

29255

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

304 KALİTE PASLANMAZ ÇELİKTE
GERİLMELİ KOROZYON ÇATLAMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ERGÜN KELEŞOĞLU

1993
İSTANBUL

İÇİNDEKİLER

ÖZET	1
ABSTRACT	ii
1. GİRİŞ VE AMAÇ	
1.1. GİRİŞ	1
1.2. AMAÇ	2
2. KOROZYON	
2.1. KOROZYONUN TANIMI VE ÖNEMİ	4
2.2. KOROZYONUN NEDEN OLDUĞU EKONOMİK KAYIPLAR	4
2.3. KOROZYON HÜCRESİ	5
2.3.1. KOROZYON HÜCRESİ VE ELAMANLARI	5
2.4. KOROZYON OLUŞUMU	7
2.5. PASİFLEŞME	9
2.5.1. PASİFLEŞME TEORİLERİ	10
2.5.2. PASİF FİLMER	10
2.5.2.1. MEKANİK PASİFLİK	10
2.5.2.2. KİMYASAL PASİFLİK	11
2.5.3. PASİFLİK GÖSTEREN METALLER İÇİN ANODİK POLARİZASYON EĞRİLERİ	11
2.5.4. PASİF FİMLERİN TAHRİBİ	15
2.5.5. KENDİLİĞİNDEN PASİFLEŞME	16
3. PASLANMAZ ÇELİKLER	19
3.1. PASLANMAZ ÇELİKLERİN SİMGELENMESİ	19
3.2. PASLANMAZ ÇELİK TÜRLERİ	
3.2.1. FERRİTİK PASLANMAZ ÇELİKLER	20
3.2.2. OSTENİTİK PASLANMAZ ÇELİKLER	21
3.2.3. MARTENZİTİK PASLANMAZ ÇELİKLER	22
3.2.4. ÇÖKELMEYİLE SERTLEŞEBİLEN PASLANMAZ ÇELİKLER	23
3.2.5. ÇİFT FAZLI PASLANMAZ ÇELİKLER	23
3.3. PASLANMAZ ÇELİKLERİN KOROZYONU	24
3.3.1. DUYARLILAŞMA	24
4. GERİLMELİ KOROZYON ÇATLAMASI	
4.1. TANIM VE TARİHÇE	25
4.2. GKÇ MEKANİZMASI	26
4.2.1. ÖNCEDEN VAROLAN AKTİF BÖLGELER	30
4.2.2. GERİLMELERİN DOĞURDUĞU AKTİF BÖLGELER	31
4.2.3. KRİTİK ALTI GERİLME BÖLGELERİNDE ÖZGÜN ADSORBSİYON	33
4.3. GKÇ'NI ETKİLEYEN FAKTÖRLER	33
5. GERİLMELİ KOROZYON DENEYLERİ	35
5.1. GKÇ DENEYLERİNİN SEÇİMİ	36
5.1.1. TANE YÖNLENMESİ	38
5.1.2. ARTIK GERİLMELER	40
5.1.3. YÜZEY KOŞULLARI	41
5.1.4. KAYNAK	41
5.2. GKÇ DENEY STANDARDLARI	42
5.2.1. STATİK YÜKLEMELİ GKÇ DENEYLERİ	43
5.2.1.1. ÇENTİKSİZ NUMUNELERLE YAPILAN GKÇ DENEYLERİ	

5.2.1.1.1.	ELASTİK ALANDA YÜKLEME YAPILAN DENEYLER	44
5.2.1.1.1.1.	KİRİŞ- EĞME NUMUNESİ	44
5.2.1.1.1.2.	C-HALKA NUMUNESİ	46
5.2.1.1.1.3.	ÇEKME NUMUNESİ	47
5.2.1.1.2.	PLASTİK ALANDA YÜKLEME YAPILAN DENEYLER	49
5.2.1.1.2.1.	U EĞME NUMUNELERİ	49
5.2.1.1.3.	ARTIK GERİLMELERLE YAPILAN DENEYLER	50
5.2.1.2.	ÇENTİKLİ VE ÖN ÇATLAKLI NUMUNELERLE YAPILAN GKÇ DENEYLERİ	50
5.2.1.2.1.	ARTAN K DENEYLERİ	
5.2.1.2.1.1.	ANKASTRE KİRİŞ EĞME NUMUNELERİ	51
5.2.1.2.2.	AZALAN K DENEYLERİ	55
5.2.1.2.2.1.	SABİT AÇINIM DENEYİ	56
5.2.1.2.3.	SABİT K DENEYLERİ	56
5.2.2.	DİNAMİK YÜKLEMELİ DENEYLER	
5.2.2.1.	SABİT DEFORMASYON HIZI DENEYİ	57
5.2.2.1.1.	KRİTİK GERİNİM HIZI	57
5.2.2.1.2.	DENEY PERÇASININ BELİRLENMESİ	59
5.2.2.1.3.	DENEY DONANIMI	59
5.2.2.1.4.	ELEKTROD POTANSİYELİNİN ÖLÇÜMÜ	64
5.2.2.1.5.	SABİT DEFORMASYON HIZI AŞAMALARI	65
6.	DENEY DÜZENEGİNİN KURULMASI	69
6.1.	YÜK HÜCRESİ VE İNDİKATÖR	72
6.2.	DENEY NUMUNELERİ	76

ÖZET

Ostenitik paslanmaz çelikler korozif ortamlar için en yaygın kullanılan malzemelerdir. Bu malzemeler özellikle klorür iyonları içeren ortamlarda Gerilmeli Korozyon Çatlamasına (GKÇ) maruz kalmaktadır. Doğada bu tür ortamlara deniz suyunun olduğu yerlerde rastlanmaktadır. Klorürlü ortamlardaki GKÇ mekanizmalarının anlaşılması amacıyla pekçok çalışma yapılmış ve günümüzde de yapılmaktadır.

Bu çalışmada AISI 304 tipi paslanmaz çeliğinin NaCl içeren ortamlardaki GKÇ davranışının Sabit Deformasyon Hızı Deneyi (SDHD) ile incelenmesi için gerekli deney düzeneğinin kurulması ve konu hakkında gerekli bilgilerin derlenmesine çalışılmıştır. Konunun tam olarak anlaşılabilmesi için başlangıçta genel korozyon hakkında ve paslanmaz çelikler hakkında özet bilgi verilmiştir. GKÇ oluşum mekanizmaları ve aşamaları belirtilmiştir. GKÇ deneyleri uygulama esaslarına göre Statik Yüklemeli Deneyler ve Dinamik Yüklemeli Deneyler olarak iki genel grup altında incelenmiştir. Dinamik yüklemeli deney türü olan SDHD hızlı bir deney türü olması ve işletme şartlarına uygun koşulları oluşturması nedeniyle yaygın bir kullanım alanı bulmuştur. Yazının son bölümünde SDHD hakkında daha detaylı bilgi verilmiş ve Y.T.Ü. Metalurji Mühendisliği Bölümünde bu tür deneyler için kullanılabilecek şekilde tasarlanmış deney düzeneği hakkında bilgi verilmeye çalışılmıştır.

ABSTRACT

Austenitic Stainless Steels (SSs) are the mostwidespread materials for corrosive environments. These materials suffer Stress Corrosion Cracking (SCC) especially in environment consisting of chloride ions. Sea water is a good example for such environment in nature. To understand SCC mechanism in environments with chloride ions, many studies have been made.

In this paper, to examine AISI 304 type SS in NaCl solutions by Slow Strain Rate Test (SSRT), essential test equipment parts have been mentioned and background has been tried to be complied. For consider sake, first, basic corrosion aspects and knowlage about SS have been referred briefly. SCC mechanism and steps have been mentioned. SCC tests have been classified in two groups as Static and Dynamic Loading Tests. SSRT which is a dynamic loading test has common use because it is relavately shorter and provides service conditions. At the end, details about SSRT have been referred and such test fix constructed in Y.T.Ü. Metallurgical Eng. Dept. for SSRT have been studied.

1. GİRİŞ VE AMAÇ

1.1 GİRİŞ

Korozyon , Metallerin içinde bulundukları ortamın etkisiyle özelliklerinin istenmeyen yönde bozulması olarak tanımlanabilir.

Korozyonun neden olduğu zararlar doğrudan ve dolaylı zararlar olmak üzere ikiye ayrılır.Doğrudan zararlar,korozyona uğrayan malzemelerin maliyetleri bu malzemelerin değiştirilmesi için gerekli iş gücü v.b kavramları içerir.Dolaylı zararlar ise korozyon nedeniyle oluşan ürün kaybı,korozyona uğrayan metalin değiştirilmesi için geçen süredeki iş gücü ve ürün kayıplar gibi zararlardır.Çoğu zaman toplam zararın değeri umulanın çok üstünde olabilmektedir.Gelişmiş ülkelerde korozyon sebep olduğu zarar "Gayri safi milli gelirin"(GSMG) %3-4 arasında.

Doruk,M. korozyonun ülkemizdeki zararını GSMG in %4.5-5 i olduğunu ileri sürmüştür /3/. Ekonomik zararların yanında dünya üzerindeki metal kaynaklarının sınırlı olması nedeniyle kaynak israfının önlenmesi ve güncel konu olan çevre kirliliğinin azaltılması da korozyonun önlenmesini araştırmacılar için önemli bir konu haline getirmiştir.

Korozyonun önlenmesi,korozyon mekanizmalarının detaylı olarak bilinmesini gerektirmiş ve bu istek korozyon biliminin doğmasına sebep olmuştur.Ancak malzeme,ortam ikililerinin zenginliği,korozyon mekanizmalarının çeşitliliği ve karmaşıklığı , korozyonu etkileyen faktörlerin çokluğu bu konunun araştırmasındaki en büyük zorlukları oluşturmaktadır.Günümüzde dahi tam olarak açıklanamayan ve üzerinde tartışmaların devam ettiği korozyon mekanizmaları vardır. Henüz el değmemiş konuların bolluğu korozyon araştırmacılar için çekici bir çalışma alanı haline getirmektedir.

Korozyon türleri içinde en büyük öneme sahip konulardan biri bölgesel korozyon türlerinin incelenmesidir.Zira bu tür korozyonlarda korozyon küçük bir bölgede oluşur,sonuçta bekle nmeyen ve çok büyük hasarlara yol açar.

Gerilmeli korozyon çatlaması (GKC),korozyon ve mekanik etkilerin birlikte etkimesi sonucu oluşan bölgesel korozyon türlerinden biridir.GKC nin oluşması için gereken koşullar krozif bir ortamın ve çekme gerilmesinin varlığıdır. Çekme gerilmeleri parçaya dışarıdan uygulanan bir gerilme olabileceği gibi parça içindeki artık gerilmeler de

olabilir. GKC nin oluşum mekanizmasını açıklamak ve GKC na maruz kalan parçaların ömürlerini doğru bir yaklaşımla saptanmak amacıyla çok sayıda deney yöntemi geliştirilmiştir.

Deney yöntemlerinde kırılma mekaniği kavramlarının genel kabul gören bir uygulamadır.GKC deneylerinde karşılaşılan en büyük problemler deneyin tüm korozyon deneyleri gibi uzun süreli olması ve kullanılan yöntemlerin çalışma şartlarını temsil etmesi konusundaki kuşkulardır.

1.2. AMAÇ

Paslanmaz çelikler yüksek korozyon dirençleri nedeniyle, korozyonun söz konusu olduğu yerlerde yaygın kullanım alanı olan çeliklerdir.Mekanik özellikleri ve korozyon direncini optimum şekilde üzerinde toplayan östenitik paslanmaz çelikler Cl^- lu ortamlarda GKC na uğramaktadır. Son yıllarda geliştirilen "Sabit deformasyon hızı deneyi" (SDHD) özellikle hızlı bir deney yöntemi olması ve GKC deneylerinde çalışma şartlarındaki gerinme hızlarındaki uygulamalara olanak sağlaması nedeniyle büyük bir kabul görmüş ve paslanmaz çeliklerin klorürlü ortamlardaki GKC deneylerinde de kullanılmaya başlanmıştır.

Paslanmaz çeliklerin GKC da SDHD nin kullanılması ile yapılan araştırmalar,ulaşılın sonuçlar açısından iki ana grup altında toplanabilir.Bunlar:

a)Uygun deney koşullarının belirlenmesi için yapılan ve deney yönteminin esaslarının tespit edildiği deneyler.

b)Malzeme, Ortam ikilisine ait verilerin elde edildiği deneylerdir.

Östenitik paslanmaz çelikler içinde %20-40 gibi önemli bir kullanıma sahip 304 kalite paslanmaz çelikler araştırmalara en çok konu olan malzemelerdir. Zuo,j.y. ve arkadaşları asidik ortamlarda duyarlılaştırılmış 304 çeliği için GKC nin ilerleme hızını ölçmüşler ve kritik PH değerinin üzerinde çatlağın ilerlemediğini,çatlak ilerlemesinin ancak çatlak bölgesinde PH değerinin kritik değer altına düşmesiyle olduğunu göstermişler ve kritik PH değerinin altına düşmesiyle olduğunu göstermişler ve kritik PH değerine gerinme hızının etkisini araştırmışlardır /10/.

Juang H.K. ise östenitik paslanmaz çeliklerin Cl^- iyonu içeren asidik çözeltilerdeki davranışını incelenmiş ve GKC bağışıklığı için

$$PH > A.log[cl] + B \quad (A \text{ ve } B \text{ sabit}) \quad (1.1)$$

deneysel eşitsizliklerinin bulunduğunu göstermiştir. /11/. Lee, J.K. ve arkadaşları SDHD ile 304 çeliğinin yüksek sıcaklıklardaki klorürlü ortamlardaki davranışına kükürt parçacıklarının etkisini araştırmıştır /14/. Yang W. 304 ün sıcak su içindeki SDHD verilerini diğer deney yöntemleriyle karşılaştırmış ve SDHD nin tutarlı ve daha gerçekçi sonuçları verdiğini tespit etmiştir. /13/

Literatürde yapılan çalışmalarda MgCl çözeltisiyle yapılan ve Cl^- iyonlarının 304 paslanmaz çeliğine etkilerini araştırmalara rastlanmakla beraber NaCl çözeltisi kullanarak düşük sıcaklıkta ve PH ı 7 olan bir ortamda SDHD ile yapılmış araştırmalarla karşılaşılmamıştır. Bu yönde yapılacak bir çalışma 304 çeliğin Cl^- iyonları içeren ortamlardaki GKC na ışık tutabilecek veriler elde edilmesini sağlayabilir. Bu çalışmadaki amaç 50-100 °C sıcaklığı arasında AISI 304 paslanmaz çeliğinin PH ı 7 olan NaCl çözeltisi içindeki GKÇ davranışını SDHD ile incelemek için gerekli deney düzeneğinin dizaynı ve kurulması, ayrıca böyle bir deney için gerekli temel bilgilerin derlenmesidir.

2. KOROZYON

2.1. KOROZYONUN TANIMI VE ÖNEMİ

Teknolojik öneme sahip metallerin, birkaç istisna dışında hemen hemen tümü doğada "bileşik" halinde bulunurlar. Başka bir deyişle metallerin doğanın etkisine milyonlarca yıl dayanabilen şekli "bileşik" halidir. Bileşiklerden "metal" veya "alaşımların" üretimi ancak ilave bir "malzeme-enerji-emek ve bilgi" harcaması ile mümkündür. Üretilen metal ve alaşımların ise tekrar kararlı halleri olan "bileşik" haline dönme eğilimleri yüksektir. Bunun sonucu olarak metaller içinde bulundukları ortamın elemanları ile reaksiyona girerek, önce iyonik hale ve oradan da ortamdaki başka elementlerle birleşerek "birleşik" haline dönmeye çalışırlar, yani kimyasal değişime uğrarlar ve bozunurlar. Sonuçta metal veya alaşımın fiziksel, kimyasal, mekanik veya elektriksel özelliği istenmeyen değişikliklere ("zarara") uğrar. Korozyon hem metal veya alaşımın bozunma reaksiyonuna, hem de bu reaksiyonun sebep olduğu zarara verilen addır.

Korozyon metalik malzemelerin içinde bulundukları ortamla reaksiyona girmeleri sonucu, dışarıdan enerji vermeye gerek olmadan, doğal olarak meydana gelen bir olaydır.

İçinde su bulunan ortamlarda meydana gelen korozyon "sulu ortam korozyonu" denir. Atmosferde, toprak altında, sular içinde veya her tür sulu kimyasal madde içinde oluşan korozyon buna örnektir. Suyun kararlı olmadığı yüksek sıcaklıklarda, gazlarla metallerin kimyasal reaksiyonu sonucu oluşan korozyon ise "kuru" veya "yüksek sıcaklık korozyonu" dur. Kazanların alevle veya sıcak gazlarla temas eden bölgelerinde oluşan korozyon gibi.

Bu iki çok önemli korozyon türü yanında "organik sıvıların" veya "ergimiş metallerin" sebep olduğu korozyonlardan da bahsedilebilir.

2.2 KOROZYONUN NEDEN OLDUĞU EKONOMİK KAYIPLAR

Korozyon bir ülkenin en büyük israf kaynağıdır. Korozyon nedeni ile ülkelerin uğradıkları malzeme, enerji, emek ve bilgi kaybının yıllık değeri "Gayri safi milli gelirinin" (GSMG) %3.5 ile 5 i düzeyindedir. Ülkemiz için bu kaybın %4.5 civarında olduğu tahmin edilmektedir.

Yukarıdaki değerlere korozyon neden olduğu üretim ve ürün kaybı dahil değildir. Korozyon, metalik malzeme kullanılan her alanda beklenen doğal bir olaydır. Sebep olduğu maddi kayıplar çevreyi kirleten, insan hayatını tehlikeye sokan bir değişimdir. Dolayısı ile korozyon ve korozyondan korunmanın ilkelerini ve önemini metal kullanan herkesin yanında özellikle tasarım ve uygulamada çalışan teknik elemanların bilmesinde büyük yarar vardır. Korozyondan korunma, korozyonu azaltma veya önleme tedbirlerinin alınmasında ise mutlaka bu konuda uzmanlaşmış kişi ve kuruluşlardan yararlanılmalıdır /1/.

2.3. KOROZYON HÜCRESİ

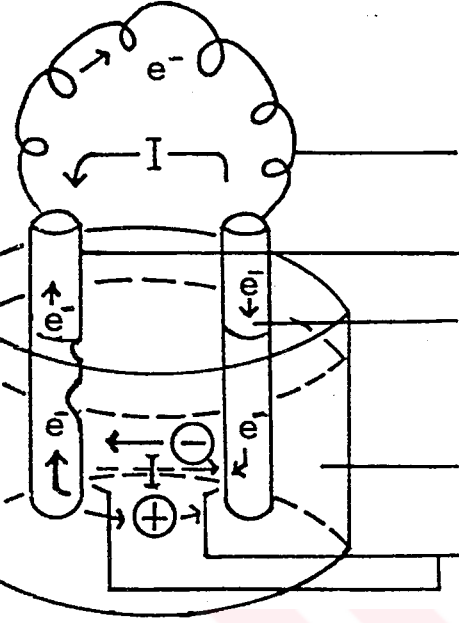
Yalnız sulu ortam içindeki metallerin yüzeyinde değil, atmosfere maruz veya toprak altında gömülü metallerin yüzeyinde de her zaman değişik kalınlıkta su veya su filmi mevcuttur. Hava ve dolayısı ile onun bir bileşeni olan oksijen gazı atması ferle temas eden her tür su içinde belirli bir oranda çözünür. Su içinde çözülmüş oksijen gazı metal yüzeyinde "Redüklenerek" yani elektron alarak, iyonik hale dönmeye meyillidir. Eğer redüksiyon için gerekli elektronlar metal tarafından sağlanırsa, elektronlarını oksijene vererek "Oksitlenen" metal atomları katı halinden "Sulu iyon" haline geçerek kimyasal değişime uğrarlar. Metal, sulu ortam ara yüzeyinde metalin kimyasal şekli değiştirmesi "Korozyon" olarak tanımlanır.

Sulu ortamlarında elektron alışverişi ile gelişen oksidasyon ve redüksiyon reaksiyonlarına "Elektrokimyasal" reaksiyonlar denir. Su içinde, atmosferde ve toprak altında meydana gelen tüm korozyon reaksiyonları "Elektrokimyasal" reaksiyonlardır.

Korozyon olayı şekil 1.1 de şematik olarak verilen "Korozyon hücresi" ile daha iyi açıklanabilir /1,2/.

2.3.1. KOROZYON HÜCRESİ VE ELEMANLARI

Korozyonun meydana gelebilmesi için "Korozyon hücresi" çevriminin kesintisiz çalışması gereklidir. Yani anottaki kimyasal değişim ile metal iyonları meydana gelip çözeltiye geçerken açığa çıkan elektronlar elektronik iletken vasıtası ile katoda taşınırlar. Metallerde elektron hareketi akım (I) olarak ölçülür. Elektron hareketi ile akım yönü birbirine terstir. Akım birim zamanda hareket eden elektronların bir ölçüsü olduğu için aynı zamanda anottaki kimyasal değişikliğinde miktarını gösterir. Katod yüzeyinde harcanan elektronlar yüzeyde örneğin oksijenin (O_2), hidroksid (OH^-) iyonu haline dönüşümüne neden



- Elektronik iletken** : Anotta açığa çıkan elektronları katoda taşıyan metalik iletken. Anot ile katodun birbiri ile teması da bu iletişimi sağlar.
- Anot** : Korozyona uğrayan (oksitlenen) metal
Örnek: $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2e^-$
- Katot** : Anotta açığa çıkan elektronları harcayan reaksiyonun (redüksiyon) meydana geldiği metal yüzeyi
Örnek: $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4e^- \rightarrow 4\text{OH}^-$
- Elektrolit** : Elektrolitik iletken. Sulu çözelti. Anot ve katot arasında iyonik bağ sağlayan sulu ortam.
- Ara Yüzey** : Korozyon reaksiyonunun ve redüksiyonun meydana geldiği metal-çözelti ara yüzeyleri

ŞEKİL 2.1 Şematik Korozyon Hücresi

olurlar. iyonlar sulu çözelti içinde hareket ederek akımın anot ile katod arasında geçişini sağlarlar. Pozitif yüklü iyonlar katoda, negatif yüklü iyonlar anoda giderler. Böylece hücre çevrimi tamamlanmış olur /1,2/.

Korozyon hücresinden geçen akıma "korozyon akımı" (i_{kor}) denir. Korozyon hücresinde anot reaksiyonunun (korozyon) hızı ile katod reaksiyonunun hızları birbirine eşittir. ($i_{anot} = i_{katod} = i_{kor}$). Sulu ortamda redüklenenecek yani elektron harcayacak madde yoksa korozyon da meydana gelmez, zira anotta açığa çıkabilecek elektronlar harcanamaz. Başka bir değişle katodik olay yoksa veya oluşumu engellenebilirse anodik reaksiyon yani korozyonda olmaz. Örneğin kazan sularında çözünmüş oksijenin temizlenmesi korozyonu durdurabilir. Buna ilave olarak aşağıdaki durumlarda da korozyon meydana gelmez /1/.

1-Anot ile katod bölgeleri arasında elektronik bağ yoksa, yani elektronlar taşınmıyorsa.

2-Anot ile çözelti veya katod ile çözelti arasında temas engellenirse.

3-Sistemde sulu iletken yoksa.

Metalin çözünmesi, yani korozyon hızı, karşıt reaksiyonun

yani redüksiyon reaksiyonunun hızı ile orantılıdır.Çözelti içinde redüklenecek madde miktarı düşük ise korozyon hücreesindeki korozyon hızı da (i_{kor}) katodik reaksiyonun hızı ile (i_{katod}) bağıntılıdır, artma tehlikesi yoktur.Örneğin deniz suyunda metallerin korozyonu çözünmüş oksijen miktarı ile orantılıdır, dolayısı ile de deniz suyunda metallerin korozyon hızları metal cinsine göre çok büyük oranda değişmez.

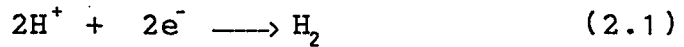
Korozyona neden olan en önemli katodik olay, sulu ortamda çözünmüş oksijen gazının redüksiyonudur.Bunu hidrojen iyonunun redüksiyonu takip eder.Asit ortamlardaki hidrojen iyonu miktarı çözünmüş oksijenden çok daha fazladır ve dolayısıyla asidik çözeltilerde hidrojen iyonu redüksiyonu daha önemli bir katodik olaydır.Ayrıca sulu çözeltide bulunan diğer redüklenebilecek iyonlar da katodik reaksiyonu oluşturabilirler.

Korozyon olayında çözünmenin meydana geldiği bölge (anot) ile redüksiyonun olduğu bölge (katod) birbirlerinden ayrı ise metal yalnız anot bölgesinde çözünür.Bu durumda "bölgesel" veya "tercihli" olarak bir korozyon söz konusudur.

Bu tip korozyonun olduğu korozyon hücresine "makro korozyon hücresi" denir.Uygulamada karşılaşılan korozyon hücrelerinin büyük bir kısım "makro korozyon" hücresi ve korozyon şeklinde "bölgesel" korozyondur /1/.

Bazı durumlarda metal yüzeyinde atomsal boyutta bir nokta, bir anot, bir katod olarak davranabilir. Sonuçta metalin tüm yüzeyi tekdüze olarak çözünür.

Herhangi bir zaman kesitinde olayları incelediğimizde ise bu durumda dahi "anot, katod ve diğer elemanlardan" oluşan korozyon hücresini tanımlayabiliriz.Bu tip korozyonun meydana geldiği korozyon hücresine "mikrokorozyon" hücresi denir.Asit bir çözeltide çinko metali bu şekilde homojen olarak çözünür.Katot reaksiyonu hidrojen iyonunun redüklenmesi ve aşağıda gösterildiği gibi hidrojen gazı çıkışıdır.



2.4. KOROZYONUN OLUŞUMU

Korozyon birbiri ile elektiriksel ve elektrolitik teması olan ve aralarında potansiyel farkı oluşabilen metalik iki bölge veya nokta arasında oluşur.Bu bölge veya noktasiyel olarak daha asil olanın yüzeyinde katodik reaksiyon oluşur,

daha aktif olan diğer bölge veya nokta çözünür.

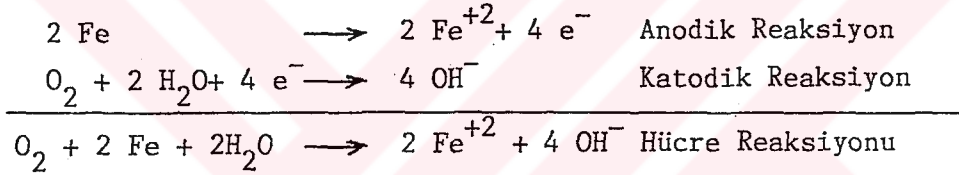
Potansiyel farkının oluşum nedenleri şu şekilde gruplandırılabilir:

1-Metalin veya alaşımın kendi bünyesindeki yapısal, kimyasal, mekanik veya ısıf farklılıklar gösteren bölgeleri arasında potansiyel farkı oluşabilir.

2- iki ayrı metal veya alaşımın teması sonucu potansiyel farkı oluşur.

3- Metalin temas halinde olduğu ortamdaki bileşenlerden katodik olarak redüklenebileceklerin konsantrasyonunun, metalin değişik bölgelerinde farklı olması potansiyel farkı oluşturabilir.

Korozyon hücrelerini oluşturan anodik ve katodik reaksiyonlardan örnek olarak demirin korozyonu ve oksijenin redüksiyonu şu şekildedir:



Hücre reaksiyonunun sol tarafındaki bileşenlerin enerjisi (oluşum serbest enerjileri toplamı : ΔG_{sol}), sağ tarafındakilerinden fazla ise ($\Delta G_{\text{sağ}}$) reaksiyon soldan sağa kendiliğinden gelişir, demir çözünür, oksijen redüklenir. Bu olay suyun yüksekten alçağa veya ısıfın sıcak bölgeden soğuk bölgeye doğal akışına eşdeğerdir.

Hücre reaksiyonunun iki yanı arasındaki enerji farkı korozyon hücresinin enerjisidir ve değeri negatif olarak bulunur.

$$\Delta G_{\text{kor}} = \Delta G_{\text{sağ}} - \Delta G_{\text{sol}} \quad (\Delta G_{\text{sol}} > \Delta G_{\text{sağ}}) \quad (2.2)$$

Enerji farkı potansiyel farkı olarak da yazılabilir:

$$E_{\text{Hücre}} = \frac{-\Delta G_{\text{Kor}}}{n \cdot F} \quad (2.3)$$

Eşitlikte n:Korozyon hücresinde alınıp verilen elektron sayısı ve F:Faraday sabitidir.Korozyon hücresi enerjisinin (veya potansiyelinin) bir kısmı anodik reaksiyonun (η_a),

bir kısmı katodik reaksiyonun (η_k) belli bir hızla (i_{kor}) gelişmesi için, ayrıca bir bölümü de sistemin direncini (elektronik-elektrolitik bölümlerin ve metal / çözelti arayüzeylerinin direnci: R) yenmek için harcanır.

$$\Delta E_{hücre} = \eta_a + \eta_k + i_{kor} \cdot R \quad (2.4)$$

Sistemin direnci ne kadar yüksek ise ona harcanacak enerji de ($i_{kor} \cdot R$) o denli büyük olur, toplam enerjiden anodik ve katodik reaksiyonlara harcanacak enerji payı azalır, yani korozyon yavaşlar. Bu şekilde korozyon hızını yavaşlatma uygulamada yaygın kullanılan bir yöntemdir.

Anodik ve katodik reaksiyonların da benzer şekilde enerji ve potansiyel farkları hesaplanabilir. Redüksiyon olarak yazılan reaksiyonların hesapla bulunan potansiyel farkları en yüksek pozitiften (en asil) en düşük negatife (en aktif) sıralanarak metallerin "elektromotor kuvvet serisi" elde edilir. Bu seride hidrojen iyonunun redüksiyon potansiyeli "sıfır" kabul edilmiştir /1/.

2.5. PASİFLEŞME

Pasifliğin tanımı aşağıda verilen biçimde iki şekilde yapılmaktadır:

a) Metallerin standart indirgenme potansiyellerine göre elde edilen elektrokimyasal potansiyel dizisinde aktif bir metal veya böyle metallerden oluşan alaşımlar, elektrokimyasal davranışları yönünden daha az aktif veya soy metaller gibi hareket etmeleridir.

b) Bir metal veya alaşım, termodinamik yönden metalik halden korozyon ürününe geçiş için gerekli olan büyük bir serbest enerji düşüşünün mevcut olduğu ortamlarda korozyon oldukça iyi dayanıklılık göstermesi halidir.

Eğer bir metal, bulunduğu elektrolit içinde dayanıklı bir oksit oluşturacak biçimde oksitlenirse bu metal pasifleşmiş olur. Bunun için de çok kuvvetli oksitleyici ortamlar gereklidir. Örneğin; demir HNO_3 içinde şiddetle çözündüğü halde derişik HNO_3 içinde soy metal gibi davranır. Çünkü yüzeyinde koruyucu bir film meydana

gelmiştir.Bu durumda demir aslında daha soy bir metalmiş gibi hareket eder.Bir aktif metalin elektrokimyasal potansiyeli arttırıldığı zaman korozyon hızında meydana gelen azalma bu yüksek potansiyellerde meydana gelen oksit tabakası ile açıklanır /4,2,5/.

2.5.1. PASİFLEŞME TORİLERİ

Faraday ın pasifleşmeyi "yüzeyin oksitlenmiş bir durumu" olarak tanımlamasından buyana pasifliğin oluşumu hakkında birbirinden farklı görüşler ortaya atılmıştır.Tüm tanımların temelindeki tartışma pasif filmin adsorbe olmuş yalın bir tabaka mı yoksa kimyasal bir bileşik mi olduğudur.Evans, Frank, Hoar ve Tomashow pasif filmin üç boyutlu bir film olduğunu ve ilk pasifleşmeden sonra bu filmin varlığını sürekli koruyarak pasifliğin devam ettiğini öne sürmüşlerdir.Kolotyrkin, Uhlig ve King ise pasifliğin metalin aktifliğini değiştiren oksijen atomlarının adsorbe olması veya yüzeyde kimyasal adsorbsyonla oluşan bir yüzey filmi sayesinde anodik reaksiyonların önlenmesi olduğunu belirtmişlerdir /4/.

2.5.2. PASİF FİMLER

Termodinamik açıdan incelendiği zaman birçok metalin suya karşı dengesiz olduğu görülür.Buna rağmen metaller termodinamik açıdan tahmin edildikleri gibi hızla oksitlenmezler, çünkü metal ile çevresi arasında koruyucu bir tabaka meydana gelir.Bu tabaka ise pasifliğin düğüm noktasını oluşturur.Termodinamik açıdan bir oksit veya hidroksit filmi diye adlandırılan tabakalarca oluşan anodik pasiflenme " gerçek pasiflik " olarak adlandırılan en çok alışılmış pasifleşmedir.Gerçek pasiflik Schwabe tarafından,

a) Mekanik pasiflik ve

b) Kimyasal pasiflik şeklinde iki gruba ayrılmıştır.

2.5.2.1. MEKANİK PASİFLİK

Pasif filmlerdekenden daha yüksek değerliklerde iyonik duruma sahip olmayan Ti,Al,Zr ve Be gibi metallerde görülür. Bu tip metallerde anot potansiyeli, film kalınlaşmasına paralel olarak 20 volta kadar yükseltilebilir, çünkü bu oksitlerin elektron iletkenlikleri düşüktür.Oksit filminin elektrik iletkenliği ne kadar düşük olursa, oksitin oksitlenme hızının elektriksel potansiyele bağıllılığı o derece az olacaktır.Eğer film maddesi önemli boyutlarda bir elektron iletkenliği gösteriyorsa, solüsyonun oksitlenmesi ve film kalınlaşması beraberce meydana

gelir. Bu iki işleme yol açan akımların birbirine oranı film içindeki elektron ve iyon taşıma numaralarına bağlıdır.

2.5.2.2. KİMYASAL PASİFLİK

Bu gruba giren metaller için metal-ortam arasında elektrokimyasal bir reaksiyonla koruyucu bir engel tabakasının meydana geldiği kabul edilir. Bu nedenle pasif metallerin elektrokimyasal davranışları, bunları iyi veya kötü olan elektron iletkenliği derecesine göre esaslı farklılık gösterir. Pasif bölgeden başlamak üzere azalan potansiyellerle çözünme hızının artması Cr, Mn, Co, Fe, ve Ni gibi elektronik iletkenliği yüksek pasif tabakalar meydana getiren metallerde görülür.

2.5.3. PASİFLİK GÖSTEREN METALLER İÇİN ANODİK POLARİZASYON EĞRİLERİ

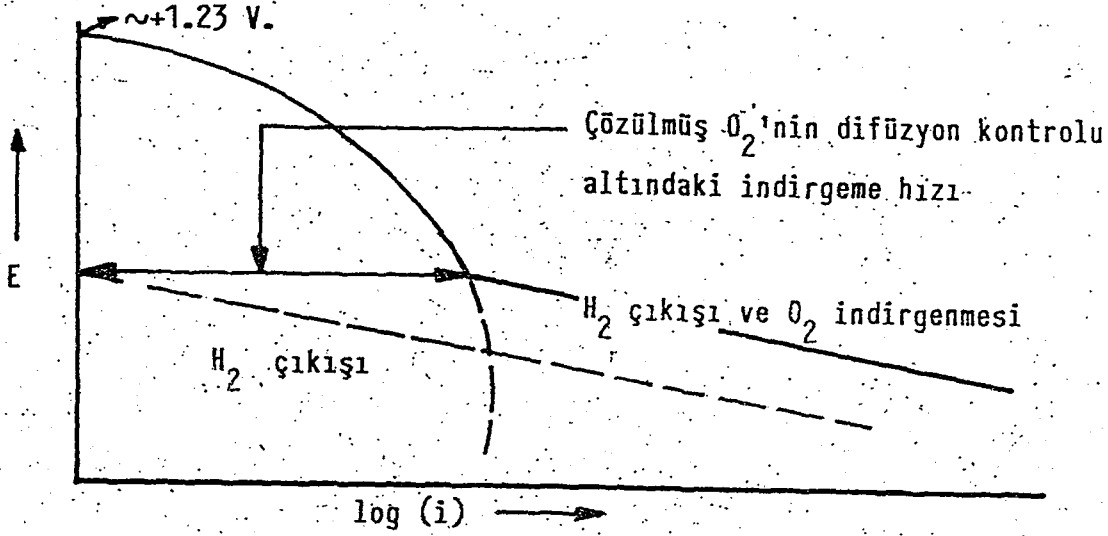
Anodik polarizasyon eğrileri, metalin çözelti içine iyonlar halinde çözünmesi demek olan anodik reaksiyonun hızını yansıtır.

Katodik polarizasyon eğrileri ise, çözeltin içinde bulunan maddelerin cinsine göre bir veya daha fazla reaksiyon toplamından meydana gelirler. Katodik reaksiyonlar oksijen indirgenmesi ve hidrojen indirgenmesi olarak iki gruba ayrılırlar. Eğer çözeltinin içinde oksijen bulunuyorsa bunun indirgenmesi çözeltinin asitlik derecesine bağlı olarak iki türlü meydana gelir. Bunlar asidik ortamlarda oksijen indirgenmesi reaksiyonu ve nötr ortamlardaki oksijen indirgenmesi reaksiyonudur.

Oksijen ve hidrojen indirgenmesi reaksiyonları sulu ortamlarda korozyon için önemli katodik reaksiyonlardır. Ancak aktif bir metalin havalandırılmış nötr solüsyondaki korozyonu asit çözeltideki göre daha da yavaştır. Bunun da nedeni suyun içindeki oksijen çözünürlüğünün sınırlı olması nedeniyle oksijen indirgeme reaksiyonun daha kolay konsantrasyon polarizasyonuna uğramasıdır.

Eğer potansiyel yeteri kadar aktif olursa O_2 nin indirgeme reaksiyonu yanında H_2 çıkışı reaksiyonunda meydana gelir. Bu iki katodik reaksiyon tipi üst üste getirilip grafik halinde gösterilecek şekil 2.1. deki durumla karşılaşılır /4/.

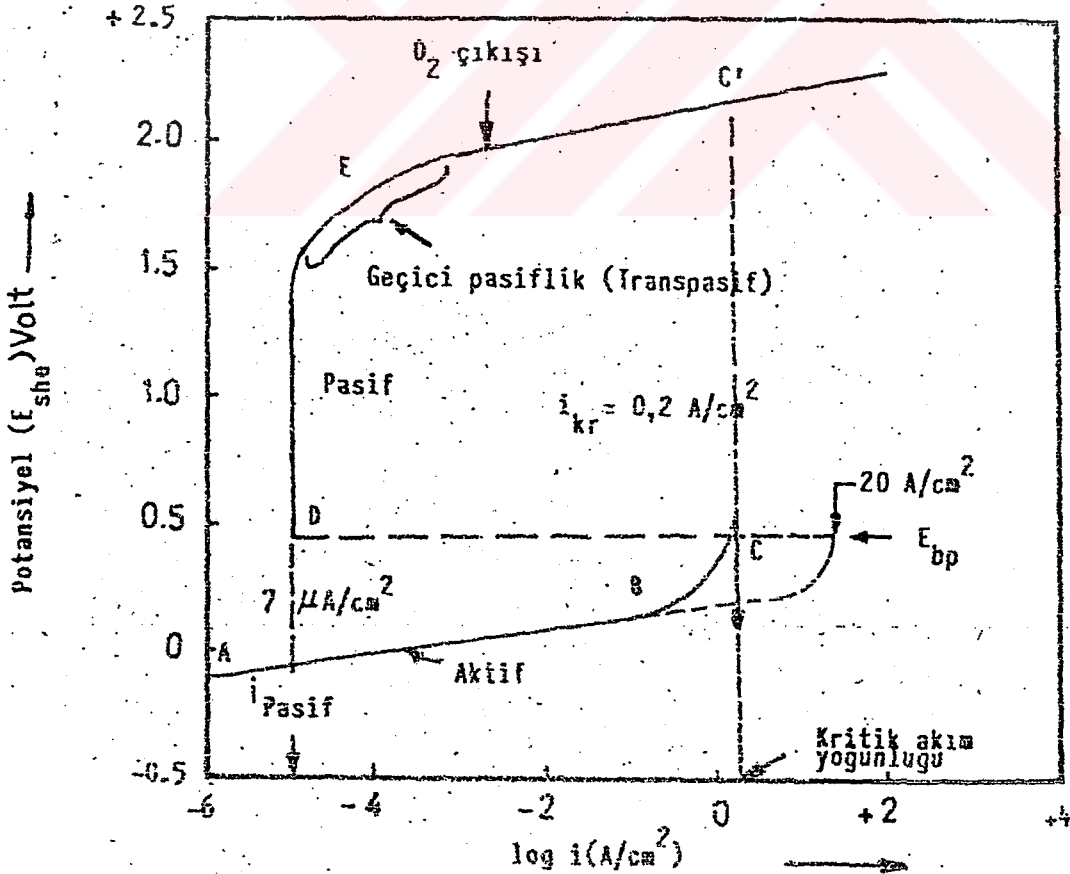
Pasiflik gösteren bir metal için, örneğin 1N H_2SO_4 içindeki demir, potansiyelin o metalin E_{kor} korozyon



ŞEKİL 2.1. Birinci ve ikinci tip katodik polarizasyon eğrileri

potansiyeli üstüne yavaş yavaş yükseltilmesi esnasında meydana gelen reaksiyonlar şekil 2.2 deki gibi bir anodik polarizasyon diyagramıyla gösterilirler.

Bu şekildeki AB bölgesi anodik çözünme hızının tafel denklemleriyle ifade edildiği aktif bölgedir. C noktasına karşılık gelen bölgede görölen ani potansiyel düşüşü daha önce belirtildiği gibi ya film teorisi yada adsorplanma teorisine göre oluşan tabaka oluşumundandır.



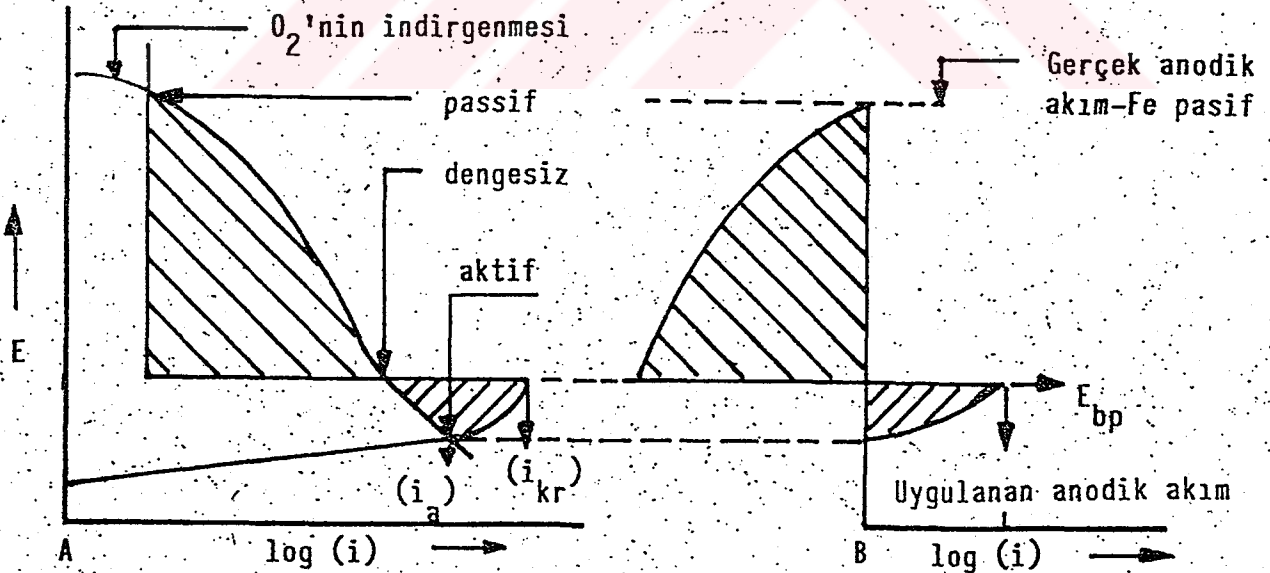
ŞEKİL 2.2 1N H₂ SO₄ içindeki demirin potansiyostatik anodik polarizasyon eğrisi

i_{kr} kritik akım yoğunluğu diye bilinen en yüksek akım yoğunluğuna karşılık olan potansiyel, E_{bp} , başlangıç pasif potansiyeli olarak tanımlanır. Aktif bölgede oluşan $FeSO_4$ çökmesinden dolayı i_{kr} 20 A/cm ye ulaşıldığında gerçek pasiflik doğar.

Pasif bölgede (DE) akım yoğunluğu sabit gibi gösterilmekle i_p pasif akım yoğunluğunun potansiyelin artış hızıyla değiştiği bilinmektedir. Potansiyelin artış hızı düştükçe i_p değeri azalır. Potansiyelin artış hızı ayrıca E_{bp} ye de etki eder. Potansiyel artışı yüksek hızlara ulaştıkça E_{bp} nin de daha pozitif potansiyellere yükseldiği görülmüştür.

1,2 Volt dan daha yüksek potansiyelerde oksijen elektrod potansiyeline yaklaşır. Fakat potansiyel 1,5 Volt'u aşmadıkça oksijen çıkışı görülmez. Oksijen üst potansiyeline ulaşıldığı anda akım yoğunluğu i_p den uzaklaşarak artmaya başlar. Bu bölge geçici pasif bölge olarak bilinir.

Şimdiye kadar incelenen katodik ve anodik polarizasyon eğrileri birbirlerinden bağımsız olarak ifade edilmişlerdir. Oysa pratikte bunları birbirinden ayırmak mümkün değildir ve eğer biri mevcutsa ötekide aynı korozyon sisteminde mevcuttur. Buna örnek olarak,



ŞEKİL 2.3. İçine hava üflenmiş 0.1N Na_2SO_4 içindeki demirin anodik polarizasyon eğrisinin, indirgenen oksijenin katodik polarizasyon eğrisi ile (A) da görülen girişimi sonucu sistem (B) de görülen bileşke polarizasyon eğrisi elde edilir.

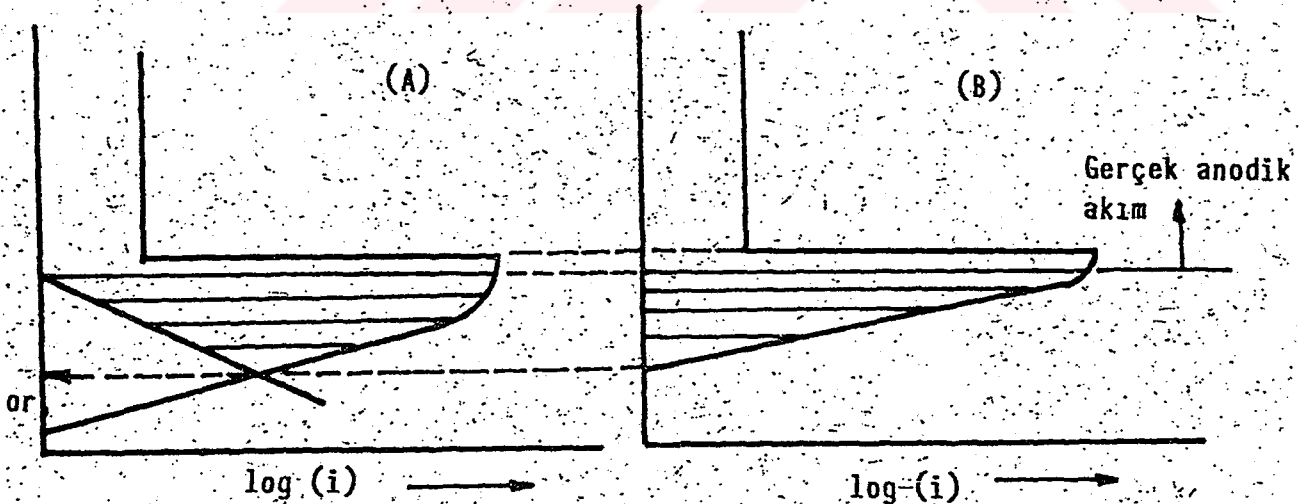
1) Havalandırılmış

2) Havasız 0.1 N Na_2SO_4 çözeltisine daldırılmış demiri gözönüne alalım.

O_2 nin mevcut olduğu havalandırılmış durum şekil 2.2. de görülmektedir. Dikkat edilirse anodik ve katodik eğriler üç ayrı noktada kesişirler. Dışardan potansiyel veya akım artışı şeklinde bir müdahalenin olmadığı durumlarda (açık devre) demirin potansiyeli E_{kor} dur ve bu durum şekil 2.3.a daki aktif bölgede i_{kor} ya karşılık gelir. Demiri pasif hale getirebilmek için i_{kor} korozyon hızını i_a dan i_{kr} ye kadar arttırmak gerekir. Bu ise bir dış müdahaleyi gerektirir.

Metal pasifleşince akım şekil 2.3.b de görüldüğü gibi yön değiştirecektir.

O_2 nin olmadığı havasız durumda O_2 nin indirgeme reaksiyonu sistemde yoktur. Bunun yerine katodik reaksiyon olarak hidrojen çıkışı vardır. Şekil 2.4.a da görülen eğriler birbiriyle karşılaştırılırsa şekil 2.4.b daki durum ortaya çıkar. Bu şekildeki taralı alan gerçek anodik ve katodik akımlar arasındaki farkı gösterir.



ŞEKİL 2.4. Havasız 0.1 N Na_2SO_4 içinde bulunan demirin korozyon sisteminde katodik reaksiyon olarak hidrojen çıkışı vardır. Anodik ve katodik polarizasyon eğrilerinin (A) daki girişimi sonucu (B) daki durum elde edilir.

2.5.4. PASİF FİLMLERİN TAHRİBİ

Pasifliğin kısmen veya tamamen tahribi, istemeyen korozyon olaylarına yol açar.Yetersiz korunmanın sonucu olan bölgesel korozyon tipleri senelerden beri inceleme konusu olmuştur.bölgesel korozyon, genellikle halojen gibi tahrip gücü olan iyonların bulunduğu ortamlarda ortaya çıkar.Bu bölümde basit olarak GKC , oyuklanma korozyonu (pitting) yarık veya çatlak korozyonu (crevice) incelenecektir.Bölgesel korozyonlar çok az metal kaybına sebep olmalarına rağmen metal konstrüksiyonu veya onun bir parçasını tamamen devreden çıkarabilirler.

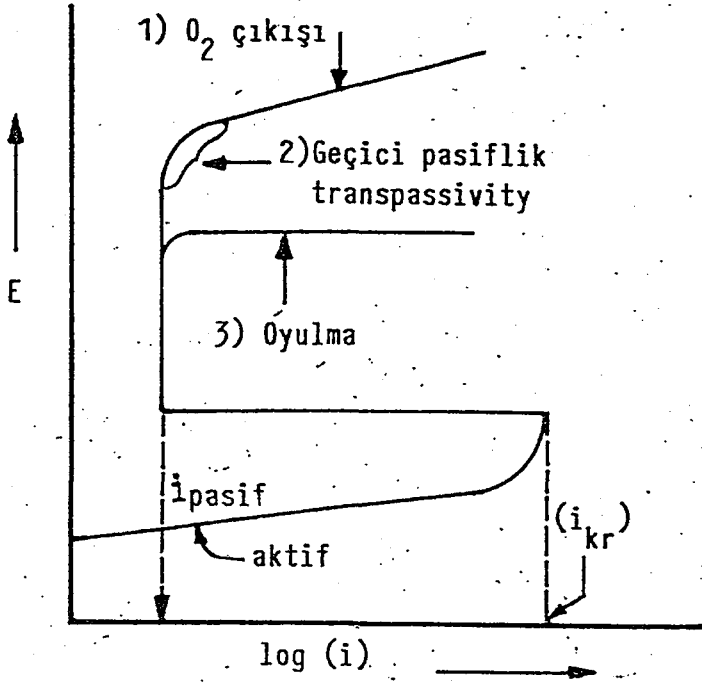
Genel hususlardan ilki ve en önemlisi, bütün bölgesel korozyon tiplerinin incelenen ortamlardaki metalin pasif durumuyla ilgili olmasıdır.Oyulma korozyonu gibi, GKC da pasif oksit filmi ile kaplı metal ve alaşımlarda oluşur.Oksit filminin mevcut oluşu, filmin bileşiminden daha önemlidir.Gerek oyuklanma, gerekse GKC da ilk basamak Cl^- gibi özel iyonların sağlayan film ile reaksiyona girmeleridir.Esasları tam olarak bilinmemekle birlikte, bu reaksiyonların iyon değişimi esasına göre oluştuğu söylenebilir.Buna göre metal katyonları bir elektrik sahası altında film boyunca dışarı yayınır ve aynı anda anyonlar film içinde daha derinlere yayınırlar.Böylece film yapısında görülen bozulmalar ve kafes hataları katyonların daha kolayca filmden geçip çözeltiye geçmelerine sebep olur.

Genel hususlardan ikincisi, bölgesel korozyonun genellikle anodik polarizasyonun meydana geldiği durumlarda ortaya çıkmasıdır.Potansiyelin etkisi genellikle oyuklanma korozyonunda çok önemlidir.Oyukların çekirdeklenmesi E_{op} kritik oyulma potansiyeli denen potansiyelden daha pozitif olan potansiyellerde oluşur.Eğer çözeltide Cl^- gibi tahrip gücü yüksek iyonlar varsa, potansiyel artışı sırasında daha O_2 çıkışına ulaşılmadan akım yoğunluğunda artmalar meydana gelir.Bu durum şekil 2.5 deki 3 nolu eğri ile gösterilmiştir.

Korozyon oluşturma gücü yüksek iyonların varlığı esnasında oyuklanma korozyonunun başladığı ve geliştiği E_{op} kritik oyulma potansiyeli aşağıdaki faktörlere bağlıdır:

korozyon ortamı, Çözeltinin PH değeri, Sıcaklığı ve içindeki korozif iyonların (Cl^- gibi) konsantrasyonu.

- Alaşım veya metalin türü.



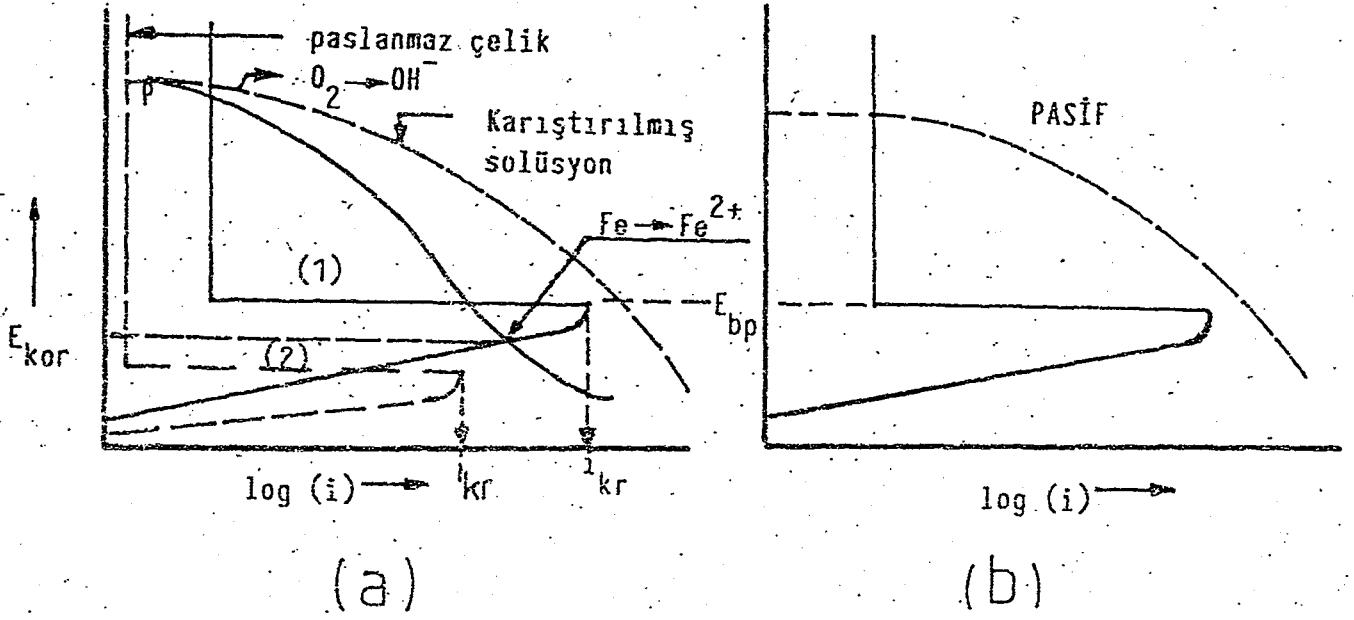
ŞEKİL 2.5. Klor iyonlarının varlığında polarizasyon eğrisi pasif bölgede bir süreksizliğe uğrar ve daha sonra transpasif bölgeye ulaşmadan alt potansiyellere oyulma korozyonu sonucu akım yoğunluğu artar (3 eğrisi).

- Dışarıdan uygulanan potansiyel.
- Potansiyelin artış hızı (Tarama hızı).

2.5.5. KENDİLİĞİNDEN PASİFLEŞME

Açık devre şartlarında, yani dışarıdan potansiyel veya akım artışı şeklinde bir müdahalenin olmadığı durumlarda oluşan pasifleşmeye "kendiliğinden pasifleşme" adı verilir. Bu durumda anodik ve katodik bölgeler arasında hiç bir elektriksel bağlantı yoktur.

Gerekli şartlar Daha evvelki bölümlerde verilen anodik ve katodik reaksiyon eğrilerinin değişik konumları şekil 2.6 daki gibi düşünüldüğünde, katodik reaksiyon O_2 nin indirgenme reaksiyonudur. Kesik çizgiyle gösterilen durum ise karıştırılan çözeltideki durumu göstermektedir. Şekil 2.6.b de bu tip bir katodik reaksiyonla anodik polarizasyonun konumu görülmektedir. Bu şekilden de görüleceği gibi kesişme noktası pasif bölgeye rastlamaktadır. Eğer şekil 2.6.b deki durum elde edilirse kendiliğinden pasifleşme elde edilmiş olur. Buna göre pratik olarak kendiliğinden pasifleşmenin şartı, I_{kr} den



ŞEKİL 2.6. a- Kendiliğinden pasiflenmenin sağlanması için gerekli şartlar
b- Kendiliğinden pasiflenmenin oluşturduğu durum

daha büyük bir katodik bir akımın temin edilmiş olmasıdır.

$$E_{bp} \text{ de } I_k > I_{kr}$$

Şekil 2.6.a ve b durumları göz önüne alınacak olursa kendiliğinden pasifleşmeye ulaşmak için şu durumlardan birinin sağlanması gereklidir:

- I_{kr} 'nin düşük değerlere itilmesi
- I_k nin arttırılması

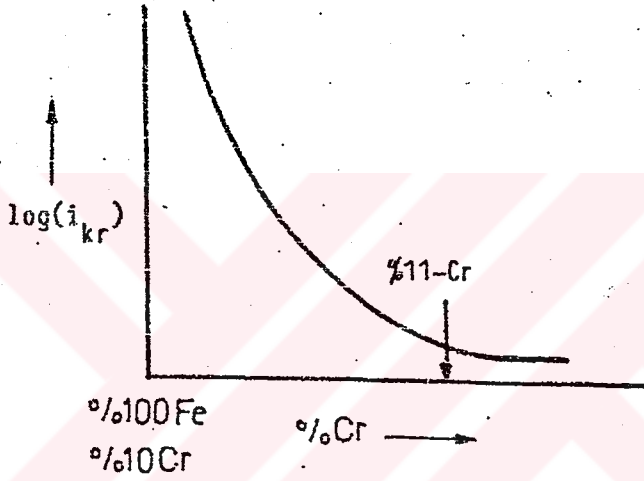
a) I_{kr} 'nin düşük değerlere itilmesi

Metallerin polarizasyonu ve pasifliği hakkında henüz hiç birşey bilinmezken, bugünkü paslanmaz çeliklerin özünü oluşturan alaşımlandırma tekniği gelişmiştir. Şekil 2.7. de Fe içine Cr ilavesiyle I_{kr} 'in değişimi görülmektedir. % 11 Cr ilavesinden sonra Fe'nin anodik polarizasyon eğrisi Şekil 2.6.a daki (2) nolu kesik çizgilerle gösterilen durumu alır. Bu durumda I_{kr} de bir düşüş meydana gelmiştir ve sonuç olarak çözelti ister durgun ister karıştırılmış olsun katodik reaksiyon eğrisinin, anodik polarizasyon eğrisinin kestiği tek bir nokta vardır ve bu da pasif saha içindedir (Şekil 2.6.a daki P noktası).

Paslanmaz çelikler O_2 ile zenginleştirilmiş sulu ortamlarda kendiliğinden pasifleşirler. Gerekli şart çözelti içinde çözülmüş O_2 nin bulunmasıdır. Bir paslanmaz için bulunduğu ortamın O_2 yetersizliği son derece önemli ve tehlikelidir, çünkü malzeme aktif hele gelir.

b) I_k nin arttırılması.

Katodik akımın arttırılmasının en kolay yolu çözeltinin karıştırılmasıdır. I_{kr} nin çok yüksek olmadığı durumlarda kendiliğinden pasifleşme, O_2 çözünmesini kolaylastırdığı için karıştırma ile oluşturulabilir.



ŞEKİL 2.7. Demir içindeki krom yüzdesine göre kritik akım yoğunluğu değişimi

3. PASLANMAZ ÇELİKLER

Korozyon konusu işlenirken bahsedildiği gibi Fe içindeki Krom oranı %11 in üzerine çıktığında değerinde oldukça büyük düşüşler meydana gelir ve ortam koşullarında kendiliğinden pasifleşir. İşte bu tür çeliklere ortam koşullarında paslanmamaları nedeniyle "Paslanmaz Çelikler" adı verilir. Korozyon direncini sağlayan pasif film oluşumu için gerekli %11 Cr içeriği paslanmaz çelikler için krom oranının alt sınırıdır. Artan krom oranıyla birlikte korozyon direnci de artar. Krom'a ek olarak 15 kadar alaşım elementi yapıda bulunabilir. Bunlar arasında Nikel başta gelir. Kullanım için gerekli korozyon direnci ve mekanik özellikleri belirleyen temel etmen malzemenin kimyasal kompozisyonu ve dokusudur. Buna göre paslanmaz çelikler oda sıcaklığındaki dokularına göre beş ana grup altında toplanırlar:

- Ferritik Paslanmaz Çelikler
- Ostenitik Paslanmaz Çelikler
- Martenzitik Paslanmaz Çelikler
- Çökelmeyle Sertleşebilen Paslanmaz Çelikler
- Çift Fazlı Paslanmaz Çelikler

Her grup standard ya da standard olmayan farklı kompozisyonlardaki çeliklerden oluşmaktadır/7/.

Paslanmaz çeliklerin her ortamda çok iyi korozyon direncine sahip olduklarını düşünmek yanlıştır. Özellikle yanlış çelik seçiminin ya da hatalı kullanımın söz konusu olduğu durumlarda paslanmaz çeliklerin alaşımsız çeliklerden daha hızlı korozyona uğrayabileceği belirlenmiştir. Ayrıca farklı ortamlarda farklı korozyon türleriyle karşılaşılması mümkündür.

3.1. PASLANMAZ ÇELİKLERİN SİMGELENMESİ

Paslanmaz çeliklerin dünyada ve ülkemizde en çok kullanılan standard gösterimi AISI (American Iron and Steel Institute) numaralarıyla yapılmaktadır. Bu standardda paslanmaz çelikler kimyasal

Çizelge 3.1 AISI numaralarına göre paslanmaz çelik grupları

Seriler	Grupların Genel Özellikleri
2xx	Krom-Nikel-Mangan, Ostenitik sertleştirilemez, Magnetik değil
3xx	Krom-Nikel, Sertleştirilemez, Ostenitik, Magnetik değil
4xx	Krom, Sertleştirilebilir, Martenzitik, Magnetik
4xx	Krom, Sertleştirilemez, Ferritik, Magnetik
5xx	Krom, Düşük krom, sıcakta dayanıklı

kompozisyonlarına göre sınıflandırılıp üç basamaklı sayılarla numaralandırılmaktadır.

Çizelge 1 de AISI numaralarının hangi grup çeliği gösterdiği belirtilmiştir. Herhangi bir çelikte yapılan yeni düzenlemeler standard numarasının yanında bir harf ile belirtilir. Örneğin 304 çeliğinde karbon oranının %0.08 den %0.02 ye indirilmesi ile elde edilen çelik 304L olarak isimlendirilir.

Bir başka simgeleme sistemi ise UNS (Unified Numbering System) dir. Bu sistemde paslanmaz çelikler genellikle S harfi ve beş basamaklı sayılarla gösterilir. Bu numaranın ilk üç basamağı genellikle AISI numarasının aynı olup son iki basamak ise yeni düzenlemeler için kullanılmaktadır.

3.2. PASLANMAZ ÇELİK TÜRLERİ

3.2.1. FERRİTİK PASLANMAZ ÇELİKLER

Ferritik paslanmaz çelikler %6-30 Cr ve %0.05-0.25 C içerirler. Kromun kapalı ve dar bir ostenit alanı

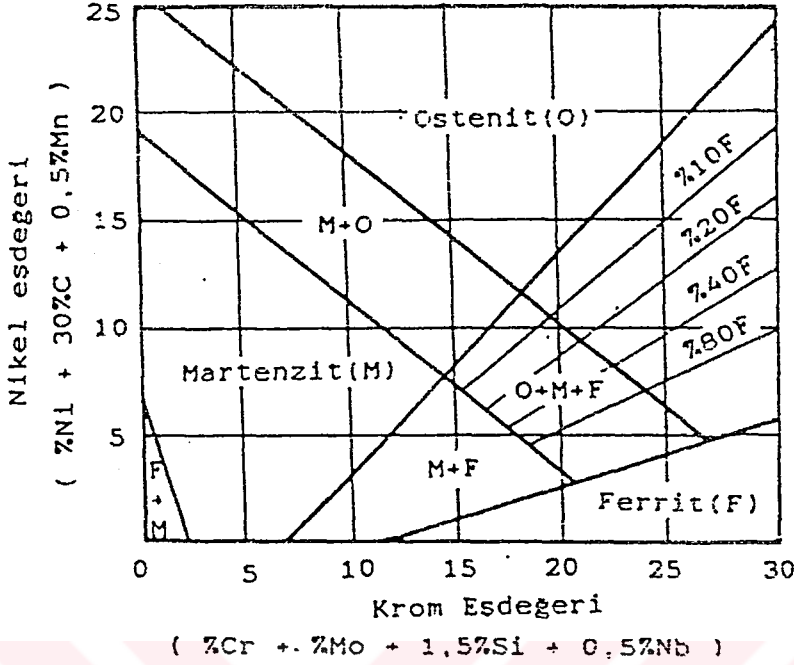
ostenit alanı oluşturması bir başka anlatımla ferritik yapıyı kararlılaştırması sebebi ile bu çelikler hiç bir dönüşüme uğramaksızın ya da kısmen dönüşüme uğrayarak sıvı faza kadar ısıtılabilirler. Dönüşüme uğramadıklarından ısıl işlemle sertleştirilmeleri veya normelleştirme ile tane küçültülmesi mümkün değildir. Kübik hacim merkezli yapının malzemeye kazandırdığı avantajların başında nispeten yüksek akma sınırı ve her sıcaklıkta oldukça iyi mağnetik özellikler gelir. Karbon ve azot gibi elementlerin ferritik yapı içinde çözünürlüklerinin oldukça düşük olması bu malzemelerin Sünek-Gevrek geçişinin çok dar bir sıcaklıkta oluşmasına sebep olur. Hatta yüksek Cr ve C'lu malzemelerde bu geçiş bölgesi oda sıcaklığına kadar yükselebilir. Bu nedenle yüksek Kromlu ferritik paslanmaz çeliklerin üretimi ancak karbon oranının %0.03 n altına düşürülmesi ve yapıya Nb,Ti gibi karbona afinitesi kromdan daha yüksek elementlerin ilavesiyle sağlanabilir. Yine de tokluğun düşük olması bu çeliklerin kullanımındaki en önemli sınırlamayı oluşturur.

Ferritik paslanmaz çeliklerin klorürlü ortamlardaki gerilmeli korozyon atlmasına karşı oldukça dayanıklıdır. Isı iletimi uygulamalarında da oldukça sık kullanılır.

3.2.2. OSTENİTİK PASLANMAZ ÇELİKLER

Paslanmaz eliklerin içine kroma ilaveten nikel ve/veya mangan eklenmesi ile ostenit sahası genişletilebilir. Bu şekilde elde edilen çeliğin dönüşüm sıcaklığı oda sıcaklığının çok altına iner. Dolayısıyla oda sıcaklığındaki yapıları ostenitiktir. Isıtma ve soğutma sırasında dönüşüme uğramadıklarından ferritik çelikler gibi ısıl işlemle sertleştirilemezler. şekil 3.1 de paslanmaz çeliklerin içerdikleri element oranına göre oda sıcaklığındaki dokularını veren Schaffler Diyagramı görülmektedir.

Yüksek Cr oranının sağladığı yüksek korozyon direncinin yanında kübik yüzey merkezli ostenitik



Şekil 3.1. Schaeffler Diyagramı

yapının plastik şekil almasının kolay olması ve soğuk pekleşme özelliği en önemli avantajlarıdır. Manyetizmaları ve ısı iletkenliklerinin düşük olması da belirli uygulamalar için avantaj sayılabilir. Arzulanan mekanik özelliklerin tümünü üzerinde toplayan 304 paslanmaz çeliği en yaygın kullanıma sahip paslanmaz çelik türüdür.

Artan krom oranının işleme zorlukları çıkarması sebebiyle korozyon direncinin daha fazla iyileştirilmesi için yapıya Mo katılır. Özellikle azot içeren çeliklerde Mo oranı %6 ya kadar çıkartılabilir. Böylece korozyon direnci oldukça yükseltilebilir. Tüm ostenitik çelikler klorürlü ortamlarda gerilmeli korozyon çatlamasına hassas olmasına rağmen Mo içeren ostenitik çelikler bu tür ortamlarda başarıyla kullanılabilirler.

3.2.3. MARTENZİTİK PASLANMAZ ÇELİKLER

Bu tür çelikler %12-20 Cr içerirler, diğer çeliklere göre karbon oranı daha yüksektir. Nispeten düşük krom içermeleri nedeniyle korozyon dirençleri daha azdır. Ancak ısıtma-soğutma sırasında dönüşüme uğraması sayesinde ve yüksek krom oranı nedeniyle havada soğutmada dahi martenzit oluşur. Oluşan martenzit

klasik çeliklerdeki gibi gevrek ve yüksek dayançlıdır. Menevişleme ile toklukta bir miktar artış elde edilir. Bu çeliklerin ısıtılmasında dikkat edilmesi gereken önemli konulardan birisi düşük ısı iletkenlikleri nedeniyle ısıtma ve soğutma sırasında sıcaklık gradyantının oluşması ve sonuçta çatlamalara sebep olmasıdır. Bu yüzden ısıtma kademeli olarak yapılmalıdır. Soğutma havada veya yağda yapılabilir. Yağda soğutma sonucu daha iyi korozyon direnci ve tokluk elde edilir. Ancak çatlama riski yüksektir.

Bu çelikler daha çok korozyon dayanıcının yanında yüksek mekanik özelliklerin de arzulandığı yerlerde kullanılır.

3.2.4. ÇÖKELMEYİLE SERTLEŞEBİLEN PASLANMAZ ÇELİKLER

Bu çelikler krom ve nikel içeren çelikler olup ostenitik yarı ostenitik veya martenzitik yapıda olabilirler. Korozyon dirençleri genellikle ostenitik çeliklerinkine yakındır. Yaşlanma ile dayanç artması yapıya bakır ve alüminyum gibi intermetalik çökelti oluşturan elementlerin ilavesiyle kazandırılır. Yaşlanma işlemi demir dışı malzemelerinkine benzer şekildedir. Yaşlandırma genellikle 480-620 C arasında yapılır ve 44 RSDC'nin üzerinde bir sertlik elde edilir. Yaşlandırma işleminden sonra malzemelerin aşırıyaşlanmasına sebep olmamak için bu malzemelerin kaynak ve benzeri işlemlerle çalışma şartlarında sığağa maruz kalmamaları gerekir.

3.2.5 ÇİFT FAZLI PASLANMAZ ÇELİKLER

Bu çelikler kimyasal kompozisyonları oda sıcaklığında ferrit ve ostenit tanelerini içerecek şekilde düzenlenmiş malzemelerdir. Bunları Cr-Mo ferritik çelikleri gibi düşünebiliriz. Oda sıcaklığında ostenitin kararlı hale getirilmesi için yapıya nikel ilavesi yapılır. Çok iyi korozyon direncinin yanında ostenitik çeliklerin süneklilik, kolay şekillenebilme ve soğuk pekleşme özelliklerine, ferritik çeliklerin de yüksek akma sınırı gibi özelliklerine sahiptirler. Eşit oranda ferrit ve ostenit içeren çift fazlı paslanmaz çelikler çok iyi tokluğa sahiptirler ve dayançları her bir bileşeninkinden daha yüksektir.

3.3. PASLANMAZ ÇELİKLERİN KOROZYONU

Paslanmaz çeliklerin yüksek sıcaklıklardaki ve oda sıcaklığındaki korozyondan korunma mekanizmaları farklıdır. Yüksek sıcaklıklarda yüzeyde oluşan Kromoksit tabakası metal ile ortamın ilişkisini keserek çeliği korozyona karşı korur. Bu korumanın derecesi oksit tabakasının kalınlığına, sürekliliğine, gözenekliliğine bağlıdır. Oda sıcaklığındaki korozyondan korunma mekanizması ise yüzeyde oluşan pasif filmin metali koruması ile oluşur. Pasifleşme belirli ortamlarda ve belirli şartlarda oluşabilir. Bu nedenle pasifleşmenin meydana gelmesi ve kendini yenileyebilmesi için gereken şartlar ortamın türüne ve kullanılan çeliğin grubuna, kimyasal bileşimine bağlıdır. Pasifleşme için gerekli koşulların sağlanması halinde korozyon hızı oldukça yavaşlar. Ancak pasifleşme koşullarının dışına çıkılması halinde pasif film oluşmayacağı için parça hızla korozyona uğrar.

Paslanmaz çeliklerin korozyon direnci göstermesi için ortamda oksijenin varlığı zorunludur. Özellikle sürekli oksijenle temasta olan yerlerde en iyi korozyon direnci elde edilir.

Uygun paslanmaz çelik seçimiyle çok iyi korozyon direnci elde edilirken uygun olmayan çeliklerde ise çok hızlı korozyonla karşılaşılabilir/7/.

3.3.1. DUYARLILAŞMA

Paslanmaz çeliklerde sıcaklık etkisiyle tane sınırlarında kromkarbürlerin çökmesi "Duyarlılaşma" olarak bilinir. ostenitik paslanmaz çeliklerde bu olay 425-870 C arasında gerçekleşir. Karbür çökme miktarı sıcaklığa ve zamana bağlıdır. Çökelen kromkarbürlerin çevresinde kromca fakir bölgeler oluşur. Özellikle tane sınırlarında sürekli karbür çökmesi sonucu yapı taneler arası korozyona duyarlı hale gelir. Duyarlılaşma sonucu, çukurcuk korozyonu, gerilmeli korozyon çatlaması ve aralık korozyonu gibi korozyonlara karşı direnç düşer. Kaynaklı birleştirmelerde ısı etkisinde kalan bölgelerde duyarlılaşmanın oluşması en çok karşılaşılan sorunların başında gelir. Karbon oranı düşük çelikler kullanılması ile duyarlılaşma süresi uzatılabilir.

Duyarlılaşmadan kaçınmanın bir diğer yolu da Nb ve Ti içeren çeliklerin kullanılmasıdır. Bu elementlerin karbona karşı afinitelerinin kromdan daha yüksek olması sebebiyle kromca fakir bölgelerin oluşumu önlenir.

4. GERİLMELİ KOROZYON ÇATLAMASI

4.1. TANIM VE TARİHÇE

Gerilmeli Korozyon Çatlaması (GKC), Korozyonun ve çekme gerilmesinin beraberce etkimesi sonucu oluşan korozyon türüdür. ortaya çıkan korozyon mekanizması, klasik korozyon ve gerilmenin ayrı ayrı etkilerinden farklıdır. Bazı araştırmacılar GKC 'nıda korozyonun etkili olduğunu diğerleri ise gerilmelerin etkili olduğunu ileri sürmüşlerdir. Çok sayıdaki GKC türü nedeniyle bu korozyon türünün basit bir mekanizmaya indirgenmesi hemen hemen imkansızdır.

GKC 'nin neden oluşduğunu anlamak, nasıl oluşduğunu anlamaktan daha kolaydır.

GKC oluşumu için yeterli koşul :

Hassas malzeme + korozif ortam + çekme gerilmesi=GKC

şeklinde gösterilmektedir. Çekme gerilmesi malzemeye dışardan uygulanan bir yük olabileceği gibi, malzeme yapısındaki artık gerilmelerde olabilir. Bu yüzden dış yükler altında bulunmayan malzemelerde de GKC görülebilir. GKC 'nin üç aşamada oluşduğunun kabulü oldukça yaygındır. Bunlar

(a) çatlak oluşumu

(b) çatlak ilermesi ve

(c) kırılmadır

GKC genellikle pasifleşme ile korozyon direnci sağlayan malzemelerde görülmektedir. Ancak her malzeme - ortam ikilisinde GKC oluşmayabilir. Örneğin Ostenitik paslanmaz çelikler amonyaklı ortamlarda GKC 'na uğramazken, Klorürlü ortamlarda GKC 'na uğramaktadır.

GKC ilk olarak perçinle imal edilmiş buhar kazanlarında görülmüştür. Perçinlerdeki gerilmeler genellikle akma sınırına yakındır. Buhar kazanlarında korozyonu önlemek için kaynar su içine alkaliler eklenir. Kazan sacı ile perçinler arasındaki aralık kaynar suyun bu aralıklarda birikmesine sebep olur. Buradaki alkali konsantrasyonu

GKC oluşturmak için yeterli düzeye ulaştığında bazen kazanın patlamasıyla sonuçlanan kazalar meydana gelmiştir. Bu olaylarda alkalilerin rofı göz artı edildiğinden ilk karşılaşılan bu tür olaylara "Kostik gevreklik" adi verilmiştir. Daha sonraları kaynakla imal edilmiş kazanların imalatıyla bu sorun azaltılmıştır /2/. GKC 'nin tam olarak anlaşılamadığı dönemlerde ortaya çıkan GKC olayları ortamların ismiyle anılmıştır. Bunlara örnek olarak "Klorik çatlama" ve "Kastik çatlama" olayları gösterilebilir /6/.

Kimya endüstrüsünde sıcak nitrat çözeltisi içeren sistemlerde de GKC ile karşılaşılmıştır. Bu durum gerilmelerin yüksek olduğu durumlarda oda sıcaklığında da oluşmaktadır. Ohio'da Portsmouth köprüsünde kullanılan % 0.7 C lu çelik halatların bağlantı noktalarında 12 yıl sonunda çatlamlar belirlenmiş ve yapılan araştırmalar bu çatlamların yağmur sularının içerdiği amonyumnitratin bu noktalarda yoğunlaşması ile oluştuğu sonucuna varılmıştır.

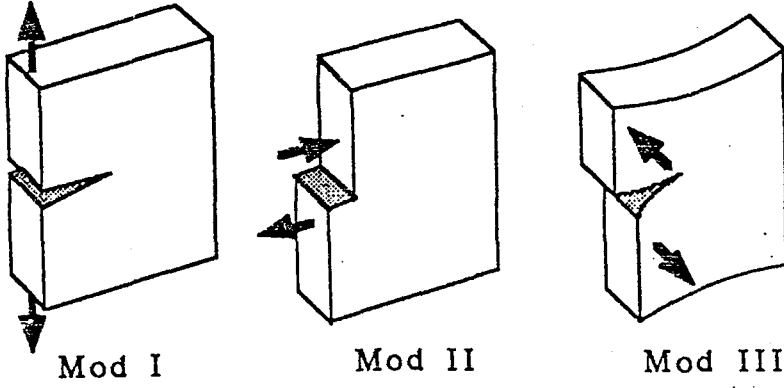
Çizelge 4.1 de bazı malzemeler için GKC 'nin görüldüğü ortamlar belirtilmiştir.

ÇİZELGE 4.1. Bazı metallerin GKÇ na uğradığı ortamlar

Metal	Ortam
1. Islah Çelikleri Yüksek Dayançlı Çelikler	NO_3^- , OH^- H_2O
2. Ostenitik Paslanmaz Çelikler	Cl^- , OH^- , Br^-
3. α - Princi	NH_3 , Aminler
4. Titanyum Alaşımları	Cl^- , Br^- , I^-
5. Alüminyum Alaşımları	H_2O , NaCl çözeltileri

4.2. GKÇ MEKANİZMASI

GKC, korozyon probleminin en önemlilerinden birisi olduğu halde mekanizması tam anlamıyla anlaşılamamıştır. İyi sonuçlar vermesi nedeniyle "kırılma mekaniği" kavramlarından yararlanması genel bir ilgi görmüştür. Kırılma mekaniği yapıdaki mevcut bir çatlağın uç bölgesinde meydana gelen gerilme yığılmalarını "Gerilme şiddet faktörü" K , ile simgelemektedir. Üç temel çatlak ilerleme modeli mevcuttur (şekil 4.1.)



ŞEKİL 4.1. Üç temel çatlak ilerleme modeli

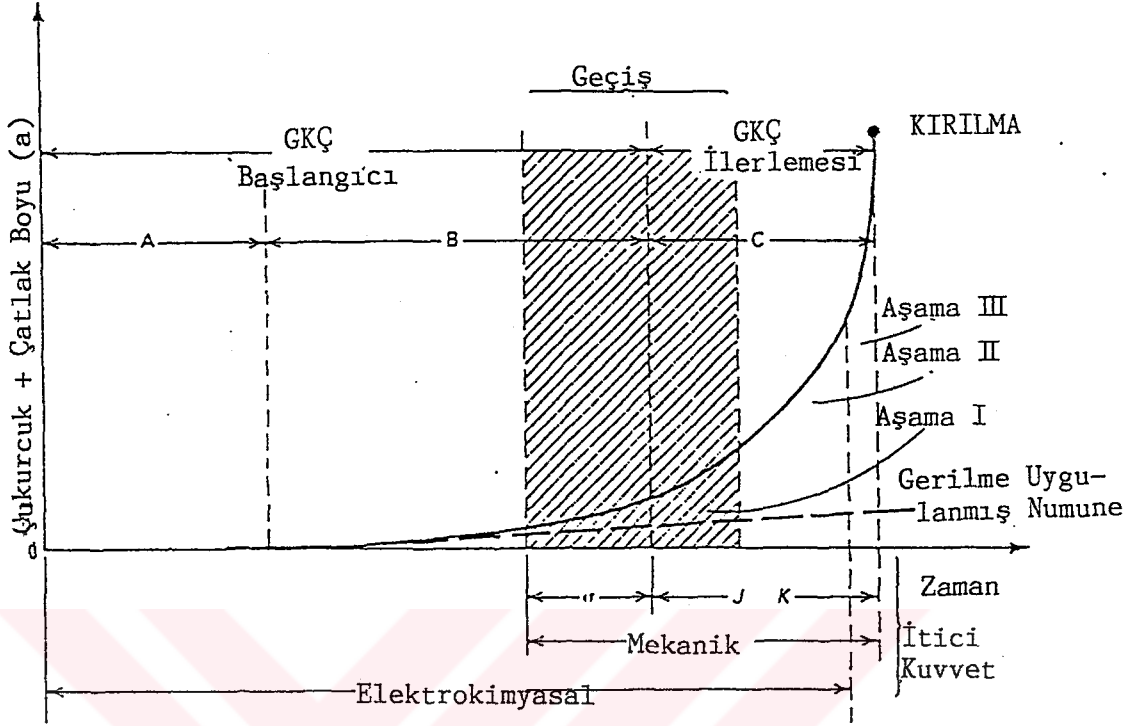
- a) Açılma modeli
- b) Kayma modeli
- c) yırtılma modeli

Uygulamada ençok karşılaşılan çatlak ilerleme türü model I olup bu tür çatlak ilerlemesi için gerilim şiddet faktörü K_I olarak isimlendirilir.

$$K_I = \sigma \sqrt{\pi a} \quad (4.1)$$

olarak tarif edilmiştir. Lineer Elastik kırılma gösteren yüksek mukavemetli malzemeler gerilim şiddet faktörü belirli bir sınır değeri geçene kadar gerilmelere dayanabilirler. Bu sınır değeri "kritik gerilim şiddet faktörü" K_{İc} olarak adlandırılır. Gerilim şiddet faktörü, K_{İc} değerine ulaştığında ani bir çatlak büyümesiyle malzeme kırılır. Gerilmeli korozyona hassas malzemelerde gerilim şiddet faktörü K_{İc} ye ulaşınca kadar çatlak gerek ortamın gerekse gerilmenin etkisiyle büyümeye devam eder.

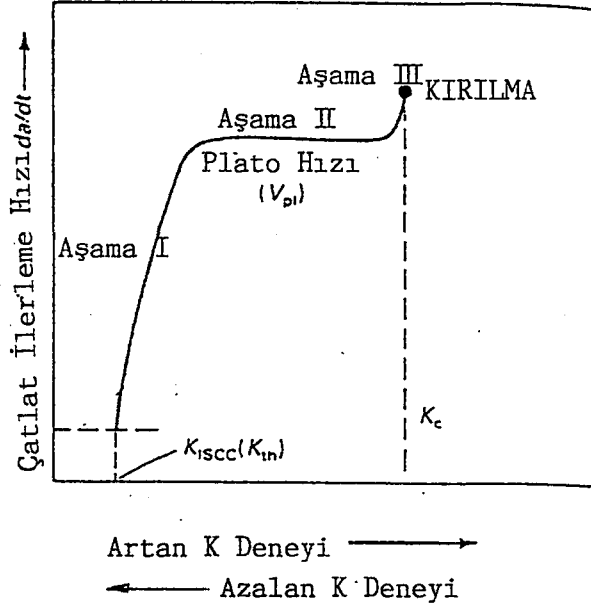
Sekil 4.2.de çatlak ilerlemesinin zamanla değişimi gösterilmiştir ayrıca bu diyagramda çatlak ilerlemesinin hangi aşamasında hangi mekanizmaların etkili olduğunda



ŞEKİL 4.2. GKÇ da çatlak oluşum, çatlak ilerlemesi ve kırılma aşamalarında elektrokimyasal ve mekanik faktörlerin etkileri.

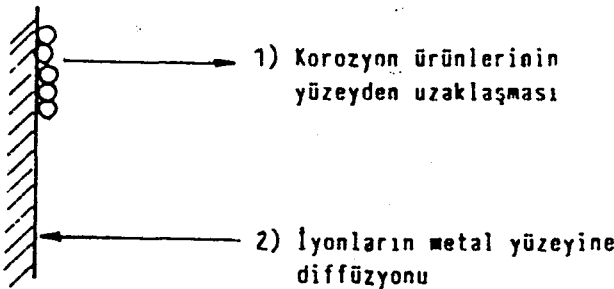
gösterilmiştir. Şekildeki A bölgesinde geçen zaman pasif filmin bozulması için geçen zamanı göstermektedir. B bölgesinde ise ilk çatlakların çekirdeklenmesi ile çatlak oluşumu ve gerilme yığılmaları oluşur. A ve B bölgelerinde etkin olan elektrokimyasal reaksiyonlardır. Çatlak oluşumu ile beraber elektrokimyasal reaksiyonlara ilaveten mekanik etkilerde sisteme dahil olur. A ve B bölgelerinden oluşan zaman "GKÇ Başlangıcı" adı verilir. C bölgesi oluşan çatlakların elektrokimyasal ve mekanik etkiyle büyüdüğü bölgedir. Bu bölgeye ise "GKÇ ilerlemesi" adı verilir. Çatlakların ilerlemesiyle sonuçta Kırılma noktasına ulaşılır ve malzeme kırılır. GKÇ başlangıcı ile GKÇ ilerlemesi birbirinden kesin olarak ayrılamaz. Bu iki aşama arasındaki geçiş bölgesi şekilde taralı olarak gösterilmiştir /5/.

GKÇ ilerleme bölgesinde çatlak ilerleme hızının ölçümü sonucu bu bölge üç ana aşamaya bölünmektedir (Şekil 4.3). Aşama I çatlak ilerlemesinin gerilim siddet faktörüyle hızlı olarak değişmektedir. Aşama II bölgesinde



ŞEKİL 4.3. Gerilim Şiddet faktörünün GKÇ kinetiğine etkisi

çatlak hızı, K dan bağımsız olarak sabit kalmaktadır. Aşama III te ise çatlak hızı, gerilim şiddet faktörünün artışıyla yükselmekte ve K_c ye ulaşıldığında malzeme kırılmaktadır. Şekil 4.3 te aşama I bölgesinde öyle bir K değeri vardır ki bu gerilim şiddet faktörünün altındaki değerlerde çatlak ilerleme hızı sıfır olmaktadır. Bir başka anlatımla çatlak çekirdeklenmesi olsa dahi çatlakta ilerleme olmayacak ve GKC oluşmayacaktır. Bu eşik K değerine Kıkğç (Kıscc) veya K_{th} adı verilir. Kıkğc malzeme ortam ikililerine bağlı olup pek çok parametreye bağlıdır. Kıkğc değerinin tespiti için çeşitli deney yöntemleri geliştirilmiştir. Eğer Kıkğc değeri doğru olarak tespit edilebilir ve uygun gerilme seviyeleri seçilirse malzeme GKC oluşmadan teorik olarak çok uzun süreler kullanılabilir.



ŞEKİL 4.4. Çatlak yüzeyinde gelişen reaksiyonlar

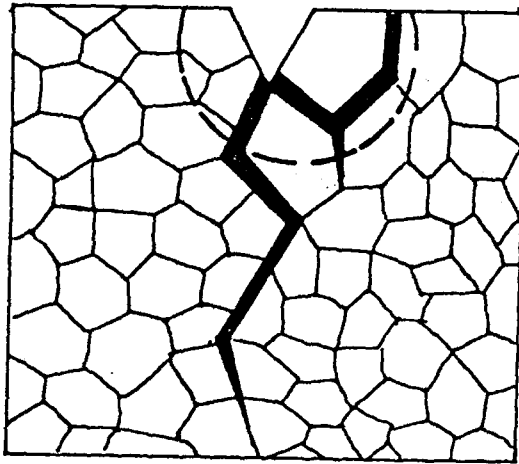
Şekil 4.4. de metal yüzeyi ile korozif ortam arasında gelişen reaksiyonlar gösterilmiştir. Gelişen reaksiyonların hızı doğrudan doğruya ortamın vizkozitesi ile ilgilidir. Vizkozitesi düşük ortamlarda yayınma hızları dolayısıyla reaksiyon hızları yüksek olacağından çatlağın büyüme hızında da bir artış meydana gelecektir. Yüzeydeki reaksiyonların hızları birbirine eşit olduğunda Aşama II bölgesindeki sabit çatlak ilerleme hızı elde edilir /6,4/.

Kimi araştırmacılar metalin çözünmesinin, kimileri de gerilme ve gerinmenin GKC de daha önemli rol oynadığına inanırlar. Parkins, R.N. çatlama mekanizmasını üç grup içinde incelemektedir /4/.

- a) Önceden var olan aktif bölgeler.
- b) Gerilmenin doğduğu aktif bölgeler.
- c) Kritik altı gerilme bölgelerinde özgün adsorpsiyon.

4.2.1. ÖNCEDEN VAROLAN AKTİF BÖLGELER

Kırılmanın malzeme içinde önceden mevcut aktif bölgelerle ilgili olduğu düşünülürse, alaşım veya malzemede galvanik pilin oluşmasına neden olan ve genellikle tane sınırlarında oluşan çökme veya segragasyonları içeren bir yapının olması beklenir. Bu tür alaşımlar gerilmenin mevcut olmadığı durumlarda bile taneler arası korozyona karşı duyarlıdırlar. Bu tip korozyonun derinlere girebilmesi ise elektrokimyasal bir itme gücünün mevcut olmasını gerektirir. Saf metallerde GKC ya hiç yoktur yada çok az karşılaşılan bir durumdur.



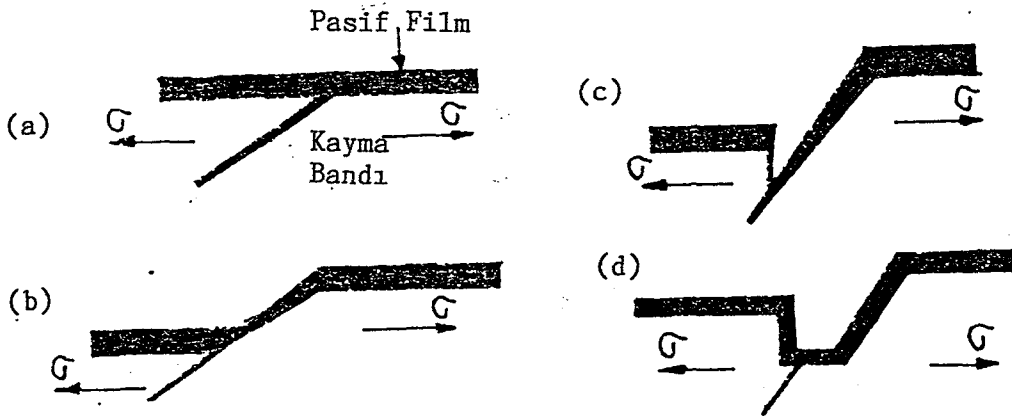
ŞEKİL 4.5. Çatlağın tane sınırları boyunca ilerlemesi

Al alaşımları ile yapılan araştırmalar bu alaşımlardaki taneler arası çatlamanın ısıtma işlemleri sonucu oluşan aktif bölgelerden kaynaklandığını göstermiştir. Ostenitik paslanmaz çelikler, Ti alaşımları gibi malzemelerde aktif bölgelerin varlığını gösteren kanıtlar mevcuttur. Bazı durumlarda korozyon ürünlerinin çözünürlüğünden dolayı çekme gerilmesi olmasa dahi GKC'ye uğradığı belirlenmiştir. Eğer korozyon ürünleri gözeneksiz ve çözünürlüğü olmayan türden olursa gerilmenin işlevi bu filmleri hasara uğratarak devamlılığını bozmaktır. Çekme gerilmesinin olduğu durumlarda kırılmaya sebep olan çözeltinin, gerilmesiz durumda taneler arası korozyon meydana getiren cinsten olması gerekmez. Burada çekme gerilmesinin rolü pasif filmi zayıf olduğu tane sınırlarında kırarak bu bölgeleri diğer noktalara göre daha anodik hale getirmektir.

Paslanmaz çeliklerdeki duyarlaşma olayı da aktif bölgeler oluşumuna örnektir/7/.

4.2.2. GERİLMENİN DOĞURDUĞU AKTİF BÖLGELER

Çözünme tarafından kontrol edilen mekanizmanın söz konusu olduğu durumlar sadece taneler arası korozyon çatlaması oluşturan sistemlerde söz konusu değildir. Önceden mevcut aktif bölgelerin var olmadığı malzemelerde de GKC görülür. Bu tipteki gerilme korozyonlarında genellikle taneler boyunca meydana gelir. Malzemenin bazına göre yapısal yönden farklılık gösteren dislokasyonların bu tip kırılmaların kaynağı olduğu şeklindeki tartışmalar çoğunluktadır/9/. Konpozisyon yönünden farklılık getiren dislokasyonların hareketlerinin de tane içi gerilmeli korozyon çatlamasının meydana gelmesinde rol oynadığı söylenebilir. Ostenitik çeliklerin 150 °C $MgCl_2$ çözeltisindeki davranışını inceleyen Swann kayma düzlemlerinde oluşan bir çözünme mekanizmasından söz etmiştir.



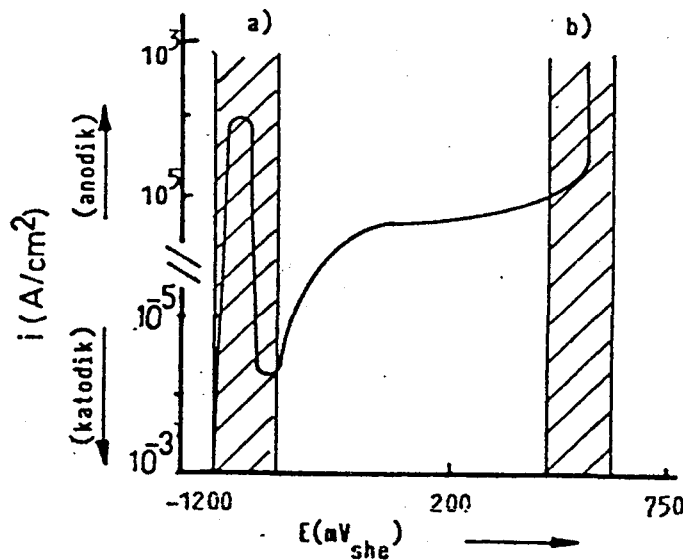
ŞEKİL 4.6. Çatlamanın meydana gelmesi ve ilerlemesi

Uygulanan gerilme ile film arasındaki ara reaksiyonlar gerilmelerden doğan aktif bölgelerinin oluşmasında önemli rol oynar. Bu ara reaksiyonların meydana geliş sırası şekil 4.6 daki gibi gösterilebilir.

Uygulanan gerilme kuvveti altında kayma bantı oluşur ve hareketi esnasında filmi çatlatarak taze yüzey meydana getirir. Eğer malzeme potansiyostatik kontrol altında ise yeni taze yüzeydeki çözünme hızı artacak ve bu artış taze yüzeyin yeniden filmle kaplama süresine bağlı olacaktır. Taze yüzeyin çözünmesi o bölgeden sağlanan korozyon akımının zaman içindeki değişimi ile ifade edilebilir.

Alaşımın kayma modeli, her bir kayma basamağının boyunu tesbit ettiğinden önemlidir. Yeni taze yüzey meydana gelir gelmez yeniden pasifleşmeye başlayacaktır. Çatlamanın meydana gelmesine sebep olan çözünme reaksiyonu, filmin çatlaması ile yeniden pasifleşmesi arasında geçen zaman içinde oluşur.

Yeniden pasifleşme zamanı olarak alınan bu sürenin uzunluğu oldukça önemlidir. Çünkü çatlamanın gelişmesine neden olan çözünme bu zamanda meydana gelecektir. Gerilme etkisindeki bir malzemede çatlamanın meydana geliş ve devamının dinamiği oldukça önemlidir. Gerilim hızı $\dot{\epsilon}$, taze yüzeyin meydana gelmesinde önemli bir değişkendir ve yeniden pasifleşmeyi kontrol eden potansiyelle karşılaştırılabilir.



ŞEKİL 4.7 %35 NaOH içindeki alaşımsız çeliklerin polarizasyonu ve GKÇ davranışları arasındaki bağıntı.

Bu iki durumdan birinin etkinlik kazanması sonucu çatlama ya devam edecek yada durmak zorunda kalacaktır. Pasifleşebilen metallerin anodik polarizasyon eğrisi (Şekil 4.7.) göz önüne alınırsa, çözünmenin en fazla olduğu (a) aktif-pasif geçiş bölgesi ile (b) geçici pasif bölgesinin GKC 'nin oluşabileceği bölgeler olduğu görülür. Çünkü bu bölgelerde yeniden pasifleşme söz konusu değildir. Yeniden pasifleşme oranının yüksek olduğu durumlarda çatlamanın durması söz konusudur.

4.2.3. KRİTİK ALTI GERİLME BÖLGELERİNDE ÖZGÜN ADSORBSİYON

Aralarındaki uzaklık b olan iki kristal düzlemini birbirinden koparak ayırmak için gerekli olan σ_k kopma mukavemetinin

$$\sigma_k = (E\delta/b) \quad (4.2)$$

(E :Elastisite modülü , δ :Yüzey enerjisi)

terimi ile ifade edildiği göz alındığında, kritik altı gerilme bölgelerindeki özel adsorbsiyonun çatlamlara yol açacağı beklenebilir. Eğer δ azalırsa σ_k da azalacaktır. Uygun atomların adsorbsiyonu etkin bir biçimde σ_k i küçültür ve böylece daha küçük gerilmelerde çatlama oluşabilir. Parçacıklar ya doğrudan çevreden adsorblanır yada adsorbsiyonun yüzey enerjisini azalttığı bölgeden uzak bazı reaksiyonlarca dolaylı olarak adsorblanabilirler.

Adsorblanan parçacıkların metalin korozyon ortamına açık yüzeyinde etkili olduğu (çatlak uçlarında olduğu gibi) kabul edilir. Bu parçacıklar metal içine yayılır ve çatlak ucunun ön bölgesinde adsorblanır. Böylece bu bölgelerdeki gerilme ve/veya gerilme şartları bir çatlak başlama için uygun hale gelir.

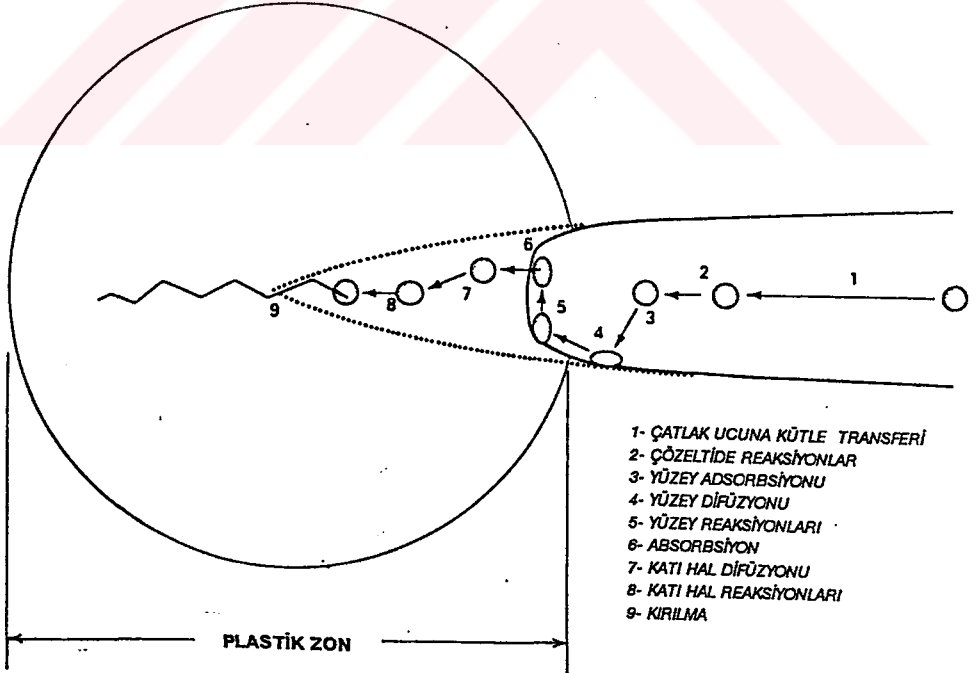
Adsorbsiyon mekanizmasına dayandırılan GKC korozyonla uğrayan malzeme yüzeyinin afinitesi ile yakından ilgilidir. Yüksek çekme gerilmeleri altında plastik deformasyona maruz bir çeliğin uç kısmındaki birbirine yakın olan atomların çekme güçleri özel olarak adsorblanan iyonlar tarafından zayıflatılır. Hasara yol açan bu özel adsorblanmanın çatlak ucunda sürekli olarak meydana gelen hareketli hata bölgelerinde meydana geldiği muhtemeldir.

4.3. GKÇ' NI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Şekil 4.8 de çatlak ucunda meydana gelen ve çatlak başlama

ilerlemesiyle sonuçlanan reaksiyonlar şematik olarak gösterilmiştir. Bu şekil incelendiğinde çatlak ilerleme hızını belirleyen adımlar şunlardır /5.8/.

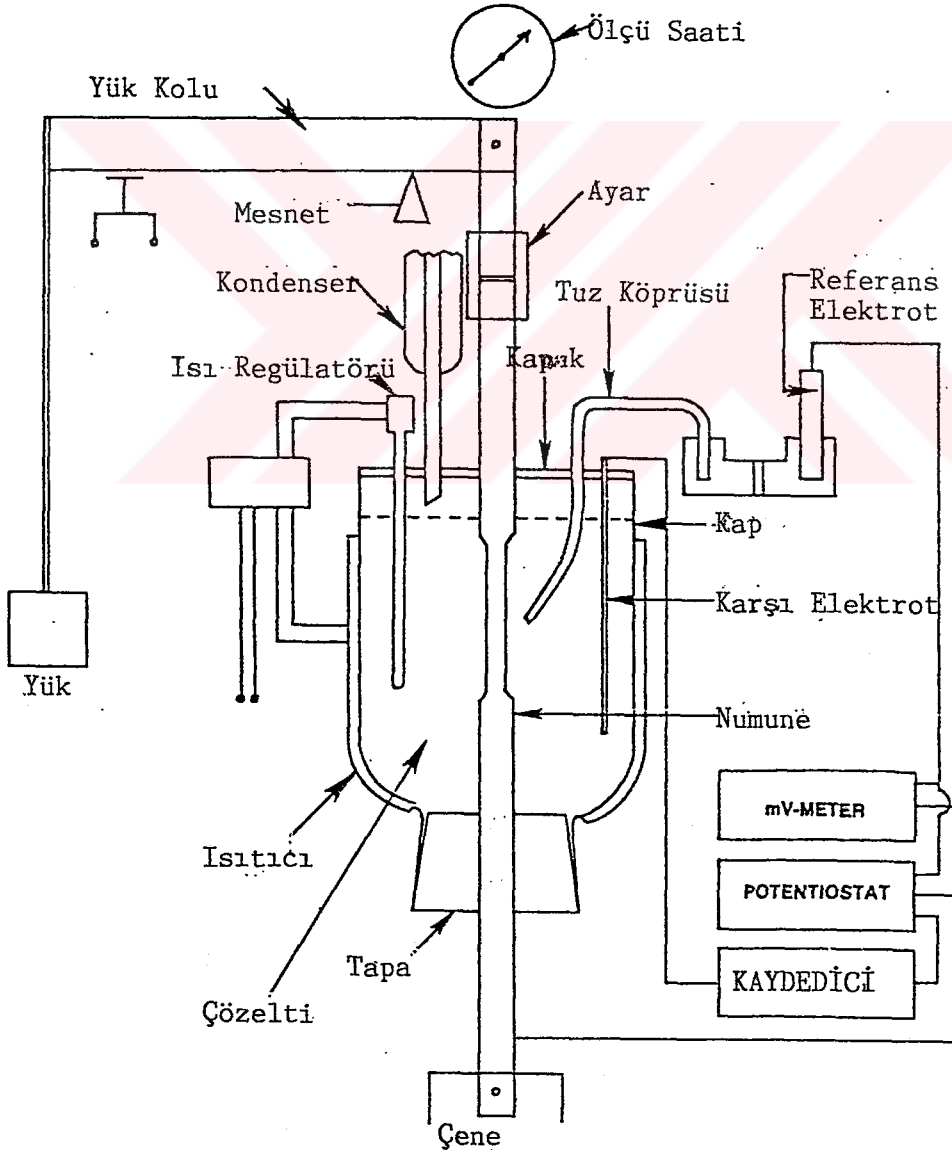
- a) Çatlak ucuna doğru kütle transferi
- b) Çatlak bölgesindeki çözeltideki reaksiyonlar
- c) Çatlak ucunda veya yakınında yüzey adsorbsiyonu
- d) Yüzeye difüzyon
- e) Yüzey reaksiyonları
- f) malzeme içine doğru adsorbsiyon
- g) ilerleyen çatlağın plastik bölgesinin malzeme içine doğru hareketi
- h) Malzeme içinde reaksiyonlar



ŞEKİL 4.8. Çatlak ucunda meydana gelen olayların şematik olarak adım adım gösterilmesi

5. GERİLMELİ KOROZYON DENEYLERİ

GKC, korozif ortam ve çekme gerilmesi gerektirdiğinden temel deney unsurları üzerine gerilme uygulanmış ve korozif ortama daldırılmış test numunesidir. Bu durum şekil 5.1. de şematik olarak gösterilmiştir. Deneyin amacı belirli bir malzeme - ortam için belirli bir gerilme ve deney



ŞEKİL 5.1. Şematik bir GKC deney düzeneği

süresinde çatlamanın oluşup oluşmayacağını saptamaktır. Deneyin tek amacının çalışma ortamındaki davranışın belirlenmesi olduğu durumlarda genellikle kısa sürede gerekli verilerin elde edilmesi zorunludur. Bu istek deney değişkenlerinin şiddetini arttırarak deneylerin hızlandırılmasını zorunlu kılar. Bunu gerçekleştirmek için yaygın olarak kullanılan yöntemler arasında yüksek gerilmelerin kullanımı, yavaş fakat sürekli artan gerilme, ön çatlaklı numunelerin kullanılması, yüksek sıcaklıklarda deney yapılması ve elektrokimyasal olarak reaksiyonların hızlandırılması gelir. Ancak bu değişkenlere müdahale edilirken temel hasar mekanizmasının değiştirilmemesi önemlidir.

Şematik deney düzeneği şekil 5.1 de gösterilmiştir. Bu düzeneğe gerilme yük arttırılarak yükseltilebilir. Ancak yavaş sürekli artan gerilmenin kullanımı daha farklı bir düzeneği gerektirir. Ön çatlaklı numuneler veya daha konsantre çözeltiler şeklindeki düzeneğe kullanılabilir. Atmosfer basıncında kaynama noktasına kadar sıcaklıklar bu düzeneğe kullanılabilir ancak daha yüksek sıcaklıklar otoklav gibi basınçlı kapların kullanımını gerektirir. Şekildeki sistemde gösterilen elektrokimyasal devreler GKC deneyi sırasında elektrokimyasal potansiyel kontrolü için yeterlidir/6/.

5.1. GKÇ DENEYLERİNİN SEÇİMİ

GKC deney programına başlamadan önce hangi deney yönteminin kullanılacağına karar verilmelidir. Böyle bir karar verilmesi geniş ölçüde deneyin amacına ve istenilen bilgilere bağlıdır. Bazı deneyler çalışma şartlarını mümkün olduğu kadar iyi oluşturmaya çalışırken bazıları da GKC nin mekanizmasını araştırmak için dizayn edilmişlerdir. Eskiden malzeme sınırlaması zaman ve yer numune seçimini basit U şekilli numuneyle sınırlandırmaktadır oysa daha teorik deney yöntemlerinin geliştirilmesi zorunludur. Örneğin çatlak ilerleme hızının bulunmasında ön çatlaklı numuneler kullanılabilir. Bu numuneler yüzey hazırlama işlemlerinin etkilerinin değerlendirilmesi için uygun olmamasına rağmen çatlak hızının belirlenmesi için çok elverişlidir. Çok sayıda geliştirilmiş detaylı yöntem bulunmasına karşın basit deney yöntemlerinin seçimi daha detaylı deneylerin kullanılmadığı bazı

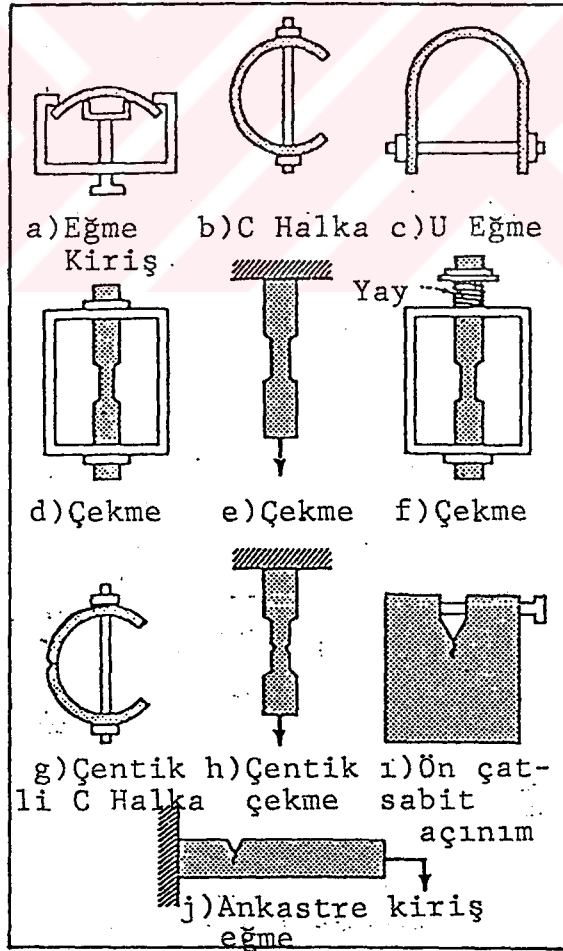
ortamlar için yeterli olabilir/5.6/.

Deney numuneleri iki guruba ayrılır:

(1) Çentiksiz numuneler

(2) Çentikli veya önçatlaklı numuneler.

Ayrıca gerilmenin moduna göre gruplama da yapılır.Örneğin sabit gerinme deneyi, sabit yük deneyi, düşük gerinme hızı deneyi vb. sabit gerinme deneyinde çatlak ilerlemesiyle birlikte uygulanan gerilme azalır. (Şekil 5.2.a,b,c,d,g ve i).Sabit yük deneyinde ise çatlak ilerledikçe uygulanan gerilme artar.Bu iki deney türü azalan gerilim şiddetti ve artan gerilim şiddetli deneyler olarak adlandırılır.Sabit detormasyon hızı deneyi (SDHD) nde çatlak ilerledikçe numune yavaş dinamik gerinmeye maruz kalır.Bu deney yöntemleri ilerideki bölümlerde daha ayrıntılı olarak açıklanacaktır.



ŞEKİL 5.2. GKÇ deneylerinde kullanılan deney numuneleri.

Düz numunelerle GKC deneylerinde genellikle belirli gerilme şartlarında çok sayıda numune korozyona uğratılır.Bu numunelerde deney esnasında çeşitli aralıklarda 10 veya 20 büyütmede yüzey çatlakları incelenir.Bir baska yöntem ise belirli zaman sonunda deneyin kesilerek numunenin tahribatlı yöntemlerle incelenmesidir.Bu durumda kesilen numuneler çok daha yüksek büyütmelele incelenebilirler.Gerilmeli korozyon hasarının analizinde çatlak ilerlenmesinin taneler arası mı yoksa tane içi mi olduğunun tespiti oldukça önemlidir/14/.

Tahribatlı muayenede numunelerin mekanik özelliklerindeki kayıplar belirlenerek yorum yapılabilir.Çentikli numunelerde centlik gerilme yığılmasına ve çentik ucunda üç eksenli gerilmelere sebep olur.Çentik, tek bir noktadan kırılma olasılığını arttırdığından, incelemeyi de kolaylaştırır.Önçatlaklı numuneler GKC deneyinden önce küçük yorulma çatlağı açılmış numunelerdir/5,6,11/.

Önçatlaklı numuneler yüksek dayançlı alaşımlarla çalışmada kullanılır. yüksek dayançlı alaşımlar, paslanmaz çelikler, maryaşlanma çelikleri, titanyum ve titanyum alaşımları için veriler elde edilmiştir.

GKC deney numunelerinin hazırlanmasında gerilmeli korozyon davranışını etkileyen dört malzeme işlemine dikkat edilmesi gerekir.Bu faktörler, tane oryantasyonu, artık gerilmeler, yüzey şartları ve kaynaktır/6/.

5.1.1. TANE YÖNLENMESİ

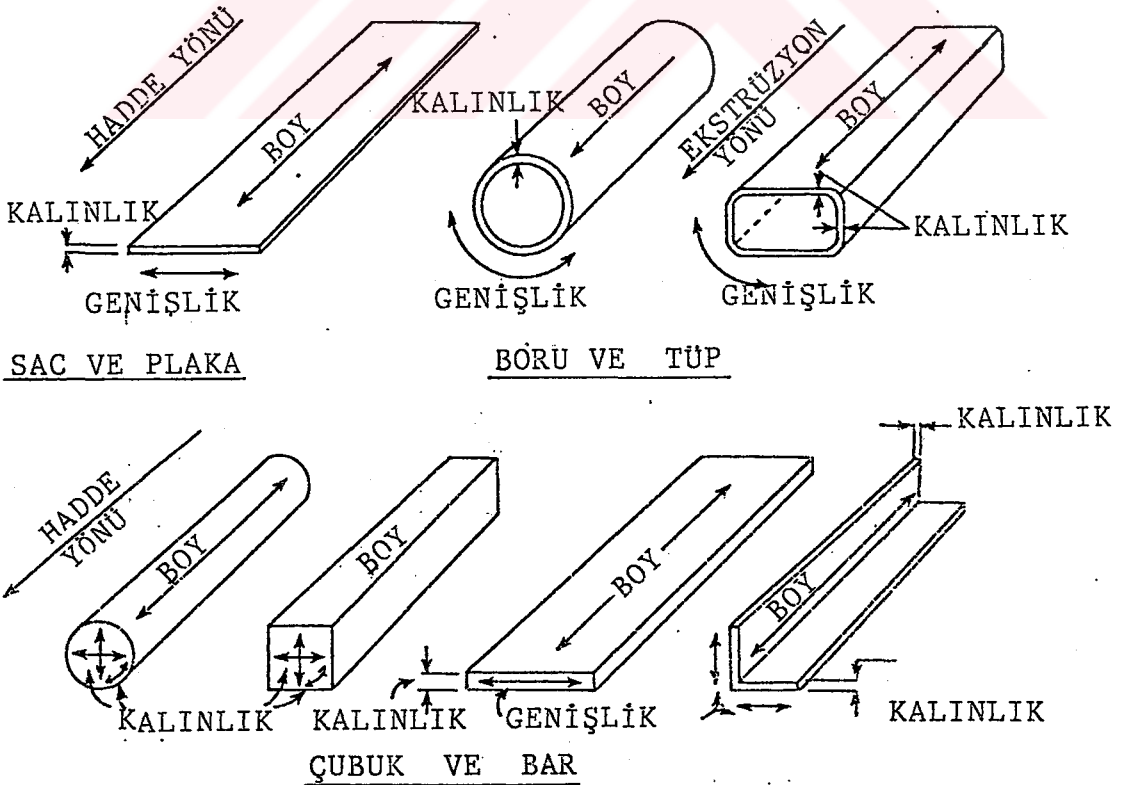
Haddeleme, ekstrüzyon ve dovme, malzeme üretiminde en yaygın olarak kullanılan PŞD yöntemleridir.Tüm bu yöntemler metalin belirli bir yönde akmasına dayanır.Mikroyapıda taneler akış yönünde uzarlar.GKC nin tanelerarası olduğu durumlarda GKC direnci tane şekliyle ve oryantasyonu ve uygulanan yüke oldukça bağlıdır/6/.

PŞD ile üretilmiş parçalarda tane oryantasyonları ile parça şekli arasındaki ilişki 5.3 de gösterilmiştir.Örnek olarak haddelenmiş sac alındığında hadde yönünün uzunluk (longitudinal)

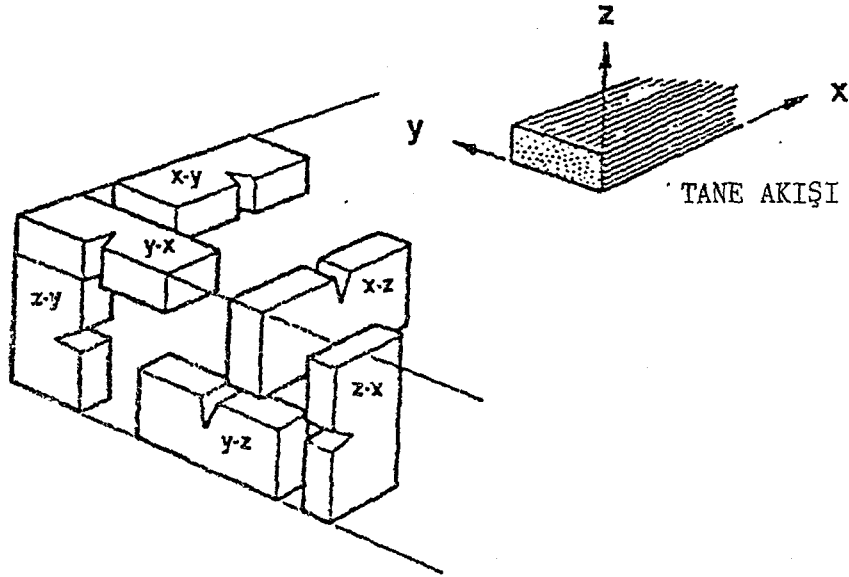
Uzunluğu dik düzlemin uzun kenarı Genişlik (Long

Transverse) ve bu düzlemin kısa kenarının kalınlık (Short Transverse) olarak adlandırılması en yaygın tanımlamadır. Bazı şekiller için LT ve ST yönlerinin tespiti mümkün değildir/5,6/.

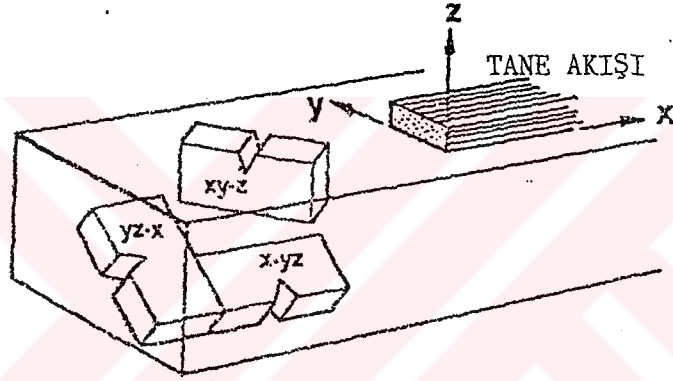
Alaşımların GKC na karşı dirençleri özellikle alüminyum alaşımlarında çekme gerilmesi genişlik ve kalınlık yönünde olduğunda belirgin biçimde düşer. Bu düşüş kalınlık yönünde maksimumdur. Bu açıdan GKC deneyi esnasında gerilme yönü ve tanelerin yönü arasındaki ilişki oldukça önemlidir. Bu iki parametreyle ilişkili olarak iki sistem geliştirilmiştir. Birinci sistem genellikle çentiksiz numunelerde kullanılır. Gerilmenin boyu paralel (L), genişliğine paralel (LT) ve kalınlığa paralel (T) yönde olmak üzere üç temel gerilme yönü seçilmiştir. Bu durum şekil 5.4. te gösterilmiştir. Aynı şekilde gösterilen 2. sistem özellikle ön çatlaklı numunelerde kullanılmaktadır. Burada numunenin kırılma düzlemi gerilme yönü ve çatlak ilerleme yönü ile tarif edilmektedir. Ve bu düzlem üzerine 3 referans eksen yerleştirilmektedir. Bu eksenler X, Y, Z harfleri ile gösterilmektedir. Z eksen malzemenin üretim esnasındaki işleme yüzeyini (Kalınlık), X eksen tane yönünü (Boy) ve Y eksen ise X ve Z eksenlerinin oluşturduğu düzlemin normalini göstermektedir/5,6/.



ŞEKİL 5.3. Plastik Şekillendirme ile üretilen parçalarda boyutların isimlendirilmesi



Temel Kırılma Düzleminin Simgelenmesi



KIRILMA DÜZLEMLERİ

ŞEKİL 5.4. Numunelerin oryantasyonlarına göre isimlendirilmesi

5.1.2. ARTIK GERİLMELER

GKC için çekme gerilmesinin zorunluğundan bölüm 4.1. de bahsedilmişti. Gerilmeli korozyon deneyindeki toplam gerilme hem test hem de artık gerilmeler tarafından sağlanır. Test yükü hesaplanabilir olmasına karşılık artık gerilmelerin varlığı çoğunlukla belirlenmez. Artık gerilmeler ısıtma işlem sonrası soğutmada, haddede, ekstruzyonda, montaj sırasındaki deformasyonlarda, kaynak esnasında ve çalışma şartlarında oluşabilir/2,4,5,6,/.

Talaşlı şekillendirme işlemi malzemeyi artık çekme

gerilmeleri altında bırakabilir. Bazı karmaşık şekilli parçalarda soğuma hızı, kesit değişimleri yada buhar filmi oluşumu nedeniyle değişebilir. Bu durum talaşlı şekillendirme işlemi olmasa dahi yüzeyde artık gerilmelerin oluşmasına sebep olabilir. Artık gerilmelerin varlığını ve/veya büyüklüğünü saptayacak ölçüm yöntemlerine gidilebilir.

Artık gerilmelerin etkisi test parçalarına gerilim giderme tavlama uygulanarak ortadan kaldırılabilir. Tavlama süresi, sıcaklığı ve tavlama sonrası soğutma prosedürü her alaşım farklıdır.

5.1.3 YÜZEY KOŞULLARI

GKC nin başlangıcı kaçınılmaz olarak bazı yüzey reaksiyonlarını gerektirir. Bu nedenle numunelerin yüzey şartları, test sonuçları üzerine önemli etkiler yapabilir. Deney numuneleri ya mekanik yada kimyasal yüzey hazırlama işlemlerinden sonra denir. Mekanik yüzey hazırlama işlemlerinde talaş kaldırma ve aşındırma hasarlarının oluşturacağı gerilme konsantrasyonlarından kaçınmak oldukça önemlidir.

Yüzey, parlatma işlemiyle hazırlanıyorsa yüzey pürüzlülüğü kullanılan aşındırıcı tanelerin küçülmesiyle azalır.

Yüzey hazırlama kimyasal veya elektrokimyasal işlemle tamamlandığında yüzeyde kimyasal artıkların kalmamasına dikkat edilmelidir. Elektroparlatma mekanik hazırlama yöntemlerinin problem çıkardığı durumlarda kullanılır fakat bu tekniğin kullanımı da diğer problemlere sebep olabilir. Hidrojen çıkışıyla sonuçlanan kimyasal yada elektrokimyasal işlemler kesinlikle kullanılmamalıdır. Aksi takdirde hidrojen gevrekliği veya bazı durumlarda seçici faz korozyonuyla karşılanabilir.

5.1.4. KAYNAK

Kaynak dikişi farklı yapı, kimyasal bileşim ve artık gerilme nedeniyle bir malzemedeki ana heterojenliktir. Eğer bir konstrüksiyona kaynakla birleştirme işlemi uygulanıyorsa bu yapının

kaynaksız konstrüksiyonla aynı korozyon davranışını göstereceğini düşünmek yanlış olur. Bu tip konstrüksiyonlara ait deneylerde kaynaklı numuneler kullanılmalıdır. Kaynaklı konstrüksiyonlar için üç işlem basamağı önerilir:

a) Numunelere dışardan yük uygulanmayıp sadece kaynağın oluşturduğu iç gerilmelerin etkisi incelenir.

b) İç gerilmelere ilaveten yük gerilme uygulanarak yapılan deneylerle elde edilen veriler değerlendirilir.

c) Kaynağın oluşturduğu iç gerilmeler gerilim giderme tavlamaıyla ortadan kaldırıldıktan sonra sadece dış yükün etkisi deneyler tekrarlanarak sonuçlar yorumlanır.

Kaynaklı yapılar için kullanılan en yaygın deney numuneleri, çekme numuneleri, eğme numuneleri, U numuneleri, C numuneleri ve ön çatlaklı ankastre giriş numuneleridir. Bu deney yöntemleri hakkında detaylı bilgi 5.2.1.1. bölümlerinde verilecektir.

5.2. GKÇ DENEY STANDARDLARI

GKC deneylerinin standardlaştırılmasına ABD de 1960 'lı yıllarda başlanmıştır. İlk standard çalışmaları ASTM (American society for testing and materials) ve NACE (National Association of Corrosion Engineers) ve federal hükümetler tarafından yapılmıştır. Avrupada da aynı yıllarda standardlaştırılmış deney yöntemleri ve bunlar ISO (International Organization for Standardization) çatısı altında toplanmıştır/5/.

Tüm GKC deneylerinde göz önünde tutulması zorunlu faktörler vardır.

- Deney boyunca korozif ortamın kompozisyonu sabit kalmalıdır. Eğer ortam kompozisyonunun değişimi çalışma ortamına ait bir olgu ise bu durumda ortamın kompozisyonunun değişimine izin verilebilir, ancak sürekli bir kontrolün yapılması zorunludur.

- Deney donanımında kullanılan malzemelerin ortamın korozif etkilerine karşı dirençli olması gereklidir.

- Gerilmenin uygulanması için gerekli düzenek boyutsal olarak stabil olmalıdır. Bir başka anlatımla deney düzeneği yükleme şartlarını etkilemeyecek derecede rijid olmalıdır.

- Numune tutucular, korozyon hücresi vb. deney donanımıyla numune arasında galvanik etkileşim meydana gelmemelidir. Böyle bir etkileşimin varlığı galvanik çiftin türüne göre GKC nı hızlandırabilir veya yavaşlatabilir.

GKC deney yöntemleri

Statik yüklemeli GKC deneyleri ve Dinamik yüklemeli GKC deneyleri olarak iki ana gruba ayrılabilir.

Bunlardan statik yüklemeli GKC deneylerinin numune ve yükleme durumlarına göre sınıflandırılması aşağıda gösterilmiştir.

STATİK YÜKLEMELİ GKC DENEYLERİ

I. Çentiksiz Numunelerle Yapılan Deneyler I.I. Elastik Alandaki Yükleme İle Yapılan Deneyler

I.II. Plastik Alandaki Yükleme İle Yapılan Deneyler

I.III. Artık Gerilmelerle Yapılan Deneyler

II. Çentikli Veya Önçatlakla Yapılan Deneyler

II.I. Artan K Değerleri

II.II. Azalan K Değerleri

II.III. Sabit K Değerleri

5.2.1. STATİK YÜKLEMELİ GKÇ DENEYLERİ

Alaşımaların belirli ortamlardaki performanslarını araştıran deney yöntemleri çalışma şartlarına benzer yükleme şekillerini içermelidirler. Çalışma şartlarında karşılaşılan GKC olaylarında genellikle rastlanılan durum büyüklüğü bilinmeyen çekme gerilmelerinin varlığıdır. Bu yüzden en gerçekçi deney sonuçları, çalışma şartlarında karşılaşılabilecek hesaplanan gerilmelerin çok çok üstünde gerilmeler uygulanan deneylerden elde edilmektedir. Deney yöntemleri yükleme türü ve numune boyutları gibi mekanik faktörlerden çok fazla etkilenmektedir. Bu faktörler GKC nın başlama ve ilerleme aşamalarının sürelerini değiştirebilmektedir. Bu nedenle GKC deneylerinde elde edilen K_{gkc} gibi verilir. Sadece malzeme-ortam ikilisine bağlı olan veriler olmayıp deney yöntemleriyle de değişmektedir.

Statik yüklemeli GKC deneyleri adından da anlaşılacağı gibi yüklemelerin durağan olduğu deneylerdir. Buradaki yükleme terimi gerek gerilme gerekse gerinim terimlerini içermektedir. Yani deneyler sabit (statik) gerilme veya gerinim koşullarında yapılabilir, bunun seçimi çalışma koşullarına ve deneyden elde edilmek istenen verilere bağlıdır. Yükün uygulanma şekli de farklı olabilir. En çok rastlanılan yüklemeler eğme ve basit çekme şeklindedir. Eğme türü yüklemeler pek çok tür numuneye uygulanabilmesi ve uygulama şeklinin kolaylığı nedeniyle çok kullanılan yükleme türüdür. Ancak eğme yüklemelerinde gerilmelerin kesit içinde uniform olarak dağılmaması basit çekme haline göre zorluklar doğurmaktadır. Eğimde maksimum çekme gerilmeleri dış bükey yüzde maksimum değerde olup tarafsız eksene doğru kesit içinde sıfıra doğru azalmakta ve tarafsız eksenin diğer tarafında bası gerilmeleri şeklinde olmaktadır. Bu durumda metal kesitin sadece %50 si çekme gerilmelerine maruz kalmaktadır ve bu gerilmelerde kesit içinde değişmektedir. Çatlak, başlangıç ve ilerlemesi sırasında, basit çekmedekinden farklı gerilme ve gerinmelere maruz kalacaktır. Temeldeki bu farklılık iki tür yükleme şekli arasında deney sonuçları arasında değişimlere sebep olmaktadır.

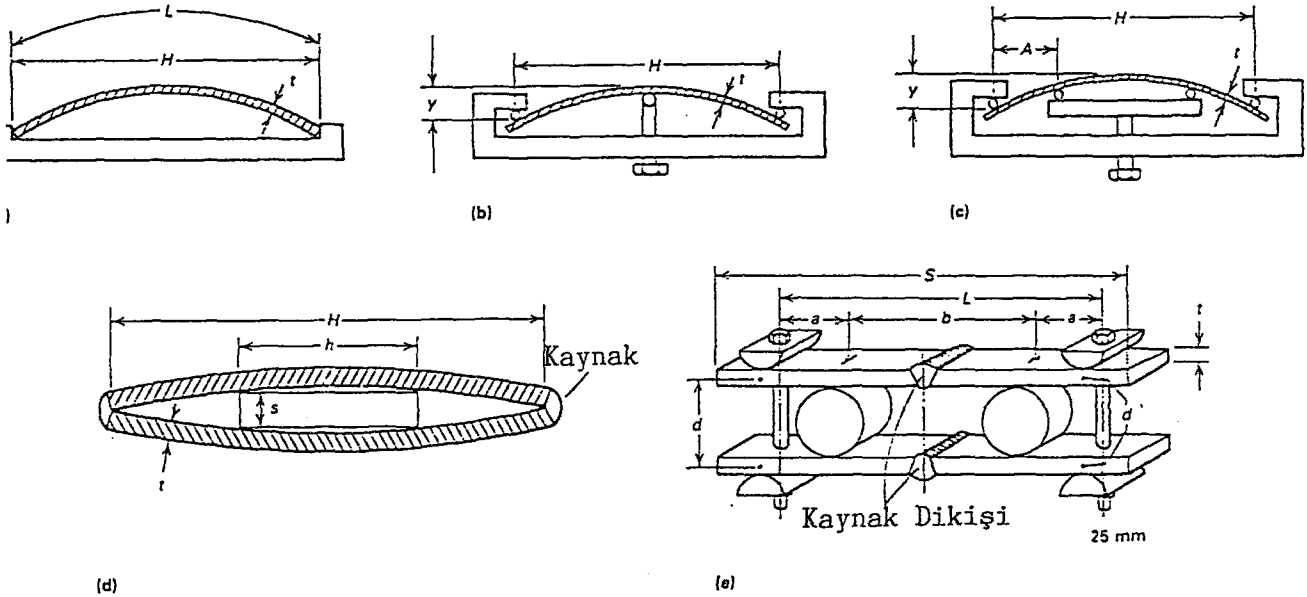
5.2.1.1. ÇENTİKSİZ NUMUNELERLE YAPILAN GKÇ DENEYLERİ

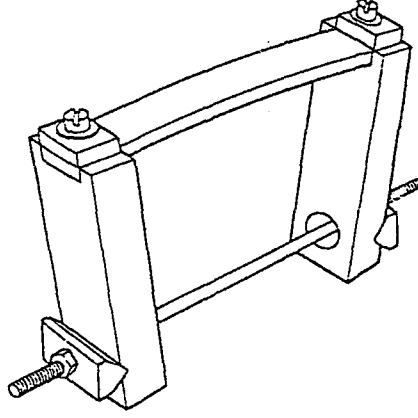
5.2.1.1.1. ELASTİK ALANDA YÜKLEME YAPILAN DENEYLER

Yüklemelerin akma sınırının altında kaldığı deneylerde malzemenin kesitindeki gerilmeler numunenin şekline ve yüklemenin türüne göre uygun formüller ve elastiklik modülü yardımıyla hesaplanabilmektedir. Ayrıca deney sırasında yüklemedeki değişiklikler "yük hücresi" veya kalibre edilmiş bir yay aracılığıyla tespit edilebilmektedir. Elastik sahada yapılan yüklemelerde yaygın olarak kullanılan deney türleri aşağıda açıklanmıştır.

5.2.1.1.1.1. KİRİŞ - EĞME NUMUNESİ

Kiriş-eğme yöntemi çok farklı şekildeki parçalara uygulanabilmesi nedeniyle oldukça kullanışlı bir yöntemdir. Şekil 5.5 de bu yöntemin uygulama şekilleri verilmiştir. Kiriş-eğme yöntemi genellikle sabit gerinme şartlarında kullanılmakla birlikte sabit gerilme şartları da sağlanarak kullanılabilir.





ŞEKİL 5.6. Tüm kesit boyunca eğme gerilmesi olan kiriş eğme numunesi

Kiriş-Eğme yönteminde kullanılan kesit değişimlerinin %2 den daha fazla olmasına müsaade edilmemelidir. Şahimler de hassas ölçme cihazıyla ölçülmelidir./2,5,6/.

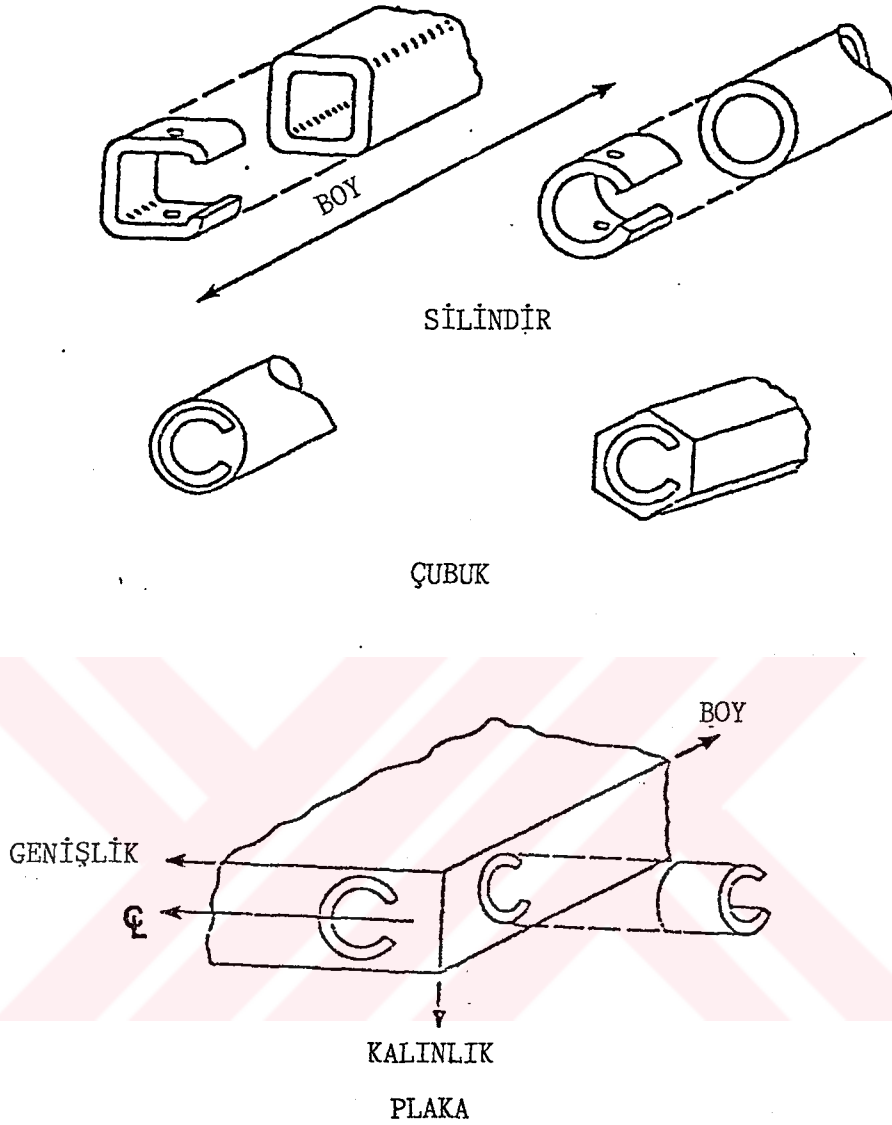
Şekil 5.6 da tüm numune boyunca üniform eğilme momentinin dolayısıyla üniform gerilme ve gerinimlerin elde edildiği sabit-moment kiriş numunesi görülmektedir/5/.

5.2.1.1.1.2. C - HALKA NUMUNESİ

C-Halka deneyleri özellikle boru gibi içi boş parçaların denenmesinde kolaylıkla uygulanabilen deneylerdir. Numune boyutları istenildiği gibi seçilebilmekle beraber çapı 16mm den küçük numunelerin kullanılması, yükleme zorlukları nedeniyle tavsiye edilmez. Şekil 5.7. de farklı parçalardan C-Halka numunelerinin çıkartılışları görülmektedir.

C-Halka numuneler genellikle sabit gerinme deneyleri olarak kullanılırlar. Bir vida sistemiyle numunelere sabit gerinme uygulanır. Gerinme vida sisteminin dizaynına göre numunenin içbükey yüzeyinde veya dış bükey yüzeyinde oluşturulabilir (Şekil 5.8.a ve c). Yaylı yükleme düzenekleri yardımıyla sabit gerilme deneyleri de yapılabilir (Şekil 5.8.b). Yükleme sistemi ile numune arasındaki galvanik etkileşimi önlemek için izolasyonun çok iyi yapılması gerekir.

Gerinmenin veya gerilmenin bulunmasındaki en etkili yol numune üzerine gerinim ölçer

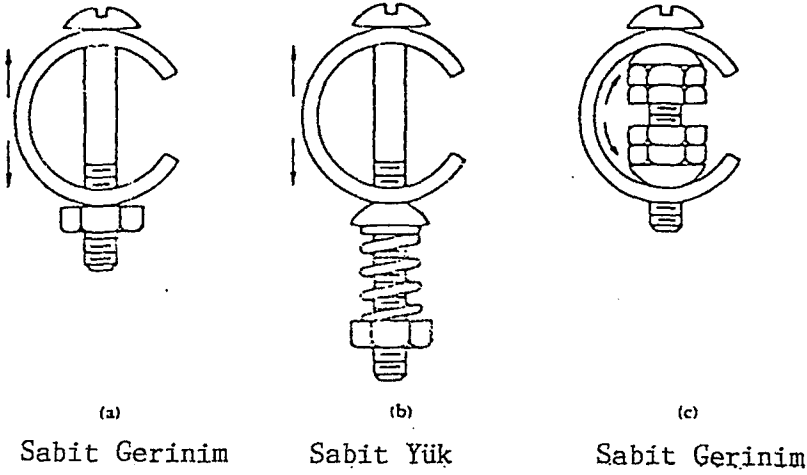


ŞEKİL 5.7. C - Halka numunesi için tane oryantasyonu

yapıştırmaktır. Ayrıca uygulanan kuvvetin ölçülmesi halinde gerilme ve gerilmeler hesaplanabilir.

5.2.1.1.1.3. ÇEKME NUMUNESİ

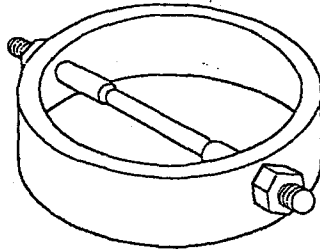
Malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan çekme çubukları GKC deneylerinde de kullanılabilir. Bu çubuklara uygulanan çekme yükleri kesitte üniform çekme gerilmeleri oluşturur. Numune üzerine gelen gerilmelerin hesaplanması nispeten



ŒEKİL 5.8. C - Halka numunelerinin yüklenmesi

kolaydır ve bu gerilmelerin etkisi eğmedeki gibi karmaşık değildir. Numune boyutlarının seğiminde ve yükün uygulanmasında oldukęa esnek bir yöntemdir. GKC deneyinin ardından numunelere normal çekme deneyi uygulanarak mekanik özelliklerindeki düşüşün incelenmesine olanak sağlaması önemli avantajlarındandır. Çalışma şartlarındaki malzemeler genellikle büyük parçalar olmakla birlikte gerilmelerin uygulanmasındaki zorluk nedeniyle laboratuvar deneylerinde ince kesitli parçalar tercih edilir. Œekil 5.9 da çekme numunesinin kullanıldığı Sabit Gerinim deney düzeneği görülmektedir. Sabit gerilme deneyi içinse kullanılabilecek en basit yöntem numune ucuna bir ağırlık asılmasıdır/6/.

Yüksek sıcaklıklarda yapılacak deneylerde germe düzeneğindeki gerilme boşalmasının dikkate alınması olası hataların önlenmesi için önemlidir.



ŒEKİL 5.9. Çekme çubuğunun yüklenmesi

Elastik alanda yapılan yüklemelerde kullanılan diğer numune türleri O-Halkası ve Çatal şekilli numunelerdir.

5.2.1.1.2. PLASTİK ALANDA YÜKLEME YAPILAN DENEYLER

Plastik şekil değiştirmiş numunelerle yapılan hızlandırılmış GKC deneyleri numunelerin hazırlanışının kolay oluşu ve ekonomikliği nedeniyle çok yaygın kullanılan deney parçalardır. Yükleme koşulları elastik ve plastik gerinmeleri içerdiğinden bu durum nadir şartlarda karşılaşılan çalışma şartlarıdır. Genellikle karşılaşılan gerilme şartları tam olarak bilinmez. Ayrıca soğuk deformasyonun malzeme yapısında oluşturduğu doku değişimi bazı alaşımların GKC davranışlarını önemli ölçüde değiştirebilir.

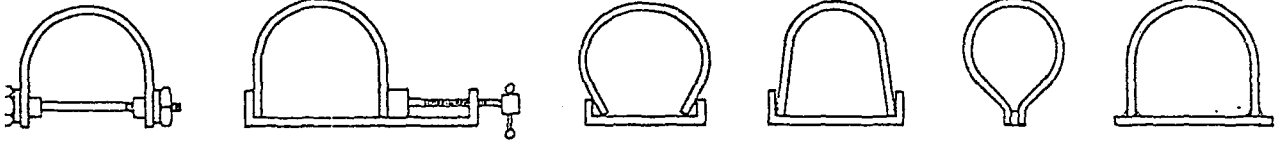
Bu tür deneyler başlıca, belirli tür malzemelerin farklı ortamlarda GKC na direnci olup olmadığının araştırmasında yada farklı işlemlerden geçmiş bir malzemenin belirli bir ortamdaki korozyon dirençlerinin değişiminin araştırılmasında kullanılır. Farklı türdeki alaşımların belirli bir ortamdaki dirençlerinin tespitinde de kullanılmaktadır.

5.2.1.1.2.1. U - EĞME NUMUNELERİ

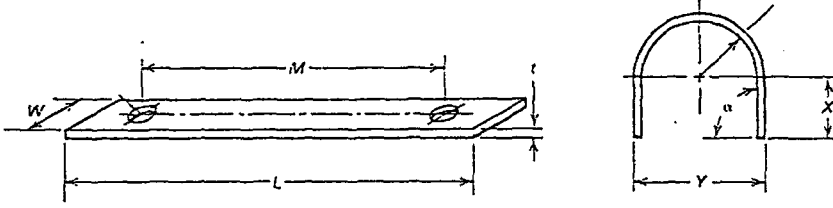
U-eğme numuneleri belirli bir yarıçapla 180 ° eğilmiş numunelerdir. Şekil değiştirme hem elastik hem de plastiktir. Eğme 180 ° yada fazla bir açıya sahip olmalıdır. Şekil 5.10 da çeşitli U-Eğme numuneleri görülmektedir. Deney yöntemi çatlamadan U şekli alabilecek suneklige sahip her türlü alaya uygulanabilir.

Numuneler en kolay sac şeklindeki malzemelerden yapılır. Numune üzerindeki gerinmeler üniform değildir. Maksimum gerinmenin olduğu bölge U numunesinin dönme noktasıdır. Burada meydana gelen gerinimler ϵ ;

$$\epsilon = \frac{t}{2R} (t < R) \quad (5.3)$$



a)



(b)

L		M		W		t		D		X		Y		R	
mm	in.	mm	in.	mm	in.	mm	in.	mm	in.	mm	in.	mm	in.	mm	in.
80	3.2	50	2.0	20	0.8	2.5	0.098	10	0.4	32	1.26	14	0.55	5	0.2
100	4.0	90	3.5	9	0.35	3.0	0.12	7	0.28	25	0.98	38	1.50	16	0.6
120	4.7	90	3.5	20	0.8	1.5	0.06	8	0.31	35	1.4	35	1.4	16	0.6
130	5.1	100	4.0	15	0.6	3.0	0.12	6	0.24	45	1.77	32	1.26	13	0.51
150	5.9	140	5.5	15	0.6	0.8	0.03	3	0.12	61	2.40	20	0.8	9	0.35
310	12.2	250	9.8	25	0.98	13.0	0.51	13	0.51	105	4.13	90	3.5	32	1.26
510	20.1	460	18.1	25	0.98	6.5	0.26	13	0.51	136	5.35	165	6.5	76	3.0

SEKİL 5.10 (a) U - Eğme numunelerinin yüklenmesi (b) numune boyutları

Şeklinde hesaplanabilir. Burada t : numune kalınlığı, R ise eğrilik yarıçapıdır. Gerilmenin tespiti için Gerilme-Gerinme eğrisinin bilinmesi gerekir/13,6/.

5.2.1.1.3. ARTIK GERİLMELERLE YAPILAN DENEYLER

Pek çok endüstriyel GKC problemi malzeme içindeki artık gerilmeler nedeniyle oluşmaktadır. Artık gerilmeler ısıtılma sonucu veya şekillendirme ve kaynak gibi işlemler sonucu oluşabilir. Çalışma koşullarını en iyi şekilde temsil amacıyla artık gerilmeler içeren deney numunelerinin kullanılması da GKC deneylerinde bir durumdur. Kademeli olarak şekillendirilmiş artık gerilmeli numuneler veya kaynaklı numuneler bu türden yaygın kullanılan türlerdir.

5.2.1.2. ÇENTİKLİ VE ÖN ÇATLAKLI NUMUNELERLE YAPILAN GKC DENEYLERİ

Çentikli numunelerin kullanımı kalın parçaların çatlak yada çatlak benzeri kusurları içerdiği kabulüne dayanır. Gerilmeli korozyon çatlakları

ilerlemeye başladığında yada mekanik olarak oluşturulmuş bir çatlak mevcutsa klasik gerilme analizleri bu yapı için geçerliliğini yitirir. Lineer elastik kırılma mekaniği, çatlakların ilerlemesi için gereken mekanik itici gücü çatlak ucu gerilim şiddet faktörü, K cinsinden tanımlar. K uygulanan gerilme, çatlak derinliği ve numune geometrisine bağlıdır. Daha önce de belirtildiği gibi belirli bir K değerinin altında GKC oluşmaz. Bu değer K_{Igc} veya K_{Ith} olarak adlandırılır. Eğer yüzeyinde bir çatlak bulunan numune bu çatlakın derinliği

$$a_{cr} = 0.2 (K_{Igc} / \sigma_{ak}) \quad (5.4)$$

değerinden büyükse çatlak korozyonun etkisiyle ilerleyerek kırılacak, aksi taktirde ise her hangi bir kırılmaya maruz kalmayacaktır. Kritik çatlak boyu a_{cr} yalnızca GKC na bağlı bir değer olmayıp diğer faktörlere de bağlıdır/5,12/.

Kırılma mekaniğinde kullanılan çatlaklı numunelerin hemen hemen hepsi GKC deneylerine uyarlanabilir. Bu numunelerin gerilim şiddet faktörünün değişimine göre gruplanması şekil 5.11 de gösterilmiştir. Çentikli numunelerle yapılan GKC deneyleri üç ana gruba ayrılır:

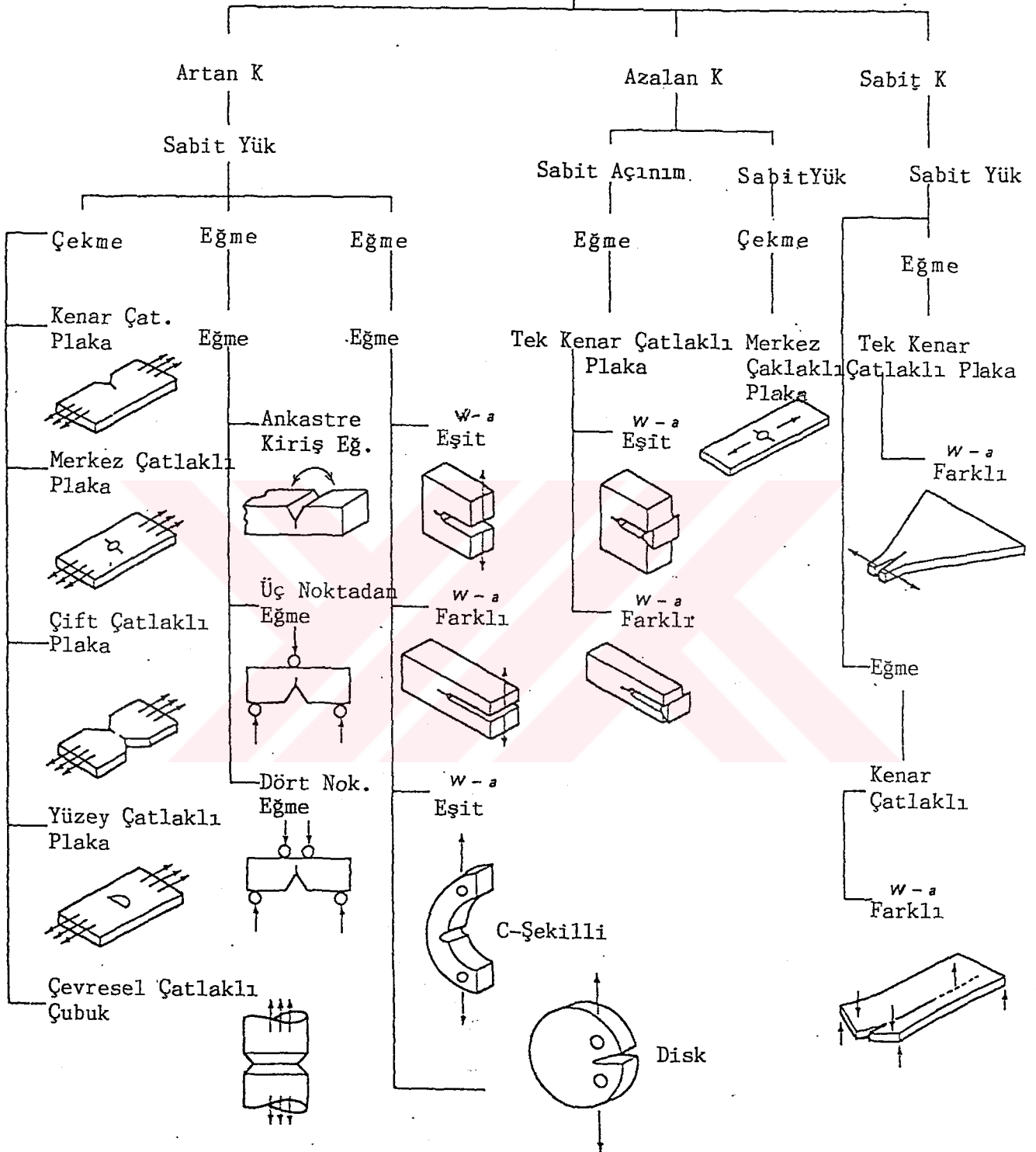
Azalan K Deneyi
Artan K Deneyi
Sabit K Deneyi

5.2.1.2.1. ARTAN K DENEYLERİ

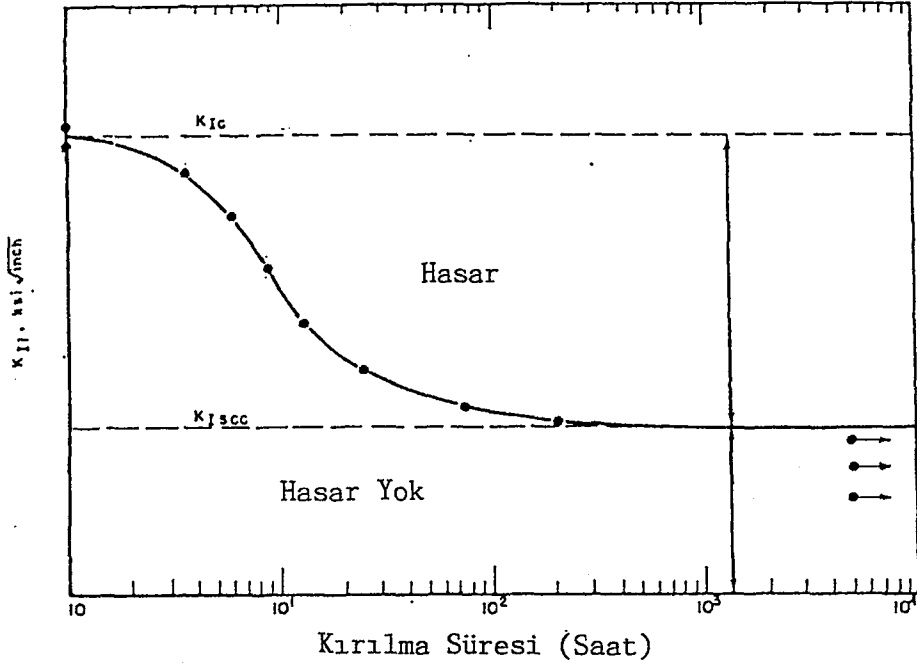
5.2.1.2.1.1. ANKASTRE KİRİŞ EĞME NUMUNELERİ

Şekil 5.12 de ankastre kiriş eğme deney numunesi görülmektedir. Tek kenarı çentikli numuneler sabit yük deneyinde kullanılmaktadır. Şekil 5.13 de ise ankastre kiriş eğme düzeneği gösterilmiştir. Çatlak ilerledikçe gerilim şiddet faktörü sürekli olarak artmaktadır. Bu değer K_{Ic} ye ulaşıldığında parça kırılmaktadır. Deneyde ölçülen önemli verilerden biri hasar için geçen süredir. Numune ucuna asılan ağırlıklar değiştirilerek başlangıç K_{Ic} değerleri istenildiği gibi ayarlanır. Başlangıç K değeri azaldıkça K_{Ic} ye ulaşmak için geçecek süre artar. Başlangıç K_{Ic} değeri K_{Igc} nin altında olduğunda numune uzun süre kırılmadan kalır. Genelde bu tür deneylerde 1000 saat sonunda çatlama

ÖN ÇATLAKLI NUMUNELERİN SINIFLAMASI



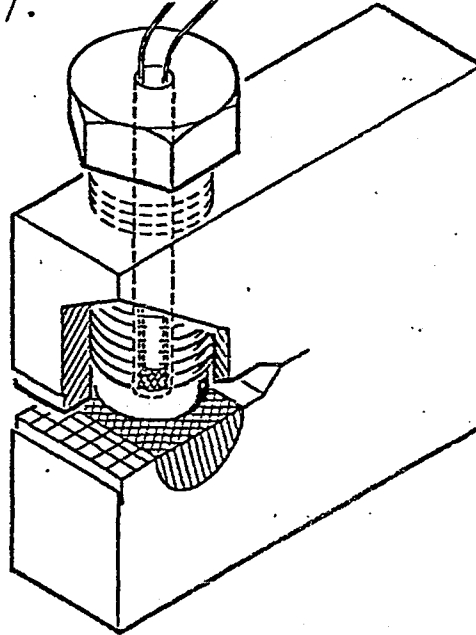
ŞEKİL 5.11. Ön çatlaklı GKÇ deney numunelerinin sınıflandırılması



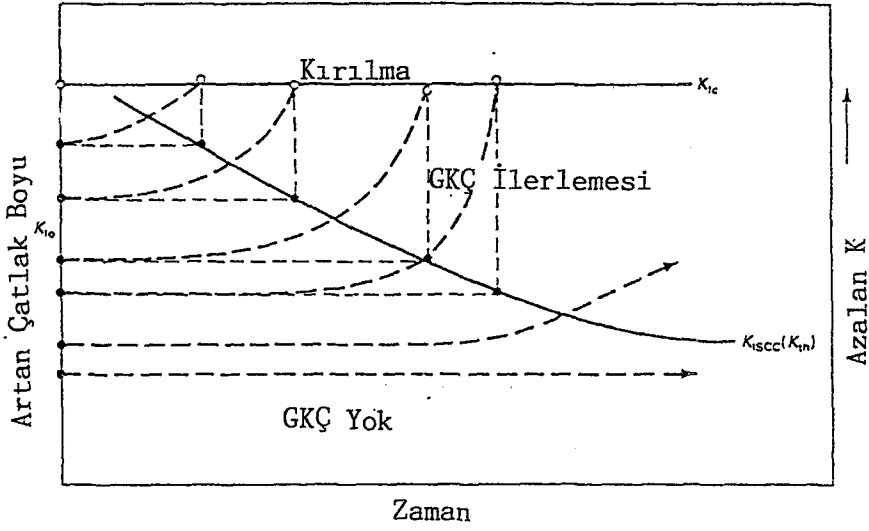
ŞEKİL 5.14 Artan K deneylerinde başlangıç K değeri ile kırılma süresi arasındaki ilişki

reaksiyon bölgesinden uzaklaşması kolaydır. Çatlağın ilerlemesinin ölçümünde diğer yöntemlerden kolaydır/6,12/.

Artan K_I veya sabit yük deneyleri şekil 5.16 de gösterilmiştir. Bunlardan en çok kullanılanı ankastre kiriş eğme yöntemi olup diğer deneylerdeki numune formları ve yükleme şekilleri bu şekilde gösterilmiştir/12/.



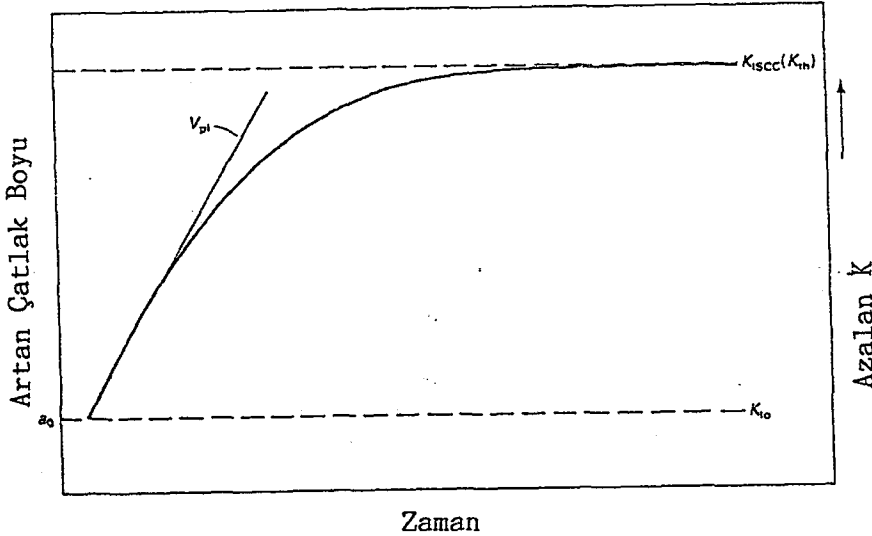
ŞEKİL 5.15. Sabit açınım deney numunesi



ŞEKİL 5.16. Artan K deneylerinde deney sırasında K nın değişimi

5.2.1.2.2. AZALAN K DENEYLERİ

Şekil 5.15 de azalan K_I deneyi numuneleri görülmektedir. Bunlardan en çok tercih edileni "Kompakt" numunelerle yapılan sabit açınım deneyidir.



(b)

ŞEKİL 5.17. Sabit açınım deneyinde K nın değişimi

5.2.1.2.2.1. SABİT AÇINIM DENEYİ

Kompakt deney numuneleri çoğu GKC deneyi için uygun numunelerdir. Ancak çoğunlukla sabit açınım deneyinde kullanılırlar. Çatlak ağzı açınımı numune üzerine yerleştirilen bir vida aracılığıyla gerçekleştirilir.

Farklı yükleme şekilleri de mevcuttur. Deney başlangıcındaki K_I değeri çatlağın ilerlemesiyle gittikçe azalır. Deney süresince K_I in değişimi şekil 5.17 de gösterilmiştir.

Çatlak ilerlemesi K_I değeri K_{Igc} değerinin üstünde oldukça devam eder. Çatlak ilerlemesiyle azalan K_I değeri K_{Igc} ye ulaştığında çatlak ilerlemesi durur. Bu anda yapılan çatlak boyu ölçümüyle K_{Igc} değeri hesaplanabilir. Deney sırasında herhangi bir andaki K_I değerinin hesaplanmasıyla ilgili numune şekil ve boyutlarına bağlı çeşitli eşitlikler mevcuttur.

Çok az sayıda deney numunesi kullanılarak deney yapılması, deney düzeneğinin basit olması yöntemin önemli avantajları olmakla birlikte deney süresinin artan K deneylerine göre daha uzun süreler gerektirir. Azalan K deneyleride elde edilen K_{Igc} değerlerinin artan K deneylerine göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Korozyon ürünlerinin çatlak bölgesinden rahatlıkla uzaklaşamaması ve ortamın çatlak bölgesine girmesindeki zorluk elde edilen sonuçların sapmasına sebep olabilmektedir/5.12/.

5.2.1.2.3. SABİT K DENEYLERİ

Deney numunelerinde çatlak boyu ve numune boyutlarına göre K_I değeri hesaplanmaktadır. Eğer numunenin boyutları çatlak ilerlemesiyle değişecek şekilde yapılabılırsa deney esnasında K_I in artması veya azalması elimine edilebilir. Buna göre hazırlanmış numuneler şekil 5.11 de görülmektedir. Sabit K deneyleri diğer yöntemlere göre fazla ilgi görmemektedir /5/.

5.2.2. DİNAMİK YÜKLEMELİ DENEYLER

5.2.2.1. SABİT DEFORMASYON HIZI DENEYİ (SDHD)

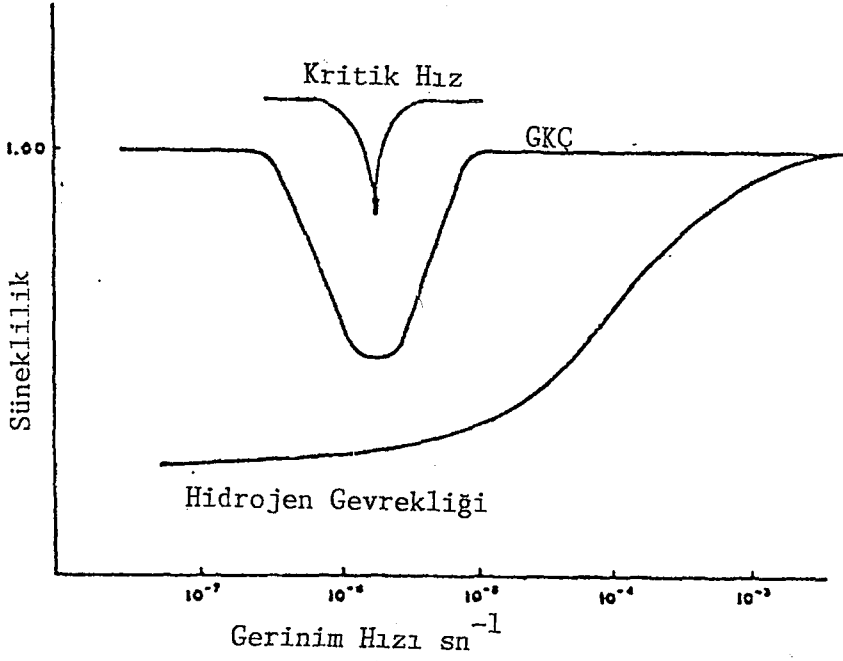
Son yıllarda geliştirmiş hızlı GKC deneyi "sabit deformasyon hızı deneyi" (SDHD), (Slow Strain Rate Test, SSRT) numuneyi korozif ortamda çok yavaş olarak artan gerinme ile çekme esasına dayanır. Yöntem başlangıçta diğer GKC deneylerine oranla hızlı bir yöntem olması nedeniyle uygulama alanı bulmakla birlikte daha sonraları düşük gerinme hızının gerilmeli korozyon çatlak ilerlemesine oldukça uygun bir yükleme şekli olduğu belirtilmiştir. Gerinme hızı ile pasif film oluşum hızı ve filmin kendi kendini onarma hızı arasındaki ilişki parçanın kırılma türünü belirlemektedir.

SDHD Kaynaklı parçalar gibi pekçok formdaki parçalara uygulanabilir. Çentikli veya çentiksiz numunelerle çekme yada eğme türü zorlama şeklinde deneyler yapılabilir. Yöntemin en büyük avantajı, diğer deneylere göre çabuk olması ve deneyin istenen bir süre sonunda bitirilmeyip parçanın kırılmasına kadar sürmesidir. Parçaların kırılması korozyonla olabileceği gibi mekanik etkiyle de olabilir. Kırılma sonrası yapılan yüzey incelemelerinde kırılma türü test edilen malzemenin GKC davranışı hakkında fikir veren önemli kriterlerdendir.

5.2.2.1.1. KRİTİK GERİNİM HIZI

SDHD 'ndeki en önemli değişken gerinme hızının büyüklüğüdür. Eğer gerinme hızı çok yüksekse GKC için gerekli reaksiyonlar oluşmadan parçada sünek kırılma meydana gelecektir. Bu nedenle nispeten düşük deformasyon hızları kullanılmalıdır. Ancak çok düşük gerinme hızlarında da pasif filmin oluşum hızı ve kendini onarma hızı gerinme hızından daha yüksek olduğundan korozyonun oluşması için gerekli çıplak metal yüzeyi ile çözelti teması gerçekleşmez. Çoğu Malzeme-Ortam ikilisi için kullanılan gerinme hızları 10^{-4} - 10^{-8} sn arasında olmakla birlikte her sistem için uygun deformasyon hızı tespit edilmelidir.

Çok düşük gerinme hızlarında oluşan yeniden



ŞEKİL 5.18. Gerinme hızı (veya deformasyon hızı) nın sünekliğe etkisi

pasifleşmenin anodik GKC nı önlemesine "Hidrojen Gevrekliği" durumunda karşılaşılmaz. Bu farklılık şekil 5.18 de gösterilmiştir.

Belirli bir sistem için GKC oluşturacak kritik gerinme hızı, çatlak hızına bağlıdır. Genellikle gerilmeli korozyon çatlak hızı ne kadar düşükse deney sırasında uygulanması gereken deformasyon hızı da o denli küçüktür. Belirli Metal-Ortam sistemleri için GKC nin oluşacağı kritik gerinme hızları çizelge 5.2 de verilmiştir /5,6/.

ÇİZELGE 5.2 Bazı metal ortam ikillileri için SDHD çalışma hızları

SİSTEM	DEFORMASYON HIZI (sn^{-1})
Aluminyum Alaşımları	
Klorürlü Çözeltiler	10^{-6}
Bakır Alaşımları	
Amonyumlu ve Nitratlı Çözeltiler. .	10^{-6}
Paslanmaz Çelikler	
Klorürlü Çözeltiler	10^{-6}
Paslanmaz Çelikler	
Saf Su	10^{-7}
Titanyum Alaşımları	
Klorürlü Çözeltiler	10^{-5}
Magnezyum Alaşımları	
Klorürlü Çözeltiler	10^{-5}

5.2.2.1.2. DENEY PARÇASININ BELİRLENMESİ

Genelde kullanılan deney numuneleri standard çekme çubuklarıdır.Özel çalışmalar dışında deneylerde standard numunelerdeki özelliklere uyulması önerilir.Çentiksiz numuneler için deformasyon hızı başlangıçta tam olarak belirlenebilir.Ancak çatlak oluştuktan sonra ve ilerlemeye başladığında gerinme çatlak ucunda yoğunlaşacaktır ve gerçek gerinme hızı genellikle bilinmez.Çatlak ucundaki gerinme hızının saptanmasında kullanılacak kesin güvenilir bir sistem henüz mevcut değildir.Çentikli parçalarda gerçek gerinme hızı çentiksiz parçalardakine göre oldukça yüksektir.

Çatlamanın belirli bir bölge ile sınırlı kalması istendiğinde çentiklik ya da ön çatlaklı numuneler kullanılabilir.Örneğin kaynakla birleştirilmiş parçalarda ise etkisinde kalmış bölgelerin incelenmesinde bu tür numuneler kullanılmaktadır.Şekil 5.19 da ZUO,Y. tarafından kullanılan çentikli ve çentiksiz numuneler görülmektedir.Çentiksiz numunelerde başlangıç deformasyon hızı çekme çenelerinin hızı ölçme boyuna bölünerek bulunur.Çentikli numunelerde ise deformasyon hızının tespiti için çene hızları 40 faktör sayısına bölünmektedir/10/.

5.2.2.1.3. DENEY DONANIMI

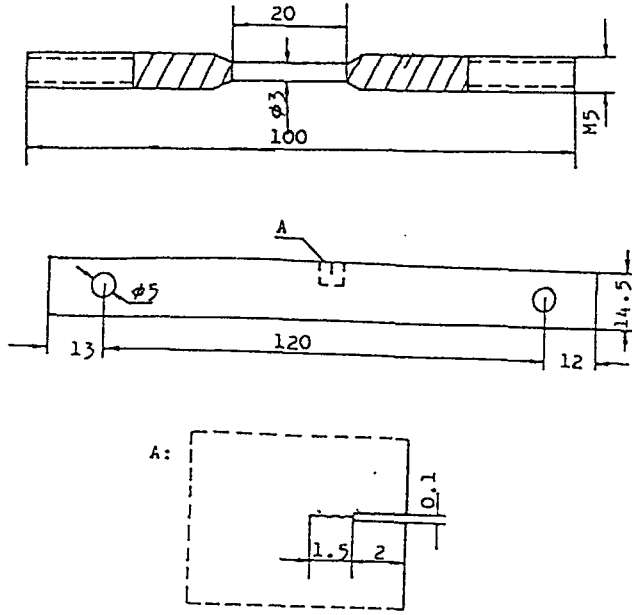
SDHD için gerekli düzenek hem düşük deformasyon hızı sağlayacak hem de gerekli ortam şartlarını temin edecek şekilde dizayn edilmiş olmalıdır.Mekanik akşamın deney sırasında ulaşılabilecek yük değerlerinde rijit kalabilecek şekilde olması gerekir.Bir SDHD için gerekli düzenek

(1) $1*10^{-4}$ - $1*10^{-8}$ S⁻¹ arası deformasyon elde edilebildiği çekme cihazı

(2) Uygun deney parçası

(3) Korozi ortamın oluşturacağı korozyon hücresi içermelidir.

Çekme cihazı çok düşük hızlarda defomasyonu sağlayabilecek ve hızı ayarlayabileceği şekilde olmalıdır.

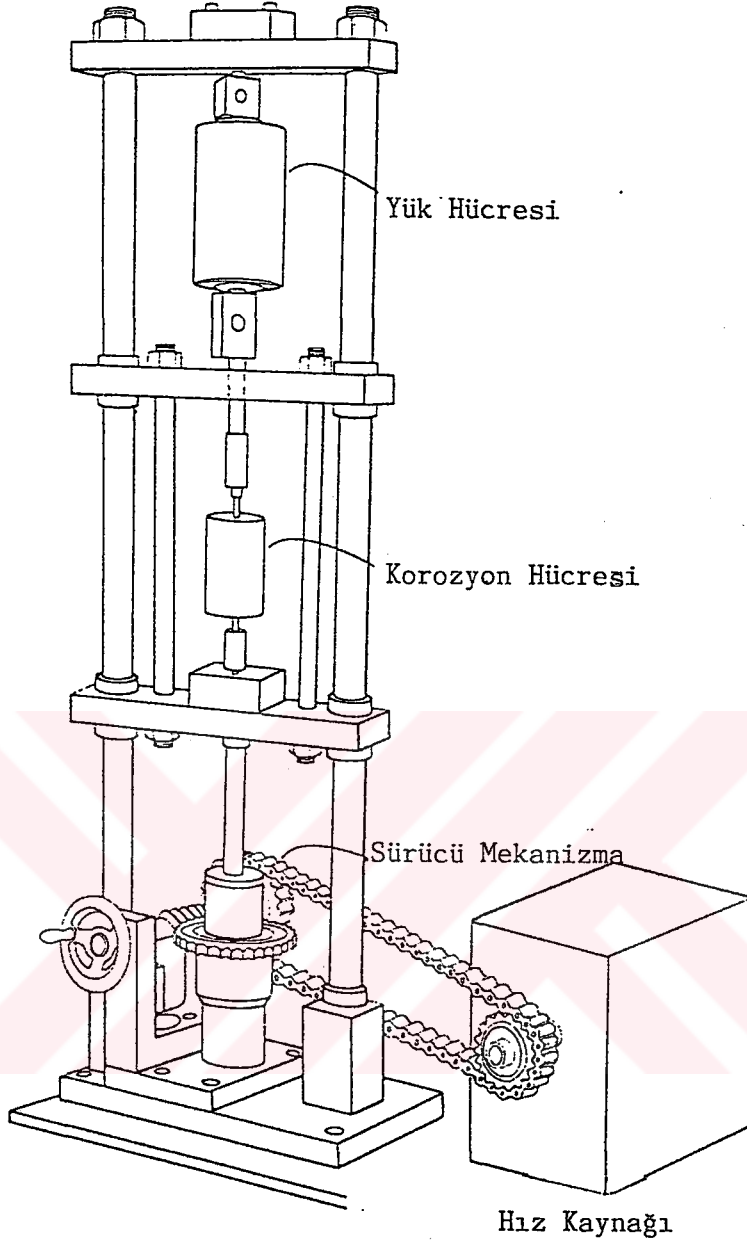


ŞEKİL 5.19. Çentiksiz Çekme numunesi ve ön çatlaklı numune boyutları

Şekil 5.20 de bu amaçla kullanılabilecek bir düzenek gösterilmiştir. Düşük hızların elde edilmesinde kullanılan yaygın yöntem bir elektrik motorundan alınan hareketin dişli veya zincir-dişli gibi mekanik sistemlerle istenilen hızlara düşürülmesidir. Bunun dışında elektronik düzenekler yardımıyla düşük hız elde edilen sistemler de vardır. Yapılan araştırmalarda çene hızının hidrolik olarak oluşturulduğu düzeneklere rastlanmamıştır. Bunun sebebi yüklemenin hidrolik olarak yapıldığı cihazlarda değişen yüklerle birlikte çene hızının da değişebilmesidir.

SDHD için hazır düzenekler mevcut değildir. Bu deneylerle ilgilenen bilim adamları kendi amaçlarına göre çekme cihazları tasarlamaktadır. Bu çalışmanın sonunda da böyle bir deney için hazırlanmış deney düzeneği hakkında bilgi verilecektir. Bir seferde sadece tek numunenin çekme deneyini yapan cihazların yanında aynı anda çok sayıda numunenin deneyini yapmayı sağlayan düzeneklerde mevcuttur. Bunlarla daha kısa sürede daha çok deney yapılabilir. Ancak böyle cihazlarla yapılan deneylerde, deney parçalarından birinin kırılması sonunda diğer numunelerde de kırılma gözlemlenmiştir. Bu tür kırılmalara "Sempatik Kırılma" adı verilir. "Sempatik Kırılma" aynı anda çok sayıda deney yapılmasına olanak sağlayan düzeneklerin önemli dezavantajlarından biridir/5/.

Hareket sistemlerinde kaymalara sebep olarak hızın değişmesine neden olacak sürtünmeli aktarma



ŞEKİL 5.20. SDHD düzeneği

organlarından kaçınılması tavsiye edilmektedir. Mekanik düzenek çene hızlarını ölçmeye yarayan ve deney sırasındaki yük değişimlerini belirlemek için gerekli "Ekstansometre" ve "Yük Ölçme Hücresi" ni içermelidir. Uzama hızının ölçümü çene hızının ölçümünden tespit edilebileceği gibi numunenin ölçme boyuna yapıştırılacak gerinim ölçer gibi cihazlardaki ölçülebilir. İkinci durum sadece ölçme boyundaki deformasyon hızını verdiğinden daha güvenilirdir. Ancak uygulaması nispeten daha zordur. Çene hızından bulunan deformasyon hızları

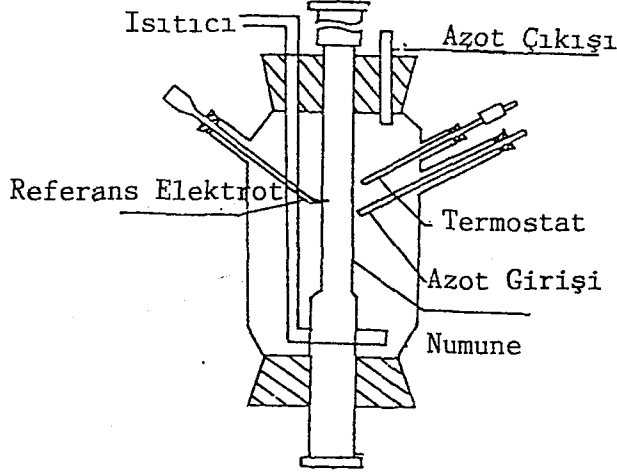
aynı zamanda deney düzeneğindeki elastik uzamalarıda kapsar.Düzenek oldukça rijitse bu uzamalar hesaplamalarda ihmal edilerek deformasyon hızı hesaplanabilir.

"Korozyon Hücresi" çalışma ortamını temsil edebilecek şekilde ve sabit deformasyonun numuneye uygulanabilecek şekilde olmalıdır.Bu amaçla her deneyde kullanılan korozyon hücresi birbirinden farklı olabilmektedir.Deney sırasında ortam şartlarının kontrol altında tutulması ve sonuçların değerlendirilmesinde kullanılacak verilerin elde edilmesi için gerekli ölçüm ağıtları korozyon hücresine monte edilecek şekilde hücre tasarlanmalıdır.Numunenin çekme çenelerine bağlandığı uçlarda korozyon hücresinden çözelti sızmasını önlemek için gerekli sızdırmazlık sağlanmalıdır.Ortam şartları deney basıncı ve sıcaklığına göre üç temel deney vardır.Bunlar

- Ortam Basıncı ve Ortam Sıcaklığı
- Ortam Basıncı ve Yüksek Sıcaklık
- Yüksek Basınç ve Yüksek Sıcaklık

Ortam sıcaklığı ve basıncında yapılan deneyler en kolay deneylerdir.Bu deneylerde sıcaklık ve basıncın kontrol altında tutulması için özel bir çabaya gerek yoktur.Korozyon hücresi camdan yapılarak deney sırasındaki gözlemler kolaylaştırılır.Yüksek basınçta yapılan deneylerde ise hücre, deney basıncına dayanabilecek ve korozif ortamdan etkilenmeyecek, aynı zamanda deney numunesiyle etkileşim göstermeyecek malzemelerden yapılan otoklavlardır.Basınç ve sıcaklığın kontrolü deneyi biraz zorlaştırmaktadır.Şekil 5.21 de tipik bir korozyon hücresi görülmektedir/10/.

Laboratuvarlarda uygulanan korozyon deneylerinde özel uygulamalar hariç deney boyunca çözeltinin bileşiminin sabit kalması arzulanır.Çözeltinin hazırlanmasında tüm bileşenler ayrıntılı olarak verilmelidir, çünkü GKC nda çözeltideki empüritelerin daha önemli etkileri olabilmektedir.Benzer durum numunelerin kimyasal bileşimi ve metalografik yapısı için de geçerlidir.Deney esnasında buharlaşma yoluyla



ŞEKİL 5.21. Şematik Korozyon Hücresi

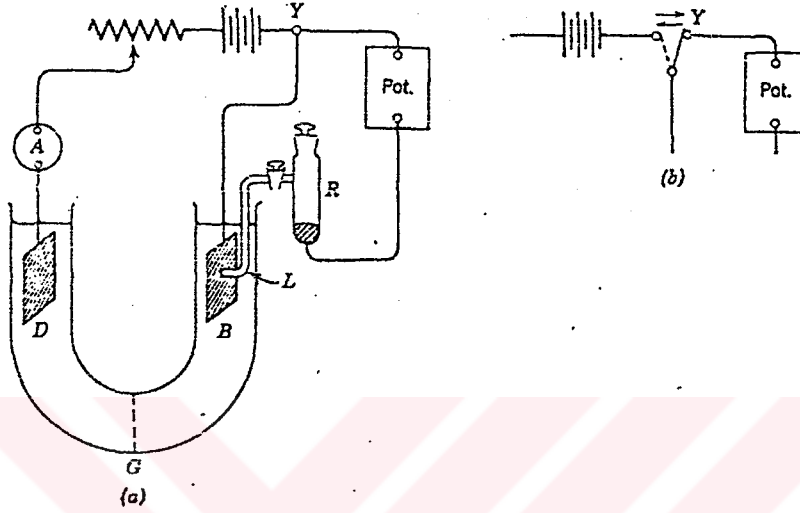
kaybedilen çözelti miktarı %1 i geçmeden uygun bileşimde çözelti eklenmeli veya buharlaşan çözelti yoğusturularak sisteme geri verilmelidir. Çözelti sıcaklığının deney sırasında sürekli kontrol edilmesi önemli bir husustur. Ayrıca çözeltinin içereceği oksijen miktarının belirli bir değerin altında tutmak için çözeltiden belirli aralıklarla azot gazı geçirmek yaygın bir uygulamadır. Azot geçişi aynı zamanda çözeltinin karıştırılması işlevini de yerine getirir.

Malzemenin gerek korozyon hücresi gerekse çekme düzeneğiyle olan elektriksel etkileşimini ortadan kaldırmak için iyi bir şekilde yalıtılmalıdır. Genelde silikon türü yalıtkanlar bu amaç için kullanılmaktadır. Numunenin sadece ölçme boyu açıkta bırakılarak oluşacak reaksiyonların bu bölgede gelişmesi sağlanır.

Deneyde meydana gelecek olayları değerlendirebilmek için numunenin elektropotansiyelinin ölçülmesi gereklidir. Bu ölçüm referans elektrod kullanılarak gerçekleştirilir. Elektropotansiyel ölçümü bundan sonraki bölümde anlatılmıştır.

5.2.2.1.4. ELEKTROD POTANSİYELİNİN ÖLÇÜMÜ

Sekil 5.22 de elektrod potansiyelinin ölçülmesi ile ilgili şematik resim gösterilmiştir/2/



İki bölmeli hücre ortasından sinterlenmiş cam disk (G) ile ikiye bölünmüştür. Bu disk elektron alışverişine izin vermekte fakat madde geçişine imkan vermemektedir. Potansiyeli ölçülecek B elektrodu D elektrodu yardımıyla polarize edilmektedir. L probu ana hücre ile referans hücre arasındaki bağlantıyı sağlamaktadır. Bu prob "Luggin Probu" olarak da adlandırılmaktadır. B elektrodu ile referans elektrod R arasındaki çözeltideki potansiyel düşüşünü enaza indirmek için probun numune yüzeyine mümkün olduğu kadar yakın olması ve prob boyunun mümkün olduğu kadar kısa tutulması gereklidir. B elektrodunun potansiyeli R ile B arasına yerleştirilen bir voltmetreden okunurken devreden geçen akım D ve B arasına yerleştirilen bir ampermetreden okunur. Şekilde görülen devrede sisteme dışarıdan potansiyel uygulanarak ve bu potansiyel değiştirilerek B elektrodu için polarizasyon eğrileri çıkarılabilir. Sistemden okunan potansiyelin gerekli hesaplamalarla "Standard Hidrojen Elektrodu Potansiyeline" (V she) dönüştürülmesi genel kabul gören bir uygulamadır. Bu şekilde yapılan elektrod potansiyelinin ölçülmesi işlemine "Doğrudan Ölçüm Metodu" adı verilmektedir.

Luggin probunun özellikle büyük elektrodalarda elektrod akım dağılımını etkilemesi nedeniyle prob ile B elektrodu arasındaki doğru mesafenin tespiti çeşitli tartışmalara sebep olmuştur.

Bunu önlemek için "Dolaylı ölçüm metodu" geliştirilmiştir. Bu yöntemde prob kaldırılarak referans elektrod ana hücre içine yerleştirilmektedir. Potansiyel ölçümleri ise kesintili olarak yapılmaktadır. (Şekil 5.22.b). Y anahtarı belirli bir frekansla konum değiştirmekte ve bu değişimler esnasında kısa bir süre için sisteme dışarıdan uygulanan potansiyel kesilerek B ve R elektrodları arasındaki potansiyel ölçülmektedir.

Bu yöntemin dezavantajlarından biri polarizasyonun bir miktar gecikmesi ile hatalar oluşabilme"sidir.

"Doğrudan ölçüm metodunun" dezavantajının ortadan kaldırılması için uygulanan bir diğer yaklaşım Luggin probu ile B elektrodu arasındaki mesafeyi değiştirerek elde edilen değerlerden aradaki mesafenin sıfır olduğu durumdaki potansiyelin ekstrapolasyonla yaklaşık hesaplanmasıdır.

Elektrodun tamamının potansiyelini ölçmek yerine elektrod üzerindeki çatlak ucu, çukurcuk gibi sadece küçük bir bölgenin potansiyeli ölçülmek istendiğinde Luggin probu başarıyla kullanılabilir.

5.2.2.1.5. SABİT DEFORMASYON HIZI DENEYİ AŞAMALARI

SDHD nde izlenecek adımlar McIntyre, D.R. tarafından aşağıdaki gibi verilmiştir/14/:

a) Gerinme hızının seçimi: Kritik gerinme hızı başlığında anlatıldığı gibi GKC'nin oluştuğu gerinme hızlarının tespit edilmesi gerekmektedir. Bu durum ancak çok sayıda deney ile elde edilebilecek tecrübeler sonucu belirlenebilir. Hızın seçimindeki en basit yol daha evvel yapılmış benzer deneylerde başarılı sonuçlar elde edilmiş hızın kullanılmasıdır.

b) inert ortamda deney yapılması: Gerinme hızının seçiminden sonra malzeme için korozyonun oluşmayacağı inert ortamlarda deney gerçekleştirilir. inert ortam olarak malzeme türüne

göre hava, inert gaz veya yağ kullanılabilir. inert ortamdaki deney sonucu kırılma süresi, toplam uzama, kesit büzülmesi, maksimum yük ve kopma yükü gibi veriler elde edilir.

c) Koroziif ortamın kurulması :ilk iki aşamanın ardından asıl deney aşamasına geçilir.Bu adımda sabit deformasyon hızı uygulanmadan evvel numune koroziif ortama yerleştirilerek sıcaklık, basınç ve dışarıdan uygulanacak potansiyel ayarlanır.

d) Sabit deformasyon hızı ile deneyin gerçekleştirilmesi:Koroziif ortam şartlar ayarlandıktan sonra numune belirlenen hızla test edilir.Bu deneyde (b) adımımda ölçülen veriler koroziif ortamın etkisi altındayken tekrar elde edilir.

e) Numunelerin incelenmesi :Numunenin kırılmasının ardından numune yüzeyleri 20* veya daha yüksek büyütmelelerde incelenerek, kırılma yüzeyleri analiz edilir.

f) Karşılaştırma :inert ortamda ve koroziif ortamda elde edilen veriler birbirleriyle karşılaştırılarak elde edilen sonuçlar yorumlanır.

Deney sonuçlarının yorumlanmasında hasara uğrama süresi yerine kesit büzülmesi değerlerinin karşılaştırılması daha gerçekci sonuçlar vermektedir. SDHD de malzemenin ortam içindeki davranışı beş genel grup altında incelenir.

1. Grup :Bu gruptaki malzemeler test edildikleri ortamda GKC na uğramazlar.Deney sonunda numune üzerinde çatlama oluşmaz.inert ortamda ve koroziif ortamda yapılan deneylerde elde edilen kesit büzülmesinin oranı 0.9-1 arasındadır.

2. Grup :Bu gruptaki malzemeler pratikte test ortamında GKC nda karşı bağışıklığa sahiptir.Deney sonunda yapılan incelemede çatlak gözlemlenmez. Kesit büzülmesinin oranı 0.65-0.9 arasındadır.

3. Grup :Bu malzemeler aşırı ortam şartlarında GKC na hassastırlar.Bu malzemelerin deneyinde boyun çevresinde yüzeysel çatlaklar görülür.Kesit büzülmesinin oranı 0.75-0.9 arasındadır.

4. Grup :inert ve koroziif ortamdaki kesit büzülmesinin oranı 0.5-0.75 arasındadır.Ölçme

boyunda çatlaklar gözlenir.Bu malzemeler çevresel çatlamalara karşı orta hassasiyettedir.Son kırılma kesitleri gevrek kırılma görüntüsüne sahiptir.

5. Grup :Bu gruptaki malzemeler deney ortamı için son derece hassastırlar.Kırılma yüzeylerinin büyük bölümü gevrek kırılma yüzeyi görünümündedir ve kesit büzülmesi oranı 0.5 den daha küçüktür.

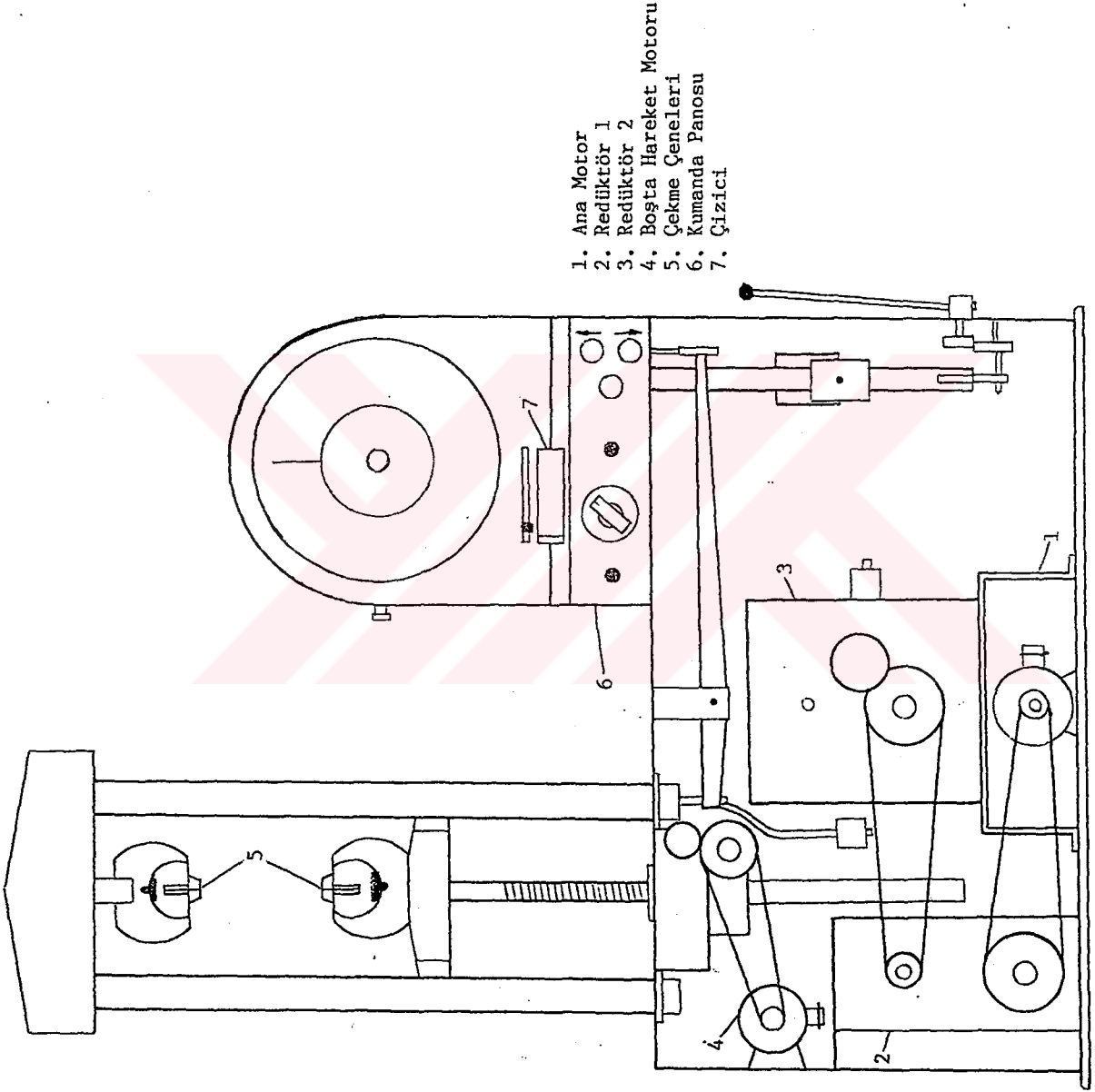
Şekil 5.23 de deney sonuçlarının değerlendirilmesi sırasında izlenen akım şeması görülmektedir/14/.



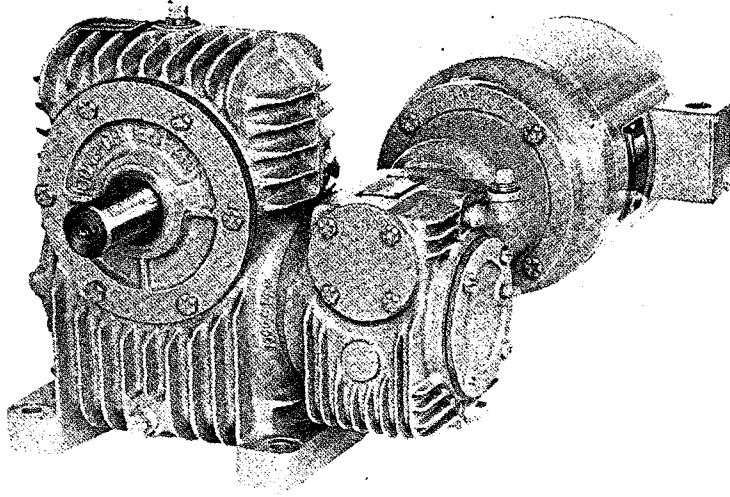
6. DENEY DÜZENEGİNİN KURULMASI

Bu çalışmada Yıldız Teknik Üniversitesi (Y.T.Ü.) Metalurji Mühendisliği bölümünde SDHD'nde kullanılmak üzere SDHD düzeneği kurulması ve bu düzenekte 304 paslanmaz çeliklerin NaCl'lü çözeltiler içindeki davranışının incelenmesi amaçlanmıştır. Deney düzeneğinin kurulması, numunelerin hazırlanması ve inert atmosferde yapılan ön deneyler bu bölümde anlatılmıştır.

Şekil 6.1 de bu amaçla hazırlanan SDHD çekme düzeneği görülmektedir. Çekme makinası klasik çekme deneylerinde kullanılan mekanik çekme cihazının hızı yavaşlatılarak istenilen hızlara düşürülmüştür. Klasik mekanik çekme makinasının normal çene hızları $1 \cdot 10^{-1}$ - 1 mm/s arasındadır. Bu hızlar SDHD için oldukça yüksek çene hızları olup çene hızlarının düşürülmesi gerekir. Çeşitli malzeme - ortam ikilileri için deney yapılacak çekme makinasının $1 \cdot 10^{-3}$ - $1 \cdot 10^{-7}$ mm/s çene hızlarına sahip olması gereklidir. Bu hızların elde edilebilmesi için cihaz üzerindeki mevcut hızların yaklaşık 1/2500 - 1/250000 oranlarında düşürülmesi gerekmektedir. Bu amaçla hızı düşürmek için anılan oranlarda redüktör sistemi dizayn edilmiştir. 1/2500 ve 1/250000 oranlarındaki redüksiyon normal dişli, zincir - dişli ile elde edilmeye kalkışıldığında son derece karmaşık konstrüksiyonlar gerekmektedir. Oysa sonsuz vida ve dişli sistemiyle yüksek redüksiyonlar elde edilebilmektedir. Bu nedenle redüksiyon için dört adet sonsuz vida - dişli sistemi seri olarak bağlanmıştır. Şekil 6.2. de kullanılan sonsuz vida - dişli sisteminden bir tanesinin resmi görülmektedir. Dört adet redüktörün tahvil oranları sırasıyla 1/50, 1/50, 1/10, 1/10 şeklindedir. Elde edilecek cihazın $1 \cdot 10^{-4}$ - $1 \cdot 10^{-8}$ s⁻¹ deformasyon hızları arasındaki yelpazeyi tarayabilmesi için 2. ve 4. redüktörlerden çıkış alınmıştır. Redüktör sistemi standad çekme cihazının motor ve redüktör sistemi arasına seri olarak bağlanmıştır. Bu bağlantı kayış - kasnak elemanları ile sağlanmıştır. Hazırlanan redüktörün 2. veya 4. çıkışlarından iki hız seçeneği ortaya çıkmaktadır. Ayrıca sisteme hareket sağlayan Dahlander tipi elektrik motorunun elektriksel bağlantıları



ŞEKİL 6.1. SDHD Çekme düzenegi



ŞEKİL 6.2. Motor ve redüktörden oluşan redüktör sistemi.

ÇİZELGE 6.1. Motor ve Redüktör seçeneklerine göre çene hızları

a) 1 nolu kasnak kullanıldığında
b) 2 nolu kasnak kullanıldığında

REDÜKTÖR	MOTOR	
	1.KADEME	2.KADEME
	1.ÇIKIŞ	2.ÇIKIŞ
a)	$4.8 \cdot 10^{-4}$	$9 \cdot 10^{-5}$
	$4.8 \cdot 10^{-6}$	$9 \cdot 10^{-7}$
b)		
	1.KADEME	2.KADEME
	1.ÇIKIŞ	2.ÇIKIŞ
	$1.6 \cdot 10^{-4}$	$3.2 \cdot 10^{-5}$
	$1.6 \cdot 10^{-6}$	$3.2 \cdot 10^{-7}$

değiştirilerek iki ayrı devir elde edilebilmektedir. Bu durumda hız seçeneği dörde çıkmaktadır. Redüktörler arasında hareket ileten kasnaklar değiştirilerek hız seçenekleri arttırılabilir. Çizelge 6.1. de çeşitli motor hızı - redüktör çıkışı - kasnak kombinasyonlarında elde edilecek çene hızları verilmiştir. Elde edilen hızlar 10^{-4} - $10^{-7} s^{-1}$ arasındaki hızları taramaktadır. Bu hızlar bir SDHD cihazı için oldukça iyi hızlar olup hemen hemen tüm malzeme - ortam ikilileri için deney yapılabilir.

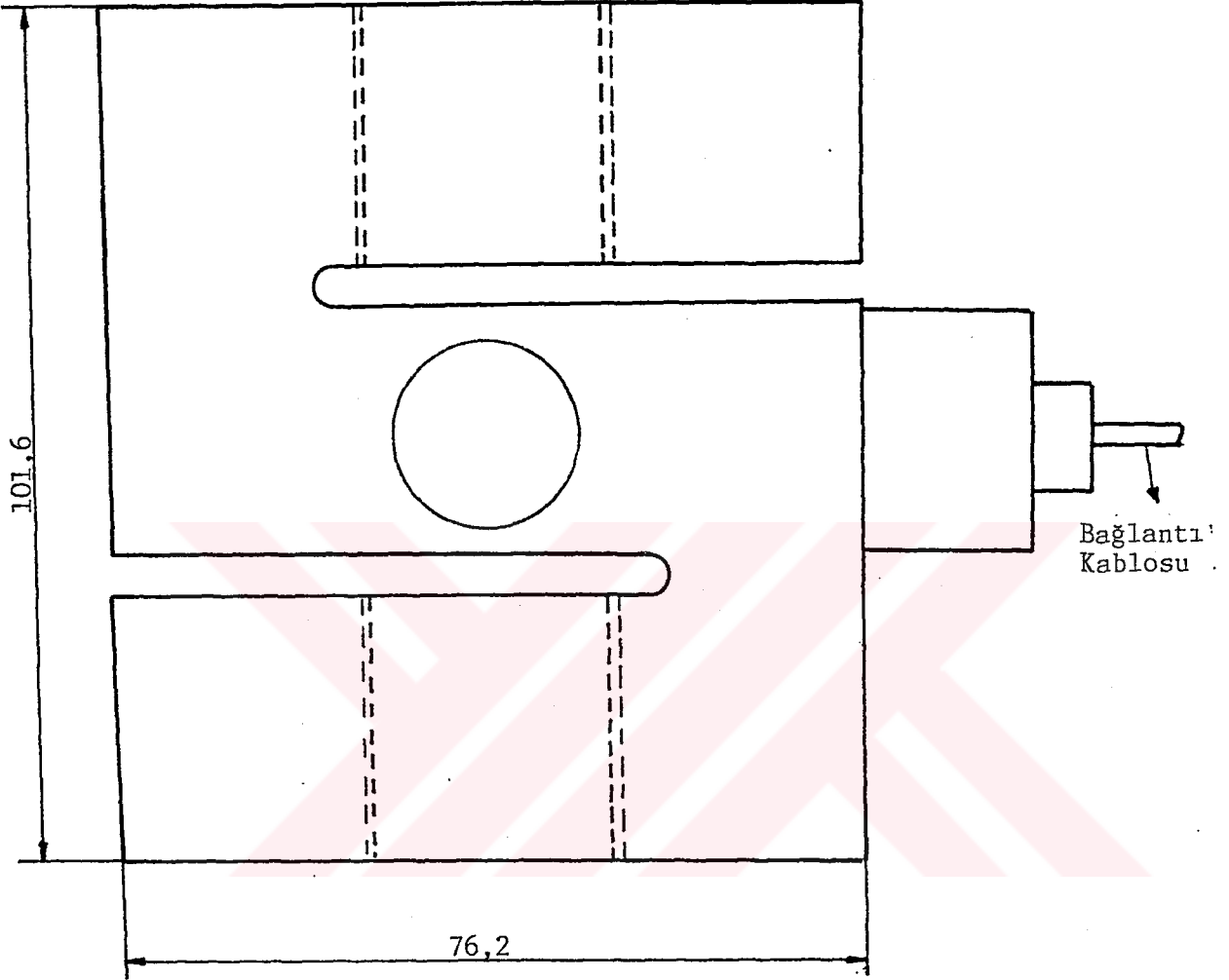
6.1 YÜK HÜCRESİ VE İNDİKATÖR

Deney sırasında parça üzerine gelen yükün ölçümü için yük hücresi kullanılmaktadır. Yük hücresi kalibre edilmiş yay benzeri bir düzenek olabilir. Genel olarak bu amaca hizmet eden ölçüm hassasiyeti yüksek elektronik yük hücreleri piyasada bulunmaktadır. Bunlar içinde zorlama türüne göre eğme, basma, çekme gibi zorlamalarla çalışan yük hücreleri kurulacak sistemin dizaynına göre seçilmelidir. Yük hücresinin maksimum ölçüm kapasitesi ve ölçüm hassasiyeti çok farklı deneylerin rahatlıkla yapılabilmesine imkan sağlamalıdır. Deneylerin yapılması sırasında yük verilerinin sürekli olarak kaydedilmesi ve yük - zaman (veya yük uzama) eğrilerinin çizimi için yük hücresi düzeneğinin elektronik olması tercih edilmektedir.

Yukarıdaki amaçlar için deney düzeneğinde maksimum ölçüm kapasitesi 5000 kp ölçüm hassasiyeti 0.5 kp olan, çekiye çalışan yük hücresi kullanılmıştır. Yük hücresinin boyut ve geometrisi şekil 6.3. de gösterilmiştir. Yük hücresinin malzemesi paslanmaz çeliktir. yükün ölçülmesi uygulanan kuvvetin etkisi ile yük hücresindeki uzamaların ölçülmesi esasına dayanmaktadır. Doğru ölçüm yapabilmek için ilk kullanımdan önce değeri bilinen bir yük ile kalibrasyon yapılmalıdır.

Yük hücresi numune ile çene arasına bağlanarak yük ölçümleri yapılmaktadır. Yük hücresinin çekme çenesine bağlanabilmesi ve diğer ucunda numune bağlanabilmesi için özel bağlantı elemanları ve numune tutucu elemanlar hazırlanmıştır (Şekil 6.4. ve şekil 6.5.). Bu tutucu elemanlar deney sırasında parçaya sadece aksenal gerilmelerin gelmesi için bağlantıların oynar şekilde sağlanmasına imkan vermektedir.

Yük hücresinden elde edilen verilerin izlenebilmesi ve

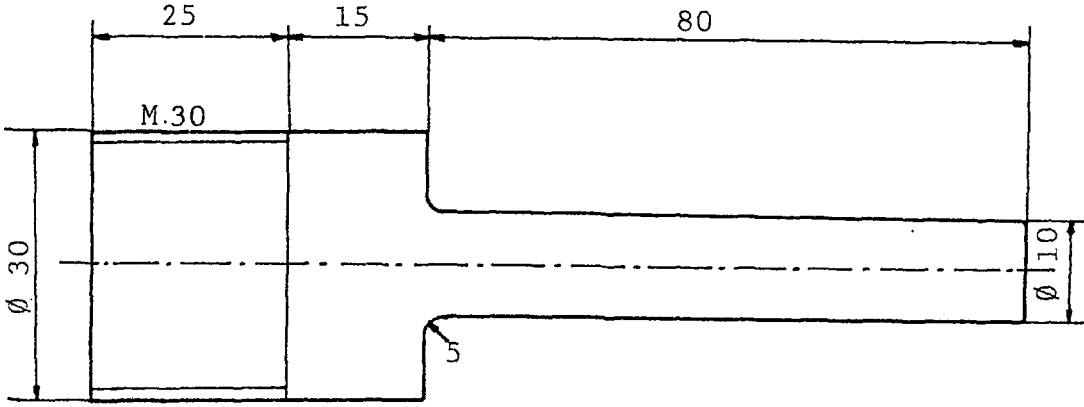


Özellikler :

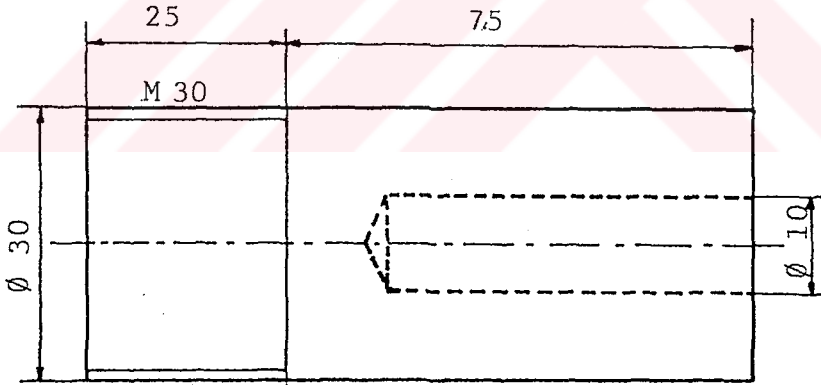
Ölçme kapasitesi : 5000 kg
Malzemesi : Paslanmaz Çelik
Kalınlık : 30 mm.
Ağırlık : 1,5 kg

Her iki ucundan M30 Civata ile bağlanabilir.

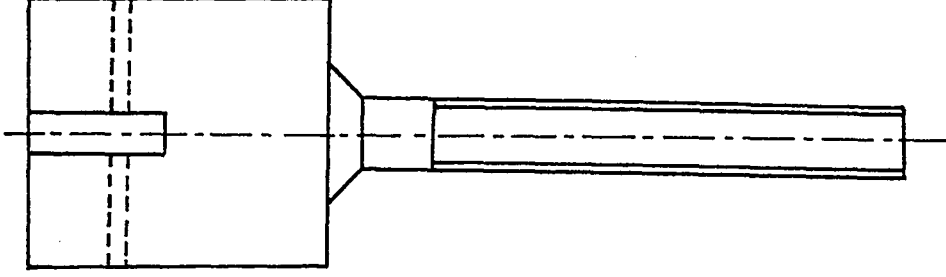
YÜK HÜCRESİ (LOAD CELL)
ŞEKİL 6.3



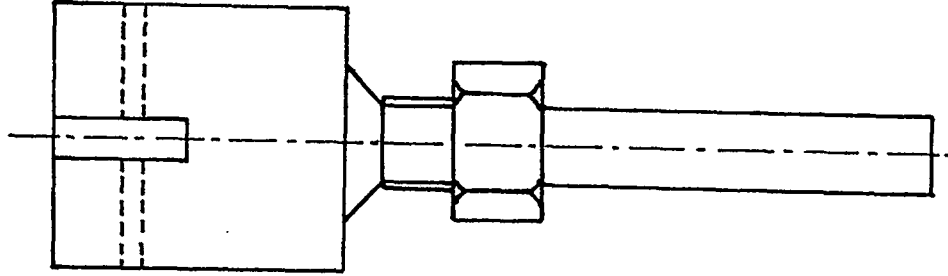
1. Üst Bağlantı Parçası



2. Alt Bağlantı Parçası



1. Üst Numune Tutucusu (Yük hücresi Alt Bağlantı Parçasına Takılır)



2. Alt Numune Tutucusu (Korozyon Hücresine Takılır)

yazıcıya aktarılması için indikatör kullanılmaktadır. İndikatörün şekli ve özellikleri şekil 6.6 da gösterilmiştir. İndikatör yük hücresinin beyin kısmını oluşturmakta, ölçüm, ayar ve kalibrasyon fonksiyonlarını yerine getirmektedir. İndikatörden yazıcıya çıktı alınarak deney sırasındaki yük değerleri yazılı olarak saklanabilir. Ayrıca indikatör ile bilgisayar arasında bağlantı sağlanarak deneysel verilerin değerlendirilmesinde bilgisayardan yararlanılabilir.

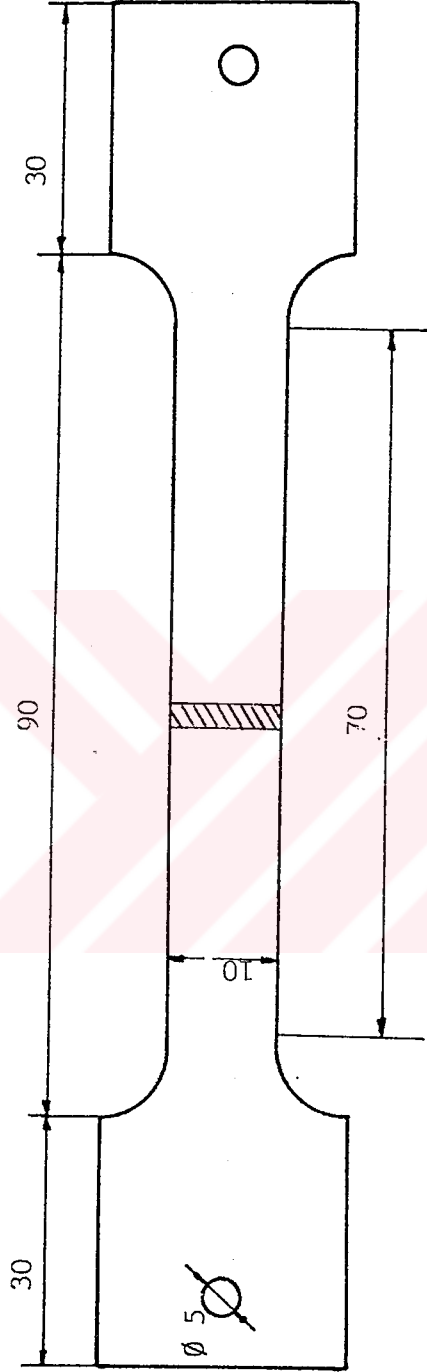
6.2. DENEY NUMUNELERİ

Deneylerin yapılmasında 304 tipi paslanmaz çelik kullanılmıştır. 1.5 mm lik haddelenmiş saclardan hadde yönünde numuneler hazırlanmıştır. Şekil 6.7. de deney numunesi görülmektedir. Numunelerin bağlanması her iki uçtaki deliklere takılan pimler aracılığıyla olmaktadır. Numune ile bağlantı parçaları arasındaki elektriksel etkileşimi önlemek için ölçme boyu dışındaki bölgelerin yalıtılması gerekir. Bu amaçla piyasada rahatlıkla bulunabilen silikon kullanılabilir. Silikon yüksek sıcaklıklardaki deneylerde dahi yalıtma görevini yerine getirebilmektedir. Numunelerin hazırlanmasında talaşlı işleme yöntemleri kullanılmıştır. Deneylere başlamadan önce numunelerin yüzeyleri 600 nolu zımpara ile zımparalanmıştır.

Numunelerin kimyasal analizi spektral analiz yöntemiyle yapılmış ve sonuç aşağıda verilmiştir.

ÇİZELGE 6.2. Deney numunesinin kimyasal analizi

C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	W	Co
0.074	0.927	1.951	18.373	-	8.869	0.001	-	-



Malzeme : AISI 304 Paslanmaz Çelik
Kalınlık: 1,5 mm.

ŞEKİL 6.7.
DENEY NUMUNESİ

TEKNİK BİLGİLER

RİŞ KATI:

arma gerilimi	: 10 V. DC.
arma akımı	: $\leq 300\text{mA}$. (6 adet 350 Ω Loadcell)
arma ölçümü	: 6 kablolu teknik
iş duyarlılığı	: $> 1 \mu\text{V/digit}$
gürusallık	: 0,006% (Tüm ölçme aralığında)
r kararlılığı	: 10 ppm/C
zariç kararlılığı	: 7 ppm/C
iş empedansı	: $> 10\text{M}$
re özelliği	: Değiştirilebilir sayısal ortalama sistemi.

SAYISAL ÇEVİRİCİ:

A/D Çevirici	: Çift eğimli ölçme sistemi.
Çevirme süresi	: 40ms. - 100ms.
iç sayımı	: 60000 sayım.

İŞLEMCI KATI:

Mikro işlemci	: 77C82
ROM	: 8 KB
RAM	: 256 B
EEPROM	: 64 Kelime
RTC	: 32 Bytes
	: RAM + Gerçek zaman

ÖSTERGE

sal gösterge	: 20mm, 6 digit kırmızı veya LCD
z ışıkları	: Durgun yük, sıfırlama ve fonksiyonlar için led ışıklar.

KULLANMA ELEMANLARI:

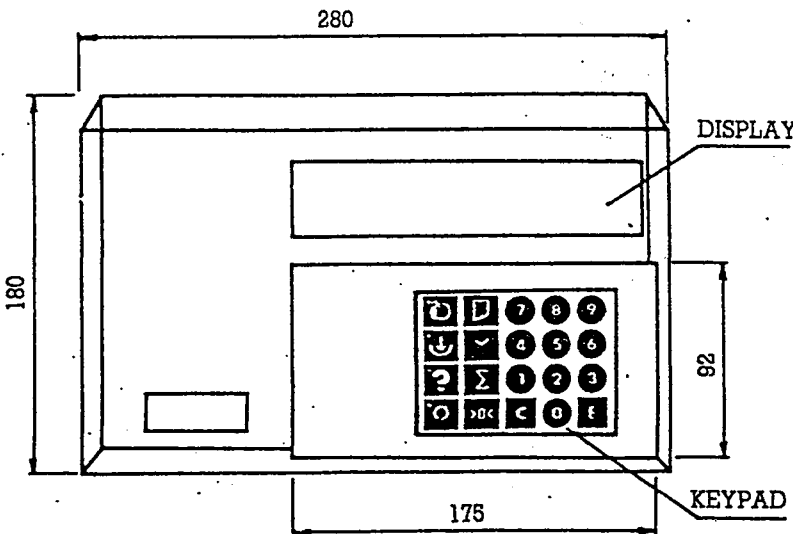
Tuş takımı	: Toz ve su geçirmez, dokunmatik, sesli nümerik tuş takımı.
------------	---

ETİŞİM OLANAKLARI:

ışlar	: Seri RS-232C veya RS 422/485, paralel centronics, yazıcı çıkışı
-------	---

GÜÇ:

Voltaj	: 110-240 V.AC.
Frekans	: 50/60 Hz.
Güç	: 15 W.
Batarya seçeneği	: 12 V.DC.



ŞEKİL 6.6. İndikatör

7. SONUÇ

1- Korozyon doğrudan ve dolaylı zararları ile ekonomide oldukça önemli kayıplara sebep olmaktadır. Bu yüzden korozyon mekanizmasının anlaşılması ve bu yönde çalışmaların yapılması oldukça önemlidir. Gerilmeli Korozyon Çatlama (GKÇ) ortam ve gerilmenin etkileri sonucu oluşan korozyon türüdür. Ortam ve gerilmenin birlikte etkisi GKÇ mekanizmasını oldukça karmaşık hale getirmektedir.

GKÇ çatlak çekirdeklenmesi, çatlak ilerlemesi ve kırılma olarak üç aşamada gerçekleşmektedir. Çatlak çekirdeklenmesi sadece elektrokimyasal etkinin aktif olduğu aşamadır. Bu aşamada temas yüzeylerinde metal çözünmesiyle çukurcuklar oluşur. Oluşan çukurcuklar gerilme konsantrasyonuna sebep olur ve bu bölgelerde çatlaklar çekirdeklenir. Çatlakların ilerleme aşaması ise elektrokimyasal ve mekanik etkilerin birlikte etkidikleri ikinci aşamadır. Burada gerilmenin rolü çatlak ucunun gerinmesini sağlamak ve çatlak ucundaki pasif filmi kopartarak reaksiyonların devamlılığını sağlamaktır. Eğer gerilmenin seviyesi çatlak ucundaki pasif filmi kopartacak büyüklükte değilse çatlak çekirdeklenirse dahi ilerlemeyecektir. Çatlak ilerlemesine sebep olan minimum gerilim şiddet faktörü K_{İGKÇ} olarak adlandırılmaktadır. Çatlak ilerleme aşaması da üç adımda incelenmektedir. I. adım çatlak hızının gerilim şiddet faktörüne bağlı olduğu sahadır. Bu sahada artan K ile çatlakın ilerleme hızı da artmaktadır. II. adımda ise çatlak hızı K dan bağımsız olmakta ve sabit kalmaktadır. III. adımda çatlak yine K ile bağımlı artmaktadır.

K değeri K_{İC} ye ulaştığında tamamen mekanik etki ile kırılmanın olduğu üçüncü aşama başlar ve parça kırılır. İlk iki aşamadaki çatlak ilerlemesinin taneler arası, üçüncü aşamadaki çatlak ilerlemesinin ise tane içi olması nedeniyle mikroskobik incelemede son aşama rahatlıkla ayırt edilebilir.

2- Yüksek korozyon dirençleri nedeniyle paslanmaz çelikler korozyonun söz konusu olduğu yerlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Pek çok iyi özelliği üzerinde toplayan austenitik paslanmaz çelikler ve bunlar içinde 304 çeliği en yaygın kullanım alanına sahiptir. Ancak bu çeliğin her ortamda çok iyi korozyon direncine sahip olduğunu düşünmek yanlıştır. Özellikle klorür iyonlarının bulunduğu çözeltilerde bu çelikler GKÇ na uğramaktadır.

3- Malzemelerin GKÇ davranışlarını araştırmak ve GKÇ mekanizmalarını anlamak için çok sayıda deney yöntemi geliştirilmiştir. Deney yöntemleri statik ve dinamik yüklemeli deneyler olarak iki genel gruba ayrılır. Statik yüklemeli deneyler numunenin basit çekme veya eğme yüklemesi ile koroziif ortama bırakılmasına dayanır. Bu yöntemdeki

deneyler numune şekline, numunenin çentikli veya çentiksiz oluşuna, yüklemenin elastik veya plastik oluşuna göre sınıflandırılmaktadır. Yapılan araştırmaların büyük birbölümü ikinci aşama olan çatlak ilerlemesi aşamasında yoğunlaşmıştır. Kırık ve çatlak ilerleme hızlarının ölçüldüğü deneylerde çentikli ve ön çatlaklı numuneler kullanılmaktadır. Kırılma mekaniğinde kullanılan çentikli numunelerin hemen hepsi GKÇ deneylerinde kullanılmaktadır. Çentikli numunelere uygulanan deneyler artan K, azalan K ve sabit K olarak üç genel grupta toplanmaktadır.

Dinamik yüklemeli deneyler ise Sabit Deformasyon Hızı Deneyi (SDHD) dir. Deneyin esası numunenin korozif ortamda 10^{-4} - 10^{-8} s⁻¹ arası ndaki bir deformasyon hızıyla çekilmesine dayanmaktadır. Yöntem ilk başta hızlı bir deney yöntemi olması nedeniyle yaygın bir kullanım alanı bulmuştur. Ancak deney yöntemi üzerine yapılan araştırmalar sabit deformasyon hızının GKÇ mekanizmasının anlaşılmasında gerilmeden daha önemli bir faktör olduğunu göstermiştir. Zira çatlağın ilerlemesi gerilmeden çok çatlak ucundaki gerinme ve pasif filmin kopmasına dayanmaktadır. Gerçekte SDHD nde numunedeki gerçek gerinme sabit olmayıp çatlak ilerlemesiyle sürekli artmaktadır. Numunede çatlak oluşumu ile veya ön çatlaklı numunede çatlak ucundaki gerçek gerinme uygulanan deformasyondan daha büyüktür ve çatlak ilerledikçe artar. Bu durum çalışma koşullarındakine uymaktadır.

4- Universal bir SDHD donanımı 10^{-3} - 10^{-7} mm/s çene hızlarına sahip olmalıdır. Ostenitik paslanmaz çelikler için SDHD nde kullanılan deformasyon hızları 10^{-6} s mertebesinde dir. SDHD donanımı istenilen hızları sağlayabilmenin yanında numune üzerindeki yük değişimlerinin ölçülebilmesi, sıcaklığın kontrol edilebilmesine imkan vermelidir.

Arzulanan deformasyon hızlarının elde edilmesinde mekanik düzeneklerden faydalanılması önerilmektedir. Yük ölçümünde ise Gerinim Ölçerli yük hücreleri kullanılmaktadır.

Korozyon hücresi amaca göre farklı şekillerde olabilir. Ancak iyi bir korozyon hücresinin gaz geçişinin, sıcaklığın ve konsantrasyonun kontrolüne imkan vermesi gerekir. Oluşan çatlak bölgesindeki potansiyelin doğru olarak ölçülebilmesi ve gerekirse dışarıdan potansiyel uygulanmasına olanak sağlamalıdır.

8. KAYNAKÇA

- /1/ ÇAKIR,A.F. "METALLERİN KOROZYONU" Borusan Postası ,22. Fasikül, 1985
- /2/ UHLING,H.H. "CORROSION AND CORROSION CONTROL" John Wiley and Sons Inc.,s 60-139, 1971
- /3/ DORUK,M. "KOROZYON" Meta44 Metalurji ve Endüstri Dergisi, SAYI 13 NİSAN 1992 s 11-15
- /4/ ÇAKIR,A. "METALİK KOROZYON İLKELER VE KORUNMA" Makina müh. Odası , s 89-129
- /5/ "METALS HANDBOOK", 9.ED. VOL 13,CORROSION ASM International, s 245-282, 1987
- /6/ "TESTING AND EVALUATION STRESS CORROSION CRAKING" ASM International, 1986
- /7/ KELEŞOĞLU,E.ÜNAL,A., "PASLANMAZ ÇELİKLER" Meta44 Metalurji ve Endüstri Dergisi SAYI 13 NİSAN 1992 s 59-63
- /8/ PARKINS,R.N., "FACTORS INFLUENCING STRESS CORROSION CRACK GROWTH" The Journal Of Science And Engineering Corrosion, Vol 143, no 3 s 130-139,1990
- /9/ PARKINS,R.N., "STRAIN RATE EFFECTS IN STRESS CORROSION CRACKING" The Journal Of Science And Engineering Corrosion, Vol 146, no 3 s 178-189,1990
- /10/ ZUO,J.Y.,GU,B.X.,LIU,Y.P., "EFFECTS OF STRESS ON CRACKING VELOCITY AND CRITICAL pH VALUE INSIDE STRESS CORROSION CRACKS" The Journal Of Science And Engineering Corrosion, Vol 47, no 1, s 45-55,1991
- /11/ JUANG,H.K.,ALTSTETTER,C., "EFFECT OF pH AND CLORIDE CONTENTS ON STRESS CORROSION CRAKING OF AUSTENITIC STAINLESS STEELS AT ROOM TEMPERATURE" The Journal Of Science And Engineering Corrosion, Vol 46, no 1 s 881-887,1990
- /12/ ROLF,S.T.,BARSOM,J.M., "FRACTURE ANDFATIGUE CONTROL IN STRUCTURE" ABD, s 208-231, 1979
- /13/ YANG,W.,ZHANG,M.,ZHAO,G.,CONGETON,J. "A COMPARISON OF U-BEND AND SLOW STRAIN RATE PROCEDURES FOR ASSESING THE SEC RESISTANCE OF TYPE 304 STAINLESS STEEL IN HIGH TEMPERATURE WATER" The Journal Of Science And Engineering Corrosion, Vol 47 No:4, s 226-233 1991
- /14/ LEE,J.K.,SZKLARSKA-SMIALOWSKA,Z., "STRESS CORROSION CRACKING OF SENSITIZED AISI 304 STAINLESS STELL IN AQUEOUS CHLORIDE SOLITIONS CONTAINING SULFUR SPECIES AT 50 THROUGH 200°C" Corrosion Science, Vol 44, No:8, August 1988, s 560-565

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam sırasında her türlü yardımı esirgemeyen Kimya - Metalurji Fakültesi Dekanı Prof.Dr. Ahmet TOPUZ'a ve Öğ.Ü.Nurhan CANSEVER'e teşekkürlerimi sunarım. Yüksek lisans öğrenimim sırasında danışmanlığımı yapan ve tez çalışmamın başlangıcından enson yazım aşamasına kadar yardım, teşvik ve desteklerini gördüğüm hocam Doç.Dr. Ahmet ÜNAL'a minnet duygularımı sunarım.

Çalışma sırasında yardımlarını esirgemeyen Metalurji Mühendisliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü çalışanlarına, çalışmaya maddi destek sağlayan Y.T.Ü. Araştırma Fonuna, öğrenci arkadaşlarıma, kendileri için harcamam gerekli zamanı çaldığım ve sürekli manevi desteklerini gördüğüm arkadaşlarıma ve aileme teşekkürü borç bilirim.

ERGÜN KELEŞOĞLU