

**BORU HATTI TAŞIMACILIĞINDA KULLANILAN
St37 KALİTE ÇELİĞİN KAYNAKLI HALDE
KOROZYON DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

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

Tarık MENTEŞ

**BORU HATTI TAŞIMACILIĞINDA KULLANILAN S37 KALİTE ÇELİĞİN
KAYNAKLI HALDE KOROZYON DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

Tarık MENTEŞ

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

**KARABÜK
Ocak 2014**

Tarik MENTEŞ tarafından hazırlanan “ BORU HATTI TAŞIMACILIĞINDA KULLANILAN St37 KALİTE ÇELİĞİN KAYNAKLI HALDE KOROZYON DAVRANIŞININ İNCELENMESİ ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Hayrettin AHLATCI

Tez Danışmanı, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı



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

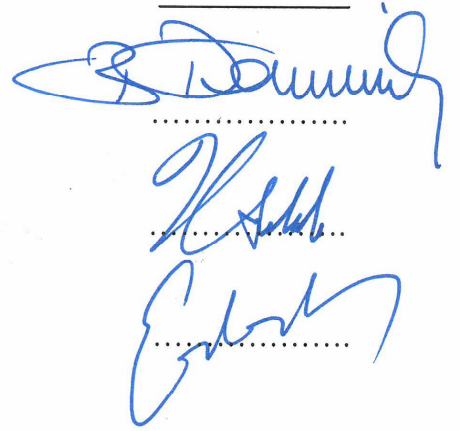
Unvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Bilge DEMİR (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Hayrettin AHLATÇI (KBÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Erkan KOÇ (KBÜ)



.../.../2014

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

Prof. Dr. Mustafa BOZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



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

Tarık MENTEŞ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BORU HATTI TAŞIMACILIĞINDA KULLANILAN St37 KALİTE ÇELİĞİN KAYNAKLI HALDE KOROZYON DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Tarık MENTEŞ

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Hayrettin AHLATCI

Ocak 2014, 53 sayfa

Gaz, petrol ve su taşımacılığında yüksek basınçlı kimyasal sıvı ya da gaz akışkanlarını taşıyan değişik boru hatları, boru iç yüzeyleri içinden geçen akışkana maruz kalırken dış yüzeyleri içinde buldukları ortama (toprak, deniz suyu, atmosfer gibi) açık halde bulunurlar. Aynı malzemedен yapılmış olsalar da farklı ortamlara açık bulunan boru hatları değişik korozyon davranışı gösterebilirler. Bu çalışmada St37 (S235JR) kalite çeliklerinden imal edilmiş şebeke suyu hatlarında kullanılan borulardan çıkartılan 20 mm X 15 mm X 230 mm ölçülerindeki numune plakalar ASTM G58 standardına uygun olarak kaynaklı ve kaynaksız olarak gerilmeli ve daldırılmalı korozyon testlerine tabi tutulmuştur. Plakalar gazaltı ve elektrik ark (selülozik) kaynak yöntemi kullanılarak birleştirilmiştir. Korozyon testleri, ağırlık kaybı ölçümleri ve potansiyodinamik polarizasyon ölçümleri ile gerçekleştirilmiştir. Esas metal, gazaltı kaynaklı ve elektrik ark kaynaklı düz ve U şekilli St37 (S235JR) kalite boru numunelerinin daldırma yöntemi ile korozyon

deneyleri yapılmıştır. Daldırma korozyonu sırasında ihtiyaç duyulacak ölçüm sıklıkları, U şekilli numunelere uygulanacak gerilme miktarı gibi parametreler araştırılıp, çalışma için uygun olacak değerlerin seçimi yapılmıştır. Daldırma korozyonu çözeltisi olarak %3,5 NaCl+%10 HCl ve %3,5 NaCl+%10 NaOH belirlenmiştir. Daldırma korozyonunda hazırlanan çözelti içerisinde bekletilen numuneler belirli zaman aralıklarında ağırlık kaybı ölçümleri hassas terazi ile yapılarak çözeltilere tekrar daldırılmıştır. Ağırlık kaybı değerlerine bakıldığında gazaltı ve elektrik ark kaynaklı numunenin ana metale göre biraz daha fazla korozyona uğradığı gözlenmiştir. HCl içeren çözelti NaOH çözeltisinden çok daha agresiftir. Sonuç olarak HCl çözeltisi ağırlık kaybını yaklaşık 800 kat artırmıştır. Korozyon testine tabi tutulmuş numunelerde kesitin orta çizgisinde (nötr ekseninde) uzunlamasına çatlak oluşumu şeklinde hasar meydana gelirken, kaynaklanmış numunelerde ilave olarak kaynak yüzeyinde oyuk oluşumu da gözlenmiştir.

Anahtar Sözcükler : St37 (S23JR) kalite boru hattı, gerilmeli korozyon, potansiyodinamik, polarizasyon.

Bilim Kodu : 915.1.092

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

CORROSION BEHAVIOUR OF St37 QUALITY STEEL USED IN PIPELINE TRANSMISSION

Tarık MENTEŞ

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Metallurgy and Materials Engineering

Thesis Advisor:

Assoc. Prof. Dr. Hayrettin AHLATÇI

January 2014, 53 pages

Different types of pipelines that enable the flow of high pressure chemical solutions or gases, used in water, natural gas or petrol distribution, have their internal surfaces exposed to the flowing material while their external surfaces are exposed to the environment (soil, sea water , atmosphere etc.). Even though these pipes are made of the same material, the environmental effects they are exposed to results in different corrosion behaviour. In this study, sample plates of 20 mm X 15 mm X 230 mm dimensions obtained from pipes made from St37 (S235JR) quality steel, used in the water distribution networks, have been subjected to stress and dip corrosion tests in accordance with ASTM G58 standards. Plates have been joined using gas metal and electrical arc welding. Corrosion tests were carried out using weight loss and potentio-dynamic measurements. The corrosion tests of the base metal and the U shaped St37 (S235JR) quality pipe samples were subjected to corrosion test using the dip method. Parameters such as the measurement intervals and the amount of

stress to be used for the U shaped samples were researched and the appropriate values for for the study were determined. A composition of %3.5 NaCl+%10 HCl and %3,5 NaCl+%10 NaOH was selected for the dip corrosion solution . The samples that were left in the dip corrosion solution were measured by a sensitive balance at specific intervals for weight loss and then replaced back into the solution. When the weight loss figures are investigated, it was determined that the gas metal and electrical arc welded samples had been subjected to more corrosion than the base metal. The solution containing HCl is more aggressive than the solution with NaOH. In conclusion, HCl solution increased weight loss by a factor of 1 to 800. While there was, a lengthwise crack formed in the middle line of the cross section of the samples subjected to the corrosion test, in the welded samples formation of cavities was observed on the welded join surface.

Key words : St37 (S235JR) Quality pipeline, stress corrosion, potentio-dynamic polarization.

Science Code : 915.1.092

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Doç. Dr. Hayrettin AHLATCI'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmalar sırasında yardımlarını esirgemeyen, Selçuk Üniversitesi Teknoloji Fakültesi öğretim üyesi, hocam Sayın Prof. Dr. Mustafa ACARER'e Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi araştırma görevlisi, hocam Harun ÇUĞ'a Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi lisans öğrencileri, Makbule DUMAN ve Caner TÜMER'e, deneysel çalışmalarım için St37 (S235JR) kalite çeliğinin temini ve numune hazırlanmasında yardımlarını esirgemeyen Ümran Boru Fabrikasına teşekkürü bir borç bilirim.

Yüksek lisans öğrenciliğim boyunca yardım ve desteklerini esirgemeyen Ugetam A.Ş. Yönetim Kurulu Başkan'ı, hocam Sayın Prof. Ümit Doğay ARINÇ'a, Ugetam A.Ş. Genel Müdürü Sayın Serkan KELEŞER'e, Ugetam A.Ş. Eğitim ve İş Geliştirme Müdürü Sayın Selim Serkan SAY'a teşekkürlerimi arz ederim.

Sevgili eşim Ayşenur YILDIRIM MENTEŞ'e manevi hiçbir yardımı esirgmeden yanımda olduğu için tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiii
BÖLÜM 1.	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	3
GERİLMELİ KOROZYON	3
2.1. ÇATLAK MORFOLOJİSİ	5
2.1.1. Önemli Örnekler	10
2.2. KIRILMA MEKANİZMASI GERİLİMLİ KOROZYONA UYGULANMASI	11
2.3. GERİLMELİ KOROZYONA ETKİ EDEN FAKTÖRLER	13
2.3.1. Gerilim Etkileri (Gerilim – Kırılma Zamanı İlişkisi).....	13
2.3.2. Kırılma- Zaman İlişkisi	14
2.3.3. Çevre Faktörleri (Duyarlı Malzeme – Etken Ortam İlişkisi).....	15
2.4. GERİLMELİ KOROZYONUN OLUŞUM MEKANİZMASI.....	18
2.4.1. Önleme Metotları	19
2.4.2. Gerilmeli Korozyon Hasar Analizi	21
2.5. YORULMA VE KOROZYONLU YORULMA	22
2.5.1. Çevre Faktörleri	24
2.5.2. Mekanizma	24
2.5.3. Korozyonlu Yorulmanın Önlenmesi	25

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 3.	26
DENEYSEL ÇALIŞMALAR.	26
3.1. DENEYLERDE KULLANILAN MALZEMELER	26
3.2. MEKANİK ÖZELLİKLER	27
3.3. KOROZYON DENEYİ	29
3.4. MİKROYAPI KARAKTERİZASYONU.....	30
BÖLÜM 4.	31
DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	31
4.1. MİKROYAPIKARAKTERİZASYONU SONUÇLARI.....	31
4.1.1. Kaynak Bölgesi.....	31
4.1.2. Isı Tesiri Altında Kalan Bölgeler	33
4.1.2.1. İri Taneli Bölge.....	33
4.1.2.2. İnce Taneli Bölge.....	34
4.1.2.3. Kısmen Dönüşüme Uğramış Bölge	34
4.1.3. Esas Metal.....	35
4.2. MEKANİK TEST SONUÇLARI.....	36
4.3. KOROZYON DENEYİ SONUÇLARI	38
4.3.1. Korozyon Deneyi Sonrası Görünüm.....	42
BÖLÜM 5.	48
GENEL SONUÇLAR.....	48
KAYNAKLAR.....	50
ÖZGEÇMİŞ.....	53

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. U şekilli numunelerin şematik gösterimi	26
Şekil 3.2. Schimadzu marka HMV model mikro sertlik cihazı.....	28
Şekil 3.3. Çekme ve eğme-katla testi için kullanılan çekme cihazı.....	28
Şekil 3.4. Mikrosertlik ölçümleri alınan bölgeler	29
Şekil 3.5. Potansiyodinamik Polarizasyon deneylerinde kullanılan potansiyostatik yöntemle çalışan statik korozyon deney düzeneği.....	30
Şekil 3.6. Leica marka DMILM model optik ışık mikroskobu	30
Şekil 4.1. Düşük karbonlu çeliklerin kaynak metali için sürekli soğuma eğrileri. .	32
Şekil 4.2. Gazaltı kaynaklı numune	32
Şekil 4.3. Elektrik ark kaynak mealinin merkezi.....	33
Şekil 4.4. Kaynaklı parçanın ITAB iri taneli bölgesi.....	33
Şekil 4.5. Kaynaklı parçanın ITAB ince taneli bölgesi.....	34
Şekil 4.6. Kaynak metaline geçiş.....	34
Şekil 4.7. Lamelli yapıdan kaynak metaline geçiş.....	35
Şekil 4.8. Esas metal	35
Şekil 4.9. Düz numunelerin zamana bağlı olarak ağırlık kaybı sonuçları.....	39
Şekil 4.10. Düz numunelerin zamana bağlı olarak korozyon akımı ve korozyon potansiyelinin değişimi.....	40
Şekil 4.11. % 3,5 NaCl+%10NaOH çözeltisi içerisindeki düz numunelerin zamana bağlı olarak korozyon akımı ve korozyon potansiyelinin değişimi	41
Şekil 4.12. Kaynaklı numunelerin 936 saat sonrasındaki genel görünüşü.....	42
Şekil 4.13. Kaynaklı numunelerin 936 saat sonrasındaki yandan görünüşü.....	43
Şekil 4.14. U şekilli numunenin 336 saat sonrası yüzeyin genel görünüşü	44
Şekil 4.15. Kaynaklı numunenin kaynak bölgesinin yandan görünüşü	45
Şekil 4.16. U şekilli numunelerde zamana bağlı kümülatif çatlak boyutlarının değişimi.....	46
Şekil 4.17. Korozyon deneyi sonrası hasarın görünümü.....	47

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. Metal ve alaşımların gerilimli korozyonuna neden olan ortamlar	16
Çizelge 3.1. Deneysel çalışmada kullanılan St37 (S235JR) kalite çelik malzemenin kimyasal bileşimi	27
Çizelge 3.2. Gazaltı kaynakla birleştirmede kullanılan elektrodun kimyasal bileşimi.....	27
Çizelge 3.3. Elektrik ark kaynakla birleştirmede kullanılan selülozik elektrodun kimyasal bileşimi.....	27
Çizelge 4.1. Gazaltı kaynaklı numune mikrosertlik değerleri alınan bölgeler ve mikrosertlik değerleri	37
Çizelge 4.2. Elektrik ark kaynaklı numune mikrosertlik değerleri alınan bölgeler ve mikrosertlik değerleri	37
Çizelge 4.3. Düz numune üst kısım gazaltı ve elektrik ark kaynak bölgeleri ve sertlik değerleri.....	38

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

Cl : klor

Ni : nikel

Cr : krom

Al : alüminyum

Fe : demir

Zn : çinko

Cu : bakır

H₂ : hidrojen

Pb : kurşun

Na : sodyum

KISALTMALAR

ASTM : American Society for Testing and Materials (Amerika Deneme ve Malzeme Topluluğu)

IGSCC: Intergranuler Stress Corrosion Cracking (taneler arası gerilmeli korozyon çatlaması)

ITAB : Isı Tesiri Altında Kalan Bölge

K : Gerilme şiddet faktörü

HV : Vickers sertliği

NaCl : Sodyum Klorür

NaOH : Sodyum Hidroksit

H₂S : Hidrojen Sülfür

SO₄ : Sülfat

H₂SO₄ : Sülfirik Asit

°F : Farad

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Korozyon, zaman zaman petrol rafineri ve petrokimya operasyonlarında ve/veya boru ile su taşımacılığında sorun oluşturmuştur. Bu tür fırın boruları, vanalar ve boru hatları gibi petrokimya proses elemanları, sık sık yüksek sıcaklık ve korozif ortamlarında çalışmaktadır. Bu nedenle, mükemmel mekanik dayanım ve tokluğundan dolayı ısı ve korozyona dayanıklı alaşımlar, örneğin, ostenitik paslanmaz çelikler, petrokimya sektörlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, klorür içeren sıcak ortamlarda, çukur, çatlak oluşumu , ve gerilmeli korozyon çatlama sık sık karşılaşılan hasar tipleridir [1-10]. Buna ek olarak, bu faktörlerin en önemlisi, petrokimya endüstrisi ve yapısal malzemeleri kullanan endüstrilerdeki korozyonu etkileyen klor iyonu (Cl-) ve hidrojen sülfid (H₂S) olduğu saptanmıştır [11-26].

Hafif su reaktörü nükleer santraller, yüksek sıcaklıktaki suda düşük alaşımlı ve paslanmaz çeliklerin gerilmeli korozyon çatlama üzerinde birçok araştırmalar yapılmıştır. Elektrod potansiyeli ve sülfat (SO₄-2) iyonu kaynaklanmış malzemelerin gerilmeli korozyonunda önemli çevresel parametrelerdir [27-29]. Düşük alaşımlı gemi çeliğine paslanmaz çelik boru kaynakla birleştirildiği durumlarda gerilmeli korozyon meydana geldiği rapor edilmiştir. Gerilmeli korozyon, yüksek elektrod potansiyelinde kaynaklanmış yapının genellikle geçiş bölgesinde gözlenmiştir.

Li ve Congleton ile Li, Charles ve Congleton, birbirlerine kaynaklanmış düşük alaşımlı ve paslanmaz çelik numunelerin gerilmeli korozyon davranışını SO₄-2 iyonu içeren çözelti içerisinde incelemişlerdir. Düşük alaşımlı çelikten paslanmaz çeliğe doğru kaynaktaki geçiş bölgesinin korozyona karşı daha duyarlı olduğu bulunmuştur [5,6].

Chen ve arkadaşları, 321 kalite paslanmaz çeliğin, petrokimya prosesini simule eden 80 veya 300 °C sıcaklığındaki hidrojen sülfür ve klorürlü çözeltileri içindeki gerilmeli korozyon duyarlılığını incelemişler ve gerilmeli korozyon hasar şiddeti, sırasıyla Cl⁻ iyon konsatrayonu, çözeltinin pH'ı ve sıcaklık ile arttığını bulmuşlardır [18].

Isıl işlemsiz ve ısıl işlemlili 30Cr2Ni4MoV kalite rotor çeliklerinin yüksek sıcaklık çözeltisi içerisindeki elektro kimyasal polarizasyon eğrisi ve gerilmeli korozyon testleri sonucu, çeliğin akma dayanımının azalması ile gerilme şiddet faktörünün arttığı ve gerilmeli korozyon direncinin arttığı rapor edilmiştir [8].

304 kalite paslanmaz çeliklerin magnezyum klorür çözeltisi içerisinde gerilmeli korozyon duyarlılığını incelerken Turnbull ve Zhou ise geleneksel ve ileri turbin bıçak çeliklerinin yüksek klorür içeren çözelti içerisindeki gerilmeli korozyon davranışını incelemişlerdir [9].

Ramamurthy ve arkadaşları, soğutma sonrası 4340 ve 3.5NiCrMoV çeliklerin gerilim korozyonlu çatlaması 30°C'de 2 g / l arsenik trioksit içeren 0,5 M H₂SO₄ çözeltisi içinde Lineer Artan Gerilme Testine tabi tutulan numunelerin ölçü uzunluğunun uygulanan katodik akım ile hidrojen şarj koşullarında incelemişlerdir [10]. Ölçülen gerilmeli korozyon hızı, uygulanan gerilme oranı ile artmıştır.

Bu çalışmada boru hatlarında kullanılan St37 (S235JR) kalite çeliklerin birleştirilmesinde kullanılan gazaltı ve elektrik ark kaynağının gerilmeli korozyon davranışlarına etkileri incelenmiştir.

BÖLÜM 2

GERİLMELİ KOROZYON

Gerilmeli korozyon hem mekanik gerilim ve hem de korozif ortam etkisinin malzeme üzerinde aynı zamanda yoğunlaşması ile meydana gelir. Saldırgan ortamlarla temas halinde olan makine parçaları ve metal yapıların çoğu mekanik gerilimler altındadır. Yüksek basınçlı kaplar, buhar kazanları, içten yanmalı motorların silindir gömlekleri, pompa mili ve rotoru verilebilecek çok sayıda örnekten birkaçıdır. Gerilimli korozyon aynı zamana rastlayan korozif ve mekanik etmenlerin yol açtığı bozunma türü olarak tanımlanabilir. Bozunma parça yüzeyinde mevcut çatlaklar veya gerilim yoğunlaşmasına olanak sağlayan diğer geometrik düzensizliklerle başlar (örneğin, çukurcuk korozyonunun parça yüzeyinde oluşturduğu çukurcuklar mekanik gerilimlerin de etkisi altında giderek keskin uçlu çatlaklara dönüşebilirler). Çatlaklar mekanik gerilimlerin büyüklüğü ve çevresel koşulların etkenliğine bağlı olarak belirli hızlarla malzeme içine doğru yürürler. Parça kesitinin mevcut yükleri taşıyamayacak ölçüde daralması sonucu ani kopmalar meydana gelir [30].

Araştırmaların çoğu, korozif ortamlarda oluşan kırılma hareketlerinin tümünü, hidrojen kırılabilirliği da dahil, gerilimli korozyon olarak yorumlamışlardır. Ancak, kırılmaya yol açan bu iki çeşit olay, ortam değişkenlerine farklı şekillerde cevap vermektedir. Meselâ, katodik koruma, gerilmeli korozyonu önlemede etkili bir yöntemdir. Halbuki aynı yöntem hidrojen kırılabilirliğini son derece hızlandırır.

Gerilimli korozyon esnasında malzeme, yüzeyinden pek fazla korozyona uğramadığı halde, ince çatlaklar malzemenin içine doğru ilerler.

Gerilimli korozyonun iki klasik şekli pirinçte görülen mevsime bağlı bozulma ve çelikte görülen "kostik kırılabilirlik". Şimdi, artık kullanılmayan modası geçmiş olan

bu ifadeler gerilimli korozyona neden olan çevre şartlarını ifade eder. Mevsime bağlı kırılma bilhassa pirinçten yapılmış fişek kartuşlarında ortaya çıkar. Bilhassa tropik bölgelerde yağışın fazla olduğu devrelerde, pirinç fişek kartuşlarında, kartuşun mermiye doğru kıvrıldığı noktalarda kırılmalar gözlenir. Mevsime bağlı bozulmada, önemli çevre etkeninin, organik maddelerin ayrışmasından meydana gelen amonyak olduğu daha sonraki çalışmalar sonucu anlaşılmıştır.

İlk buharlı lokomotiflerin perçinlenerek yapılmış buhar kazanlarında çok defa patlamalar olmuştur. Bu patlamaların sebebi perçin deliklerinin kırılma dayanımından ileri gelmekteydi. Bu kısımlar perçinleme işlemleri sırasında soğuk işleme tabi tutulan kısımlardır. Bu kısımlarda beyazımsı birikintilerin analizi kostik özellik gösterir. Kostik mevcudiyetindeki bu çeşit bozulmaya "kostik kırılma dayanımı" denilmektedir. Bozulmada meydana gelen çatlaklar çok ince ve çok fazladır.

Malzemelerin gerilimli korozyona karşı duyarlılıkları ortama göre değişebilir. Meselâ ostenitik paslanmaz çelikler klorür içeren ortamlarda gerilimli korozyona uğramalarına karşın, amonyaklı ortamlardan etkilenmezler. Buna karşılık pirinçler amonyaklı ortamlarda gerilimli korozyona uğramalarına rağmen klorürlü ortamlardan etkilenmezler. Genel olarak söylenecek olursa bir malzemenin gerilimli korozyona uğradığı ortamların sayısı o kadar fazla değildir. Mesela paslanmaz çelikler sülfirik, nitrik, asetik asit veya saf suda gerilimli korozyona uğramazlar sadece klorür ve kostikli ortamlardan etkilenirler.

Gerilimli korozyonun en önemli özelliği kimyasal ve mekanik etkilerin birbirlerini destekler nitelikte gelişmeleridir. Bu nedenle aynı zamana rastlamayan korozyon ve mekanik etkilerin toplamı gerilimli korozyon olarak nitelenemez. Gerilimli korozyonun oluşabilmesi için gerekli koşulları şöyle özetleyebiliriz: (1) Duyarlı bir malzeme, (2) etken bir ortam, (3) çekme gerilimi ve (4) zaman. Kısaca gerilimli korozyonu etkileyen önemli değişkenlerin başlıcaları, sıcaklık, çözelti bileşimi, malzeme bileşimi, gerilim ve metalin yapısal oluşumudur [30].

2.1. ÇATLAK MORFOLOJİSİ

Gerilimli korozyon çatlakları mekanik kırılmayı ortaya çıkaran belirteçlerdir. Aslında bu çatlaklar korozyon olayının tüm mekanizmalarının bir sonucu olarak ortaya çıkar. Aslına bakılacak olursa gerilimli korozyon bozulması bile tam manasıyla mekanik olayların sonucunda oluşmaz.

Büyük önemine karşın, gerilimli korozyonun oluşum düzenleri yeterince aydınlatılamamıştır. Bu nedenle en geçerli yaklaşımın kısa bir tanımı ile yetineceğiz. Gerilimli korozyon koşullarında parçanın kırılma zamanını, çatlak oluşumu ve çatlak büyümesi dönemlerinin toplamı olarak düşünebiliriz. Bilinen usullerle imal edilen parçalar çoğunlukla çıplak gözle görülemeyecek küçüklükte yüzeysel çatlaklarla donatılmış olarak hizmete sokulurlar. Bu durumda kırılma zamanını, yani parçanın ömrünü belirleyen ana etmen çatlak büyüme hızıdır [31].

Bir metalin hidrojen çıkışı ile korozyona uğradığını ve aynı zamanda bazı kısımlarının gerilim altında bulunduğunu ve aynı zamanda metal içine giren hidrojenin gerilimin aşırı olduğu bölgelerde bir çatlama yaptığını ve korozif çözeltinin bu çatlaklarda metale etki ettiğini düşünelim. Metal yüzeyinde bir çatlak meydana gelince çatlağın içi, metalin yüzeyinden tamamen farklı davranabilir. Örneğin metal yüzeyi oksitle kaplı iken çatlak içinde metal yüzeyinde oksit bulunmaz. Metal çözünmesi daha çok çatlak içinde, hidrojen çıkışı metal yüzeyinde olur.

Korozyona uğrayan bir metalin tümüne bir gerilim uygulandığını düşünelim. Bu gerilim metalin kopması ya da parçalanmasına neden olacak bir büyüklükte olmayıp esneklik gerilim sınırları içinde bulunsun. Bu uygulanan gerilim kaldırılırsa, metal yeniden başlangıçtaki boyutlarına döner, ama bu yerel gerilimlerin ortalama gerilime eşit olması demek değildir. Çatlakların dibinde anormal yüksek gerilim değişimleri, yalnız dıştan uygulanan gerilimden oluşmaz, yüksek gerilim metalin fabrikada hazırlandığı sırada onun yapısı ile ilgili kalıcı gerilimlerden de kaynaklanabilir. Örneğin bir çelik kazanda kaynak ya da perçinlerin dolayında kalıcı gerilimler bulunabilir.

Gerilmeli korozyon çatlaması, dış ya da iç gerilim kuvvetleri ile yerel korozyonların ortak etkisi sonucudur. Basma kuvveti ise gerilmeli korozyon çatlaması üzerine inhibitör etkisi yapar.

Gerilmeli korozyon çatlaması arı metallerde çok seyrek olarak görülür, bir kısmında hiç olmaz, ama alaşımlarda çok sık karşılaşılr. Alaşımlarda mikro korozyon hücrelerinde yerel korozyon şansı daha büyüktür. Gerilmeli korozyon çatlaması bazen tane sınırları ya da kaymış düzlemlerde metallar arası çökeltmelerle ilgilidir.

Gerilmeli korozyon çatlamasının elektrokimyasal yapısı gerek çatlamasının başlaması ve gerekse çatlağın genişleyip büyümesi bakımından, metalların katodik polarizasyonu yardımı ile açıklanabilmiştir. Katodik polarizasyon hem Gerilmeli korozyon çatlamasının olmasını ve hem de başlamış çatlamaları önlemektedir. Çatlağın ilerlemesi için gerekli gerilim ve korozyonun müşterek etkisi Priest tarafından gösterilmiştir. İlerleyen bir çatlama katodik koruma ile durdurulmuş ve katodik koruma ortadan kaldırıldığı zaman çatlama devam etmiştir. Bu olay birkaç kere tekrarlanarak, bu arada çatlak gelişimi fotoğrafa alınmıştır.

Gerilmeli korozyon çatlaması da çukurcuk korozyonu ve aralık korozyonu gibi çoğu kez oksit kaplı pasif yüzeylerde olur. Oksit filmi nedeniyle yerel hücrelerin çoğu pasifleşmiş görünürler. Ancak birkaç yerel hücrede bozunma (aşınma) çokça olabilir. Çukurcuk korozyonunda olduğu gibi birinci adım klorür iyonu gibi etkin iyonların etkisidir. Bu başlayan bozunmanın daha sonra çukurcuk korozyonu olarak mı yoksa Gerilmeli korozyon çatlaması olarak mı ilerleyeceği diğer etkenlere bağlıdır. Özellikle gerilim kuvvetinin büyüklüğü ve korozyon potansiyeli önemlidir. Çukurcuk korozyonunda olduğu gibi Gerilmeli korozyon çatlamasının olması için bir kritik potansiyel aşılmalıdır [31].

Elektrokimyasal potansiyel, gerilmeli korozyon hasarı üzerinde kritik bir etkiye sahiptir. Alüminyum alaşımları ve pirinç alaşımları, tane sınırlarında gelişen gerilmeli korozyona maruz kalmaktadır. Tane sınırlarındaki çökeltiiler matriks malzemeye karşı anodiktir ve bundan dolayı çökeltiiler bölgesel korozyon hücrelerini

oluştururlar. Ortamın etkisiyle tane sınırları boyunca gelişen ve gerilme altında çatlayan gevrek bir film gerilmeli korozyon hasarına katkıda bulunur.

Gerilmeli korozyon çatlaması sonucu çatlak, genişler ve metal kırılır. Bu kırılma sırasında kırılma bölgesinde bir büzülme görülmez. Çatlaklar malzeme içinde belirli güzergahları izleyerek büyürler. Gerilmeli korozyon çatlamasında kristaller arası ve kristaller ötesi gerilimli korozyon kırılmaları gözlenebilen iki bozulma türüdür. Bazı malzeme-ortam bileşimlerinde çatlama tane sınırları boyunca gelişir (kristaller arası çatlama) Diğer bazı malzeme-ortam bileşimlerinde ise çatlakların tane içlerinde ve kayma düzlemleri boyunca ilerledikleri görülür (kristaller içi çatlama) Gerilim ve çevresel koşullardaki değişimler bir çatlama türünden diğerine geçişi sağlayabilir. Çatlağın ilerlemesi tane sınırı ya da kaymış düzlem boyunca ise taneler (kristaller) arası gerilmeli korozyon çatlaması (intergranular stress-corrosion cracking) söz konusudur. Eğer çatlama görünür bir üstünlükle bir yön izlemiyorsa kristaller ötesi (trans-tane içi) gerilmeli korozyon çatlamasından (transgranular cracking) söz edilir. Kristaller ötesi kırılma ise bağlardan (tane sınırlarından) bağımsız olarak gelişir ve çatlaklar gelişimi güzel yönlendirir. Çatlakların biçimlenişi yani kristaller arası ve kristaller ötesi kırılmalar, ortamın bileşimine veya alaşımın (metal) bileşimi ile yapısına bağlı olarak tek bir çatlaktan çok dallanmış çatlaklara değin değişerek aynı malzemede ortaya çıkabilir. Taneler arası ya da trans gerilmeli korozyon çatlamaları çoğu kez dolaya ya da metalin yapısına bağlı olarak aynı alaşımda görülür. Yüksek nikelli alaşımlarda, Demir-Krom alaşımlarında ve pirinçlerde her iki türden kırılmaya da rastlanmıştır.

Ostenitik paslanmaz çeliklerde genellikle çatlaklar transgranuler (taneler içi)dir. Ama bu alaşımlar, belirli ortamda özellikle kostik çözeltilerde ve çok oksijenli klorit çözeltilerinde intergranuler (taneler arası-tane sınırları) kırılma gösterirler. Martenzitik paslanmaz çelikler için intergranuler kırılma baskın bir tiptir. Bununla beraber, 850 °F'dan düşük sıcaklıkta temperlendiğinde transgranuler kırılma gözlenebilir. Pirinçlerdeki kırılmalar birçok değişkenlere bağlı olarak intergranuler veya transgranuler olabilir. Örneğin mangenez bronzunda, çinko konsantrasyonuyla birlikte p fazı miktarındaki artış kırılma tipini transgranulerden intergranulere dönüştürmesini sağlar. Alüminyum alaşımlarında gerilmeli korozyon çatlağı

intergranulerdir. Magnezyum alaşımlarında ise çatlak genellikle transgranulerdir. Metalografik görüntüde hidrojen gevrekliği ve gerilmeli korozyon hasarı arasında birçok benzerlik olduğu görülür. Hidrojen gevrekliğinde dallanmanın daha az olması ayırt edici bir özelliktir.

Tane sınırlarında gelişen gerilmeli korozyon (IGSCC), özellikle sulu ortamlarda görülür. Bu tür korozyonun önemi bilhassa son birkaç 10 yıldır önem kazanmıştır. Son yıllarda, bazı kritik bileşenlerin IGSCC hataları, daha çok nükleer endüstride, kaynar ve basınçlı su reaktörlerinde görülmektedir. Ni-Cr-Fe bileşimli 600 alaşımı bu tür güç tesislerinde yaygın olarak kullanılır. Bu tip tesislerdeki buhar jeneratörleri, binlerce ince uzun borudan oluşmaktadır. 600 alaşımları bu maksada fevkalade uygun olmakla birlikte, son yıllarda bu malzemeden yapılan borularda IGSCC hatalarına sık rastlanmaktadır. Bu yüzden bu konudaki araştırmalar yoğunlaştırılmıştır [31].

Kırılma, genellikle tatbik edilen gerilime dikey olarak gelişir. Çatlakların yönlenmiş olduğu haller çok nadirdir. Çatlakların dallanma derecesi de değişir. Bazı durumlarda çatlaklar hemen hemen hiç dallanmadan ilerlerken bazen de "nehir deltası" şeklinde dallanmış bir yapı kazanırlar. Metal strüktürü bileşimi ve ortamın bileşimine bağlı olarak çatlak şekli tek bir çatlaktan aşırı dallanmaya kadar değişik şekiller alabilir.

Çatlama bazı hallerde elektrokimyasal ve mekanik olayların birlikte etkisiyle bazen da biri diğerini izlemek üzere ilerler. Gerilmeli korozyon çatlamaşının ilerlemesinde küçük anot olarak etkiyen çatlağın dibi ile geniş katot olarak etkiyen metal yüzeyi arasında derişim hücreşinin (genellikle oksijen derişim hücreşisi) oluşması önemlidir. Bu korozyon hücreşinde gelişen elektrik akımı, aktif iyonları (çoğu kez klorür iyonu) çatlak içine taşır. Burada derişik bir elektrolit çözeltisi oluşur ve sonra hidrolizle asitleşir. Yani Gerilmeli korozyon çatlamaşındaki olaylar çukurcuk ve aralık korozyonlarında olduğu gibi otokatalitiktir.

Taneler arası gerilmeli korozyon çatlamaşında tane sınırı bölgesi daha anodik ve korozyona daha az dayançlı olabilir. Çünkü bu kısımda çökemiş fazlar, bazı maddelerin azalması, artması ya da adsorpsiyonu, çatlama için duyarlı bir bölge oluşturur. Nitrat çözeltilerinde Gerilmeli korozyon çatlamaşına uğrayan yumuşak

çeliklerde yerel çözünmelerden demir karbürün ferrite karşı katodik olması sorumludur.

Gerilmeli korozyon çatlamaında ostenitli 18-8 paslanmaz çeliği için, klorür içeren ortamlarda çok önemlidir. Bu nedenle bu sistem özellikle potansiyostatik yöntemle incelenmiştir. İlk çatlağın görölmesi için bir sürenin geçmesi gerektiği saptanmıştır. Bu başlama döneminde (induction ya da incubation period) çelik yüzeyindeki oksit tabakası üzerinde bir çatlak oluşur.

Başlama döneminde yürüyen tepkimeler metal gerilme koşullarından az etkilenirler. İlk çatlama ile başlangıç dönemi sona erer. Başlama döneminin uzunluğu, klorür derişiminin artması ve sıcaklığın yükselmesiyle önemli derecede kısılır. Ostenit çeliğinde 80°C ın altında Gerilmeli korozyon çatlamaında olmaz. Başlama dönemi çatlamanın yayılması döneminden çok daha uzundur. Bu nedenle Gerilmeli korozyon çatlamaına uğrayan ostenit çelikleri için başlama dönemi önemli bir zaman etkenidir. Katodik akım başlama dönemini uzatır ve eğer katodik akım yeterli ise çatlamaı tamamen önler. Paslanmaz çeliği alüminyum, çinko, karbon çeliği ve kurşun gibi daha az soy olan metallere bağlamak da aynı etkiyi yapar.

Klorür iyonlarından başka katodik tepkimeyi sürdüren oksijen ve diğer yükseltgeycilerin çözültide bulunması paslanmaz çeliğin Gerilmeli korozyon çatlamaını destekler. Buna karşı kromat gibi oksitleyici inhibitörler pasifleşme ile Gerilmeli korozyon çatlamaını azaltır. Eğer oksijen miktarı çözültide artarsa az bir klorür miktarı çatlamanın olması için yeterlidir. Tersine klorür miktarı artarsa, az oksijen, bu korozyon için yeter. Bu nedenle Gerilmeli korozyon çatlamaının olması için klorür derişimi ile oksijen derişimi çarpımının belirli bir minimum değere ulaşması gerektiği ileri sürölmüştür. Çözelti üzerinde arı hidrojen ya da azotun bulunması östenit paslanmaz çeliğinin Gerilmeli korozyon çatlamaını tamamen gidermektedir.

Çatlağın büyümesini sağlayan önemli etmenin çatlak ucundaki deformasyon hızı ile pasifleşme hızı arasında hassas bir denge olduğu kabul edilmektedir. Bu denge korunabildiği sürece çatlak ucunda yoğunlaşan deformasyon pasif tabakayı yırtarak

bu bölgenin aktifleşmesini sağlar. Bu sırada pasif tabaka ile kaplı bulunan geniş çatlak yanakları katodik tutum kazanarak çatlak ucunun hızla çözünmesine yol açarlar. Çatlak ucunda yoğunlaşan korozyon akımları büyük değerlere ulaşabildiklerinden o bölgeyi yeniden pasifleştirirler. Ancak pasif tabaka deformasyonla yeniden uzaklaştırılınca çatlak ucundaki hızlı çözünüm sürdürülür. Bu koşullar çatlak ucunun hızla çözünmesi yanında keskinliğini korumasına da olanak sağlarlar. Söz konusu dengenin pasifleşme lehinde bozulması halinde (gerilimin yeterli seviyede ve bu nedenle çatlak dibindeki deformasyon hızının yeterli düzeyde olmaması veya ortamın etken pasifleştirme özelliği) çatlak sürekli olarak pasif tabaka ile örtülü olacağından yukarıda tariflenen etkili korozyon hücresi oluşamaz. Dengenin aksi yönde bozulması halinde çatlak ucu keskinliğini koruyamaz ve böylece gerilim yoğunlaştırma yeteneğini kaybeder. Bu, olayın yavaşlamasını, hatta tamamen durmasını sonuçlar.

Kritik gerilim bölgelerine yabancı atomların absorpsiyonu modelinde, ortamda bulunan bazı atomlar, çatlak ucundan malzemenin kristal kafesine yayılır ve alaşımın atomları arasındaki bağ kuvvetini azaltarak malzemenin mekanik dayanımını düşürürler. Örneğin korozyon sırasında katodik reaksiyon sonucu $2H^+ + 2e \Rightarrow H_2$ oluşan hidrojen atomlarının bir kısmı molekül oluşturmadan önce atom halinde absorbe olarak metaldeki çatlak uçlarına doğru yayılır. Tercihan yayındıkları yer, çatlak ucunda gerilme nedeniyle oluşan plastik bölgenin sınırındır. Bunun nedeni, bu sınırda hidrostatik çekme gerilmesinin en büyük değerde oluşudur. Burada hidrojen miktarı çatlama neden olan kritik bir konsantrasyona ulaştığında çatlama olur ve oluşan çatlak esas çatlakla birleşerek çatlak uzunluğunda artışa neden olur.

Evvelce değinildiği gibi, korozyona dayançlı yani pasifleşmeye kuvvetle meyleden alaşımların hemen hepsi belirli ortamlarda gerilimli korozyona duyarlık gösterirler. Yukarıda tariflenen oluşum düzeni en azından bu gerçekle uyum içindedir.

2.1.1. Önemli Örnekler

Bu kısımda iki önemli malzeme grubunun tutumlarına kısaca değineceğiz: Bakır alaşımları ve düşük karbonlu çelikler.

Saf bakır gerilimli korozyona dayançlıdır. Ancak bakır alaşımları için aynı şey söylenemez (örneğin bakır-çinko, bakır-alüminyum, bakır-silisyum ve bakır-antimuan alaşımları vb.). En yaygın örnek sarı pirinç adı ile tanınan bakır-çinko alaşımıdır. Çok küçük miktarlarda amonyum ve aminler içeren ortamlar sarı pirincin gerilimli korozyona uğrayarak hızla bozunmasına yol açarlar. Gözlemler duyarlılığın ortamın pH-değerine bağlı olduğunu göstermektedir. Ortamın gerilimli korozyon yönünden etkenliği pH=7,3'de maksimum düzeye ulaşır. Bu değer özelliği (Cu - H₂O sisteminin potansiyel-pH diyagramından görüleceği üzere) malzemenin yüzeyinde kalın ve kırılğan bir oksit tabakasının oluşmasına olanak sağlamasıdır [30,31].

Sarı pirinçte kırılma genellikle kristaller arası türdendir. Tane içlerine oranla daha aktif tutum gösteren tane sınırları öncelikle çözünürler. Bunun nedenini komşu taneler arası kristalografik uyumsuzluğa bağlamak mümkündür. Bir diğer önemli husus bakır ve çinkonun amonyum içeren ortamlarda karmaşık iyon (Cu(NH₂)₂+4 ve Zn(NH₂+4)) oluşturmasıdır. Bu ortamda mevcut bakır ve çinko iyonları miktarının azalmasına ve her iki metalin potansiyellerinin önemli ölçüde aktifleşmesine yol açar. Bu koşullar çinko ve bakırın hızla çözünmesine olanak sağladıklarından sarı pirincin gerilimli korozyonunu hızlandıran en önemli etmen olarak karşımıza çıkarlar.

Çeliklerde duyarlık gerilim giderme tavı ile azaltılır. Korozyonu yavaşlatıcı maddeler yanında özellikle sodyum nitrat kazan suyuna ilave edilerek gerilimli korozyon eğilimi büyük ölçüde önlenir.

2.2. KIRILMA MEKANİĞİNİN GERİLİMLİ KOROZYONA UYGULANMASI

Gerilimli korozyon koşullarında hizmet gören parçaların ömrü hakkında gerçekçi tahminlerde bulunabilmek çatlak büyüme hızının mekanik parametreler cinsinden tariflenmesini gerektirir [32-36].

Bilindiği gibi, gerilmeli korozyon hasarı malzemede çatlaklar oluşturarak dayanımı azaltan bir korozyon şeklidir. Olay aşığıdaki üç safhada gerçekleşir;

1. Çatlak teşekkülü,
2. Çatlak İlerlemesi,
3. Zoraki kırılma.

Bu yüzden gerilmeli korozyon hasarı için gerekli olan çekme gerilmesi var olduğunda ve önceden oluşturulmuş keskin çatlak bulunduğunda kırılma mekaniği denklemlerini kullanarak doğrusal elastik kırılma mekaniği parametresi olan gerilme şiddet faktörü (K) yardımı ile çatlak ağızındaki gerilme durumunu tanımlayabiliriz. Gerilim şiddet faktörü çatlak çevresindeki gerilim ve gerinimlerin dağılımını tanımlar ve parçaya uygulanan gerilim, parçanın içerdiği çatlakların uzunluğu ve diğer geometrik faktörler cinsinden ifade edilir. Önceden açılmış çatlaklı numune kullanımı ile çatlak oluşum safhası ortadan kaldırılarak sadece çatlak ilerlemesi etüd edilir. Makine elemanlarının üretim ve kullanım safhasında her an çatlak içerdiği ihtimali nedeniyle çatlak oluşum safhasının göz önüne alınmaması daha gerçekçi ve emniyetli bir yaklaşımdır.

Önceden çatlak oluşturulmuş çeşitli numuneler ve yükleme metotları, çatlak büyüme hızı ve kırılana kadar süre deneylerinde malzemenin gerilmeli korozyon hasarı davranışı çalışmaları için kullanılabilir.

Gerilimli korozyon deneylerinde önceden çatlatılmış numuneler kullanmanın önemli yararları vardır. Bunlardan ilki çatlak oluşum sürecinin gözlem dışı bırakılmasıdır. Böylece çatlak büyüme dönemi çatlak oluşum döneminden kesinlikle ayrılmış olur. Bu koşullar çatlak büyüme kinetiğinin ayrıntılı olarak incelenmesine olanak sağlar. Kaldı ki, makine parçaları ve diğer yapı elemanları imalat ve montaj sırasında arzumuz dışı meydana gelen gerilimler altında yer yer çatlamış olarak hizmete sokulurlar. Ayrıca gerilim yoğunlaşmasına yol açan geometrik düzensizlikler bir tasarım gereği olarak başlangıçta mevcut olabilirler. Bu koşullarda çatlak oluşum dönemi parça daha hizmete sokulmadan aşılmış olur. O halde parçanın ömrü yalnızca çatlak büyüme hızı ile belirlenmiş olacaktır. Buradan, önceden çatlatılmış

numunelerle yapılan gözlemlerin gerçek koşulları daha iyi yansıttıkları açıkça görülür.

2.3. GERİLMELİ KOROZYONA ETKİ EDEN FAKTÖRLER

Gerilmeli korozyon çatlamasına etkileyen en önemli etkenler sıcaklık, çözelti bileşimi, metal bileşimi, gerilim ve metalin yapısıdır [30,31].

2.3.1. Gerilim Etkileri (Gerilim-Kırılma Zamani İlişkisi)

Gerilimli korozyonun çekme gerilimi altında oluştuğuna evvelce değinmiştik. Malzeme üzerindeki gerilim kaynakları dışarıdan tatbik edilen gerilimler olabileceği gibi, işlem sırasında malzeme içinde kalan gerilimler, termal gerilimler veya kaynaktan ileri gelen gerilimler olabilir. Malzemeye dışarıdan uygulanan ve/veya bazı imalat işlemlerinin (kaynak, ısıl işlem, soğuk şekillendirme gibi) sonucu olarak da malzeme içinde mevcut olan gerilmeler çekme gerilimleridir. Korozyon ürünleri de bir diğer gerilim kaynağıdır. Dar bölgelerde korozyon ürünlerinin çok büyük gerilimlere neden olduğu gösterilmiştir. Fakat her zaman büyük bir gerilimin olması da gerekmez. Çünkü gerilimli korozyon kırılmalarının büyük çoğunluğu aşırı derecede büyük gerilimler olmadan meydana gelmiştir. Ayrıca korozyon ürünlerinin gerilimin diğer bir kaynağı olabileceği gösterilmiştir. Çatlak ve benzeri düzensizlikler içinde yığılan korozyon ürünlerinin de çekme gerilimlerine yol açabileceği saptanmıştır. Çekme gerilimlerinin kaynağı gerilim-kırılma zamanı ilişkisini etkilemez. Önemli olan çekme geriliminin büyüklüğüdür. Gerilimli korozyon koşullarında kırılma zamanının (1) Kırılma zamanı, yani parçanın ömrü artan gerilimle kısalmakta azalan gerilimle ise uzamaktadır. Gerilimin artması, kırılma öncesi süreyi kısaltır yani alaşımın çatlamasına değin geçen zamanı azaltmaktadır. Gerilimin yüksek olduğu hallerde gerilimli korozyon koşullarından uzaklaşılır. Bu nedenle, gerilimin yüksek tutulduğu kısa süreli laboratuvar deneylerinin malzemenin gerçek tutumunu yansıtmadığını kabullenmek gerekir. (2) Gerilim-kırılma zamanı ilişkisi artan zamanla bir sınır değere yaklaşmaktadır. Bu sınır değer gerilimli korozyonun oluşabilmesi için gerekli minimum gerilim seviyesini tanımlar. Çatlamayı önlemek için minimum gerilim bu şekilden tahmin

edilebilir. İlk bakışta gerilimin bu sınır değeri altında tutulması ile gerilimli korozyon tehlikesinin önlenebileceği ileri sürülebilir. Kırılmayı önlemek için gereken minimum gerilimle ilgili olarak bazı yaklaşımlar vardır. . Bu minimum gerilim yani gerilimli korozyon dayancısı olarak tanımlanan bu değeri, sıcaklık, alaşım bileşimi ve çevre (ortamın) özelliklerine bağlıdır. Bu minimum gerilim, sıcaklık, alaşım bileşimi ve çevre şartlarına bağlıdır. Bazı durumlarda minimum gerilim değeri, akma sınırı geriliminin %10'u civarında yani %10'u kadar düşük olduğu gözlenmiştir. Diğer bazı durumlarda ise kırılma, akma sınırının %70 i civarında bile meydana gelmediği görülmüştür. Her bir alaşım-çevre çifti için olasılıkla bir etkin minimum ya da başlangıç gerilimi vardır. Bu başlangıç değeri çok sakınılarak kullanılmalıdır, çünkü çevresel koşullar işlem sırasında değişebilir. Örneğin, ortamın bileşiminde yer alan ufak bir değişim gerilimli korozyon dayancısında beklenmedik ölçüde azalmalara yol açabilir. Bu nedenle gerilimli korozyon dayancısına ilişkin veri ve laboratuvar sonuçlarının dikkatle, yani yeterli emniyet katsayıları ile kullanılması gerekir.

2.3.2. Kırılma Zaman İlişkisi

Gerilimli-korozyon kırılması olayında zaman parametresi önemlidir. Çünkü, gerilimli korozyonda en büyük fiziksel zarar daha sonraki kademelerde olur. Özellikle Gerilmeli korozyon çatlama süresince başlıca fiziksel hasar, sonuncu dönemde olur. Gerilimli korozyon çatlakları malzemeye nüfuz ederken kesit alanı azalır ve son çatlama (kırılma) tamamen mekanik etkiler altında sonuçlanır [30,31,35].

Başlangıçta çatlak hareketinin hızı az veya çok sabittir. Çatlak ilerlerken malzemenin kesit alanı azalır ve tatbik edilen gerilme gerilimi arta ara kesit yüzeyi küçülür ve uygulanan gerilme kuvveti büyür. Sonuç olarak çatlağın hareket hızı ani kopmaya kadar çatlak derinliği ile artar.

Sonuç olarak kırılma oluncaya değin, çatlak derinliği ile çatlama hızı artar. Kırılmadan hemen önce gerilim ara kesiti öyle bir noktaya düşer ki, orada uygulanan gerilim metalin en büyük gerilimine eşit ya da bundan büyük olur ve metalin kırılması mekanik kırılma ile olur.

2.3.3. Çevre Faktörleri (Duyarlı Malzeme-Etken Ortam İlişkisi)

Gerilmeli korozyon çatlamasına bazı özel korozif ortamların etkisinin büyük olduğu saptanmıştır. Bu gibi ortamlar yerel aşınmalara neden olmakta ve korozyon ürünlerini çözerek yeniden pasifleşmeyi önlemektedir. Ayrıca gerilimli korozyonun ilginç özelliklerinden biri malzeme ve ortam arası uyum gereksinimidir. Bu ilkeyi kanıtlamak için başvurabileceğimiz uygun bir örnek pirinç ve paslanmaz çeliğin karşılaştırılmasıdır [30]. Pirinç, (plastik ve laklar içinde bulunan amin ya da amitlerden gelen) amonyum içeren ortamlarda Gerilmeli korozyon çatlamasına duyarlık gösterirken klor içeren ortamlarda Gerilmeli korozyon çatlamasına uğramaz. Paslanmaz çeliklerin tutumu bunun tam tersidir. Paslanmaz çelikler klor(ür) ve kostik içeren ortamlarda gerilimli korozyona uğrarlar. Buna karşın paslanmaz çelikler, amonyum, sülfürik asit, nitrik asit, asetik asit ya da arı su içeren ortamlarda Gerilmeli korozyon çatlamasına dayanlıdır. Karbon çeliği kuvvetli bazlı çözeltilerde kostik gevrekliği (caustic brittleness) ve nitrat çözeltilerinde nitrat gevrekliğine uğrar. Ostenit paslanmaz çeliği, alüminyum ve magnezyum alaşımları klorür içeren çözeltilerde Gerilmeli korozyon çatlamasına uğrar. Okuyucu bu sınırlayıcı ilkedan hareketle gerilimli korozyonun yaygın bir bozunma türü olmadığını düşünebilir. Bu doğru değildir. Gözlemler makine ve diğer yapılarda görülen kırılma olaylarının %22 sinin gerilimli korozyondan kaynaklandığını göstermektedir. Bunun nedeni korozyona dayanlı malzemelerin hemen hepsinin belirli ortamlarda duyarlık göstermeleridir. Oksitleyiciler gerilimli korozyonu çoğu kez arttırır. Oksijen ortamdan uzaklaştırılırsa gerilimli korozyon olmaz. Çizelge 2.1.'de bazı malzemelerin gerilimli korozyonuna neden olan ortamlar, yani çeşitli çevre-alaşım sistemleri verilmiştir.

Çizelge 2.1. Metal ve alaşımların gerilimli korozyonuna neden olan ortamlar [34].

Malzeme	Ortam
Aluminyum Alaşımları	Klorürler (NaCl çözeltileri) NaCl -H ₂ O ₂ çözeltileri Nemli endüstriyel atmosferler Deniz atmosferleri (Deniz suyu) Hava, Su buharı
Bakır alaşımları (Pirinçler v.b.)	Amonyak buharı ve çözeltileri Amonyum iyonu Aminler Su, su buharı
Altın alaşımları	FeCl ₃ çözeltileri Asetik asit tuz çözeltileri
Inconol	Kostik soda çözeltileri
Kurşun	Kurşun asetat çözeltileri
Magnezyum alaşımları	NaCl - K ₂ CrO ₄ çözeltileri Kırsal ve sahil atmosferi (deniz havası) Destile (damıtık) su
Monel	Ergimiş kostik soda Tuz asidi Hidroflorik asit Hidrofluosilik asit
Nikel Alaşımları	Ergimiş kostik soda Sıcak derişik hidroksitler Hidroflorik asit buharı
Adi çelikler (Düşük karbonlu çelikler)	Kaynar derişik hidroksitler NaOH çözeltileri Kaynar derişik nitratlar NaOH ~ Na ₂ SiO ₃ çözeltileri Kalsiyum, amonyum ve sodyum nitrat çözeltileri Asid karışımları (H ₂ SO ₄ - HNO ₃) HCN çözeltileri Asidik H ₂ S çözeltileri Deniz suyu Ergimiş Na — Pb alaşımları Kömürün parçalayıcı destilasyonundan kaynaklanan ürünler
Petrol sondaj çelikleri	Hidrojen sülfür ve Karbondioksit
Yüksek dayançlı çelikler (düşük alaşımlı)	Klorürler

Çizelge 2.1. (devam ediyor).

Paslanmaz çelikler (Östenitik, 300 serisi)	Kaynar klorürler MgCl ₂ ve BaCl ₂ gibi asidli klorür çözeltileri Kaynar derişik hidroksitler NaCl-H ₂ O ₂ Çözeltileri Deniz buyu H ₂ S NaOH-H ₂ S çözeltileri Klorür çözeltilerinden yoğunlaşan buharlar
Titanyum (Titan) alaşımları	Klorürler Kırmızı dumanlı nitrik asit 230 °C'ın üstünde katı klorürler Deniz suyu N ₂ O ₄ Metanol, HCl Metil alkol

Sürekli olarak çeşitli ortamlar içinde Gerilmeli korozyon çatlaması yapan yeni ortamlar bulunmaktadır. Bu nedenle herhangi bir alaşım için çevre değıştığı zaman Gerilmeli korozyon çatlaması testi yapılmalıdır. Gerilmeli korozyon çatlaması yapan ortamlarda gerilim koşulları giderildiğı zaman genellikle alaşımın aşınmasının az olduğu saptanmıştır. Yukarıdaki çizelgede olduğu gibi, H₂S ve siyanür içeren ortamlarda çeliğın Gerilmeli korozyon çatlamasına uğradığı bir çok araştırmacılar tarafından belirtilmekte ise de bu Gerilmeli korozyon çatlamasının dan çok hidrojen gevretmesiyle ilgilidir

Birçok kimyasal reaksiyonlarda olduğu gibi gerilimli korozyon, sıcaklığın artışıyla birlikte hızlanır. Ortamın sıcaklığı gerilimli korozyonun hızını artırıcı önemli bir etmendir. Genelde her ortam ve malzeme bileşimi için bir minimum sıcaklık gereksiniminden söz etmek mümkündür. Magnezyum alaşımları gibi bazı malzeme ve ortam bileşimlerinde oda sıcaklığı çatlama için yeterli iken yani kırılma oda sıcaklığında kolaylıkla meydana gelir iken diğerlerinde ortamın kaynama sıcaklığına çıkması gerekebilir. Genel bir yaklaşım olarak önemli malzeme-ortam bileşimlerinde 100°C ve üstünün gerilimli korozyona yol açtığı söylenebilir.

Ortamın fiziksel durumu da ayrıca önemlidir. Aynı sıcaklıkta ve aynı gerilimde dönem dönem ıslak ve kuru koşullar altında tutulan alaşımlar bir fazlı sulu bir ortamdakine oranla daha çok korozyona uğrarlar. Metalin yüzeyi üzerinde sürekli ıslanma ve kuruma şartlarının meydana gelmesi böyle farklı fazlar içinde bulunmasına örnektir. Bir otoklav iyi bir şehir suyu ile soğutulsa bile, soğutma işlemine ara verildiği zaman otoklav üzerindeki su damlacıkları içindeki kuruma sırasında klorür derişiminin arttığı ve bu noktalarda korozyonun başladığı saptanmıştır.

Gerilimli korozyona karşı duyarlılık malzemenin kimyasal bileşimi, tanelerin yönlenmesi v.s. gibi çeşitli metalürjik faktörlere de bağlıdır.

2.4. GERİLMELİ KOROZYONUN OLUŞUM MEKANİZMASI

Gerilimli korozyon çok önemli bir korozyon problemi olmasına rağmen mekanizması iyice anlaşılammıştır. Bunun başlıca nedeni metalin iç yapısının, ara yüzeydeki olaylar ve çevre özelliklerinin kompleks olmasındandır. Bu yüzden, bütün metal-ortam sistemlerine tatbik edilebilecek bir spesifik mekanizmanın bulunabilmesi de ihtimal dışıdır [30-33].

Çatlakların oluşumunda korozyon önemli bir adımı teşkil eder. Bir oyuk, yarık veya metal yüzeyi üzerindeki diğer bir düzensizlik "gerilimi arttırıcı" rol oynar. Çatlak başladıktan hemen sonra, ilerleyen çatlağın ucu küçük bir yarıçapa sahiptir. Ve gerilim konsantrasyonu büyüktür.

Çatlak ucundan hemen sonra gelen kısmında yüksek gerilimlerden dolayı plâstik deformasyon olur. Eğer alaşım metastabil ise bir faz dönüşümü meydana gelebilir (mesela, nikel paslanmaz çeliklerde ostenit martensite dönüşür). Yeni teşekkül eden fazın mukavemeti ve hidrojene karşı duyarlılığı v.s. farklı olur. Şayet alaşım metastabil değilse, soğuk işlenmiş (plâstik defomasyona uğramış) kısım matrix kısmından daha fazla korozyon direncine sahip olur.

Gerilmeli korozyonun oluşumu ile ilgili olarak değişik mekanizmalar ileri sürülmüştür. Bunlar;

1. Çatlamadan önce mevcut olan aktif alanlar mekanizması,
2. Mekanik etkenlerin ortaya çıkardığı aktif alanlar mekanizması,
3. Kritik gerilim bölgelerinde yabancı atomların tutunma mekanizması,

Şimdi bu mekanizmaları kısaca açıklamaya çalışalım;

Çatlamadan Önce Mevcut Olan Aktif Alanlar

Daha önce ifade ettiğimiz gibi gerilmeli korozyonun bir kısmı tane sınırlarında ortaya çıkmaktadır. Meselâ Al-alaşımaları ve pirinç alaşımlar bu tür gerilmeli korozyona maruz kalmaktadır. Aktif özellik gösteren tane sınırlarında gerilim yığılması olur ve buralarda deformasyon ortaya çıkar. Bu da gerilmeli korozyona yol açar.

Mekanik Etkenlerin Ortaya Çıkardığı Aktif Alanlar

Malzemede oluşan çatlak ucu, malzemenin plâstik deformasyonuna neden olur. Çatlak ucunun oluşturduğu çok dar bir bölgede yoğunlaşan korozyon olayının ürettiği büyük anodik akımlar, çatlak ucunu pasifleştirir. Ancak oluşan pasif film deformasyon sonucu kırılır ve çatlak ucu tekrar korozyona uğrar. Böylece aktif durum, pasifleşme, pasif film kırılması ve yeniden aktifleşme olayları arka arkaya devam ederek, olayın devamını sağlayan bir çevrim ortaya çıkar. Buna "film kırılma metodu" da denir.

Kritik Gerilim Bölgelerinde Yabancı Atomların Tutunması

Bu mekanizmada, ortamda bulunan bazı atomlar, çatlak ucundan malzemenin kristal kafesine yayılır ve alaşımın; ana atomlar arasındaki bağ kuvvetini azaltarak, malzemenin mekanik dayanımını düşürürler. Daha ileride ele alacağımız hidrojenle çatlama belki modele iyi bir örnek teşkil etmektedir.

2.4.1. Önleme Metotları

Gerilmeli korozyonun mekanizması tam anlaşılamadığı için bu korozyon şeklini önlemede kullanılan metotlar ya genel veya deneye dayalı olmaktadır. Aşağıda bahsedilen bu koruma metotlarından bir veya birkaçı uygulanabilir [30-36].

1. Gerilimi eşik gerilimin altına düşürmek veya gerilim şiddet faktörünün azaltmak; Bu amaca çeşitli yollarla yaklaşılabılır. Malzeme içindeki gerilimi almak için tavlama işlemi ile veya makine parçasının bazı kısımları kalınlaştırarak (yük taşıyıcı kesitin büyütülmesi) ya da yükü azaltarak yapılabilir. Adi karbon çelikleri 1100 °F - 1200 °F (600-650°C) arasında tavlansarak ve ostenitik paslanmaz çelikler 1500 - 1700 °F (800-900°C) arasında tavlansarak bu gerilim alınabilir. Paslanmaz çeliklerde taneler arası korozyona neden olan ısıl işlemlerin Gerilmeli korozyon çatlaması açısından da sakıncalı olduğu saptanmıştır. Son olarak uygun tasarım ile çatlak ucundaki gerilim şiddet faktörünün mümkün olan en düşük düzeyde tutulması gelmektedir. Bir başka şekilde, etkin çekme gerilmeleri, yüzeyde oluşturulan basma elastik gerilmeleri yardımıyla azaltılabilir (basma elastik gerilmeleri metal veya cam boya püskürterek veya çeşitli diğer yüzey işlemleri ile oluşturulabilir).
2. Kritik çevre faktörlerini elimine etmek yani ortamın etkenliğinin azaltılması; Ortamın korozyon yavaşlatıcı maddelerle işlemi, ortamın etkenliğini saylayan kritik maddelerden arınması (örneğin ortamdaki gazlı bileşikler almak, ortamdaki korozyon yapan özdek'leri uzaklaştırmak, demineralizasyon (mineralleri uzaklaştırmak) veya destilasyon-damıtma- yapmak, klor iyonları ile oksijenin ortamdaki uzaklaştırılması paslanmaz çeliklerde duyarlılığı önemli ölçüde azaltılabilir gibi). Ayrıca kapalı sistemlere inhibitörler eklenebilir.
3. Ne ortam ne de gerilim değiştirilemiyorsa kullanılan malzemeyi (alaşımı) değiştirmek yani Daha az duyarlı malzemeler kullanılması: Yukarıda değinilen çalışma koşullarının değiştirilemediği durumlarda başvurulabilecek tek yoldur. Malzemelerin mukayese ve seçiminde KIGK değerleri esas alınmalıdır.

Örneğin, 304 paslanmaz çeliğin yetersizliği halinde Inconel (nikelce zengin) kullanmak çoğu kez başvurulan bir pratik yoldur. Gerçi karbon çeliği, genel korozyona karşı daha az dirençli olmasına rağmen gerilmeli korozyona karşı paslanmaz çeliklerden daha fazla dirençlidir. Bu yüzden gerilmeli korozyon şartları altında, paslanmaz çelik yerine, çoğu kez karbon çeliği kullanılır. Örneğin, deniz suyu veya hafif tuzlu sularla temas halinde bulunan ısı değiştiriciler adi yumuşak çelikten yapılır.

4. Yapıya dış kaynaktan akım vererek ya da tekbir anot yardımıyla katodik koruma uygulamak: Bu yöntemler bazı istisnalarla kullanılabilir. Bu önlem etkili olmakla beraber yüksek dayançlı malzemelerde dikkatle kullanılmalıdır. Katodik koruma uygularken yapının hakikaten Gerilmeli korozyon çatlamasına uğradığı iyi bilinmelidir. Çatlama eğer hidrojen gevretmesinden kaynaklanıyorsa uygulanan katodik akımla koruma şekli hidrojen kırılgenliğini arttırdığından dikkatle tatbik edilmelidir. Sonuç olarak katodik koruma sırasında üretilen hidrojen yüksek dayançlı malzemelerde hidrojen çatlamasına yol açabilir.
5. İnhibitör ilave etmek: Fazla etkin olmayan korozif ortamlarda gerilmeli korozyonu azaltmak için fosfatlar, diğer inorganik (anorganik) ve organik korozyon inhibitörleri başarıyla kullanabilmektedir.
6. Diğer önlemler: Bazı malzeme-ortam bileşimlerinde soğuk şekillendirme (dövme, haddeleme, çekme, ekstruzyon vb.), bazılarında ise ısı işlem yararlı bulunmuştur. Ayrıca duyarlığa yol açan ısı işlemlerden veya ısıl etkilerden kaçınmak gerekir (örneğin paslanmaz çeliklerde tane sınırları korozyonuna yol açan ısıl etkiler gerilimli korozyon açısından da sakıncalıdır).

2.4.2. Gerilmeli Korozyon Hasarının Analizi

Çalışma sahasında yapılan etüdler hasarda etkin olan mekanik olayların ve çevre şartlarının gözlenmesine ve denenmesine fırsat verir. Bu yüzden hasara uğramış parçadan ve hasara uğramış parçanın maruz kaldığı ortamdan numune almak gerekir.

Numunelerin alınması iyi bir şekilde planlanmalı ve aşağıdaki hususlar göz önünde bulundurulmalıdır [35];

1. Öncelikle parçanın üretim geçmişiyle ve daha önce geçirdiği safhalarla ilgili tam bir kaydın temin edilmesi gereklidir,
2. Hasarın araştırılması sırasında çok değerli olabilecek korozyon ürünleri ve diğer yüzey kalıntılarının tahribinden kaçınılmalıdır, yani hasara uğramış parça üzerindeki fiziksel deliller bozulmadan derhal laboratuvara getirilmelidir,
3. Parçadan numune almanın yanında ortama ilgili numunelerde alınmalıdır. Parçanın imalatı, sevkiyatı, depolanması ve çalışması sırasındaki hem genel hem de hasara uğramış parçayla doğrudan temasta olan ortamlar, özellikle konsantrasyon, basınç, sıcaklık, asitlilik, alkalilik, normal veya kazara oluşmuş empuriteler ve değişken gerilme şartları gibi faktörlere özel dikkat göstererek incelenmelidir. Yüzeydeki korozyon ürünlerinin ve korozyona neden olan faktörlerin saptanması çok önemlidir.

2.5. YORULMA VE KOROZYONLU YORULMA

Yorulma dönemli olarak (periyodik) yinelenen gerilim altında bir metalin kırılma eğilimi olarak tanımlanır. Özetle, Periyodik yön değiştiren gerilmelerin metalde çatlama yol açmasına "yorulma" denir. Yorulma kırılması genellikle akma noktasının altındaki gerilme düzeyinde bu gerilmenin dönemli olarak pek çok kez uygulanmasından sonra olur [34-36].

Periyodik yön değiştiren gerilmelerin korozif ortamlarda yol açtıkları malzeme bozulmasıdır. Gerilimli korozyona paralel olarak, korozyonlu yorulmada da çatlak oluşum ve çatlak büyüme dönemlerinden söz edilebilir. Çatlak büyüme döneminin incelenmesinde önceden çatlaklı numuneler aynı başarı ile kullanılabilir. Karakteristik olarak, yorulma olayında en belirgin görünüş, metal yüzeyinin geniş bir kısmının kaba parlak düz bir yüzey olarak kalması ve küçük bir kısmının pürüzlü kristalleşmiş gibi görünmesidir. Yapılan çalışmalarda gösterilmiştir ki bir metal içinde bir yorulma çatlakları ilerlerken, sık sık periyodik olarak uygulanan gerilme metal yüzeyinde çekiçle vurma veya daha ağır darbe etkisi yapar. Metaldeki çatlakların

genişlemesiyle metal ara kesit yüzeyi küçülür. Bu küçülme öyle bir noktaya gelir ki uygulanan gerilimle metal kırılır. Metalin kırılan yüzeyinin görünüşü pürüzlüdür. Yorulma çatlaklarının görünüşü, başlangıçta bazı araştırmacılara metalin kristalleştiği izlenimini verdiği için yanlış olarak bu olaya kristallenme denilmiştir. Bu doğru değildir, metal zaten başlangıçta kristal yapısındadır. Halbuki bu hatalı bir yaklaşımdır, çünkü bütün metaller zaten kristal yapılıdır.

Yorulma testleri, bir metali çeşitli büyüklüklerdeki devirli gerilimlere maruz bırakıp kırılma süresini ölçmekle yapılır. Çelik ve demir esaslı diğer malzemelerin yorulma ömrü düşük gerilim seviyelerinde genellikle gerilimden bağımsızdır. Buna yorulma sınırı denir. Genelde, bir metale, şayet kendi yorulma sınırının altındaki bir gerilim uygulanırsa, onun kırılmaksızın sonsuz sayıda devirsel gerilime dayandığı kabul edilir. Eğer testte kullanılan malzeme evvelce çentiklenmişse yorulma direnci çentik çapına ya da keskinliğine bağlı olarak düşer. Çentik çapı azalırken yorulma direnci de azalır. Alüminyum ve magnezyum gibi demir dışı malzemelerin bir yorulma sınırı bulunmamaktadır. Bunların yorulma direnci, uygulanan gerilim küçüldükçe artar, ama gerilimden bağımsız değildir. Korozyonlu yorulma, koroziv bir ortamda yorulma direncinin düşmesi olarak tanımlanır ve korozyonlu yorulma deyimi mekanik özelliklerle ilgili bir terimdir. Korozyonlu yorulmanın varlığı ancak korozyon-yorulma testleriyle anlaşılabilir. Korozyonlu yorulma belki gerilmeli korozyonun özel bir şeklidir.

Bu benzerliklere karşın, korozyonlu yorulmayı gerilimli korozyondan farklılaştıran şu iki özelliğe değinmek gerekir: (1) Gerilimli korozyona özgü duyarlı malzeme-etken ortam ilişkisi korozyonlu yorulma için geçersizdir. Diğer bir deyişle, bir malzeme için belirli bir ölçüde saldırgan olan her ortam korozyonlu yorulma ile bozunmaya yol açabilir. (2) Gerilimli korozyonun aksine bu defa korozyonlu yorulma sınırı olarak tanımlayabileceğimiz bir sınır gerilim veya gerilim şiddet faktöründen söz etmek mümkün değildir. Normal atmosferik koşullarda denendiğinde belirgin bir yorulma sınırı gösteren malzemeler (örneğin çelikler) saldırgan ortamlarda bu özelliklerini yitirirler. Gerilim-çevrim sayısı ilişkisi belli bir sınır değere yaklaşmak yerine artan zamanla (veya çevrim sayısı ile) sürekli düşüş gösterir.

2.5.1. Çevre Faktörleri

Çevresel koşullar, korozyonlu yorulmayı büyük ölçüde etkiler. Adi bir yorulmada, gerilim devir sıklığı (frekansı) yorulma direnci üzerinde ihmal edilebilir bir etki yapar. Bu etken, adi yorulma testleri, gerilim devrinin yüksek hızlarında kolaylıkla yapılabildiğinden, yorulma testlerine büyük kolaylık sağlar. Mamafih (oysa), korozyonlu yorulma direnci, gerilim devir frekansından önemli derecede etkilenir. Korozyonlu yorulma, düşük gerilim frekanslarında daha çok meydana gelir. Bunun nedeni düşük frekanslı devirlerde, metalle korozif ortam arasındaki temas süresinin daha fazla olmasındandır.

Korozyonlu yorulma, metalin bulunduğu ortamdaki korozif özdeğe bağlıdır. Oksijen miktarı, sıcaklık, pH ve çözeltili bileşimi korozyonlu yorulmayı etkiler. Meselâ, demir, çelik, paslanmaz çelik ve alüminyum bronzlarının (tunçlarının) korozyonlu yorulma dirençleri su içinde iyidir. Deniz suyunda, alüminyum tunçları ve östenitik paslanmaz çelikler normal yorulma dirençlerinin ancak yaklaşık %70-80 i kadar direnç gösterirler. Yüksek kromlu alaşımlar deniz suyunda normal yorulma dirençlerinin yaklaşık % 30-40'ını korurlar. Bunlardan da anlaşılacağı üzere, korozyonlu yorulma metal ve onun çevresine göre belirlenir.

2.5.2. Mekanizma

Korozyonlu yorulmanın mekanizması detaylı bir şekilde incelenmemiştir. Fakat bu bozulma türü kalitatif (nitel) olarak anlaşılır. Demir ve demir esaslı (ana metali demir olan) malzemelerin korozyonlu yorulma testlerinden elde edilen yorulma ömrü eğrilerinin demir dışı malzemelerinkine benzediği anlaşılmıştır. Ayrıca korozyonlu yorulma oyuklu (çukurcuk) korozyonuna neden olan ortamlarda daha çok meydana gelir. Bu iki gözlem yorulma direncinin korozif ortam içinde azaldığını göstermektedir. Çünkü korozyon oyukları gerilimi yükseltici ve çatlakları başlatıcı bir rol oynadığından yorulma direnci bu korozif ortamlarda azaltılır. Çatlak diplerinde korozyonun daha hızlı olma şansı büyüktür ve bunun sonucu olarak kararlı bir çukurcuk çapı yoktur. Hem mekanik ve hem de elektrokimyasal etkilerden dolayı Çukurcuk ya da çap sürekli olarak azaldığından, bir korozif ortama maruz kalan

demir esaslı malzemelerin yorulma eğrisi demir dışı metallerinkine benzer. Korozyonlu yorulma hatası genellikle taneler ötesi bir olaydır ve gerilmeli korozyonda olduğu gibi bir dallanma ortaya çıkmaz. Son kırılma tamamen mekaniktir ve bir korozif ortamın bulunmasını gerektirmez.

2.5.3. Korozyonlu Yorulmanın Önlenmesi

Gerilimli korozyona karşı uygulanan önlemler korozyonlu yorulma için de geçerlidir. Bunlara ek olarak yüzeyde basma gerilimi oluşturan işlemler (püskürtmeli sertleştirme vb.) ve yüzey kaplamalarının etkili oldukları saptanmıştır. Daha aktif metal kaplamalar (örneğin çeliğin çinko ile kaplanması) yanında yavaşlatıcı pigmentler içeren organik kaplamalar sık uygulanan önlemlerdir. Korozyonlu yorulma birçok yöntemlerle önlenebilir. Bir metal veya alaşımın çekme gerilmesi mukavemetinin artması yorulma direncini artırır. Fakat bu, korozyonlu yorulma üzerinde zararlıdır. Adi yorulma direnci halinde yüksek çekme dayancı gösteren alaşımlar çatlakların bazılarına karşı dayanıklıdır. Ama yüksek çekme dayancı gösteren malzemelerde bir kez bir çatlak başlayınca, düşük dayançlı malzemelerden daha hızlı ilerler.

Korozyonlu yorulmada bir çatlak, korozif etkiyle kolaylıkla başlatılır. Malzeme üzerindeki gerilimi azaltmakla korozyonlu yorulma elimine edilebilir veya ortadan kaldırılabilir. Gerilimin azaltılması, dizaynı uygun şekilde yaparak veya ısıtma işlemleriyle sağlanabilir. Korozyon inhibitörleri de korozyonlu yorulma yapan etkileri küçültmek ya da gidermekte etkindirler. Korozyonlu yorulma direnci, çinko, krom, nikel, bakır kaplamalarla artırılabilir. Korozyonlu yorulma bu şekilde önlenecekse, elektrokimyasal kaplama sırasında gerilim oluşturan koşullardan ve metal içine hidrojen girmesinden kaçınılmalıdır.

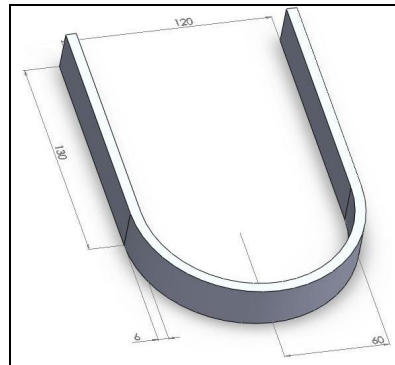
Kaplama amacıyla, organik kaplama malzemeleri de kullanılabilir. Bu maksatla kullanılacak başlıca organik maddeler sentetik elastomer fenolik-epoksi-silikon, Naylon ve Epoksi-polisülfür gibi organik maddelerdir. Bu maddelerin çelik üzerine yapılan kaplamaları korozyonlu yorulmaya karşı çok iyi direnç sağlamıştır.

BÖLÜM 3

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. DENEYLERDE KULLANILAN MALZEMELER

Bu çalışmada, İstanbul/Pendik'teki UGETAM A.Ş. firması tarafından kaynaklı birleştirme ile yapılmış St-37 (S235JR) kalite çeliklerin gerilmeli korozyon davranışının incelenmesi amaçlanmıştır. İstanbul/ Pendik' teki UGETAM A.Ş.firmasından esas metal, gazaltı kaynaklı ve elektrik ark kaynaklı (selülozik) St37 (S235JR) kalite boru numunelerinin temini gerçekleştirilmiştir. Düz numuneler 460mm X 25mm X 5mm ebatlarındadır. Düz numunelerin bir kısmı 460mm uzunluğun ortasından gazaltı ve elektrik ark kaynak yöntemiyle birleştirilmiştir. Kaynaklı ve esas metal numunelerin bir kısmı ASTM G30-97 ve ASTM G58-85 standardına göre gerilmeli korozyon testlerinin yapılması için U şekline getirilmiştir. Çekme basma test cihazında üç noktalı eğme aparatı kullanılarak ve mandrel çapı 19.5, mm mandrel aralığı 35.7 mm seçilerek numuneler U şekline getirilmiştir (Şekil 3.1.). Çizelge 3.1' de deneysel çalışmada kullanılan St37 (S235JR) kalite çelik malzemenin kimyasal bileşimi verilmektedir. Çizelge 3.2. ve Çizelge 3.3.'te sırasıyla gazaltı ve elektrik ark kaynakla birleştirmede kullanılan elektrodların kimyasal bileşimi verilmektedir.



Şekil 3.1. U şekilli numunelerin şematik görünümü.

Çizelge 3.1. Deneysel çalışmada kullanılan St37 (S235JR) kalite çelik malzemenin kimyasal bileşimi.

% Bileşim														
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	Al	Mo	V	Ti	Nb	N	Ceş
0,07	0,37	0,16	0,018	0,013	0,07	0,08	0,24	0,031	0,011	0,002	0,001	0,002	0,007	0,169

Çizelge 3.2. Gazaltı kaynakla birleştirmede kullanılan elektrodun kimyasal bileşimi.

% Bileşim														
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	Al	Mo	V	Ti	Nb	N	
0,061	1,461	0,945	0,009	0,014	0,04	0,049	0,14	0,005	0,02	0,003	-	-	-	

Çizelge 3.3. Elektrik ark kaynakla birleştirmede kullanılan selülozik elektrodun kimyasal bileşimi.

% Bileşim														
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	Al	Mo	V	Ti	Nb	N	
0,12	0,60	0,40	0,030	0,030	-	-	-	-	0,65	-	-	-	-	

3.2. MEKANİK ÖZELLİKLER

Deneyde kullanılan esas metal, gazaltı kaynaklı ve elektrik ark kaynaklı düz ve U şekilli St37 (S235JR) kalite boru numunelerinin mekanik özellikleri sertlik ölçümü, çekme ve eğme-katlama testleri ile belirlenmiştir. Sertlik değerleri, Shimadzu marka HVM model mikrosertlik cihazında (Şekil 3.2.) Vickers ucu kullanılarak 500 gr yük altında gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.4.'de kaynaklı numunelerde sertlik ölçüm noktaları gösterilmektedir. Her bir noktada 3'er adet sertlik ölçümü alınmış ve ortalama değerleri kaydedilmiştir.



Şekil 3.2. Schimadzu marka HMV model mikrosertlik cihazı.

Çekme ve eğme-katlama testleri Gotech ve Heckert marka test cihazları kullanılarak yapılmış (Şekil 3.3.) olup çekme testi sonrası maksimum çekme mukavemetleri ölçülmüştür. Eğme-bükme testi ile kırılma yeri konusunda görsel sonuçlar elde edilmiştir. Eğme-bükme testi için yaklaşık 20 mm çapında mandrel kullanılmış ve mandrel aralığı ise 35,7 mm olarak seçilmiştir.

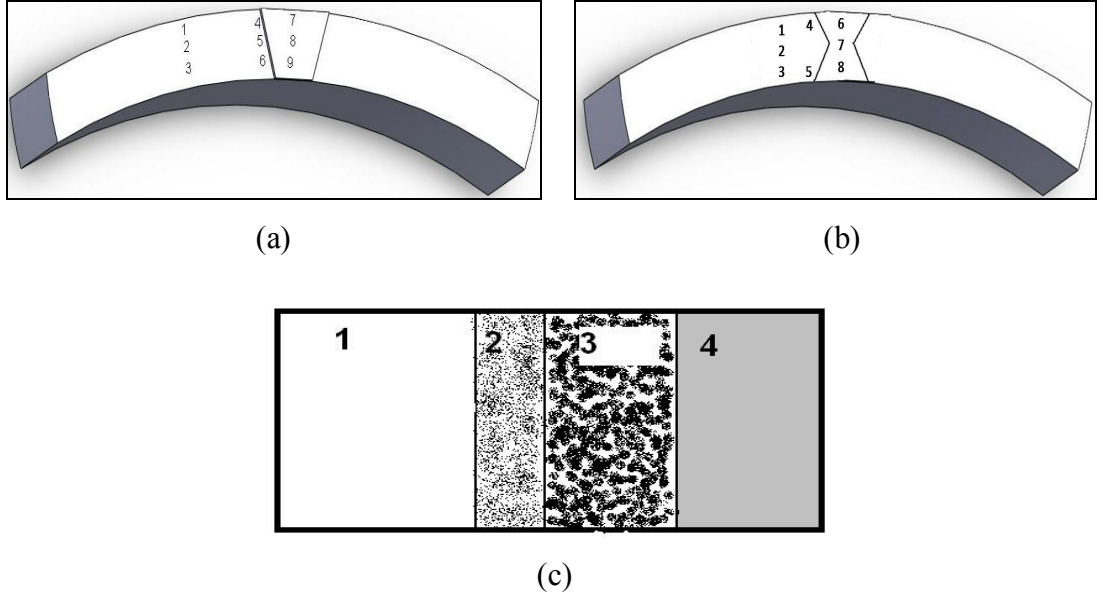


(a)

(b)

(c)

Şekil 3.3. Çekme ve eğme-katla testi için kullanılan çekme test cihazı: a) Çekme testi anı, b) Bükme anı ve c) U şekilli numune hazırlama anı.

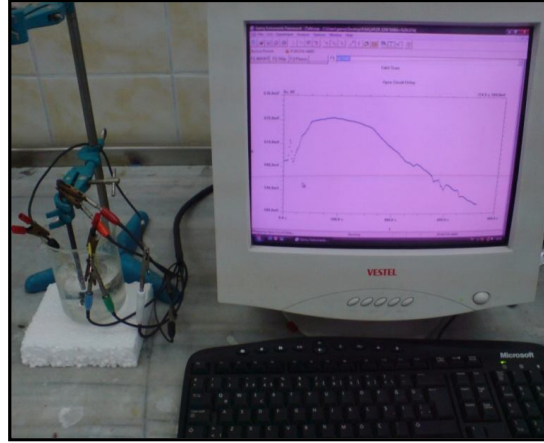


Şekil 3.4. a) Gazaltı kaynaklı b) Elektrik ark kaynaklı, ve c) Düz numunelerdeki mikro sertlik ölçümleri alınan bölgeler.

3.3. KOROZYON DENEYİ

Esas metal, gazaltı kaynaklı ve elektrik ark kaynaklı düz ve U şekilli St37 (S235JR) kalite boru numunelerinin daldırma yöntemi ile korozyon deneyleri yapılmıştır. Daldırma korozyonu sırasında ihtiyaç duyulacak ölçüm sıklıkları, U şekilli numunelere uygulanacak gerilme miktarı gibi parametreler araştırılıp, çalışma için uygun olacak değerlerin seçimi yapılmıştır. Daldırma korozyonu çözeltisi olarak %3,5 NaCl+%10 HCl ve %3,5 NaCl+%10 NaOH belirlenmiştir. Belirlenen parametreler doğrultusunda deney düzenekleri hazırlandı ve deneyler yürütüldü. Bu deneylerle paralel olarak 25 mm genişliğinde düz plakalardan kesilen 35 mm X 25 mm X 5mm boyutlarında esas metal, gazaltı ve elektrik ark kaynak yapılmış numuneler hazırlanarak daldırma korozyon testleri yapılmıştır. Daldırma korozyonunda hazırlanan çözelti içerisinde bekletilen numuneler belirli zaman aralıklarında ağırlık kaybı ölçümleri hassas terazi ile yapılarak çözeltilere tekrar daldırılmıştır. Potansiyodinamik polarizasyon ölçümleri de benzer şekilde Gamry model potansiyodinamik polarizasyon test cihazı (Şekil 3.5.) kullanılarak numuneleri çözelti içerisinde bekletilerek belirli zaman aralıklarında alınmıştır.

Potansiyodinamik polarizasyon da mavi ve yeşil elektrodlar numuneye bağlanmıştır, referans elektrodu platin elektroda bağlanmıştır, karşı elektrodlar grafit elektroda bağlanmıştır. I_{kor} ve E_{kor} değerlerine bakılarak korozyon davranışları belirlenmiştir.



Şekil 3.5. Potansiyodinamik Polarizasyon deneylerinde kullanılan potansiyostatik yöntemle çalışan statik korozyon deney düzeneği.

3.4. MİKROYAPI KARAKTERİZASYONU

Korozyon deneyi öncesi ve sonrasındaki numunelerin esas metal ve kaynaklı kısımları disketon ile kesilip, standart yöntemlerle zımparalandıktan sonra sırası ile 1 μm Al_2O_3 solusyonu ve 0.5 μm elmas pasta ile parlatılmıştır ve ardından parlatılan numuneler nital ile dağlanmıştır. Mikroyapısal incelemeler, bilgisayar donanımlı Leica marka DMILM model optik ışık mikroskobu kullanılarak yapılmıştır (Şekil 3.6.).



Şekil 3.6. Leica marka DMILM model optik ışık mikroskobu.

BÖLÜM 4

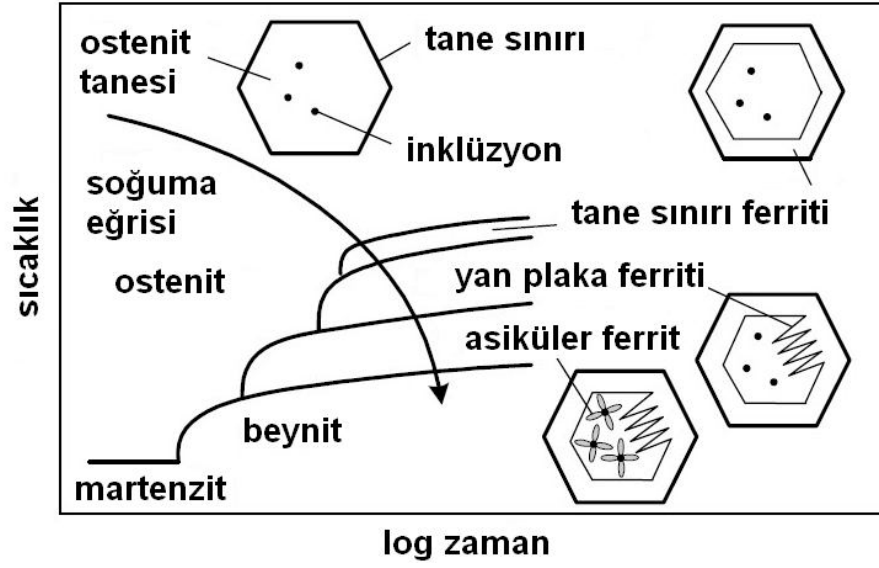
DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. MİKROYAPI KARAKTERİZASYONU SONUÇLARI

İncelenen numunelerinin mikro yapısı üç ana bölgeye ayrılarak irdelenmiştir; kaynak bölgesi, ısı tesiri altında kalan bölge ve ana malzeme.

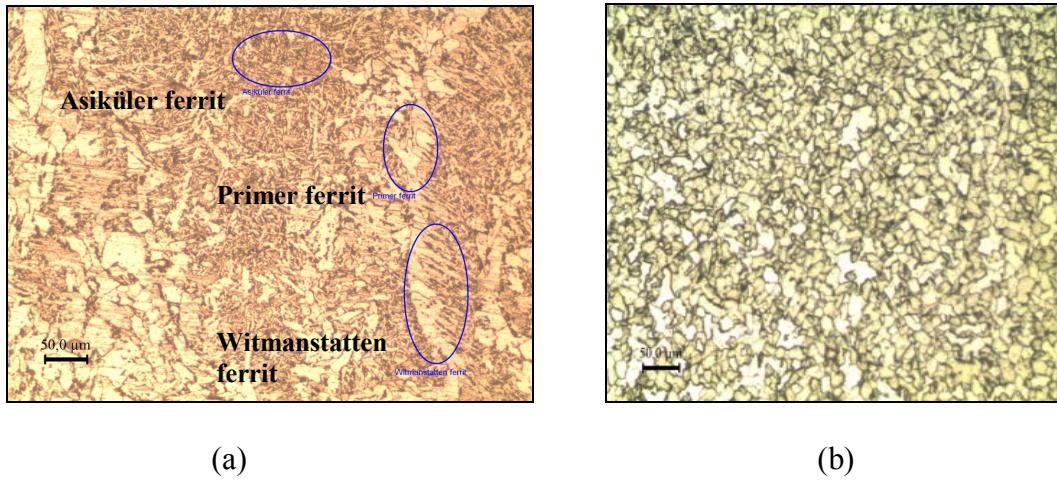
4.1.1. Kaynak Bölgesi

Kaynak bölgeleri incelenirken demir karbon denge diyagramı ve sürekli soğuma eğrileri esas alınmıştır. Kaynak metalinin kimyasal bileşimi, soğuma hızı, inklüzyon yoğunluğu sonuç mikroyapısını tayin eden faktörlerdir. Elektrik ark kaynaklarında çelik kaynak metalinde ostenit A3 sıcaklığı altında soğutulduğunda ostenit tane sınırlarında primer tane sınırı ferriti teşekkül eder. Bundan sonra ferrit- ostenit tane sınırlarında Widmanstatten kenar levhaları veya ferrit kenar levhaları çekirdeklenmesi ve büyümesi gerçekleşir. İlk iki fazın büyüme hızı ostenitte karbon yayınına hızına bağlıdır. Daha sonra ostenit taneleri içerisinde asiküler ferrit taneleri inklüzyonlarda çekirdeklenir. Bunlar, kaynak metalinde önemli olan üç fazdır; primer ferrit, Widmanstatten kenar levhaları ve asiküler ferrit fazlarıdır. Kaynak soğuma hızına bağlı olarak asiküler ferrit teşkil etmez ise kaynak soğuma hızına bağlı olarak primer ferrit veya beynit dönüşümü gerçekleşebilir. Yavaş soğuma hızlarında primer ferrit , hızlı soğuma hızlarında beynit oluşur [37]. Parça kalınlığı ve kaynak hızı dikkate alındığında (6mm) kaynak metalinin yavaş soğuduğu söylenebilir. Düşük soğuma hızı ve sertlik ölçümlerine göre kaynak sonrası oluşan mikroyapı martenzit ve/veya beynit içermemektedir.

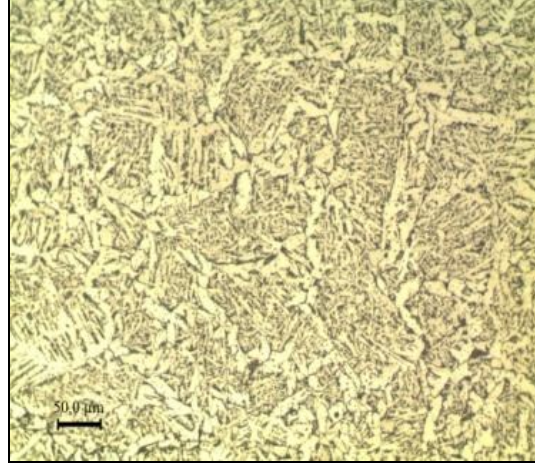


Şekil 4.1. Düşük karbonlu çeliklerin kaynak metali için sürekli soğuma eğrileri [38].

Şekil 4.1. Düşük karbonlu çeliklerin kaynak metali için sürekli soğuma eğrisi dikkate alınarak ve mikroyapı incelendiğinde, kaynak bölgesinde östenitten tane sınırı ferritler oluşmuştur. Kimyasal bileşimi bakımından (Şekil 4.2.) düşük karbonlu kompozisyona sahip olduğundan bu bölgelerin mikro yapısının perlit +ferritten oluştuğu görülmektedir. Yapıda ayrıca asiküler ferrit ve protektoid ferrit görülmüştür. Tane sınırı ferritlerin iç kısımlarında Widmanstatten kenar levhaları büyüdüğü gözlenmiştir. Ayrıca asiküler ferrit oluşmuştur. Elektrik ark yöntemi ile kaynatılmış numunenin kaynak bölgesinin görünümü Şekil 4.3’ de verilmiştir.



Şekil 4.2. Gazaltı kaynaklı numunenin a) kaynak bölgesi ve b) kaynak merkezi.



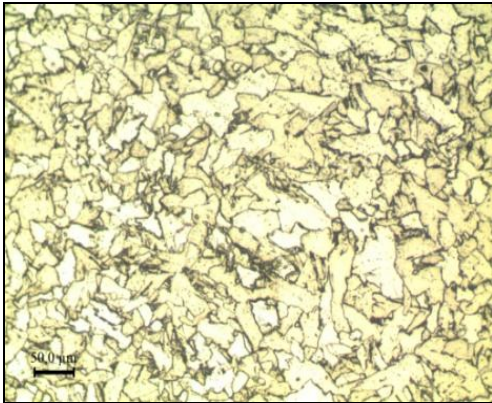
Şekil 4.3. Elektrik ark kaynak metalinin merkezi.

4.1.2. Isı Tesiri Altında Kalan Bölgeler

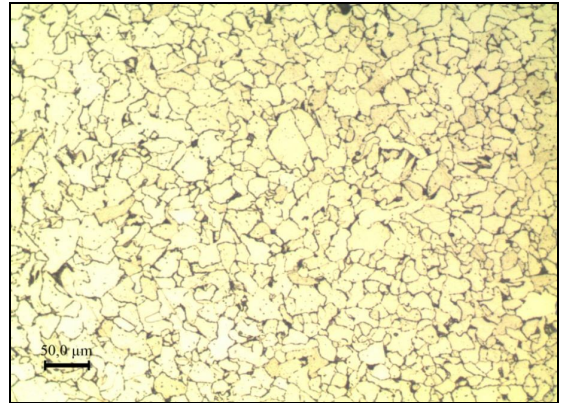
Isı tesiri altındaki bölgeler kısmen dönüşüme uğramış, ince ve iri taneli bölge olarak üçe ayrılmaktadır.

4.1.2.1. İri Taneli Bölge

Kaynak metalinin katılaşması sırasında ergime çizgisinin esas metal tarafında sıcaklığın yüksek olması sebebiyle, hızlı bir ostenitik tane büyümesi meydana gelmiş ve taneler irileşmiştir (Şekil 4.4.).



(a)

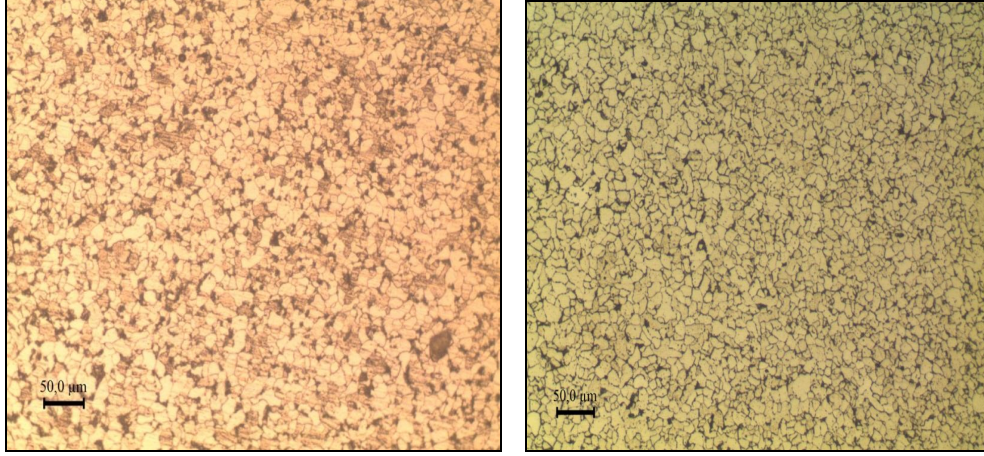


(b)

Şekil 4.4. a) Gazaltı ve b) Elektrik ark kaynaklı parçanın ITAB iri taneli bölgesi.

4.1.2.2. İnce Taneli Bölge

Bu bölge içyapı olarak kaba taneli bölgeye benzemektedir ve kaba taneli bölgenin devamıdır. Ancak tane boyutu olarak daha ince tanelere sahip olduğu görülmektedir (Şekil 4.5.).



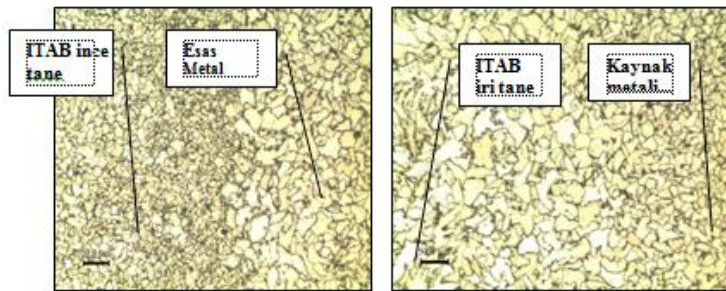
(a)

(b)

Şekil 4.5. a) Gazaltı kaynak ve b) Elektrik ark kaynaklı parçanın ITAB ince taneli bölgesi.

4.1.2.3. Kısmen Dönüşüme Uğramış Bölge

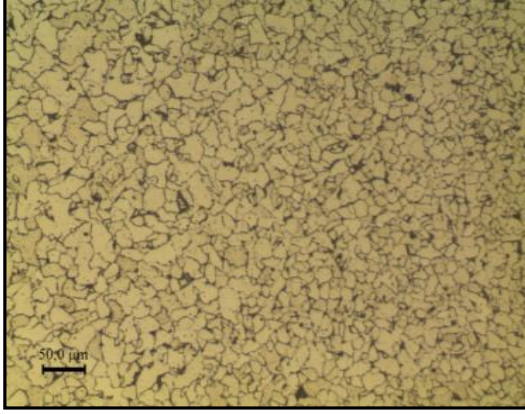
Bu bölge mikroyapı olarak kaba taneli ve ince taneli bölgeye benzemektedir. Bölgesel bir ostenit dönüşümü olduğu için yapıda ince tanelerle ana metalin taneleri (Şekil 4.6. ve Şekil 4.7.) bir arada bulunmaktadır.



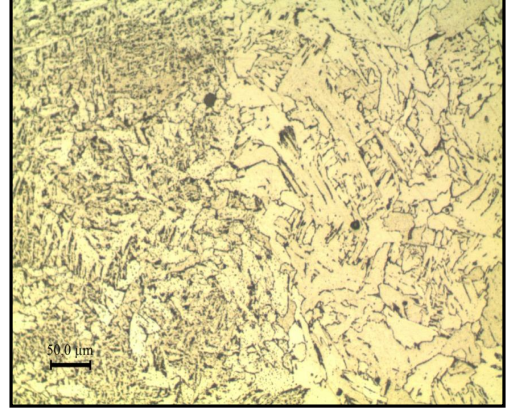
(a)

(b)

Şekil 4.6. a) Esas metalden ITAB gazaltı ince taneye ve b) Gazaltı ITAB iri taneden kaynak metaline geçiş.



(a)

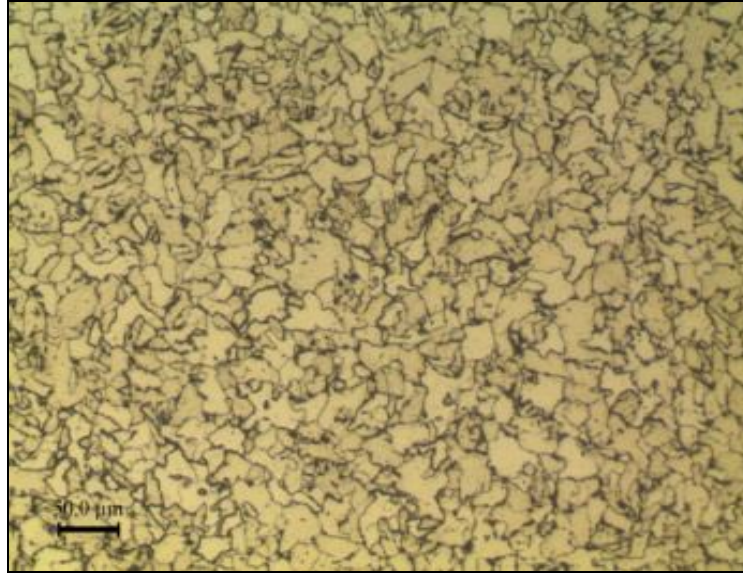


(b)

Şekil 4.7. a) Esas metalden ITAB elektrik ark kaynaklı ince taneye ve b) ITAB elektrik ark kaynak metali lamelli yapıdan kaynak metaline geçiş.

4.1.3. Esas Metal

%0,07 karbon içerikli bu malzemedeki mikroyapı yoğunluklu olarak ferrit az miktarda perlitten oluşmaktadır. Taneler homojen dağılımlı ve ortalama 20 μm çapa sahiptir. Haddelenme yönüne tane uzaması yoktur (Şekil 4.8.).



Şekil 4.8. Esas metal.

4.2. MEKANİK TEST SONUÇLARI

Çekme deneyi sonrası, St 37 (S235JR) kalite çeliğin, gazaltı ve elektrik ark kaynaklı numunelerin maksimum çekme mukavemetleri, sırasıyla 477 MPa, 497 MPa ve 522 MPa dır. Elektrik ark kaynaklı numunenin mukavemetinin diğerlerinden daha yüksek olması, kaynak sırasında kullanılan elektrodun kimyasal bileşiminden ileri gelmektedir.

Deneyde kullanılan ana metal, gazaltı kaynaklı ve elektrik ark kaynaklı düz ve U şekilli St37 (S235JR) kalite boru numunelerinin sertlik dağılımları Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2’de verilmiştir. Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2’deki sertlik sonuçlarına genel olarak bakıldığında, en yüksek sertliğin kaynak metalinde, en düşük sertliğin ise ana malzemede olduğu görülmektedir. Çelik malzemelerde karbonun sertleşebilirliği arttırdığı bilinen bir durumdur. Çizelge 3.1., Çizelge 3.2., Çizelge 3.3’de kullanılan malzeme, tel ve elektrodun kimyasal analizine bakıldığında; kullanılan telin ve elektrodun karbon oranının ana malzemelerden yüksek olduğu görülmektedir. Bu da sertlik deney numunelerinin tümünde kaynak metalinin sertliğinin yüksek çıkmasına sebep olmaktadır.

Gazaltı kaynağında en yüksek sertlik değerinin kaynak metalinde olduğu görülmektedir (Çizelge 4.1). Gazaltı kaynağı yapılmış U şekilli numunelerde, iç ve dış bölgelerdeki kaynak metalinin sertlik değerleri ile düz numunelerdeki kaynak metalinin sertlik değeri, sırası ile 189, 187 ve 201 HV olarak ölçülmüştür. Ana malzemenin sertliği ise U şekilli ve düz numunelerde 184 HV değerinde olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.1. Gazaltı kaynaklı numune mikrosertlik değerleri alınan bölgeler ve mikrosertlik değerleri.

Bölgeler	Sertlik Değerleri
1	196 HV
2	164 HV
3	183 HV
4	185HV
5	173 HV
6	187 HV
7	189 HV
8	187 HV
9	201 HV

Elektrik ark kaynağında en yüksek sertlik değerinin kaynak metalinde olduğu görülmektedir (Çizelge 4.2). Elektrik ark kaynağı yapılmış U şekilli numunelerde, iç ve dış bölgelerdeki kaynak metalinin sertlik değerleri ile düz numunelerdeki kaynak metalinin sertlik değeri, sırası ile 215, 187 ve 184 HV olarak ölçülmüştür. Ana malzemenin sertliği ise U şekilli ve düz numunelerde 184 HV değerinde olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.2. Elektrik ark kaynaklı numune mikrosertlik değerleri alınan bölgeler ve mikrosertlik değerleri

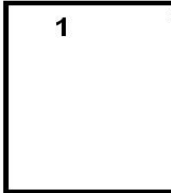


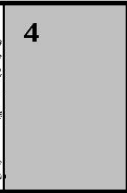
Bölgeler	Sertlik Değerleri
1	196 HV
2	164 HV
3	183 HV
4	181HV
5	180 HV
6	215 HV
7	187 HV
8	184 HV

Gazaltı kaynaklı U şekilli numunelerde basma zorlanmasına maruz kalan bölgede sertlik değeri 201 HV iken elektrik ark kaynaklı ise 184 HV dir. Bu durumda gazaltı kaynaklı bölge sertlik daha yüksektir. Çekme gerilmesine maruz kalan U şekilli gazaltı kaynaklı numunelerde sertlik 189 HV iken elektrik ark kaynaklı ise

sertlik 215 HV ölçülmüştür. Bu ölçümlere dayanarak elektrik ark kaynaklı bölgede sertlik değeri daha yüksektir.

Gazaltı ve elektrik ark kaynaklı düz numunelerdeki ölçülen sertlik değerleri Çizelge 4.3.'de verilmiştir. Düz numunelerde sertlik değerleri karşılaştırıldığında ITAB ve kaynak metallerinin sertlik değerleri arasında çok bir farklılık gözlenmemiştir.

Çizelge 4.3. Düz numune üst kısım gazaltı ve elektrik ark kaynak bölgeleri ve sertlik değerleri.

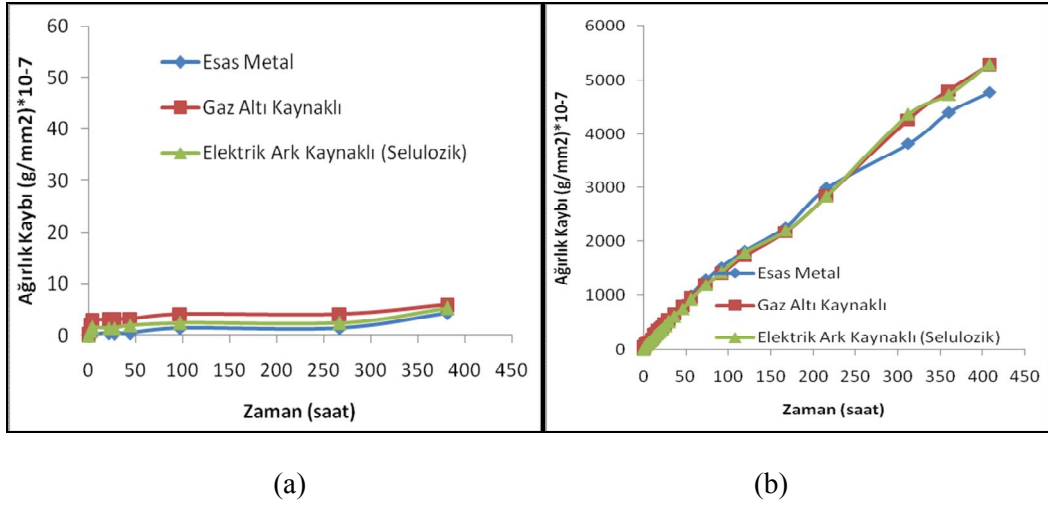
	Bölge no' su	Bölge adı	Gazaltı	Elektrik Ark
	1	Ana metal	184 HV	185 HV
	2	ITAB İnce Tane	192 HV	191 HV
	3	ITAB İri Tane	192 HV	194 HV
	4	Kaynak metali	245 HV	243 HV

4.3. KOROZYON DENEYİ SONUÇLARI

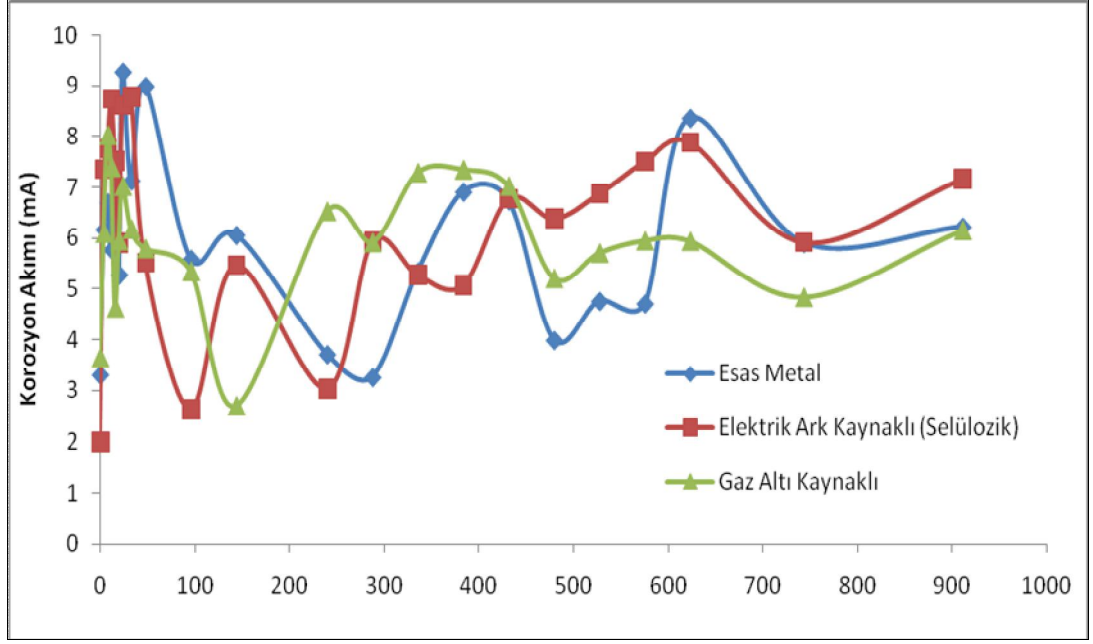
Kaynaklı ve kaynaklı düz numunelerden korozyon çözeltisine daldırılan numunelerin zamana bağlı olarak ağırlık kaybı değişimleri Şekil 4.9.'da verilmiştir. Ağırlık kaybı değerlerine bakıldığında gazaltı ve elektrik ark kaynaklı numunenin ana metale göre biraz daha fazla korozyona uğradığı gözlenmiştir. Şekil 4.9.'dan görüldüğü gibi, HCl içeren çözelti NaOH çözeltisinden çok daha agresiftir. Gazaltı kaynaklı bölgenin HCl içerisindeki ağırlık kaybı 5277 g/mm^2 iken NaOH çözeltisi içerisindeki ağırlık kaybı 7 g/mm^2 olarak ölçülmüştür. Sonuç olarak HCl çözeltisi ağırlık kaybını yaklaşık 800 kat artırmıştır.

U şekilli numunelerde belirli aralıklarla zamana bağlı olarak ölçülen korozyon akım ve potansiyel değişimi, sırasıyla HCl ve NaOH içeren çözeltiler için Şekil 4.10. ve Şekil 4.11.' de verilmiştir. Şekillerden görüldüğü gibi zamana bağlı olarak korozyon akımı ve korozyon potansiyelinin artış ve azalış şeklinde çevrimsel olarak değiştiği

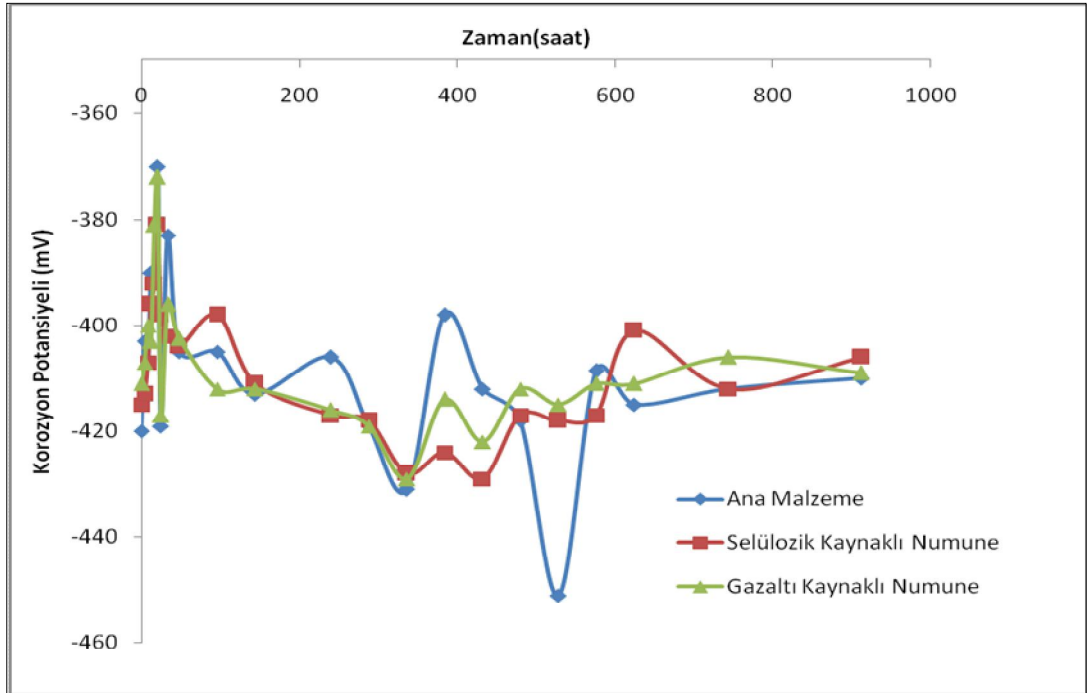
bulunmuştur. Korozyon akım ve potansiyelinin çevrimsel olarak değişimi ilk 100 saatte daha şiddetli olup, 100- 600 saat arasında homojen olmayan sinüzoidal eğriler arasındaki aralık genişlemiştir. 650 saatin ardından akım ve potansiyel sabit kalmıştır (Şekil 4.10.).



Şekil 4.9. a) % 3,5 NaCl+%10HCl ve b) %3,5NaCl+%10NaOH çözeltileri içerisindeki kaynaklı (esas metal) ve kaynaklı (gaz altı ve elektrik ark kaynaklı) düz numunelerin zamana bağlı olarak ağırlık kaybı sonuçları.

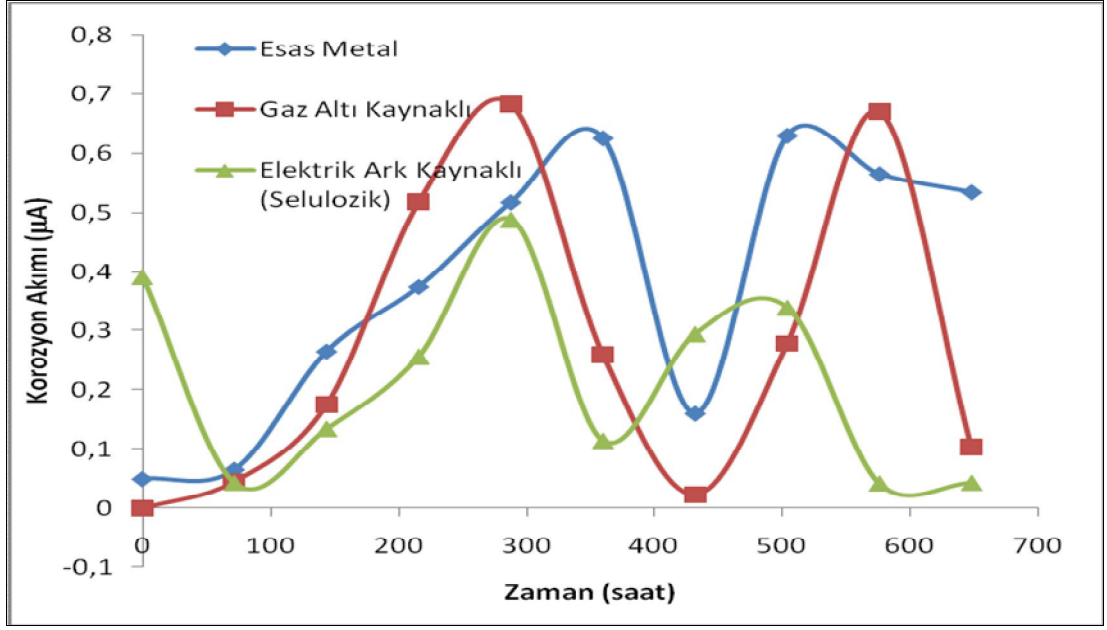


(a)

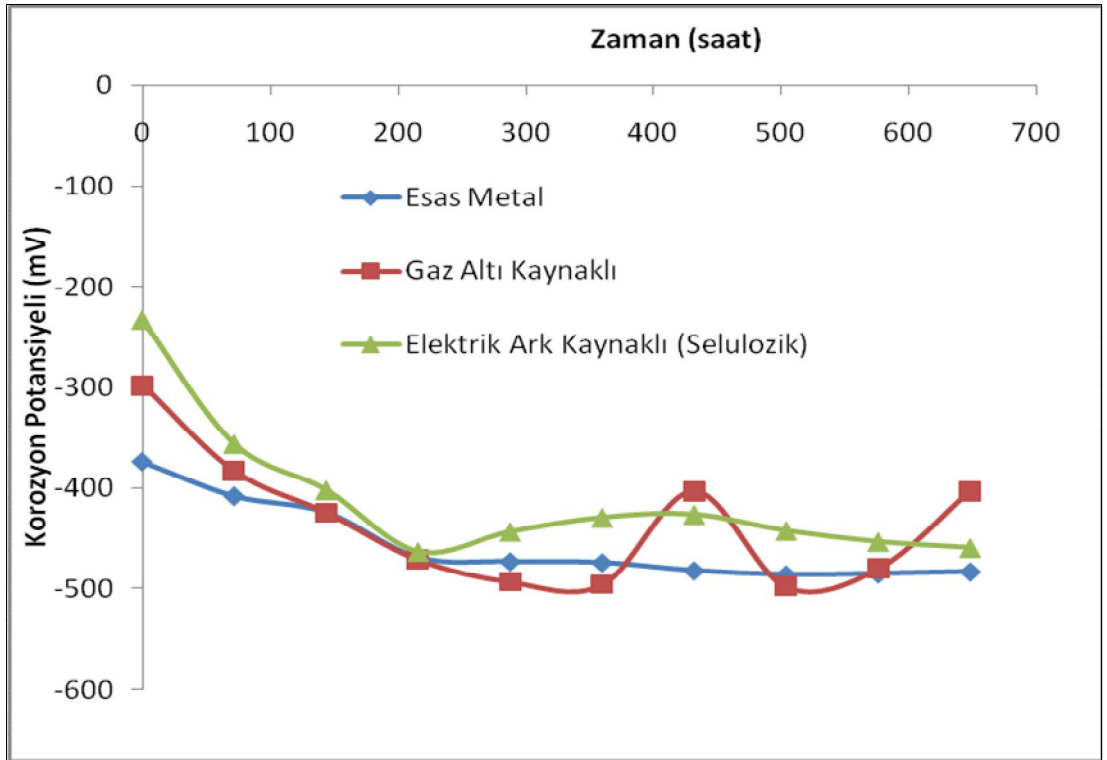


(b)

Şekil 4.10. % 3,5 NaCl+%10HCl çözeltisi içerisindeki kaynaklı (esas metal) ve kaynaklı (gaz altı ve elektrik ark kaynaklı) düz numunelerin zamana bağlı olarak a) korozyon akımı ve b) korozyon potansiyelinin değişimi.



(a)



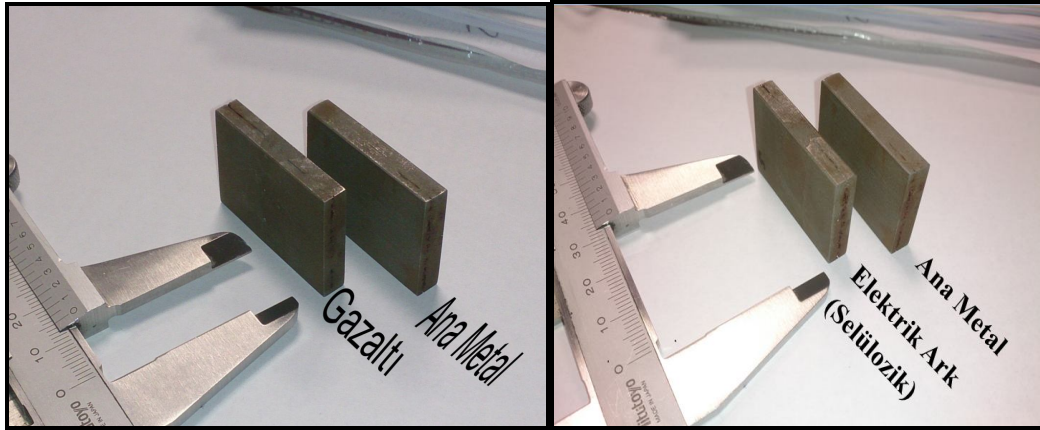
(b)

Şekil 4.11. % 3,5 NaCl+%10NaOH çözeltisi içerisindeki kaynaklı (esas metal) ve kaynaklı (gaz altı ve elektrik ark kaynaklı) düz numunelerin zamana bağlı olarak a) korozyon akımı ve b) korozyon potansiyelinin değişimi.

HCl içeren çözeltiliye kıyasla NaOH çözeltisi içerisindeki korozyon potansiyeli değişmezken (Şekil 4.11) korozyon akımı çok düşüktür. Bu, ağırlık kaybı sonuçları ile uyumlu olarak NaOH çözeltisindeki korozyon kaybının çok düşük olduğunu göstermektedir.

4.3.1. Korozyon Deneyi Sonrası Görünüm

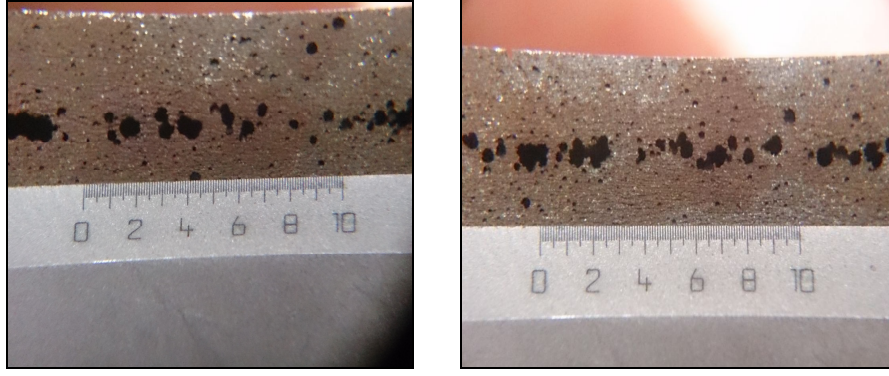
NaOH içeren çözelti içindeki numunede korozyon hasarı (oyuk oluşumu v.b.) hiç oluşmaz iken HCl içeren korozyon çözeltisine daldırma yöntemiyle test edilen numunelerde hasar oluşumu nötr eksende lifli boşlukların oluşumu ve bunların eksen boyunca ilerlemesi şeklindedir (Şekil 4.12. ve Şekil 4.13.). Kaynaklı malzemede ise oluşan bu boşluğun ilerlemesi kaynak metalinde durmuştur.



(a)

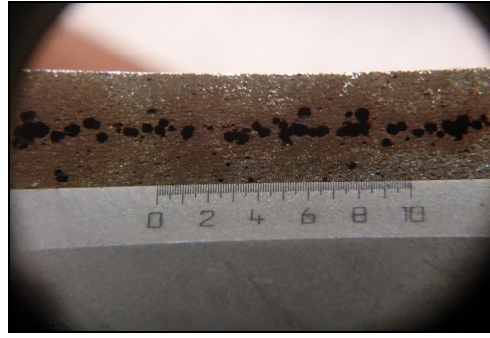
(b)

Şekil 4.12. % 3,5 NaCl+% 10HCl çözeltisine daldırılan düz a) gazaltı kaynaklı ve b) elektrik ark kaynaklı numunelerin 936 saat sonrasındaki genel görünüşü.



(a)

(b)



(c)

Şekil 4.13. % 3,5 NaCl+%10HCl çözeltisine daldırılan düz a) kaynaksız (esas metal), b) gazaltı kaynaklı ve c) elektrik ark kaynaklı numunelerin 936 saat sonrasındaki yandan görünüşü.

Ana malzemede ve gazaltı kaynaklı U şekilli numunelerde gerilmeye maruz kalmış bölgede numunenin dış kısmında çukurcuk korozyonu meydana geldiği görülmüştür (Şekil 4.14a). Oyuklanmalar dairesel şekilli olarak meydana gelmiştir. Bu oyuklar kaynağın dış yüzeyinde yoğunlaşma göstermiştir. U şekilli numunenin çekme kuvvetlerinin etkisindeki kaynak bölgesinde çukurcuklar daha derin ve sayıca daha çoktur. Basma kuvvetlerinin etkisindeki iç kısımdaki kaynak yüzeyinde ise oyuk daha da azdır. Elektrik ark kaynaklı U şekilli numunede ise basma ve çekme gerilmesine maruz kalmış bölgede çatlaklara bağlı olarak korozyon meydana gelmiş ve numunenin kaynak bölgesindeki kesitinde incelme meydana gelmiştir (Şekil 4.15.). U şekilli numunede ana malzemede %26,725 kesit daralması meydana geldiği gözlemlenmiştir. Gazaltı kaynaklı U şekilli numunede %16,67 kesit daralması tespit edilmiştir. Elektrik ark kaynaklı U şekilli numunede %24,25 kesit daralması tespit edilmiştir.

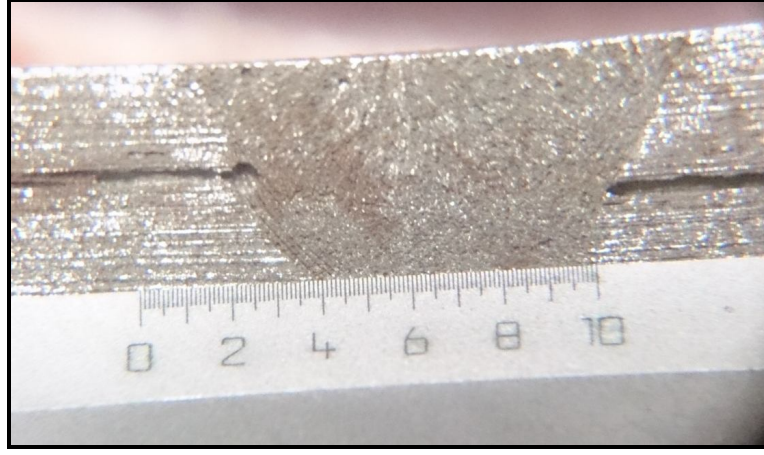


(a)

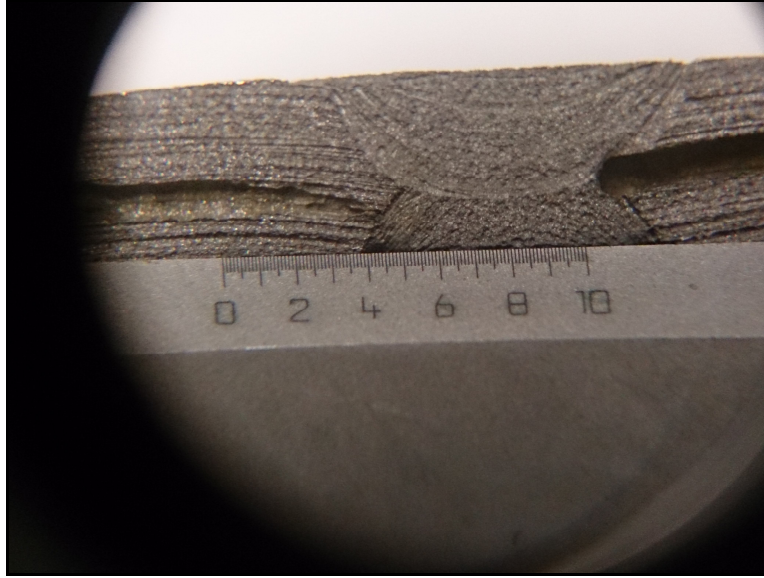


(b)

Şekil 4.14. % 3,5 NaCl+%10 HCl çözeltilisine daldırılan a) Gazaltı kaynaklı ve b) Elektrik ark kaynaklı U şekilli numunenin 336 saat sonrası yüzeyin genel görünüşü



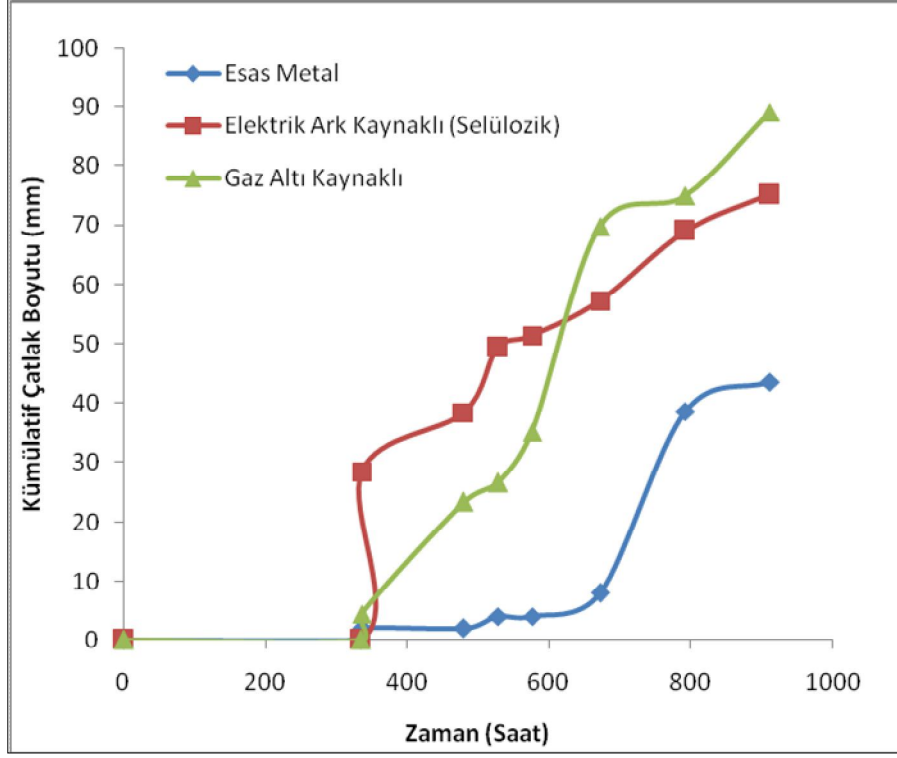
(a)



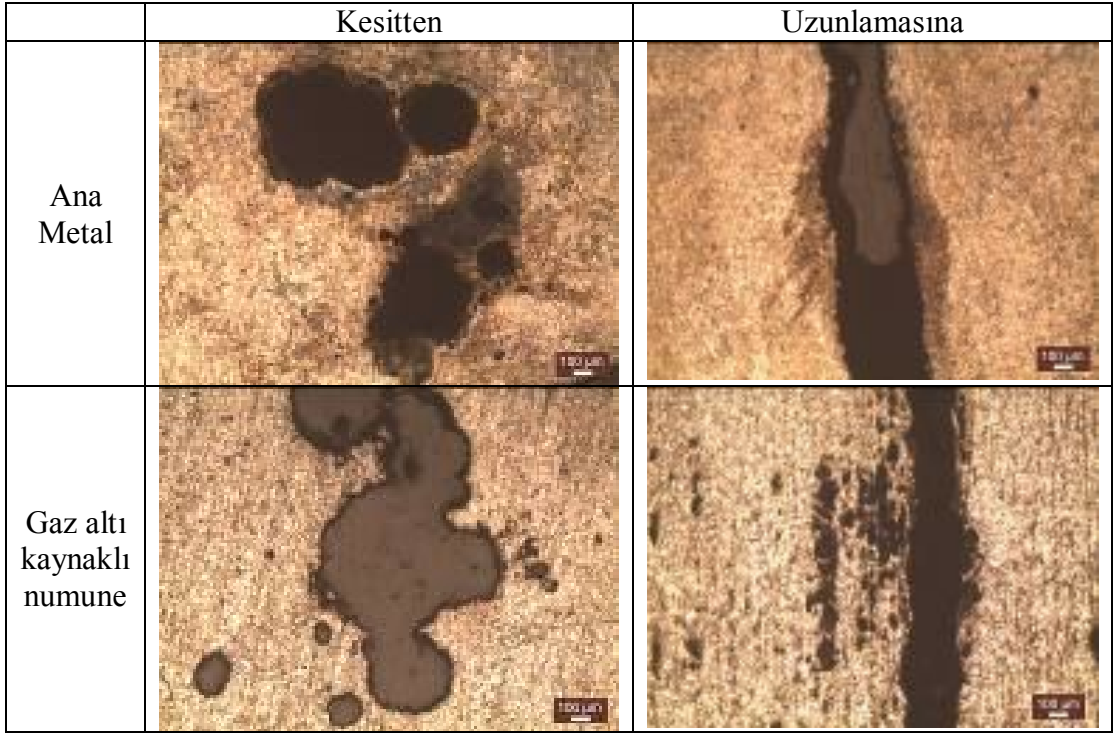
(b)

Şekil 4.15. % 3,5 NaCl+%10 HCl çözeltisine daldırılan U şekilli a) gazaltı ve b) elektrik ark kaynaklı numunenin kaynak bölgesinin yandan görünüşü.

U şekilli numunelerde zamana bağlı olarak oluşan çatlakların uzunlukları ölçülmüştür (Şekil 4.16.). Kaynaklı parçalardaki çatlak boyutlarının ilerlemesi esas metaldeki çatlakların ilerlemesinden daha hızlıdır. Elektrik ark ve gaz altı kaynaklı parçalardaki çatlak boyutları birbirine yakındır.



Şekil 4.16. % 3,5 NaCl+%10 HCl çözeltisine daldırılan U şekilli numunelerde zamana bağlı kümülatif çatlak boyutlarının değişimi.



Şekil 4.17. Korozyon deneyi sonrası hasarın görünümü.

% 3,5 NaCl+%10 HCl çözeltisine daldırılan kaynaklı ve kaynaklı düz numunelerin ağırlık kayıpları arasında fark (Şekil 4.9.) gözlenmez iken gerilmeli korozyon deneyleri sonrası oluşan çatlak ilerleme hızında kaynaklı numuneler ile kaynaklı numuneler arasında belirgin fark oluşmuştur. Bu farkın, uygulanan gerilme etkisi ile olduğu düşünülmektedir.

Düz numunelere uygulanan % 3,5 NaCl+%10 HCl çözeltisi içerisindeki ağırlık kaybı testi sonrası numunelerin hasar mekanizmasını belirlemek için hadde uzunlamasına ve kesitten çekilen mikroyapı Şekil 4.17.'de verilmiştir. Şekil 4.17. den görüldüğü gibi yaklaşık dairesel formda uzunlamasına fiberimsi çatlaklar oluşmuştur. Fiber çapı yaklaşık 1300 nm mertebelerine ulaşırken fiberin uzunluğu numune boyuncadır.

BÖLÜM 5

GENEL SONUÇLAR

Bu çalışmada St37 (S235JR) kalite boru çeliklerin esas metal, gazaltı kaynaklı ve elektrik ark kaynaklı düz ve U şekilli numunelerin mekanik test ve korozyon testi sonunda elde edilen genel sonuçları aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

1. Çekme deneyi sonrası, St 37 (S235JR) kalite çeliğin, gazaltı ve elektrik ark kaynaklı numunelerin maksimum çekme mukavemetleri, sırasıyla 477 MPa, 497 MPa ve 522 MPa dır. Elektrik ark kaynaklı numunenin mukavemeti diğerlerinden daha yüksektir.
2. Deneyde kullanılan ana metal, gazaltı kaynaklı ve elektrik ark kaynaklı düz ve U şekilli St37 (S235JR) kalite boru numunelerinin sertlik sonuçlarına genel olarak bakıldığında, en yüksek sertliğin kaynak metalinde, en düşük sertliğin ise ana malzeme olduğu görülmüştür.
3. Gazaltı kaynaklı U şekilli numunelerde basma zorlanmasına maruz kalan bölgede sertlik değeri 201 HV iken elektrik ark kaynaklıda ise 184 HV dir. Bu durumda gazaltı kaynaklı bölge sertlik daha yüksektir. Çekme gerilmesine maruz kalan U şekilli gazaltı kaynaklı numunelerde sertlik 189 HV iken elektrik ark kaynaklıda ise sertlik 215 HV ölçülmüştür. Bu ölçümlere dayanarak elektrik ark kaynaklı bölgede sertlik değeri daha yüksektir.
4. Gazaltı ve elektrik ark kaynaklı düz numunelerdeki ölçülen sertlik değerleri karşılaştırıldığında ITAB ve kaynak metallerinin sertlik değerleri arasında çok bir farklılık gözlenmemiştir.

5. St 37 (S235JR) kalite çelikten imal edilen boru malzemesinin gerilmeli korozyon testleri sonunda numunelerin belirli aralıkça çevrimsel olarak değişen korozyon akım ve potansiyeline maruz kaldığı görülmüştür. Kaynaksız ve kaynaklı numunelerin korozyon akım ve potansiyelleri arasında belirgin bir fark olmamasına rağmen numunede oluşan çatlak boyutları değişmiştir.
6. Kaynaklı ve kaynaklı düz numunelerden korozyon çözeltisine daldırılan numunelerin zamana bağlı olarak ağırlık kaybı değerlerine bakıldığında gazaltı ve elektrik ark kaynaklı numunenin ana metale göre biraz daha fazla korozyona uğradığı gözlenmiştir. HCl içeren çözelti NaOH çözeltisinden çok daha agresiftir. Gazaltı kaynaklı bölgenin HCl içerisindeki ağırlık kaybı 5277 g/mm^2 iken NaOH çözeltisi içerisindeki ağırlık kaybı 7 g/mm^2 olarak ölçülmüştür. Sonuç olarak HCl çözeltisi ağırlık kaybını yaklaşık 800 kat artırmıştır.
7. U şekilli numunelerde belirli aralıklarla zamana bağlı olarak ölçülen korozyon akım ve potansiyel değişimi, zamana bağlı olarak korozyon akımı ve korozyon potansiyelinin artış ve azalış şeklinde çevrimsel olarak değiştiği bulunmuştur. Korozyon akım ve potansiyelinin çevrimsel olarak değişimi ilk 100 saatte daha şiddetli olup, 100- 600 saat arasında homojen olmayan sinüzoidal eğriler arasındaki aralık genişlemiştir. 650 saatin ardından akım ve potansiyel sabit kalmıştır.

KAYNAKLAR

1. Suleiman, M. I. and Newman, R. C., “Galvanostatic, creviced stress corrosion test for austenitic stainless steels in hot chloride solutions”, *Corrosion*, 51: 171-176 (1995).
2. Laycock, N. J., “Effects of temperature and thiosulfate on chloride pitting of austenitic stainless steels”, *Corrosion*, 55: 584-590 (1999).
3. Laitinen, T., “Localized corrosion of stainless steel in chloride, sulphate and thiosulfate containing environments”, *Corrosion Science*, 42: 421-441 (2000).
4. Abdulsalam, M. I. and Shinohara, T., “*Technical note: crevice corrosion of stainless steel in hot salt water*”, *Corrosion*, 59: 290-291 (2003).
5. Li, G. F. and Congleton J., “Stress corrosion cracking of low alloy steel to stainless steel transition weld in Pwr primary water at 292°C”, *Corrosion Science*, 42: 1005-1021 (2000).
6. Li, G. F., Charles, E. A. and Congleton, J., “Effect of post weld heat treatment on stresscorrosion cracking of a low alloy steel to stainlesssteel transition weld”, *Corrosion Science*, 43: 1963-1983 (2001).
7. Chen, Y. Y., Liou, Y. M. and Shih, H. C., “Stress corrosion cracking of type 321 stainless steels in simulated petrochemical process environments containing hydrogen sulfide and chloride”, *Materials Science and Engineering A*, 407: 114-126, (2005).
8. Xuan, F.Z., Huang, X. and Tu, S.T., “Comparisons of 30Cr2Ni4MoV rotor steel with different treatments on corrosion resistance in high temperature water”, *Materials and Design*, 29: 1533-1538 (2008).
9. Turnbull, A. and Zhou, S., “Comparative evaluation of environment induced cracking of conventional and advanced steam turbine blade steels. Part 1 : stress corrosion cracking”, *Corrosion Science*, 52: 2932-2936 (2010).
10. Ramamurthy, S., Lau, W. M. L. and Atrens, A., “Influence of the applied stress rate on the stress corrosion cracking of 4340 and 3.5NiCrMoV steels under conditions of cathodic hydrogen charging”, *Corrosion Science*, 53: 2419-2429 (2011).
11. Congleton, J. and Yang, W., “The effect of applied potential on the stress corrosion cracking of sensitized type 316 stainless steel in high temperature water”, *Corrosion Science*, 37: 429-444 (1995).

12. Muraleedharan, P., Gnanamoorthy, J. B. and Rodriguez, P., "Comparative study: degree of sensitization and intergranular stress corrosion cracking susceptibility of type 304 stainless steel", *Corrosion Science*, 52: 790-800 (1996).
13. Lorenzetto, P., H'elie, M. and Molander, A., "Stress corrosion cracking of Aisi 316LN stainless steel in Iter primary water conditions", *Journal of Nuclear Materials*, 233-237: 1387-1392 (1996).
14. Rondelli, G., Vicentini, B. and Sivieri, E., "Stress corrosion cracking of stainless steels in high temperature caustic solutions", *Corrosion Science*, 39: 1037-1049 (1997).
15. Chiang, Y. L. and Streicher M. A., "Effect of condenser design on stress corrosion cracking of stainless alloys in boiling chloride solutions", *Corrosion*, 54: 740-750 (1998).
16. Marino, N. A. and Spinelli, D., "Stress corrosion cracking of stainless steel used in drill collars", *Materials Science and Engineering: A*, 385: 212-219 (2004).
17. Bosch, R. W., "Electrochemical impedance spectroscopy for the detection of stress corrosion cracks in aqueous corrosion systems at ambient and high temperature", *Corrosion Science*, 47: 125-143 (2005).
18. Chen, H. N., Chen, L. S., Lin, Q. H. and Long, X., "Stress corrosion test for clad plate weldments with compressive stress treatment using the anti-welding-heating method", *Corrosion*, 55: 626-630 (1999).
19. Pardo, A., Otero, E., Merino, M. C., L'opez, M. D., Utrilla, M. V. and Moreno, F., "Influence of chromium addition on the corrosion resistance of $\text{Co}_{73.5}\text{Si}_{13.5}\text{B}_9\text{Nb}_3\text{Cu}_1$ metallic glass in sodium sulfate", *Corrosion*, 58: 987-994 (2002).
20. Romero, M., Duque, Z., Rinc'on, O., P'erez, O., Araujo, I. and Martinez, A., "Online monitoring systems of microbiologically influenced corrosion on Cu-10% Ni alloy in chlorinated, brackish water" *Corrosion*, 56: 867-876 (2000).
21. Singh, I. B., "Effect of heat treatment on pitting corrosion resistance of nickel base superalloys in acidic chloride medium", *Corrosion*, 57: 483-489 (2001).
22. Laitinen, T., "Localized corrosion of stainless steel in chloride, sulfate and thiosulfate containing environments", *Corrosion Science*, 42: 421-441 (2000).
23. Gabetta, G., "Transgranular stress corrosion cracking of low-alloy steels in diluted solutions", *Corrosion*, 53: 516-528 (1997).
24. Yamakawa K. and Nishimura R., "Hydrogen permeation of carbon steel in weak alkaline solution containing hydrogen sulfide and cyanide ion", *Corrosion*, 55: 24-30 (1999).

25. Omweg, G. M., Frankel, G. S., Bruce, W. A., Ramirez, J. E. and Koch, G., "Performance of welded high-strength low-alloy steels in sour environments", *Corrosion*, 59: 640-653 (2003).
26. Moraes, F. D., Bastina, F. L. and Ponciano, J. A., "Influence of dynamic straining on hydrogen embrittlement of UNS-G41300 and UNS-S31803 steels in a low H₂S concentration environment", *Corrosion Science*, 47: 1325-1334 (2005).
27. Scott, P. M., "A review of environment-sensitive fracture in water reactor materials", *Corrosion Science*, 25: 583-606 (1985).
28. Congleton, J., Berrisford, R. A. and Yang, W., "Stress corrosion cracking of sensitized type 304 stainless steel in doped high-temperature water", *Corrosion*, 51: 901-910 (1995).
29. Ljungberg, L. G., Cubicciotti, D. and Trolle, M., "Effects of Impurities on the IGSCC of stainless steel in high-temperature water", *Corrosion*, 44: 66-72 (1988).
30. Doruk, M., "Korozyon türleri", Korozyon ve Önlemesi, *ODTÜ Yayınları*, Ankara, Türkiye, 65-92 (1982).
31. Şengil, A., "Korozyon", *Sakarya Mühendislik Fakültesi Matbaası*, Sakarya, 90-116 (1992).
32. Colangelo, V. S. and Heiser, F. A. "Analysis of Metallurgical Failures", *John Wiley*, New York, 102-109 (1974).
33. Jones, D. A., "Principles and prevention of corrosion", *Pearson PLC*, Upper Saddle River, 185-190 (1996).
34. ASM Handbook Committee, "Failure Analysis and Prevention", *Metals Handbook*, Ohio, Amerika, 11: 35-50 (1975).
35. Eryurek, B., "Hasar Analizi", *İ.T.Ü. Makine Fakültesi Yayınları*, Gümüşsuyu İstanbul, 30-35 (1993).
36. Hertzberg, R. W., "Deformation and Fracture Mechanics of Engineering Materials", *John Wiley*, New York, 174-176 (1976).
37. Yükler, İ., "Kaynak metalurjisi ve kaynak teknolojisi ders notları", *Marmara Üniversitesi yayınları*, İstanbul, 45-57 (1991).
38. Kou, S., "Welding Metallurgy, 2nd ed.", *John Wiley*, Canada, 231-232 (2003).

ÖZGEÇMİŞ

Tarik MENTEŞ 1981 yılında İstanbul'da doğdu; ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. Tuzla Teknik Lisesi'nden mezun oldu. 2004 Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümü'nde öğrenime başlayıp 2007 yılında iyi derece ile mezun oldu. 2009 yılında UGETAM A.Ş. de teknik öğretmen olarak göreve başladı. 2011 yılında KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı'nda başlamış olduğu yüksek lisans programını, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda tamamladı.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Ümaniye/İSTANBUL

Tel : (544) 467 6584

E-posta : tarikmentes@gmail.com