

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ŞEKER FABRİKALARINDAKİ DİFÜZÖRLERDE
KULLANILAN KAPLAMA MALZEMELERİNİN
KOROZYON DAVRANIŞLARININ DENEYSEL
ARAŞTIRILMASI**

Serhat KAYA

Tez Yöneticisi
Doç. Dr. Mehmet H. KORKUT

YÜKSEK LİSANS TEZİ
METALURJİ EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

ELAZIĞ, 2008

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ŞEKER FABRİKALARINDAKİ DİFÜZÖRLERDE
KULLANILAN KAPLAMA MALZEMELERİNİN
KOROZYON DAVRANIŞLARININ DENEYSEL
ARAŞTIRILMASI**

Serhat KAYA

Yüksek Lisans Tezi
Metalurji Eğitimi Anabilim Dalı

Bu tez, tarihinde aşağıda belirtilen jüri tarafından oybirliği /oyçokluğu ile başarılı / başarısız olarak değerlendirilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Mehmet H. KORKUT

Üye:

Üye:

Üye:

Üye:

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../..... tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ŞEKER FABRİKALARINDAKİ DİFÜZÖRLERDE KULLANILAN KAPLAMA MALZEMELERİNİN KOROZYON DAVRANIŞLARININ DENEYSEL ARAŞTIRILMASI

Serhat KAYA

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Metalurji Eğitimi Anabilim Dalı

2008, Sayfa: 98

Bu çalışmada, şeker fabrikaları üniteleri arasında çok önemli bir yere sahip, kıyımlanmış şeker pancarının haşlandıktan sonra geldiği ve ham şerbete dönüştüğü kısım olan difüzyon ünitesinin, esas malzemesi ve esas malzeme üzerine giydirme yoluyla kaplanan östenitik paslanmaz çelik malzemelerin korozyon davranışları incelenmiştir. Korozyon deneyleri kütle kaybı yöntemi ile yapılmış olup; deney numunelerinin korozyona maruz bırakılma süreleri 2,4,6 ve 8 saat olarak belirlenmiştir. Deneysel çalışmada kullanılan malzemeler difüzyon esas malzemesi olarak kullanılan St-37 düşük alaşımlı çelik ve esas malzeme üzerine giydirme yöntemiyle kaynakla birleştirilen östenitik paslanmaz çelik grubunun AISI 304 , AISI 304L ve AISI 316 çelik türleridir. Deney numuneleri malzeme piyasasından satın alma yolu ile elde edilmiştir. Numuneler ısıtılma işlemi ve ısıtılma işlemli numuneler olarak ikiye ayrılmıştır. Isıtılma işlemli numuneler 1100 °C’ de 10 dak. beklendikten sonra homojenleştirme işlemine tabii tutulmuştur. Difüzördeki asidik şerbet ortamının deney numuneleri üzerindeki korozyon etkisinin tespiti çalışmaları için deney numunelerine SEM-EDX, X-Işınları Difraksiyonu, mikro sertlik ve yüzey sertliği gibi testler uygulanmıştır.

Sonuç olarak 1100 °C’ de uygulanan homojenleştirme ısıı işleminde sonra bütün numunelerin korozyon dirençlerinin arttığı gözlenmiştir. Ayrıca korozyon dirençleri St 37 düşük alaşımlı çelik dahil kullanılan 4 çeşit malzeme arasında en iyi sonuç AISI 316 östenitik paslanmaz çelik numunede gözlenmiştir.

Anahatar Kelimeler : Şeker fabrikaları, difüzör, korozyon, östenit, paslanmaz çelik

ABSTRACT

Postgraduate Thesis

EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE CORROSION BEHAVIOUR OF THE COATING MATERIALS USED IN DIFFUSERS OF SUGAR PLANTS

By Serhat KAYA

Firat University

Institution of Natural Sciences

Department of Metallurgy Education

2008, Pages: 98

In this study, the corrosion behavior of the base material and the material of austenitic stainless steel coated onto the base material by means of encapsulation method, used in the diffuser unit, one of the most important units of the sugar plants where slivered sugar beet is delivered after being scalded and converted to raw juice is analyzed. Corrosion experiments were performed according to the mass-loss method and the duration of subjecting the samples to corrosion was determined as 2, 4, 6 and 8 hours. The materials used in the experimental study are St-37 Low Alloy Steel which is the base material of the diffuser and Type AISI 304, AISI 304L and AISI 316 of the austenitic stainless steel group coated onto the base material by means of encapsulation method and compounded by welding. The samples used in the experiment were obtained by purchasing from the material market. The samples were divided into two groups – heat treated and non-heat treated. Heat treated samples were subjected to homogenization process after being maintained for 10 minutes at 1100⁰C. In order to determine the corrosive effect of the acidic juice environment in the diffuser on the samples, SEM-EDX, X-Ray Diffraction, micro-hardness and surface hardness tests were applied to the samples.

As a result, it is observed that the corrosion resistances of all samples are improved after the homogenization heat treatment applied at 1100 °C. In addition to that the best result regarding the corrosion resistance among the 4 types of material including St 37 low alloy steel is observed in the sample made of AISI 316 austenitic stainless steel.

Keywords: Sugar Plants, diffuser, corrosion, austenite, stainless steel.

TEŞEKKÜR

Bu tezin eşsiz yorumları ve bilgileri ile oluşumu, önerilmesi ve yönlendirilmesinde benden yardımlarını esirgemeyen danışman hocam, Metalurji Eğitimi Bölümü Öğretim Üyesi Sayın Doç. Dr. Mehmet H. KORKUT'a, malzeme bilimindeki katkılarından dolayı Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metalurji Eğitimi Bölüm Başkanı Sayın Prof. Dr. Mustafa YILDIRIM'a; çalışmalarım sırasında bana yol gösteren, değerli yorumları ile her açıdan destek olan Metalurji Eğitimi Bölümü Öğretim Üyesi Sayın Yrd. Dr. Hülya DEMİRÖREN'e deney çalışmaları için labratuvar ortamı sağlayan ve desteklerini esirgemeyen Erzincan Şeker Fabrikası İşletme Müdür Yardımcısı Sayın Ziyram ESER'e, Behiç GÖRKATAN ve labratuvar çalışanlarına, bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren Ankara Şeker Fabrikası Korozyon Ünitesi Başkanı Sayın Fatma ERDEM'e, Kimyasal analizler konusunda, Erzurum Atatürk Üniversitesi Fen. Edeb. Fak. Kimya Böl. Öğretim Üyelerinden Sayın Yrd. Doç. Dr. Ertan ŞAHİN ve mikro sertlik çalışmalarındaki katkılarından dolayı Makine Mühendisliği Bölümü araştırma görevlilerine, yüzey sertlik ve diğer birçok konuda yardımlarını aldığım ve laboratuvar ortamlarından yaralandığım Erzincan Makine Fabrikası Döküm Atölyesi Başmühendisi Sayın Murat KORKMAZ'a, kimyasal analiz ve sonuçları için Elazığ Doğu Döküm Müdürlüğü'ne ve çalışmalarım sırasında yardımlarını esirgemeyen Metalurji eğitimi bölümü araştırma görevlilerinden Dr. Bülent KURT, Uğur ÇALIGÜLÜ ve Serkan ÖZEL'e sonsuz teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Ayrıca manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

Özet.....	I
Abstract.....	III
Teşekkür.....	V
İçindekiler.....	VI
Şekiller Listesi.....	X
Tablolar.....	XII
1. GİRİŞ VE AMAÇ.....	1
2. DÜŞÜK ALAŞIMLI ÇELİK.....	3
3.PASLANMAZ ÇELİKLER.....	3
3. 1. Östenitik Paslanmaz Çelikler.....	5
3. 2. Ferritik Paslanmaz Çelikler.....	7
3. 3. Martenzitik Paslanmaz Çelikler.....	8
3. 4. Çift Fazlı (Dubleks) Paslanmaz Çelikler.....	9
3.5. Çökme Yoluyla Sertleşebilen Paslanmaz Çelikler.....	10
4. KOROZYON MEKANİZMALRI VE PASLANMAZ ÇELİKLERDE GÖRÜLEN	
BELLİ BAŞLI KOROZYON ÇEŞİTLERİ.....	11
4. 1. Elektrokimyasal Korozyon Teorisi.....	12
4. 2. Korozyon Hücreleri.....	15
4. 3. Korozyon Çeşitleri.....	17
4. 3. 1. Üniform veya Genel Korozyon.....	17
4. 3. 2. Galvanik veya Metal Çifti Korozyonu.....	17
4. 3. 3. Çukur Korozyonu.....	18
4. 3. 4. Çatlak Korozyonu.....	19
4. 3. 5. Taneler Arası Korozyonu.....	20
4. 3. 6. Seçimli Korozyon.....	21
4. 3. 7. Aşınmalı (Sürtünme) Korozyon.....	21
4. 3. 8. Gerilim veya Gerilmeli Korozyon.....	22
4. 3. 9. Yorulmalı Korozyon.....	23
4. 3. 10. Hidrojen Kırılabilirliği.....	24
4. 3. 11. Erozyon Korozyonu.....	24

4. 3. 12. Atmosferik Korozyon.....	24
4. 4. Korozyonun Önlenmesi ve Alınacak Tedbirler.....	25
4. 4. 1. Saf Metal Kullanımı.....	25
4. 4. 2. Alaşım Elementi Katma.....	25
4. 4. 3. Isıl İşlem.....	25
4. 4. 4. Uygun Tasarım.....	26
4. 4. 5. Katodik ve Anodik Koruma.....	26
4. 4. 6. Korozyon Önleyicisi (İnhibitör) Kullanımı.....	27
4. 4. 7. Yüzey Kaplama.....	27
4. 4. 7. 1. Metal kaplamalar.....	27
4. 4. 7. 2. Metal Olmayan Kaplamalar.....	28
4. 4. 8. Uygun Malzeme Seçimi.....	28
4. 4. 9. Çevrenin Değiştirilmesi.....	28
4. 5. Paslanmaz Çeliklerin Korozyonu.....	29
4. 5. 1. Paslanmaz Çeliklerin Korozyonuna Etki Eden Başlıca Faktörler.....	29
4. 5. 1. 1. Alaşımın Krom İçeriği.....	29
4. 5. 1. 2. Ortamın Oksitleyici Gücü.....	30
4. 5. 1. 3. Ortamdaki Saldırgan İyonlar.....	30
4. 5. 1. 4. Alaşımın Nikel İçeriği.....	31
4. 5. 1. 5. Alaşımın Karbon İçeriği.....	31
4. 5. 1. 6. Alaşımın Molibden İçeriği.....	32
4. 5. 1. 7. Alaşımın Bakır, Selenyum ve Kükürt İçeriği.....	32
4. 5. 1. 8. Alaşıma İlave Edilen Karbür Kararlaştırıcı Elementler.....	32
4. 5. 1. 9. Isıl İşlem.....	32
4. 5. 1. 10. Nötr Elementler.....	33
4. 5. 1. 11. Metal Karbürler.....	34
4. 5. 1. 11. 1. $M_{23}C_6$ veya Cr'lu Çeliklerde $Cr_{23}C_6$ Karbürü.....	34
4. 5. 1. 11. 2. MC (TiC, MoC, NbC, VC) ve M_2C (V_2C , Nb_2C , Mo_2C) Karbürleri.....	34
4. 5. 1. 12. Sigma Fazı.....	34
4. 5. 2. Östenitik Paslanmaz Çelikler ve Korozyon.....	35
4. 5. 3. Ferritik Paslanmaz Çelikler ve korozyon.....	36
4. 5. 4. Martenzitik Paslanmaz Çelikler ve Korozyon.....	37
4. 5. 5. Çift Fazlı (Dubleks) Paslanmaz Çelikler ve Korozyon.....	37

4. 5. 6. Çökelme Yoluyla Sertleşebilen Paslanmaz Çelikler ve Korozyon.....	37
4. 5. 7. Paslanmaz Çeliklerde Görülen Belli Başlı Korozyon Türleri.....	38
4. 5. 7. 1. Taneler Arası Korozyon.....	38
4. 5. 7. 2. Oyuklanma ve Aralık Korozyonu.....	38
4. 5. 7. 3. Gerilmeli Korozyon Çatlamaşı.....	39
4. 5. 8. Paslanmaz Çeliklerin Çeşitli Ortamlarda Korozyon Dayanımı.....	
.39	
4. 5. 8. 1. Atmosferik Korozyon Dayanımı.....	39
4. 5. 8. 2. Deniz Suyunda Korozyon Dayanımı.....	40
4. 5. 8. 3. Kimyasal Ortamlarda Korozyon Dayanımı.....	40
4. 6. Şeker Fabrikalarında Korozyon.....	43
5. LİTERATÜR ÇALIŞMASI	46
6. DENEYSEL ÇALIŞMA	49
6.1. Deneyde Kullanılan Malzemeler	49
6.2. Metalografik Çalışmalar ve İnceleme Sonuçları	49
6.3. SEM -Taramalı Elektron Mikroskobu Görüntüleri	50
6.4. EDS - Noktasal Analiz Çalışmaları	50
6.5. X-Işınları Difraksiyonu Çalışmaları	50
6.6. Sertlik Deneyleri	50
6.7. Korozyon Deneyleri	51
6.8. Korozyon Deney Öncesi Numuneleri Metalografik İnceleme Sonuçları	53
6.8.1. SEM-EDX ve X-Işınları Difraksiyonu Çalışmaları	53
6.8.2. Sertlik Deneyleri	70
6.8.2.1. Makro Sertlik (Yüzey sertlik).....	70
6.8.2.2. Mikro Sertlik (Matris Sertliği).....	71
7. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	72
7.1. ST 37 Düşük Alaşımli Çelik Numunelerin Korozyon Hız Grafiği Ve SEM-EDX Çalışmaları	73
7.2. AISI 304 Östenitik Paslanmaz Çelik Numunelerin Korozyon Hız Grafiği Ve SEM-EDX Çalışmaları	79
7.3. AISI 304L Östenitik Paslanmaz Çelik Numunelerin Korozyon Hız Grafiği Ve SEM-EDX Çalışmaları	83

7.4. AISI 316 Östenitik Paslanmaz Çelik Numunelerin Korozyon Hız Grafiği Ve SEM-EDX Çalışmaları	87
8. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER	91
9. KAYNAKLAR	93
10. ÖZGEÇMİŞ.....	98

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 4. 1. Korozyon pil hücresi	13
Şekil 4. 2. Zemin içinde bulunan bir metalde oluşan korozyon hücresi	15
Şekil 4. 3. Bir korozyon hücresinde akım ve elektronların yönü	16
Şekil 4. 4. Krom katkısının korozyon hızına etkisi	30
Şekil 4. 5. Kule Difüzyon Sistemi	44
Şekil 6. 1. 1 nolu işlemsiz St 37 düşük alaşımlı çelik numunenin a-SEM fotoğrafı (500X), b-EDX analizi, c- X-ışınları difraksiyonu	55
Şekil 6. 2. 1 nolu homojenleştirilmiş St-37 düşük alaşımlı çelik numunenin a- SEM fotoğrafı (500X), b- EDX analizi, c- X-Işınları difraksiyonu	57
Şekil 6. 3. 2 nolu işlemsiz AISI 304 östenitik paslanmaz çelik numunenin a- SEM fotoğrafı (500X), b- EDX analizi, c- X-ışınları difraksiyonu	59
Şekil 6. 4. 2 nolu homojenleştirilmiş AISI-304 östenitik paslanmaz çelik numunenin a- SEM fotoğrafı (1500X), b- EDX analizi, c- X-ışınları difraksiyonu	61
Şekil 6. 5. 3 nolu işlemsiz AISI 304L östenitik paslanmaz çelik numunenin a- SEM fotoğrafı (500X), b- EDX analizi, c- X-ışınları difraksiyonu	63
Şekil 6. 6. 3 nolu homojenleştirilmiş AISI-304L östenitik paslanmaz çelik numunenin a- SEM fotoğrafı (500X), b- EDX analizi, c- X-Işınları difraksiyonu	65
Şekil 6. 7. 4 nolu işlemsiz AISI 316 östenitik paslanmaz çelik numunenin a- SEM fotoğrafı (500X), b- EDX analizi, c- X-ışınları difraksiyonu	67
Şekil 6. 8. 4 nolu homojenleştirilmiş AISI 316 östenitik paslanmaz çelik numunenin a- SEM fotoğrafı (500X), b- EDX analizi, c- X-Işınları difraksiyonu	69
Şekil 7. 1. 1. St 37 düşük alaşımlı çelik numunelerin mdd cinsinden korozyon hızları	73
Şekil 7. 1. 2. 8 saat korozyona maruz bırakılmış işlemsiz St 37 düşük alaşımlı çelik numunenin SEM fotoğrafı (500X)	74
Şekil 7. 1. 3. 8 saat korozyona maruz bırakılmış homojenleştirilmiş St 37 düşük alaşımlı çelik numunenin SEM fotoğrafı (500X)	74
Şekil 7. 1. 4. 4 saat korozyona maruz bırakılmış işlemsiz St 37 düşük alaşımlı çelik numunenin SEM fotoğrafı (300X)	75
Şekil 7. 1. 5. 6 saat korozyona maruz bırakılmış işlemsiz St 37 düşük alaşımlı çelik numunenin SEM fotoğrafı (300X)	76

Şekil 7. 1. 6. 6 saat korozyona maruz bırakılmış işlemsiz St 37 düşük alaşımlı çelik numunenin; a-SEM fotoğrafı (1500X) b- EDX analizi	77
Şekil 7. 1. 7. 8 saat korozyona maruz bırakılmış homojenleştirilmiş St 37 düşük alaşımlı çelik numunenin a-SEM fotoğrafı (1000X) b- EDX analizi	78
Şekil 7. 2. 1. AISI 304 östenitik paslanmaz çelik numunelerin mdd cinsinden korozyon hızları	79
Şekil 7. 2. 2. 4 saat korozyona maruz bırakılmış işlemsiz AISI-304 östenitik paslanmaz çelik numunenin; a- SEM fotoğrafı (300X), b- EDX analizi	80
Şekil 7. 2. 3. 4 saat korozyona maruz bırakılmış homojenleştirilmiş AISI-304 östenitik paslanmaz çelik numunenin SEM fotoğrafı (300X)	81
Şekil 7. 2. 4. 6 saat korozyona maruz bırakılmış homojenleştirilmiş AISI-304 östenitik paslanmaz çelik numunenin a- SEM fotoğrafı (1000X) b- EDX analizi	82
Şekil 7. 3. 1. AISI 304L östenitik paslanmaz çelik numunelerin mdd cinsinden korozyon hızları	83
Şekil 7. 3. 2. 2 saat korozyona maruz bırakılmış homojenleştirilmiş AISI 304L östenitik paslanmaz çelik numunenin SEM fotoğrafı (300X)	84
Şekil 7. 3. 3. 2 saat korozyona maruz bırakılmış işlemsiz AISI 304L östenitik paslanmaz çelik numunenin a- SEM fotoğrafı (1000X) b- EDX analizi	85
Şekil 7. 3. 4. 8 saat korozyona maruz bırakılmış homojenleştirilmiş AISI 304L östenitik paslanmaz çelik numunenin a- SEM fotoğrafı (1000X) b- EDX analizi	87
Şekil 7. 4. 1. AISI 316 östenitik paslanmaz çelik numunelerin mdd cinsinden korozyon hızları	87
Şekil 7. 4. 2. 4 saat korozyona maruz bırakılmış homojenleştirilmiş AISI 316 östenitik paslanmaz çelik numunenin a- SEM fotoğrafı (1000X) b- EDX analizi	88
Şekil 7. 4. 3. 8 saat korozyona maruz bırakılmış homojenleştirilmiş AISI 316 östenitik paslanmaz çelik numunenin SEM fotoğrafı (300X)	89
Şekil 7. 4. 4. 8 saat korozyona maruz bırakılmış işlemsiz AISI 316 östenitik paslanmaz çelik numunenin a- SEM fotoğrafı (300X) b- EDX analizi	90

TABLÖLAR

Tablo 3. 1. Yaygın olarak kullanılan bazı östenitik paslanmaz çeliklerin kimyasal kompozisyonları ve özellikleri	6
Tablo 3. 2. Yaygın olarak kullanılan bazı ferritik paslanmaz çeliklerin kimyasal kompozisyonları	7
Tablo 3. 3. Yaygın olarak kullanılan bazı martenzitik paslanmaz çeliklerin kimyasal kompozisyonları	8
Tablo 3. 4. Yaygın olarak kullanılan bazı dubleks paslanmaz çeliklerin kimyasal kompozisyonları	9
Tablo 3. 5. Yaygın olarak kullanılan bazı çökelme yoluyla sertleşebilen paslanmaz çeliklerin kimyasal kompozisyonları	10
Tablo 6. 1. Numunelerin kimyasal analizleri	49
Tablo 6. 2. Numune yoğunlukları	52
Tablo 6. 3. Korozyon deney öncesi numuneleri EDX noktasal analiz verileri	53
Tablo 6. 4. Numunelerin yüzeyinden alınan brinel sertlik değeri	70
Tablo 6. 5. Numunelerin matrisinden alınan mikrosertlik değerleri.....	71
Tablo 7. 1. Korozyon deney sonrası numuneleri EDX noktasal analiz verileri	72

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Doğru malzeme seçimi ve kullanımı bir imalat sürecinde dikkat edilmesi gereken en önemli hususların başında gelir. Yanlış malzeme kullanımı, imalat sürecini olumsuz etkileyebileceği gibi; maliyetlerin artmasına, nihai ürün kullanım ömrünün azalmasına ve kullanım giderlerinde artışa neden olabilir. Doğru malzeme seçiminde nihai ürünün kullanım şartlarının çok iyi tanımlanması, malzemenin imalat özelliklerinin iyi değerlendirilmesi gerekir. Çalışma şartlarında uygun bir malzeme seçerken dikkat edilmesi gereken faktörlerden birisi de, malzemenin korozyon direnci hakkında bilgi sahibi olunmasıdır. Bu çalışmanın konusu olan şeker fabrikalarındaki kule difüzörlerinde kullanılan östenitik paslanmaz çelikler de kullanım alanları nedeni ile önem teşkil ettiklerinden korozyon açısından incelenmeye değer malzemelerdir.

Paslanmaz çelikler, bileşimlerinde en az %12 krom içeren demir esaslı yüksek alaşımlı çeliklerdir. Bu çeliklere yüksek korozyon dayanımını sağlayan unsur; yüzeye kuvvetle tutunmuş, yoğun, sünek, çok ince ve saydam bir kromoksit tabakasının bulunmasıdır. Paslanmaz çeliklerin keşif tarihleri 20. yüz yılın başlarına dayanmaktadır. Fransa, Almanya, İngiltere ve daha çok Amerikalı metalurjistlerin düşük karbon ve krom içeren demir alaşımları üzerinde yaptıkları çalışmalar sonucu üretilmişlerdir. Faraday, 1822 yılında demir içine krom katıldığında demirin, atmosferik oksidasyona karşı oldukça dayanıklı bir alaşım olduğunu göstermiştir. 1838 yılında Mallet, kromlu çeliklerin bazı ortamlarda korozyona dayanıklı özellik gösterdiğini keşfetmiştir. 19'uncu yüz yılın sonuna kadar kromlu çelikler yalnızca sıcak sülfürik asit kapları için kullanılmıştır. 1904 yılında Monnartz, krom ilave edilmiş çeliklerin oksitleyici ortamlarda pasifleşme özelliğinin daha belirgin bir hale geldiğini ortaya koymuştur. Bu metallerin korozyon dayanımının metal yüzeyinde oluşan pasif tabakadan ileri geldiğini ispatlamıştır (Yalçın ve diğ. 1998). Fakat pasif filmin oluşması alaşımların her ortamda korozyona karşı dirençli olabilmeleri için yeterli değildir.

Paslanmaz çelikleri korozyona daha dirençli kılmak yollarından birisi krom, nikel gibi ana alaşım elementlerinin oranını arttırmak karbon içeriğini azaltmaktır (Ürgen ve diğ.1990).

Bütün paslanmaz çeliklerin korozyon dayanımı yüksektir. Düşük alaşımlı türleri atmosferik korozyona, yüksek alaşımlı türleri ise asit, alkali çözeltileri ile klorür içeren ortamlara dahi dayanıklıdır. Bu çelikler ayrıca yüksek sıcaklık ve basınçlarda da kullanılabilir. Krom miktarı yükseltilerek veya nikel ve molibden gibi alaşım elementleri katılarak korozyon dayanımı artırılabilir.

Paslanmaz çelikler çok farklı özelliklerde üretilen malzemelerdir. Bu nedenle malzeme seçiminde sadece mekanik ve kimyasal değerler göz önünde bulundurulmamalıdır. Bunun

yanında malzemenin boyutları ve yüzey özellikleri gibi unsurlar da dikkate alınmalıdır. Temin fiyatı ucuz olduğu için tercih edilen bir malzeme ileriki kullanımda ciddi boyutta olumsuz sonuçlar doğurabilir. Örneğin; 316 kalite paslanmaz çelik kullanılması gereken bir yerde tasarrufa yönelerek 304 kalite paslanmaz çelik kullanılırsa, maliyet açısından bir avantaj sağlıyor gibi görünse de; ürünün kullanım ömrüne olumsuz etki yapması yanında kullanım şartlarına bağlı olarak personel üzerinde yaralanma ve ölümlere neden olabilecek kazalara da yol açabilir.

Paslanmaz çeliklerde mikroyapıyı belirleyen en önemli alaşım elementleri, önem sırasına göre krom, nikel, molibden ve mangandır. Bunlardan öncelikle krom ve nikel içyapının ferritik veya ostenitik olmasını belirler.

Paslanmaz çelikler, mükemmel korozyon dayanımları yanında, farklı mekanik özelliklere sahip türlerinin bulunması, düşük ve yüksek sıcaklıklarda kullanılabilmeleri, şekil verme kolaylığı, estetik görünüşleri gibi pek çok özelliklere sahiptirler. Paslanmaz çelikler diğer çeliklere oranla fiyat bakımından daha pahalıdır; ancak bakımlarının ucuz ve kolay olması, uzun ömürlü olmaları, tümüyle geri kazandırılabilmeleri ve çevre dostu bir malzeme olmaları çok büyük avantajlar sağlar. Dolayısıyla parçanın kullanım ömrü dikkate alınarak yapılacak fiyat analizlerinde ve tasarımlarda paslanmaz çelik kullanımının daha ekonomik olduğu görülür. Bütün bu olumlu özelliklerinden dolayı korozyon açısından önemli kimyasal bir ortam teşkil eden şeker fabrikalarının difüzör ünitelerinde de paslanmaz çelik kullanımına gidilmiştir.

Şeker fabrikalarının difüzyon işlemi aşamasında korozyondan kaynaklanan kayıpların önlenmesi amacı ile en çok uygulanan yöntemlerden biri de koruyucu yüzey kaplamalarıdır. Kaplama türü olarak da genellikle östenitik paslanmaz çelikler kullanılmaktadır. Ama paslanmaz çelikler bilindiği gibi tamamen adlarına uygun davranış gösteren, yani paslanmayan malzemeler değildirler. Bu yüzden kullanıldıkları yerlere göre korozyon açısından çok dikkatli seçilmesi ve kontrol edilmesi gereken malzemelerdir.

Şeker sanayinde difüzyon işlemi sırasında görülen korozyon olayı, fabrika açısından ciddi ekonomik kayıplara sebebiyet vermekte ve güvenlik kaygılarını giderek artırmaktadır. Bu çalışma ile difüzörlerde kullanılan düşük alaşımlı çelik ve düşük alaşımlı çelikler üzerine, koruyucu yüzey kaplama olarak belirlenen östenitik paslanmaz çeliklerin korozyon davranışları incelenmiştir. Genelde kullanılan kaplama türü AISI 304 östenitik paslanmaz çeliktir. Ancak pahalı olmaları nedeni ile bu fabrikalar tarafından tercih edilmeyen ama bu ortamlardaki korozyon direnci merak edilen AISI 304L ve AISI 316 östenitik paslanmaz çelikler de bu tez çalışmasında deney numunesi olarak kullanılmıştır. Bu çeliklerin de korozyon dirençlerinin bilinmesi bu fabrikalardaki korozyondan kaynaklanan kayıpların giderilmesine çözümler sunacaktır

2. DÜŞÜK ALAŞIMLI ÇELİK

Sade karbonlu çeliğin iç yapısına yeni katkı elemanları ilave edilmesi ile üretilmiş çelik grubudur. İç yapısında ağırlıklı olarak demir bulunur. Çeliği oluşturan diğer alaşım elementi olan karbon, demire nazaran daha az miktarda olmasına rağmen önemli özellik değişimlerine neden olur. Alaşım elemanlarının ağırlık olarak toplam miktarının % 5 veya % 5' ten az olduğu çeliklerdir. Korozyon dirençleri ortam şartlarına bağlı olsa da genelde iyi değildir.

3. PASLANMAZ ÇELİKLER

Paslanmaz çelikler hem ısı hem de korozyona karşı göstermiş oldukları dirençlerinden dolayı endüstri açısından vazgeçilmez bir yere sahiptir. Bundan dolayı gelişimleri sürekli ilgi odağı olmuş ve kullanıldıkları yerler çeşitlilik oluşturduğundan geliştirme çalışmaları devam etmektedir.

Yüksek alaşımlı çelik grubuna giren paslanmaz çeliklerin en önemli özelliği, paslanmamaları yani oksidasyona ve korozyona karşı dirençleridir. Bu özellik çeliğin içeriğine ağırlıkça en az % 12 oranında krom katılmasıyla elde edilir. Artan krom miktarına bağlı olarak da yüksek sıcaklıklarda oksidasyon dirençleri artmaktadır. Paslanmaz çeliğin yüzeyinde oluşan yoğun fakat ince kromoksit tabakası korozyona karşı yüksek dayanım sağlar ve oksidasyonun daha derinlere doğru ilerlemesini engeller.

Bazı paslanmaz çelikler yüksek sıcaklıklarda tokluklarını muhafaza ederken, düşük sıcaklıklarda da bu özelliklerini korurlar. Belli türlerdeki paslanmaz çelikler kendine özgü koşullar altında geleneksel yöntemlerle üretilir ve şekillendirilebilirler. Bu çeliklerin üretimi; dövülerek, dökülerek, haddelenerek ve toz metalürjisi teknikleri ile şekillendirilerek yapılabilir (Yıldırım ve diğ.1996).

Paslanmaz çelikler oda sıcaklığında 250–1750 MPa akma gerilmesine sahiptirler. İşleme sıcaklıkları genellikle 750 °C civarındadır. Bazı uygulamalarda işleme sıcaklıkları 1100 °C ye kadar çıkabilir (Korkut, 1997).

Yaklaşık 200 yıldır havada ve suda çeliğin korozyon direncini iyileştiren uygun krom miktarı ve krom miktarının artmasıyla bu direncin de arttığı bilinmektedir. Bu incelemeler 1821 de Fransa' da Berthier tarafından yapılmıştır. Bu bilgi teknolojiye sınırlamalardan dolayı çelik yapımında kullanılamamıştır. Yeterince düşük seviyedeki eriyiğin yüksek karbon içeriğini düşürmek veya kontrol etmek o günün teknolojisi ile mümkün değildi. Krom içeriği daima ya çok düşük ya da çok yüksekti. Yüksek karbon ve/veya krom içeriği gevrek alaşımlara neden

olmaktadır. Krom seviyesinin düşük olması ise korozyon direnci için yetersizdir (Yıldırım ve diğ., 2001).

20.Yüzyılın başlarında birçok araştırmacı bu alaşımlar üzerinde çalışmaya başlamış ve yayınlar yapmıştır. Almanya' da Goldschmidt çok düşük karbon içerikli ferro-krom üreten bir metot bulmuştur. Bu metodun gelişmesine bağlı olarak 1904–1909 yılları arasında Fransız Guillet ve Portevien ve Alman Giesen % 13 Cr' li martenzitik ve % 17 Cr' li ferritik çelikleri geliştirmişlerdir. Guillet 1909 yılında ostenitik yapıdaki krom-nikel çeliklerini bulmuştur. Bu alaşımlar günümüzdeki kromlu ve krom-nikelli alaşımlara benzemektedir. Bu araştırmalar daha sonraları paslanmaz çeliklerin daha büyük bir yelpazede pratik kullanımını sağlamak üzere geliştirilmiştir (Eren, 2005).

Paslanmaz çelikler belli uygulamalar için yapılan özel alaşımlar ve çeşitli firmalar için geliştirilmiş birçok standart bileşimleri kapsamaktadır. Bu çelikler basit alaşımlı çeliklerden farklı olup yüksek oranda krom elementi ile birlikte belli miktarlarda nikel ve değişik oranlarda molibden, titanyum, vanadyum ve niyobyum gibi diğer katkı elementleri de içeren demir esaslı kompleks alaşımlardır (Viswanathan, 1993).

Paslanmaz çeliklerin yüksek korozyon direnci yüzeylerinde oluşan ince ve kararlı krom oksit ya da nikel oksit filminden kaynaklanır. Çeliğin içeriğinde yüksek miktarlarda nikel bulunması paslanmayı önlese de, krom ile birlikte bulunması özellikle asidik ortamlarda daha da yüksek bir korozyon direnci sağlar. Nikelin yanı sıra molibden katkısı da, çeşitli korozyon türlerine karşı çeliği korur. Ancak %6,5'den fazla molibden içeren paslanmaz çelikler ekonomik olarak üretilmezler.

Bir metal yüzeyinde korozyon sonucu oluşan ürünler eğer, metal yüzeyinde birikerek koruyucu bir film oluşturursa, korozyon hızında azalma olur. Bu koruyucu filmin etkili olması korozyon ürünlerinin çözünürlüğüne, ürünlerin metal yüzeyine yapışabilme yeteneğine, oluşan filmin geçirgenliğine, elektriksel direncine ve mekanik sağlamlığına bağlıdır. Çözünebilen veya yüzeye sağlam yapışmayan korozyon ürünlerinin koruyucu özellikleri yoktur.

Oksit filmi ile metal arasında en sağlam bağ, ikisinin de birbiriyle uyuşabilen kristal yapıda olması ile mümkün olur. Metaller genellikle kübik sistemde kristalleştiği için, kübik sistemde kristal veren oksit filmleri metal yüzeyine daha iyi yapışır. Oksit kristal kafesi parametreleri, metalinkinden daha küçük olduğu zaman, oluşan filmde boşluklar görülür ve koruyucu özelliği azalır. Eğer oksit kafesi parametreleri daha büyük ise, bu oksit kristalleri çatlar ve kırılır. Oksit filmleri, oksit iyonunun metale doğru difüzyonu sonucu büyür (Yalçın ve diğ. 2002).

Paslanmaz çelikler, kullanıldıkları yerlere göre korozyon açısından çok dikkatli seçilmesi ya da kontrol edilmesi gereken malzemelerdir. Özellikle, östenitik paslanmaz çelikler tavlama

veya kaynak işlemleri sırasında, yeteri kadar bir süre 500°C - 800°C aralığında kalırlarsa, taneler arası korozyona duyarlı hale gelirler. Bu tip bir korozyon malzemenin dış görünüşünde bir değişiklik oluşturmada devam eder ve farkına varmadan malzemeyi zayıflatır, bu nedenle de çok tehlikeli sonuçlar doğurur (Doruk, 1982).

İçerdikleri katkı elementlerine göre değişen ve tamamen östenitik ile tamamen ferritik özellikler aralığında sıralanan beş farklı çeşit paslanmaz çelik türü vardır. Bunlar sırası ile:

- 1 . Östenitik Paslanmaz Çelikler
- 2 . Ferritik Paslanmaz Çelikler
- 3 . Martenzitik Paslanmaz Çelikler
- 4 . Çift Fazlı (Dubleks) Paslanmaz Çelikler
- 5 . Çökeltme Yoluyla Sertleşebilen Paslanmaz Çeliklerdir.

3. 1. Östenitik Paslanmaz Çelikler

Östenitik paslanmaz çelikler esas olarak % 16–25 Cr ve % 7–20 Ni içeren üçlü demir, krom ve nikel alaşımlarıdır. Bu alaşımların yapıları bütün ısıtma işlemlerinde östenitik (YMK, γ demir tip) yapıda kaldığı için östenitik olarak adlandırılırlar. Bazı alaşımlarda bir miktar nikel manganla yer değiştirir ve yapıları halen östenitik olarak kalır. Bu paslanmaz çelik grubu kolay şekillendirilebilmesi, kaynak edilebilmesi, iyi korozyon direnci nedeni ile en yaygın kullanılan ve en fazla türü olan alaşım grubudur. Yaygın olarak kullanılan bazı östenitik paslanmaz çeliklerin kimyasal kompozisyonları ve özellikleri Tablo 3.1’ de gösterilmiştir.

Tablo 3. 1. Yaygın olarak kullanılan bazı östenitik paslanmaz çeliklerin kimyasal kompozisyonları ve mekanik özellikleri (Ürgen, 1989).

AISI TİP	%C	%Cr	%Ni	%DİĞER	ÖZELLİKLERİ
301	0.15	17	7	-	Çok yüksek mukavemet
302	0.15	18	9	-	İyi korozyon direnci ve iyi şekillendirilebilme
302 B	0.15	18	9	Si 2.5	
304	0.08	19	10	-	Çok iyi korozyon direnci ve kaynaklanabilme
304L	0.03	19	10	-	
303	0.15	18	9	Mo 0.6max	Kolay işlene birlik
303 Se	0.15	18	9	Se 0.15min	
305	0.12	18	11.5		Maksimum şekillene birlik
308	0.08	22	11		Çok iyi korozyon ve oksitlenme direnci
309	0.20	23	13.5		1100 °C'ye kadar çok iyi oksitlenme direnci
309S	0.08	23	13.5		
310	0.25	25	20.5	Si 1.5max	309'a oranla daha iyi özellikler
310S	0.08	25	20.5	Si 1.5max	
316	0.08	17	12	Mo 2.5	304 kalitenin uygun olmadığı koşullarda kullanılır. Kimyasallara ve oyuklanmaya karşı daha iyi direnç
316L	0.03	17	12	Mo 2.5	
317	0.08	19	13	Mo 3.5	316'ya oranla daha iyi özellikler
321	0.08	18	10.5	%Ti=5x%C	Kaynaklanma sonrası karbür çökmesini engellemek için karbür kararlaştırıcı element ilaveli
347	0.08			%Nb=10x%C	

Bu alaşımlar esas olarak yüksek korozyon dirençlerinden ve şekillendirilebilirliklerinden dolayı üstün bir pozisyona ve bu nedenle pek çok mühendislik uygulamaları için çok arzu edilen özelliklere sahiptir. Tip 302 ve 304 en yaygın olarak kullanılan paslanmaz çeliklerdir. Tip 304 ile aynı esasa sahip olan % 2 Mo içeren tip 316 yüksek korozyon direncine ve iyileştirilmiş yüksek sıcaklık dayanımına sahiptir (Erdoğan, 2000).

Ostenitik paslanmaz çelikler oda sıcaklığında östenitik (YMK) bir yapıya sahip oldukları için ısıtılma işlemle sertleştirilemezler ve tavlama durumunda manyetik değildirlir. Yüksek sıcaklıklarda üstün mekanik özelliklere sahip olan bu çeliklerin tokluğu, düşük sıcaklıklarda bile pek azalmaz. Sıcakta kolay işlenebilirler ve soğuk şekil değiştirme ile de dayanımları artırılabilir. Bu çelikler asitlere dayanıklıdır. Bu nedenle, daha çok gıda ve kimya endüstrisi ile tıbbi cihazların yapımında kullanılırlar (Savaşkan, 1999).

3. 2. Ferritik Paslanmaz Çelikler

Bu çelikler yüksek krom (%12–30) oranına sahip nikel ihtiva etmeyen, hacim merkezli kübik (HMK) yapıda olan ve faz dönüşümü göstermemeleri nedeni ile sertleşmeyen Fe-Cr alaşımlarıdır. Ayrıca karbon oranı % 0.02 ile % 0.12 gibi çok düşük değerdedir. Bu çeliklerin krom oranının fazla oluşu korozyona karşı daha dayanıklı olmalarını sağlar. Bu nedenle normal atmosferik koşullardan ve oksitleyici kimyasal bileşiklerden etkilenmezler (Yalçın ve diğ. 2002). Yaygın olarak kullanılan bazı ferritik paslanmaz çeliklerin kimyasal kompozisyonları Tablo 3.2’ de verilmiştir.

Tablo 3. 2. Yaygın olarak kullanılan bazı ferritik paslanmaz çeliklerin kimyasal kompozisyonları (Erdoğan, 1998)

AISI TİPİ	Kimyasal Kompozisyon (%)				
	Cr	C(max)	Mo	Al	Diğerleri
405	13.0	0.08		0.2	
409	11.0	0.08			Ti 6xC
430	17.0	0.12			
434	17.0	0.12	1.0		
436	17.0	0.12	1.0		Nb 5xC
442	20.5	0.20			
446	25.0	0.20			

Ferrit diye anılmalarının sebebi, normal ısıtılma şartları altında yapılarının çoğunlukla ferritli (HMK α ,demiri türü) olmasındandır. α ferritle aynı HMK kristal yapısına sahip olan krom, α fazı bölgesini genişletir ve γ fazı bölgesini bastırır. Bu yüzden ferriti tamamen kararlı

hale getirebilmek için yeterli miktarda krom ve diğer alaşım elementlerine ihtiyaç vardır. Ne yazık ki krom oranının artışı korozyon özelliklerini çok iyi etkilerken karbon ve azot içeriği belirli limitler altına indirilmedikçe mekanik özellikler kötü etkilenir. Bundan dolayı gama bölgesini genişlettiği düşünülen karbonun çok düşük oranlarda tutulması gerekir böylece yüksek tokluk ve çekilebilirlik korunurken, östenit dönüşümü de engellenmiş olur. Çekilebilirlik ve tokluğa etki eden zararlı fazların oluşumunu engellemek için alaşımlandırılmış ferritik tanelerin yüksek sıcaklıkta (1100 °C'de homojenleştirme) ısıtılmasından sonra hızlı soğutulmaları gerekir (Smitth, 2001).

%12 Cr' li ferritik paslanmaz çelikler; düşük maliyette üretim ve korozyon direnci sağlar. Bu çelikler otomotiv egzost sistemlerinde ve diğer fonksiyonel uygulamalarda geniş şekilde kullanılırlar. Orta derecedeki krom alaşımları otomotiv aksesuarları şeritler, jantlar, mutfak eşyası vs. olarak kullanılırlar. %17–30 Cr içeren yüksek Cr' lu çelikler korozyona karşı yüksek direncin ve yüksek sıcaklığın gerektiği yerlerde kullanılırlar (Korkut, 1997).

3. 3. Martenzitik Paslanmaz Çelikler

12–20 % krom ve kontrollü miktarlarda karbon içeren Fe-Cr alaşımlarıdır. Bu grup alaşımları, diğer paslanmaz çelik türlerinden ayıran en önemli özellikleri, ısıtılma işlemle sertleştirilebilmeleridir. Martenzitik paslanmaz çelikler, karbon çelikleri gibi su verme ısıtılma işlemi sonucu faz dönüşümü göstererek çok sert olan martenzitik yapıya dönüştürülebilirler. Bu çelikler korozyon dirençlerinden çok mekanik özelliklerinin iyi olması nedeniyle seçilip kullanılan malzemelerdir. Yaygın olarak kullanılan bazı martenzitik paslanmaz çeliklerin kimyasal kompozisyonları Tablo 3.3' de verilmiştir.

Tablo 3. 3. Yaygın olarak kullanılan bazı martenzitik paslanmaz çeliklerin kimyasal kompozisyonları (Erdoğan, 1998)

AISI TİPİ	Kimyasal Kompozisyon (%)				
	Cr	C	Ni	Mo	V
403	12.2	0.15			
410	12.5	0.15mak			
414	12.5	0.15mak			
420	13	>0.15			
422	12	0.22	1	0.25	1
431	16	0.20mak	1.8		

Martenzitik paslanmaz çeliklerin dayanım ve tokluğunu artırmak için uygulanan ısıtma işlemi, karbon çelikleri ve düşük alaşımlı çelikler ile aynıdır. Yani, alaşım östenitlenir ve martenzitli bir yapı oluşturmaya yeterli bir hızda soğutulur ve gerilmeleri yok edip tokluğu artırmak için menevişlenir (Smitth, 2001).

Bu çelikler yüksek mukavemet ve aşınma direnci gerektiren yerlerde; tekstil, gıda, kâğıt ve boya sanayinde kesici ve karıştırıcı eleman yapımında türbin kanatları, pompa ve konkasör çekiçleri gibi parçaların imalatında kullanılır (Krauss, 1993).

3. 4. Çift Fazlı (Dubleks) Paslanmaz Çelikler

% 28 civarında Cr ve %6 civarında Ni içeren Fe-Cr-Ni alaşımları yapılarında hem östenit hem de ferrit fazlarını içerirler. Bu alaşım grubu korozyon ve mekanik özellikleri açısından ferritikler ve ostenitikler arasında yer alır. Yaygın olarak kullanılan bazı dubleks paslanmaz çeliklerin kimyasal kompozisyonları Tablo 3.4’ de verilmiştir.

Tablo 3. 4. Yaygın olarak kullanılan bazı dubleks paslanmaz çeliklerin kimyasal kompozisyonları (Eren, 2005)

Tip	YÜZDE AĞIRLIK							
	Fe	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	C	Diğ.
329	Geri kalan	26.0	5.0	1.5			0.08	
U50	Geri kalan	21.0	7.0	2.5	2.0	1.0	0.03	N: 0.2; Cu: 0.5
3RE60	Geri kalan	18.5	4.7	2.7	1.5	1.7	0.03	
25Cr5Ni2MoN	Geri kalan	25	5.0	2.0	0.5	0.5	0.0025	N: 0.15; Cu: 1.0

Dubleks paslanmaz çeliklerin mekanik özellikleri ferrit ve ostenitin bir fonksiyonu olarak kendisini gösterir. Bu çelikler gerilmeli korozyon ve taneler arası korozyona karşı iyi direnç gösterdiklerinden korozyon direnci ve yüksek sıcaklık gerektiren yerlerde kullanılırlar (Greene 1967).

Bu çelikler, hemen hemen eşit miktarda östenit ve ferrit içeren bir mikro yapının oluşturulması ile elde edilirler. Bu çelikler tam olarak % 24 krom ve % 5 nikel içerirler.

Dubleks paslanmaz numaralama sistemi 200, 300 veya 400 ile tanımlanan grupların hiç birisine girmez (Odabaş, 2006).

3.5. Çökeltme Yoluyla Sertleşebilen Paslanmaz Çelikler

Bu alaşım gurubu uçak, uzay ve savunma sanayinin yüksek mukavemet/ağırlık oranı ve iyi korozyon özelliklerine sahip malzeme gereksinimi sonucu geliştirilmiştir. Bu çelikler ayrıca; martenzitik, yarı östenitik ve östenitik tip çökeltme yoluyla sertleşebilen paslanmaz çelikler olmak üzere üç ayrı tipte üretilmektedir (Yalçın, ve diğ. 2002). Yaygın olarak kullanılan çökeltme yoluyla sertleşebilen paslanmaz çeliklerin kimyasal kompozisyonları Tablo 3.5’ de verilmiştir.

Tablo 3. 5. Yaygın olarak kullanılan bazı çökeltme yoluyla sertleşebilen paslanmaz çeliklerin kimyasal kompozisyonları (Ürgen, 1989).

Tip	YÜZDE AĞIRLIK(%ağ.)									
	C	Cr	Ni	Mn	Si	Cu	Mo	Ti	Al	Diğer
MARTENZİTİK										
Satinless-W	0.07	16.7	6.7	0.50	0.50	-	-	0.80	0.2	-
17-4 PH	0.04	16.5	4.2	0.40	0.50	3.6	-	-	-	Nb+Ta0.25
15-5 PH	0.04	15.0	4.6	0.25	0.40	3.5	-	-	-	Nb+Ta0.25
CROLOY16-6 PH	0.03	15.7	7.5	0.80	0.45	-	-	0.60	0.40	-
CUSTOM 450	0.03	14.9	6.5	0.30	0.25	1.5	0.8	-	-	Nb+Ta0.75
CUSTOM 455	0.03	11.7	8.5	0.20	0.20	2.2	-	1.20	-	Nb+Ta0.30
PH 13-8 Mo	0.04	13.0	8.0	0.05	0.05	-	2.2	-	1.0	-
ALMAR362	0.03	14.5	6.0	0.30	0.20	-	-	0.80	-	-
IN-736	0.02	10.0	10.0	0.10	0.10	-	2.0	0.20	0.30	-
YARI-OSTENİTİK										
17-PH	0.07	17.0	7.0	0.70	0.40	-	-	-	1.15	-
PH-15-7-Mo	0.07	15.0	7.0	0.70	0.40	-	2.2	-	1.15	-
AM-350	0.10	16.5	4.2	0.75	0.35	-	2.7	-	-	N0.10
AM-355	0.13	15.5	4.2	0.85	0.35	-	2.7	-	-	N0.12
PH 14-8Mo	0.05	15.5	8.7	0.10	0.10	-	2.5	-	1.35	-
OSTENİTİK										
17-10 P	0.12	17.0	10.5	0.75	0.50	-	-	-	-	P 0.28
HNM	0.30	18.5	9.5	3.50	0.50	-	-	-	-	P 0.25
A-236	0.06	15.0	25.0	1.20	0.50	-	1.2	2.0	0.25	V 0.30

Al, Cu, Ti, Mo ve Nb gibi katı çözeltiyi girme ve yaşlandırma (çökeltme) ısı işlemleri ile çeliğe sertleşebilme olanağı sağlayan alaşım elementleri içerirler. İlave edilen bu elementlerin

Al, Cu ve Mo elementleri yaklaşık 500–800 °C arasında yaşlanma gösterirken Ti ve Nb elementleri daha yüksek sıcaklıklarda yaşlanmaktadır (Kathleen, ve diğ.1992).

4. KOROZYON MEKANİZMALRI VE PASLANMAZ ÇELİKLERDE GÖRÜLEN BELLİ BAŞLI KOROZYON ÇEŞİTLERİ

Korozyon, metallerin çevresi ile yaptığı kimyasal ve elektrokimyasal reaksiyonlar sonucu metalik özelliklerini kaybetmesi olayıdır. Metaller, doğada genellikle oksit ve sülfür mineralleri halinde bulunur. Bu bileşikler metallerin en kararlı halidir. Metaller bu bileşikler halinde iken serbest enerjileri en düşük durumdadır. Mineralleri metal haline dönüştürmek için enerji harcanması gerekir. Ancak metaller üretilirken almış oldukları bu enerjiyi geri vererek kendiliğinden doğada bulundukları hale dönmek eğilimindedirler. Örneğin; genellikle demir doğada oksit mineralleri halinde bulunur. Bu minerallerden yüksek fırınlarda enerji harcanarak üretilen demir metali, zamanla korozyona uğrayarak doğada bulunan demir oksit mineraline benzeyen pası oluşturur (Yalçın ve diğ. 2002).

Korozyon, esasında metalik malzemelerin içinde bulundukları ortamla reaksiyona girmeleri sonucunda, dışardan enerji vermeye gerek olmadan, doğal olarak meydana gelir. İçinde su bulunan ortamlarda meydana gelen korozyona sulu ortam korozyonu denilir. Atmosferde, toprak altında, su içinde veya her türlü sulu kimyasal madde içerisinde meydana gelen korozyon buna örnek olarak gösterilebilir. Yüksek sıcaklıklarda gaz ortamlarında metalik malzemelerde meydana gelen korozyona ise kuru veya yüksek sıcaklık korozyonu denir. Kazanların alevle veya sıcak gazlarla temas eden bölgelerinde meydana gelen korozyon da bu tip korozyona örnek olarak verilebilir.

Korozyon büyük zararlara yol açarak önemli israf kaynaklarından birini oluşturur. Korozyon nedeniyle meydana gelen malzeme, enerji ve emek kaybının yıllık değeri, ülkelerin gayri safi milli gelirlerinin (GSMG) yaklaşık % 5' i düzeyindedir. Bu değer ciddi bir ekonomik kayıp demektir. Korozyon, metalik malzeme kullanılan her alanda meydana gelen doğal bir olaydır. Korozyon maddi kayıplardan başka, çevre kirliliğine de yol açar. Bu nedenle, korozyon ve korozyonu önleme ilkelerinin metal malzeme kullanan her kesim ve özellikle teknik elemanlar tarafından bilinerek uygulanmasında büyük yararlar vardır. Korozyonu önleme yöntemlerini doğru uygulamak suretiyle korozyon kayıpları %20 ile 40 arasında azaltılabilir (Savaşkan, 1999).

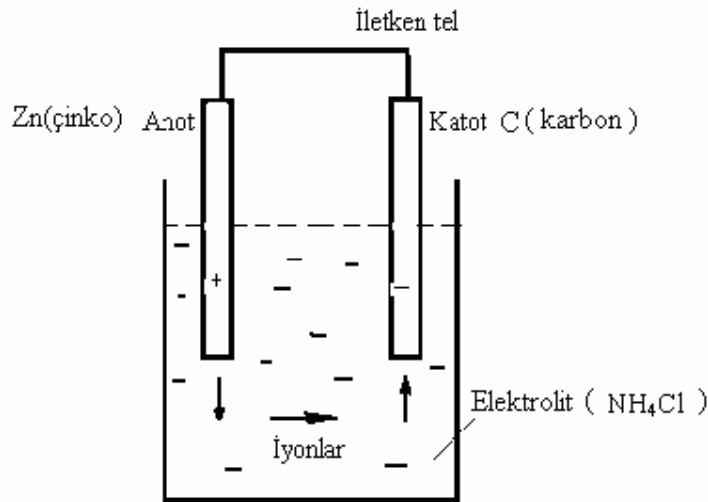
Yüksek sıcaklıkta yürüten oksitlenme reaksiyonları dışındaki bütün korozyon olayları elektrokimyasal reaksiyonlar ile gerçekleşir. Bu reaksiyonlar metal/elektrolit ara yüzeyinde elektron alış verişi ile meydana gelir. İyonik iletken olan bütün çözeltiler, doğal sular, zeminler

ve beton, elektrolit olarak korozyona neden olabilir. Rutubetli hava içinde bulunan su buharı da metal yüzeyinde yoğunlaşarak korozyon için uygun bir ortam oluşturur. Bu nedenle atmosfer içinde gerçekleşen korozyon olayları da elektrokimyasal olarak kabul edilir (Yalçın ve diğ. 2002).

Çeşitli metallerin aynı ortam içindeki korozyon hızları birbirinden farklıdır. Bir metal ne derece aktif ise, yani iyon haline geçme isteği ne derece yüksek ise, o metalin korozyona uğraması da o derece kolay olur. Standart elektrot potansiyelleri metallerin aktiflik durumu hakkında fikir verebilir. Standart elektrot potansiyeli daha pozitif olan metaller daha aktif sayılır; ancak metal yüzeyinin pasifleşmesi nedeniyle bu kuraldan sapmalar olabilir.

4. 1. Elektrokimyasal Korozyon Teorisi

Hemen her halde yüksek sıcaklık olayları da dâhil olmak üzere korozyon tatbikatı itibarı ile elektrokimyasal bir olaydır. Örnek olarak, normal kuru pilde ampulün yanma devresinin tamamlanmasını verebiliriz. Merkezdeki elektrot karbondur ve katot diye adlandırılır. Çinko kap ise diğer elektrottur ve anot durumundadır. Anot ve katot dıştan bağlandığında çinko pildeki amonyum klorür tuzu içinde korozyona uğrar. Metal çinkonun (Zn^0) korozyon ürünü olan çinko iyonuna (Zn^{++}) çevrilmesi elektrik akımını meydana getirir. Metal elektriki yönden nötr durumundadır. Çünkü atomu dengelenmiş bir pozitif ve negatif elektrik ihtiva eder. Metal korozyon yoluyla iyonlaşınca elektron denilen küçük negatif yükleri kaybeder. Elektrik akımını meydana getiren olay bu elektronların akışıdır. Bu olayı gösteren bir korozyon pil hücresi Şekil 4.1' de gösterilmiştir (Şener ve diğ.1977).



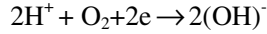
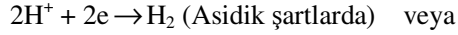
Şekil 4. 1. Korozyon pil hücresi

Sanayide kullanım bulan metallerin büyük çoğunluğu atmosferik hava ve zemininde daha bir çok farklı ortamlarda kararlılıklarını kaybederler. Altın ve platin dışındaki metallerin tamamı doğada oksitlenmiş halde bulunurlar. Metalleri oksitlerinden ayırmak zorlu bir süreçtir ve büyük miktarlarda hammadde, enerji ve insan gücü kullanımı ile gerçekleşir. Termodinamik anlamda, bu süreç sonunda metaller daha yüksek bir enerji düzeyine taşınırken, entropileri düşer. Metallerin doğadaki durumlarına dönme eğilimi korozyon olayının gerisindeki itici güçtür. Genel bir şekilde bir metalin korozyondan daha fazla etkilenme temayülü o metalin cevherinden elde edilme kolaylığına bağlıdır. Örnek olarak altın ve gümüş tabi halde metalik durumda olduklarından korozyona karşı dayanıklıyken; demir cevherinden demiri eriterek üretmek için çok fazla enerji harcandığından, demirin korozyona uğrama temayülü yüksektir.

Elektrokimyasal reaksiyonu tamamlamak için anottaki oksidasyon işlemi:



Katottaki indirgeme işlemi tarafından dengelenmelidir. Genellikle oksijenin varlığı ile olur.



Hidrojen iyonlarının katotta bir elementi veya maddeyi redükleme hızı dış devreden akan akımı sınırlandırır. Korozyonun meydana gelmesi için aşağıda gerekli mekanizmalar tamamlanmalıdır:

- Elektrotlar arsında reaksiyonu itici bir potansiyel (voltaj) farkı olmalıdır.
- Anodik reaksiyon olmalıdır.
- Katodik reaksiyon olmalıdır.
- Bir elektrolit olmalıdır (Tuzlu su gibi elektriği ileten bir ortam).
- Bataryayı tamamlamak için dıştan bir elektrik devresi olmalıdır (Korkut, 2003).

Korozyon olaylarında katotta metalin indirgenmesi yerine, içinde bulunduğu ortam koşullarına bağlı olarak başka çeşit redüksiyon reaksiyonları meydana gelir. Katot reaksiyonu elektrolit ortamının pH derecesine ve elektrolit içinde çözünmüş oksijen konsantrasyonuna

bağlıdır. Doğal elektrolitler içinde yürüten korozyon olaylarında başlıca aşağıdaki iki reaksiyon söz konusu olur:

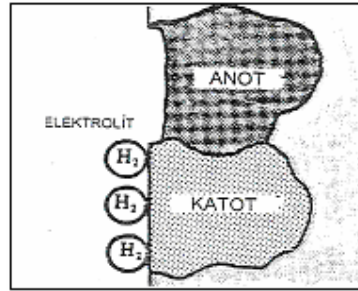
a. Asidik ortamlarda katot reaksiyonu $[H^+]$ iyonunun redüksiyonu ile gerçekleşir.



b. Nötr ve çözünmüş oksijenin bulunduğu ortamlarda katot reaksiyonu su içinde çözünmüş olan oksijenin elektron alarak hidroksil iyonu haline indirgenmesi şeklinde yürür.



Doğal sular içinde pH genellikle 7' den daha yüksek olduğundan doğal sular içindeki korozyon olaylarında **a'** reaksiyonu gerçekleşmez. Doğal sular ve zeminler içindeki korozyon olayları daha çok **b'** de olduğu gibi katotta oksijenin indirgenmesi ile birlikte yürür. Su içinde bulunan az miktardaki çözünmüş oksijen bile korozyon olayının yürüyebilmesi için yeterli olabilir. Metal yüzeyinin her bölgesi aynı derecede oksijen almayabilir. Daha fazla oksijen alabilen bölgeler katot, az oksijen alan bölgeler de anot olur. Böylece bu iki bölge arasında konsantrasyon piline benzer şekilde bir korozyon hücresi oluşur. Bu korozyon hücresinin anot olan bölgelerinde metal iyon haline geçerek korozyona uğrar. Katot bölgelerinde yalnızca redüksiyon reaksiyonu, örneğin hidrojen çıkışı meydana geleceğinden korozyon söz konusu olmaz. Zemin içinde bulunan bir metalde oluşan korozyon hücresi Şekil 4.2 de gösterilmiştir.

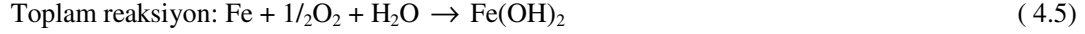


Şekil 4. 2. Zemin içinde bulunan bir metalde oluşan korozyon hücresi

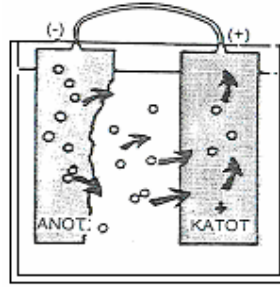
4. 2. Korozyon Hücreleri

Yukarda açıklandığı üzere korozyon olayları korozyon hücrelerinin anot ve katodunda yükseltgenme ve indirgenme reaksiyonlarıyla yürür. Örneğin, demirin nötral bir ortamda korozyonu aşağıdaki reaksiyonlar ile gerçekleşir.





Bu reaksiyonlardan görüldüğü üzere, nötral bir ortamda korozyon olayının yürütmesi için mutlaka oksijene ve suya ihtiyaç vardır. Bunun yanında anot ve katot reaksiyonlarını yürütebilmek için iki bölge arasında bir potansiyel farkının da bulunması gerekir. Anotta açığa çıkan elektronların katot reaksiyonu ile aynı anda kullanılması gerekir. Bunun için her iki bölge arasında metalik iletken bir bağ olmalıdır. Bu açıdan bakıldığında metal yüzeyinde oluşan korozyon hücreleri kendiliğinden akım üreten bir pil olarak kabul edilebilir. Pilin anodu ve katodu metalin iki ayrı bölgesi olabilir. Elektrolit genellikle iyon içeren bir sulu çözeltidir. Elektrik akımı elektrolit içinden iyonlar tarafından taşınır ve akım anottan katoda doğru akar. Dış devrede elektrik akımı metal içinden gerçekleşir. Akım yönü, elektron akış yönünün tersine olarak katottan anoda doğrudur. Bir korozyon hücresinde akım ve elektronların yönü şekil 4.3'te gösterilmiştir (Yalçın ve diğ. 2002).



Şekil 4. 3. Bir korozyon hücresinde akım ve elektronların yönü

Korozyonun meydana gelebilmesi için, korozyon hücresi çevriminin kesintisiz çalışması gerekir. Yani anottaki kimyasal değişim sonucunda meydana gelen metal iyonlarının çözeltiye geçmesi sırasında açığa çıkan elektronlar, elektronik iletken vasıtasıyla katoda taşınırlar. Metallerde elektron hareketi ile elektrik akımının yönü birbirine terstir. Akım, birim zamanda hareket eden elektronların bir ölçüsü olduğu için aynı zamanda anotta meydana gelen kimyasal değişimin de miktarı gösterir. Katot yüzeyinde harcanan elektronlar, oksijenin (O_2) hidroksil (OH) iyonu haline dönüşmesine neden olur. İyonların sulu çözelti içerisindeki hareketi sayesinde anot ile katot arasında elektrik akımı meydana gelir. Pozitif yüklü iyonlar katoda, negatif yüklü iyonlarda anoda giderler. Böylece hücre çevrimi tamamlanmış olur (Savaşkan, 1999).

Korozyon hücresinden geçen akıma korozyon akımı denir. Korozyon hücresinde anot reaksiyonunun hızı, yani korozyon hızı ile katot reaksiyonunun hızı birbirine eşittir. Sulu ortamda redüklenecek, yani elektron harcayacak madde yoksa korozyon da meydana gelmez.

Çünkü anotda açığa çıkan elektronlar harcanamaz. Başka bir deyişle; katodik olay yoksa anodik reaksiyon yani korozyon da olmaz. Ayrıca;

- Anot ile katot bölgeleri arasında elektronik bağın olmaması, yani elektronların taşınamaması,
- Anot ile çözelti veya katot ile çözelti arasındaki temasın engellenmesi veya
- Sistemde sulu iletkenin bulunmaması durumlarında da korozyon meydana gelmez.

Korozyon hızı veya metalin çözünmesi, karşıt reaksiyonun yani redüksiyon reaksiyonunun hızı ile orantılıdır. Çözelti içinde redüklenecek madde miktarı düşük ise korozyon hızının artma tehlikesi yoktur. Örneğin; deniz suyunda metallerde meydana gelen korozyon çözünmüş oksijen oranı ile orantılıdır, dolayısıyla deniz suyundaki korozyon hızı metalin cinsine göre pek fazla değişmez.

Korozyona neden olan en önemli katodik etken, sulu ortamda çözünmüş oksijen gazının redüksiyonudur. Bunu hidrojen iyonunun redüksiyonu izler. Asit ortamlarındaki hidrojen iyonu oranı, çözünmüş oksijen iyonu oranından çok daha fazladır. Bu nedenle asidik çözeltilerdeki hidrojen iyonu redüksiyonu önemli bir katodik olaydır. Ayrıca, sulu çözeltilerde redüklenebilen diğer iyonlar da katodik reaksiyona neden olabilirler.

4. 3. Korozyon Çeşitleri

Metaller, içinde bulundukları ortamın özelliklerine göre çeşitli şekillerde korozyona uğrarlar. Pratikte sık rastlanan korozyon tipleri aşağıda anlatılmıştır.

4. 3. 1. Üniform veya Genel Korozyon

Üniform korozyon, korozyon ortamında metal yüzeyinin her yerinde meydana gelen tek biçimli elektrokimyasal ya da kimyasal tepkimelerin yol açtığı korozyondur (Smitth, 2001).

Metal yüzeyinin her noktasında aynı hızla yürüyen korozyon çeşididir. Eğer korozyon olayı üniform olarak yürürse, metal kalınlığı her noktada aynı derecede inceler. Bu nedenle üniform korozyon olayı beklenenden fazla tehlike oluşturmaz. Atmosferik korozyonda olduğu gibi, metal kalınlığı her noktada aynı kalır ve malzeme hesaplanan ömrüne kadar dayanıklılığını korur (Yalçın ve diğ. 2002).

Bu korozyona karşı koymak için ya da bu korozyonu azaltmak için boya, inhibitör ve katodik koruma uygulanabilir (Üneri, 1998).

Üniform korozyonun yol açtığı metal kaybı diğer korozyon türlerine oranla çok yüksektir. Buna karşın en az korkulan korozyon türü olduğunu belirtmek gerekir. Çünkü bu korozyonun hızı basit laboratuvar deneyleri ile saptanabilir (Doruk, 1982).

4. 3. 2. Galvanik veya Metal Çifti Korozyonu

Bu korozyon çeşidinde farklı iki metalin elektrokimyasal gerilimleri arasındaki fark korozyona yol açabileceğinden farklı metallerin birbiriyle temas halinde kullanılmamasına özen gösterilmelidir.

Çinko kaplı galvanizli çelik bir metalin (çinko) diğerini (çelik) korumak için harcanmasına bir örnektir. Çeliğe sıcak daldırma veya elektro kaplamayla kaplanan çinko çeliğe göre daha anodiktir ve çelikle oluşturduğu galvanik hücrede yenilerek katodik olan çeliği korumaktadır. Çinko ve çelik birbiriyle temasta olmadıkları durumda yaklaşık aynı hızda yenmektedir. Fakat çelik üzerine kaplandığında, galvanik hücrenin anodunu oluşturan çinkonun yenmesi çeliği korumaktadır.

Birlikte kullanılan iki farklı metalin sanayideki uygulamasına bir diğer örnek, konservecilikte kullanılan kalay kaplı tenekelerdir. Kalay kaplamaların çoğu, çelik sacın üzerine elektron yığma ile ince bir kalay tabakası kaplanarak yapılır. Kalay tuzlarının zehirleyici olmaması nedeniyle kalay gıda saklama kaplarında kullanılmaktadır, Kalay (standart emk = -0.136 V) ve demirin (standart emk = -0.441 V) elektrokimyasal davranışları birbirine yakındır. Yüzeyde meydana gelen oksijen miktarındaki veya iyon derişimindeki az bir farklılık bunların birbirine göre kutuplaşmasını değiştirecektir. Atmosfer koşullarına açık olma durumunda kalay normal olarak çeliğe göre katodiktir. Bu nedenle, yırtılan kalay kaplama atmosfere açık olduğunda, kalay değil çelik yenilecektir. Fakat havanın oksijenin olmadığı durumda kalay çeliğe göre anodiktir ve bu özelliği onu gıda kaplarını kaplamada faydalı hale getirmektedir. Görüldüğü gibi, galvanik korozyonda oksijenin bulunup bulunmaması önemli bir etmen olmaktadır (Smitth, 2001).

Galvanik korozyonun yararlı uygulamalarından bazıları şunlardır:

- a. Kuru pil:** Kuru pil galvanik korozyonun denetimli yapılan türüdür. Kimyasal enerji kontrolü olarak elektriksel enerjiye dönüştürülür. Doğal korozyonda enerji denetlenemez.
- b. Katodik koruma:** Korunacak metale göre bir başka metal kurban anot olarak kullanılır ve metalin korozyonu önlenir.
- c. Gümüş eşyaların aşınması:** Gümüş bir eşya su ve yemek sodası içeren bir kap içinde bir süre bekletilirse alüminyum kap anot olur ve katot olan gümüş yüzeyinde sülfürler iyon halinde redüklenerek çözeltiye geçer. Gümüş temizlenmiş olur (Eren, 2005).

Bu korozyonda aktif olan metalde korozyon hızlanırken, daha soy olan metallerin korozyonu yavaşlar veya tamamen önlenir. Örneğin; deniz suyu ortamında pirinç malzemelerle temas eden çelik vidalarda veya bir su ısıtıcısındaki bakır ve çelik boruların bağlantı yerlerinde bu tür korozyon meydana gelir (Savaşkan, 1999).

4. 3. 3. Çukur Korozyonu

Metal malzeme yüzeyinin çok dar bölgelerinde çukurcuk oluşumuna neden olan bir korozyon türüdür. Korozyon ile oluşan çukurcukların büyüklüğü ve sıklığı malzeme ve ortama göre değişir. Çukurcuk korozyonu sonucunda meydana gelen toplam malzeme kaybı, homojen dağılımlı korozyon sonucunda meydana gelen malzeme kaybından çok daha azdır. Ancak, çukurcuk korozyonuna uğrayan parçalar kısa zamanda delinerek kullanılmaz hale gelebilirler. Ayrıca, çukurcukların diplerinde meydana gelen gerilme yığılması malzemenin çatlamasına yol açabilir.

Metal malzemelerde bozunuma yol açması, yaygın olması ve kontrolünün zor olması gibi nedenlerden dolayı çukurcuk korozyonu en tehlikeli korozyon türlerinden biri olarak kabul edilir. Çukurcuk korozyonu genellikle klor ve brom iyonları içeren nötr ortamlarda görülür. Sodyum klorür ve oksijen bakımından zengin olan deniz suyu çukurcuk korozyonu için en uygun ortamı oluşturur. Örneğin; deniz suyuna bırakılan paslanmaz çelikler kısa zamanda çukurcuk korozyonuna maruz kalarak bozunuma uğrarlar. Ortamın durgun olması çukurcuk korozyonunu hızlandırırken, hareketli olması bu korozyonu yavaşlatır. Şöyle ki; deniz suyunun pompalanmasında kullanılan paslanmaz çelikten yapılmış parçalar sürekli çalışma koşullarında korozyona tam direnç gösterirken, çalışma durdurulduktan sonra çok çabuk korozyona uğrarlar (Savaşkan, 1999).

Aslında bir metalde delikler açacak bir oyuklaşma aylar hatta yıllar almaktadır. Oyulma, genellikle bir başlama süresine ihtiyaç duyar, fakat bir kere başladığında oyuklar gittikçe artan hızda büyür. Oyukların çoğu yerçekimi yönünde oluşarak büyümekte ve makinelerin alt yüzeylerinde meydana gelmektedir (Smith, 2001).

Çukur korozyonu en tehlikeli korozyon türüdür. Çok az malzeme kaybı olmasına rağmen, ekipman kısa sürede devre dışı kalabilir. Oluşan çukurların içi genellikle korozyon ürünleri ile doludur. Çukur sayısını ve derinliğini belirlemek son derece güçtür. Bu nedenle çukur korozyonunun ağırlık kaybı yoluyla değerlendirilmesi doğru olmaz. Çukur korozyonu, istatistiksel yöntemlerle, çukur sayısı ve derinliği belirlenerek değerlendirilebilir. Çukur derinliği korozyon zararı konusunda tek başına bir fikir vermez. Önemli olan maksimum çukur derinliğidir. Bu ise ancak istatistiksel yöntemler ile belirlenebilir (Yalçın ve diğ. 2002).

Çukur korozyonu oluşumunda metal cinsi de önemli rol oynar. Pasifleşme özelliği olan metal ve alaşımlar çukur korozyonuna daha duyarlıdır. Özellikle paslanmaz çeliklerde çukur korozyonuna sık rastlanır. Hatta düşük karbonlu çelik bile çukur korozyonuna paslanmaz çeliklerden daha dayanıklıdır.

4. 3. 4. Çatlak Korozyonu

Malzeme veya malzemelerden üretilen çeşitli sistemlerde bulunan dar aralık veya bölgelerde meydana gelen korozyon türüdür. Aralığı oluşturan eleman veya parçaların her ikisinin de metal olması gerekmez. Parçalardan biri lastik veya cam olabilir. Bu korozyon; malzemelerde bulunan çatlaklarda kir ve tufal tabakalarının altında veya makine parçalarının montajında giderilmeyen dar bölge ve aralıkların içinde başlar. Göz önünde bulunmayan bölgelerde meydana geldiği için kolayca fark edilmeyebilir. Bu korozyon, aralık içerisindeki elektrolitte oksijenin az olması nedeniyle meydana gelir. Bu korozyonda elektrolit kılcallık etkisi ile aralığın içine girer. Korozyon, aralığın içinde ve dışında oksijen reaksiyonu ile başlar ve aralığın içindeki oksijeni tamamen tüketir. Aralığın dışı hava ile temasta olduğundan burada bulunan elektrolit oksijen bakımından daha zengindir. Ancak, elektrolit aralığın hava almasını yani oksijenin aralığa girmesini engeller. Bu durumda elektrolit içerisindeki oksijen oranında farklılık meydana gelir. Aralık dışında kalan bölge oksijeni bol olduğundan katot, aralık içinde kalan bölge ise oksijeni az olduğundan anot görevi yapar. Bu nedenle söz konusu aralık korozyona uğrar (Savaşkan, 1999).

Çatlak korozyonu yalnız klorürlü ortamlarda değil, daha az şiddetli olarak bütün sulu çözeltiler içinde meydana gelebilir. Ancak klorür bulunmayan ortamlarda korozyonun etkisi uzun süre sonra, yaklaşık bir yıl içinde ortaya çıkabilir. Pasifleşme özelliği olan veya hidroksit halinde çökelebilen metal ve alaşımlar çatlak korozyonuna daha duyarlıdır. Örneğin; 18–8 paslanmaz çeliklerde çatlak korozyonu olayına sıkça rastlanır (Yalçın ve diğ. 2002).

4. 3. 5. Taneler Arası Korozyonu

Korozyon olayının malzemenin tane sınırlarına yakın bölgelerinde yoğunlaşması sonucunda ortaya çıkan bir bozunma türüdür. Bu korozyon, metal veya alaşımların tane sınırlarıyla diğer bölgeleri arasında bir gerilim farkının meydana gelmesi durumunda ortaya çıkar. Bu tip korozyon, bir katı çözeltili içerisinde bir fazın çökmesi sonucunda meydana gelir. Tane sınırlarındaki çökmenin hızlı olması nedeniyle tane sınırlarına yakın bölgeler çökeltiyi oluşturan element bakımından fakirleşir. Bu durum tane sınırları ile diğer bölgeler arasında bir

gerilim farkı oluşturur. Bunun sonucunda tane sınırları tercihli olarak korozyona uğrar. Bu tip korozyon daha çok östenitik paslanmaz çelikler ve alüminyum-bakır alaşımlarında görülür. Bu korozyon sonucunda taneler bütünlük ve şekillerini korurken, taneler arasındaki bağ bozunuma uğrar. Örneğin; taneler arası korozyona uğrayan östenitik paslanmaz çeliği elle ezerek toz haline getirmek mümkündür.

Metaller katı kristal halinde bulunur. Metal atomları bu kristal yapısı içinde düzgün olarak dağılmışlardır. Demir ve çelik kübik merkezli kristal yapıdadır. Östenitik paslanmaz çelikler yüzey merkezli kristal yapıdadırlar. Kristal yapıları metallerin taneler arası korozyonunda etkili olur. Metaller ergitilerek soğumaya terk edildiğinde birbirine bitişik çekirdeklerden oluşan kristaller halinde katılaşırlar. Çok sayıda kristalden oluşan taneler, sınır çizgileri ile birbirinden ayrılırlar. Taneler arasındaki dar bölgelerde kristal yapısı düzensiz durumdadır. Bu bölgeler metalin korozyona en dayanıksız olduğu yerlerdir.

Taneler arası korozyon, taneler arasında bulunan herhangi bir safsızlıktan, örneğin bir alaşım elementinin daha fazla bulunması veya eksik bulunması nedeniyle oluşur. Örneğin; alüminyum içinde bulunan az miktarda demir, taneler arası korozyona neden olabilir. Çünkü alüminyum içinde demir çok az çözünebilir, bu nedenle taneler arasında toplanır. Yine bunun gibi paslanmaz çeliklerde de, taneler arası sınır bölgelerinde krom miktarı çok azdır. Bu bölgeler krom azlığından dolayı taneler arası korozyona dayanıksızdır (Yalçın ve diğ. 2002).

4. 3. 6. Seçimli Korozyon

Bir alaşım içinde bulunan elementlerden birinin korozyona uğrayarak uzaklaşması sonucu oluşan korozyon olayıdır. Bu tip korozyona en iyi örnek, pirinç alaşımı içinde bulunan çinkonun bakırdan önce korozyona uğramasıdır. Bu seçimli korozyona özel olarak dezinsifikasyon adı verilir

Pirinç, yaklaşık % 70 bakır + % 30 çinkodan oluşan bir alaşımdır. Başlangıçta sarı renkli olan bu alaşım, çinkonun korozyonundan sonra gittikçe bakır kırmızısı rengine dönüşür. Alaşım gözenekli bir yapı kazanarak mukavemetini kaybeder. Alaşım içinde çinko yüzdesi ne kadar fazla ise, seçimli korozyona dayanıklılığı o kadar azalır. Alaşım yüzeyinde çinko ve bakırın her ikisi de normal olarak korozyona uğrayarak çözünür. Çinko çözeltide kalırken bakır iyonları katodik bir indirgeme ile çinko metalini yükseltgeyerek kendisi yeniden metal haline döner ve alaşım içinde oluşan boşluklarda çöker. Bu olay çözelti içinde oksijen olmadan da yürüyebilir. Bakır iyonları çinkonun korozyonunu hızlandırıcı etki yapar. Böylece korozyon olayı yüzeyde kalmaz, gözenekli bir yapı oluşturacak şekilde derinlere doğru ilerler.

Dezinsifikasyon korozyonunu önlemek için en uygun yol, alaşım içindeki çinko yüzdesini % 15' in altına düşürmektir. Eğer pirinç içine % 1 oranında kalay katılacak olursa korozyon dayanıklılığında artış olur. Az miktarlarda arsenik, antimon veya fosfor katkısı da inhibitör olarak etki yapar.

Sık rastlanan diğer bir seçimli korozyon olayı da, grafitleşme denilen gri dökme demirde oluşan korozyondur. Gri dökme demir içinde % 2– 4 oranında karbon bulunur. Dökme demir içinde grafit katot ve demir anot olur. Böylece bir galvanik korozyon olayı gerçekleşir. Demir çözünür ve grafit iskelet halinde kalır. Beyaz dökme demir içinde karbon serbest halde bulunmaz. Bu nedenle beyaz dökme demirde grafitizasyon olayı meydana gelmez.

4. 3. 7. Aşınmalı (Sürtünme) Korozyon

Birbiri ile sürtünen veya yük altında titreşim yapan metallerde aşınma görülür. Bu olay, söz konusu ortamda oluşan korozyon hızını artırıcı rol oynar. Sürtünme hareketinin veya titreşimin çok küçük boyutlarda, örneğin 10^{-10} cm olması halinde bile aşınmalı korozyon söz konusu olabilir.

Sürtünme korozyonu çok zarar verici bir korozyondur. Bu korozyon olayında metal parçalanır ve oksit parçaları oluşur. Aşınma sonucu birbiriyle birleşmeler gevşer, ayrıca sürtünme yorulma kırılmalarına neden olur. Çünkü sürtünme sonucu oluşan çukurcuklar sürtünmeyi artırır (Üneri, 1998).

Genellikle alüminyum alaşımlar aşınmaya çok yatkındırlar. Bu nedenle alüminyum levhalar yağlanarak paket edilirler ve gemilere böyle yüklenirler. Alüminyumdan yapılmış malzemelerin depolanması sırasında da bu sorun ile karşılaşılır. Gemilerde taşınan birçok yükte sarsıntılar sonucu hasar oluşabilir. Kompresörlerde, otomobillerde, demiryolu taşımalarında sürtünme sonucu birçok problem ortaya çıkar. Bunlar ancak yağlama yapılarak önlenir (Yalçın, ve diğ. 2002).

4. 3. 8. Gerilim veya Gerilmeli Korozyon

Korozif ortamda bulunan bir metal aynı zamanda statik bir gerilme altında ise, metalin çatlayarak kırılması çabuklaşır. Metal yüzeyinde bulunan herhangi bir çukur veya çentik, gerilim altında duyarlı hale gelerek korozyonun başlaması için uygun bir ortam yaratır. Normal halde korozyon ürünleri metal yüzeyinde koruyucu bir kabuk oluşturduğu halde, gerilim altında iken kabuk oluşturamaz. Bunun sonucu olarak korozyon hızla devam ederek metalin o bölgede çatlamasına neden olur.

Gerilim korozyonu tehlikeli bir korozyon türüdür. Başlangıçta önemsiz derecede olan bir yerel korozyon, çekme gerilimi etkisi ile ani olarak tehlikeli bir kırılma meydana getirebilir. Gerilim korozyonu, ya tane sınırlarında veya tane içlerinde olabilir. Gerek çukur tipi korozyon, gerekse taneler arası korozyon gerilmenin etkisini artırıcı bir rol oynar. Çekme gerilmesi sonucu bu bölgeler çatlar. Çatlamanın sonuçları doğrudan kırılma mekaniği ilkeleri doğrultusunda değerlendirilir. Genellikle kritik gelişim periyodu altında bulun çatlaklar zararsızdır (Yalçın, ve diğ. 2002).

Gerilmeli korozyon çatlağı, gerilme ve korozyon etkisiyle metal malzemelerde meydana gelen bozunma olarak tanımlanabilir. Bu korozyon tane sınırlarında çatlak oluşturarak, malzemelerin dayanımını azaltır. Bozunma, parça yüzeyinde bulunan çatlaklarda veya gerilme yığılmasına yol açan diğer geometrik düzgünsüzlüklerde başlar. Gerilmeli korozyon çatlağının en belirgin özelliği, kimyasal ve mekanik etkilerin birbirini destekler nitelikte olmasıdır. Gerilmeli korozyon çatlağı, korozif ortamda bulunan korozyona duyarlı malzemelerde çekme gerilmesi etkisiyle çatlak oluşması ve ilerlemesi şeklinde meydana gelen bir olaydır.

Metallerdeki gerilme korozyonu çatlaması, (GKÇ) çekme gerilmesi ve korozyon ortamının birlikte etkisiyle oluşan bir çatlamadır. Gerilme korozyonu çatlaması sırasında, genellikle metal yüzeyi çok az etkilenirken, yüksek bölgesellikteki çatlaklar yüzeyden içeri doğru ilerler.

Sadece belirli alaşım bileşimleri ve ortam koşulları gerilme yenimi çatlağına yol açar. Örneğin, paslanmaz çelikler klorürlü ortamda çatladıkları halde amonyak içeren ortamlarda çatlamazlar. Aksine, pirinçler (Cu - Zn alaşımları) amonyak ortamında çatladıkları halde klorlu ortamda çatlamazlar (Smitth, 2001).

Gerilmeli korozyon çatlaması, mekanizması tam olarak anlaşılamamış olduğu için, koruma yöntemleri de genellikle deneylerle bulunmuştur. Aşağıdaki mekanizmalardan biri veya birkaçı metallerde GKÇ' yi azaltabilmekte veya ortadan kaldırabilmektedir:

1. Alaşım üzerindeki gerilmenin çatlağı başlatacak bir değerin altına düşürülmesi. Bu, gerilmenin düşürülmesiyle yapılabileceği gibi, malzemeye bir gerilme giderme tavlama uygulanarak da sağlanabilir. Alaşımsız karbon çeliklerine 600–650 °C, östenitik paslanmaz çeliklere ise 815–925 °C sıcaklıkları arasında gerilme gidermesi ısı işlemi uygulanır.
2. Zararlı ortamın yok edilmesi.
3. Gerilme veya çevre koşulları değiştirilemiyorsa alaşımın değiştirilmesi.
Örneğin, deniz suyuyla temas halindeki ısı değiştiricilerde paslanmaz çelik yerine titanyum kullanılması.
4. Kurban elektrot kullanılarak veya dışardan akım uygulanarak katodik koruma sağlanması.
5. Mümkünse çözeltiye önleyiciler katılması (Smitth, 2001).

4. 3. 9. Yorulmalı Korozyon

Periyodik olarak yükleme-boşaltma şeklinde etkiyen dinamik bir stres altında bulunan bir metal zamanla yorulur. Yorulmuş halde bulunan metal, akma dayanımından daha küçük gerilmelerin etkisi ile çatlayabilir. Yorulma ve korozyonun birlikte etkisi metalin kısa sürede çatlamasına neden olur.

Korozyon olayı yorulma etkisi ile birlikte yürürse, bozulma olayı yalnız başına yorulma veya yalnız başına korozyon nedeniyle meydana gelen bozulmadan daha kısa sürede gerçekleşir. Bu kolay korozyonu destekleyen etkenlere iyi bir örnek oluşturur. Yorulmalı korozyon bir korozi ortamda çekme veya basma gerilmelerinin periyodik olarak değişmesi sonucu ortaya çıkar. Bunun sonucu olarak malzemenin çekme gerilmesi özelliğinde zayıflama olur.

Yorulmalı korozyon gerilmeli korozyonun özel bir hali sayılabilir. Ancak alınacak önlemler biraz farklıdır. Yorulmalı korozyonu önlemenin en kolay yolu, malzeme üzerindeki gerilimin azaltılmasıdır. Metal yüzeyi çinko, krom, nikel veya metaller ile kaplanarak yorulmalı korozyonun etkisi azaltılabilir (Yalçın ve diğ. 2002).

4. 3. 10. Hidrojen Kırılğanlığı

Hidrojen kırılğanlığı olayına demir ve çelik malzemelerde sıkça rastlanır. Korozyon reaksiyonlarında, katodik koruma uygulamasında veya elektrolitik kaplama işlemlerinde metal yüzeyinde atomik halde hidrojen oluşur. Bunlar metal yüzeyinde absorbe edilir. Bu atomlardan bir kısmı, $H+H \rightarrow H_2$ şeklinde birleşerek hidrojen molekülü oluşturur ve gaz halinde atmosfere karışır. Hidrojen atomlarının bir kısmı da, metal bünyesine girerek orada bulunan boşluklar yerleşir. Daha sonra bu hidrojen atomları da molekül haline dönüşerek büyük bir hacim artışına neden olur. Molekül halindeki hidrojenin artık difüzyon özelliği yoktur. Metal içinde bulunan hidrojen molekülleri metal boşluklarında büyük bir basınç oluşturarak metalin çatlamasına neden olur.

4. 3. 11. Erozyon Korozyonu

Erozyon korozyonu, korozyona neden olan sıvı ve metalin bağlı hareketleri sonucu, metal yüzeyindeki yemim saldırısı hızının artması olarak tanımlanabilir. Korozyona yol açan sıvının bağlı hareketi hızlı olduğunda, mekanik yıpranmanın ve aşınmanın etkisi şiddetli olabilir. Erozyon korozyonu metal yüzeyinde kanallar, oyuklar, yuvarlak delikler ve çoğunlukla

korozyona neden olan sıvının akışı yönünde oluşan diğer yüzey bozulmalarıyla kendini belli eder. Düşük alaşımlı çelik borulardan geçen silika kumu bulamaçlarının erozyon korozyonu etkisini konu alan araştırmalar, bulamaç hareketinin korozyon hızını artırmasının nedeninin, silika parçacıklarının, yüzeydeki pas ve tuz filmini kazınması ve bunun sonucu çözünmüş oksijenin yenime uğrayan yüzeye daha kolay ulaşabilmesi olduğunu ortaya koymuştur (Smitth, 2001).

4. 3. 12. Atmosferik Korozyon

Atmosfer içinde bırakılan metaller zamanla korozyona uğrar. Endüstride birçok metalik yapı açık atmosferde bulunur. Bunların başlıcası, köprüler, direkler, çatılar, balkonlar, korkuluklar, depolar, raylar, taşıt araçları vb. sayılabilir. Kuru bir atmosfer korozyon için tehlike oluşturmaz. Atmosferik korozyonu etkileyen en önemli faktör havanın relatif rutubeti ve taşıdığı kirliliktir.

4. 4. Korozyonun Önlenmesi ve Alınacak Tedbirler

Korozyonu önlemek veya korozyondan korunmak için birçok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden bazıları aşağıda, kısaca açıklanmaktadır:

4. 4. 1. Saf Metal Kullanımı

Çoğu uygulamalarda saf metal kullanılarak, homojen olmayan kısımlar en aza indirilir ve böylece çukurcuk (pitting) korozyonu büyük ölçüde engellenir. Dolayısıyla parçanın veya elemanın korozyona karşı direnci artırılır.

4. 4. 2. Alaşım Elementi Katma

Alaşım elementi katmak suretiyle bazı metallerin korozyon direnci artırılabilir. Örneğin; ostenitik paslanmaz çelikler 880 ile 1380 °C arasındaki sıcaklıklardan soğutulduğunda tane sınırlarında krom karbürler çökelir. Bu çökelme, çeliği taneler arası korozyona duyarlı hale getirir. Bu tür korozyonu önlemek için ya karbon oranını düşürmek, ya da karbürleri daha kararlı bir şekle dönüştürmek gerekir. Karbürleri daha kararlı bir duruma dönüştürmek için çeliğe titanyum ve niyobyum katılır. Karbona karşı ilgileri yüksek olan bu elementler, yüksek sıcaklıkta östenit fazı içinde çözünmeyen daha kararlı karbürler oluştururlar. Bunun sonucunda, krom ile birleşmesi için çok az karbon kalır ve çelik stabilize edilmiş olur. Bazı alaşım

elementleri malzemenin yüzeyinde gözeneksiz oksit filmleri oluşturarak veya oluşmasına yardım ederek malzemenin korozyon direncini artırır. Örneğin; bakır alaşımlarına katılan mangan ve alüminyum, paslanmaz çeliğe katılan molibden ve alüminyuma katılan magnezyum bu malzemelerin korozyon dirençlerini artırır.

4. 4. 3. Isıl İşlem

Döküm parçalarının çoğunda segregasyon meydana gelir. Bu parçalara homojenleştirme, çözündürme veya stabilizasyon gibi ısıtma işlemleri uygulamak suretiyle iç yapıları homojen hale getirilir ve böylece korozyon dirençleri artırılır. Gerilmeli korozyona duyarlı olan metal ve alaşımların korozyon dirençlerini artırmak için de soğuk şekillendirmeden sonra gerilme giderme işlemleri yaygın olarak uygulanır.

4. 4. 4. Uygun Tasarım

Parçanın korozyon ortamıyla temasını en aza indirmek için uygun tasarım yapılmalıdır. Galvanik dizide birbirinden uzak olan metal veya alaşımların eşlenmesi olanaklar ölçüsünde önlenmeye çalışılmalıdır. Bu tür eşleşmeler kaçınılmaz bir zorunluluk olarak ortaya çıkarsa ayrı cinsten olan metaller yalıtkan conta ve ara parçaları kullanılarak yalıtılmalıdır.

Alüminyum, çeliğe göre daha anot olduğundan çelik levhaları birleştirmek için kullanılan alüminyum perçinlerin korozyona uğramaları beklenebilir. Eğer alüminyum levhaları birleştirmek için çelik perçinler kullanılırsa, alüminyum levhada oluşan galvanik korozyon perçinlerin gevşemesine veya işlevini yapamaz hale gelmesine neden olabilir. Metal levhalarla perçin ve civatanın temasta olduğu bölgeyi, yumuşak ve yalıtkan bir malzeme ile ayırarak teması önlemek veya temas eden yüzeylere önce çinko kromat daha sonra alüminyum boya sürmek suretiyle bu tür korozyon önlenabilir. Civata gibi birleştiricilerin temas noktaları plastik veya metal olmayan manşon (bilezik), pul ve sızdırmazlık rondelâları gibi parçalar ile yalıtılabilir,

Eşlemede mümkünse perçinli ve civatalı bağlantılardan kaçınılmalı, kaynak ve lehim türünden bağlantılar öncelikle kullanılmalıdır (Doruk, 1982).

4. 4. 5. Katodik ve Anodik Koruma

Katodik koruma normal olarak, elektriksel temas durumunda korozyona uğrayan metalin galvanik seride kendisinden daha yukarıda yer alan metal ile birleştirilmesi sonucunda sağlanır. Katodik korumada, korozyondan korunmak istenen metal katot yapılarak galvanik bir pil oluşturulur. Bu tür koruma sağlamak için, genelde çinko ve magnezyum kullanılır. Bazı durumlarda bir gerilim kaynağı aracılığı ile koruyucu akım elde edilir. Bu durumda anot karbon, grafit veya platin gibi koruyucu malzemelerden oluşur. Yeraltındaki borular, gemi gövdeleri ve buhar kazanları gibi yapılar bu yöntemle korunurlar. Yeraltındaki boruların korunması için anotlar borudan 2,4–3,0 m uzağa gömülür. Anotların her biri kollektör kabloya bağlanır ve bu da boru hattına lehimlenir. Akım anotdan toprağa gönderilerek, boru hattında toplanır ve kollektör kablo vasıtasıyla anoda geri döner. Gemilerin katodik yöntemle korunması için dümen veya pervane bölgesinde tekneye çinko ve magnezyum anotlar bağlanır. Ev ve endüstriyel su ısıtıcılarında ve yüksek su tanklarında katodik koruma için yaygın olarak magnezyum anotları kullanılır.

Anodik koruma, nispeten yeni bir yöntem olup dıştan verilen bir anodik akımın etkisiyle metal veya alaşımın yüzeyinde koruyucu, bir film oluşturma esasına dayanır. Anodik korumanın iyi tarafı, çok zayıf ve çok kuvvetli yenim ortamlarında kullanılabilmesi ve çok düşük bir akıma ihtiyaç göstermesidir. Anodik korumanın kötü tarafı ise karmaşık bir donanım ve yüksek donanım maliyetine ihtiyaç göstermesidir (Smitth, 2001).

4. 4. 6. Korozyon Önleyicisi (İnhibitör) Kullanımı

Korozyon önleyicileri, korozif etkiyi azaltmak veya önlemek için korozyon ortamına katılan maddelerdir. Bu maddeler çoğu durumlarda metal yüzeyinde koruyucu bir tabaka oluşturarak korozyonu önlerler. Otomobil radyatörlerinde kullanılan antifriz karışımının içine veya ısıtma sisteminde kullanılan suyun içerisine inhibitör katılır. Örneğin; korozyon ortamına oksit yapıcı maddeler katılarak alüminyum, krom ve mangan gibi metallerin yüzeylerinde oksit filmleri oluşturulur ve böylece bu metallerin korozyondan korunması sağlanır.

4. 4. 7. Yüzey Kaplama

Yüzey kaplamaları; metal kaplamalar ve metal olmayan kaplamalar olmak üzere iki gruba ayrılabilir:

4. 4. 7. 1. Metal kaplamalar

Metal kaplamalar sıcak daldırma, elektro kaplama, difüzyon ve mekanik kaplama gibi yöntemlerle yapılır. Pratikte korozyona karşı en çok çinko ya da alüminyum kaplama kullanılır. Sıvı metale daldırma yöntemi, esas olarak çeliğin çinko, kalay, kadmiyum, alüminyum veya kurşun ile kaplanması için uygulanır ve bu yöntemin çok geniş uygulama alanı vardır.

Galvanizasyon olarak bilinen çinko kaplama, daha çok çelik malzemelere uygulanır. Atmosfere açık ortamda kullanılan çatı malzemeleri, levhalar, tel ve tel ürünleri, çelik sacdan üretilen malzemeler, borular, buhar kazanları ve yapı çelikleri genelde çinko kaplanır. Çeliğin ısıya ve korozyona karşı dayanımını artırmak için de alüminyum kaplama kullanılır. Çinko kaplama yerine bazen kadmiyum kaplama kullanılır, ancak bu kaplama atmosfere açık ortamlarda çinko kaplama kadar iyi sonuç vermez. Bazı makine parçalarının veya çeşitli aletlerin korozyon ve aşınma dirençlerini artırmak ve görünümünü iyileştirmek için de krom kaplama yapılır. Krom kaplama daha çok otomobil parçalarına, su tesisatlarına; metal eşyalara ve çeşitli aletlere uygulanır. Nikel kaplamalar esas olarak krom, gümüş, altın gibi kaplamaların altında bir tabaka olarak kullanılır. Nikel korozyona karşı dayanıklıdır; ancak atmosferden etkilenecek matlaşır. Bakır kaplama, özellikle çinko esaslı dökümlerde, nikel ve krom kaplamaların altında kullanılır.

4. 4. 7. 2. Metal Olmayan Kaplamalar

Boya ve organik maddeler içeren metal olmayan diğer kaplamalar, esas olarak parça yüzeylerinin korunması ve görünümlerinin iyileştirilmesi için kullanılır. Boya malzeme yüzeyinde koruyucu bir film oluşturur ve bu film çatlamadığı veya soyulmadığı sürece metal malzemeyi korozyondan korur. Metal malzemelerin içerisinde bulundukları ortamla reaksiyona girmeleri sonucunda da yüzeylerinde toz veya oksit filmi oluşur. Bu tür filmler de koruyucu kaplama görevi yaparlar (Savaşkan, 1999).

4. 4. 8. Uygun Malzeme Seçimi

En yaygın yenim denetimi yöntemi, kullanılacağı ortamın yenim etkisine dirençli malzeme kullanmaktır. Malzemenin yenim direnci göz önüne alınarak, belirli bir mühendislik tasarımı için malzeme seçimi yapılırken, yenim el kitapları ve verilerine başvurulmalıdır. Ayrıca, yenim uzmanlarına ve malzemeleri üreten firmalara danışmak en iyi seçimi yapmada yararlı olacaktır.

Buna karşılık, mühendislik uygulamalarında malzeme seçimi yapılırken epeyce hassas sonuçlar veren bazı genel kurallar da vardır, Bunlar:

- Oksitleyici (yükseltgen) olmayan indirgeyici koşullarda, örneğin havasız asitlerde ve sulu çözeltilerde çoğunlukla nikel ve bakır alaşımları kullanılmaktadır.
- Oksitleyici koşullarda krom içeren alaşımlar kullanılmaktadır.
- Çok şiddetli oksitleyici koşullarda titanyum ve alaşımları kullanılmaktadır (Smitth, 2001).

4. 4. 9. Çevrenin Değiştirilmesi

Korozyonu şiddetini belirlemede çevre koşulları önemli olabilir. Korozyonu azaltmak için uygulanabilecek çevre koşullarını değiştirme yöntemlerinden bazıları şunlardır:

- Sıcaklığı düşürmek,
- Sıvının hızını düşürmek,
- Sıvıdan oksijeni uzaklaştırmak,
- İyon derişimini azaltmak,
- Elektrolite önleyiciler katmak (Smitth, 2001).

4. 5. Paslanmaz Çeliklerin Korozyonu

Paslanmaz çelikler esas olarak mükemmel korozyon dirençlerinden dolayı kullanılırlar. Mükemmel korozyon direnci göstermelerinin nedeni yüksek krom içeriklerinden kaynaklanmaktadır. Alaşımı oluşturan diğer bileşenler paslanmaz çeliğin diğer yapısal özelliklerini geliştirmek içindir.

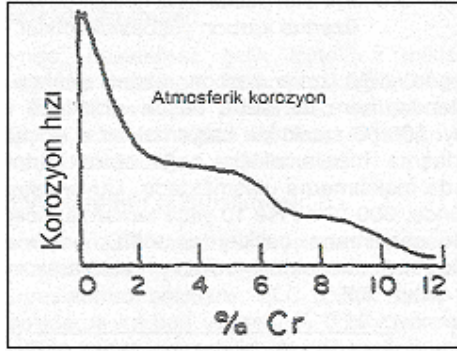
Krom metal alt katmanlarını korozyondan koruyan oksit bir film oluşturarak metal yüzeyini pasif hale getirir. Ancak bu koruyucu filmin oluşması için paslanmaz çelik yüzeyinin oksitleyici maddeler ile temas etmesi gerekir. Bu nedenle oksijensiz ortamlarda örneğin buhar kazanlarında paslanmaz çelik kullanılması tehlikeli olabilir (Yalçın ve diğ. 2002).

Paslanmaz çeliklerin korozyonunu kontrol eden pasif filmin özellikleridir. Filmin oluşmaması veya homojen olarak çözünerek ortadan kalkması paslanmaz çeliklerin üniform (tekdüze) korozyona uğramasına yol açar. Pasif filmin bölgesel bozunması ve korozyon olayının buralarda yerleşmesi bölgesel korozyon olarak tanımlanan oyuklanma, aralık korozyonu, gerilmeli korozyon gibi tanınması ve kontrol altına alınması güç korozyon türlerinin oluşmasına neden olur (Eren, 2005) .

4. 5. 1. Paslanmaz Çeliklerin Korozyonuna Etki Eden Başlıca Faktörler

4. 5. 1. 1. Alaşımın Krom İçeriği

Ferrit oluşumunda etkili olur. Krom paslanmaz çeliklerin pasifleşmesini etkileyen en önemli alaşım elementidir. Alaşımın krom içeriğinin artışı, kritik akım yoğunluğunu düşürerek pasifleşmeyi kolaylaştırır, pasif durumdaki akım değerinin azalmasını dolayısıyla çözünme hızının da azalmasını sağlar ve oyuklanma, aralık korozyonuna karşı alaşımın direncini artırır. Paslanmaz çeliklerin yüzeyinde oluşan pasif film, büyük oranda krom oksitten oluşmakta ve alaşımın krom içeriğinin artışı pasif film içerisindeki krom miktarının da artmasına neden olmaktadır. Bu geçirimsiz oksit tabakası alaşım yüzeyinde kendiliğinden oluşur. Krom miktarının artışı ile korozyon hızı arasındaki bağıntı Şekil 4.4’ de görülmektedir (Yalçın ve diğ. 2002).



Şekil 4. 4. Krom miktarının korozyon hızına etkisi

Pasifleşmenin tam olarak gerçekleşmesi için katı çözelti içindeki krom yüzdesinin mutlaka % 12'den büyük olması gerekir. Ancak çelik içinde bulunan karbonla kromun Cr_{23}C_6 halinde krom karbür oluşturması nedeniyle 1 gr karbon 16,6 gr kromu bağlar ve krom yüzdesinde azalma meydana gelir. (Yalçın ve diğ. 2002). Çelik yüzeyinde oluşan demir-krom oksit filmi çok ince bir tabaka oluşturur. Bu tabaka oksitleyici ortamlar içinde stabil olduğu halde indirgeyici ortamlarda dayanıklı değildir. Hidroklorik asit gibi indirgeyici özelliği olan bileşikler bu oksit tabakasının parçalanmasına neden olur. Bunun sonucu olarak da korozyon başlar.

4. 5. 1. 2. Ortamın Oksitleyici Gücü

Pasifleşmenin gerçekleşebilmesi için ortamın oksitleme gücünün kritik akım yoğunluğu üzerinde bir akımı sağlayabilecek düzeyde olması gerekir. Bu da katodik reaksiyon kinetiği ve

alaşıma özgü kritik akım yoğunluğu değerine bağlıdır. Örneğin, ortamda oksitleyicilerin varlığı, (nitrik asit, hidrojen peroksit gibi) ortamın oksitleme gücünü artırarak pasifleşmeyi kolaylaştırır. Ortam pH 'ının artışı ve alaşımın molibden, bakır gibi elementleri içermesi alaşımanın kritik akım yoğunluğunu azaltarak pasifleşmeyi kolaylaştırıcı etki yapar.

4. 5. 1. 3. Ortamdaki Saldırgan İyonlar

Pasifliğin bölgesel olarak bozulmasının nedeni ortamda bulunan saldırgan iyonlar, özellikle klorür iyonlarıdır. Ortamda klorür iyonları varlığında görülebileceği korozyon türleri oyuklanma, aralık korozyonu, östenitik paslanmaz çelikler için gerilmeli korozyondur. Paslanmaz çelik kullanımında ve seçiminde en çok dikkat edilmesi gereken ortam değişkenlerinden biri ortamın klorür iyonu içeriğidir (Ürgen, 1989).

4. 5. 1. 4. Alaşımın Nikel İçeriği

Demir içine nikel katılınca karbonun oluşturduğu kompleks bileşikler oluşmaz. Östenit olumuna katkıda bulunur. Karbon hem ferrit, hem de ostenit içinde kolayca çözünür. Nikel ve karbon yüzdeleri düşük ise, düşük sıcaklıklarda ostenit oluşur. % 8'den daha fazla nikel katılırsa, demir-krom alaşımının $\gamma - \alpha$ dönüşümü meydana gelir. Eğer çabuk soğuma sağlanırsa, çelik ostenitik olarak kalır. % 8 oranında nikel katılması halinde ostenit tam kararlı halde değildir. % 25'e kadar nikel katılarak tam dayanıklı alaşım elde edilebilir. Bu alaşım ostenit formundadır, hem korozyona dayanıklı, hem de mukavemet özelliği oldukça iyidir (Yalçın ve diğ. 2002).

4. 5. 1. 5. Alaşımın Karbon İçeriği

Karbon, tüm çeliklerde, dolayısıyla paslanmaz çeliklerde de kaçınılmaz olarak değişik oranlarda her zaman bulunan alaşım elementidir. Östenit olumuna etkide bulunur. Paslanmaz çeliklerin korozyonu açısından çözültide bulunacak ölçüde karbonun varlığı sorun yaratmaz; ancak karbon içeriğinin, çözünürlüğün üstünde olması halinde oluşan krom karbürler ve bunların tane sınırlarına çökmesi taneler arası korozyona neden olur (Ürgen, 1989).

Karbür oluşumuna yakınlık çeşitli alaşım elemanları için büyük farklılıklar gösterir. Karbür oluşumuna yakın alaşım elemanları için karbon elementine düşünlüğe göre aşağıdaki sıralama verilebilir. Sıralamada sağdaki bir metal soldakine oranla karbür oluşturmaya daha yakındır.

Mn, Cr, W, Mo, V, Ta, Nb, Ti

Buna göre Mn ve Cr karbür oluşumuna diğerlerine oranla daha az; vanadyum ve titanyum ise daha çok yatkın elementlerdir.

Bundan dolayı karbon alaşımlı demir alaşımlarında başlıca iki tür alaşım elementi ayırt edilmelidir. Bunlardan silisyum, nikel, kobalt, bakır, alüminyum ve kısmen manganez tercihen ana kütleye karışıp eriyebilen ilk türü; krom, volfram, molibden, vanadyum, titanyum ve yine kısmen manganda karbür oluşumuna yatkın karbonla birleşerek yapıya girerek ikinci türü oluşturmaktadır.

Düşük karbon oranlarında karbür oluşumuna daha az rastlanır, dolayısı ile de matris kütle alaşım elemanı açısından daha zengin olur. Alaşım elemanlarının matristeki dağılımları, karbür oluşturmaları ya da karbür içerisinde ergimeleri ısıtma işlemleri ile yeterince kontrol edilebilir. Artan sıcaklıkla karbürlerin matris içerisinde ergime oranları artar. Yüksek sıcaklıklardan ani bir soğutma yapılarak alaşım elemanı bakımından zengin bir matrise sahip olunabilir (Yıldırım, 1984).

4. 5. 1. 6. Alaşımın Molibden İçeriği

Molibden ferrit yapıcı olarak bilinir. Molibden paslanmaz çeliklerin korozyonu üzerinde önemli etkileri olan bir alaşım elementidir. Klorlu ortamlarda alaşımın çukurcuk korozyonuna karşı dayanırlığını artırır. Standart paslanmaz çelik gurupları içerisindeki ostenitik molibdenli alaşımlar % 2 – 4 arasında molibden içerirler. Molibden kritik akım yoğunluğunu düşürerek pasifleşmeyi kolaylaştırır, dolayısıyla indirgen ortamlarda (örneğin; sülfürik asitli ortamlarda) korozyon direncini artırır (Collins ve diğ. 1973).

4. 5. 1 7. Alaşımın Bakır, Selenyum ve Kükürt İçeriği

Paslanmaz çelikler içine bakır katılarak asit ortamlara ve klorür etkisine karşı dayanıklılıkları artırılabilir. Bakır katılması ile oksitleyici asitlere karşı korozyon direnci de artar. Selenyum ve kükürt paslanmaz çelik alaşımlarının işlenebilme özelliklerini artırıcı rol oynarlar. Silis katılması ile alaşımın yüksek sıcaklık oksidasyonu azaltılabilir. Bakır östenit oluşumuna etki ederken selenyum ve kükürt ise ferrit oluşumuna etki eder (Yalçın ve diğ. 2002).

4. 5. 1. 8. Alaşıma İlave Edilen Karbür Kararlaştırıcı Elementler

Taneler arası korozyonu önlemek amacıyla, östenitik paslanmaz çeliklere alaşımın karbon içeriğinin 6–10 katı oranında niyobyum veya titan ilavesi yapılır. Bu alaşım elementleri çok kuvvetli karbür yapıcılar olduklarından krom karbürlerin oluşmasına fırsat vermezler. Alaşıma bu elementlerin katkısını östenitik paslanmaz çelik tiplerinden titanyum–321 ve niyobyum–347 çeliklerin korozyon davranışında görmek mümkündür (Odabaş, 2006).

4. 5. 1. 9. Isıl İşlem

Isıl işlemler paslanmaz çeliklerin özelliklerini önemli ölçüde etkilerler. Bu malzemelerin ısı etki altında kaldığı en önemli işlem kaynak işlemidir.

Ostenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerin kaynağında ortaya çıkan ikinci bir sorun da, özellikle 18/8 çeliği gibi bazı krom-nikelli çeliklerin 450–850°C sıcaklık aralığındaki bir sıcaklıkta uzun süre kalmalarında oluşan krom karbür çökmesine eğilimidir. Sıcaklığın 450°C' nin üzerine çıkması ile karbonun difüzyon hızı, karbonu tane sınırlarından dışarıya çıkartacak derecede artar. Tane sınırlarında biriken karbon, kroma karşı oldukça yüksek ilgisinden dolayı bu bölgede krom ile birleşerek krom-karbür oluşturur. $(Fe, Cr)_{23}C_6$, Oluşan krom karbürün ağırlık olarak %90' ını krom oluşturduğundan, tane sınırlarında bulunan çok az karbon bile ostenit tanelerinin çevresindeki krom miktarını aşırı derecede azaltır. Bunun sonucu olarak malzeme korozif bir ortamda bulunduğunda, kromca zayıflamış olan tane sınırlarında korozyon oluşur. Bu şekilde ortaya çıkan taneler arası korozyon tüm malzemeyi çok kısa zamanda kullanılmaz hale getirir. Çeliğin karbon içeriği arttıkça bu olay şiddetlenir.

Esas metalde krom karbür çözülmesinin olduğu hallerde, şayet parçanın boyutları ve konstrüksiyonu uygun ise parça 1100°C' ye, kadar tavlanıp su içinde aniden soğutulursa, yüksek sıcaklıkta ostenit içerisinde çözülmüş bulunan karbürler hızla bir soğuma esnasında tekrar oluşamazlar. Ancak, böyle bir ısıl işlemin uygulanması pek kolay olmayabilir. Bundan dolayı, krom karbür çökmesine eğilimli %0,03'den fazla karbon içeren ostenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında, kaynakçının kaynak esnasında alacağı en iyi önlem, dikişi çektikten hemen sonra ıslak bir bez veya üstüğü ile hızla soğutması olarak tavsiye edilir (Anık ve diğ.1993).

Ferritik paslanmaz çeliklerin ostenit oluşum bölgesine ısıtılıp soğutulması duyarlılaşmaya ve taneler arası korozyonun oluşmasına neden olur. Alaşımın ostenitleşme sıcaklığından soğuma hızı bu oluşumu etkilemez, karbon içeriğinin azaltılması veya karbür kararlılaştırıcı elementlerin ilavesi ile bu olayın tamamen önlenmesi mümkün değildir. Bu tip çeliklerde hassaslaşmış malzemenin 1100 °C de homojenleştirme işlemine tabi, tutulması taneler arası korozyona karşı önlem olabilir (Ürgen, 1989).

4. 5. 1. 10. Nötr Elementler

Mangan: Oda sıcaklığında ve oda sıcaklığına yakın sıcaklıklarda östenitin stabil (kararlı) olmasını sağlar. Ancak yüksek sıcaklıklarda ferrit oluşturur. Ayrıca mangan sülfür ile birleşip MnS oluşturur.

Silisyum: Tufallaşmaya karşı dayanımı yükseltir. Yapıda % 1'den daha fazla olması durumunda ferrit ve sigma oluşumuna etki eder. Her tür paslanmaz çeliğe oksit giderme amacıyla düşük oranda eklenir. Akışkanlığı artırır ve kaynak metalinin ana metali daha iyi ısıtmasını sağlar.

4. 5. 1. 11. Metal Karbürler

Karbür; sıkı paketlenmiş metal atomları arasındaki boşluklara yerleşen karbon atomlarının metal atomları ile birleşerek karbür şeklinde yeni bir fazın teşekkül etmesidir. Malzeme, bünyesindeki karbürler x-ışınları ile belirlenir. Karbür oluşturan elementler periyodik cetvelin 4-6'ncı periyodun 4-8'inci grup elementleridir. Bunları kristal yapılarına göre sınıflandıracak olursak; kübik yapıdaki karbürler (MC): ZrC, HfC, VC (V_4C_3), NbC, TiC, TaC, $M_{23}C_6$, $Mn_{23}C_6$. Hegzagonal (SPH) yapıdaki karbürler (M_2C): V_2C , Nb_2C , Ta_2C , Cr_7C_3 , Mo_2C , MoC , W_2C , Mn_7C_3 , ϵ - Fe_3C . Orthorhombic yapıdaki karbürler Cr_3C_2 , Mn_3C , Fe_3C , F_2C , Co_3C , Co_2C ve Ni_3C şeklinde sınıflandırılır. Genel olarak karbürün gösterim şekli $M_{23}C_6$, MC ve M_2C şeklindedir. Buradaki M metal atomunun bir karışımıdır. Kübik karbürler MC, SPH karbürler ise M_2C şeklinde ifade edilirler (Korkut, 1997).

4. 5. 1. 11. 1. $M_{23}C_6$ veya Cr'lu Çeliklerde $Cr_{23}C_6$ Karbürü

Zengin krom içeriklerinde 750-900°C sıcaklıklar arasında Cr elementinin çökmesiyle oluşan K.Y.M' li $Cr_{23}C_6$ yapısında bir karbüdür. Bu karbür çoğunlukla tane sınırlarına yerleşebilir. Bu karbürleri optik veya taramalı elektron mikroskopuyla tespit etmek mümkündür. Yüksek krom içeriklerinde ve yüksek sıcaklıklarda $M_{23}C_6$ ($Cr_{23}C_6$) karbürü kararlı olup düşük krom içeriklerinde $Cr_{23}C_6$ yerine Cr_7C_3 karbürü oluşma meylini göstermektedir (Korkut, 1997).

4. 5. 1. 11. 2. MC (TiC, MoC, NbC, VC) ve M_2C (V_2C , Nb_2C , Mo_2C) Karbürleri

Ferritik paslanmaz çeliklerde karbon., krom elementi ile birleşerek $M_{23}C_6$ ($Cr_{23}C_6$) karbürünü oluşturmaktadır. Malzeme içerisine karbonun kroma nazaran daha düşük olduğu Nb, Ti, V, Mo gibi elementler, katıldığı takdirde karbon elementi krom yerine bu stabilize elementlerle birleşerek daha sert MC karbürler oluştururlar. Böylece malzemenin birçok özellikleri değiştirilir ve gevrekliğe sebep olan krom karbür oluşması da engellenir (Korkut, 1997).

4. 5. 1. 12. Sigma Fazı

Sert, kırılgan bir faz olan sigma fazını geniş bir kapsamda mikroskop ile ve x-ışınları yardımı ile tanımlamak daha kolay olur. Kafes parametresi $a = 0.88-0.91 \mu m$, $c=0.45-0.46 \mu m$ ve hacim merkezli tetragonal bir yapıya sahip olan bu faz $540-870 ^\circ C$ sıcaklıklar arasında çok yavaş olarak şekillenir. Ve faz ilk olarak tane sınırlarında olduğu gibi tane içinde de oluşması mümkündür. Bu faz ostenit fazın yerine geçerek ferritin kararlılığını düşürür. Sigma fazı genellikle % 20'nin üzerindeki Cr içeriklerinde teşekkül eder. Ancak içerisindeki diğer alaşım elementlerine bağlı olarak % 17-20 Cr içeriklerinde de baskın bir faz olduğu için teşekkül etmesi mümkündür. % 14-16 krom içeriğinin altındaki bir değerde bu fazın oluşumu beklenemez. Eğer malzemenin bileşimine silisyum, molibden, titanyum, kolombiyum ya da bu fazın oluşumunu hızlandıracak diğer bazı elementler ilave edilirse veya soğuk şekillendirme işlemi uygulanırsa o zaman düşük krom içeriklerinde bile bu fazın oluşumu mümkün olabilir.

Sigma fazı çeliğin uzama, büzülme ve çentik darbe dayanımını düşürdüğünden istenmeyen bir fazdır. Bu faz büyük bloklar halinde yüksek enerjili ara yüzeylerde, tane sınırlarında ve üçlü noktalarda oluşur. Krom karbür oluşumu engellemek için uygulanan ısıtma işlemi sigma fazının da yeniden oluşumunu büyük oranda engeller (Korkut, 1997).

4. 5. 2. Östenitik Paslanmaz Çelikler ve Korozyon

Genelde östenitik paslanmaz çelikler bütün paslanmaz çeliklerden daha iyi korozyon, dirence sahiptir. Parlatılmış yüzeyler, çoğu doğal şartlar altında toz ve kirden arınmış olarak kendilerini korurlar. Korozyon şartları çok şiddetli olduğunda (örneğin yüksek sıcaklık ve kuvvetli asitler) daha çok alaşım içerikli tip 304 kullanılmalıdır.

Östenitik paslanmaz çeliklere % 2 Mo ilavesi çukurcuk korozyon direncini artırır. Bu sınıf içerisinde en popüler alaşım tip 316'dır ve % 2.5 Mo içerir. Ancak Üretimleri pahalıdır. Popüler 304 alaşımı gibi bazı östenitik paslanmaz çeliklerin başlıca dezavantaj bu çeliklerin $400-850 ^\circ C$

hassas sıcaklık aralıklarına ısıtıldıklarında taneler arası korozyona karşı hassas olmalarıdır (Erdoğan, 2000)

Isının etkisi altında kalan bölgenin 400–850 °C sıcaklığa kadar ısınan bölümünde yer alan tane sınırlarında çökelen ve taneler arası korozyonu hızlandıran krom karbürler burada "Hassas Yapı" oluşmasına neden olurlar. Bu oluşum sırasında bir miktar krom çözültiden tane sınırlarına doğru yer değiştirir ve bunun sonucunda bu bölgesel alanlarda krom miktarında azalma olacağı için korozyon dayanımı düşer. Bu sorun, kromla birleşerek krom karbür oluşmasına neden olan karbonun yapıda düşük seviyelerde tutulduğu düşük karbonlu (AISI 304L gibi) ana metallerin ve dolgu metallerinin kullanılmasıyla önlenabilir. Bunun yanında kaynak işleminin öntav uygulanmadan yapılması, ısı girdisinin düşük seviyede tutulmasına özen gösterilmesi ve bakır altlık kullanılarak hızlı soğuma sağlanması hassas sıcaklık aralığında kalma süresinin kısa tutulması açısından oldukça yararlıdır.

Diğer bir yöntem, stabilize edilmiş olan paslanmaz çelik ana malzemelerin ve dolgu metallerinin kullanılmasıdır. Bu sayede stabilizatör görevi gören alaşım elementleri karbon ile reaksiyona girecek ve krom miktarının azalmadan yapıda kalması sağlanacağından korozyon dayanımında herhangi bir düşüş ile karşılaşılmayacaktır. 321 kalite paslanmaz çelikler stabilizatör olarak titanyum (Ti) içerirken 347 türü paslanmaz çelikler niyobyum (Nb+Ta) ile stabilize edilmişlerdir. Her iki element de kromdan daha güçlü karbür oluşturma özelliğine sahiptir (Odabaş, 2006).

4. 5. 3. Ferritik Paslanmaz Çelikler ve korozyon

Ferritik paslanmaz çelikler genellikle sertleştirilemezler ve en iyi korozyon dirençlerini tavllanmış şartlarda gösterirler. Bu alaşımların genel korozyon dirençleri krom miktarları arttıkça artar ve çözündürme tavlama uygulanmış % 23–28 krom en iyi korozyon direncini sağlar. Ferritik paslanmaz çeliklerin çukur korozyonuna dirençleri krom miktarlarını arttırmakla belli bir düzeye kadar iyileştirilebilmelerine rağmen molibden ilavesinin daha faydalı olduğu görülmüştür. Çukur korozyona karşı direnç sağlamak için ferritik paslanmaz çelikler en azından % 23–24 krom ve % 2'nin üzerinde Mo içermelidir. Kaynak veya ısıl işlem sırasında krom karbürün çökmesi bu alaşımların çukur korozyona karşı direncini azaltır,

Ferritik paslanmaz çelikler az miktarda karbon ve azot içerseler bile taneler arası korozyona karşı hassastırlar. Ferritik paslanmaz çeliklerde taneler arası korozyon mekanizması, tane sınırlarında krom karbürlerin ve nitrürlerin çökmesi şeklinde olur. Bu çökeltiler, tane sınırına bitişik bölgelerde kromun yoğunluğunu, korozyon direnci için gerekli olan % 12 kritik düzeyin altına düşürürler.

Karbon içeriği %, 0, 002'ye ve azot % 0, 0095'e düşürüldüğünde Fe-% 12 Cr alaşımının yüksek sıcaklık ısıtılmasından sonra taneler arası korozyona karşı oldukça dirençli olduğu görülmüştür. Bundan dolayı ticari olarak üretilen yeni ferritik paslanmaz çelikler oldukça düşük karbon ve azot düzeyine sahiptirler. Standart ferritik paslanmaz çeliklerin taneler arası korozyona karşı hassasiyetini azaltmanın bir başka metodu, bu alaşımları titanyum ve niyobyum ile kararlı hale getirmektir. Yüksek sıcaklıklarda titanyum ve niyobyum karbürlerinin oluşumu bu alaşımların düşük sıcaklıklarda korozyon dirençlerini iyileştirir. Örneğin 409 alaşımı karbon içeriğin 6 katı titanyum ve 436 alaşımı karbon içeriğin 5 katı katılmasıyla kararlı hale getirilirler (Erdoğan, 2000).

4. 5. 4. Martenzitik Paslanmaz Çelikler ve Korozyon

Martenzitik paslanmaz çeliklerin korozyon dirençleri ferritik ve östenitik paslanmaz çeliklere göre nispeten zayıftır. Çoğu martenzitik paslanmaz çelikler nemli havada pasiflik için gerekli olan minimum % 12 Cr içerirler. Daha çok krom ilave edilirse ferritin oluşumu martensitin oluşumu için gerekli olan östenitin sarf edilmesini artırır. Martensitik paslanmaz çeliklerin kompozisyonu dayanım, sertlik ve de korozyon direnci için tasarlanır ve bu nedenle bu alaşımlarda korozyon direnci için kimyasal denge zayıftır. Östenitin martenzite dönüşümü sınırlanacağı için sadece nikel gibi sınırlı miktardaki alaşım elementleri katılır. Martensitik paslanmaz çelikler genellikle su verildikten sonra temperlenir ancak darbe dayanımının düşük olduğu 370–600 °C aralığında dikkatli olunmalıdır (Erdoğan, 2000).

4. 5. 5. Çift Fazlı (Dubleks) Paslanmaz Çelikler ve Korozyon

Dubleks çeliklerin genel korozyon dirençleri krom, molibden ve azot içerikleriyle belirlenir. Doubleks çeliklerin çukurcuk korozyon dirençleri tip 304 ve 316 dan daha iyidir. % 25 Cr ve % 3 Mo içeren yüksek alaşımlandırılmış doubleks çelikler deniz suyuna karşı iyi korozyon direncine sahiptir. Doubleks çelikler bazı CO₂ boru sistemlerinde ve petrol endüstrisindeki gaz borularında kullanılır. Doubleks çelikler klorür nedenli gerilim-korozyon kopmalarına karşı hassastırlar. Ancak bu şartlar için östenitik çeliklerden üstündürler. Genelde ferrit miktarının yüksek olması, gerilim korozyonuna karşı alaşımın direnci için iyidir (Erdoğan, 2000).

4. 5. 6. Çökelme Yoluyla Sertleşebilen Paslanmaz Çelikler ve Korozyon

Bu tip çelikler ostenitik, yarı ostenitik veya martenzitik yapıdadır. Yarı ostenit yapı; ostenitin martenzite dönüştürülmesinden elde edilen yapının dönüşümünden elde edilir. Bazen dönüşümü kolaylaştırmak için soğuk işlem yapılır. Malzemenin güçlendirilmesi, yaşlandırma esnasında bakır ve alüminyum gibi elementlerin ilave edilmesiyle elde edilir. Sertleştirme 480–620 °C sıcaklıkta kısa bir zamanda ve imalattan sonra yapılır. Çökelmeyle sertleşen çelik tipleri krom ve nikel içeriklerinden dolayı korozyona karşı dirençlidirler (Davison ve diğ., 1992).

4. 5. 7. Paslanmaz Çeliklerde Görülen Belli Başlı Korozyon Türleri

4. 5. 7. 1. Taneler Arası Korozyon

Taneler arası korozyona duyarlılık serbest karbon (karbür yapıcıları ile bağlanmamış olan karbon miktarı) içeren çeliklere özgü bir tutumdur. Bu duyarlılık krom karbürün (genellikle $Cr_{23}C_6$) tane sınırlarında çökmesi sonucu ortaya çıkar. Belirli bir sıcaklık aralığında (500 – 800°C) gerçekleşen krom karbür çökelti oluşumu, tane içinde krom konsantrasyonunun, kritik değer olan %12'nin altına düşmesine neden olur. Krom paslanmaz çeliklerde önemli bir element olduğundan ve bu bölgelerdeki krom azlığından kaynaklanan hassasiyetten dolayı korozyon taneler arasında ilerler. Bu tutum ilk kez kaynak işlemi bağıntılı olarak gözlemlendiğinden kaynak hatası olarak adlandırılmıştır (Sahlaoui ve diğ. 2004).

Taneler arası korozyonun önlenmesi, krom karbür oluşumunun azaltılması ya da engellenmesinden geçer. Alaşımın karbon içeriğinin düşürülmesi seçeneklerden biridir. Karbon miktarının %0.08'den %0.02'ye düşürülmesiyle, krom karbürün çökme kinetiğinde 0.1'den 100 saate kadar bir artış görülmektedir (Sourmail, 2001). Bir diğer seçenek, çeliğe molibden eklenmesidir. Molibden eklemesi, çeliğin taneler arası korozyona duyarlı hale getirecek ısıtıl işlem sürecinin uzamasına neden olur (Honeycombe ve diğ.1995). Diğer bir yöntem de, oluşmuş olan krom karbürleri yüksek sıcaklıkta çözündürerek, hızlı soğutma ile tekrar oluşmalarını önlemektir. Ayrıca kromdan daha iyi karbür yapıcıları (titanyum veya niyobyum gibi) yapıya ilave etmek de oldukça yaygındır. Titanyum veya niyobyum karbon ile reaksiyona girerek kendi karbürlerini oluştururlar ve krom karbür oluşumu için gerekli olan serbest karbon miktarını düşürürler.

4. 5. 7. 2. Oyuklanma ve Aralık Korozyonu

Oyuklanma pasifleşebilen metal ve alaşımların yüzeylerinde ortamda halojen iyonların (klorür, bromür gibi) varlığında noktasal derinleşen oyuklar halinde kendini gösteren bir korozyon türüdür. Çok sık rastlanan bu korozyon türü malzemeyi bölgesel olarak delerek veya mekanik mukavemetini azaltarak kısa sürede kullanılamaz hale getirebilir. Oyuklanma türü korozyon paslanmaz çeliklerde klorlu ortamlarda çok sık rastlanan bir korozyon türüdür. Aşağıda sıralanan önlemler alınarak oyuklanma kontrol edilebilir:

- Karıştırma ve sık yıkama ile klorür iyon konsantrasyonunun bölgesel artışına fırsat verilmemeli, mümkün olduğu kadar asit çözeltilerde çalışmaktan kaçınılmalıdır.
- Daha yüksek kromlu ve molibdenli alaşımlar kullanılmalı, çalışma sıcaklığı yüksek olmamalıdır.

Ortamda klorür içeren çözeltiler varsa aktif-pasif elektrolitik hücreleri hızlanır. Yapıda molibden bulunması ise noktasal korozyon dayanımını artırır.

Aralık korozyonu ise birbirine tam yapışmayan iki yüzey arası kaynak hataları, conta aralıkları gibi ana çözeltinin dolaşımının güç olduğu dolayısıyla oksijen konsantrasyonu farklılaşmalarının meydana geldiği bölgelerde görülen bir korozyon türüdür. Bölgesel oksijen konsantrasyonu farklılaşması oksijen konsantrasyonunun düşük olduğu bölgenin anot olarak davranıp çözünmesine neden olur. Paslanmaz çeliklerde sık rastlanan bu korozyon türü yüksek molibden ve kromlu alaşımlar kullanılarak önlenilebilir.

4. 5. 7. 3. Gerilmeli Korozyon Çatlaması

Gerilmeli korozyon, statik çekme yönündeki gerilmelerin ve korozyonun birlikte etkisi sonucu malzemenin akma yükünün altındaki gerilmelerde gevrek olarak kırılmasına neden olur.

Ostenitik paslanmaz çelikler için gerilmeli korozyona yol açabilecek ortamlar klorlu ve kostik çözeltilerdir. Paslanmaz çelik grupları içerisinde gerilmeli korozyona dirençli tek grup ferritik paslanmaz çeliklerdir. Bu yüzden bu korozyon türüne karşı alınabilecek en iyi önlem ferritik paslanmaz çeliklerin kullanımıdır.

4. 5. 8. Paslanmaz Çeliklerin Çeşitli Ortamlarda Korozyon Dayanımı

4. 5. 8. 1. Atmosferik Korozyon Dayanımı

Hemen hemen bütün paslanmaz çelik türleri, hava kirliliği olmadığı sürece %100 nem altında dahi yüksek korozyon dayanımına sahiptir. Hava kirliliğinin söz konusu olmadığı ortamlar için malzeme seçimi sadece maliyet, temin edilebilirlik, mekanik özellikler, montaja uygunluk ve görünüm dikkate alınarak yapılır. Havanın kuru olduğu bölgelerde en ekonomik türler seçilebilir. Sanayi ortamında kullanılacak paslanmaz çeliklerin seçimi havadaki kirliliğe ve görünüm beklentilerine bağlıdır. Görünüm önemli ise 430 serisi tercih edilecek en düşük alaşım türü olmalıdır. 302 serisi paslanmaz çeliklerin de çoğu uygulamalar için yeterli olduğu gözlenmiştir. Sanayi ortamında en çok sorun çıkaran kirlilik, klorür ve bileşikleridir. Su ile sık sık yıkamanın mümkün olmadığı kapalı ortamlarda paslanmaz çeliklerin süratli korozyona maruz kaldıkları gözlenir. Karayolu taşıtlarında yaygın olarak tercih edilen 409, 430, 434, 301 ve 304 türleridir. 434 serisi daha çok otomobil parçalarında krom kaplamaya benzeyen görünümü ve kış aylarında uygulanan tuzlamaya karşı korozyon dayanımı sebebiyle tercih edilir. 301 türü ise iyi şekillendirilebilme ve pekleşme özelliği sonucu sağladığı yaylanma özelliğinden ötürü jant kapaklarında kullanılır. Mukavemet açısından kritik sayılmayan yapı elemanlarında tercih edilen 409 türünün en yaygın kullanım yeri ise uzun yıllardan beri katalitik konvektörler olmuştur.

4. 5. 8. 2. Deniz Suyunda Korozyon Dayanımı

Deniz suyu veya tuzlu sulu ortamlarda çalışacak paslanmaz çeliklerin seçimi, atmosferde kullanılanlara göre daha karmaşıktır. 304 ve özellikle 316 deniz suyuna en dayanıklı türlerdir. Yalnız akış hızı 1.5 m/s altındaki durgun sularda (mesela kirli liman sularında) 316 da dâhil hemen hemen bütün paslanmaz çelikler pitting korozyonuna uğrarlar. Böyle durumlar için özel geliştirilmiş ostenitik ve ferritik alaşımlardan biri tercih edilmelidir. Paslanmaz çelik ile oluşturulan galvanik çiftler, deniz suyu ortamında diğer malzemelerin süratli korozyona uğramasına yol açar. Deniz kirliliği, oksitleyici olan ortamlar hariç çoğu zaman korozyon dayanımını daha da düşürür. Kavitasyon erozyonu söz konusu olduğunda ise paslanmaz çelikler mükemmel bir performans gösterirler ve gemi pervaneleri ve deniz suyu pompalarında özellikle tercih edilirler.

4. 5. 8. 3. Kimyasal Ortamlarda Korozyon Dayanımı

Kimyasal ortamlarda paslanmaz çelikler genel korozyon, taneler arası korozyon, gerilme korozyonu çatlaması, oyuk, aralık korozyonu ve/veya galvanik korozyona maruz kalır.

Ortamdaki küçük değişimler bazen önemli performans değişikliklerine yol açabilir; bu nedenle tasarım ve malzeme seçimleri titizlikle yapılmalıdır.

Oda sıcaklığında asetik asit için ostenitik paslanmaz çelikler ideal bir seçimdir. 304 ve 347 türleri %99 derişiklikteki saf asitte kaynama sıcaklığının %50'sine kadar varan sıcaklıklarda sadece düşük bir genel korozyona maruz kalıp rahatlıkla kullanılabilirler. Bu türler asetik asitte maruz dayanımı gösterirler. Kükürt gidericilerin elek ve diğer elemanlarında 304 ve 316 türleri tercih edilir. Su soğutmalı ısı değiştiriciler söz konusu olduğunda, klorlu soğutma suyu altında ki gerilme korozyonu çatlağına karşı 430 türü kullanılır. Ortamda klorür iyonu bulunduğunda ise pitting direnci yüksek 18Cr-2Mo, 26Cr-1Mo ve 29Cr-4Mo gibi türlerine yönelmelidir.

Klorlü çözücülerden, metan, etan, etilen, propan ve benzenin halojen türevlerinin kullanıldığı kuru temizleme, metal temizleme, buharla yağ giderme ve çözücü ekstraksiyonu gibi uygulamalarda, su bulunmadığı müddetçe paslanmaz çelikler hiç problemsiz kullanılabilir. Su bulunması halinde ortamdaki metalin de varlığıyla hidroklorik asit veya organik asitler meydana gelir. Bu gibi hallerde 316 ve 317 türlerinde pitting korozyonuna dikkat edilmelidir. Kaynaklı birleştirme noktalarında ise taneler arası korozyon ortaya çıkabilir ve test yapılması önerilir.

Kromik asit yüksek oksitleme özelliğine sahip olmasına rağmen paslanmaz çeliklerde korozyona sebep olur. Paslanmaz çelikler kromik asit ile ancak düşük derişiklikte ve/veya düşük sıcaklıklarda kullanılabilirler.

Sitrik asit oksitleyici olmayan bir asittir ve paslanmaz çeliklerde asetik aside göre daha az koroziftir. Düşük sıcaklık ve derişiklikte rahatlıkla kullanılabilirler. Yüksek sıcaklık yüksek derişiklik ve klorür katılmış olması söz konusu olduğunda yüksek alaşımlı türler tercih edilmelidir.

Asetik asit ve formik asit gibi düşük moleküler ağırlıklı yağ asitlerinin bulunduğu ortamlarda 18–8 Cr-Ni paslanmazlar kullanılır. 175°C üstü sıcaklıklarda pitting ve genel korozyonun önlenbilmesi için 316 türü paslanmaz çeliklerin kullanımı gerekir. Yüksek basınçlı yağ asidi buharı söz konusu olduğunda da yine 316 serisi paslanmaz çelikler kullanılır. Yağ asidi ve klorür karışımlarında gerilme korozyonu çatlağı hesaba katılmalıdır. Paslanmaz çelikler gübre makine ve teçhizatında pek çok yerde kullanılır. Kuru gübrelerde 409 tipi, sıvı gübrelere ise 304 tipi tercih edilir.

Paslanmaz çeliklerin formik asitteki davranışı asetik asitteki çok benzer. Çoğu zaman korozyon biraz daha hızlıdır. Formikasit içinde bulunabilen katışkılardan form-aldehit, pitting korozyonuna yol açar. Oda sıcaklığında ostenitik çeliklerin tamamı formik aside dirençlidir. Yüksek sıcaklık uygulamalarında yüksek kromlu molibdenli ferritik tipler kullanılmaktadır.

Paslanmaz çelikler korozyon açısından genel olarak hidroklorik aside dirençli bir malzeme değildir ve tavsiye edilmezler. Ancak iyi havalandırılan seyreltik çözeltilerde 316, 317 ve 329 türü alaşımlar kullanılabilir.

Hidroflorik asit söz konusu olduğunda çok düşük sıcaklık ve derişiklik durumları haricinde paslanmaz çelikler çok süratli korozyona maruz kalırlar ve dolayısıyla sınırlı bir kullanım alanı vardır.

Paslanmaz çeliklerin sanayide ilk uygulamalarından biri 430 ve 304 tipleri ile nitrik asit ortamında kullanılmasıdır. Günümüzdeki uygulamalarda 304L ve 347 tipleri kaynaklı montaj sonrasında ısıtıl işleme gerek kalmaksızın yeterli korozyon dayanımını sağlamaktadır. Oda sıcaklığında %94 derişikliğe kadar nitrik asit paslanmaz çelikte önemli bir korozyona yol açmazken, derişiklik sıcaklığında ve basıncın arttığı hallerde korozyonun süratle arttığı gözlenmiştir. Nitrik asit içindeki paslanmaz çelikler, havalandırma, akışkanın hızı ve hareketlerinden fazla etkilenmezler; çünkü nitrik asidin kendisi oksitleyicidir, pasifliği destekler ve dolayısıyla oyuk veya gerileme korozyonu çatlağına yol açmaz. Yalnız %0,03 den fazla karbon içeren, iyi bir ısıtıl işlem ile stabilize olmamış malzemede taneler arası korozyon ortaya çıkabilir.

Sülfür ürünlerinin bulunduğu ortamlarda karbon çelikleri ve paslanmaz çelikler yüksek korozyon dayanımı gösterirler. Genellikle 300 serisi paslanmaz çeliklerin kullanıldığı bu ortamlarda paslanmaz çeliklerin korozyon hızı, sıcaklığa ve havadaki sülfürik asit buharı oranına bağlıdır. 8–8 Cr-Ni türünde paslanmaz çelikler, sülfürik asitten doğabilecek korozyona karşı değişik sıcaklık ve derişiklik aralıklarında dayanıklıdır. %80–100 derişiklikteki sülfürik asitler oda sıcaklığındaki kaplarda güvenle saklanabilirler. %1–5 derişiklikte ise 316 ve özellikle 65°C’ de daha yüksek oranda molibdenli 317 serisi kullanılabilir. Saf alaşımlardaki bu karmaşık durum ortama nitrit asit ve bakır tuzları gibi maddelerin eklenmesiyle daha da karmaşık bir hal almaktadır. Söz konusu maddeler paslanmaz çeliklerin kullanım alanını genişletirler. Hidrojen gibi indirgeyici elemanlar ise korozyon dayanımını düşürürler. Sülfürik asit ortamına nitrik asit, kromik asit ve sodyum bikromat gibi oksitleyici elemanlar az miktarlarda eklendiğinde özellikle 304 ve 316 tipi paslanmaz çeliklerin güvenle kullanılabilecekleri gözlenmiştir.

Kükürt dioksit ve sülfürik asit ortamında molibden katkılı alaşımların korozyon açısından daha dayanıklı oldukları gözlenmiştir. Bu ortamlarda aralık korozyonunun önlenmesi için yüzeyler temiz ve pürüzsüz tutulmalı, parçacık yapışması önlenmeli, 90° lik dirsekler ve bindirme kaynaklarından sakınılmalıdır. Sülfürik asit ortamında kullanılacak paslanmaz çeliklerde, pekleşme sonucu sertlik değeri 96 HRB’nin üstüne çıktığında gerilme korozyonu çatlağı tehlikesi ortaya çıkabilir ve bu durum ancak ısıtıl işlem ile önenebilir. Sülfürik asit

yanında havaya asılı parçacıkların bulunduğu ortamlarda pompa kanatçıklarında süratli bir erozyon korozyonu gözlenmiştir. Bu uygulamalarda 316 gibi alaşımlar en uzun kullanım ömrünü sağlamaktadır.

4. 6. Şeker Fabrikalarında Korozyon

Endüstriyel fabrikalarda özellikle kimya ve gıda sanayinde korozyondan dolayı kayıplar oldukça yüksektir. Şeker fabrikalarında bu bakımdan değerlendirildiğinde korozyonun önemi ortaya çıkmaktadır. Korozyondan dolayı meydana gelen kayıplar fabrikanın kapasitesinin düşmesine, iş güvenliğinin azalmasına sebep olmaktadır. Korozyon, özellikle erozyona neden olan mekanik faktörler, sürtünme ve kavitasyon etkileri ile birleşince büyük önem kazanmaktadır.

Bir şeker fabrikası işletmesinin korozyon ve aşınmadan dolayı direkt ve indirekt olarak güvenilirliğini yitirmesi bazı önlemler alınarak kontrol edilebilir. Örneğin;

- Malzemelerin, dikkatli bir planlama ile korozyon ve yıpranmaya karşı karakteristik ve kullanım yerleri bilinerek seçilmesi.
- pH, akış hızı, sıcaklık gibi proses parametrelerinde değişimlerden kaçınarak koşulların kontrol altına alınması.
- Kampanyalar arası revizyonla kalınmaması, hiç değilse kritik kısımlar için ön programlı bakım servisi yapılması,
- Boya reçine uygulaması, çeşitli yapıda kaplama maddesi kullanılması, metalik sprey sistemleri kaynak ve diğer metotlar gibi koruyucu önlemlerin alınması.

Korozyon etkisinden kurtulabilmek için mümkün olduğu kadar heterojenlikten kaçınmak, gerekir. Hatta metallerin fiziksel teması, ısıtmada düzensizlikler, mekanik baskının düzensiz dağılımı, reaktörlerin farklı yerlerindeki sıvıların kompozisyonlarındaki, farklılıkların tamamı işletmenin korozyona uğramasına neden olur (Erdem, 2002).

Şeker fabrikalarının ünite ve tesislerinde korozyon olayının en çok görüldüğü yerlerden birisi de difüzör kuleleridir. Difüzör kuleleri esas olarak şeker pancarı kıyımından ham şerbetin üretildiği yerdir. Bıçaklarda kıyılan pancar, difüzöre gitmeden önce haşlama teknesine girer. Haşlama teknesinde kıyımlar, kule difüzöründen gelen % 300–350 oranındaki 68 – 72°C sıcaklığındaki ham şerbetle karıştırılarak haşlanır. Burada şerbetin bir bölümü çekilerek arıtılmak üzere şerbet arıtım istasyonuna gönderilirken kalan kısım kıyımla birlikte difüzyon kulesinin altından kuleye verilir. Difüzörde kıyımlar ortada dönen mile bağlı kanatlar yardımıyla yukarı doğru çıkarken, yukarıdan küspe çıkış helezonunun altından verilen difüzyon besleme suyu ile temas eder. Ters akım prensibine göre su, aşağı doğru inerken kıyımın şekerini alır, kıyım yukarı doğru hareket ederken şekerini kaybeder. Kıyım yukarıya ulaştığında küspe çıkış helezonlarıyla dışarı alınarak preslerden geçirildikten sonra küspe olarak değerlendirilir. Kule difüzyon sistemi Şekil 4.4 ‘te gösterilmiştir (Karavaizoğlu ve diğ. 1998).

Şekil 4. 5. Kule Difüzyon Sistemi

Difüzyonda amaç, pancar kıyımından şekeri çözeltiye almaktır. Bununla beraber, aynı zamanda bazı iyonlar, pektinler, asitler gibi safsızlıklarda çözeltiye geçer. Sonuç olarak difüzörde elektrolit olarak davranan bir sıvı faz (şerbet) oluşur. Bu elektrolitin korozyon özellikleri yüksek sıcaklık ($>70^{\circ}\text{C}$) ve düşük pH ile artar.

Difüzörlerin sürekli kullanılması sonucu ortaya çıkan bakteri faaliyetleri, şerbette asit oluşumuna ve pH' ın düşmesine neden olur. Normal pancarlarda ekstrakte edilen ham şerbet 6,2–6,4 pH değerine sahiptir. Bu değer difüzyon uzunluğunun tamamında düşmemesi gerekir. Kule ortası musluğundan alınan şerbetin pH değeri 6.0' dan aşağı düşerse başlayan enfeksiyon kulenin büyüklüğüne bağlı olarak 25-50 lt formalin kullanılarak difüzyon kule pH göstergesi takip edilerek damlalar halinde verilen H_2SO_4 ile kontrol altına alınmaktadır. Ancak düşen pH' ı dengelemek için difüzöre boşaltılan formalin ve H_2SO_4 , korozyonu hızlandırmaktadır.

Normal difüzyon müddet ve dolgusu, uygun sıcaklıklar (65–70°C) ve sağlam pancarlar ile çalışıldığı takdirde formalin ve H_2SO_4 , vermeyi gerektiren pH düşmeleri gerçekleşmez. Bakteri faaliyetini önlemenin bir diğer yolu da haşlama teknesini normal seviyede dolu çalıştırarak tesise hava girişini engellemektir. Çünkü bakteriler genellikle yüksek sıcaklıklara dayansalar da havasız ortamlarda yaşayamazlar. Formalin ve H_2SO_4 sürekli kullanılırsa bakterilerin kazanacağı direnç ile bu yöntemlerinde etkisiz kalacağı unutulmamalıdır. Bu yüzden formalin ve H_2SO_4 ' ün verilışı birkaç saat ara ile ve ani şoklar şeklinde yapılmalıdır.

Pancarla difüzöre giren kum parçaları difüzör aksamında aşınmalara neden olur. Şerbetteki çözünmüş halde bulunan oksijen de korozyon reaksiyonlarının artmasını sağlar (Rosenqist ve diğ. 1989).

Şeker sanayinde korozyon ve yıpranmanın önlenmesi amacı ile bu sanayinin ünite ve tesislerindeki çoğu malzemenin korozyona dayanıklılığı ispatlanmış malzemeler ile dönüşümünün yapılması gereklidir. Ancak ekonomik sebeplerden ötürü bu hemen olabilecek gibi görünmemektedir. Çünkü bu fabrikalar için, korozyon açısından risk taşıyan malzemeleri, uygun paslanmaz çelik malzemeler ile revize etmenin oldukça büyük maliyetleri bulunmaktadır. Genellikle bu tesislerde daha ekonomik olan geçici yöntemler kullanılarak korozyonla mücadele edilmektedir. Ünite ve tesislerinin birçoğunda uygulanan korozyondan korunma yöntemlerinden birisi de koruyucu metal yüzey kaplamalardır. Koruyucu tabaka ya da metalin amacı iki reaktif malzemeyi yani şeker çözeltisi ve metal yüzeylerini birbirinden ayırmaktır. Bu yöntem kule difüzörlerinde sıkça kullanılmaktadır. Yöntem St 37 çeliğinden imal edilmiş ünite parçalarının üzerine korozyona daha dayanıklı olan metallerin kaplanması (giydirilmesi) şeklinde gerçekleştirilmektedir. Kullanılan kaplama metali genellikle paslanmaz çelik grubudur. Ama bu uygulamanın etkili olabilmesi için kullanılacak kaplama malzemesinin kaplanacak metal yüzeyine iyice yapışması, ortam çözeltisine göre seçilmesi, kaynaklı birleştirmelerin iyi yapılması ve uygulanabilirliğinin kolay olması gerekir.

5. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Şerbet ekstraksiyonunda difüzörlerdeki korozyonun ana nedeni düşük pH değerleridir. Bunun nedeni ise difüzyon besleme suyunun asitlendirilmesi ve difüzyonda bakteriyel kaynaklı asit oluşumudur (Erdem, 2002).

Korozyona karşı direncinin düşük olması nedeni ile St 37 çeliğinden yapılan pancar kıyım makinelerinin 80 günlük çalışma süresince yüzeyinde, 5–7 mm arası ağırlık kaybı meydana gelirken, paslanmaz çelikten yapılan kıyım makineleri 150 günlük çalışma süresi sonunda ancak 1.0–1.5 mm’lik bir aşınma göstermiştir (Tsyukalo ve diğ.1975).

Elektrolitik boronlama ile pancar bıçaklarının aşınmaya karşı direncinin artırılması çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalarda katotta ergimiş boraksla oluşan toplam kalınlığı yaklaşık 100 µm olan Fe₂B ve FeB tabakaları oluşturulmuştur. Oluşan bu tabakaların sertliği yaklaşık 1500–1900 kg/cm² dolayındadır. Bu yöntem ile St 37 çeliğindeki aşınma, 20 kat azalmıştır (Spridinova ve diğ.1976).

Vaccari ve arkadaşları, küspe kurutma yardımcı maddesi, olarak difüzyona kalsiyum ve amonyum bisülfid (sterilizasyon amacı ile) verilmesi ile ilgili olarak iki kampanya süresince yapılan denemelerde difüzyonlar da dikkate değer bir korozyon olayına rastlanmamıştır. İncelenen difüzörler RT (yatay difüzör), BMA (kule difüzörü) ve DDS (tekne difüzörü) difüzörleridir. Difüzörlerdeki erozyonun nedeni pancar oyuklarında yıkama ile uzaklaştırılamayan toprak ve kumdur. Erozyonda difüzörün tipi ve dizaynı önemlidir. Erozyon RT difüzörlerinde ana sorundur. Pancarın iyi yıkanmasına bağlı olarak süzgeçlerin ömrü 5–7 kampanya süresi arasındadır (Vaccari ve diğ.1986).

Genie'ye göre difüzörün kuyruk kısmında paslanmaz çelik kullanımı; çeşitli boyalar ve kaplamalar önerilmesine rağmen korozyona karşı alınan tek önlemdir. Boya ve kaplamalar kampanyalar arası (dinlenme) korozyonu önlemek için faydalıdır. Fakat kampanya sırasında (pancar işleme zamanı) çok çabuk bozulur ve parçalanırlar (Genie, 1982).

Tishchenko'ya göre KDA-25-59 kule difüzör milinin alt kısmı, boş milin iç kısmına ve dış kısmına paslanmaz çelik paletli kanatların kaynak yapılmasıyla difüzyon şerbetinin koroziif özelliğinden korunabilir. Paslanmaz çelik paletler, DDS difüzör millerinin sonundaki yıpranmaların önüne geçmek için de önerilmektedir (Tishchenko, 1984).

Yavor, kule difüzörün çeşitli yerlerine koyduğu dört çelik malzemenin (St 37, 13 Cr, 17 Cr, ve 18 Cr-Ni paslanmaz çelik) korozyon davranışını incelemiştir. Kule difüzörlerinde (KDA-25-29) ve eğimli difüzörlerde (AI-PDS-20) aşınma oranını tespit etmek için dört değişik çelik numuneleri difüzörün çeşitli yerlerine yerleştirilmiş ve paslanmaz çeliklerin aşınmaya karşı oldukça büyük direnç gösterdikleri görülmüştür. Aşınma oranı düşük alaşımlı çelik, 13Cr, 17 Cr ve 18Cr-8Ni çeliğe doğru azalma göstermektedir (Yavor ve diğ.1980).

Difüzörlerde korozyon ve parçalanmalar çeşitli kaplamalar ile önlenabilir. Etkili bir koruma için kaplamalardaki özellikler ve uygun uygulama teknolojisi Romenskii tarafından belirtilmiştir. Temizlemeden (kampanya sonu) sonra difüzörün metal yüzeyi alüminyum ile kaplanır. Alüminyumun kendisi pasif oksit tabakası ile korunurken sisteme elektrokimyasal (katodik) koruma sağlar. Bu tip metal kaplama için gaz alevi yerine elektrik arkı tercih edilir. Diğer bir kaplama ise çok az dolgu maddesi (pul şeklinde alüminyum tozu veya iğne şeklinde talk) içeren yapışkan epoksi reçinelerdir. Fırçalanan bu tabaka metalik yüzeydeki oyuklar doldurularak üstüne kaplanacak diğer tabaka (PTFE-epoksi vernik) için kuvvetli bir afinite gösterir. Bir önceki tabakanın kurumasından sonra (oda sıcaklığında 8 saat) vernik içinde sertleştirici içeren butil asetat çözeltisi ile birlikte boya püskürtücüsü kullanılarak püskürtülür. Son işlem ise 90 °C de 3 saat sıcak hava ile muamele etmektir. Romenskii tarafından bu konuda önerilen diğer bir yöntem ise metelize-polimerik kaplama teknolojisidir (Romenski, 1978).

Pompa fanlarının malzemesinde önemli korozyon ve aşınma problemleri Tochkovoi tarafından incelenmiştir. Dökme demirden yapılan pompa fanları difüzyon şerbetinde 6-7 hafta veya asidik küspe prese suyunda 10- 15 gün kullanılabilir olmaktadır ve oyuklar nedeni ile ilk ağırlığının (54 kg) yarısına kadar düşebilirler. Krom kaplamadan sonra ağırlık kaybı difüzyon şerbetinde 82 günlük kampanya süresinde 45 g a düşmüştür (Tochkovoi, 1976).

Difüzör ünitesinde farklı derişimdeki şerbet çözeltilerinin difüzör malzemesi üzerindeki etkisinin incelenmesi için üst bölme şerbeti alt bölme şerbeti ve ham şerbet ortamlarına düşük alaşımlı St 37, AISI 304, AISI 304 L X2CR NiMoN225 alaşım,GX7CrNiMoNb18.0 alaşım alüminyum ve pirinç malzemelerinin açık potansiyellerinin ölçülmesi, akım potansiyel

eğrilerinin elde edilmesi ve korozyon hızlarının belirlenmesi çalışmaları yapılmıştır. Yapılan ölçümler sonucunda ham şerbet dışında bütün ortamların korozif olduğu görülmüştür. AISI 304, AISI 304 L çelikleri ile hazırlanan elektrotlar aynı cihazla bütün şerbet ortamlarında 0.01–0.02 mm/yıl gibi düşük bir korozyon hızı göstermiştir. Çalışma sonucunda kule difüzörlerinin delinme nedeni ile 8 yılda bir bazı kısımlarının değiştirmesi gerekileceği kanaatine varılmıştır. Delinmenin daha çok pH'ın daha düşük olduğu üst bölme kısmında olduğu düşünülmektedir (Karavaizoğlu ve diğ. 1998).

Rosenqvist ve arkadaşları tarafından anotlar difüzör boyunca yerleştirilmiştir. Kâğıt sanayinde küspenin rengini açmada kullanılan döner vakum filtrelelere uygulanan katodik koruma yöntemi, DDS difüzörlerindeki dönen helezonları koruma için de başarı ile uygulanmıştır. Kullanılan anot tipi, elektro kimyasal ve mekanik hasarlara karşı dayanıklı olan titanyumla kaplanmış metal oksit karışımı bir anot olan LIDA(r)dır. Difüzyon yüzeyinin potansiyellerini ölçmek için sabit referans elektrotlar kullanılmış ve güç kaynağı otomatik olarak kontrol edilmiştir. Difüzyon aparatlarında korozyon problemlerinin çözümü için katodik koruma yönteminin ilgi çekici ve ekonomik olduğu görülmüştür. Katodik koruma yöntemi ile korozyon koruması minimum % 75 ve maksimum % 98 olmuştur. Gelecek kampanya için % 90' lık bir koruma beklenmektedir (Rosenqvist ve Diğ.1989).

Faaborg ve arkadaşları yaptıkları çalışmalarda Proses koşullarına bakıldığında, difüzyonda 4.9–5.4 pH değeri optimum kabul edilmektedir. Bunun ise karbon çeliğinden yapılmış difüzörlerde (özellikle eski olanlarda) korozyonu önemli ölçüde arttırdığını açıklamaktadırlar. Ayrıca difüzöre giren kum taneciklerinin de daha yumuşak olan koruyucu alüminyum oksit tabakasını uzaklaştırması ile korozyon reaksiyonlarının arttıracağını anlatmaktadırlar. Diğer yandan birçok fabrikanın düşük pH da çalışarak daha iyi sıkılabilir küspe ve şerbet kalitesi için alüminyum kaplamayı feda ettiğini söylemektedirler. Sonuç olarak ta kurban anot görevini gören alüminyum kaplamanın ömrü uzun olmamış ve yenilenmesi ve tamir edilmesi ihtiyacı ortaya çıkmıştır (Faaborg, 1974).

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6. 1. Deneyde Kullanılan Malzemeler

Bu deneysel çalışmada kullanılan malzemeler St 37 düşük alaşımlı çelik ve östenitik paslanmaz çelik grubunun AISI 304, AISI 304L ve AISI 316 türleri olup, malzemeler satın alma yolu ile elde edilmişlerdir. Deney numuneleri bu malzemelerden 10x10x2 mm boylarında kesilerek hazırlanmıştır. Numunelerin kimyasal analizleri Tablo 6.1' de verilmiştir.

Tablo 6. 1. Numunelerin kimyasal analizleri

Num. No	Alaş. Elem.	Kimyasal Bileşim(%ağırlık)													
		C	Si	Mn	P	S	Mg	Cr	Ni	Mo	Cu	Al	V	W	Fe
1	St 37	0.217	0.001	0.426	0.026	0.022	0.0001	0.064	0.001	0.001	0.001	0.017	0.001	0.003	99.2199
2	304	0.093	0.518	1.399	0.032	0.003	0.001	18.3	8.03	0.291	0.403	0.008	0.059	0.01	70.853
3	304 L	0.034	0.555	1.384	0.032	0.001	0.001	18.52	7.78	0.311	0.372	0.003	0.53	0.01	70.467
4	316	0.035	0.477	1.054	0.036	0.008	0.001	16.95	10.36	2.418	0.382	0.007	0.043	0.01	68.219

1 nolu numune şeker fabrikalarında difüzör kulelerinin imalatında kullanılan ve korozyondan korunmak için üzerine östenitik paslanmaz çeliklerin giydirildiği (kaynak edildiği) esas malzemedir. 2 nolu numune korozyona karşı dayanıklı ve ucuz olması açısından koruyucu kaplama elemanı olarak en çok kullanılan östenitik paslanmaz çeliktir. 3 ve 4 nolu numuneler ise koroziif ortamlarda 2 nolu numuneye göre daha dirençli olduğu kabul gören ama pahalı olmasından ötürü şeker fabrikalarında pek fazla kullanılmayan ve bu fabrikaların koroziif ortamındaki davranışlarının merak edilmesinden dolayı bu tez çalışmasında denenen malzemedir.

Metalografik çalışmalar öncesinde numuneler; homojenleştirilmiş ve işlemsiz olarak sınıflandırılmıştır. Bu numunelerden homojenleştirilmiş olanlar 10 dak. boyunca 1100 °C 'de ısıtılma işlemine tabi tutulmuş ve suda soğutulmuştur. İşlemsiz numuneler ise ısıtılma işlemine tabi tutulmamış, yani üretim şartlarında olan numunelerdir.

6. 2. Metalografik Çalışmalar ve İnceleme Sonuçları

Her iki grup numuneler deney öncesi ve deney sonrası mikro yapılarını ve oluşan fazları belirlemek için; epoksi reçineye gömülmüş, 60–1200 meshlik zımpara kâğıdına tutularak parlatılmış ve 1 µm 'lik elmas pastaya tutulmuştur ve sonrasında da saf alkol ile yıkanmıştır. Daha sonra sadece korozyon deney öncesi numuneleri dağlamaya tabi tutulmuştur. Yapılan dağlama yöntemlerinde st 37 düşük alaşımlı çelik numuneleri % 2'lik Nital çözeltisine daldırılıp (% 2 Nitrik asit HNO₃ % 98 methanol CH₃OH) 20sn süresince bekletilmiş paslanmaz çelik numuneler ise 50 ml HNO₃ ile 50 ml saf su karışım çözeltisine 20sn süresince 12 voltluk elektrolitik dağlama yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Korozyon Deney Numuneleri, dağlama reaktifinin etkisi göz önünde bulundurularak, korozyonun sağlıklı tespitini olumsuz etkiler düşüncesiyle dağlanmamıştır.

6. 3. SEM -Taramalı Elektron Mikroskobu Görüntüleri

Yüzeyleri uygun dağlama reaktifi ve yöntemi ile dağlanan her iki grup deney numuneleri LEO 440 marka elektron mikroskobu ile taramaya tabi tutularak mikro yapıdaki fazlar, matris ve karbür dağılımları incelenerek çeşitli büyütmelerde fotoğrafları çekilmiştir.

6. 4. EDS - Noktasal Analiz Çalışmaları

SEM mikroskobunun bir ünitesini oluşturan EDS cihazında numunelerin mikro yapısında görülen fazların, matrisin, karbürlerin ve tanımlayamayan daha birçok yapının noktasal analizleri yapılarak pikleri grafik şeklinde çıktı olarak alınmıştır.

6. 5. X- ışınları Difraksiyonu Çalışmaları

Deney öncesi numunelerdeki karbürlerin ve fazların cinsi Bruker AXSD8 Advance marka X-Ray Diffraction cihazında pikler vasıtası ile tespit edilerek belirlenmiş ve x-ray grafikleri çizilmiştir.

Kullanılan X-Ray Difrraction cihazına ait açıklamalar :

Cu tüp / Dalgaboyu 1.5406 Angstrom

40kV, 40 mA

*Z: Birim hücredeki molekül sayısı

6. 6. Sertlik Deneyleri

Deney numunelerinden sadece korozyon deneyi öncesi numuneleri mikrosertlik ve yüzey sertlik deneylerine tabi tutulmuştur. Numunelerin yüzey sertliğinde; Rockwell B (100 kgf-1/16" bilya) özelliklerinde Trade Mark Hardness Tester Rockwell Type marka yüzey sertlik cihazı kullanılmış olup, elde edilen sertlik değeri her numune için alınan üç ölçümün ortalamasıdır. Daha sonra bu değerler sertlik dönüşüm tablosundan Brinel sertlik cinsine dönüştürülmüştür. Numunelerdeki farklı fazların ve matrislerin mikrosertlik ölçümleri için 200 gr' lık yük kullanılmıştır. Elde edilen sertlik değeri her numune için yine alınan üç ölçümün ortalamasıdır. Ölçümler Buehler Micromet 2001 model mikro sertlik test cihazı ile yapılmıştır. Yükleme süresi 15 sn' dir.

6.7. Korozyon Deneyleri

Korozyon deneyleri korozyon kupon (numune) izleme testi kullanarak, ağırlık kaybı yöntemi ile yapılmıştır. Bu yöntem özellikle difüzörde tek düze bir korozyonun olması ve çukurcuk korozyonun olmaması durumunda korozyonun önlenmesindeki başarının izlenmesi açısından uygundur. Korozyon izleme teknolojisi fabrika ve makinelerin ömrünü ve değerini belirleyen maliyetin en aza indirilmesine yöneliktir. Korozyonun kupon izlenmesi, bir materyalin bulunduğu ortamdaki korozyona uğrayabilme ölçüsünün belirlenmesi için kullanılan yaygın bir metottur. Bu metot, bir malzemenin (kuponun) bir ortam içerisinde belirli bir sürede izlenmesi ve ağırlık kaybının ölçülmesidir. Kuponlar disk, çubuk plaka veya diğer uygun şekillerde olabilir (Rosenqist ve Diğ.1989).

Kupon izleme testinin sağladığı avantajları şunlardır:

- Görsel olarak izah dilmesi,
- Birikintilerin gözlemlenmesi ve analiz edilebilmesi,
- Ağırlık kaybının belirlenmesi,
- Lokal korozyonun derecesinin gözlenebilmesi ve ölçülebilmesidir (Cormon Ltd, 1987).

Örnekler testten önce ve sonra temizlenerek tartılır. Test sonunda temizleme standart yöntemine göre yapılır. Korozyon hızı aşağıdaki bağıntıdan hareketle hesaplanmıştır:

$$mpy = \frac{K.W}{A.T.D}$$

mpy = Korozyon hızı (mm/yıl)

K = Sabit katsayı = 534

T = Test süresi(h,saat)

W = Test süresi sonunda ağırlık kaybı (gr) (ilk ağırlık-son ağırlık)

D = Numune yoğunluğu (g/cm³)

A = Korozyona maruz kalan alan (inc²)

ve 1 mdd = 5.4 mpy

(mpy)= yılda milimetre olarak (mm/yıl)

(mdd = günde desimetrekarede miligram olarak (mg/dm². gün)

Deneylerde kullanılan numuneler alaşım oldukları için her bir numunenin yoğunluğu aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır:

$$P = \sum f_i \rho_i$$

P = Kompoziti oluşturan alaşımın yoğunluğu

ρ_i = Elementin yoğunluğu

f_i = Her elementin yüzde oranını göstermektedir (Eren, 2005).

Buna göre hesaplanan yoğunluklar Tablo 6.2' de gösterildiği şekildedir.

Tablo 6. 2. Numune yoğunlukları

Num. no	Alaşım elementi	Numunelerin yoğunluğu (gr/cm ³)
1	St 37	7.84217498
2	304	7.7898004
3	304L	7.77926
4	316	7.8794191

Korozyon ortamını oluşturmak için gerekli olan sıvı çözelti (şerbet) Erzincan şeker fabrikasının kule difüzörünün üst bölmesinden alınmıştır. Kule difüzörünün üst bölmesinden alınmasının sebebi pH dengesi için kuleye boşaltılan asitin girdiği ve en yoğun olduğu yerin burası olmasıdır. Kampanya revizyon (şeker üretiminin bitip, fabrika bakım ve onarımının yapıldığı zaman) çalışmaları sırasında difüzör içerisinde korozyonun en yoğun olduğu yerin üst bölme olduğu fabrika yetkililerinin açıklamaları ve literatür çalışmaları sonuçları da buradan çözelti almamızın doğru olacağını göstermiştir.

Kule difüzörünün üst bölme musluğundan alınan şerbetin özellikleri, Erzincan Şeker Fabrikası'nın laboratuvarında test edilmiş analiz sonuçları aşağıdaki gibidir:

SICAKLIK= 70 °C

POLAR ŞEKER (ICUMSA metoduna göre bir şekerli çözeltinin sakarimetrede okunan polarizasyon değerine polar şeker denir) = 0.43

ARILIK (Şeker çözeltisinin ICUMSA metoduna göre sakarimetrede okunan polar şeker miktarının (% P) refraktometre de okunan Briks (% S) miktarına oranının 100 ile çarpılarak bulunan değere o çözeltinin arılığı denir. Q ile gösterilir.) = 0.72

İLETKENLİK (Saf olmayan bir şekerli çözeltinin elektrik iletkenliği çözeltide bulunan iyonik tuzların konsantrasyon ölçüsü olarak bilinir.)= 14.23

°BX (Şeker sanayinde refraktometrik kuru maddeye Briks denir. Saf sakaroz çözeltisindeki sakaroz miktarının bir ölçüsüdür.)= 0.6

PH= 5.9

Korozyon deney numuneleri, ilk ağırlıkları kaydedildikten sonra içerisinde kule difüzörünün üst bölme şerbetinden alınan sıvının bulunduğu beherlerin içerisine yerleştirildiği dijital etüv (sıcaklık kontrolü yapılabilen bir çeşit fırın. MARKASI: CARBOLİTE TİPİ: PN 120) içerisinde 2, 4, 6 ve 8 saat sürelerince korozyona maruz bırakılmıştır. Etüv sıcaklığı 70 °C de sabitlenmiştir. Ağırlık tespitleri 10^{-4} mg hassasiyetindeki: XB220A PRECİSA marka terazide tartılarak yapılmıştır. Planlanmış saatlerin (2, 4, 6 ve 8) sonunda ortamdan çıkarılan numuneler saf su ile yıkanmış ve desikatörde yaklaşık 1 saat bekletildikten sonra son ağırlıkları ölçülmüştür. Bütün bu çalışmalar Erzincan Şeker Fabrikası laboratuvarında yapılmıştır.

Yapılan bu işlemlerden sonra ağırlık kayıpları tespit edilmiş, alan hesaplamaları ve en son korozyon hızları hesaplanmıştır. Korozyon hızları sonucuna göre korozyon hız grafikleri çıkarılmıştır.

6. 8. Korozyon Deney Öncesi Numuneleri Metalografik İnceleme Sonuçları

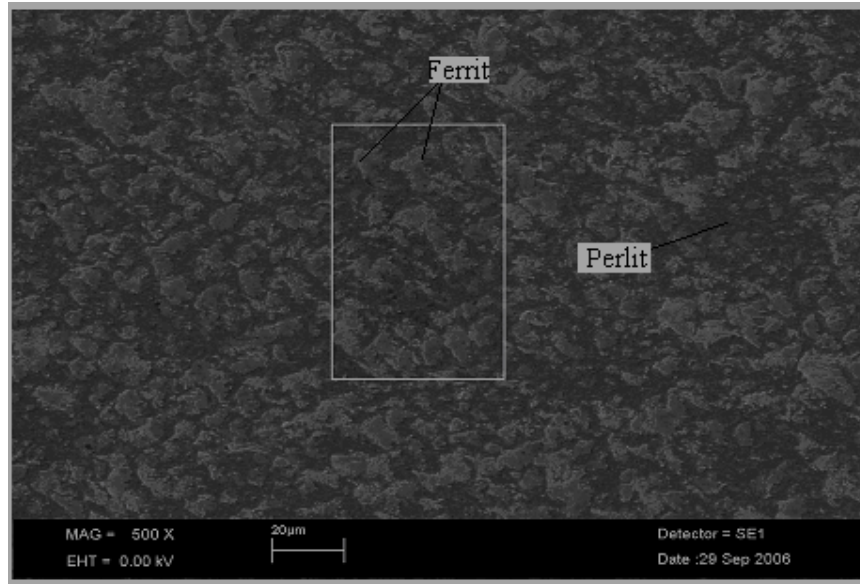
6. 8. 1. SEM-EDX ve X-Işınları Difraksiyonu Çalışmaları

Korozyon deney öncesi numuneleri metalografik inceleme sonuçlarına, ait EDX noktasal analiz verileri Tablo 6,3'de gösterilmiştir.

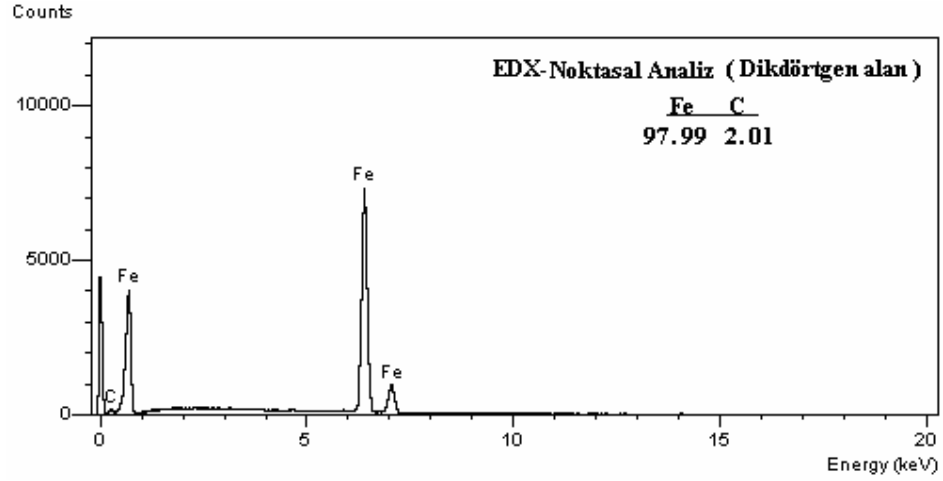
Tablo 6. 3. Korozyon deney öncesi numuneleri EDX noktasal analiz verileri

Araştırma miktarı (% Ağ)		Numune no			
		1	2	3	4
Fe	İşlemsiz	St-37	304	304-L	316
		97.99	70.21	69.13	65.74

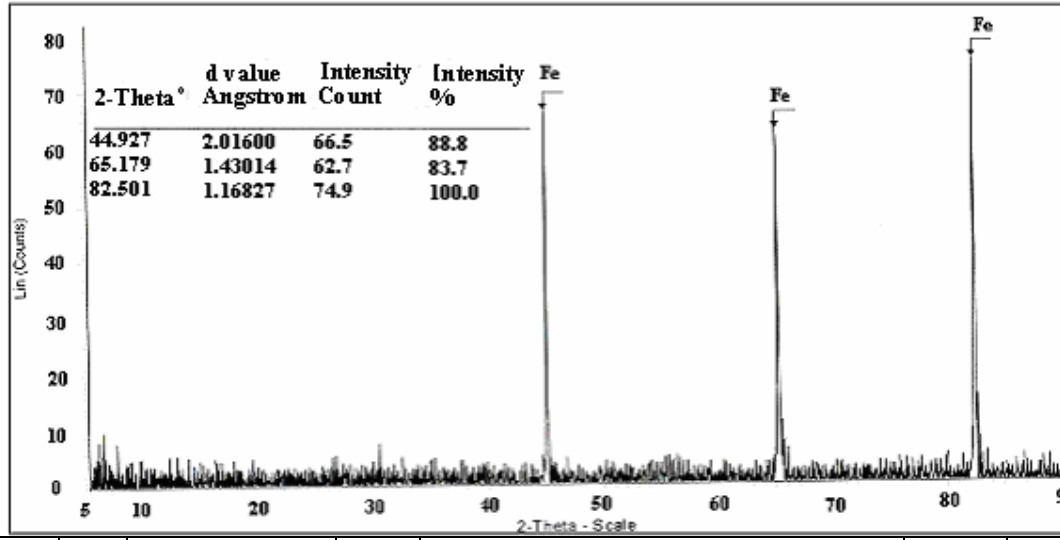
	Hom.	98.34	69.28	70.15	66.80
C	İşlemsiz	2.01	-	1.62	1.54
	Hom.	1.66	1.41	0.37	1.27
Cr	İşlemsiz	-	18.74	19.65	17.74
	Hom.	-	18.69	19.78	17.71
Ni	İşlemsiz	-	8.44	7.59	10.59
	Hom.	-	8.37	7.67	9.72
Si	İşlemsiz	-	0.53	0.58	0.43
	Hom.	-	0.41	0.45	0.52
Mo	İşlemsiz	-	-	-	2.48
	Hom.	-	-	-	2.51
Mn	İşlemsiz	-	2.09	1.73	1.48
	Hom.	-	1.85	1.59	1.47



a



b

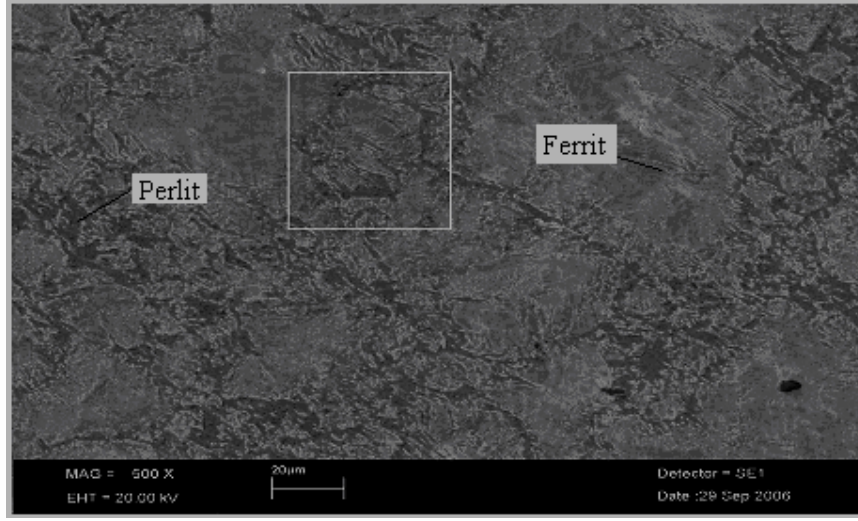


Bileşğin Numarası	PDF No	Bileşğin		Kristal Sistemi	Birim hücre Parametreleri						Bravais Örgüsü	Z*
		İsmi	Kapalı Formül		Birim hücre Parametreleri							
					a	b	c	alfa	beta	gama		
1	87-0722	Iron	Fe	Cubic	2.8608	2.8608	2.8608	90	90	90	Body-centred	2

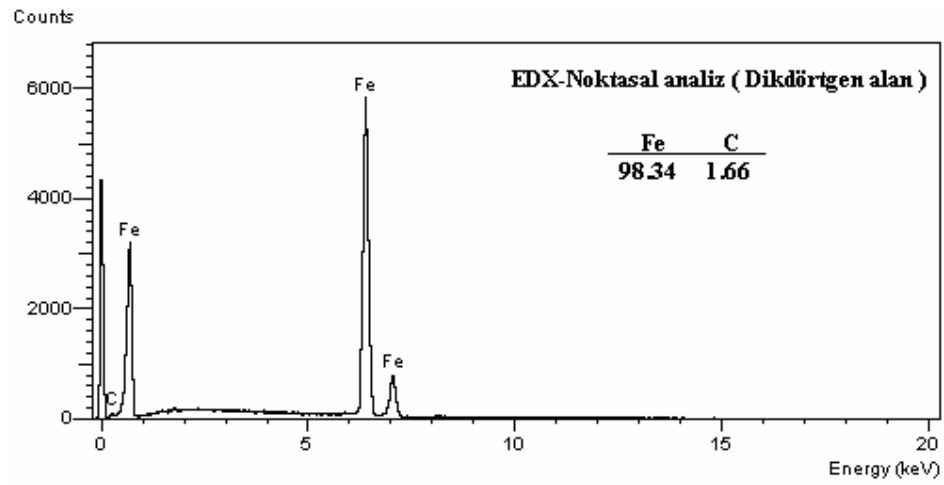
c

Şekil 6. 1. 1 nolu işlemsiz St 37 düşük alaşımlı çelik numunenin a-SEM fotoğrafı (500X), b-EDX analizi, c- X-ışınları difraksiyonu

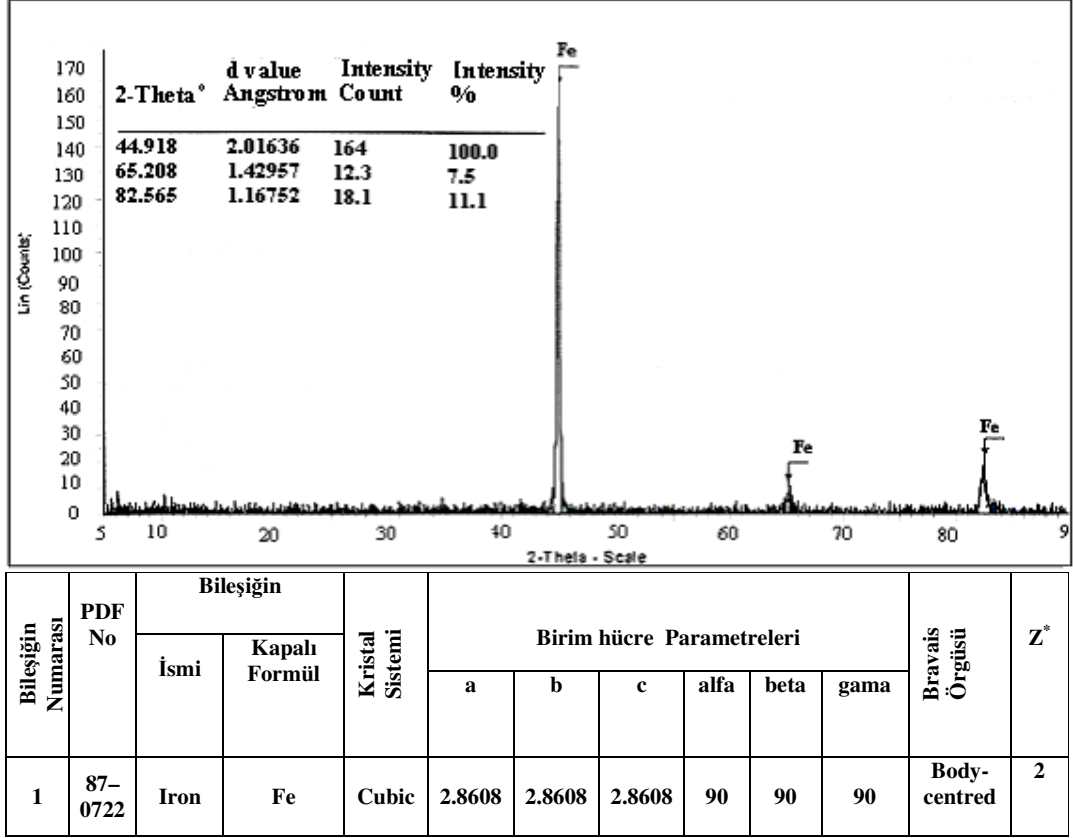
Şekil 6.1' de 1 nolu işlemsiz St 37 düşük alaşımlı çelik numunenin SEM fotoğrafı , EDX analizi ve X-Işınları difraksiyonu verilmiştir. Yapı α -demiri kristal çeşidi olup ana yapı ferrit fazıdır. Mikroyapı ferrit yapıları arasına dağılmış perlitten ($\alpha + F_3C$) oluşmaktadır. Beyaz büyük yerler ferrit, siyah yerlerinde perlit, olduğu düşünülmektedir. Perlitin fazla olmasının nedeni yapıda sementitin (F_3C) fazla olmasıdır (Korkut, 1997).



a



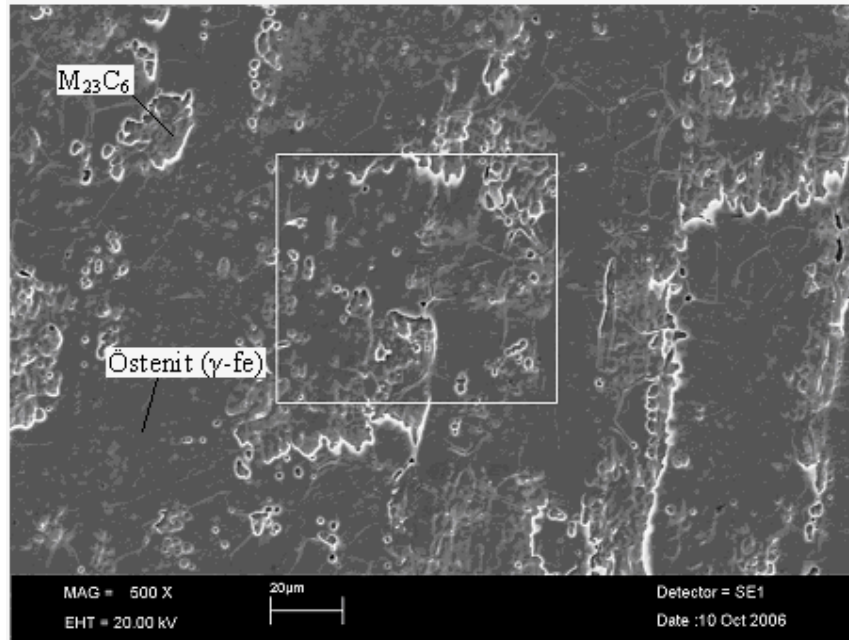
b



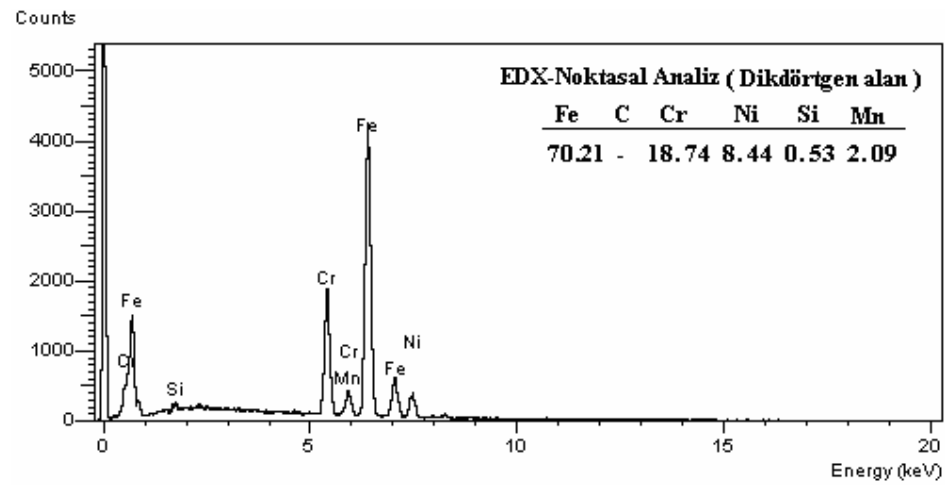
c

Şekil 6. 2. 1 nolu homojenleştirilmiş St-37 düşük alaşımlı çelik numunenin a- SEM fotoğrafı (500X), b- EDX analizi, c- X-Işınları difraksiyonu

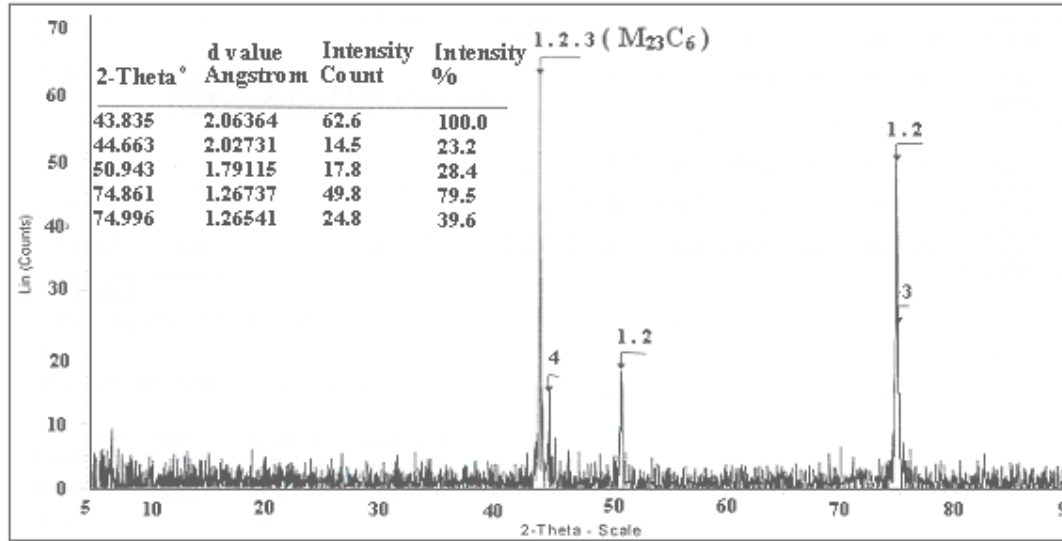
Şekil 6.2' deki mikro yapı fotoğraflarına bakıldığında ısıtılma işlem görmüş numunenin tane boyutunda küçülme olduğu görülmektedir. Tane boyutundaki bu küçülme ısıtılma işlem ile gerçekleşen muhtemel yeniden kristalleşme ile olabilmektedir. İşlemsiz numune oldukça iri tane boyutlarından oluşmuşken, homojenleştirmiş numune küçük tane boyutlarından oluşmaktadır. Ayrıca ana faz ferritin daha yoğun olduğu ve perlit dağılımının giderek azaldığı görülmektedir. Ferritin artmasının sebebi ısıtılma işlem ile birlikte sementitin çözünmüş olmasıdır (Korkut, 1997).



a



b



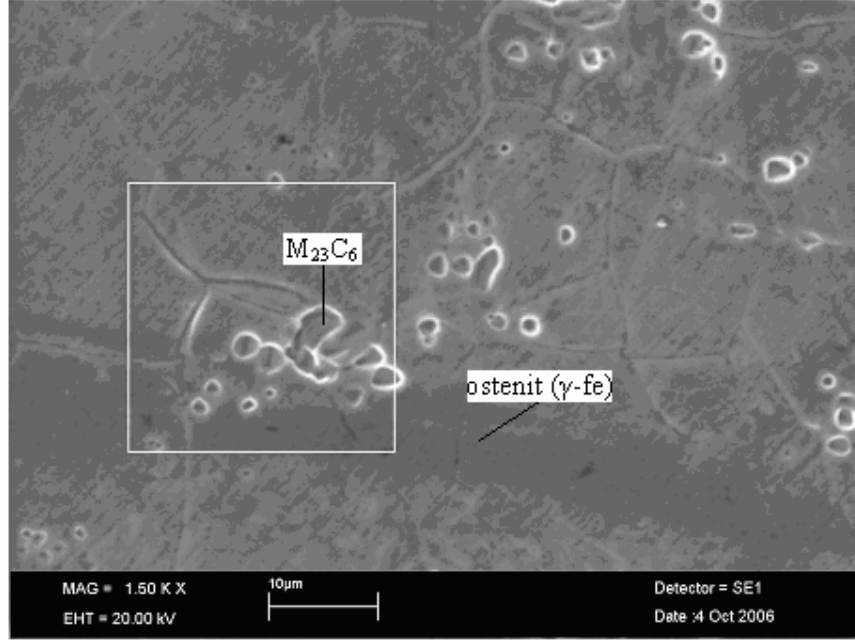
Bileşim Numarası	PDF No	Bileşimin		Kristal Sistemi	Birim hücre Parametreleri						Bravais Örgüsü	Z*
		İsmi	Kapak Formül									
					a	b	c	alfa	beta	gama		
1	33-0397	Chromium Iron Nickel-304 stainless steel austenite	Cr _{0.19} Fe _{0.7} Ni _{0.11}	Cubic	3.5911	3.5911	3.5911	90	90	90	Face-centred	4
2	47-1405	Iron Nickel	Fe _{0.64} Ni _{0.36}	Cubic	3.5922	3.5922	3.5922	90	90	90	Face – centred	4
3	06-0675	Diamond	C	Cubic	3.5667	3.5667	3.5667	90	90	90	Face - centred	8
4	87-0722	Iron	Fe	Cubic	2.8608	2.8608	2.8608	90	90	90	Body-centred	2

c

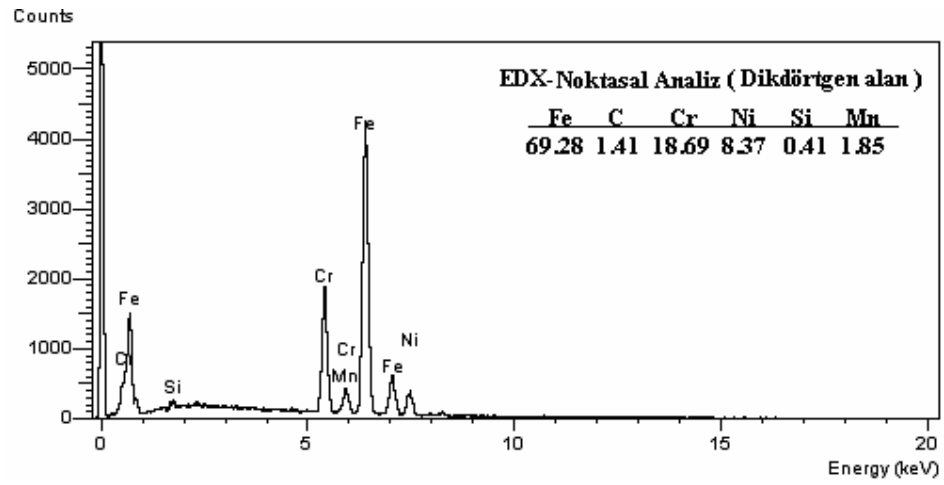
Şekil 6. 3. 2 nolu işlemsiz AISI 304 östenitik paslanmaz çelik numunenin a- SEM fotoğrafı (500X), b- EDX analizi, c- X-ışınları difraksiyonu

Ana yapı östenit (γ -Fe) fazıdır. Ancak yapıda özellikle tane sınırlarında $M_{23}C_6$ karbürleri bulunmaktadır. Tablo 6.3' teki EDX analizinde görüldüğü üzere karbon yokmuş gibi anlaşılsa da aslında karbon var olup sadece noktasal analiz alınan alan içerisinde bileşik halindedir

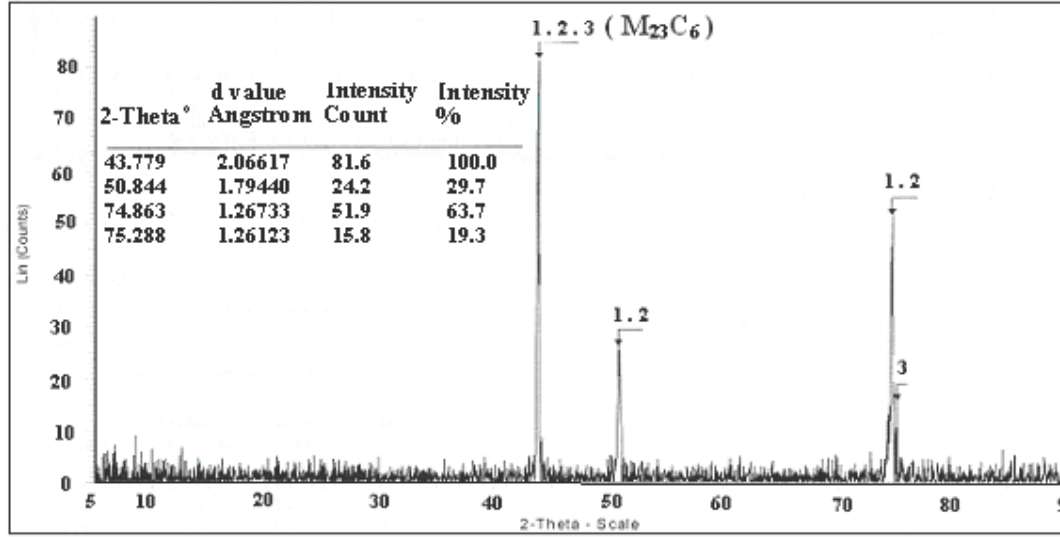
(Korkut, 1997). Şekil 6.3’ te 2 nolu işlemsiz AISI 304 östenitik paslanmaz çelik numunenin SEM fotoğrafı, EDX analizi ve X-ışınları difraksiyonu verilmiştir.



a



b



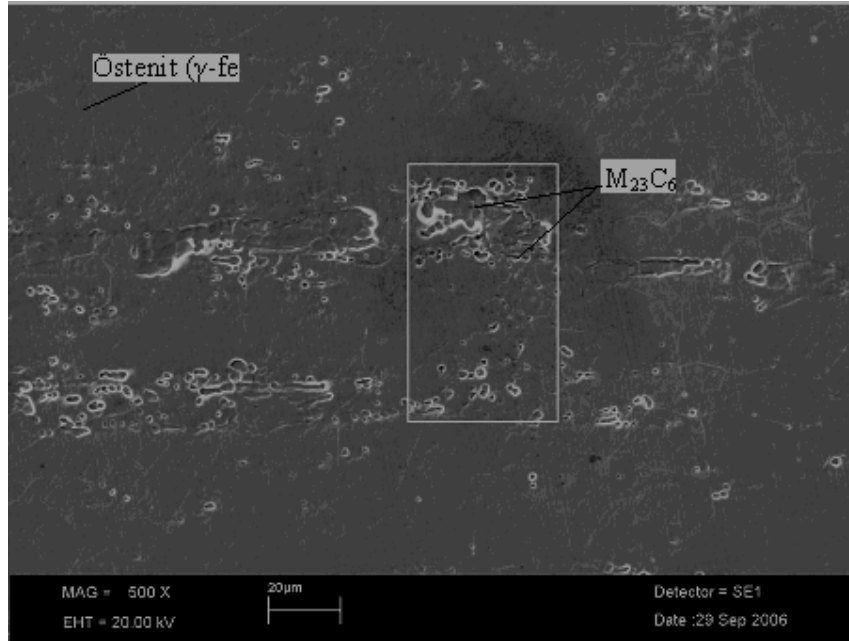
Bileşğin Numarası	PDF No	Bileşğin		Kristal Sistemi	Birim hücre Parametreleri						Bravais Örgüsü	Z*
		İsmi	Kapalı Formül		a	b	c	alfa	beta	gama		
1	33-0397	Chromium Iron Nickel-304 stainless steel austenite	Cr _{0.19} Fe _{0.7} Ni _{0.11}	Cubic	3.5911	3.5911	3.5911	90	90	90	Face-centred	4
2	47-1405	Iron Nickel	Fe _{0.64} Ni _{0.36}	Cubic	3.5922	3.5922	3.5922	90	90	90	Face-centred	4
3	06-0675	Diamond	C	Cubic	3.5667	3.5667	3.5667	90	90	90	Face-centred	8

c

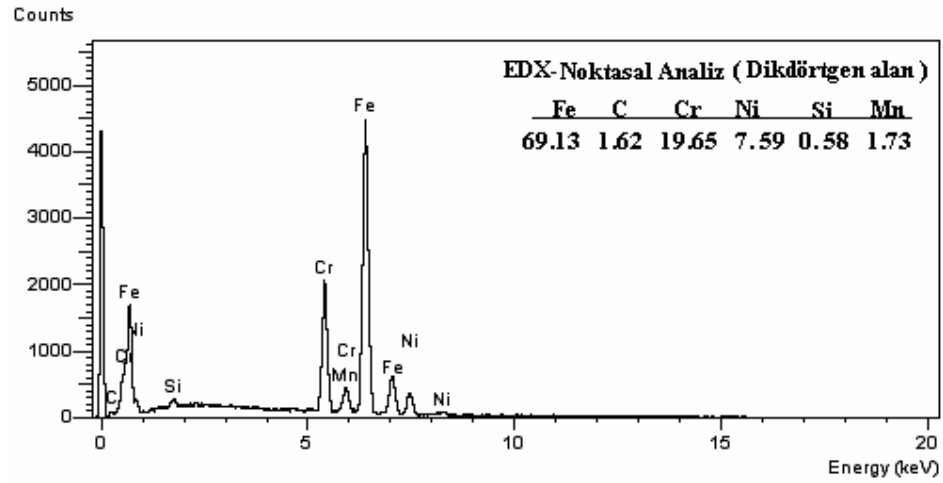
Şekil 6. 4. 2 nolu homojenleştirilmiş AISI 304 östenitik paslanmaz çelik numunenin a- SEM fotoğrafı (1500X), b- EDX analizi, c- X-ışınları difraksiyonu

Şekil 6.4' te 2 nolu homojenleştirilmiş AISI 304 östenitik paslanmaz çelik numunenin SEM fotoğrafı, EDX analizi ve X-ışınları difraksiyonu verilmiştir. Ana yapı ostenit fazıdır. Homojenleştirme ısı işlemi sonrası tane sınırlarında $M_{23}C_6$ karbürleri büyük oranda çözülmüştür. SEM fotoğrafında görüleceği gibi ısı işlem etkisinden dolayı yapıdaki karbür dağılımında azalma olduğu görülmektedir. EDX noktasal analizin sonuçlarından anlaşılabacağı

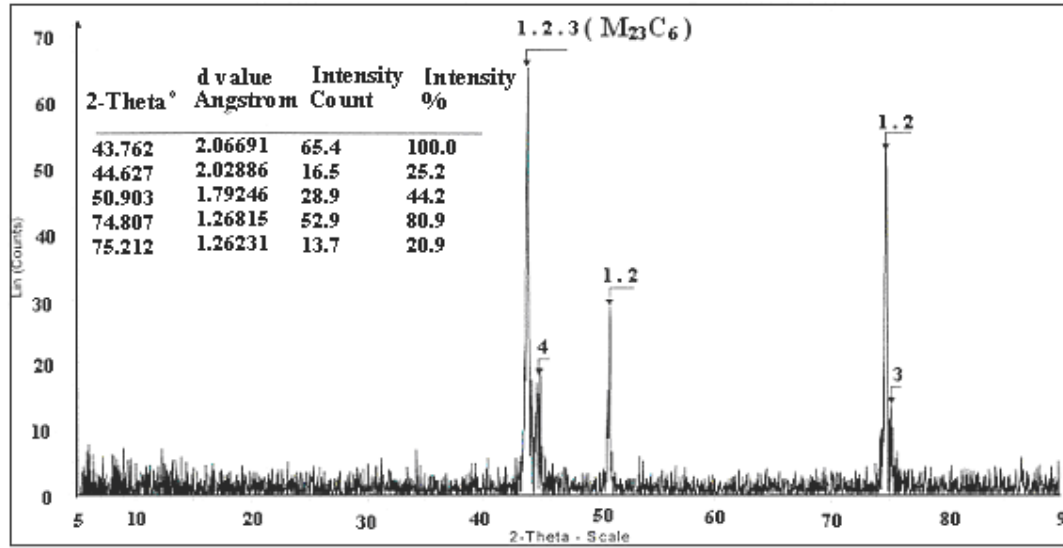
üzere 1100°C de homojenleştirme işlemi sonucu intermetalik bir faz olan karbon bileşiklerden ayrılmış ve artık tek başına faz olarak görünür durumuma gelmiştir (Korkut, 1997).



a



b

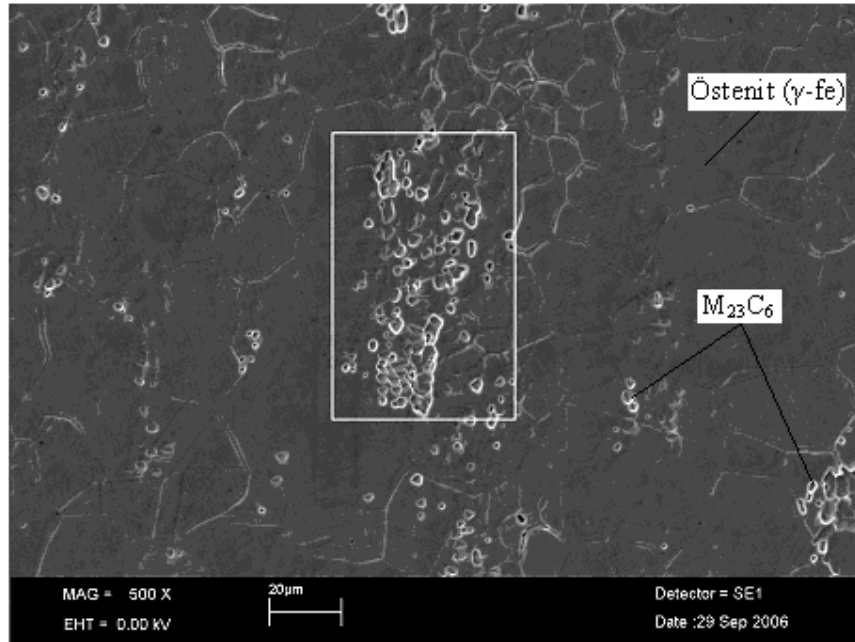


Bileşğin Numarası	PDF No	Bileşğin		Kristal Sistemi	Birim hücre Parametreleri						Bravais Örgüsü	Z*
		İsmi	Kapalı Formül		a	b	c	alfa	beta	gama		
1	33-0397	Chromium Iron Nickel	Cr _{0.19} Fe _{0.7} Ni _{0.11}	Cubic	3.5911	3.5911	3.5911	90	90	90	Face centred	4
2	47-1405	Iron Nickel	Fe _{0.64} Ni _{0.36}	Cubic	3.5922	3.5922	3.5922	90	90	90	Face centred	4
3	06-0675	Diamond	C	Cubic	3.5667	3.5667	3.5667	90	90	90	Face centred	8
4	87-0722	Iron	Fe	Cubic	2.8608	2.8608	2.8608	90	90	90	Body-centred	2

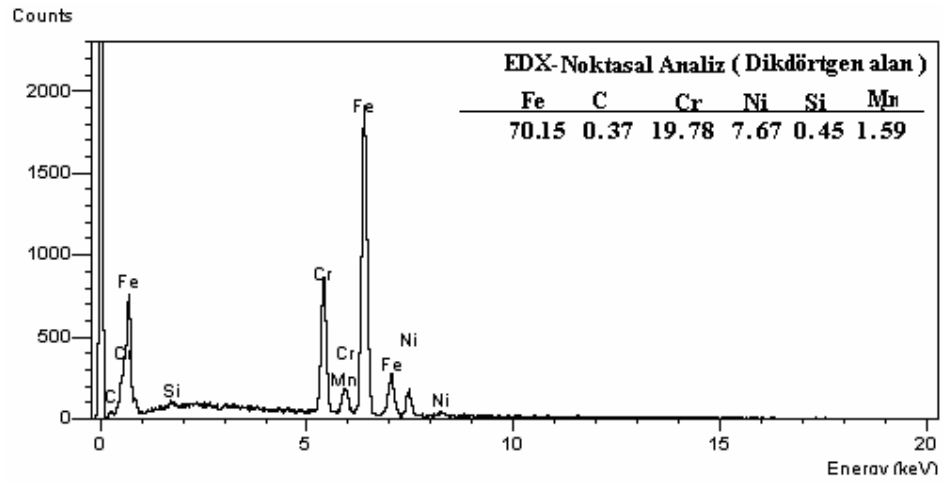
c

Şekil 6. 5. 3 nolu işlemsiz AISI 304L östenitik paslanmaz çelik numunenin a- SEM fotoğrafı (500X), b- EDX analizi, c- X-ışınları difraksiyonu

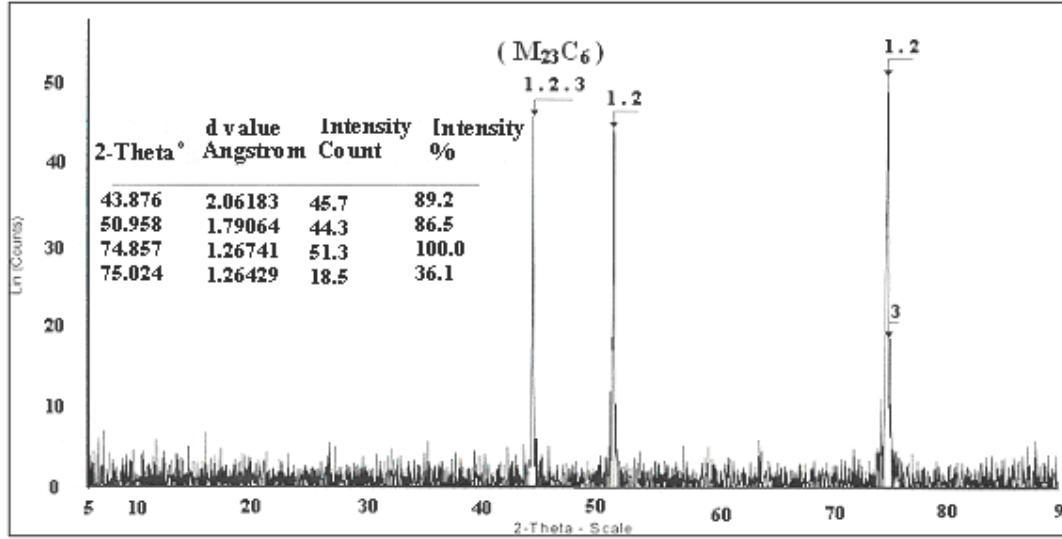
Ana yapı ostenit fazıdır. Alaşımın SEM fotoğrafında yapıda özellikle tane sınırlarında $M_{23}C_6$ karbürlerine rastlanmaktadır. SEM fotoğraflarından da anlaşılabacağı üzere fotoğraflar aynı büyütmede olduğu halde AISI 304L' nin yapısındaki karbürlerin tane boyutu AISI 304' ün yapısındaki karbürlerin tane boyutundan daha küçük ve daha az yoğunlukta olduğu görülmektedir. Bu durumun, alaşımın sahip olduğu düşük karbon içeriğinden kaynaklandığı söylenebilir (Korkut, 1997). Şekil 6.5' te 3 nolu işlemsiz AISI-304L östenitik paslanmaz çelik numunenin SEM fotoğrafı, EDX analizi ve X-ışınları difraksiyonu verilmiştir.



a



b

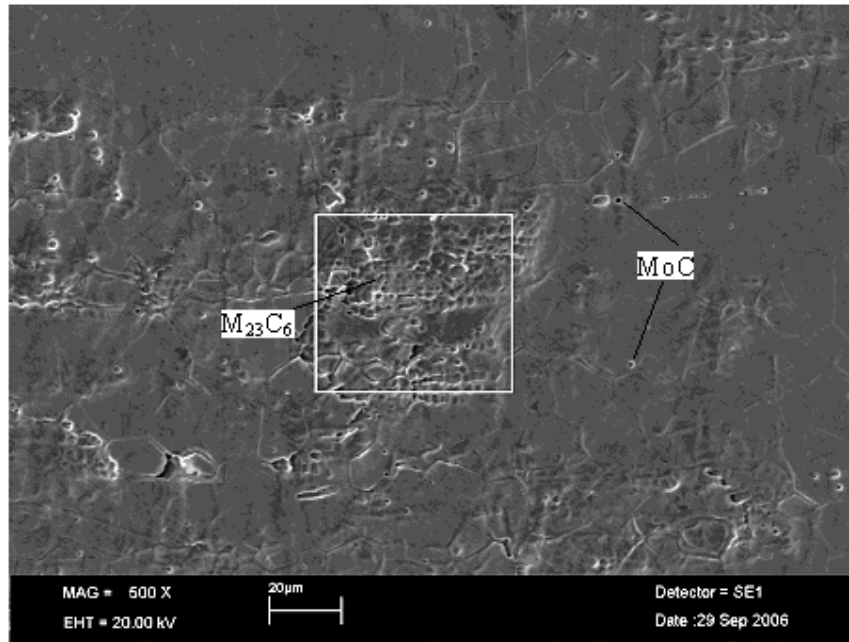


Bileşimin Numarası	PDF No	Bileşimin		Kristal Sistemi	Birim hücre Parametreleri						Bravais Örgüsü	Z*
		İsmi	Kapaklı Formül		a	b	c	alfa	beta	gama		
1	33-0397	Chromium Iron Nickel	Cr _{0.19} Fe _{0.7} Ni _{0.11}	Cubic	3.5911	3.5911	3.5911	90	90	90	Face centred	4
2	47-1405	Iron Nickel	Fe _{0.64} Ni _{0.36}	Cubic	3.5922	3.5922	3.5922	90	90	90	Face centred	4
3	06-0675	Diamond	C	Cubic	3.5667	3.5667	3.5667	90	90	90	Face centred	8

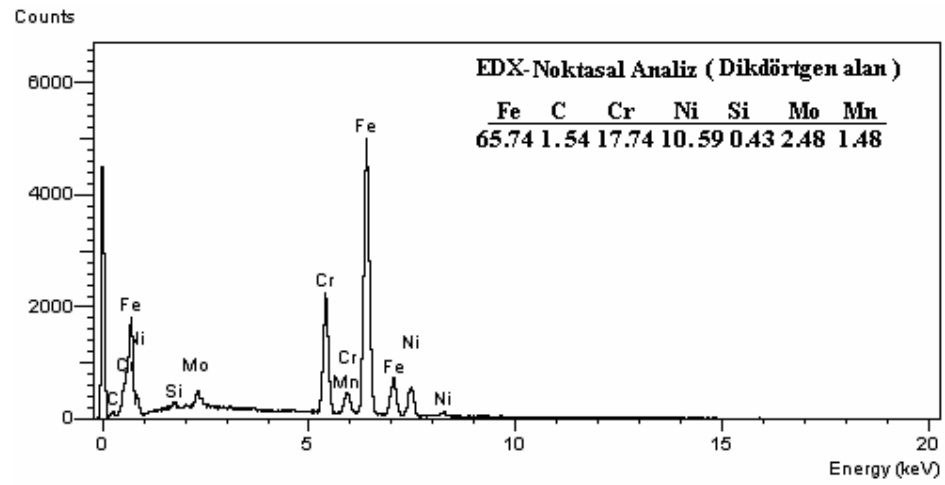
c

Şekil 6. 6. 3 nolu homojenleştirilmiş AISI 304L östenitik paslanmaz çelik numunenin a- SEM fotoğrafı (500X), b- EDX analizi, c- X-Işınlari difraksiyonu

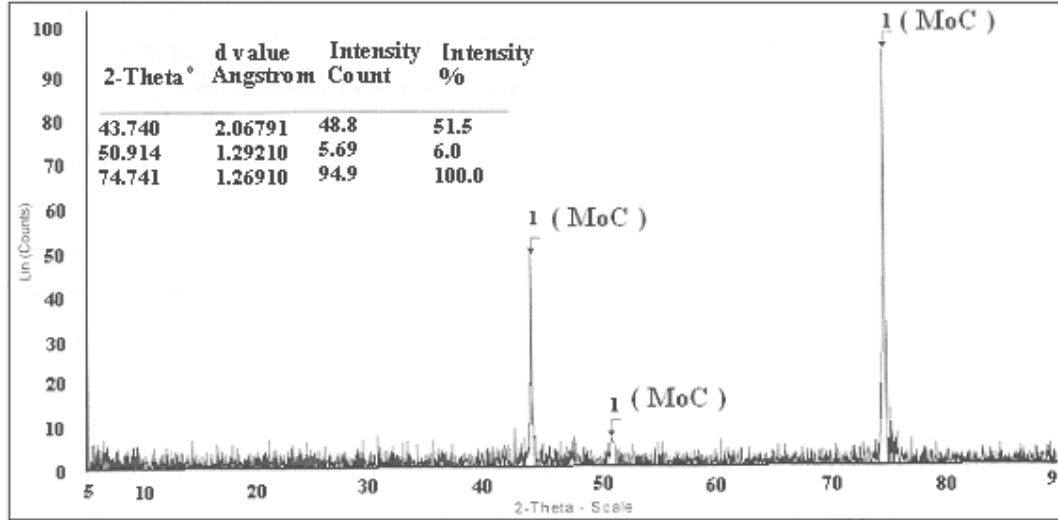
Şekil 6.6' da 3 nolu homojenleştirilmiş AISI-304L östenitik paslanmaz çelik numunenin SEM fotoğrafı, EDX analizi ve X-ışınları difraksiyonu verilmiştir. Ana yapı ostenit fazıdır. Homojenleştirme ısı işlemi sonrası tane sınırlarında $M_{23}C_6$ karbürleri büyük oranda çözülmüştür. SEM fotoğrafında görüldüğü gibi ısı işlem etkisinden yapıdaki karbür dağılımında azalma ve tane sınırlarından uzaklaşmış yoğun olmayan karbürler vardır (Korkut, 1997)



a



b

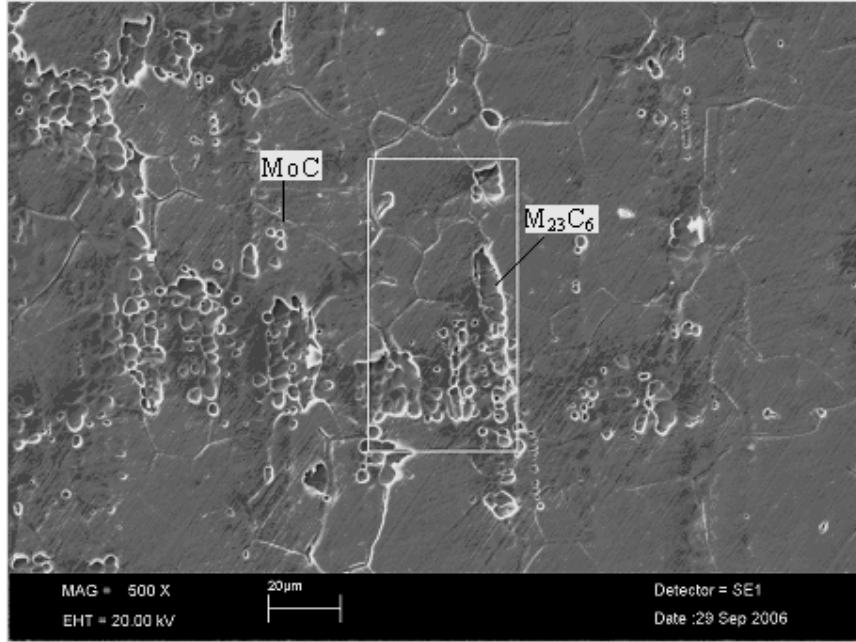


Bileşğin Numarası	PD F No	Bileşğin		Kristal Sistemi	Birim hücre Parametreleri						Bravais Örgüsü	Z*
		İsmi	Kapalı Formül		a	b	c	alf a	bet a	gam a		
1	50 - 1293	Chromium Iron Moleybdenum Nickel Silicon	Fe _{6,6} Cr _{1,7} Ni _{1,2} -Si _{0,2} Mo _{0,1}	Cubic	3.60	3.60	3.60	90	90	90	Face-centred	0.426

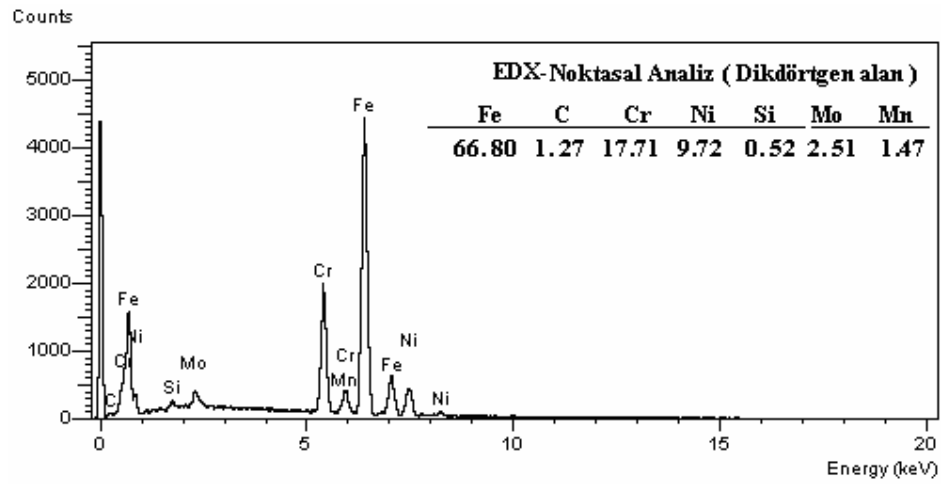
c

Şekil 6. 7. 4 nolu işlemsiz AISI 316 östenitik paslanmaz çelik numunenin a- SEM fotoğrafı (500X), b- EDX analizi, c- X-ışınları difraksiyonu

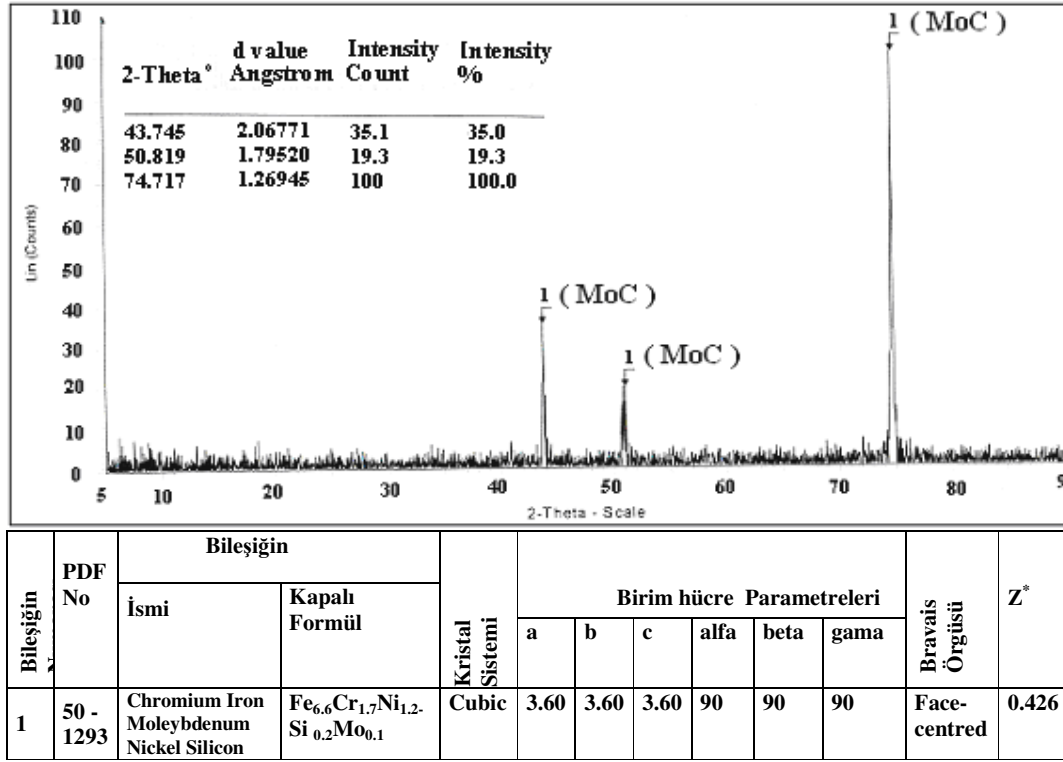
Şekil 6.7' te 4 nolu işlemsiz AISI 316 östenitik paslanmaz çelik numunenin SEM fotoğrafı, EDX analizi ve X-ışınları difraksiyonu verilmiştir. Ana yapı ostenit fazıdır. $M_{23}C_6$ karbürlerinin oranı fazla iken, yer yer görünen MoC karbürlerinin oranı ise azdır (Korkut, 1997).



a



b



c

Şekil 6. 8. 4 nolu homojenleştirilmiş AISI 316 östenitik paslanmaz çelik numunenin a- SEM fotoğrafı (500X), b- EDX analizi, c- X-Işınları difraksiyonu

Homojenleştirme ısı işleminden sonra M_{23}C_6 karbürleri düşük oranda çözülmüş yerine karbonun kromdan düşük olduğu molibden elementi ile birleşerek MoC karbürleri oluşmuştur. İşlemsiz numuneye göre karbür dağılımı daha az yoğunlukta ve karbürler birbirinden ayrılmış, biraz daha çözülmüş olarak gözlenmektedir (Korkut, 1997). Şekil 6.8' de 4 nolu homojenleştirilmiş AISI 316 östenitik paslanmaz çelik numunenin SEM fotoğrafı, EDX analizi ve X-ışınları difraksiyonu verilmiştir.

6. 8. 2. Sertlik Deneyleri

6. 8. 2. 1. Makro Sertlik (Yüzey sertlik)

Numunelerin yüzeyinden alınan brinel sertlik değeri Tablo 6.4' de gösterilmiştir. İşlemsiz numunelerin sertliği alaşım oranları ve çeşitlerinin artması ile yükselmiştir. Bunun da özellikle paslanmaz çelik numunelerin içerisindeki her bir alaşım elementi katkılarından ve yapıda bulunan karbürlerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Normalde, östenitik paslanmaz çelikler düşük karbonlu ve düşük alaşımlı çeliklerden daha zor işlenirler (Paro ve diğ.2001). Düşük karbonlu ve düşük alaşımlı çeliklere göre dayanımlarının ve sünekliliklerinin yüksek olması, yüksek deformasyon sertleşme eğilimleri ve düşük ısı iletkenlikleri, östenitik paslanmaz çeliklerin zor işlenmelerinin nedenleri olarak kabul edilir (Trent, 1989). 2 ve 3 nolu numunelerin daha sert bir yüzeye sahip olmasının sebebi yapıdaki krom karbürlerden kaynaklanmaktadır. Çünkü her iki numune 4 nolu numuneye nazaran karbür oluşumuna daha müsaittir.

Homojenleştirme işlemi özellikle 1 nolu numunenin sertliğinde artışa sebep olmuştur. İşlemsiz 1 nolu numuneye göre homojenleştirmiş numunedeki bu artışın sebebi ısı işlem ile meydana gelen yeniden kristalleşme ve bununla birlikte daha küçük tane boyutuna sahip mikro yapının ortaya çıkmasıdır. Buna göre tane boyutu küçüldükçe sertlik ve dayanımın artacağını söylemek mümkündür.

3 nolu numunenin sertliğindeki düşüş EDX noktasal analiz veri tablosundan anlaşılabacağı üzere muhtemelen ısı işlem ile çözülmüş ve azalmış karbürlerden ve artan nikel artışından kaynaklandığı düşünülmektedir. Nikel artışı darbe enerjisini (derinliğine sertlik) yükseltirken yüzey sertliği düşürür (Zumelzu, ve diğ.2002). 4 nolu numunenin sertliliğindeki azalmanın sebebi yapıdaki karbon, molibden ve karbürlerin ısı işlem ile azalmasından ibarettir.

Tablo 6. 4. Numunelerin yüzeyinden alınan brinel sertlik değeri

ISIL İŞLEM DURUMU	Yüzey sertliği Brinel sertliği HB (3000 kgf-10mm bilya)			
	Numune no			
	1	2	3	4
	St 37	304	304L	316
İşlemsiz	114	137	137	132
Homojen.	222	137	130	119

6. 8. 2. 2. Mikro Sertlik (Matris Sertliği)

Vickers olarak matrizen ölçülen mikro sertlik değerleri Tablo 6.5’ te verilmiştir. Numunelerin mikro sertliği ölçülürken 200 gr.’lık yük kullanılmış olup, elde edilen sertlik değeri her numune için alınan 3 ölçümün ortalamasıdır.

Tablo 6. 5. Numunelerin matrisinden alınan mikrosertlik değerleri

ISIL İŞLEM DURUMU	Matris sertliği (Mikro sertlik HV)			
	Numune no			
	1	2	3	4
	St 37	304	304L	316
İşlemsiz	315	370	542	344
Homojen	386	473	593	394

Yapılan mikro sertlik ölçümleri incelendiğine İşlemsiz numunelerde sertliğin düşük olmasının ana nedeni mikro sertliğin tane sınırlarından değil de matrizen alınmış olması nedeni ile izah edilebilir. Eğer mikrosertlik tane sınırlarından alınmış olsaydı uygulanan yük karbürlere denk gelecek ve sonuçta da sertlik yüksek çıkacaktı. Sertlikte meydana gelen artış ile paralel olarak dayanımında artacağını söylemek mümkündür. Sertlik ve dolayısıyla dayanımda meydana gelen bu artışın sebebi ısıtılma işlem görmüş numunelerde dinamik yeniden kristalleşme ile daha küçük mikro yapının oluşmasıdır (Karacif ve diğ. 2001). Sertliğin matrizen alınmasından dolayı homojenleştirilmiş numunelerin sertliğindeki artışta, ısıtılma işleminden sonra tane sınırlarındaki çökelti fazları ($M_{23}C_6$) serbest kalan C ve Cr elementlerinin matriste homojen bir şekilde dağılması ile izah edilebilir.

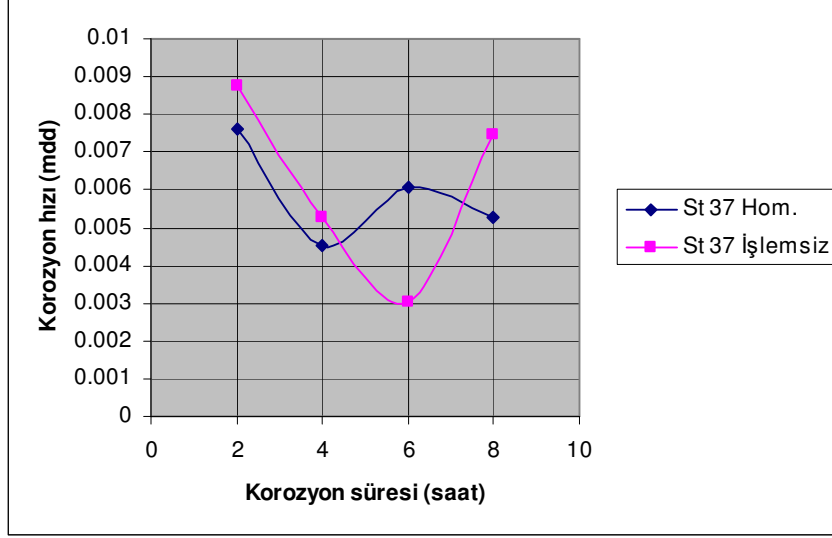
7. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Kimyasal ortamlarda paslanmaz çelikler genel korozyon, taneler arası korozyon, gerilme korozyonu çatlaması, oyuk, aralık korozyonu ve/veya galvanik korozyona maruz kalırlar. Asitli ortamlardaki korozyonunun genellikle çukurcuk ve taneler arası korozyonu olduğu yapılan literatür çalışmalarından da anlaşılmaktadır. Bu korozyon tipleri çelik yüzeyinde çökeltir ve karbürler şeklinde genellikle kendilerini gösterirler. Buna karşılık çelik yüzeyinde hem çözeltinin hem de çelik katkı elemanlarından kaynaklanan koruyucu tabakalar oluşmaktadır. Korozyon deney numuneleri metalografik inceleme sonuçlarına, ait EDX noktasal analiz verileri Tablo 7,1’de gösterilmiştir.

Tablo 7. 1. Korozyon deney sonrası numuneleri EDX noktasal analiz verileri

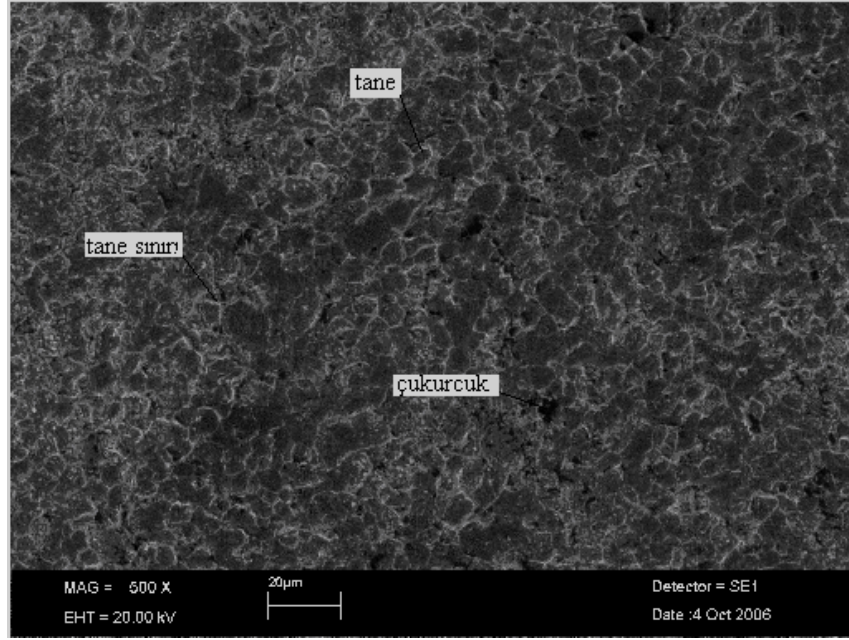
Alaşım miktarı (% Ağ)		Numune no			
		1	2	3	4
		St 37	304	304 L	316
Fe	işlemsiz	91.70	69.84	67.69	66.33
	Hom.	92.06	68.65	68.43	65.13
C	işlemsiz	8.30	1.16	4.12	2.09
	Hom.	7.94	1.62	2.65	3.41
Cr	işlemsiz	-	18.60	18.04	17.23
	Hom.	-	18.92	18.60	17.18
Ni	işlemsiz	-	8.18	7.95	10.19
	Hom.	-	8.16	7.83	10.01
Si	işlemsiz	-	0.61	0.61	0.44
	Hom.	-	0.57	0.54	0.47
Mo	işlemsiz	-	-	-	2.57
	Hom.	-	-	-	2.64
Mn	işlemsiz	-	1.60	1.59	1.15
	Hom.	-	2.07	1.95	1.16

7. 1. St 37 Düşük Alaşımli Çelik Numunelerin Korozyon Hız Grafiği Ve SEM-EDX Çalışmaları

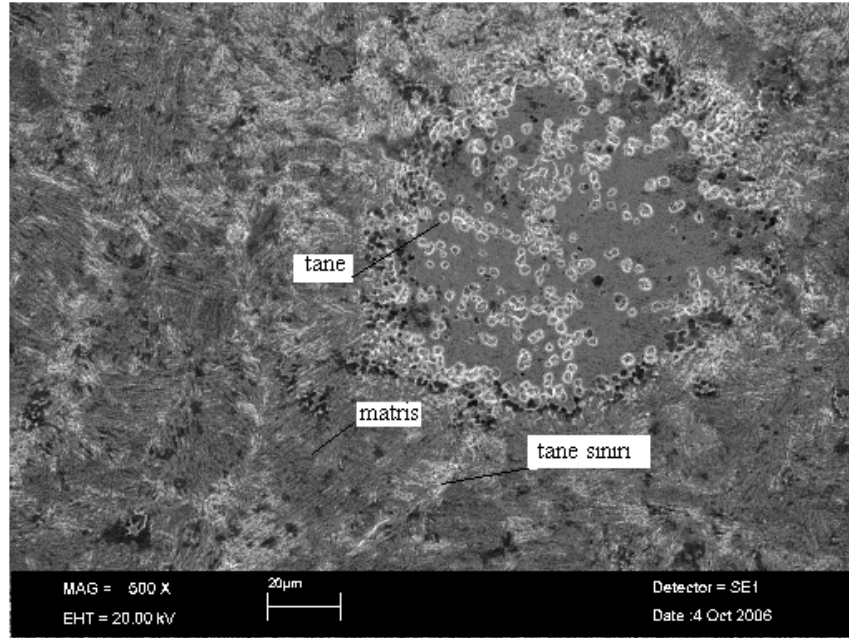


Şekil 7. 1. 1. St 37 düşük alaşımli çelik numunelerin mdd cinsinden korozyon hızları

Şekilden de (Şekil 7.1.1) görüleceği gibi Numuneler ısıtılma şartlarına göre karşılaştırıldığında korozyon hızı açısından en yüksek değerin ısıtılma işlemli numunede olduğu anlaşılmaktadır. Isıtılma işlemle beraber tane boyutunda küçülme olduğu görülür. Şekil 7.1.2 ile Şekil 7.1.3. Her iki numunenin de 500X büyütme fotoğraflarından açıkça görülmektedir. Küçük tane boyutuna sahip malzemeler, yüksek dayanım, yüksek tokluk ve yüksek yorulma ömrü gibi avantajlara sahiptir. Tane boyutundaki küçülme dayanımı da arttırdığından korozyon direncinin de artacağını söylemek mümkündür (Önal ve diğ.,2005)

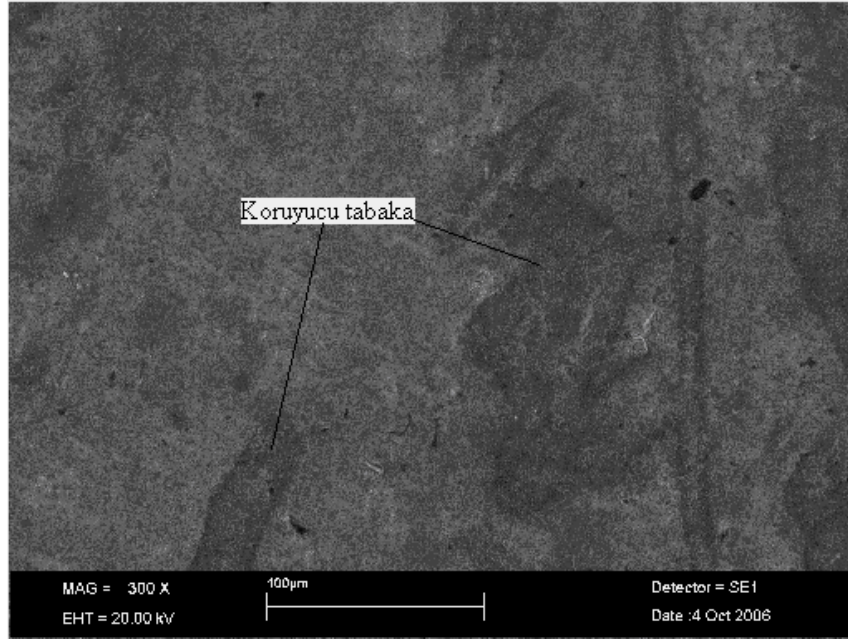


Şekil 7. 1. 2. 8 saat korozyona maruz bırakılmış işlemsiz St 37 düşük alaşımlı çelik numunenin SEM fotoğrafı (500X)

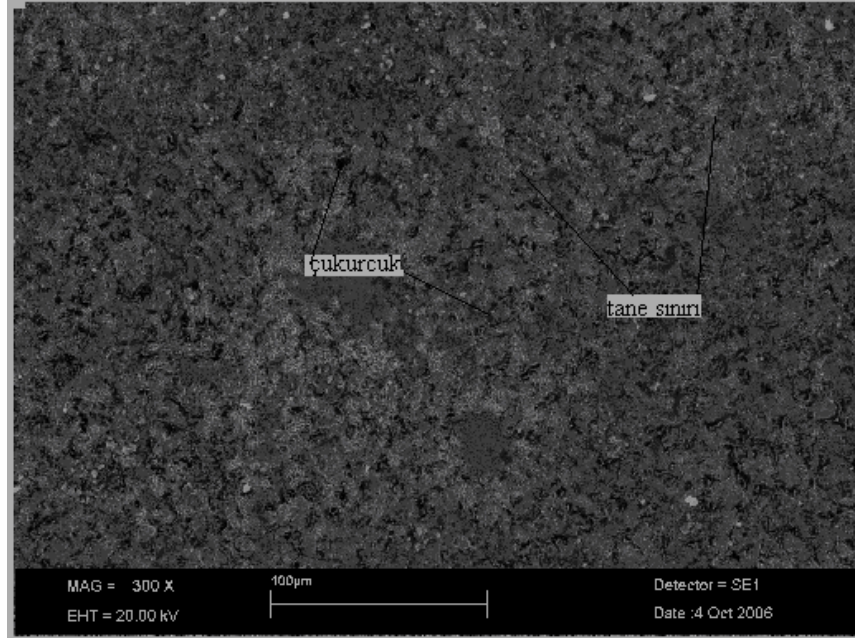


Şekil 7. 1. 3. 8 saat korozyona maruz bırakılmış homojenleştirilmiş St 37 düşük alaşımlı çelik numunenin SEM fotoğrafı (500X)

İşlemsiz numune ilk 2 saatlik deney süresince yüksek bir korozyon hızı seyri izlerken 2 ile 4 saatlik zaman dilimleri arasında kararlı bir düşüş seyretmektedir. Buradaki düşüş nedeni alaşımın yüzeyinde biriken çözeltinin ısının etkisiyle şekil 7.1.4’ te görüleceği gibi koruyucu bir tabaka oluşturmaya sonucudur. Daha sonra da artan zamanla koruyucu tabakanın parçalanması sonucu yüzeyden kopan demir oksit parçaları Şekil 7.1.5’ te görüldüğü gibi çukurcuk şeklinde korozyona sebebiyet vermektedir.

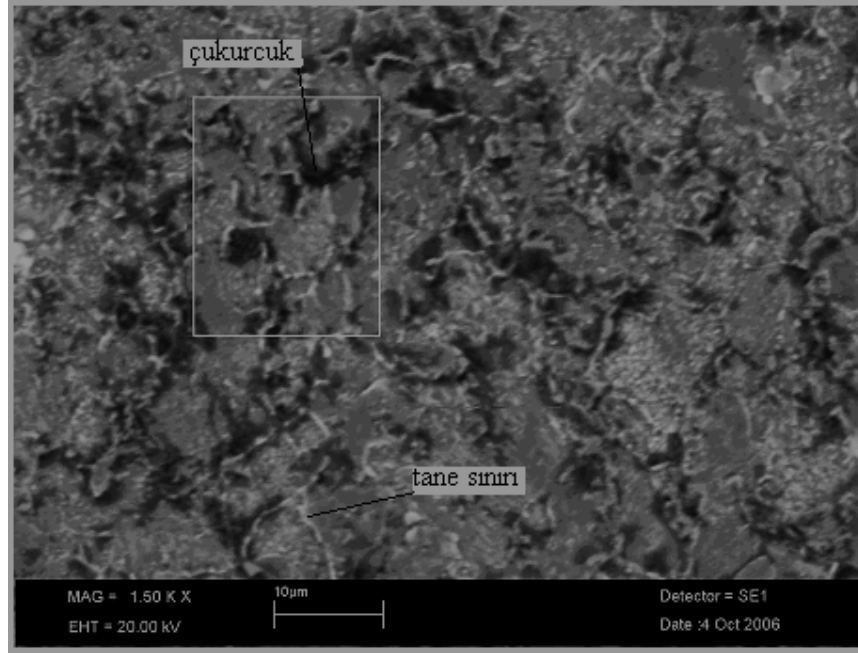


Şekil 7. 1. 4. 4 saat korozyona maruz bırakılmış işlemsiz St 37 düşük alaşımlı çelik numunenin SEM fotoğrafı (300X)

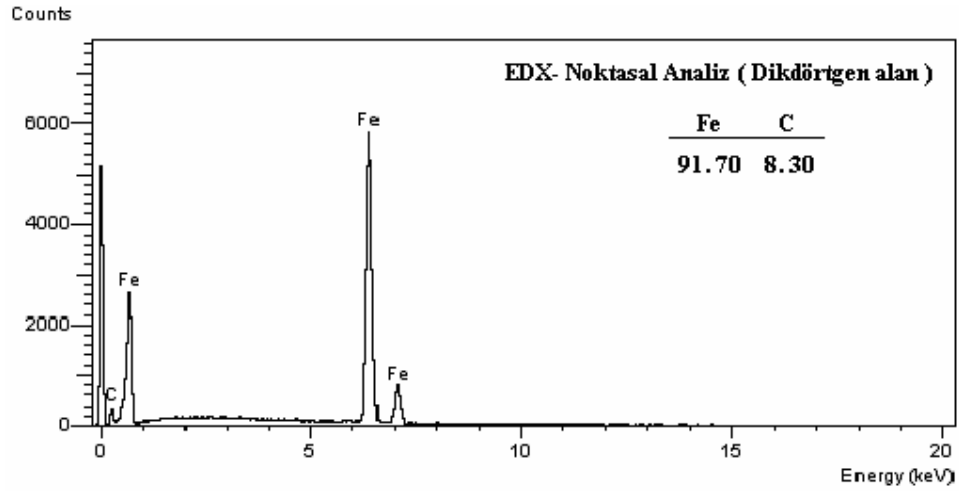


Şekil 7. 1. 5. 6 saat korozyona maruz bırakılmış işlemsiz St 37 düşük alaşımlı çelik numunenin SEM fotoğrafı (300X)

İşlemsiz numune de korozyon sonucu meydana gelmiş olan çukurlar, Şekil 7.1.6 da 1500X büyütmede daha iyi görüleceği gibi, sünger gibi gözenekli bir yapı halinde gözükmektedir. Gözenekli korozyon tabakası nedeni ile korozyon hızı, 6. saatten sonra gittikçe artma seyri izlemiştir.



a

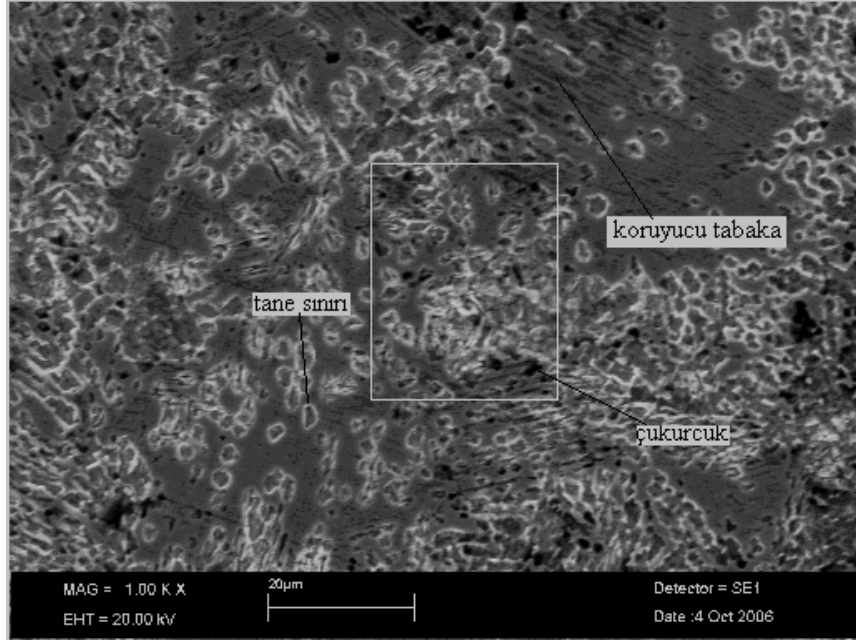


b

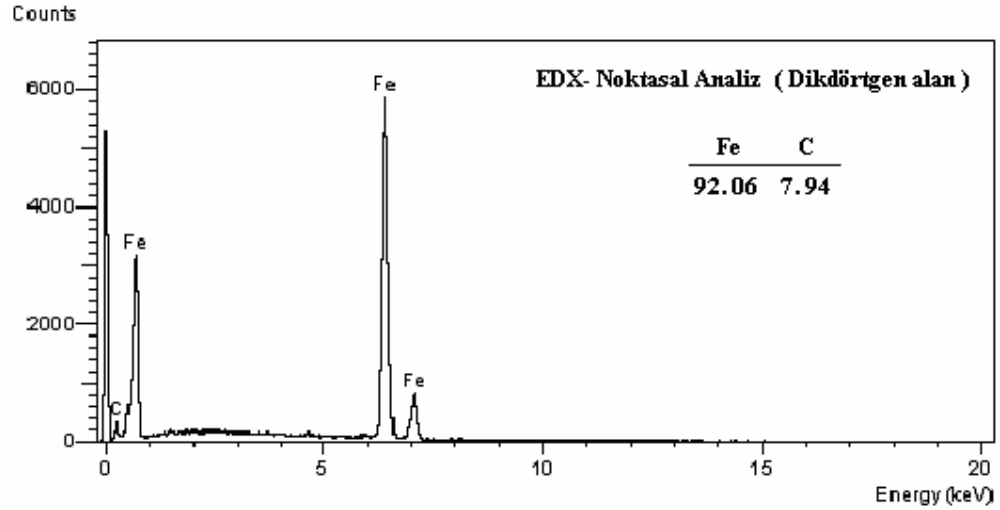
Şekil 7. 1. 6. 6 saat korozyona maruz bırakılmış işlemsiz St 37 düşük alaşımlı çelik numunenin; a-SEM fotoğrafı (1500X) b- EDX analizi

Şekil 7.1.1' den görüleceği gibi başlangıçta korozyon her iki numunede de yüksektir. Çünkü başlangıçta koruyucu tabaka henüz oluşmamıştır. Zamanla koruyucu tabaka oluştuğundan sonra korozyon hızında düşüşlerin olduğu gözlenmektedir. Artan ısı ile birlikte zamanla

koruyucu tabaka bozunmuş ve korozyon hızında yükselmeler oluşmuştur. Ama bu yükselme işlemsiz numune için devam ederken, homojenleştirilmiş numune için Şekil 7.1.7' de görüldüğü gibi koruyucu tabakanın tekrar oluşması ile düşme seyrini almıştır.



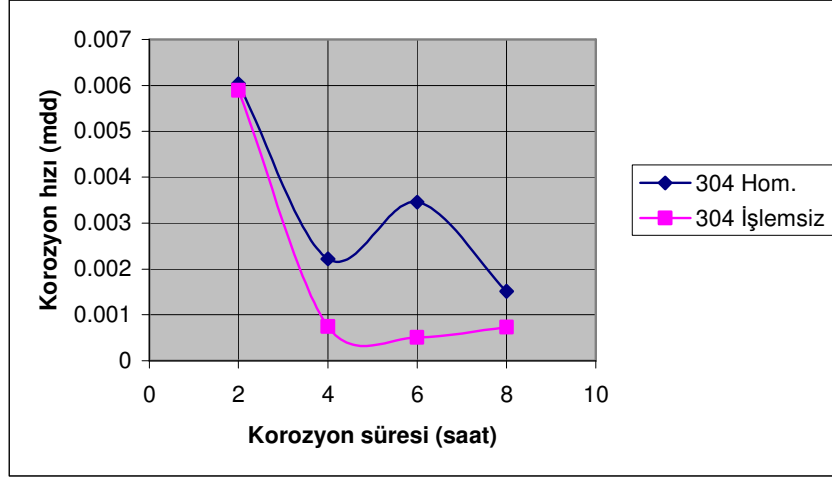
a



b

Şekil 7.1.7. 8 saat korozyona maruz bırakılmış homojenleştirilmiş St 37 düşük alaşımlı çelik numunenin
a-SEM fotoğrafı (1000X) b- EDX analizi

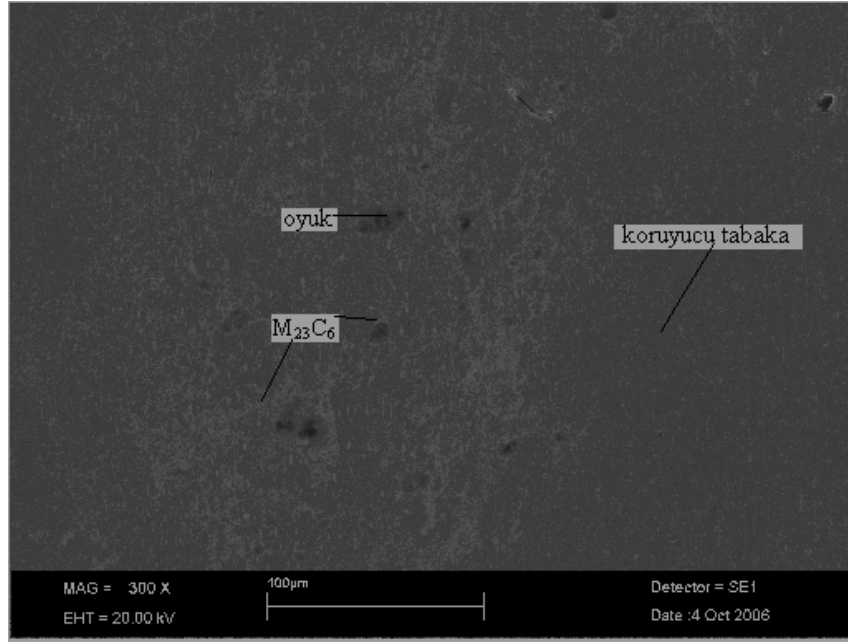
7. 2. AISI 304 Östenitik Paslanmaz Çelik Numunelerin Korozyon Hız Grafiği Ve SEM-EDX Çalışmaları



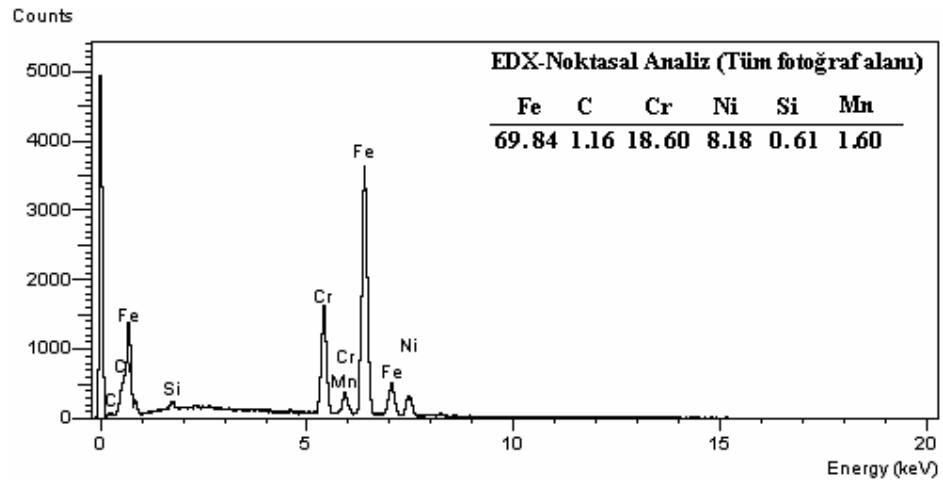
Şekil 7.2. 1. AISI 304 östenitik paslanmaz çelik numunelerin mdd cinsinden korozyon hızları

Şekil 7.2.1’ de verilmiş olan korozyon hız grafiği incelendiğinde ilk 2 saatlik deney sürelerinde korozyon hızları her iki numune için aynı ve yüksektir. 4. saat sonunda her iki numunede yüzeyde oluşan koruyucu tabaka sayesinde düşmeler olduğu gözlenmiştir (Şekil 7. 2.2 ve Şekil 7. 2.3). Bu durumun yüzeyde meydana gelen koruyucu yüzey tabakasından kaynaklandığı söylenebilir. Bir metal yüzeyinde korozyon sonucu oluşan ürünler eğer, metal yüzeyinde birikerek koruyucu bir film oluşturursa, korozyon hızında azalma olur (Yalçın ve diğ. 2002). Koruyucu tabakanın çözünme hızı, oluşma hızından yüksek olduğu zamanlarda korozyon hızında yükselmeler olmaktadır.

Homojenleştirilmiş numunede korozyon hızının yüksek olmasının sebebi $M_{23}C_6$ karbürlerinin yeteri kadar çözünmemesine bağlanabilir. Bu da bu numune için homojenleştirme işlemi süresinin yeterli olmadığı anlamına gelebilir (Eren, 2005).

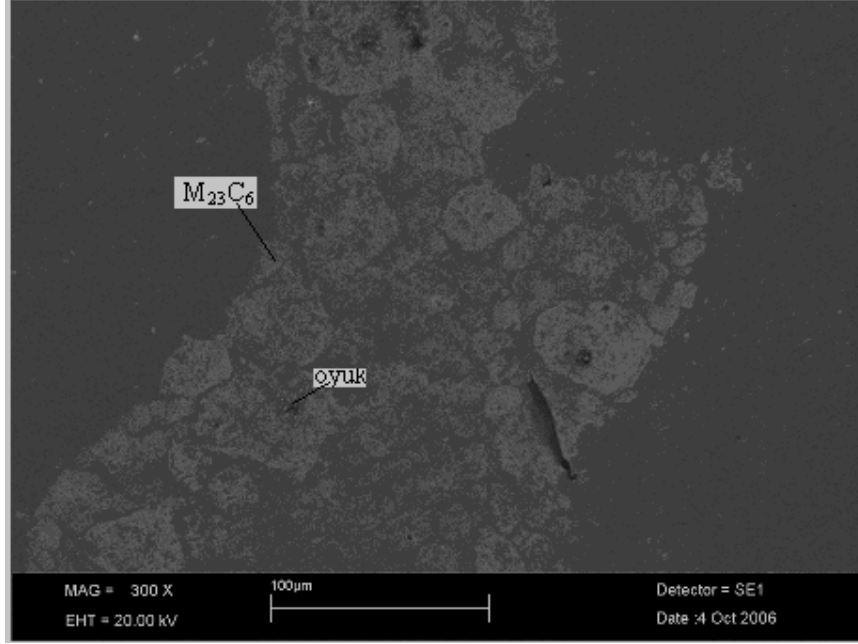


a



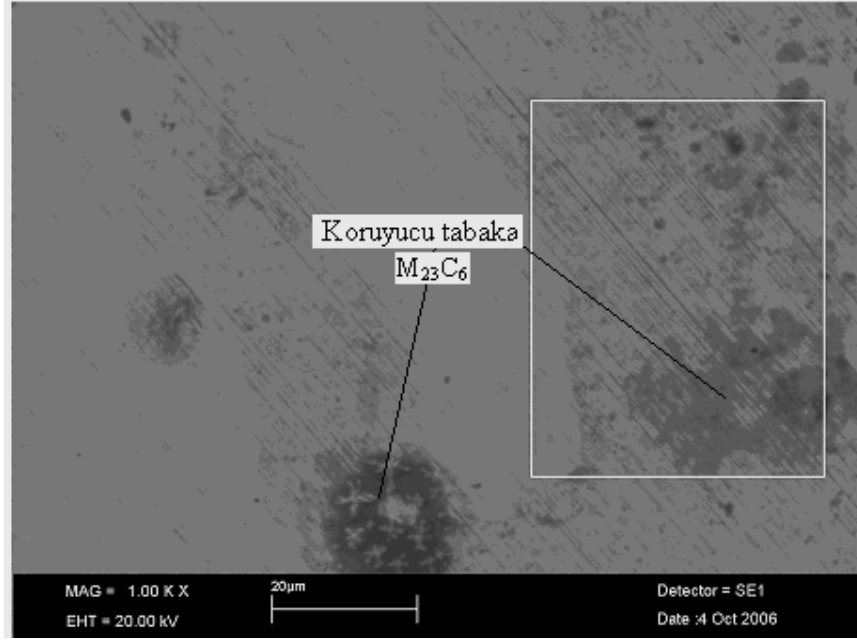
b

Şekil 7. 2. 2. 4 saat korozyona maruz bırakılmış işlemsiz AISI 304 östenitik paslanmaz çelik numunenin;
a- SEM fotoğrafı (300X), b- EDX analizi

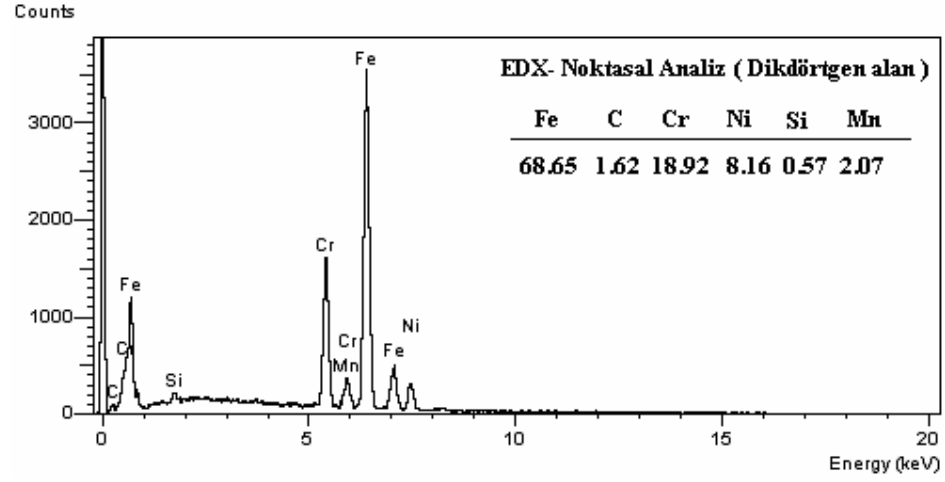


Şekil 7. 2. 3. 4 saat korozyona maruz bırakılmış homojenleştirilmiş AISI 304 östenitik paslanmaz çelik numunenin SEM fotoğrafı (300X)

Grafiğin geneline baktığımızda homojenleştirilmiş numune 6.saattin sonunda korozyon hızında düşüşe geçmişken işlemsiz numune ise az da olsa yükselişe geçmiştir. Bu durum süresi yetersiz olsa dahi azda olsa çözülmüş karbürlerin bu saatin sonunda etkisini göstermesine ve 4.saatin sonunda her iki numune için parçalanmış olan koruyucu tabakanın tekrar oluşumuna bağlanabilir. 8.saatin sonunda homojenleştirilmiş ve işlemsiz numunelerin yaklaşık aynı korozyon hızlarına sahip olduğu söylenebilir. Şekil 7. 2. 4 'te 6 saat korozyona maruz bırakılmış homojenleştirilmiş AISI 304 östenitik paslanmaz çelik numunenin SEM fotoğrafı ve EDX analizi verilmiştir.



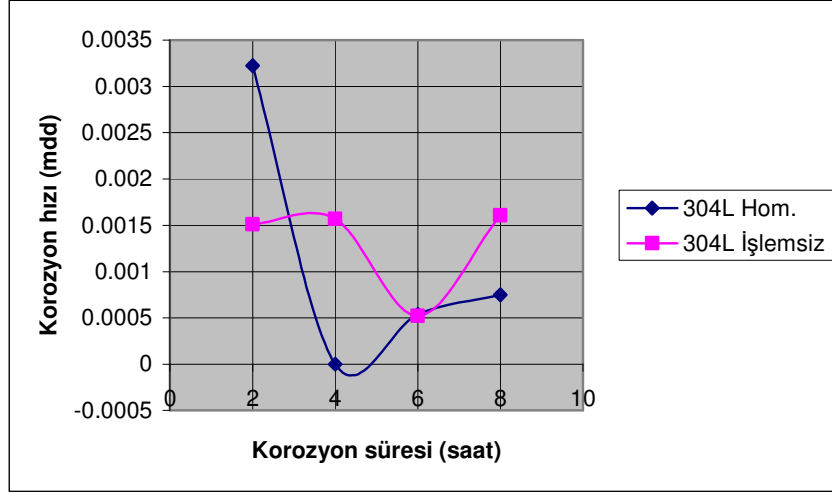
a



b

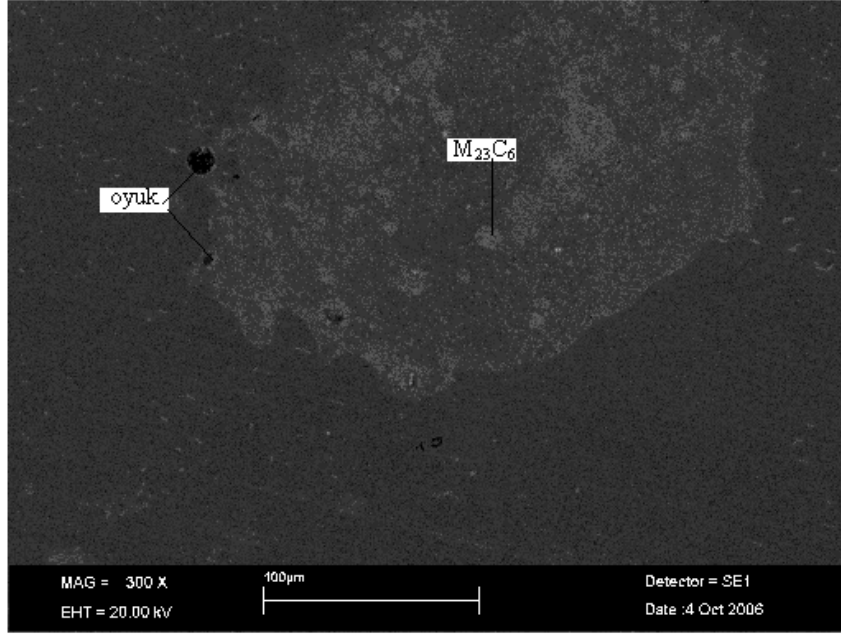
Şekil 7. 2. 4. 6 saat korozyona maruz bırakılmış homojenleştirilmiş AISI 304 östenitik paslanmaz çelik numunenin a- SEM fotoğrafı (1000X) b- EDX analizi

7. 3. AISI 304L Östenitik Paslanmaz Çelik Numunelerin Korozyon Hız Grafiği Ve SEM-EDX Çalışmaları



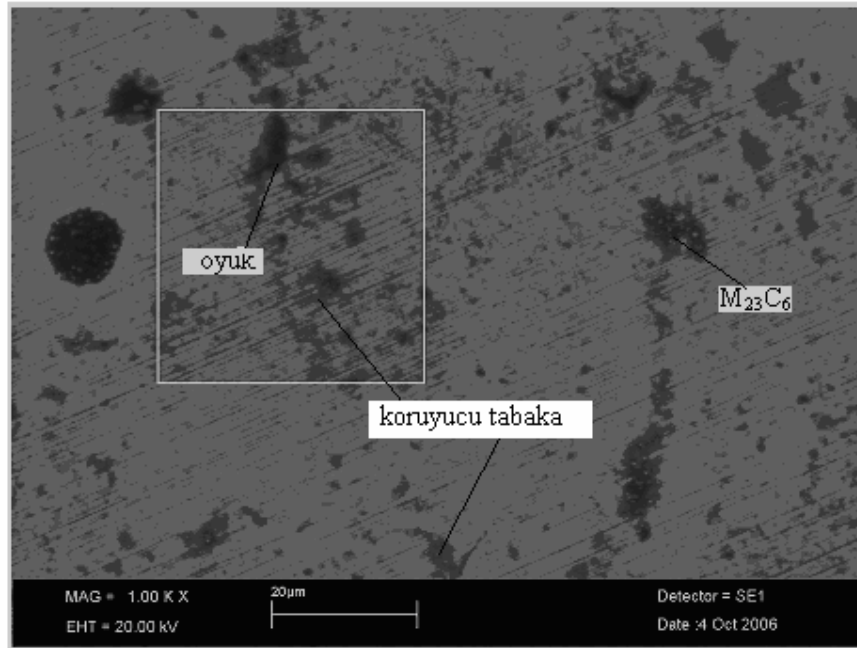
Şekil 7. 3. 1. AISI 304L östenitik paslanmaz çelik numunelerin mdd cinsinden korozyon hızları

Şekil 7.3.1' de AISI-304L homojenleştirilmiş ve işlemsiz numunelere ait korozyon hız grafiği verilmiştir. Deneyin ilk 2 saatinde homojenleştirilmiş numunenin korozyon hızı daha büyüktür. Bu durumun ilk saatlerde bu numunede koruyucu tabakanın henüz oluşmamış olmasından kaynaklandığı söylenebilir. Daha sonraki sürelerde korozyon hızındaki düşüşün ana nedeni ısıtılma işlemi ile yapıdaki karbürlerin çözünmüş olmasıdır. Bu durumda ısıtılma işlemi ile zayıflatılan C' dan bağlarını koparan krom, tanenin iç bölgelerinden tane sınırlarına gelerek korozyon açısından zayıflamış bölgeleri krom oksit oluşturarak tekrar güçlendiriyor ve doğal olarak ağırlık kaybının artmasına engel oluyor (Aydoğdu ve diğ. 2005). Şekil 7.3.2 2 saat korozyona maruz bırakılmış homojenleştirilmiş AISI 304L numunenin SEM fotoğrafı verilmiştir.

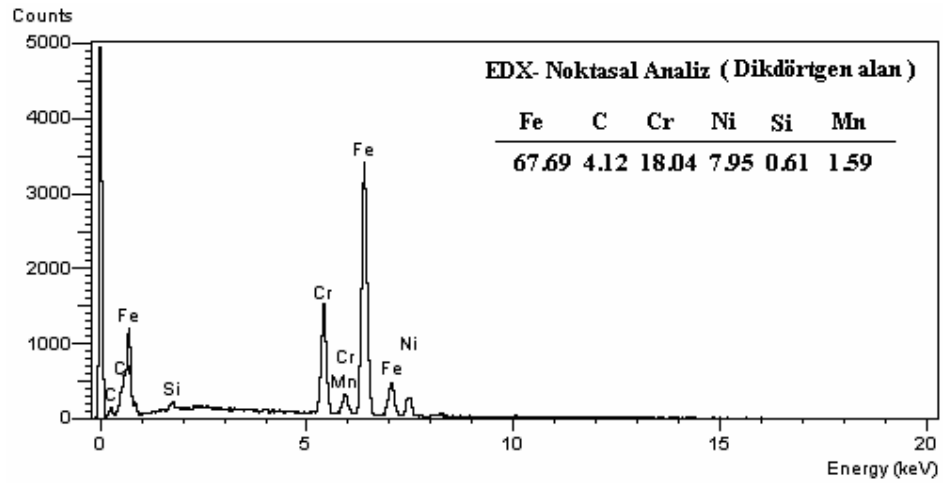


Şekil 7. 3. 2 saat korozyona maruz bırakılmış homojenleştirilmiş AISI 304L östenitik paslanmaz çelik numunenin SEM fotoğrafı (300X)

İşlemsiz numenin yüzeyinde, deneyin ilk 2 saatinde oluşmuş olan koruyucu tabakanın oluşum hızı homojenleştirilmiş numunenin oluşum hızından daha büyüktür. Daha sonraki zamanlarda bu numunenin korozyon hızında yükselmeler olmaktadır. Bu durum koruyucu filmin çözünme hızının oluşum hızından yüksek olması ile izah edilebilir (Eren, 2005) . Şekil 7. 3.3’ te 2 saat korozyona maruz bırakılmış işlemsiz AISI 304L numuneye ait SEM fotoğrafı ve EDX analizi görülmektedir.



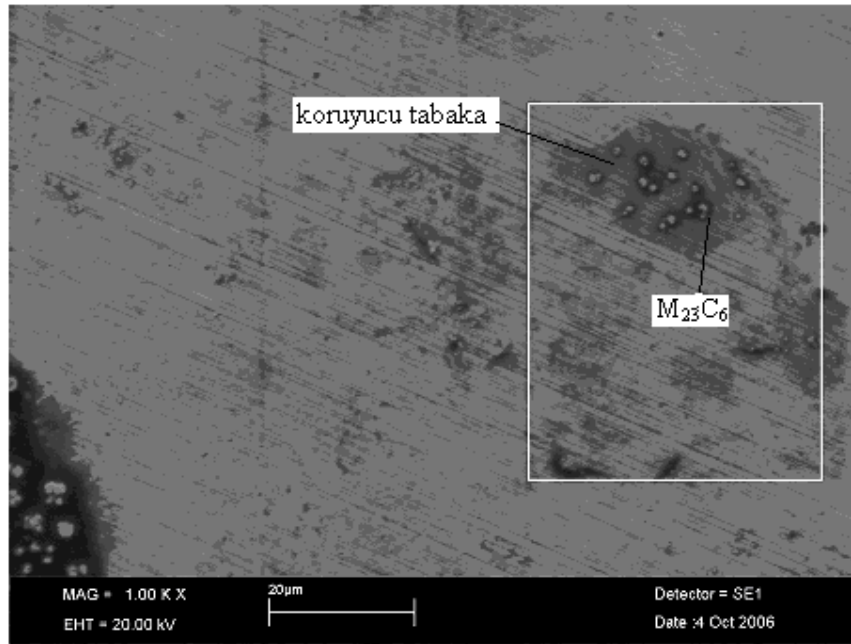
a



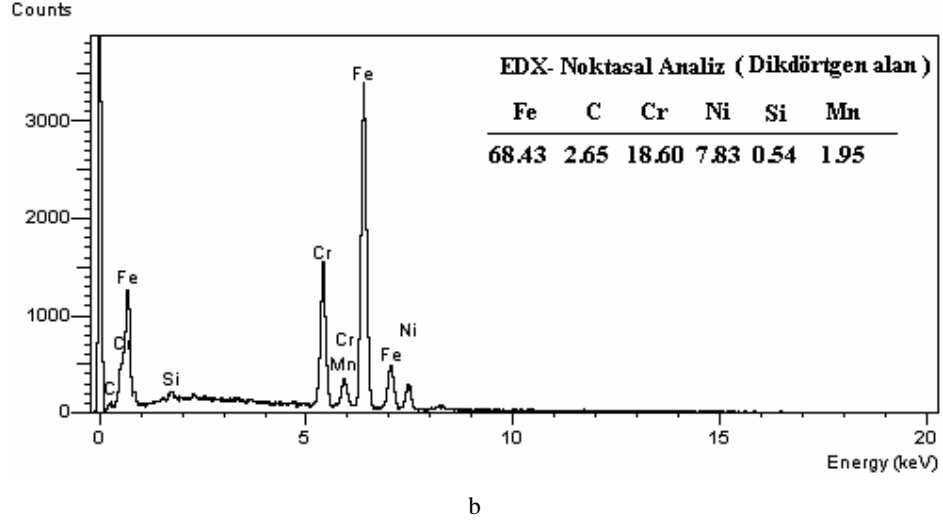
b

Şekil 7. 3. 3. 2 saat korozyona maruz bırakılmış işlemsiz AISI 304L östenitik paslanmaz çelik numunenin
a- SEM fotoğrafı (1000X) b- EDX analizi

Geçen zaman içerisinde homojenleştirilmiş numunenin korozyon hızında yükselişler ve düşüşler görülmektedir. Bu da krom tarafından oluşturulan koruyucu tabakanın çözülme hızının oluşma hızına denk olduğunu göstermektedir. 4.saatin sonunda homojenleştirme işlemi etkisini göstermiş ve korozyon hızlı bir şekilde düşmüştür. Bu durum yüzeyde koruyucu tabakanın oluşması ile izah edilebilir. Koruyucu tabakanın oluşma hızı çözülme hızından büyüktür (Eren, 2005). 8.saatin sonunda yüzeyde oluşan koruyucu tabaka Şekil 7. 3.4' te 8 saat korozyona maruz bırakılmış homojenleştirilmiş AISI 304L numunenin yüzeyinde oluşan koruyucu tabakayı gösterir SEM fotoğrafı EDX analizi verilmiştir.

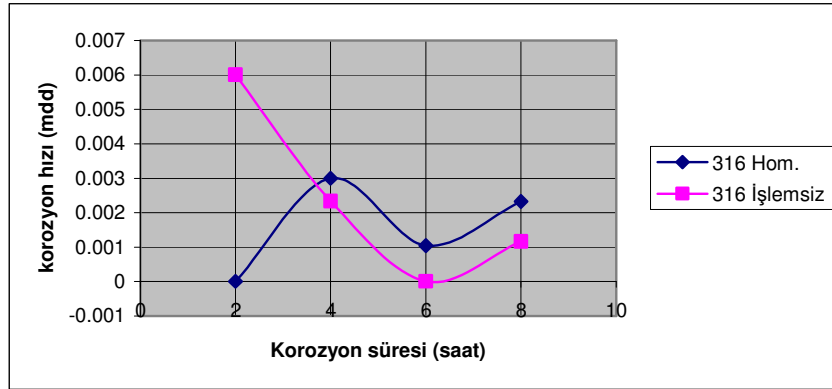


a



Şekil 7. 3. 4. 8 saat korozyona maruz bırakılmış homojenleştirilmiş AISI 304L östenitik paslanmaz çelik numunenin a- SEM fotoğrafı (1000X) b- EDX analizi

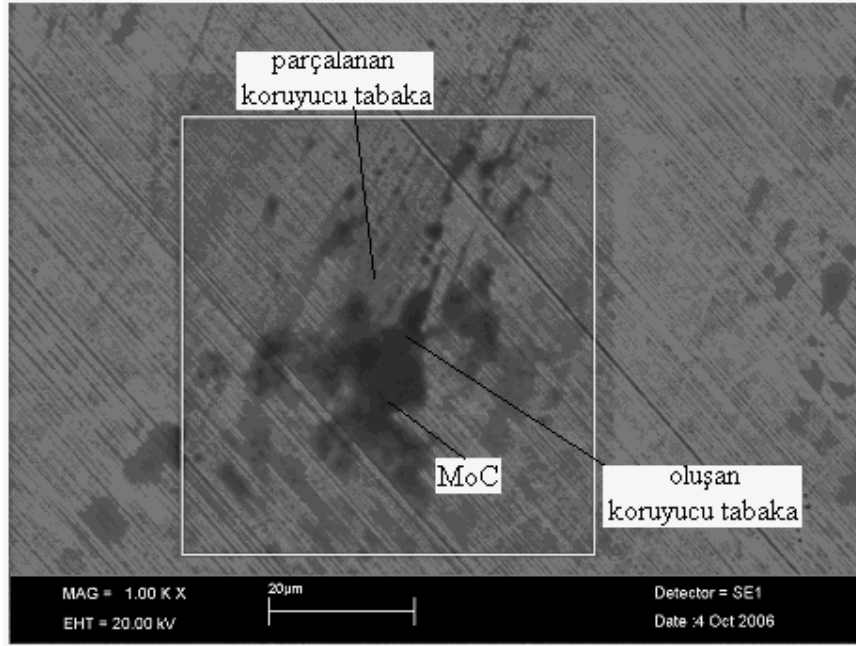
7.4. AISI 316 Östenitik Paslanmaz Çelik Numunelerin Korozyon Hız Grafiği Ve SEM-EDX Çalışmaları



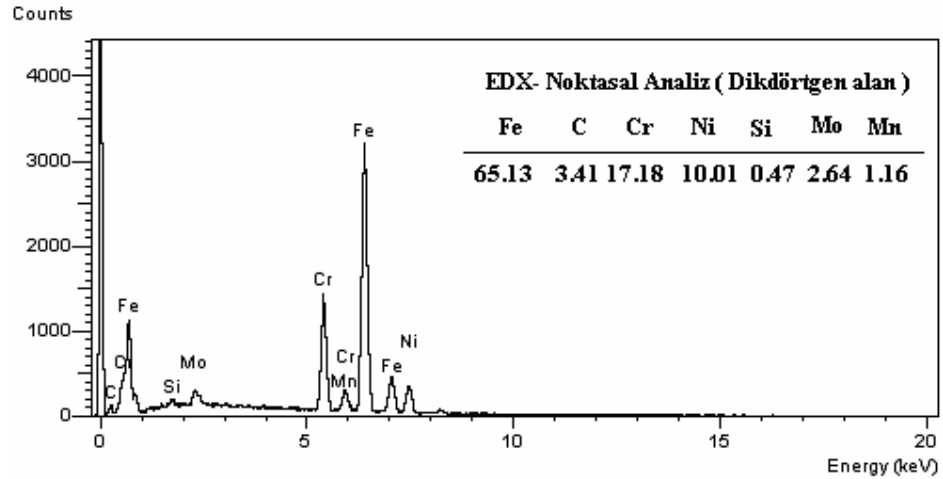
Şekil 7. 4. 1. AISI 316 östenitik paslanmaz çelik numunelerin mdd cinsinden korozyon hızları

Korozyon hız grafiğine (Şekil 7.4.1) göre en iyi korozyon direncine sahip numune, homojenleştirilmiş numunedir. Deney süresinin ilk iki saatinde en düşük korozyon hızı homojenleştirilmiş numunede gözlenirken, devam eden sürelerde her iki numunede de bir

taraf tan düşmeler bir taraf dan da yükselmeler gözlenmiştir. Bunun nedeni deney süresince oluşan koruyucu tabaka bir yandan parçalanmakta bir yandan da oluşmaktadır. Parçalanma hızı oluşma hızından yüksek olunca da korozyon hızı artmaktadır (Eren, 2005) . Şekil 7. 4.2’ de 4 saat korozyona maruz bırakılmış homojenleştirilmiş AISI 316 numunenin yüzeyinde oluşan ve parçalanmış koruyucu tabakaları gösteren SEM fotoğrafı EDX analizi verilmiştir.



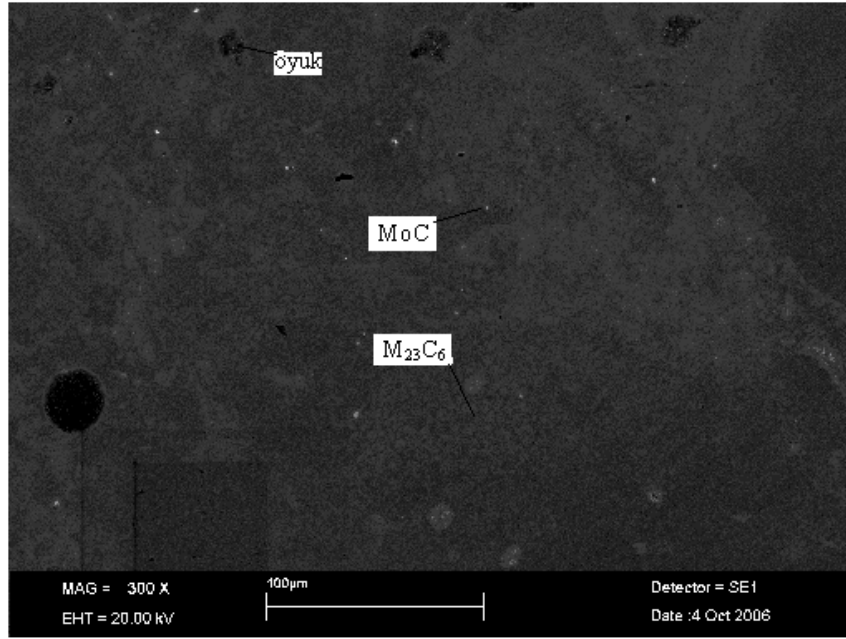
a



b

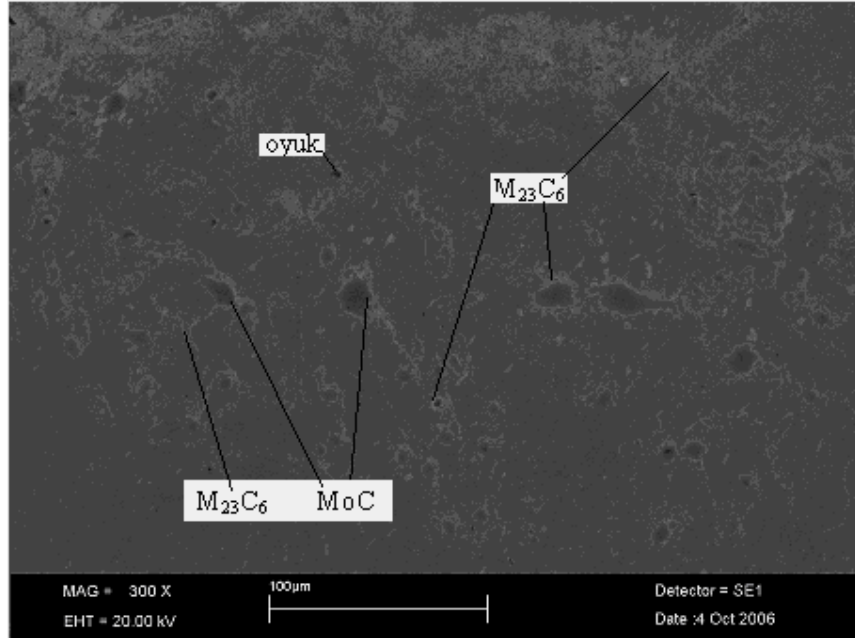
Şekil 7. 4. 2. 4 saat korozyona maruz bırakılmış homojenleştirilmiş AISI 316 östenitik paslanmaz çelik numunenin a- SEM fotoğrafı (1000X) b- EDX analizi

Mo elementi katkısı korozyon direnci üzerine olumlu etki yapmıştır. Bu olumlu etki homojenleştirilmiş numunede kendini daha iyi göstermektedir (Şekil 7.4.3). Çünkü homojenleştirme işlemi ile var olan $M_{23}C_6$ 'lerin etkisinin azalması sonucu korozyonun etkisi de azalmaktadır (Aydoğdu ve diğ. 2005).

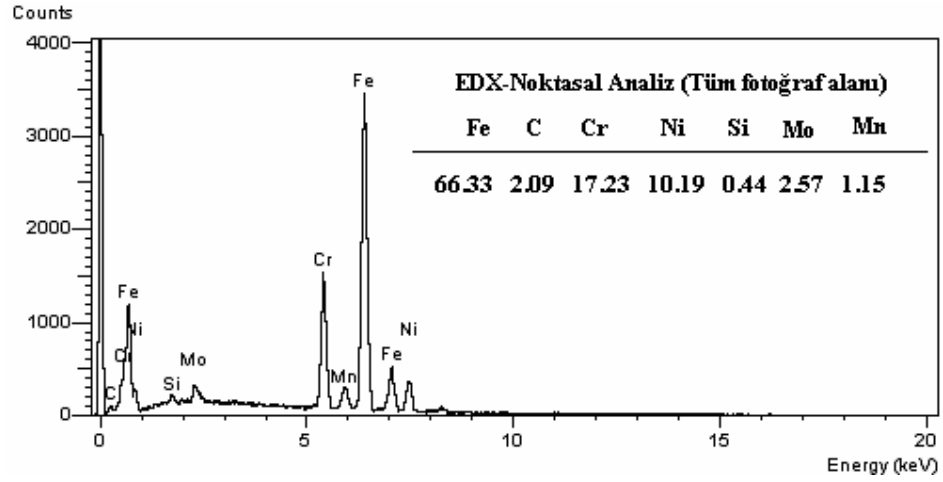


Şekil 7. 4. 3. 8 saat korozyona maruz bırakılmış homojenleştirilmiş AISI 316 östenitik paslanmaz çelik numunenin SEM fotoğrafı (300X)

AISI 316 östenitik paslanmaz çeliklere molibden katılması ile krom elementinin katkı oranı düşürülür (Tablo 6.1 ile Tablo 7.1). Kromun azalması karbonu çözünürlüğünü artırır ve $M_{23}C_6$ karbürün kinetiğini yavaşlatır. Molibden azda olsa kromun yerine geçerek (MoC) taneler arası korozyona sebep olacak karbür oluşum süreci, krom oranının azalması ile uzar. Molibden ilavesinin en önemli etkisi östenit fazındaki krom ve karbon yayılımını en az on kat yavaşlattır. Ayrıca karbürün molibden içermesi tane sınırlarında molibden tüketimine sebep olur (Bruemmer, 1990). Şekil 7. 4.4' te 8 saat korozyona maruz bırakılmış işlemsiz AISI 316 östenitik paslanmaz çelik numunenin MoC karbürü ve tane sınırlarında molibden tüketimini gösteren SEM fotoğrafı ile EDX analizi gösterilmiştir.



a



b

Şekil 7. 4. 8 saat korozyona maruz bırakılmış işlemsiz AISI 316 östenitik paslanmaz çelik numunenin
a- SEM fotoğrafı (300X) b- EDX analizi

8. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

1. Numuneler genel olarak kıyaslandığında ısıt işlemsiz numunelerin homojenleştirilmiş numunelere göre korozyon dirençlerinin kötü olduğu tespit edilmiştir. Homojenleştirilmiş numunelerin ise ısıt işlem süresinin yeterli olduğu durumlarda, gerek tane boyutundaki küçülme gerekse de karbürlerin çözünmüş olmasından dolayı korozyona karşı daha dirençli oldukları söylenebilir.

2. Numunelerde görülen korozyon tipi çukurcuk korozyonu ve taneler arası korozyon olup St 37 çeliğinde çukurcuk korozyonu; 304, AISI 304L ve AISI 316 östenitik paslanmaz çeliklerde ise hem çukurcuk hem de taneler arası korozyonu olarak görülmektedir.

3. Numuneler korozyon dirençleri açısından sıralanırsa en iyiden en kötüye doğru şöyle sıralanabilir; AISI 316 - AISI 304L- AISI 304 ve St 37. Yapılan homojenleştirme işleminin yeterli sürelerde olması durumunda da bu işlemin korozyon direncine olumlu yönde etki yaptığı gözlenmiştir. Korozyon direncinin AISI 316 ve AISI 304L çeliklerinde daha iyi olmasının nedeni bu çeliklerde kimyasal yapıları itibarı ile $M_{23}C_6$ oluşuna sebebiyet verecek C oranının (%0.003) düşük olmasıdır. Bunun yanında AISI 316 numunenin kimyasal içeriğinde Mo bulunması bu çeliğin korozyon direncini arttırdığı daha önce yapılan çalışmalarından da anlaşılmaktadır.

4. Tez verilerine göre, paslanmaz çelik numuneler açısından karbür oluşum sıcaklığı olmadığı sürece difüzör çözeltisi östenitik numunelerin taneler arası korozyon davranışı açısından çok fazla bir risk oluşturmayaacağı söylenebilir. Ancak St 37 düşük alaşımlı çelik üzerine kaplanacak olan östenitik paslanmaz çelikler tavlama veya kaynak işlemleri sırasında, yeteri kadar bir süre 500 °C - 800 °C aralığında kalırlarsa, taneler arası korozyona duyarlı hale gelirler. Bu tip korozyon yapının dış görünüşte bir değişiklik olmaksızın devam eder ve farkına varılmadan malzemeyi zayıflatır, bu durum şeker fabrikaları açısından çok tehlikelidir. Fabrika revizyon sırasında olabilecek tamir, bakımlar ve yapılacak kaynak işlemi düşünülünce bu konunun göz ardı edilmemesi gereği ortaya çıkmaktadır.

Bu tez sonucunda şeker fabrikaları difüzör ünitelerinde korozyon direnci açısından önerilecek paslanmaz çelikler önem sırasına göre; AISI 316, AISI 304L ve AISI 304' çelikleridir. Seçilecek olan paslanmaz çeliğin üretici firma tarafından üretim sonrasında 1100 °C homojenleştirme işlemine tabii tutulması karbür oluşum sıcaklığı sırasında karbür oluşmaması açısından önem arz etmektedir. St 37 çeliğinin ise çözeltiden normal şartlarda bile fazlaca etkilendiği ve korozyon hızının yüksek olduğu söylenebilir.

5. Bu deney için kule difüzörü en uygun pH (5.9) değerlerinde iken çözelti alındığı hatırlatılacak olunursa, daha düşük pH değerlerinde olabilecek metal kaybının daha fazla olacağı yapılan literatür çalışmalarından anlaşılmaktadır

9. KAYNAKLAR

ANIK, S., ANIK, E.S., VURAL, M.. (1993). 1000 Soruda Kaynak Teknolojisi El Kitabı. Birsen Yayın Evi, İstanbul

AYDOĞDU, G.H., AYDINOL, M.K., (2005) .AISI 316L Tipi Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Taneler arası Korozyona Duyarlılığının Elektrokimyasal Polarizasyon Yöntemiyle Belirlenmesi. Metalurji Dergisi, s.50.

BRUEMMER, S.M, (1990). Corrosion,. 46: p. 698.

COLLINS, J.A., MONACK, M.L., (1973), Materials Performance, Vol 12, 11

CORMON LTD.,(1987). Introduction to Corrosion Monitoring. Lancing, U.K.

DAVISON, R.M.,DEBOLD,T., JOHONSON, M.J., (1992). Corrosion of Stainless Steel, ASM Handbook, V13, 547-565

DORUK, M., (1982). Korozyon ve Önlenmesi. ODTÜ, Ankara

ERDEM, F., (2002). Şeker Fabrikasyonunda Korozyon. Şeker Enstitüsü Teknolojik Araştırmalar Müdürlüğü ve Korozyon Şubesi, Ankara

EREN, H., (2005). Ferritik Paslanmaz Çeliğin Korozyon Davranışına Karbür Yapıcı Elementlerinin Etkilerinin Araştırılması. Doktora Tezi, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü

ERDOĞAN, M., (1998). Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri. Nobel Yayın Dağıtım Ltd.Şti., Cilt I., Ankara, 288-346

ERDOĞAN, M., (2000). Mühendislik yapı ve özellikleri, Nobel Yayın Dağıtım Ltd.Şti., Cilt I., Ankara, 193-204

FAABORG, A.A., (1974). DDS-Diffusion' und ihre wiertschaftlichen Merkmale. Z., Zucker, 24 .6

GEENE, N.D., (1967). Corrosion Engineering. Mc Graw Hill Book Co.New York, U.S.A.

GENIE, G.V., (1982). Sugar Technol.Rev., 9.19

HONEYCOMBE, R., BHADSHIA, H. K. D. H., (1995). Steels Microstructure and Properties. 2nd ed., London: Edward Arnold

KATHLEEN, M., JOSEPH, R.Ç., (1992). Metallography and Microstructure.Data Puplicshers. ASM Handbook.9,U.S.A.

KORKUT, M.H., (1997).Ferritik Paslanmaz Çeliklerin Mikro yapısı ve Aşınması Üzerine Karbür Yapıcı Elementlerin Etkilerinin Araştırılması. Doktora Tezi, F.Ü.Fen Bilimleri Enstitüsü , ELAZIĞ

KORKUT, M.H., (2003). Korozyon Ders Notları. F.Ü.T.E.F. Metalurji Eğitimi Bölümü, Elazığ.

KRAUSS, G., (1993). Steels: Heat Treatment and Processing Principles Data puplishers.Asm İnternational Materials Park Ohio. 44073, U.S.A.

KARAVAIZOĞLU, N., KABASAKAOĞLU, M., (1998). Şeker Fabrikaları Kule Difüzöründe Kullanılabilecek Korozyona Dayanırlı Malzeme Seçimi İçin Elektrokimyasal İnceleme, Korozyon Bilimi ve Mühendisliği, Haziran

KARACİF, K.,İNEM, B., (2001). Düşük Karbonlu Bir Çeliğin Kaynağında Termomekanik İşlemin Mikro Yapı Ve Mekanik Özelliklere Etkisi. Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der .,Cilt 16, No 1, 1-8, Ankara

ODABAŞ, C., (2006). Paslanmaz Çelikler. Askaynak, İstanbul

ÖNAL, G., ÜNÜVAR, A., ŞİMŞEK, T., (2005). 5083 Al-Mg Alaşımında Mekanik Özellikler Üzerine Korozyon Etkisinin Araştırılması. Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 20, No 2, 191-196, Ankara

PARO, J., HANNINEN, H., KAUPPINEN, V., (2001). Tool Wear and Machinability of X5 CrMnN 18 18 Stainless Steels. Journal of Materials Processing Technology, Cilt 119, No 1–3, 14–20

ROMENSKII, N.P., (1978). Sakhar. Prom.15

R0SENQVIST, R., HALLANORO, H., AINALI, M., ZUCKERIND., (ERDEM,. F.) (1989). Difüzyonun Katodik Yöntem İle Korunması İle İlgili deneyimler. Şeker Fabrikası, Korozyon Enst., ANKARA

SPRIDINOVA, I.M., RAFAL'SKİ, V.F., and ROMENSKII, N.P. (1976) ,Sakhar.Prom.14

ŞENER, S., ATADAL, A.R., (1977). Korozyonu Önleme ve Kontrol Metotları.T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Mühendisler İçin Fabrika İçi Eğitim Merkezi Yayın no:16, Haziran, Ankara

SAVAŞKAN, T., (1999). Malzeme Bilgisi ve Muayenesi. KTÜ, Trabzon

SMITTH, W.F., (Kınıkoğlu, N.G)., (2001). Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul

SOURMAIL, T., (2001). Material Science and Technology. 17: p. 1.

SAHLAOUI, H., MAKHLOUF, K., SIDHOM, H., PHILIBERT, J., (2004). Material Science and Engineering,. A372: p. 98

TSYUKALO, Yu.F., RUD, V.D., KOLTLYAR, L.V., H'CHENKO, N.B., (1975). Sakhar. Prom., 42

TOCHKOVOI, V.A., (1976). Sakhar. Prom. n. 7,22

TISHCHENKO, G.P., (1984), Pishch. Prom., N.P. Sb. Tekhnika, Kiev, n. 4,40

TRENT, E.M., (1989). Metal Cutting, Butterworths Pres, London

ÜNERİ, S., (1998). Korozyon ve Önlenmesi. Ankara

ÜRGEN, M., (1989). Paslanmaz Çeliklerin Korozyonu. Korozyon Bilimi ve Mühendisliği, Haziran

ÜRGEN. M., ÇAKIR, A. F., (1990) . Molibdenin Paslanmaz Çeliklerin Korozyonu Üzerindeki Etkisi. II. Korozyon Sempozyumu, ODTÜ, Ankara

VACCARI G., VALENTZA, I., SGUALDINO, G., TURTURA, G., ZANI, G.C.,(1986) Ind. Sacc. Ital., 79

VISWANATHAN, R., (1993). Damage Mechanisms and Life Assesment Of High-Temperature Components. Carnes Puplication Services, A.S.M International, Metal Park Ohio, U.S.A.

YAVOR, V.A., GITEL'MAN, M.M., KOVINSKAI, S.U., ROMENSKII, N.P., (1980), Pishch. Prom., N.P. Sb. Tekhnika, Kiev,n.39

YILDIRIM, M.M., (1984). Malzeme Bilgisi III.Alaşım ve Plastikler, F.Ü., Mühendislik Fakültesi Basımevi, Elazığ

YILDIRIM, M.M., (1996). Paslanmaz Çelik Tozlarının Toz Metalurjisi Üretim Teknikleriyle Değerlendirilmesi. I.Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı, Bildiri Kitabı, 631-640.G.Ü., Ankara

YALÇIN, H., KOÇ, T., (1998). Mühendisler İçin Korozyon. TMMOB Kimya Mühendisleri Odası Yayını, Ankara.

YILDIRIM, M.M., DOĞANTAN, Z.S., ÇAKAN.,A., PAKDİL, M., (2001).Mühendislik Malzemeleri II. Mustafa Kemal Üniv., Yayınları, No:10, MKÜ Basımevi, İskenderun, 87-138

YALÇIN, H., GÜRÜ, M., (2002). Malzeme Bilgisi. Palme Yayıncılık, Ankara,

ZUMELZU, E., GOYOS, I, CABEZAS, C., OPITZ, O., PARADA, A., (2002). Wear And Corrosion Behaviour Of High Chromium (14-30Cr) Cast Iron Alloys. Journal of Materials Processing Technology, 128, 250-255.

ÖZGEÇMİŞ

1979 yılında Diyarbakır'ın Silvan ilçesinde doğdum. İlk ve orta öğrenimimi burada tamamladıktan sonra 1997 yılında Fırat üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metalurji Eğitimi Bölümü'ne girdim ve 2001 yılında buradan mezun oldum. 2003 yılında öğretmenliğe başlamış olup halen Erzincan Anadolu Teknik ve Endüstri. Meslek Lisesinde Metal Teknolojileri Alan öğretmeni ve okul Md. Yrd. olarak görev yapmaktayım.