilerle termik redüksiyonlar ile indirgenmesi ve elde edilen metalin demir ile alaşım oluşturması sağlanarak üretilirler. Böylece ergime sıcaklıkları düşürülen bu metallerin alaşım elementi olarak kullanımları sağlanmış olur.

9.1 Paslanmaz Çeliğin Hammaddelerinin Rezervleri ve Üretim Miktarları

9.1.1 Krom

Paslanmaz çeliğin asıl ana maddesi olan krom, ekonomik olarak yalnızca kromit mineralinden üretilir. Doğada kromit $(Mg)(Cr,Al,Fe)_2O_4$ formülü ile bulunur. Yapısındaki Al (alüminyum), Mg (magnezyum) ve Fe(demir)' in dışında gang minerallerinden kaynaklan Si (silisyum)' da kromitin analiz sonucunda mutlaka görülen bir diğer elementtir. Kromit cevherinin çizgi rengi kahverengi olup, rengi parlak siyah ve özgül ağırlığı $4.1-4.9 \text{ gr/cm}^3$ tür. Krom elementinin tek ekonomik cevheri olan kromit mineralinin doğada bilinen en yüksek CrO içeriği %98' dir. Kromitin en yaygın kullanım alanı ferrokrom üretimidir. Dünyada çıkarılan kromitin %90' ı ferrokrom üretiminde ve bu ferrokromun ise % 90' ı paslanmaz çelik üretiminde kullanılır. 3.6 milyar tonluk dünya kromit rezervinin %84' ü Güney Afrika Cumhuriyeti' nde bulunmaktadır (Tahtakıran,2007).

Dünyadaki sayılı krom üreticisi ülkeler arasında yer alan Türkiye ham cevher, ferrokrom ve krom kimyasalları dışsatımından önemli döviz geliri sağlamaktadır. Son yıllarda metalurji, kimya ve refrakter sanayisinin krom cevheri talebi 450 000 tona ulaşmıştır. Ham cevherin iç piyasadaki artan tüketiminin yanı sıra önemli miktarda parça ve konsantre cevher dış satımı da yapılmaktadır. Buna karşılık Alpin tip krom yatakları olarak adlandırılan ülkemiz krom yataklarının düzensizlikleri nedeniyle, bilinen rezervler yıllık üretime göre yetersiz almaktadırlar. Gerek yerli sanayinin hammadde güvenliğini sağlamak ve gerekse artan dış

talebi karşılamak için, bir yandan bilinen yatakların rezervlerinin geliştirilmesi, bir yandan da yeni cevher potansiyelleri bulmak amacıyla yeni sahaların aranması büyük önem taşımaktadır. Dünyada ilk krom cevheri üretimi 1797 yılında Ural'larda yapılmıştır. Türkiye'de krom cevherinin ilk kez 1848 yılında Harmancık (Bursa) yöresinde bulunduğu bilinmektedir. Krom cevherinin bulunuşuyla birlikte Türkiye dünya krom pazarlarında önemli bir yere sahip olagelmiştir. Türkiye'nin üretimi bazı yıllar dünya sıralamasında ilk sırayı almışsa da, genellikle 3.ve 6.sıralar arasındaki yerini devamlı korumuştur. 1924 yılından önce yapılmış üretimle ilgili kayıtlar bilinmemekle birlikte, bu yıllardaki çok düşük üretim düzeyi dikkate alınarak, başlangıcından bu güne kadar Türkiye'de 45 milyon ton kadar krom cevheri üretildiği tahmin edilmektedir (Tahtakıran,2007).

9.1.2 Nikel

Demir grubu metallere olan nikel, yeryüzünde birçok farklı mineral halinde demir ile birlikte bulunur. Nikelin (NiAs), pentlandit [(Fe,Ni)S] ve millerit (NiS) bu minerallerden başlıcalarıdır. Yüksek korozyon dayanımı ve kolay şekillendirilebilme özellikleriyle nikel endüstriyel anlamda oldukça ihtiyaç duyulan metallere biridir. Dünya genelinde tenörü %1 ve daha fazla olan nikel rezervlerinin toplamının 140 milyon ton olduğu tahmin edilmektedir. Ülkemizde bulunan cevherler ise Manisa-Çaldağ, Eskişehir-Yunusemre, Bitlis-Pancarlı, Bursa-Orhaneli ve Sivas-Divriği'ndedir. Son yıllarda nikelin aşırı değerlenmesiyle birlikte Manisa bu konuda ekonomik özelliğini artırmıştır (DPT, 2001).

9.1.3 Molibden

Diğer önemli alaşım elementi olan molibden de paslanmaz çeliklerde kullanılan önemli bir metaldir. Tek ekonomik minerali molibdenittir. Pazarlanabilir molibdenit konsantrasyonlarının en az %40 olması gerekmektedir. Tenörleri çok düşük olduğundan birçok zenginleştirme işleminden geçerler. Dünya üretimi ise Şili, ABD ve Çin' in elindedir. Dünyadaki toplam rezervin 17 milyon ton olduğu tahmin edilmektedir. Bu metalde ülkemizde çok az düzeyde bulunur. Molibden üretimi ülkemizde yapılmamakla birlikte Kırklareli-İkiztepe, Kırklareli-Şükrüpaşa, Kırklareli-Dereköy, Keban-Nazlıziyaret, Trabzon-Maçka ve Erzurum-Ulutaş' ta cevher yatakları bulunmaktadır.

9.1.4 Demir Çelik Hurdaları

Hurda kullanımı demir çelik üretiminin ana unsurudur. Hurda BOF (Bazik Oksijen Fırını) uygulamalarında ısı alıcı malzeme olarak kullanılırken, EAF uygulamalarında üretimi sağlayan temel hammadde dir. Bu nedenle EAF uygulamalarında çok fazla hurdaya ihtiyaç duyulur. Demir-çelik hurdasının üstünlükleri ise;

- Demir cevheri kaynaklarının sınırlı ve düşük kaliteli olması,
- Hurdadan çelik üretiminin cevhere oranla daha az enerji gerektirmesi(1/3) ve enerji tasarrufu,
- Gelişen teknolojiye paralel olarak daha fazla metal tüketimi ve hurda oluşumu potansiyelinin artması,
- Hurda kullanımının çevre sorunlarını ortadan kaldırması yolu ile çevre kirliliğinin azaltılması,
- Hurdanın stoklama ve nakliye kolaylığı,
- Hurdanın yüksek ısı geçirgenliği sebebi ile ergitme kolaylığı,
- Yüksek ısı geçirgenliği,
- Daha az cüruf ve refrakter problemi,
- Hurdanın değerlendirilmesinin ekonomik kazanç sağlaması (Çizmecioglu, 2009).

dır. Hurdanın kimyasal ve boyutsal özelliklerinin yanı sıra sistemde kullanılma şeklide büyük önem arz etmektedir. Bu yüzden EAF şarjlarında hurdalar planlı bir şekilde şarj edilirler. Hafif hurdalar fırının alt kısmına şarj edilirler. Böylece büyük hurdalara yataklık etmiş olurlar. Son olarak da ergitmesi kolay olan ince hurdaların şarjı gerçekleştirilir.

9.1.5 Sünger Demir

İndirgenmiş demir olarak da adlandırılan sünger demir, demirin oksitli cevherlerinin direkt redüksiyonu sayesinde elde edilen metalik demir cevheridir. Sünger demir, elektrik ark fırınlarında hurda yerine kullanılacak bir hammadde olarak öne çıkar. Özellikle hurda fiyatlarının sürekli olarak değişmesi ve teminindeki sıkıntılar da göz önüne alınırsa sünger demirin önemi daha da artar (Ersundu, 2007). Sünger demir üretiminde Hindistan, Venezuela ve İran sırasıyla başı çekmektedir.

10. DENEYSEL ÇALIŞMA

10.1 Deneyin Amacı

- 1- Alınan dubleks paslanmaz çelik hurdasına, nikel metalini farklı oranlarda ekleyip, uluslararası normlarda hali hazırda var olan, nikel oranları farklı yeni paslanmaz çelik elde etmektir.
- 2- Elde edilen paslanmaz çeliklerin mekanik, kimyasal ve manyetik özelliklerini karşılaştırmaktır.

10.2 Deneysel Çalışmaların Yürütülmesi

10.2.1 Metal Üretimi

-Hurda metal olarak 1,4462 - X2CrNiMoN22-5-3 – ticari adı 2205 kalite dubleks paslanmaz çelik malzemeden 31,65 gram ve Nikel alaşım metalinden ise 1,05 gram alınmıştır. Hurdalar birinci sınıf hurda olup boru metalinden kesilmiş ve preste düzleştirilip, dekapaj makinesinde uzantıları alınıp, tel erozyonda ufak parçalara ayrılmıştır(Vakum indüksiyon ocağında ergitilecek metallerin kalınlıkları 1,00 mm ve altında, diğer ölçüleri ise 5,00x5,00 mm olmak zorundadır, aksi takdirde döküm alınamamaktadır). Toplam hurda metali 32,70 gram olarak hassas tartıyla tartılmıştır,

-Eğer üretim yöntemi doğru yolda ilerlerse dubleks içeriğindeki nikel oranı 1,266 gramdan 2,316 grama ve yüzdeliği 4,5' tan 7,5' a çıkacaktır,

-350 gr fosfat bağlı hassas döküm kalıbı malzemesi hassas terazide tartılarak cam kaba konulmuştur, (Kullanılan Ransom-Randolph üretimi Astro-vest marka kalıp malzemesidir)



Şekil 10.1 Kullanılan kalıp malzemesinin hazırlanması

-Kullanılan kalıp malzemesinin ağırlıkça miktarının % 30' u kadar su – 105 gr su yeniden hassas terazide tartılarak cam kaba konulmuştur,



Şekil 10.2 Kullanılacak suyun hassas tartımda ölçülmesi

- Önce su düşük devirde çalışan karıştırıcının altına getirilmiş ve karıştırılmaya başlanmıştır,
- Sonra kalıp malzemesi suya iki buçuk dakika boyunca toz olarak eklenmiştir,



Şekil 10.3 Kalıp malzemesinin karıştırılması için mikserin kurulması

-Uygun kıvama geldikten sonra mum parçada döküm kalıbına yerleştirilmiştir ve titreşim uygulanarak kalıp malzemesinin içerisindeki hava boşlukları iki dakika süreyle uygulanıp giderilmiştir,

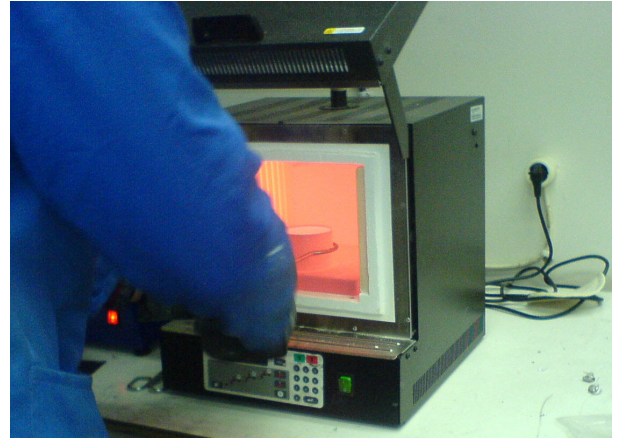


Şekil 10.4 Kalıp malzemesinin içindeki gözenekleri titreşimle gidermesi işlemi

-Kalıp 18 saat açık havada kurumaya bırakıldıktan sonra, Ney Vulcan 3-550 model kalıp alçı pişirme fırınında altı saat boyunca pişirilmiştir,

Piştirme rejimi ise;

Isınma süresi oda sıcaklığından 8 °C hızla artırılarak 150 °C' ye kadar getirilmiş ve 150 °C' de bir buçuk saat beklenilmiştir,



Şekil 10.5 Kalıp malzemesinin pişirilmesi

-Daha sonra dakikada 7 °C' lik sıcaklık artışı uygulanarak 550 °C' ye gelinmiş ve 550 °C' de iki saat beklenilmiştir,

-Sonra dakikada 7 °C' ısıtılarak 900 °C' ye kadar ısıtma uygulanmış ve 900 °C' de iki saat kadar beklenilmiştir,

-Kalıbı fırından çıkarma işleminde ise 15-20 dakika boyunca bekletilip makine soğumaya bırakılmış ve kalıp 795 °C' de dışarı çıkarılıp vakumlu indüksiyon fırınına konulmuştur,

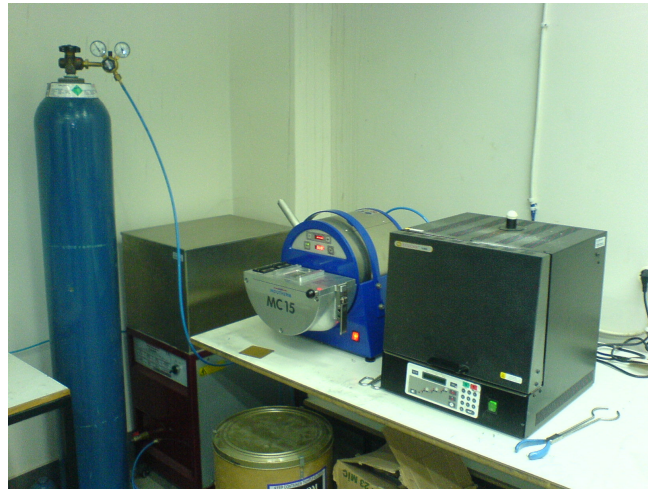
Döküm işlemi;

-Sıcak kalıp alınıp, Microcast MC-15 Indutherm vakum indüksiyon fırınına grafit içermeyen potanın yanına yerleştirilmiştir,



Şekil10.6 Hurda ve alaşımın vakum ergitme fırınına yüklenmesi

-Potanın içerisinde bulunan hurdalar yapılabilecek en homojen karışım olacak biçimde ayarlanıp, fırının kapağı kapatılmıştır,



Şekil 10.7 Ergitme işlemi

-Fırına yüksek saflıkta argon gazı verilip, start düğmesine basılarak vakumlama işlemi başlatılmıştır,

-İşlem tamamlandıktan sonra toplam iki dakika içerisinde eritme işlemi tamamlanmış ve metal hurdası ergiyik haline gelmiştir ve bu hale titreşimli karıştırma uygulandığından homojen bir yapı sağlanmıştır,

-Daha sonra fırının döner kafalığı kullanılarak ergiyen hurda metalin potadan hassas döküm kalıbına dökülmesi sağlanmıştır,

-Döküm sağlandıktan sonra yaklaşık olarak beş dakika kadar beklenilmiş ve sonra vakum indüksiyon fırınının kapağı açılarak kalıp dışarı alınmıştır,

-Sonra kalıp iki dakika kadar ortam ısısında bekletilip havada soğutmaya bırakılmış ve sonradan polimer esaslı ısıl işlem sıvısına daldırılmıştır,

-Burada yaklaşık on beş dakika bekletilip ve kalıptan sökülmüştür,

-Çıkan numune yüzde 20 lik sülfirik asit çözeltisine daldırıldıktan sonra, yüzeyde oluşan kabuk tabakasının sökülmesi beklenmiştir,

-Asit çözeltisinde on beş dakika kadar bekletilip sonra bol suyla durulanmıştır,

-Son aşamada kurutulan numune yeniden hassas terazide tartılmış ve bu kez 32,32 gram geldiği tespit edilmiştir.



Şekil 10.8 Üretilen yeni paslanmaz çelik numunenin hassas olarak tartılması

-İkinci hurda metalimi ise yine 1,4462 kalite dubleks paslanmaz çelik malzemeden bu kez 44,59 gram ve Nikel alaşım metalinden ise 3,65 gram alınmıştır. Hurdalar birinci sınıf hurda olup boru metalinden kesilmiş preste düzleştirilip, dekupaj makinesinde uzantıları alınıp, tel erozyonda ufak parçalara – 3,00x3,00x0,80 mm dilimlenmiştir (Vakum indüksiyon ocağında ergitilecek metallerin kalınlıkları 1,00 mm ve altında, diğer ölçüleri ise en çok 5,00x5,00 mm olmak zorundadır, aksi takdirde döküm alınamamaktadır),

-Toplam hurda metali 48,24 gram olarak hassas tartıyla tartılmıştır,

-Eğer üretim yöntemi doğru yolda ilerlerse dubleks içeriğindeki nikel oranı 2,006 gramdan 5,656 grama ve yüzdeliği 4,5' tan 11,73' e çıkacaktır,

-Yine 350 gr fosfat bağlı hassas döküm kalıbı malzemesi hassas terazide tartılarak cam kaba konulmuştur,

-Kullanılan kalıp malzemesinin ağırlıkça miktarının % 30' u kadar su – 105 gr su yeniden hassas terazide tartılıp cam kaba konulmuştur. Önce su düşük devirde çalışan karıştırıcının altına getirilmiş ve karıştırılmaya başlanmıştır,

-Sonra kalıp malzemesi suya iki buçuk dakika boyunca toz olarak eklenmiştir,

-Uygun kıvama gelindikten sonra mum parçada döküm kalıbına yerleştirilmiş ve titreşim uygulanarak kalıp malzemesinin içerisindeki hava boşlukları iki dakika süreyle uygulanıp giderilmiştir,

-Kalıp 18 saat açık havada kurumaya bırakıldıktan sonra, Ney Vulcan 3-550 model kalıp alçı pişirme fırınında altı saat boyunca pişirilmiştir,

Piştirme rejimi ise;

-Isınma süresi oda sıcaklığından 8 °C hızla artırılarak 150 °C' ye kadar getirilmiş ve 150 °C' de bir buçuk saat beklenilmiştir,

-Daha sonra dakikada 7 °C' lik sıcaklık artışı uygulanarak 550 °C' ye gelinmiş ve 550 °C' de iki saat beklenilmiştir,

-Sonra dakikada 7 °C ısıtılarak 900 °C' ye kadar ısıtma uygulanmış ve 900 °C' de iki saat kadar beklenilmiştir,

-Kalıbı fırından çıkarma işleminde ise 15-20 dakika boyunca bekletilip makine soğumaya bırakılmış ve kalıp 795 °C' de dışarı çıkarılıp vakumlu indüksiyon fırınına konulmuştur,

Döküm işlemi;

-Sıcak kalıp alınıp, Microcast MC-15 Indutherm vakum indüksiyon fırınına grafit içermeyen potanın yanına yerleştirilmiştir,

-Potaanın içerisinde bulunan hurdalar yapılabilecek en homojen karışım olacak biçimde ayarlanıp, fırının kapağı kapatılmıştır,

-Fırına yüksek saflıkta argon gazı verilip, start düğmesine basılarak vakumlama işlemi başlatılmıştır,

-İşlem tamamlandıktan sonra toplam iki dakika içerisinde ergitme işlemi tamamlanmış ve metal hurdası ergiyik haline gelmiştir ve bu hale titreşimli karıştırma uygulandığından homojen bir yapı sağlanmıştır,

-Daha sonra fırının döner kafalığı kullanılarak ergiyen hurda metalin potadan hassas döküm kalıbına dökülmesi sağlanmıştır,

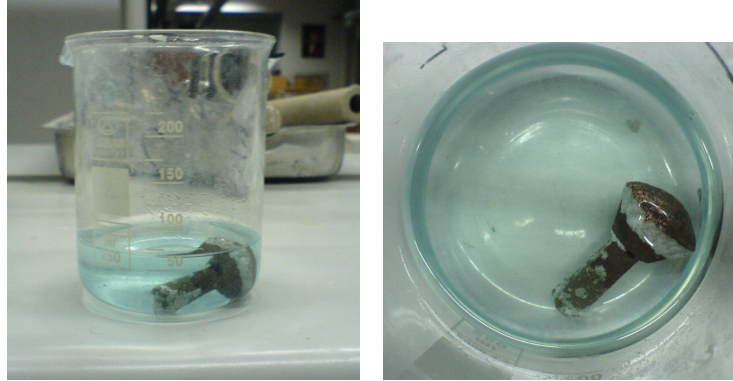
-Döküm sağlandıktan sonra yaklaşık olarak beş dakika kadar beklenilmiş ve sonra vakum indüksiyon fırınının kapağı açılarak kalıp dışarı alınmıştır,

-Sonra kalıp iki dakika kadar ortam ısısında bekletilip havada soğutmaya bırakılmış ve sonradan polimer esaslı ısıl işlem sıvısına daldırılmıştır,

-Burada yaklaşık on beş dakika bekletilmiş ve kalıptan sökülüştür,

-Çıkan numune %20'lik sülfirik asit çözeltisine daldırıldıktan sonra, yüzeyde oluşan kabuk tabakasının sökülmesi beklenilmiştir,

-Asit çözeltisinde onbeş dakika kadar bekletilip sonra bol suyla durulanmıştır.



Şekil 10.9 Üretilen numunelerin alkol içerisinde bekletilmesi

-Son aşamada kurutulan numune yeniden hassas terazide tartılmış ve bu kez 47,69 gram gelmiştir.

10.2.2 Kimyasal Analiz

Numunelerin içerdikleri metallerin miktarlarını öğrenmek için Spektrometre ile kimyasal analiz işlemine tabi tutulmuştur. Kimyasal analiz işlemi sonucu numunelerin içerikleri aşağıdaki gibi olmuştur.

Ergitme işleminden önceki durum;

% C	% Si	% Mn	% P	% S	% Al	% Cr	% Mo	% Ni	% V
0,025	0,200	0,950	0,015	0,000	0,021	22,73	3,250	4,810	0,038

% Ti	% Nb	% Co	% W	% Pb	% Cu	% N
0,001	0,000	0,100	0,06	0,000	0,100	0,185

İlk Nikel ilavesi sonucu oluşan durum;

% C	% Si	% Mn	% P	% S	% Al	% Cr	% Mo	% Ni	% V
0,023	0,180	0,920	0,015	0,000	0,020	22,55	3,120	7,550	0,038

% Ti	% Nb	% Co	% W	% Pb	% Cu	% N
0,001	0,000	0,100	0,06	0,000	0,100	0,181

Sonraki Nikel ilavesi sonucu oluşan durum;

% C	% Si	% Mn	% P	% S	% Al	% Cr	% Mo	% Ni	% V
0,023	0,130	0,890	0,014	0,000	0,005	22,45	3,020	11,850	0,038

% Ti	% Nb	% Co	% W	% Pb	% Cu	% N
0,001	0,000	0,100	0,06	0,000	0,101	0,180

Yapılan işlem sonrasında elde edilen değerler Stahlschlüssel kaynağından araştırılarak, ASME standartına göre birinci numunenin 2207, ikinci numunenin ise 2211 olduğu belirlenmiştir.

10.2.3 Isıl İşlem

Metal numuneler paslanmaz olduklarından koruyucu gaz altında ısıl işleme tabi tutulabilirler. Aksi durumda metal, ısıl işlem sırasında oksitlenme eğilimi gösterebileceğinden, numuneler vakumlu ısıl işlem fırınında tavlama işlemine tabi tutulmuştur. Ergitme işlemi sonunda elde edilen numunelerin ortalarından kesilip iki parçaya ayrılmıştır.



Şekil 10.10 1. numunenin ısıtım için kesilmiş hali



Şekil 10.11 2. numunenin ısıtım için kesilmiş hali

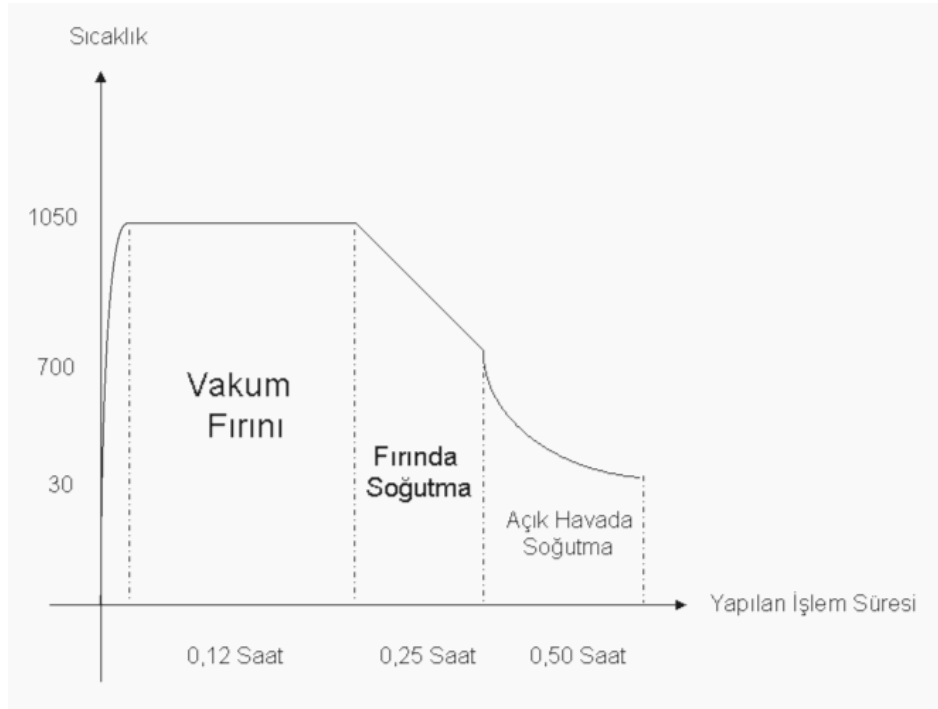
Paslanmaz çeliğin yapısında bulunan Ni sigma fazının oluşumu sağlar, diğer önemli elementlerden Mo ve Cr ise sigmanın dağılımını ve ikincil fazların oluşumunda etkilidir. Paslanmaz çeliğe yapılan ısıtım işlemlerin ASTM A-890-94a' ya göre yapılması gerekmektedir. Bu standarta göre;

Çizelge 10.1 ASTM A-890-94a' ya göre ısıtım uygulamaları

Tanım	Uygulanan Isıtım İşlemi
4A	1120 °C'ye kadar yavaş ısıtım işlemi, 1010 °C'ye kadar soğutma burada 15 dakika bekleme ve su verme sonrasında hemen hızlı biçimde soğutma işlemi
5A	En az 1120 °C'ye yavaş ısıtım ve fırını 1045

	°C'ye soğutma sonrasında su da ya da havada soğutma işlemi
6A	1100 °C'ye ısıtma ve peşinden suda ya da havada soğutma işlemi
7A	En az 1040 °C'ye ısıtma ve hızlıca havada ve suda soğutma işlemi

Yapılabilecek ısıtma işlemlerini Çizelge 10.1' de gösterilmiştir. Numunelerden ince uzun olan parçalar tavlama işlemi için vakum ısıtma fırınına konulmuşlardır. Yapılan işlem yarım saat sürede 1050 °C'ye kadar ısıtıp vakum ocağında beş dakika bu ısıda bekletme ve sonrasında 15 dakikada argon gazı altında 700 °C'ye kadar soğutup daha sonra yarım saat boyunca açık havada soğutmaktır.



Şekil 10.12 Yapılan ısıtma işleminin grafiksel gösterilişi

Yapılan ısıtma işlemi sonucunda numuneler mikroyapı kontrolü için hazırlanmıştır. Isıtma işlemleri İstanbul Beylikdüzü' nde bulunan Marmara Isıtma İşlemleri AŞ. Şirketinde, vakum fırınlarında yapılmıştır.

10.2.4 Mikroyapı Tayini

Isıl işlem sonrasında gelen numune parçalarıyla birlikte tavlama yapılmamış parçalara sırasıyla zımparalama, parlatma ve dağlama işlemleri uygulanmıştır. Böylece numunelerin mikroyapısını görüntülemeyi amaçlanmıştır. Numunelerin yüzey pürüzlülüğünün alınması, düz homojen bir yüzeye sahip bir parça haline getirilmesi için SiC aşındırıcı tozlarının kullanıldığı zımpara kağıtları ile zımparalanmıştır. Numuneler 120-180-220-320-400 ve 600 olarak numaralandırılmış zımparalarla (zımpara kağıdında inç² başına düşen zımpara tozu yani tane sayısını bu numaralar belirtir) yaş olarak zımparalanmıştır. 600 numaradan küçük SiC zımpara kağıtları üzerinde ıslak zımpara yapılmıştır. Her aşındırma işlemi ile numune yüzeyi giderek daha parlak hale gelmeye başlamıştır. Zımpara değiştirirken numuneler 90⁰ döndürülüp, öyle devam edilmiştir. Her seferinde aynı işlem uygulama sonrasında zımpara değiştirilip numuneleri yıkanmış ve sıcak havayla kurutulmuşlardır.

Daha sonra parlatma işlemine geçilmiştir. Burada amaçlanan olabildiğince düzgün, çiziksiz ve yüksek parlaklıkta bir yüzey oluşturmaktır. Öncelikle keçe üzerinde alümina çamuru ile işleme başlanmıştır. Parlatma işlemini iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Önce üzerine uygun çuha geçirilmiş döner diskli makinada Al₂O₃ kullanılmış, daha sonra ise numuneler bol su ile yıkanmış ve alkolle ıslatılıp sıcak havayla kurutulmuşlardır.



Şekil 13. Numune hazırlamak için kullanılan zımparalama ve parlatma cihazları

Daha sonra elmas pasta kullanılmıştır. Bu işlemler sonucunda numuneler paslanmaz çelik ve yüzeyleri sert olduğundan, yüzeyde hafifçe çizikler kalmıştır. Parlatma işlemi bitirilip dağlamaya geçilmiştir.

Metalografik gözlemin amacı metallerin yapısal karakteristiklerini ortaya koymak olduğundan metalin mikroyapısı görünür hale getirilmelidir. Dağlamada kullanılan dağlayıcılarla metal anodik olarak çözünmektedir. Amaç ya fazların kendi aralarında ya da değişik fazlar arasında değişik çözünme hızlarından faydalanarak ışık mikroskobu için gerekli optik kontrastı yaratmaktır.



Şekil 10.14 Dağlama işlemi için kullanılan hava akımının olduğu tezgah

Dağlayıcılar alkol, saf su ve gliserin gibi sıvılarda veya bunların karışımında eritilmiş organik veya inorganik asitler, alkaliler veya bunların karışık bileşikleridir. Dağlama için öncelikle “Viella reaktifi” kullanılmıştır. Yüksek krom içerikli paslanmaz çelikler için seçilen bu dağlayıcıda 45 ml gliserin, 15 ml nitrik asit ve 30 ml hidroklorik asit bulunmaktadır (Salman, 2004). Kullanılan Viella reaktifinde net görüntü alınamayınca dağlayıcı olarak “Kral Suyu” olarak nitelendirilen 3 birim hidroklorik asit ve 1 birim nitrik asit karışımı kullanılmıştır.

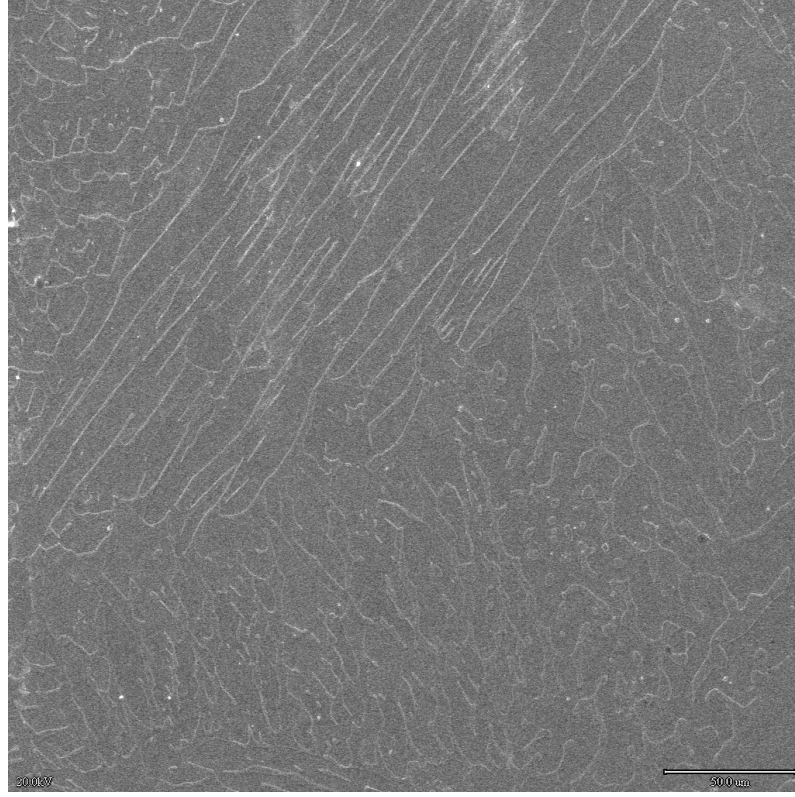
Dağlama işlemi elle yapılmıştır. Önce dağlayıcı cam bir bardak altı kabına bir miktar dökülmüştür. Bu işlem üzeri kapalı hava akımı bulunan ortamda gerçekleştirilmiştir. Bir miktar pamuk alınıp, dağlayıcının içine batırılmış ve 100 saniye kadar dağlayıcı tarafından ıslatılmış pamuk numunelerin yüzeyine tek tek uygulanmıştır. Kimyasal reaksiyon bittiğinde dağlama işlemine son verip numuneler hemen ılık suda yıkanmış, alkolde çalkalanmış ve sıcak hava akımında kurutulmuşlardır.

10.2.5 SEM Görüntülemesi

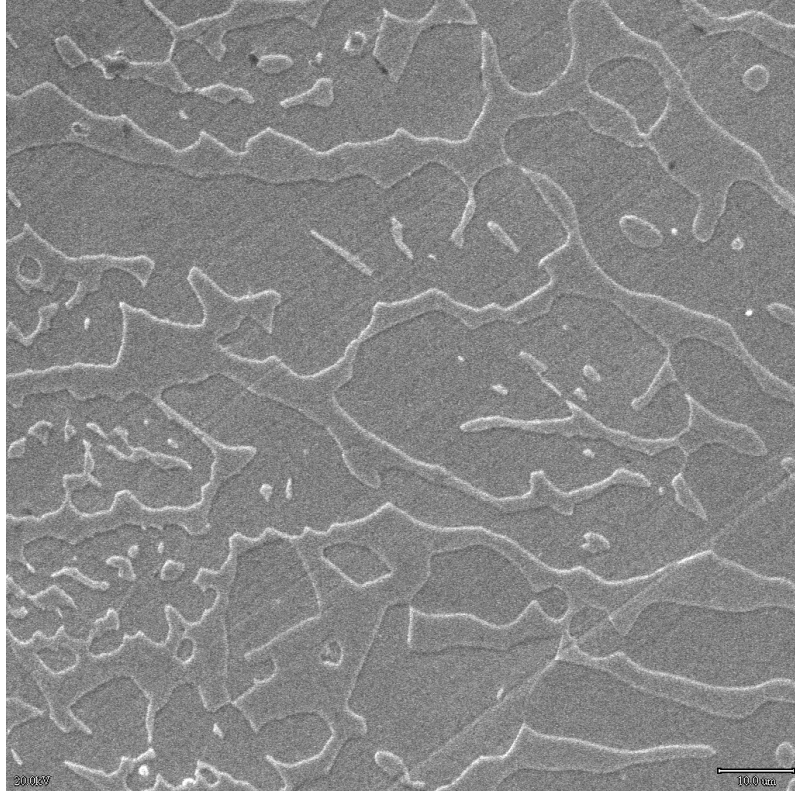
Bu mikroskopta görüntü, yüksek enerjili elektronların numuneye odaklanıp, bu elektronların numune yüzeyinde taratılırken, numuneye çarparak burada oluşturdukları etkilerin uygun

algılayıcılarda toplanmasıyla ve sinyal güçlendiricilerinden geçirildikten sonra bir katot ışınları tüpünün ekranına aktarılmasıyla elde edilmektedir. Elde edilen görüntü iki monitörden oluşan sistemde izlenilmektedir. Birinci monitör taramanın hangi bölgede olduğunu ikinci monitör ise taranan bölgeyi göstermektedir.

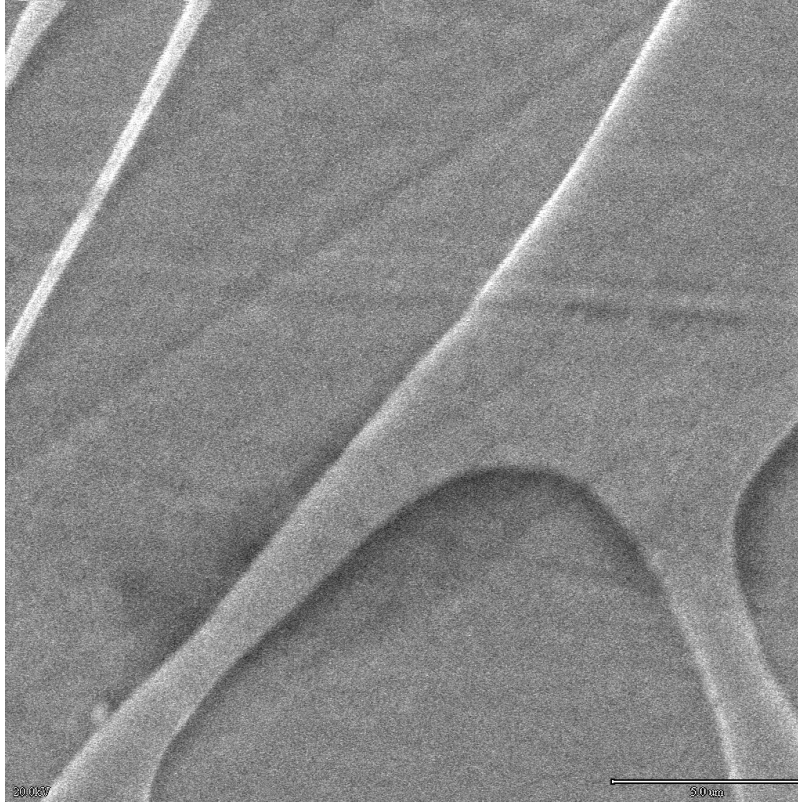
Yüzeyi hazırlanıp dağlama işlemi yapılmış numuneler SEM cihazında yüzey görüntüleme işlemine tabi tutulmuşlardır. Bu sayede yüzey durumunun çok net biçimde görüntülenmesi başarılmıştır. Sırasıyla önce 1 no'lu tavllanmış ince ve tavlınmamış kalın numuneler ve daha sonra 2 no'lu tavllanmış ince ve tavlınmamış kalın numuneler görüntülenmişlerdir. Uygulanılan görüntüleme yakınlaştırmaları sırasıyla 200, 350, 500, 1000 ve 5000 büyütmedir.



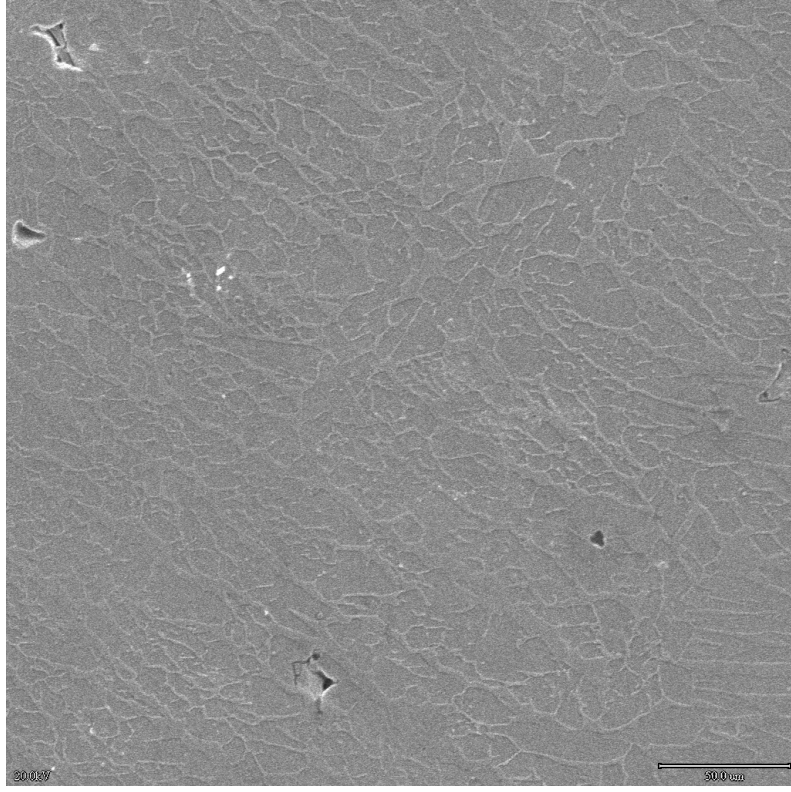
Şekil 10.15 1. ince numune 350X büyütmede



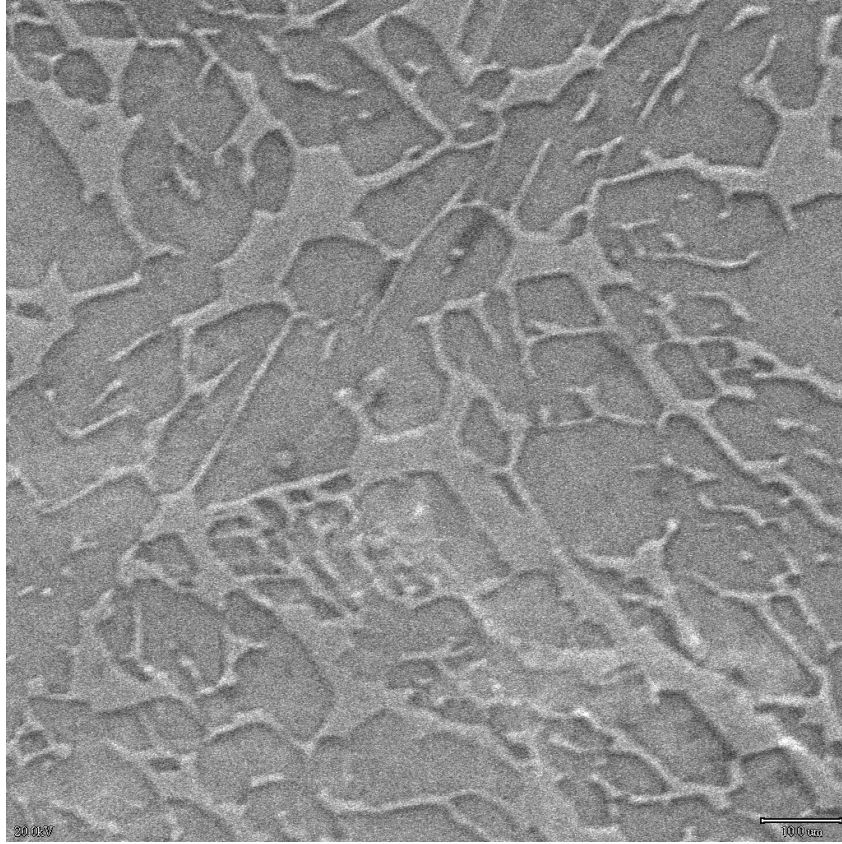
Şekil 10.16 1. ince numune 1000X büyütmede



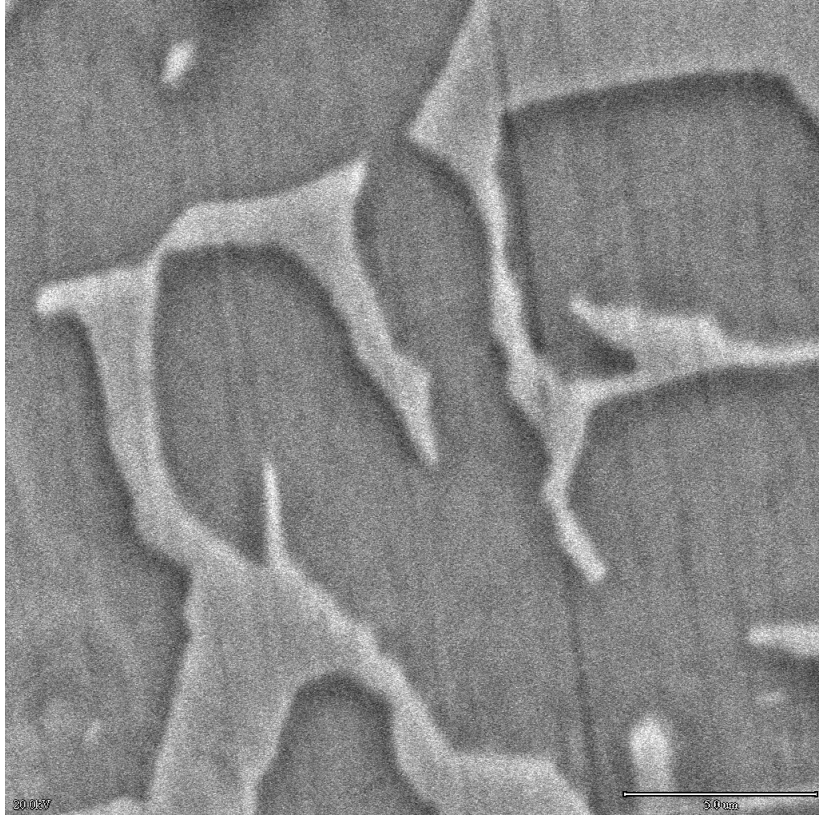
Şekil 10.17 1. ince numune 5000X büyütmede



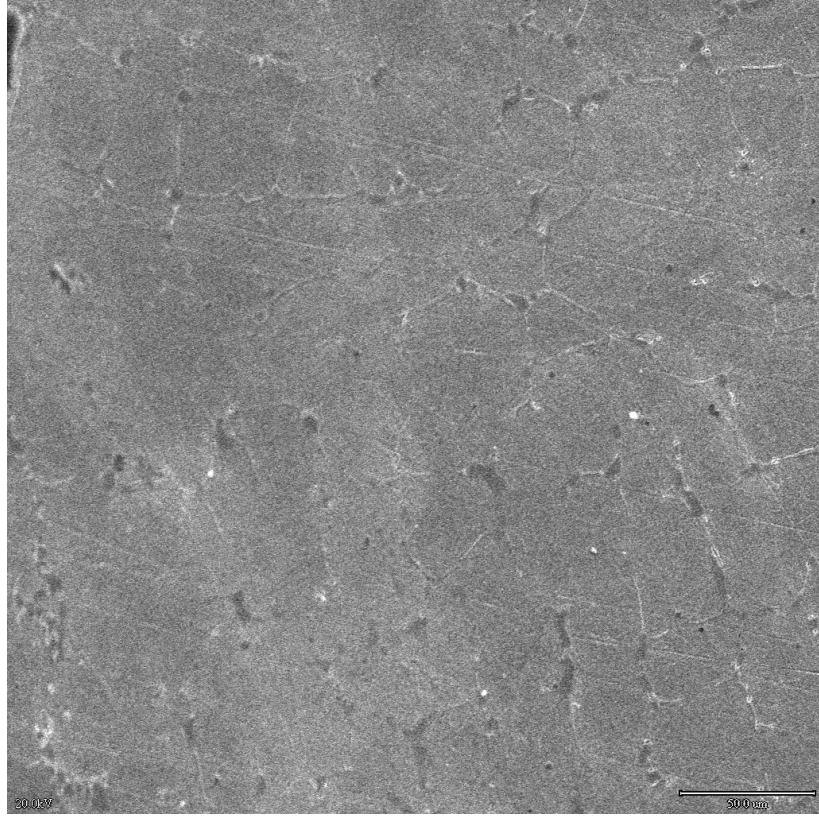
Şekil 10.18 1. kalın numune 350X büyütmede



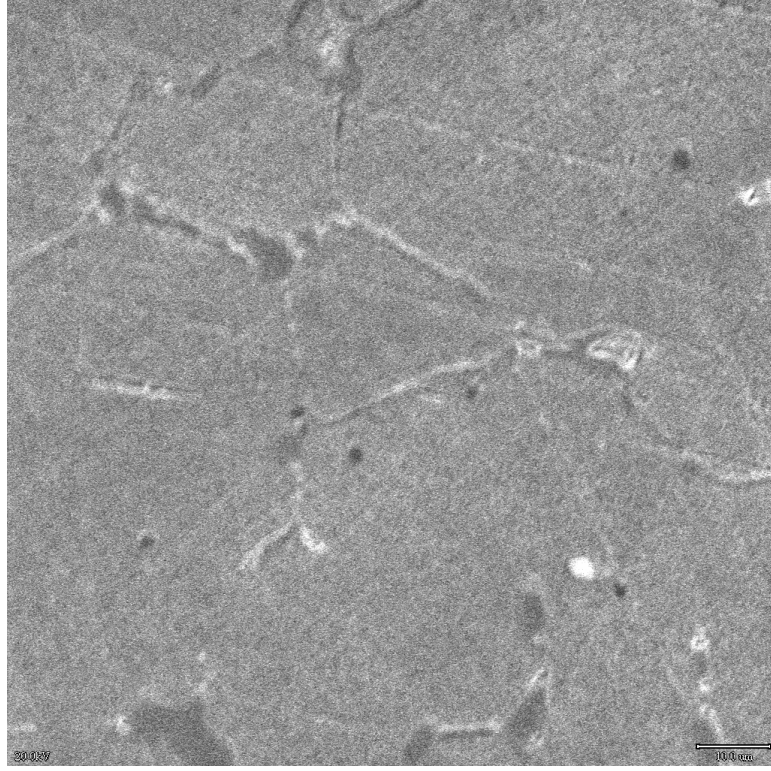
Şekil 10.19 1. kalın numune 1000X büyütmede



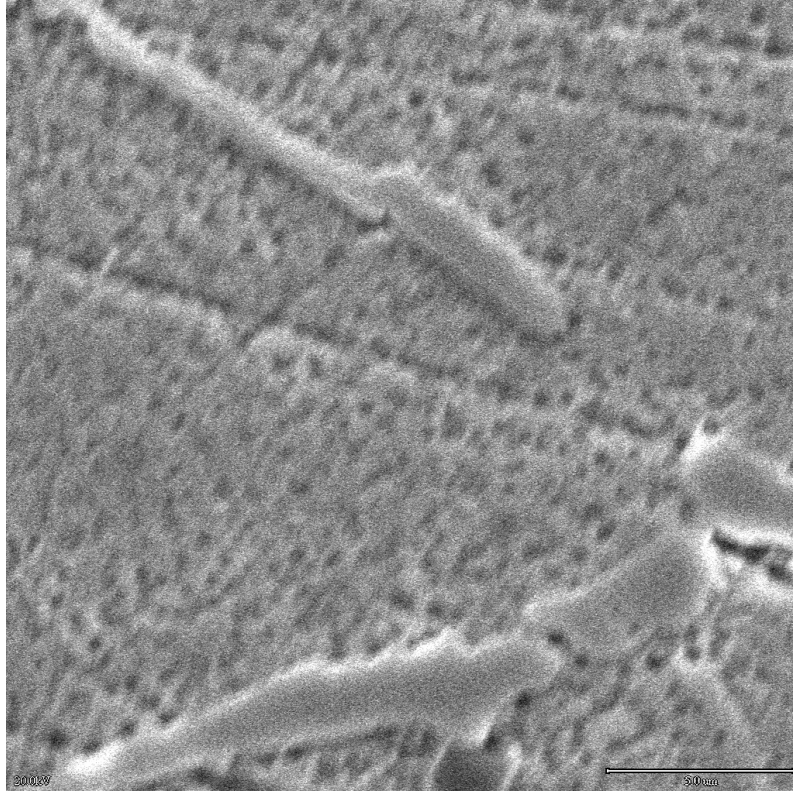
Şekil 10.20 1. kalın numune 5000X büyütmede



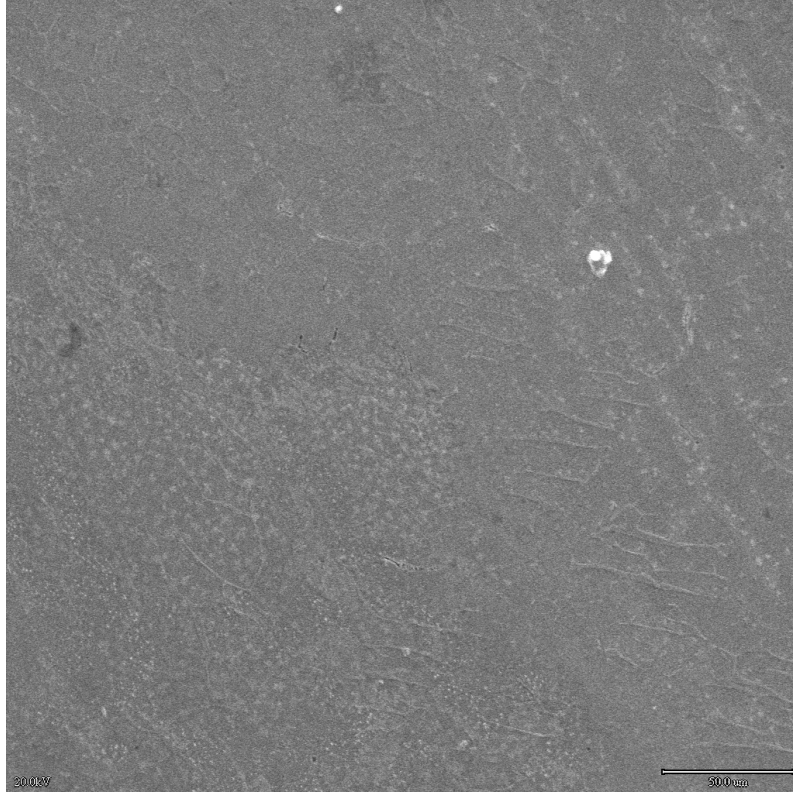
Şekil 10.21 2. ince numune 350X büyütmede



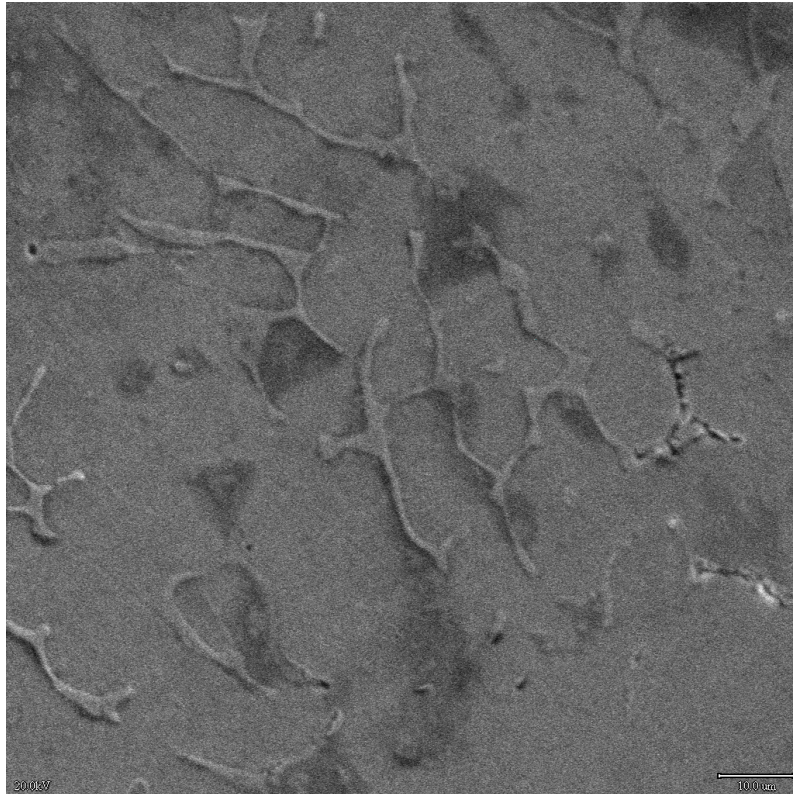
Şekil 10.22 2. ince numune 1000X büyütmede



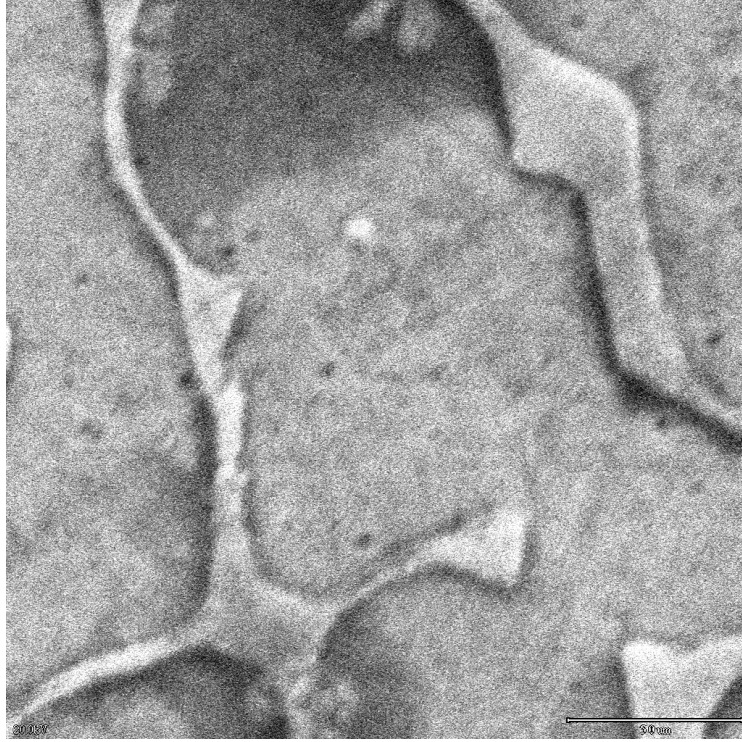
Şekil 10.23 2. ince numune 5000X büyütmede



Şekil 10.24 2. kalın numune 350X büyütmede



Şekil 10.25 2. kalın numune 1000X büyütmede

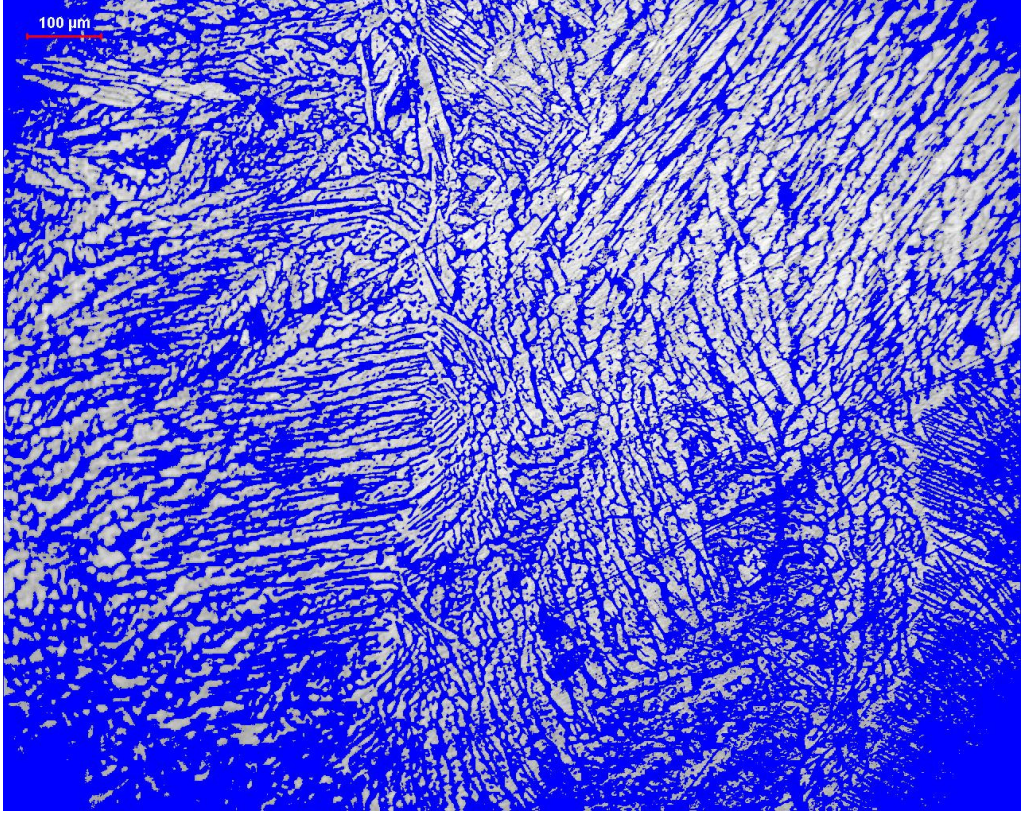


Şekil 10.26 2. kalın numune 5000X büyütmede

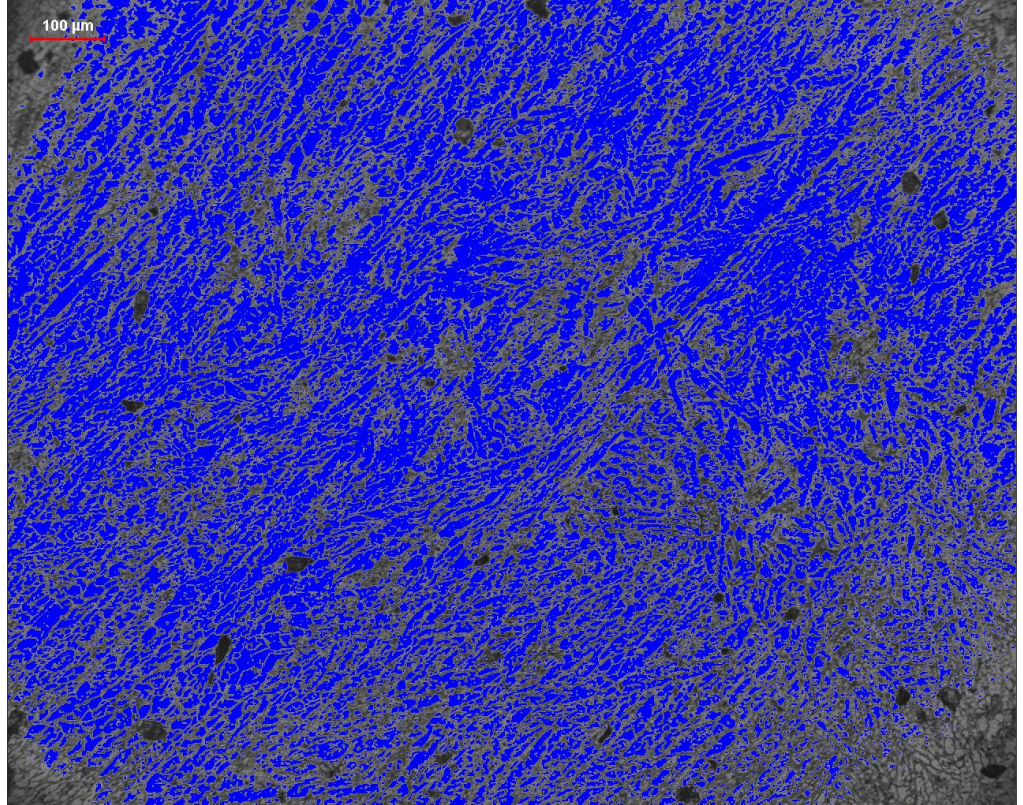
10.2.6 Ferritik Yapı Miktarı Görüntülemesi (Image Analyzer)

Bu aşamada ise numunelerin içerdiği ferritik yapının miktarı kontrol edilmiştir. Bu sayede ergitme işlemi sonrasında oluşan yeni paslanmaz çelik yapılarının ferritik-östenitik dağılımı belirlenmiştir. Image analyzer cihazında yapılan bu işlem sonucunda beyaz renkli alan ferritik, siyah renkli alan ise östenitik bölgeleridir. Cihazdan alınan görüntüler şu şekildedir:

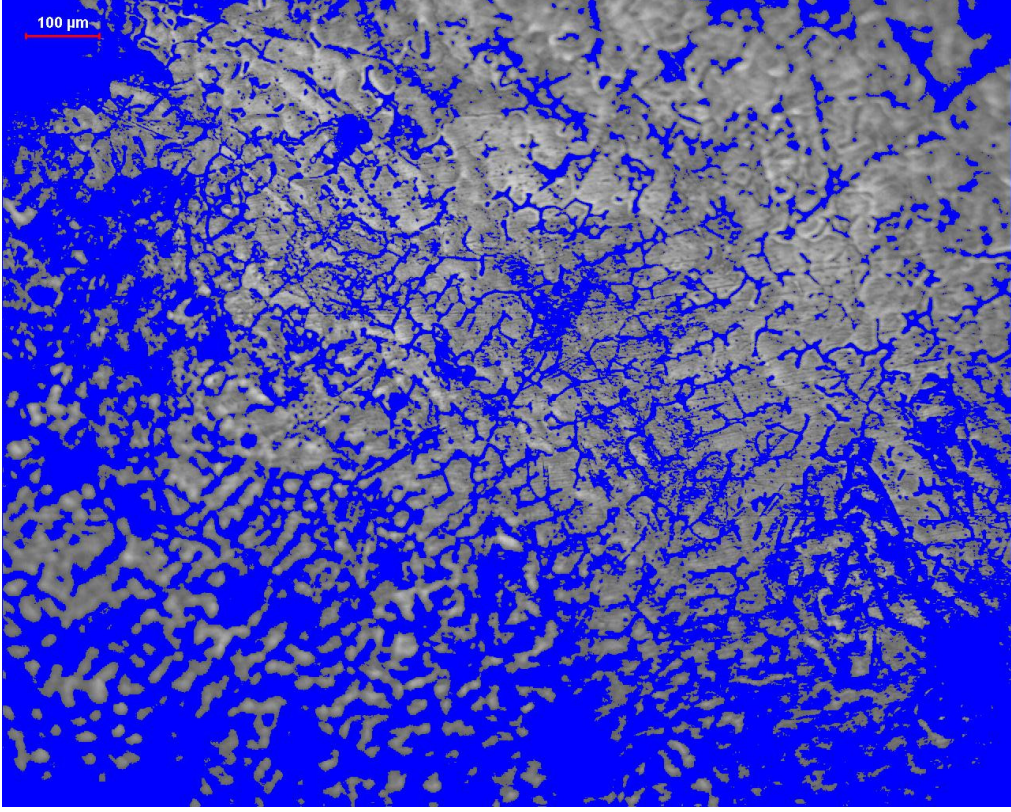
Alan belirleme yöntemi için kullanılan cihaz Image Analyzer - Leica DFC 280 – Leica DMLM serisidir.



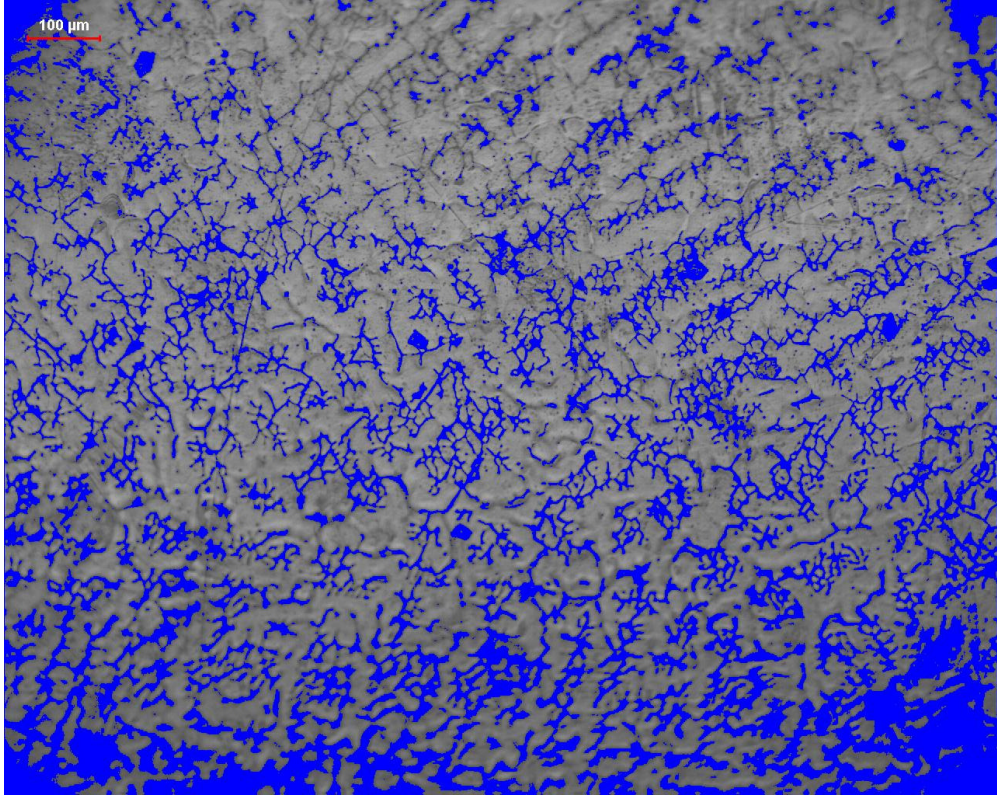
Şekil 10.27 1. ince numunenin 100X altında görüntüsü



Şekil 10.28 1. kalın numunenin 100X altında görüntüsü



Şekil 10.29 2. ince numunenin 100X altında görüntüsü



Şekil 10.30 2. kalın numunenin 100X altında görüntüsü

Çizelge 10.2 Numunelerde ferritiklik-östeniklik alan tayini

Numune İsmi	Ferritik	Östenitik
1. Kalın Numune	% 69	% 31
1. İnce Numune	% 56	% 44
2. Kalın Numune	% 47	% 53
2. İnce Numune	% 50	% 50

Nikel alaşımı ilk artırımda yapıdaki östenitik bölgenin genişlediği ve daha fazla olan ikinci artırımda ise östenik bölgenin % 30' dan % 50' ye kadar çıktığı görülmektedir. Bu artırımda aynı zamanda östenik bölgenin artmasına paralel olarak tane yapısının büyüklüğünde nikelin artmasıyla birlikte artış göstermiştir. Nikel miktarının artmasıyla yapıdaki östenit oranı ferrit oranının yüzde olarak aştığı bölgelerde, tane sınırlarının yapısını değiştirebilir ve taneler daha büyük olarak bulunabilmektedir (Campos, 2003).

10.2.7 Mikrosertlik Ölçümü

Mekanik özelliklerin başında gelen sertlik miktarını belirlemek için 1000 g yük kullanılan mikrosertlik cihazı kullanılmıştır. İşlem ASTM E-112 standardına göre gerçekleştirilmiştir.

Numunelerin yüzeyinde eşkenar dörtgen biçiminde oluşan alanın ölçümüne dayanan hesaplama yöntemiyle bulunan sertlik miktarları şu şekildedir:

Çizelge 10.3 Numunelerde mikrosertlik tayini

Numune İsmi	1. Ölçülen Değer	2. Ölçülen Değer	Ortalama HV Değeri
1. Numune Kalın	182,96	178,94	180,95
1. Numune İnce	176,99	169,72	173,35
2. Numune Kalın	215,94	209,31	212,62
2. Numune İnce	207,11	206,21	206,66

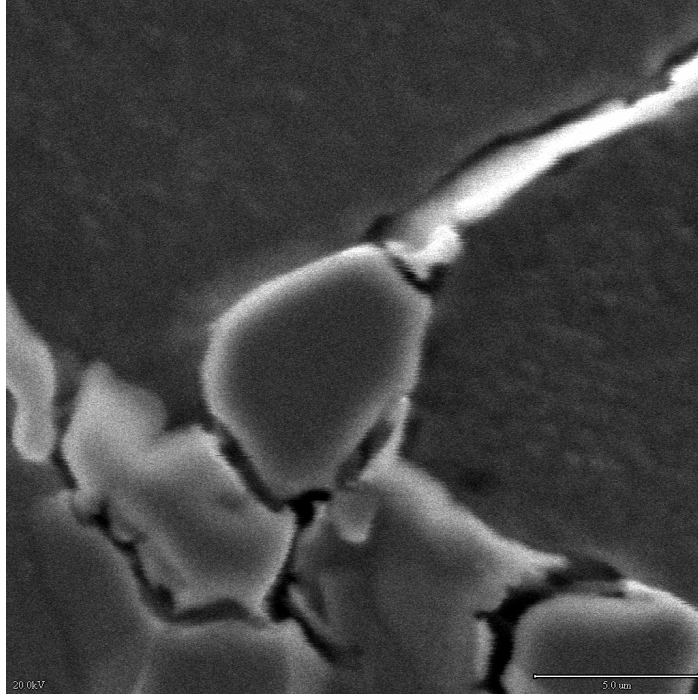
Ölçüm sırasında kullanılan cihaz HVS 1000 serisi (Bulut Makina) sertlik ölçme cihazıdır.



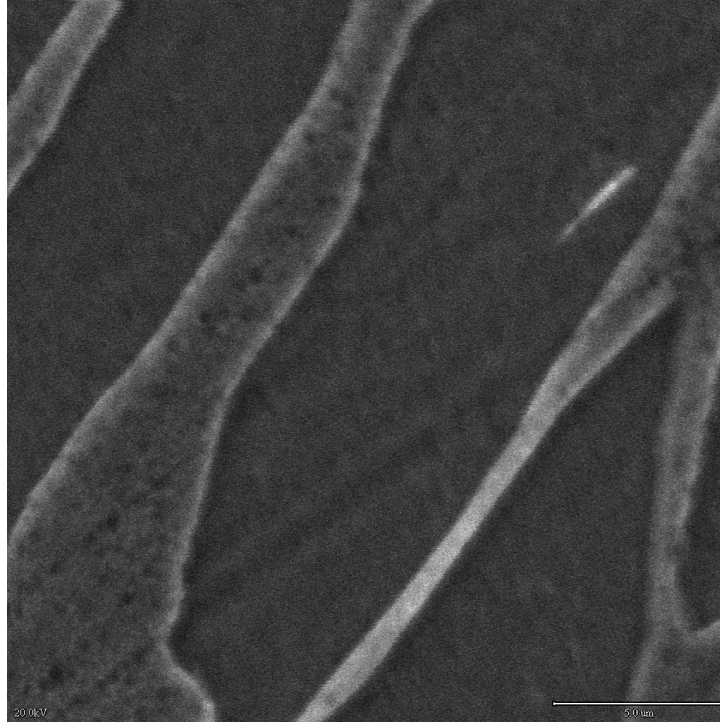
Şekil 10.31 Mikrosertlik cihazının görünümü

10.2.8 Yüzey Durumu

Üretilen numuneler, sırasıyla çözelti olarak hazırlanmış, aynı zamanda dağlama sıvısı olarak da kullanılmış olan üç birim hidroklorik asit ve bir birim nitrik asit çözeltisine konulmuştur. Süre olarak yarım saat belirlenmiştir. Bu süre zarfında numunelerde oluşan yüzeyler daha sonra optik mikroskopta görüntülenmiştir. Hasar 2207 paslanmaz çeliğinde daha yüksek, 2211 paslanmaz çeliğinde ise diğerine göre daha azdır. Hasarın oluşma oranı paslanmaz çelikte ki molibden metalinin oranıyla alakalıdır. Deneyde üretilen paslanmaz çelikte molibden metalinin oranı %3 seviyelerindedir. Molibdenleri eşit olan metallerde ki hasarın farklı olmasının sebebi ise tamamen nikel oranlarıyla alakalıdır. Düşük nikelli olanda yüzey daha siyah görünmüş, yüksek nikellide ise yüzey diğerine oranla daha temiz görünmüştür.



Şekil 10.32 2207 kalite paslanmaz çeliğin yüzeyinde oluşan yanma 1000X büyütmede



Şekil 10.33 2211 kalite paslanmaz çeliğin yüzeyinde oluşan yanma 1000X büyütmede

10.3 Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

-Deneylerden önce alınan dubleks paslanmaz çelik hurdaların içerisine katılan farklı oranlardaki nikel miktarları malzemelerin mikro yapılarını değiştirmiştir. Yeni üretilen malzemeler 2207 ve 2211 olarak bilinen % 22 Cr içerikli paslanmaz çeliklerdir. Üretim sonucu elde edilen paslanmaz çeliklerde dubleks özellik taşımaktadır. Ancak içerdikleri östenit ve ferritik oranları farklı olduğundan alınan hurdaya oranla daha üstün mekanik, manyetik, kimyasal ve korozif özellikler göstermektedir.

-Üretimi yapılan 1. numune olan 2207 paslanmaz metali ile 2. numune olan 2211 paslanmaz metaline aynı tür ısıtma işlemleri uygulandığından, ısıtma işlemi sonucu yapılan mikroyapı analizlerinde meydana gelen değişimlerin etkisi, eklenen nikel metalinin oranına bağlıdır. Nikel metali tane boyutunu ve östenit alanını artıracak etki yaptığından 2.numune olan 2211 metalinin mikroyapısında şekil 10.29 ve şekil 10.30' da belirtildiği gibi östenit alanının genişliği daha fazladır. Bu metalin daha yüksek mekanik özellikler göstermesine yarar sağlamaktadır. Yapılan ısıtma işlemlerinin süresi ve soğutma hızında, paslanmaz çelikte yapıdaki sigma fazının oluşumunu etki etmektedir. Sigma fazı, 650-800 °C arasında görülen sertlik oranı çok yüksek olan, paslanmaz çelikte ise krom ve molibden metallerinin etkisiyle oluşabilen çatlamalara neden olabilen, gevrek bir yapıdır. Soğutma hızı $0.25 \text{ } ^\circ\text{C s}^{-1}$ olarak belirlenip azot gazı giderme işlemiyle birlikte sigma fazının oluşum oranı düşürülmüş olmaktadır (Alvarez, 2000). Aynı zamanda 950-1100 °C arasında sıcaklığa getirilen ve hızlı biçimde suda soğutma işlemi uygulanan paslanmaz çeliklerde sigma fazı oluşumu engellenebilmektedir. Aksi takdirde oluşum görüldüğünde, bu tür paslanmaz çeliklerde kaynak işlemlerinde sigma kırılabilirliği meydana gelmektedir. Bu durum en büyük etkiyi dubleks yapıların kaynak işlemlerinde göstermektedir. Uzama, büzülme ve çentik darbe dayanımlarını yüksek miktarda düşüren bu olay dubleks paslanmaz çeliklerin karbon oranının düşük olması nedeniyle üretim sonrasında yapılan ısıtma işlemiyle giderilebilmektedir.

-Numunelere uygulanan mikrosertlik testlerinden sonra oluşturulan Çizelge 10.3' te görüleceği üzere östenit miktarı artırılmış olan paslanmaz çeliklerde sertliğin arttığı görülmüştür. Hurdanın ilk sertliği 170 HV'dir. Artan östenit oranıyla birlikte sertlik miktarındaki artış eğilimi yapılan ısıtma işlemiyle çok fazla düzeyde değişmediği de görülmüştür. 2207 kalite paslanmaz çelik numunenin ısıtma işlemi gören ince parçasının ortalama sertlik değeri 173,35 HV, görmeyen parçasının ortalama sertlik değeri ise 180,95 HV'dir. 2211 kalite

paslanmaz çelik numunenin ısıtılma işlemi gören ince parçasının ortalama sertlik değeri 206,66 HV, görmeyen kalın parçasının ortalama sertlik değeri ise 212,62 HV' dir. Aynı tip paslanmaz numunelerden ısıtılma işlemi gören ve görmeyen arasındaki sertlik farkı çok düşük oranlardadır. Farkın bu kadar az olmasının sebebi numunelerin karbon içeriklerinin düşük olmasından dolayı ve yapılan ısıtılma işleminin sertlik artırıcı olan sigma fazının oluşumunu engellemiş olmasındandır.

-Dubleks paslanmaz çelikler içerdikleri alaşım elementleri dolayısıyla oyuklanma korozyonuna karşı dayanıklıdır. Bu etki, nikel elementinin yanı sıra molibden elementini de içerdikleri içindir. Molibdeni %3 miktarında içerdiği için özellikle klorlu ve tuzlu suda mükemmel dayanım gösterir. Nikel oranının artmasıyla bu dayanım daha yüksek bir seviyeye gelir. Böylelikle denizcilik sektöründe özellikle kullanılır.

-Ekonomik olarak östenitik paslanmaz çelikler üreticilere çok fazla bir yük getirmektedirler. Östenitik seriden 316 kaliteyi kullanmak zorunda olan firmaların, maliyet hesaplarındaki en büyük gider kalemi paslanmaz çelik hammaddesidir. 316 seriden başka bir alternatif kullanamayan üreticiler için 70' li yıllardan sonra geliştirilen dubleks serisi adeta bir çıkış kapısı olmuştur. Gerek ekonomik, gerekse kimyasal ve mekanik özelliklerinin mükemmel olması dolayısıyla üreticiler artık östenitik seri yerine dubleks serisini tercih etmektedir. Bu deneyde de hurda sınıfında alınan dubleks çeliklerin yeniden değerlendirilmesi amaç edinilmiş ve alaşım elementi olarak nikel ilave edilerek östenitik seriden daha da üstün özelliklere kavuşulması amaçlanmıştır. Deney sonunda bakılan mikroyapı özelliklerinin üstünlüğü, mekanik ve magnetik özelliklerdeki gelişme göstermektedir ki üretilen yeni seriler üreticiye büyük fayda sağlayacaktır.

11. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Paslanmaz çelikler korozyonu durdurmak amacıyla geliştirilmiş geniş bir alaşım grubudur. Buna ek olarak; kusursuz şekillendirilebilme, yüksek oda sıcaklığı, soğuk tokluk, oksidasyon ve yüksek sıcaklıklarda sürünme dayanımı içermektedirler.

Krom paslanmaz çeliklere korozyon direnci kazandıran ana alaşım elementidir. Ancak başka birçok elementte diğer fazları dengelemek, korozyon direncini artırmak ve mekanik özellikleri arttırmak için ilave edilebilir. % 12' yi aşan miktarda krom içermesi, paslanmaz karakterinin oluşmasını sağlar. Korozyon direncinin diğer çeliklere göre artması, bu kromun oksit tabakası oluşturup yüzeyde ince bir film halinde sarmasından dolayıdır.

Östenitik, ferritik ve dubleks serilerinde alaşımlandırma ve termomekaniksel prosesler, fazların korozyon direncine ve tokluğa en az zarar verecek şekilde düzenlenmesini sağlamak amacıyla dizayn edilmişlerdir. Martenzitik seri ise su verme ve tavlama ile yüksek sertlik ve dayanımlara sahip olabilmektedir. Çökeltme sertleşmeli olan seri ise, belirli fazların çelik üretimi sırasında çökeltip, yapının istenilen mekanik özelliklere sahip olmasını sağlamaktadır.

Östenitik seriler ekonomik olmaması dolayısıyla sadece gerektiği zamanda kullanılmaktadır. Ancak dubleks paslanmaz çelikler gösterdikleri üstün özellikler ve daha ekonomik olması nedeniyle daha çok tercih edilmektedir. Hurda metalden üretilecek dubleks serileri içerisine, daha yüksek oranlarda nikel eklemek sayesinde, hem hurda metal daha iyi değerlendirilmiş olacak hem de östenitik paslanmaz çelik gibi üstün özelliklerde metal eldesi daha da ekonomik bir biçimde sağlanmış olacaktır.

Gelişmiş ülkelerde demir ve çelik sektörü, entegre tesislere dayalı olup, katma değeri yüksek; paslanmaz çelik, vasıflı çelik ve özel çelikler gibi ürünlere yönelmişlerdir. Bu ülkelerde demir ve çelik sektörü, yarı entegre tesislere dayalı olup, hurda gibi parçalı girdilerden nispeten daha ucuz ve ekonomik ürünler elde etmektedirler. Sektörün özelliğinden dolayı tonu 500-800 dolarlık ürünler üretilebildiği gibi, maliyetleri fazla artırmadan, paslanmaz çelik gibi tonu 2000-7000 dolar arasında değişen ürünler de elde etmek mümkündür.

Türkiye için paslanmaz çelik üretimi, yer altı, yer üstü ve insan kaynakları da dahil ülke kaynaklarını harekete geçirerek ülke insanının ihtiyaçlarını karşılayabilen kritik bir teknolojidir. Türkiye dünyada krom cevheri sıralamasında sekizinci sıradadır. Ülkemizde düşük karbonlu ve yüksek karbonlu ferrokrom üretimi yapılabilmektedir. Krom cevherimizin tenörü de yüksektir. Manisa’ da bulunan nikel madenlerimizin toplam ekonomik değeri 40 milyar dolar dolayındadır. Krom üreticisi olan ülkelerden Arnavutluk ve ülkemizde, yalnızca paslanmaz çelik üretim tesisi, sürekli üretimi geçmiş durumda bulunmamaktadır. Ülkemizde son yıllarda Borusan Holding’ in girişimleri devam etmiş ve hazır sac mamülden boru üretimi işlemine başlanmıştır. Halen sürmekte olan fizibilite çalışmalarından sonra sürekli üretim sistemine geçilecektir. Küba’ da yılda 150.000 ton ihracat yapabilecek kapasitede olan paslanmaz çelik tesisleri bulunmaktadır. Ancak uzakdoğunun parlayan yıldızı olan Çin, 2006 yılından beri hızla artmakta olan performansı ile dünya paslanmaz çelik üretiminin % 35’ ini tek başına karşılamaktadır. Ülkemizin diğer ülkelerle hem demir çelik hem de diğer çelik ve alaşımları gruplarında rekabet edebilmesi için, bir an evvel ciddi yatırımlara başlaması gerekmektedir. Paslanmaz çelik üretiminde uzmanlaşan, kendi demir ve kömür rezervlerini işleyebilen ve sünger demir üretebilen bir Türkiye, bulunduğu konum nedeniyle, ihracatta çok üst seviyelere gelebilir. Çin ve Hindistan gibi dev ülkelerden yapılan ithalatların 90 günü bulması, en büyük tüketici konumundaki Avrupa için büyük bir dezavantajdır. Eğer biz Türkiye olarak bu eksiklerimizi giderebilirsek ve paslanmaz çelik, sünger demir ve alaşımlı çeliklere olan yatırımlarımızı arttırabilirsek Avrupa’ nın en büyük çelik tedarikçilerinden olabiliriz.

KAYNAKLAR

Alvarez-Armas, Iris, (2000), Duplex Stainless Steels: Brief History and Some Recent Alloys, Instituto de Física Rosario - CONICET, Universidad Nacional de Rosario, Arjantin.

ASM Metals Handbook Cilt 1, (1990), ASM International Handbook Committe, ABD.

Berquist , Olsson J. ve Olsson A., (2007), Stainless Steels in Road Environments Stainless Steel World, Almanya.

Bhadeshia, H. ve Honeycombe R., (1992), Steels Microstructure and Properties, Pergamon Press, İngiltere.

Campos, M., Bautista, A., Abenojar, J. ve Torralba, J.M., (2003), Study of the Interfaces Between Austenite and Ferrite Grains in P/M Duplex Stainless Steels, Journal of the European Ceramic Society, Sayı 23, Sayfa 2813–2819.

Chadley, D., (1978), Metals Handbook Vol. 15 New and Emerging Processes, Molding and Casting Processes, ABD.

Chaulet, R. J., (1997), Stainless Steel Refining, Praxair Technology. Inc., Detroit.

Choudhry A. , (1992), Overview of Secondary Metallurgy System, News of Japanese Steel-Eylül Sayısı.

Chiu, L. H., (2002), Cooling Rate Effect On Vacuum Brazed Joint Properties for 2205 Duplex Stainless Steels, Department of Materials Engineering, Tatung University, 40 Chungshan North Road, 3rd Sec., Taipei 10451, Taiwan, People's Republic of China,

Cömert, Y., (2001), Stainless Steel Manufacturing Processes, Bitirme Tezi, İTÜ Kimya-Metalurji Fakültesi, İstanbul.

Çamlıdere, T. , (1999), Kromit, Ferro-krom, İnsan Kaynakları ve Paslanmaz Çelik, ETİ KROM AŞ. Darboğaz Raporu, Eti Holding AŞ., Ankara.

Çizmecioğlu, Prof. Dr. Z. (2009), Yıldız Teknik Üniversitesi Hurdadan Metal Kazanımı Ders Notları, İstanbul.

Dietrich W., (1995), Metallurgical Plant and Technology Int., New Jersey.

Edge, G., (2007), Structural Uses of Stainless Steel – Buildings and Civil Engineering, Arup Materials Consulting, Solihull , İngiltere.

EN10088, (1995), Part 1, Stainless Steels Part 1 – List of Stainless Steels, BSI.

Ersundu,E., (2007), Yerli Demir Cevherlerinin Sünger Demir Üretiminde Uygunluğunun Araştırılması, İTÜ Kimya-Metalurji Fakültesi, S.28-30, İstanbul.

Euro-inox GmbH Teknik Dökümantasyonu, (2010), Almanya.

- Gould, L., (2007), Carinox-The Largest Single-Line Stainless Steel Production Facility In The World, Steelmaking, İngiltere.
- Lula, R. A., (1986), Stainless Steel, American Society for Metals, Metals Park, OH
- Meeter, Gordon L., (1980), Modern Electric Arg Furnace Steelmaking, SEGEM.
- Oerlikon Kaynak Elektrodları ve Sanayi A.Ş. Teknik Dökümanları, (2008), İstanbul.
- Oktav, A., (2003), Paslanmaz Çelikler, Bitirme Tezi, İTÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- Peckner, D. ve Bernstein, I.M., (1977), Handbook of Stainless Steels, McGraw-Hill, New York.
- Robiette, A.G.E., (1996), Electric Melting Practice, Londra.
- Salman, S. ve Gülsoy, H. Ö., (2004), Metalografi Bilimi, Nobel Yayın Dağıtım-Teknik Kitaplar, İstanbul.
- Sarıdede, Doç. Dr. M. N., (2010), Yıldız Teknik Üniversitesi Ferroalaşım Ders Notları, İstanbul.
- Sarıtaş AŞ. Teknik Dökümanları, (2010), İstanbul.
- Schlebusch D. W., (1990), The Growing Usefulness of Stainless Steel International Iron and Steel Institute, Brüksel.
- Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu Metal Madenleri Alt Komisyonu Diğer Metaller Çalışma Grubu, (2001), Nikel, Devlet Planlama Teşkilatı, Ankara.
- Şanbaşıoğlu, Selahaddin, (1985), Metalurji Yüksek Mühendisi, Standart Çeliklerin Uluslararası Eşdeğerleri, İstanbul.
- Tahtakıran E., (2007), Kromit, Ferro-krom ve Paslanmaz Çelik Sektörüne Genel Bir Bakış, İstanbul.
- Tunç, Ziya, (1984), İkincil Çelik Yapım Üniteleri, Ünitelerin Karşılaştırılması ve Seçimin Prensipleri, SEGEM.
- Tülbentçi, K., (1998), Mig-Mag Gazaltı Kaynak Yöntemi, Arctech Yayını, İstanbul.
- Uzunoğlu, T., (2004), Krom ve Nikelin Fe-C Alaşımından Direk Redüksiyonu, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Kimya-Metalurji Fakültesi.
- Wegst, C. W., (1989), Stahlschüssel, Verlag Stahlschüssel Wegst GmbH D. 7142 Marbach, Almanya.
- Yılmaz, A., (1996), Elektrikli Ark Ocaklarında Çelik Üretimi, Bitirme Tezi, İTÜ Kimya-Metalurji Fakültesi, İstanbul.

İNTERNET KAYNAKLARI

- [1] British Stainless Steel Association, <http://www.bssa.org.uk>
- [2] Stainless Steel World, <http://www.stainless-steel.net>
- [3] ISSF, Uluslar arası Paslanmaz Çelik Forumu, <http://www.worldstainless.org>
- [4] Outokumpu, <http://www.outokumpu.com>
- [5] Steel University, <http://www.steeluniversity.org/content/html/eng/default.asp?catid=25&pageid=2081271935>
- [6] Uluslar arası Molibden Birliği, <http://www.imoa.info/>

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 19.06.1982

Doğum yeri İstanbul

Lise 1998-2002

Bakırköy Hasan Polatkan Anadolu Lisesi

Lisans 2002-2007

Yıldız Üniversitesi Mühendislik Fak.
Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2007-Devam ediyor

Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Metalürji ve Malzeme Müh. Üretim Anabilim Dalı

Çalıştığı kurumlar

2006 Mart-2006 Eylül

Arıkanlı Holding- Kalite Kontrol Bölümü Çalışanı

2007-Devam Ediyor

Tunç Metal Paslanmaz-Kalite Sistem Yöneticisi