

14310

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PİRİNCİN GERİLMELİ KOROZYONU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak.Müh.Mustafa TUĞRUL

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 4.Haziran.1990

Tezin Savunulduğu Tarih : 21.Haziran.1990

Tez Danışmanı : Prof.Dr.Ahmet ARAN

Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr.Barlas ERYÜREK

: Prof.Dr.Mehmet ÇAPA

T. C.
Yükseköğretim Kurulu
Dokümantasyon Merkezi

HAZİRAN 1990

ÖNSÖZ

Korozyonun özel bir türü olan gerilmeli korozyonun yol açtığı hasarların önlenmesi için, tasarım aşamasında gerekli tedbirlerin alınması gerekir. Bu da ancak, gerilmeli korozyon oluşum mekanizmalarını inceleyerek, endüstriyel amaçlar için daha uygun deney metotları geliştiren akademik çalışmalarla gerçekleştirilmektedir. Bu tezin deneysel çalışma yapacak arkadaşlara yardımcı olacağını ümit ederim.

Sınırlı laboratuvar imkanlarına rağmen benim bu çalışmayı gerçekleştirmemi sağlayan, çalışmam sırasında öneri ve yapıcı tenkitleri ile beni yönlendiren değerli hocam Sn. Prof. Dr. Ahmet ARAN'a teşekkür ederim.

Ayrıca laboratuvar çalışmam sırasında katkılarını esirgemeyen kürsü çalışanlarına ve bana her konuda yardımcı olan değerli arkadaşım Araş. Gör. Safak Yılmaz'a teşekkür ederim.

İstanbul, 1990

Mustafa TUĞRUL

İÇİNDEKİLER

ÖZET	VI
SUMMARY	VII
BÖLÜM 1. GİRİŞ	1
BÖLÜM 2. KOROZYON	3
2.1 Genel Olarak Korozyon	3
2.1.1 Oksijenden arınmış ortamlarda Korozyon	5
2.1.2 Havalandırılmış nötr ve bazik ortamlarda Korozyon	7
2.1.3 Havalandırılmış asit ortamlarda korozyon	7
2.2 Termodinamik yaklaşım	8
2.3 Potansiyel-pH Diyagramları	9
2.4 Polarizasyon	10
2.5 Polarizasyon Ölçmelerinde Kullanılan Yöntemler	13
2.6 Korozyon Türleri	15
2.6.1 Homojen Dağılımlı Korozyon	15
2.6.2 Galvanik Korozyon	16
2.6.3 Çukurcuk Korozyonu	16
2.6.4 Aralık Korozyonu	16
2.6.5 Seçici Korozyon	17
2.6.6 Tane Sınırları Korozyonu	17
2.6.7 Gerilmeli Korozyon	17
2.6.7.1 Korozyonlu Yorulma	18
2.6.7.2 Hidrojenle Bozunma	19
BÖLÜM 3. GERİLMELİ KOROZYON ÇATLAMASI	20
3.1 GKÇ ve Genel Karakteristikleri	20
3.1.1 Gerilmeli Korozyon Çatlaması Teorisi	21
3.1.1.1 Elektrokimyasal Teori	21
3.1.1.2 Gerilme-Sorpsiyon Teorisi	21
3.1.2 GKÇ' nin Genel Özellikleri	21
3.1.3 Metallerin GKÇ' ye Duyarlılığı	22
3.1.3.1 Bileşimin Etkisi	22
3.1.3.2 Metal veya Alaşım yapısının Etkisi	23
3.1.4 Çatlak İlerleme Yörüngeleri	23
3.1.5 GKÇ' de Gerilme Etkisi	23
3.1.6 Bakır ve Alaşımalarında GKÇ	24

3.2	Pirinçte gerilmeli Korozyon	
	Çatlamsı Mekanizmaları	25
3.2.1	α -Pirinçlerinin amonyaklı ortamlarda	
	Hasar karakteristikleri	25
3.2.2	Sistemin Kimyasal İncelemesi	25
3.2.3	Hasar Mekanizmaları	29
3.2.4	Tavlanmış α -Pirinçlerinde	
	Tanelerarası GKC	30
3.2.5	α - Pirinçlerinde	
	Taneleriçi GKC	31
3.2.6	$\alpha+\beta$ Pirinçlerinde GKC Mekanizması ..	33
BÖLÜM 4. MALZEMELERİN GERİLMELİ KOROZYON		
ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ İÇİN		
	DENEY YÖNTEMLERİ	39
4.1	Gerilmeli Korozyon Çatlaması	
	Duyarlılığını Saptamada Kullanılan	
	Yöntemleri	39
4.2	Hızlandırılmış Gerilmeli Korozyon	
	Çatlaması deneyleri	39
4.3	Statik Yükleme	41
4.3.1	Sabit genleme ve Sabit yük ile	
	Gerilme Uygulama	41
4.3.2	Eğme Deneyleri	43
4.3.3	Düz Deney Numuneleri	44
4.3.3.1	Elastik genlemeli Deney Numuneleri ..	44
4.3.3.1.1	Eğme Kirişi Numuneleri	45
4.3.3.1.2	İki Noktadan Yüklenen Numuneler	47
4.3.3.1.3	Üç Noktadan yüklenen Numuneler	48
4.3.3.1.4	Dört Noktadan Yüklenen Numuneler ...	48
4.3.3.1.5	Çift Kirişli Numuneler	49
4.3.3.1.6	Sabit Moment oluşturan Numuneler ...	49
4.3.3.1.7	C-Halka Numuneleri	50
4.3.3.1.8	Çekme numuneleri	51
4.3.3.2	Plastik genleme Numuneleri	53
4.3.3.2.1	U-Şeklinde Bükülmüş Numuneler	53
4.3.3.3	Artık Gerilmeli Numuneler	57
4.3.3.4	Düzgün Parçaların Yüzeyinin	
	Yüzeyinin Hazırlanması	57
4.3.4	Önceden Çatlatılmış Numuneler	58
4.3.4.1	Konsol Eğme Kirişi Numuneleri	58
4.3.4.2	Kompakt Numuneler	61
4.3.4.3	Çift Kiriş Numuneleri	62
4.3.4.4	Sabit-K numuneleri	63
4.3.4.5	Önceden Çatlatılmış Numunelerin	
	Hazırlanması	64
4.3.4.5.1	Gerekli Boyutlar	64
4.3.4.5.2	İşleme	65
4.3.4.6	Önceden çatlatma	65

4.3.4.7	Ortam İçerisine Bırakma	66
4.3.4.8	Deney Aşamaları	66
4.3.4.9	artan veya Azalan "K"	66
4.3.4.10	Yükleme Düzenleri ve Çatlak Ölçülmesi	68
4.3.4.11	Çatlak hızının hesabı	68
4.4	Dinamik Yüklemeler	69
4.4.1	Yavaş Genleme Hızlı Deneyler	69
4.4.2	Kritik Genleme Hızı	70
4.4.3	Numune Seçimi	71
4.4.4	Deney Araçları	71
4.4.5	Sonuçların değerlendirilmesi	71
BÖLÜM 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR		73
5.1	Kullanılan Malzeme	73
5.2	Deney Numuneleri	74
5.2.1	Sabit Kuvvet Deney Numuneleri	74
5.2.2	sabit Genleme Hızlı Deney Numuneleri	75
5.3	Deneylerin Yapılışı	75
5.3.1	Tane Boyutunun Ölçülmesi	75
5.3.2	Sabit kuvvet Altında GKÇ Deneyleri ..	76
5.3.3	Sabit Genleme Hızlı Deneyler	79
5.3.4	Gerilmeli Korozyon Çatlaklarının Metalografik İncelenmesi	83
BÖLÜM 6. DENEY SONUÇLARI		84
6.1	Sabit Kuvvet Deney Sonuçları	84
6.2	Sabit Genleme Hızlı Deney Sonuçları	84
BÖLÜM 7. DENEY SONUÇLARININ İRDELENMESİ		95
SONUÇLAR VE ÖNERİLER		99
KAYNAKLAR		100
ÖZGEÇMİŞ		102

ÖZET

Makina parçaları değişik türlerde hasarlara uğramaktadır. Bunlardan biri de metal ve alaşımların, içinde bulundukları ortamın etkisinden dolayı ortaya çıkan korozyon hasarıdır. Mekanik etkinin (gerilmenin) ve korozyonun parçaya birlikte etkimesi sonucu ortaya çıkan hasar da gerilmeli korozyon çatlaması (GKÇ) olarak adlandırılmaktadır.

Makina parçalarının tasarım aşamasında gerilmeli korozyon çatlaması (GKÇ) özelliklerinin bilinmesi ve buna göre gereken tedbirlerin alınması gerekir. Malzemelerin gerilmeli korozyon çatlamasına karşı duyarlılıklarının tesbitinde standartlaşmış değişik deney metotları kullanılmaktadır.

Bu çalışmada pirincin gerilmeli korozyon çatlaması oluşum mekanizmaları incelenmiş ve P158 ve P163 pirinçlerindeki tane boyutu değişikliklerinin süneklik kaybına nasıl etkidiği araştırılmıştır. Ayrıca P158 pirincinde hasar zamanının tane boyutu ile değişimi araştırılmıştır.

STRESS CORROSION CRACKING OF BRASS

SUMMARY

Stress corrosion cracking refers to cracking caused by the simultaneous presence of tensile stress and a specific corrosive medium. Many investigators have classified all cracking failures occurring in corrosive mediums as stress corrosion cracking, including failures due to hydrogen embrittlement.

However, these two types of cracking failures respond differently to environmental variables. Cathodic protection is an effective method for preventing stress corrosion cracking whereas it rapidly accelerates hydrogen-embrittlement effects.

The site of initiation of a stress corrosion crack may be submicroscopic and determined by local differences in metal composition, thickness of protective film, concentration of corrodent, and stress concentrations.

A pre-existing mechanical crack or other surface discontinuity, or a pit produced by chemical attack on the metal surface, may act as a stress raiser and thus serve as a site for initiation of stress corrosion cracking.

Several theories have been advanced to explain in detail the mechanism of stress corrosion cracking. Two major theories are the electrochemical and stress sorption theories. According to the electrochemical theory, galvanic cells are set up between metal grains and anodic paths are established by heterogeneous phases. When the alloy, stressed in tension, is exposed to a corrosive environment, the ensuing localized electrochemical dissolution of metal, combined with localized plastic deformation, opens up a crack. With sustained tensile stress, protective films that form at the tip of the crack rupture, causing fresh anodic material to be exposed to the corrosive medium, and the stress corrosion cracking is propagated. This theory has been extended to include metals that do not form intermetallic precipitates, but for which phase changes or segregation of alloying elements or impurities can occur during the process of plastic deformation of metal at the crack tip, the resulting composition gradient then setting up galvanic cells.

According to the stress sorption theory, stress corrosion cracking generally proceeds by weakening of the cohesive bonds between metal atoms through adsorption of

damaging substances in the environment. The surface energy is said to be reduced, increasing the probability that the metal will form a crack under tensile stress. Adsorption any kind of complex ions that reduce surface energy should favor crack formation.

Susceptibility of a given metal to stress corrosion cracking in a specific environment depends on its over-all and local chemical composition and on its metallurgical structure.

High-purity metals generally are much less susceptible than alloys. In general, binary alloys that contain only very small amounts of elements other than the two major constituents are quite susceptible to failure by stress corrosion cracking.

Crystal structure also has an effect on stress corrosion cracking. For instance ferritic stainless steels (body-centered cubic) are much more resistant to stress corrosion cracking when exposed to chlorides in aqueous solution than are austenitic stainless steels (face-centered cubic).

Stress corrosion cracking occurs only in the presence of tensile stresses, which may be externally applied or residual. In the purely compressive stresses condition stress corrosion cracking will not occur.

The role of tensile stressing is important in rupture of protective films during both initiation and propagation of cracks, these films may be tarnish films (such as those on brasses), thin oxide films, or other passive films. Breaking of a film ahead of an advancing crack permits crack propagation to continue in the metal.

The surfaces of some stress corrosion cracks resemble those of brittle mechanical fractures although they actually are the result of local corrosion in combination with tensile stress.

The path of stress corrosion cracking in metals is governed by composition and structure of metal and by the environment

In some metals, cracking propagates intergranularly, and in others, transgranularly.

In certain metals, such as iron-chromium alloys and brasses, either type of cracking can occur, depending on the metal-environment combination.

The ammonium ion generally considered to be the specific corrodent causing stress corrosion cracking in copper base alloys in service. Water or water vapor, of course must be present ; otherwise, the ion is not form. Oxygen and carbondioxide are also considered to accelerate cracking in an ammonical atmosphere in laboratory and in service failures. There are also other corrodents that produce stress corrosion cracking.

Brasses in aqueous solutions, pH has a strong influence on susceptibility to cracking and on whether cracks paths are intergranular or transgranular.

Brasses containing less than 15% zinc are generally considered very resistant to stress corrosion cracking. Susceptibility to stress corrosion cracking is generally believed to increase with the zinc content up to about 40%.

Cold rolling proces influence the resistant of brass to stress corrosion cracking. After a small amount of cold rolling, the distorted metal is near the surface, with the possibility that there are high residual stresses at the surface. As the degree of cold work is increased, the susceptibility to stress corrosion cracking decreas.

Several mechanism has been suggested to explain stress corrosion cracking of brasses. To explain intergranular stress corrosion cracking of α - brasses, film rupture mechanism has been suggested.

Film rupture model is based on the concept that plastic deformation exposes film free metal at the crack tip, permitting crack propagation to occur by localized anodik dissolution.

To explain transgranular stress corrosion cracking of α and $\alpha+\beta$ brasses, adsorption model, local anodik dissolution and film having brittle properties have been suggested.

Failures are intergranular in α brass in following conditions;

- a- Alloys with $<18\%Zn$ in non-tarnishing solutions.
- b- In annealed condition and in tarnishing solution.

Failures are transgranular in α brass in following condition;

- a- Alloys with $>18\text{Zn}$ in non-tarnishing solutions.
- b- Heavily cold worked Cu-30Zn in tarnishing solutions.

In α/β brass stress corrosion cracking propagate transgranular β and interphases.

In the design stages of any structures, it is important whether any construction materials are susceptible to stress corrosion cracking in environment used. To determine the stress corrosion cracking susceptibility of materials in laboratory condition some tests methods have been improved.

Before 1965, constant-load and constant strain tests of smooth and notched test specimens of various configurations were used to asses stress corrosion cracking. During the 1960's, two accelerated test techniques based on different mechanical approach emerged. One technique tests and analyzes statically loaded mechanically precracked test specimens using linear elastic fracture mechanics concepts. The second technique consists of constant (slow) strain rate tests on smooth or precracked specimens. Laboratory testing with these techniques frequently has produced stress corrosion cracking. Whereas constant-load and constant-strain have not.

Slow strain rate testing always ends in specimen fracture. The most significant variable in slow strain rate testing is the magnitude of strain rate. If strain rate is too high, ductile fracture will occur before the necessary corrosion reactions can occur. However at too low slow strain rate corrosion may be prevented due to film repair so that the necessary reactions of bare metal cannot be sustained, and stress corrosion cracking may not occur. Slow strain rate testing does not provide data that can be used for design purposes.

Principal methods of assesment of stress corrosion craking are based on parameters derived from slow strain rate tension testing, including time to failure, maximum gross section stress developed during the tension test, percet elongation, and reduction in area

In this study, effect of the grain size on stress corrosion cracking behavior of α and $\alpha+\beta$ brasses has been investigated, using constant strain rate and constant-load test methods.

To show grain size effect on ductility loss slow strain rate test technique was used. It has been shown that grain size has no effect on the ductility loss of both α and $\alpha+\beta$ brasses in Mattson solution (pH 7.5).

According to the test results obtained from constant load test, time to fracture of $\alpha+\beta$ brasses (Cu-40Zn) having small grain size is more than that of brasses having big grain size.

Metallographic results show that cracks propagate transgranularly in β phase, interphases between α and β , in $\alpha+\beta$ brass.

In α brass transgranular cracks have been determined.

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Makina konstrüksiyonlarında kullanılan parçalar değişik türlerde hasara uğramaktadır. Malzemenin çevrenin kimyasal ve elektrokimyasal faktörlerinden etkilenmesi de korozyon hasarı olarak adlandırılmaktadır. Korozyonun özel bir türü olan gerilmeli korozyonda ise malzeme, mekanik ve korozif etkinin aynı anda etkimesi sonucu hasara uğramaktadır.

Gerilmeli korozyon hasarının oluşabilmesi için şu şartların mevcut olması gerekir: a) Çekme gerilmesi, b) etken bir ortam, c) duyarlı bir malzeme, d) zaman.

Gerilmeli korozyon çatlaması (GKÇ) hasarı, çatlak başlangıcı, çatlak ilerlemesi ve parçanın kırılması olarak üç safhadan oluşmaktadır. GKÇ hasarı akma dayanımından çok daha düşük gerilme değerlerinde ve makro düzeyde herhangi bir belirti göstermeden aniden oluştuğu için oldukça tehlikelidir. Buna karşı önlemler alabilmek için oluşum mekanizmalarının yeterince bilinmesi gerekir. Bunun içinde laboratuvar şartlarının çalışma şartlarına uygun olması ve sonuçların çalışma şartlarına aktarılabilmesi gerekir.

Laboratuvar şartlarında statik ve dinamik yükleme olmak üzere iki temel GKÇ deneyi yapılmaktadır.

Statik yükleme deneyleri, sabit yük veya sabit genleme oluşturarak gerçekleştirilmekte, dinamik yükleme ise sabit genleme hızı uygulanarak gerçekleştirilmektedir.

Korozif ortam olarak da genellikle standart olarak verilen çözeltiler kullanılmaktadır. Hem korozif ortamın hem de malzemenin özellikleri GKÇ' ye karşı duyarlılığı etkilemektedir. Korozif ortamın özelliklerinin sabit kalması durumunda, malzemenin bileşimi ve iç yapısı GKÇ duyarlılığını değiştirmektedir.

Bu çalışmada pirinçlerdeki GKÇ oluşum mekanizmaları incelenmiştir. Ayrıca özel olarak tasarlanan deney aparatı ile sabit genleme hızlı GKÇ deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerde, P158 ve P163 pirinçlerinin Mattson çözeltisi içinde tane boyutu ile süneklilik kaybı arasındaki ilişki araştırılmıştır. Ayrıca bu deney sonuçlarının yorumlanmasına yardımcı olması için statik olarak sabit kuvvetle yüklenen parçalarda hasar zamanının tane boyutu ile değişimi araştırılmıştır.

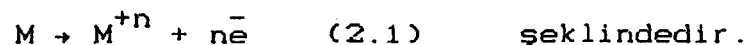
BÖLÜM 2. KOROZYON

2.1 GENEL OLARAK KOROZYON

Cevrenin kimyasal ve elektrokimyasal etkilerinden dolayı malzemelerde meydana gelen hasara korozyon adı verilir. Korozyon malzemenin doğrudan hasarına neden olabileceği gibi, malzemeyi diğer hasar mekanizmalarına karşı hassas hale de getirebilir.

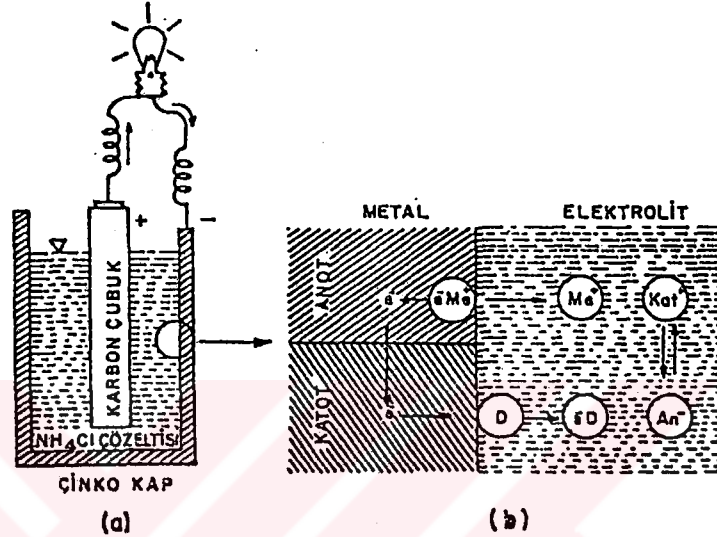
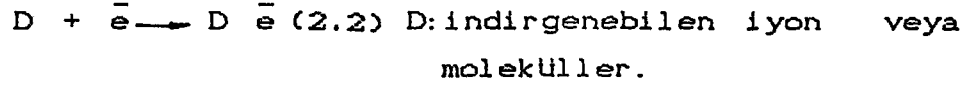
Korozyon olayını elektrik enerjisi üretiminde kullanılan pil modeli ile tariflemek kısıklık ve açıklık sağlar. Şekil 2.1 deki pil, elektrik akımını iletebilen iki elektrottan (karbon çubuk ve çinko kap) ve iyonların hareketine izin veren elektrolitten (iletken sıvı ortam) dan oluşur. Elektrotların her ikisi de elektrolitle temas halindedir. Pilin elektrik enerjisi üretebilmesi için karbon çubuk ve çinko kabın iletken bir telle birleştirilmesi yeterlidir. Böylece tariflenen pil düzeni içinde gerçekleştirilen olay kimyasal enerjinin elektrik enerjisine dönüşmesidir. Bu dönüşüm elektrot olayları adı verilen, elektrotla elektrolit ara yüzeyinde yer alan olaylarla sağlanır. Çinko-elektrolit ara yüzeyinde yer alan olay kimyasal oksitlenme olarak nitelenir. Yani çinko çözünür ve serbest duruma geçen çinko iyonları belirli sayıda su molekülleri ile birleşerek ($Zn.H_2O$) çözeltiye karışırlar. Buna karşılık karbon-elektrot ara yüzeyinde yer alan olay kimyasal indirgemedir. Bu iki reaksiyonun toplamı pil içinde gerçekleştirilen tüm kimyasal değişimi verir. Yukarıda tariflenen düzeni korozyon hücresi olarak tanımlamak mümkündür. Yüzeyinde kimyasal indirgemenin olduğu elektrot katot, kimyasal oksitlenme yolu ile çözünen elektrotta anot adını alır.

Anodik reaksiyon: (M; metal atomu)



Elektron kaybeden metalin iyonları elektrolite geçer, yani anot korozyona uğrar.

Katodik reaksiyonun oluşabilmesi için indirgenebilen iyon veya moleküllere ihtiyaç vardır.



Şekil 2.1 Korozyonun elektrokimyasal oluşum düzeni:
(a) Pili, (b) Korozyon hücresinde yer alan olaylar [1].

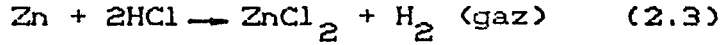
Korozyon hücresi içinden geçen elektrik akımının taşıyıcıları katı yol içinde elektronlar, elektrolit içinde ise iyonlardır. Dolayısıyla korozyon hücresinin toplam direnci iki direncin (katı yolun direnci= dış direnç, elektrolitin direnci= iç direnç) toplamına eşittir. Korozyon hücrelerinin kaynağı farklı elektro-kimyasal tutumları nedeni ile birbirlerinden ayrışarak anodik ve katodik tutum üstlenen mikroskopik alanlardır. Bu farklılaşmayı doğuran etmenleri iç ve dış etmenler olarak incelemekte yarar vardır. İç etmenler çözünen metalin cinsi ve iç yapısı ile ilgili olanlardır. Örneğin, çok kristalli malzemelerde tane sınırlarının elektrokimyasal tutumu tane içlerinin tutumundan farklıdır. Gerek bileşim gerekse yapı yönünden tane

içlerinden hayli farklı olan tane sınırları daha yüksek enerji seviyesine sahiptirler. Böylece tane içleri ile tane sınırları arasında kurularak faaliyete geçen korozyon hücresinde tane sınırları anodik tutum kazanarak çözünürler (tane sınırları korozyonu). Ana yapı yanında yer alan ikinci ve diğer fazlara ait parçacıklar (örneğin, çelik içinde sementit) farklı elektrokimyasal tutumların diğer kaynaklarıdır. Dış etmenler çevre veya ortalama ilgili olanlardır. Örneğin, metal yüzeyini yer yer örten korozyon ürünleri havalandırması (hava yani oksijenle temas halinde olma) farklı alanlar doğurarak farklı elektrokimyasal tutumlar için gerekli koşulları hazırlarlar. Çoğu zaman engelleyemediğimiz konsantrasyon (elektrolit içinde korozyon olayına katılan iyon ve moleküllerin konsantrasyonu) ve sıcaklık farkları bu tür etmenler arasındadır [1].

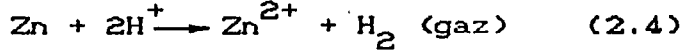
2.1.1 OKSİJENDEN ARINMIŞ ASİT ORTAMLARDA (PH<4) KOROZYON

PH değeri sulu ortamların saldırganlığını belirleyen önemli bir göstergedir. Ortamda içerilen oksijen iyonlarının aktivitesi ile tanımlanır. $PH = -\log(H^+)$, 1 lt suda 10^{-7} mol H^+ iyonu mevcutsa suyun PH'si 7 dir. (1mol H^+ , Avagadro sayısı kadar ($6,02 \cdot 10^{23}$) H^+ demektir. $PH=7$ için 1 lt suda $6,02 \cdot 10^{23} \cdot 10^{-7} = 6,02 \cdot 10^{16} H^+$ iyonu var demektir.) Sıvıda hidrojen iyonu miktarı arttıkça $PH < 7$ olur ve asit çözelti elde edilir. H^+ miktarı azsa $PH > 7$ olup bazik çözelti elde edilir. Korozyon olayında öncelik kazanan katodik olayların niteliği gözönüne alınarak PH değeri <4 olan ortamlar asit, PH değeri 4-10 arasındaki ortamları nötr ve PH değeri >10 olan ortamlarıda bazik olarak tanımlayabiliriz [1].

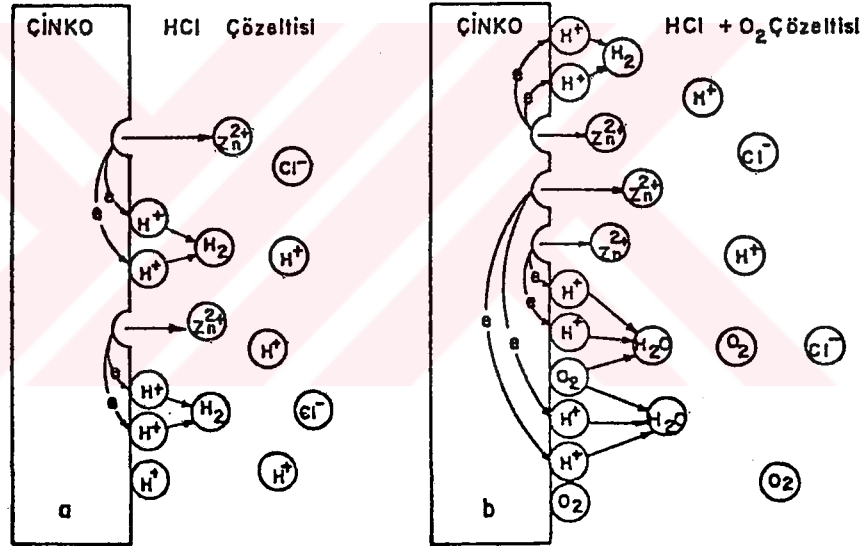
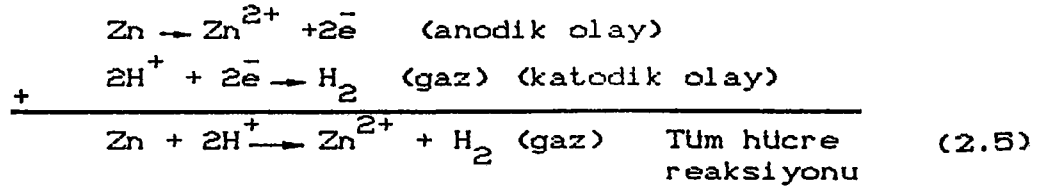
$PH < 4$ ortamda korozyon için örnek olarak Zn'nun hidroklorik asit içindeki tutumunu inceleyelim.



Elektrik yükü bakımından değişikliğe uğramayan iyon ve molekülleri olay dışı sayarak bu denklemi



Bu reaksiyon, korozyon hücresi içinde gerçekleştirilen tüm olayın ifadesidir. Bu nedenle anodik ve katodik olayların toplamı olarak değerlendirilebilir. Dolayısıyla;



Şekil 2.2 Metallerin asitli ortamlarda korozyonu için iki örnek: Çinkonun (a) oksijenden arınmış ve (b) oksijen içeren HCl çözeltisinde korozyonu [1].

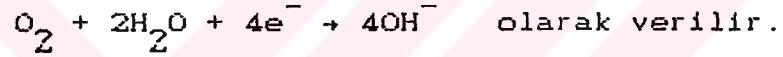
Anodik olayın hızı (elektron üretim hızı) katodik olayın hızına (elektron harcama hızı) eşittir. Elektrolit içinde mevcut klor iyonları elektrik yükü bakımından değişikliğe uğramadıklarından hızlararası dengeyi etkilemezler. O halde çinkonun korozyon hızı

elektrolitin içerdği hidrojen iyonlarının indirgenme hızına bağlı kalacaktır. Diğer bir deyişle çinkonun korozyon hızı elektrolitin içerdği hidrojen iyonlarının konsantrasyonu ile artacaktır.

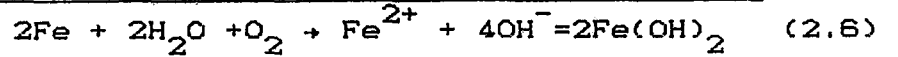
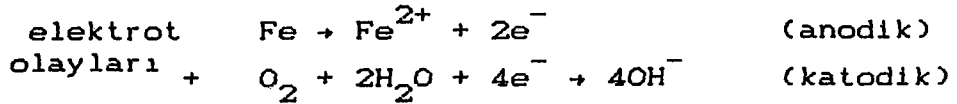
Oksijenden arınmış asit ortamlarda korozyon metal türüne bağlı olmaksızın aynı katodik reaksiyonla ($2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$ (gaz)) (hidrojen reaksiyonu) oluşmaktadır.

2.1.2 HAVALANDIRILMIŞ NÖTR VE BAZİK ORTAMLARDA (PH>4) KOROZYON

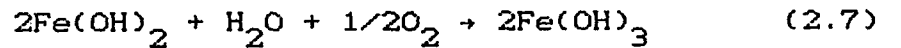
Metallerin hidrojen iyonları bakımından fakir nötr ve bazik ortamlarda korozyonu, ortamda çözünmüş oksijen moleküllerinin hidroksil iyonlarına indirgenmesi ile oluşur. Oksijen reaksiyonu olarak tanımlanan bu olay;



Bu reaksiyonun oluşabilmesi için ortam içinde çözünmüş oksijen moleküllerinin yayınımla metal yüzeyine ulaşmaları gerekir. Çelik parça ve yapıların deniz suyu içinde uğradıkları bozunma bu tür korozyon için verilebilecek en uygun örnektir. Nötr bir ortam olan deniz suyu aynı zamanda hava ile sürekli temas halindedir. Deniz suyunun içerdği sodyum ve klor iyonlarını reaksiyon dışı sayarak;



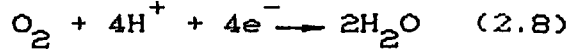
Ferrosihidroksit zamanla ferrikhidrosite dönüşerek bildiğimiz pas oluşur.



2.1.3 HAVALANDIRILMIŞ ASİT ORTAMLARDA KOROZYON

Bu tür ortamların özelliği hidrojen iyonu yanında oksijen moleküllerini de içermeleridir. Böylece hidrojen

ve oksijen reaksiyonlarının aynı zamanda oluşarak korozyon olayına katkıda bulunacaklarını düşünmek gerekir. Havalandırılmış asit ortamlarının oksijenden arınmış asit ortamlara oranla daha saldırgan olmaları bunu kanıtlar niteliktedir. Birden fazla reaksiyonun katodik olay olarak rol üstlenmeleri elektron harcama hızını ve bu nedenle de korozyon hızını artırır. Hidrojen iyonlarının varlığı ortamda mevcut oksijenin;



reaksiyonu ile indirgenmesine yol açar (oksijen-depolarizasyonu). Hidrojen iyonları ve oksijen moleküllerinin korozyon olayına katkıları Şekil-2.2'de şematik olarak gösterilmiştir.

2.2 TERMODİNAMİK YAKLAŞIM

Metallerin sulu ortamlar içindeki tutumları yani çözünüp çözünmeyecekleri, elektrokimyasal korozyon olarak tanımlanan reaksiyona (tüm hücre reaksiyonu) uygun olan serbest enerji değişimi ile belirlenir. Sabit basınç ve sabit sıcaklık altında serbest enerji değişimi;

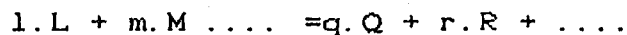
$\Delta G = -nF\varepsilon$ denklemi ile belirlenir. Burada;

n:korozyon hücresinden geçen gr. elektron sayısı

F:1gr. elektron yükünü (Faraday sabitesi=96.494 Kulon)

ε :korozyon hücresinin elektromotor kuvvetini (emk)

gösterir. Serbest enerji değişimi (ΔG), ε potansiyel farkı ile çalışan bir hücrenin n gram elektronun iletimi esnasında yaptığı iş olarak tariflenir. ε 'nun birimi volt ise (ΔG) joule olarak bulunur. Reaksiyonun oluşabilmesi için ΔG 'nin negatif (yani ε 'nun pozitif) olması gerekir. Korozyon hücresinin elektromotor kuvveti tüm hücre reaksiyonuna katılan maddelerin aktivitelerine etken konsantrasyonlarına ve sıcaklıklarına bağlıdır. Elektromotor kuvveti sıcaklık ve aktivitelerle bağlı olarak veren ilişki "Nernst denklemi" adıyla tanınır. Tüm hücre reaksiyonu;



ifadesi ile genelleştirerek buna uygun Nernst denklemini;

$$\varepsilon = \varepsilon^0 - \frac{R.T}{n.F} \cdot \ln \frac{a_Q^q \cdot a_R^r \cdot \dots}{a_L^l \cdot a_M^m \cdot \dots} \quad (2.9) \text{ olarak yazılır.}$$

Burada;

R: gaz sabitesi (8,314 jul/derece-mol)

T: mutlak sıcaklık

a: reaksiyona giren ve reaksiyon sonucu ortaya çıkan maddelerin aktivitelerini.

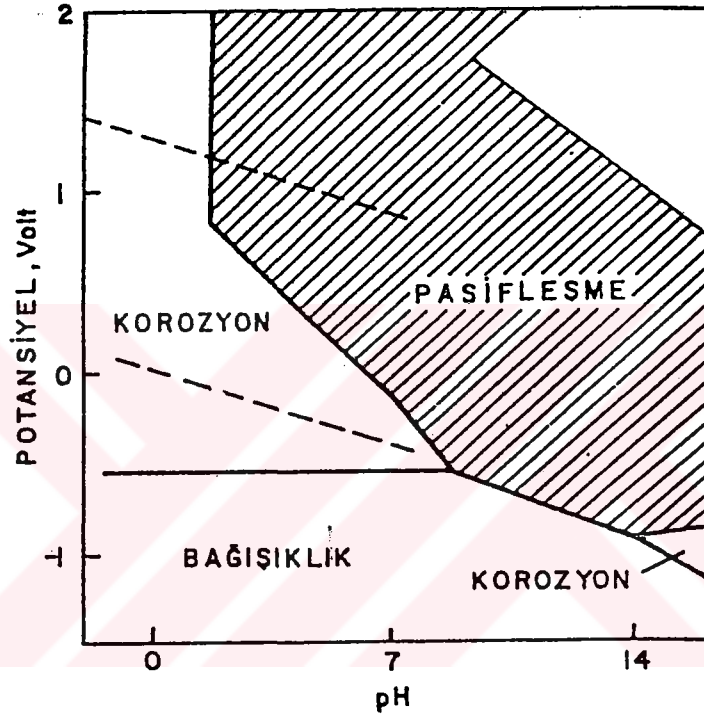
ε^0 : ε 'nin standart şartlardaki (birim aktiviteler) değerini gösterir.

Aktivite reaksiyona katılan ve reaksiyon sonunda ortaya çıkan maddelerin etken konsantrasyonları olarak tanımlanabilir ve maddenin gerçek konsantrasyonu (c) bir düzeltme katsayısı (γ) ile çarpılarak elde edilir. ($a = \gamma \cdot c$) düzeltme katsayıları gerçek konsantrasyonlara bağlı olarak çizelgeler halinde verilir. Katıların, elektronların ve reaksiyon sırasında konsantrasyonu çok az değişen maddelerin (saldırgan ortamın ana kısmını oluşturan suyun aktiviteleri 1 dir.) Gazların gerçek aktiviteleri yerine kısmi basınçlarını kullanmak genellikle yeterlidir. [1].

2.3. POTANSİYEL -PH DİYAGRAMLARI

Korozyon olayına termodinamik yaklaşım yolu Pourbix'in geliştirdiği potansiyel-pH diyagramları ile yararlı biçimde genelleştirilmiştir. Potansiyel-pH diyagramları en genel anlamda, metal, iyon ve oksitlerin termodinamik kararlılığına sahip oldukları alanları gösterirler, yani bir faz diyagramı niteliği taşırlar. komşu alanları birbirinden ayıran sınırlar kimyasal ve elektrokimyasal dengeleri tanımlarlar. PH eksenine paralel sınırlar H^+ ve OH^- iyonlarına yer vermeyen dengelerle ilgilidir. Potansiyel eksenine paralel olan sınırlar elektrik yük ayrımına yer vermeyen dengelerden

kaynaklanırlar. Potansiyel-pH diyagramlarında heriki eksene de paralel olmayan sınırlar H^+ ve OH^- iyonları ve elektrik yükü ayırımına aynı zamanda yer veren dengelerle ilgilidir.

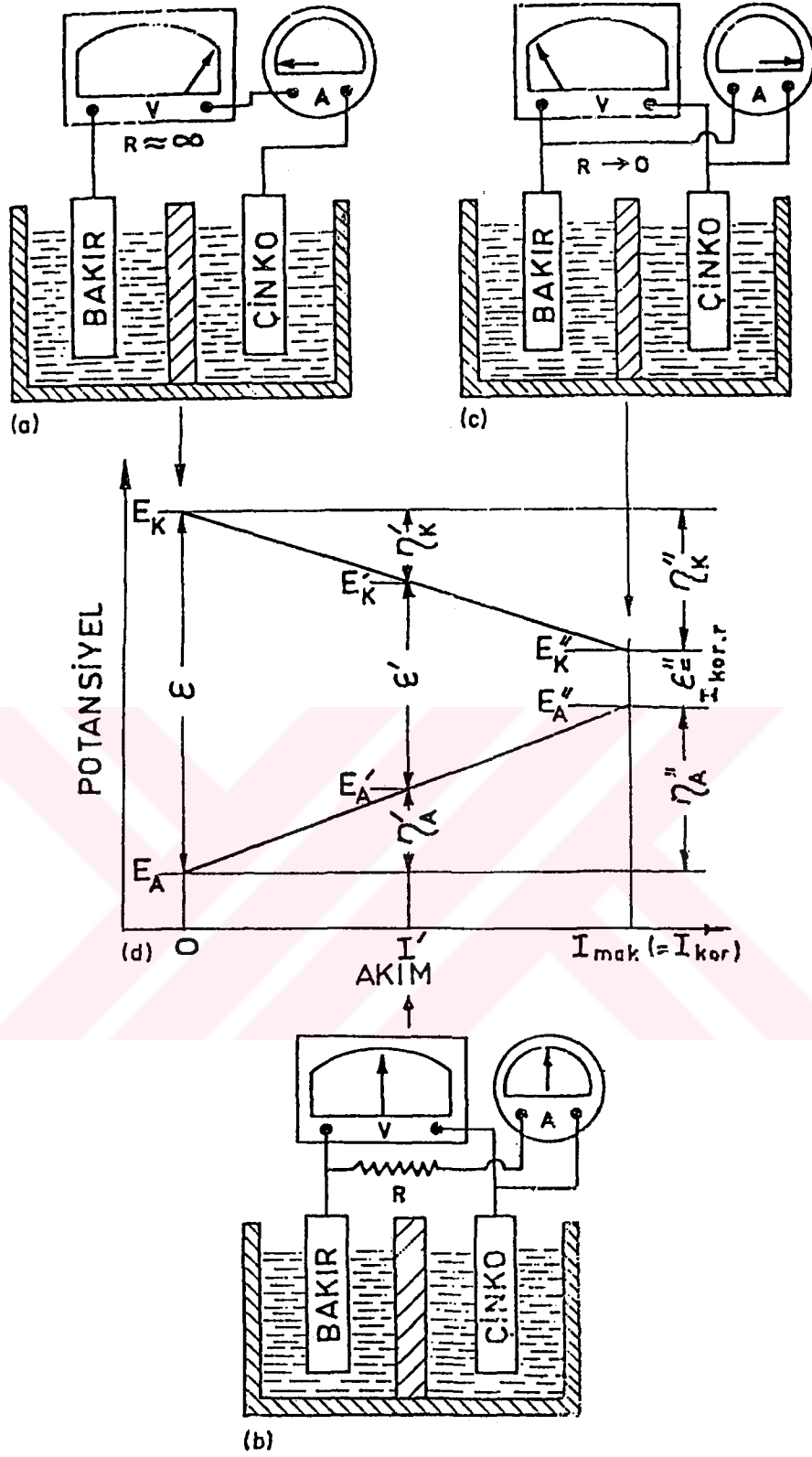


Şekil 2.3. Potansiyel-pH diyagramının korozyon problemine uygulanışının Fe-H₂O sisteminde gösterilişi [1].

2.4. POLARİZASYON

Pratik ve ekonomik açıdan önemli olan, korozyonun oluşup oluşmayacağı sorunundan daha da öteye, metallerin hangi hızlarla çözünecekleridir. Şekil 2,5'de verilen hücreyi inceleyecek olursak, bu hücrenin elektrotları çinko ve bakırdır. Çinko elektrotun çinko sülfat, bakır elektrodun da bakır sülfat çözeltisi içine daldırıldığı durumu düşünelim. Her iki çözeltinin birbirlerine

karışmalarını önlemek için hücre bir diyaframla iki bölmeye ayrılmıştır. Diyafram moleküllerin bir bölmeden diğerine geçmelerini engeller özelliktedir. Ancak iyonların serbestce hareket etmelerine olanak verecek ölçüde boşlukludur. Burada anot çinkodur. Çinko ve bakır elektrotlar iç direnci yeterince büyük bir voltmetre üzerinden birleştirilirse, (çinko ve bakır iyonları aktivitelerinin eşit olduğu özel hal için elektromotor kuvvetinin 1,1 volt olduğu) değere çok yakın bir değer görülecektir (şekil 2.4a). Çinko ve bakır elektrotları sonlu bir direnç üzerinden birleştirilip hücrenin direnci azaltılırsa, bu durumda hücreden belirli bir büyüklükte akım geçecek ve voltmetrenin gösterdiği değerde düşme görülecektir (şekil 2.4b). Hücreden geçen akım I 've voltmetrede okunan değeri ε 'ile göstererek $\varepsilon = I(R+r)$ yazılır. Burada R hücrenin dış direnci, r ise çözeltinin direncini gösterir. $(\varepsilon - \varepsilon')$ potansiyel farkı anot ve katot arasında elektrot üst potansiyelleri olarak paylaşılmıştır. Yani açık devre koşulu altında ölçülen elektrot potansiyellerinden sapmalar olmuş, anot ve katot potansiyelleri birbirlerine yaklaşacak şekilde değişikliğe uğramışlardır. Yani üst potansiyel açık devre potansiyelinden sapmanın büyüklüğünü gösterir. Her iki elektrodta da oluşan üst potansiyellerin karşı elektromotor kuvvet olarak ortaya çıkmışlardır. Anot ve katot üst potansiyelleri η'_A ve η'_K ile gösterilirse; $\varepsilon - \varepsilon' = \eta'_A + \eta'_K$ olarak yazılır. Üst potansiyel hücreden geçen akımla artış gösterir, akımın sıfıra indirgenmesi ile ortadan kaybolur. (şekil 2.4d) yukarıda tariflenen açık devre potansiyellerinden sapma olayı polarizasyon olarak tanımlanır. Dış devre direncinin mümkün olan en küçük değere ($R \rightarrow 0$) düştüğü durumda (şekil 2.5c) hücreden geçen akım en yüksek değerine ulaşacaktır ($I \rightarrow I^{\text{mak}}$). Voltmetrede okunan değer (ε'') hücre iç direncini karşılamaya yeterli potansiyel farkından ibarettir $(\varepsilon'' = I^{\text{mak}} \cdot r)$. Hücrenin elektromotor kuvveti ile anot ve katot potansiyellerinin hücreden geçen akımla değişimi



Şekil 2.4 Korozyon hücresinin polarizasyonu: (a) açık devre koşulu ($R \approx \infty$) (b) kapalı devre koşulu (orta büyüklükte direnç) (c) korozyon olayını tarifleyen model ($R \rightarrow 0$) (d) polarizasyon diyagramı [1].

şekil 2.4d' de şematik olarak gösterilmiştir.

Metallerin sulu ortamlarda çözünmelerini sonuçlayan gerçek korozyon hücrelerinin yapısı ($R \rightarrow 0$) varsayımıyla uyuşum içindedir. Ortamla temas eden metal yüzeyindeki mikro anot ve katotlar çözünen yüzey altındaki metalin tüm kesiti üzerinden kısa devre halindedirler. Bu nedenle, korozyon hücresinin dış direnci iç direnç yanında ihmal edilebilir küçüklüktedir. Sonuç olarak, açık devre durumundan kapalı devre durumuna geçilmesi üzerine anot ve katot yeterince polarizasyona uğrayarak $i = I_{\text{mak}} \cdot r + \eta_A^{\text{mak}} + \eta_K^{\text{mak}}$ denklemi ile ifade edilen sürekli durum koşulu yerleşecektir (şekil 2.5d). Metalin korozyon hızı I_{mak} ile doğru orantılıdır. Bu nedenle I_{mak} korozyon akımı (I_{kor}) olarak adlandırılır. Çözünen metalin potansiyeli E_K' ile E_A' arasında bir değer olmalıdır. Genellikle E_K' ile E_A' birbirlerine çok yakın düştüklerinden çözünen metalin potansiyeli kararlı bir büyüklük olarak ortaya çıkar ve ölçmelere açıktır. Bu potansiyel korozyon potansiyeli (E_{kor}) olarak tariflenir. Şekil 2.5d'de görülen diyagram korozyona uğrayan metalin polarizasyon diyagramıdır [1].

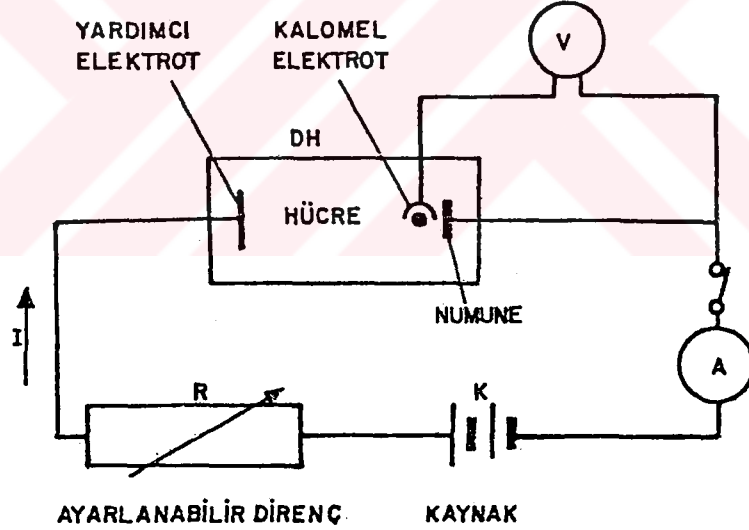
2.5 POLARİZASYON ÖLÇMELERİNDE KULLANILAN YÖNTEMLER

Polarizasyon ölçmeleri yani potansiyel-akım yoğunluğu eğrilerinin saptanması için (a) galvanostatik ve (b) potansiyostatik ölçme yöntemlerinden yararlanılır.

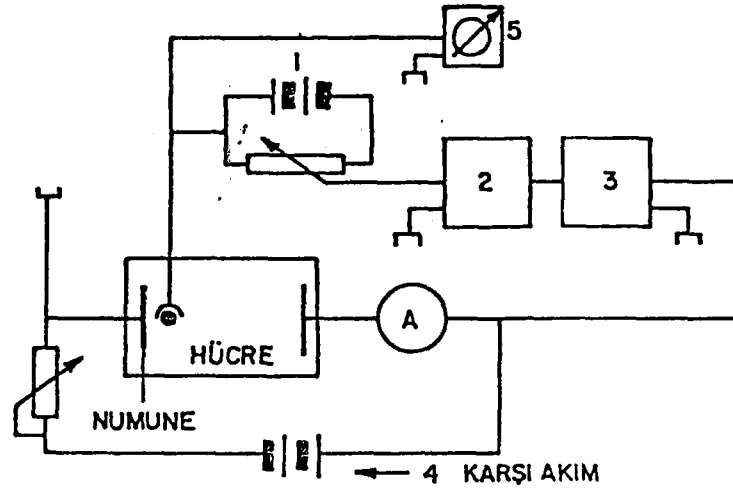
Galvanostatik ölçme yönteminde kontrol edilen değişken akım yoğunluğudur. Yani akım yoğunluğu sıfırdan başlayarak belirli basamaklarla artırılır. Akım yoğunluğunun her değerine uygun olan elektrot potansiyelleri akım yoğunluğuna karşı taşınarak potansiyel-akım yoğunluğu eğrileri (veya polarizasyon eğrileri) bulunur. Galvanostatik ölçme yönteminin elektrik devre şeması şekil 2.5'de görülmektedir. Akım

yoğunluğunun değiştirilmesi için R direncinin değiştirilmesi yeterlidir.

Potansiyostatik ölçme yönteminde (şekil 2.6) kontrol edilen değişken incelenen metalin veya alaşımın elektrot potansiyelidir. Elektrot potansiyeli belirli bir değerden başlayarak basamaklı veya sürekli olarak değişikliğe uğratılır. Böylece inceleme için gerekli potansiyel alanı taranmış olur. Her potansiyel değeri için belirli bir sürekli durum akım yoğunluğu mevcut olmalıdır.



Şekil 2.5 Galvanostatik incelemelerde kullanılan deney düzenegi [1].



Şekil 2.6 Potansiyostatik polarizasyon incelemelerinde kullanılan deney düzenegi [1],

2.6 KOROZYON TÜRLERİ

Elektrokimyasal korozyonun en belirgin özelliği iyonların hareketine izin veren ortamlarda oluşmasıdır. Bu koşulu yerine getiren ortamların çokluğu ve korozyon olayını etkileyen ve ona yardımcı olan etmenlerin sayısının fazla olması nedeniyle korozyon olayı belirli türlere ayrılmaktadır.

2.6.1 HOMOJEN DAĞILIMLI KOROZYON

Anodik ve katodik çevrelerin sürekli olarak yer değiştirdiği ve ortalama korozyon hızının her yerde aynı kabul edildiği korozyon türüdür. Basit laboratuvar deneyleri ile korozyon hızı tahmin edilebildiği için çok yaygın olmasına karşılık en az kokulan korozyon türüdür. Yüzey kaplamaları, katodik koruma ve korozif ortama ilave edilen korozyon hızını sınırlayıcı maddelerle kontrolü mümkündür.

2.6.2. GALVANİK KOROZYON

Birbirleriyle temas halinde olan farklı türden metal ve alaşımların aynı ortama terk edilmesiyle ortaya çıkan korozyon türüdür. İlke olarak aktif olan metallerin korozyonu hızlanırken daha soy olan metallerin korozyonu yavaşlayacak veya tamamen duracaktır.

2.6.3. ÇUKURCUK KOROZYONU

Korozyon olayının çok dar bölgeler üzerinde yoğunlaşması sonucu ortaya çıkan korozyon türüdür. Çukurcukların çapı, derinliği ve sıklığı malzeme ve ortama bağlı olarak değişir. Çukurcuk korozyonu genellikle klor ve brom içeren nötr ortamlarda oluşur. Korozyona dayanıklı malzemelerin kullanımı veya ortamın pasifleşme yeteneğini artırıcı ilaveler yeterli miktarda çukurcuk korozyonu başlamadan uygulanmaları durumunda yeterli önlem sağlamaktadırlar.

2.6.4. ARALIK KOROZYONU

Korozyon olayının belirli dar bölgeler üzerinde yoğunlaşması sonucu ortaya çıkan bozunma türlerinden biri de aralık korozyonudur. Çukurcuk korozyonunun malzemenin yapısal özelliklerinden kaynaklandığı söylenebilir. Çukurcukların olduğu yerlerin, büyüme doğrultusunun ve dağılımlarının malzemenin iç yapısı ile ilgili olduğu kabul edilmektedir. Buna karşılık aralık korozyonu makina parçalarının montajında kesinlikle yok edilemeyen dar bölgeler ve aralıklar içinde başlar. Korozyon aralık içinde ve dışında yer alan oksijen reaksiyonu ile başlar. Aralık içine sızan ortamın içerdiği oksijenin az olması nedeniyle oksijen reaksiyonu aralık dışında devam eder. En etkili önlem dar bölge oluşumuna imkan veren tasarımlardan kaçınmaktır.

2.6.5 SEÇİCİ KOROZYON

Alaşımlarda belirli metal veya belirli faz üzerinde yoğunlaşarak öncelikle çözünmelerine neden olan korozyon türüdür. İlke olarak elektrokimyasal gerilim dizisinde birbirlerinden çok uzak metallere oluşan alaşımlar seçici korozyona uğrar. Bakır-çinko alaşımlarında görülen çinko kaybı bu tür korozyon için örnektir.

2.6.6 TANE SINIRLARI KOROZYONU

Korozyon olayının malzemenin tane sınırları yakınında yoğunlaşması sonucu ortaya çıkan bozunma türüdür. En belirgin özelliği çok küçük ağırlık kaybına karşılık korozyon hızının tane sınırları yakınında çok yüksek değerlere ulaşmasıdır. Böylece parçalar kısa sürede tüm kesit alanı boyunca korozyona uğrayarak bozunurlar. Taneler bütünlük ve şeklini korurken tanelerarası bağlar bozunur.

2.6.7 GERİLMELİ KOROZYON

Gerilmeli korozyon aynı zamana rastlayan korozif ve mekanik etmenlerin yol açtığı bozunma türü olarak tanımlanabilir. Çatlaklar mekanik gerilmelerin büyüklüğü ve çevresel koşulların etkenliğine bağlı olarak belirli hızlarla malzeme içlerine doğru yürürler. Parça kesitinin mevcut yükleri taşıyamıyacak ölçüde daralması sonucu ani kopmalar meydana gelir. Gerilmeli korozyonun en önemli özelliği kimyasal ve mekanik etkilerin birbirlerini destekler nitelikte gelişmeleridir. Bu nedenle aynı zamana rastlamayan korozif ve mekanik etkilerin toplamı gerilmeli korozyon olarak nitelenemez. Gerilmeli korozyonun oluşabilmesi için gerekli koşulları şöyle özetleyebiliriz: (1) Duyarlı bir malzeme, (2) etken

bir ortam, (3) çekme gerilmesi ve (4) zaman.

Tablo 2.1 Çeşitli alaşımlarda gerilmeli korozyon çatlamasına yol açan ortamlar.

Alaşım	Ortamlar
Alüminyum alaşımları	Klorürler, deniz atmosferleri
Bakır ve alaşımları	Amonyum iyonu, aminler
Nikel alaşımları	Sıcak derişik hidroksitler, hidroflorik asit buharı
Düşük karbonlu çelikler	Kaynar derişik hidroksitler, kaynar derişik nitratlar
Yüksek dayançlı çelikler	Klorürler
Paslanmaz çelikler (Ostenitik)	Kaynar klorürler, kaynar derişik hidroksitler
Paslanmaz çelikler (ferritik ve martensitik)	klorürler, reaktör soğutma suyu

2.6.7.1 KOROZYONLU YORULMA

Peryodik yön değıştiren gerilmelerin koroziif ortamlarda yol açtıkları malzeme bozunmasıdır. Korozyonlu yorulmada malzeme-etken ortam ilişkisi yoktur, diğeri bir deyişle malzeme için belirli bir ölçüde saldırgan olan her ortam korozyonlu yorulmaya neden olabilir.

2.6.7.2. HİDROJENLE BOZUNMA

Genellikle hacim merkezli kübik yapıya sahip yüksek dayanlı malzemelerde görülen bir bozunma türüdür. Yayınarak malzemenin belirli noktalara yerleşen hidrojen atomları burada birleşerek hidrojen moleküllerini oluştururlar. Bu olay malzeme içinde çok yüksek basınçların oluşmasına neden olur. Malzemede bu basınçlar altında boşluklar oluşur. Bu bölgelerde çatlak başlangıcına neden olur [11].



BÖLÜM-3

GERİLMELİ KOROZYON ÇATLAMASI (GKÇ)

3.1 GKÇ VE GENEL KARAKTERİSTİKLERİ

Metal parçalarda, kimyasal ve mekanik etkinin çatlak başlangıç ve ilerlemesine neden olarak hasara yol açması gerilmeli korozyon çatlaması olarak adlandırılmaktadır. Korozyonlu yorulma ve hidrojen gevrekliği de bazı yazarlar tarafından gerilmeli korozyon çatlaması olarak sınıflandırılmaktadır [2].

Çatlaklar, malzemenin bileşimi, koruyucu filmin kalınlığı, korozif ortamın konsantrasyonu ve gerilme yığılmaları tarafından belirlenen yerel bölgelerde başlar. Yapılan çalışmalar, çatlak başlangıcından önce küçük yerel plastik deformasyonların oluştuğunu göstermiştir. Çatlak ilerlemesi için, hem mekanik hemde korozyon etkisinin bulunması gerekir. İlerleyen bir çatlığa katodik koruma uygulanınca çatlak durmakta, katodik koruma kaldırılınca ilerlemeye devam etmektedir. Çekme gerilmesi, hem çekirdeklenme hemde çatlak ilerlemesi safhasında koruyucu filmin kırılması için önemlidir. Bu film siyah (tarnish) film (pirinçlerde), ince oksit film veya diğer pasif filmler olabilir.

İlerleyen bir çatlakta, çatlak ucundaki pasif filmin kırılması çatlığın metal içine doğru ilerlemesini sağlayacaktır. Tanelerarası çatlak ilerlemesi, tane sınırlarının daha anodik olduğu durumlarda ortaya çıkmaktadır.

Aslında çekme gerilmesinin yerel korozyonla birleşmesi olduğu halde GKÇ kırık yüzeyleri, gevrek mekanik kırık yüzeylerine benzer. Bazı nikel alaşımları, demir-krom alaşımları ve pirinçler gibi bazı alaşımlarda çatlak ilerlemesi, alaşım ortam çeşidine göre taneleriçi veya tanelerarasıdır.

3.1.1 GERİLMELİ KOROZYON ÇATLAMASI TEORİSİ

GKÇ mekanizmasını açıklamak için elektrokimyasal ve gerilme-sorpsiyon olmak üzere iki teori geliştirilmiştir.

3.1.1.1 ELEKTROKİMYASAL TEORİ

Elektrokimyasal teoriye göre, galvanik pil metal taneleri ile malzemedeki heterojenliklerin oluşturduğu anodik yörüngeler arasında oluşmaktadır. Bu heterojenlikler, alaşımlardaki segregasyonlar, değişik fazlar ve bileşim farklılığından oluşur. Korozyon ve uygulanan çekme gerilmesi sonucunda çatlak oluşur. Oluşan bu çatlak ucundaki koruyucu film çekme gerilmesi ile kırılır ve filmle kaplı olmayan anodik malzeme korozif ortamla temas eder ve çatlak malzeme içine doğru ilerler [2].

3.1.1.2 GERİLME-SORPSİYON TEORİSİ

Bu teoriye göre korozif ortamda bulunan bazı iyon grupları metal atomları arasındaki kohezif bağı zayıflatarak gerilmeli korozyon çatlamasına yol açmaktadır [2].

3.1.2 GKÇ'NİN GENEL ÖZELLİKLERİ

GKÇ karakteristiklerini elektrokimyasal, gerilme-sorpsiyon veya bunların özel tiplerinden sadece biriyle izah etmek oldukça zordur. GKÇ' da ortaya çıkan

genel özellikler şunlardır.

a) GKÇ bir metal veya alaşım için sadece belirli ortamlarda görülür.

b) Saf metaller GKÇ' ya daha az duyarlıdırlar.

c) Katodik koruma çatlak başlamasını önlemede ve ilerleyen çatlağın durdurulmasında etkilidir.

d) Alaşımın metalurjik özellikleri (faz sayısı, kristal yapısı), verilen bir ortamda alaşımın GKÇ duyarlılığını etkiler.

3.1.3 METALLERİN GKÇ'YE DUYARLILIĞI

Belirli şartlar altında GKÇ birçok metalde oluşturulabilir. Belirli bir ortamda verilen bir metalin GKÇ' ye duyarlılığı metalin yerel ve genel kimyasal bileşimine ve onun metalurjik yapısına bağlıdır. Paslanmaz çelikler bunun için iyi bir örnektir.

3.1.3.1 BİLEŞİMİN ETKİSİ

Alaşım elementleri malzemenin GKÇ' ye karşı duyarlılığını önemli ölçüde etkilemektedir. Genellikle iki ana alaşım elamanından başka çok düşük miktarda başka element içeren ikili alaşımlar GKÇ hasarına karşı daha duyarlıdır. Magnezyum klorür çözeltisinde, belirli miktarın altında azot içeren ostenitik paslanmaz çeliklerde GKÇ oluşmamakta bu miktarın üzerinde azot içerenlerde GKÇ oluşmaktadır. Bunlarda GKÇ tane içi olduğuna göre azot, ya kayma olayına veya koruyucu filmin stabilitesine etki etmektedir. Benzer etki başka alaşımlarda tanelerarası durumda da görülmüştür. GKÇ' nin tanelerarası ilerlediği durumda gayrisafiyet elementleri tane sınırlarına yerleşmekte ve aktiviteleri dolayısıyla tane sınırları anodik tutum kazanmaktadır.

3.1.3.2 METAL VEYA ALAŞIM YAPISININ ETKİSİ

İki fazlı pirinçlerde su içerisinde GKÇ oluşurken tek fazlı pirinçlerde GKÇ oluşmamaktadır. HMK yapıya sahip ferritik paslanmaz çelikler sulu klor çözeltiğinde GKÇ' ye karşı YMK ostenitik paslanmaz çeliklerden daha dirençlidirler. 7075 Al-alaşımları, gerilme haddeme doğrultusunda uygulanırsa GKÇ' ye karşı dirençli, gerilme haddeme doğrultusuna dik olursa daha az dirençlidir.

3.1.4 ÇATLAK İLERLEME YÖRÜNGELERİ

Yüksek dayanımlı Al-alaşımlarında GKÇ genellikle tanelerarasıdır. Soğuk şekil değiştirmiş paslanmaz çeliklerde eğer uygun bir ısıtma işlemi uygulanmış ise çatlak taneleriçi ilerler. Martenzitik paslanmaz çeliklerde ise ısıtma işlemi uygulanmış ise tanelerarasıdır.

Ancak bazı metal ve alaşımlarda gerilmeli korozyon çatlak ilerleme yörüngesi metalin yapısı veya bileşimine bağlı olmayıp ortamdan etkilenmektedir. Örneğin pirinçlerde çatlak ilerlemesi ortamın pH değerine bağlı olarak tanelerarası veya taneleriçi olabilir.

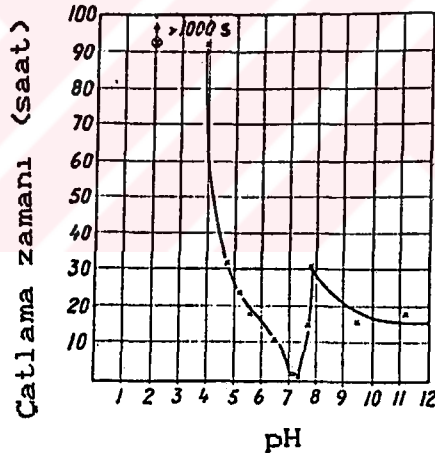
3.1.5 GKÇ'DA GERİLME ETKİSİ

Gerilmeli korozyon çatlaması parçada çekme gerilmesinin olduğu durumlarda ortaya çıkar. Bu gerilme artık iç gerilme veya uygulanan dış gerilme olabilir. Parçada basma gerilmesi varsa GKÇ oluşmaz. Haddelenmiş Al-7075 alaşımlarında gerilmenin haddeme doğrultusunda veya buna dik doğrultuda olması GKÇ duyarlılığını etkiler. GKÇ' ya yol açan en küçük gerilme değerine eşik gerilme denir. Eşik gerilme değeri ortamın sıcaklığından, alaşımın bileşiminden ve metalurjik yapısından etkilenir [2].

3.1.6 BAKIR VE ALAŞIMLARINDA GKÇ

Bakır-çinko alaşımlarının gerilmeli korozyon çatlaması üzerinde yapılan çalışmalar diğer alaşımlara nazaran oldukça fazladır. Bakır ve alaşımlarının GKÇ hasarında amonyum iyonu içeren ortamlar oldukça geniş yer tutmaktadır. Oksijen ve karbondioksit amonyaklı atmosfer de GKÇ' yı hızlandırmaktadır.

Nemli atmosferde aminler de GKÇ' ye yol açmaktadır. Kükürt dioksit ve azot oksitli ortamlarda GKÇ' ye yol açmaktadır. Şekil 3.1' de çatlama zamanının pH değerine göre değişimi verilmiştir pH=7.3 değerinde çatlak zamanı minimumdur.



Şekil 3.1 Çatlak oluşumunun pH değeri ile değişimi. (62,8Cu-37,2Zn çözelti 1g mol/l NH_3 , 0,05 g mol/l) [3].

Arsenik, fosfor, antimon ve silikonun alaşım elementi olarak az miktarda bulunduğu durumlarda GKÇ direnci artar. Zn miktarı %15' den az olan pirinçler genellikle GKÇ' ye karşı oldukça dirençlidir. Zn miktarı %40' a kadar arttıkça GKÇ' ye duyarlılık artar. %5-10 Al ve %3,5' e kadar Fe içeren Alüminyum bronzlarında GKÇ ye karşı duyarlıdır [3].

3.2. PİRİNÇTE GERİLMELİ KOROZYON ÇATLAMASI MEKANİZMALARI

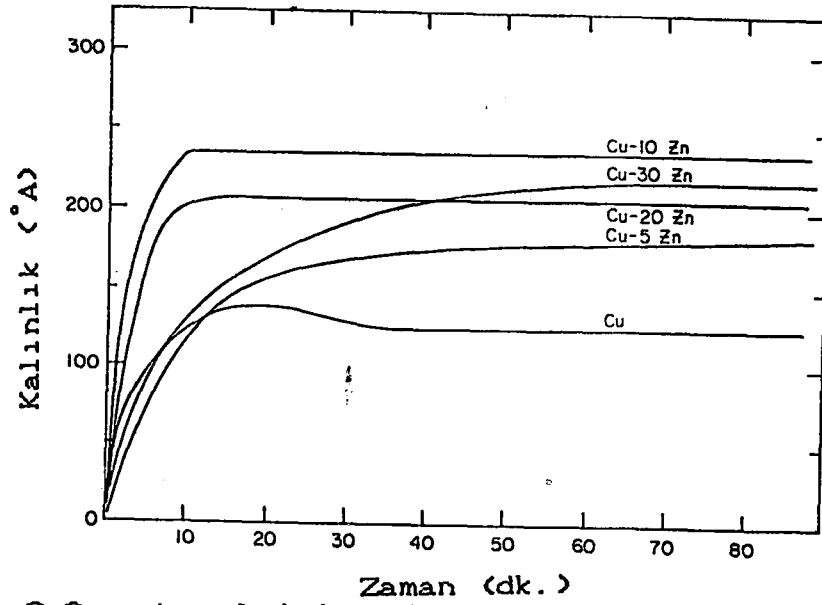
3.2.1. α -PİRİNÇLERİNİN AMONYAKLI ORTAMLARDA HASAR KARAKTERİSTİKLERİ

Amonyaklı korozif ortamlarının etkisi, deney parçası üzerinde siyah bir tabaka oluşturan (tarnishing) ve oluşturmayan (non-tarnishing) olmak üzere ikiye ayrılır. Siyah film oluşturmayan çözeltilerde alaşımın çinko miktarına bağlı olarak gerilmeli korozyon çatlaması (GKÇ) tanelerarası veya taneleriçi olabilir. Siyah film oluşturan çözeltilerde çatlak ilerlemesi çinko miktarından bağımsız olarak tanelerarası ilerlemektedir. Ancak soğuk şekil değişiminin fazla olduğu durumlarda hasar taneleriçi olmaktadır. Soğuk şekil değiştirmiş parçalarda kırık yüzeyinde görüntü olarak yorulma çatlağındakine benzer paralel çizgiler meydana gelmektedir [4].

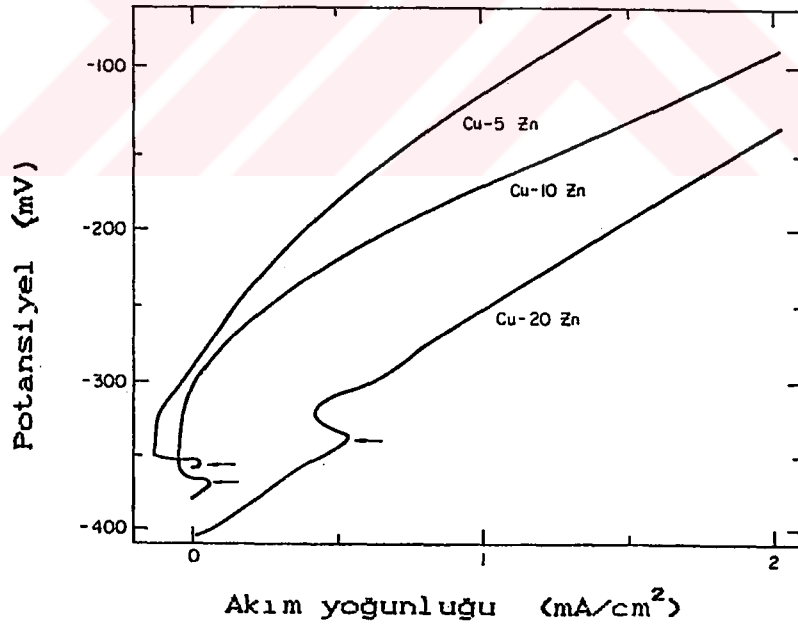
3.2.2. SİSTEMİN KİMYASAL İNCELEMESİ

Yüzeydeki siyah film tabakası, potansiyostatik deneylerde belirli bir kritik anodik akımda veya açık devre durumunda $\text{Cu}(\text{NH}_3)_n^{2+}$ iyonlarının belirli bir konsantrasyonunda oluşur. Bu tabakanın oluşumu üç aşamada gerçekleşir.

- a) İnce bir Cu_2O koruyucu filminin oluşması.
- b) İnce filmin yerel olarak kırılarak hızlı anodik çözülmeye yol açması ile kalın ve geçirgen Cu_2O tabakasının oluşması.
- c) Dış kısımda CuO oluşumu.



Sekil 3.2 1 g/l bakır içeren 1N sulu NH₃ çözeltisine batırılan parçalar üzerindeki film kalınlığının zamanla değişimi [4].

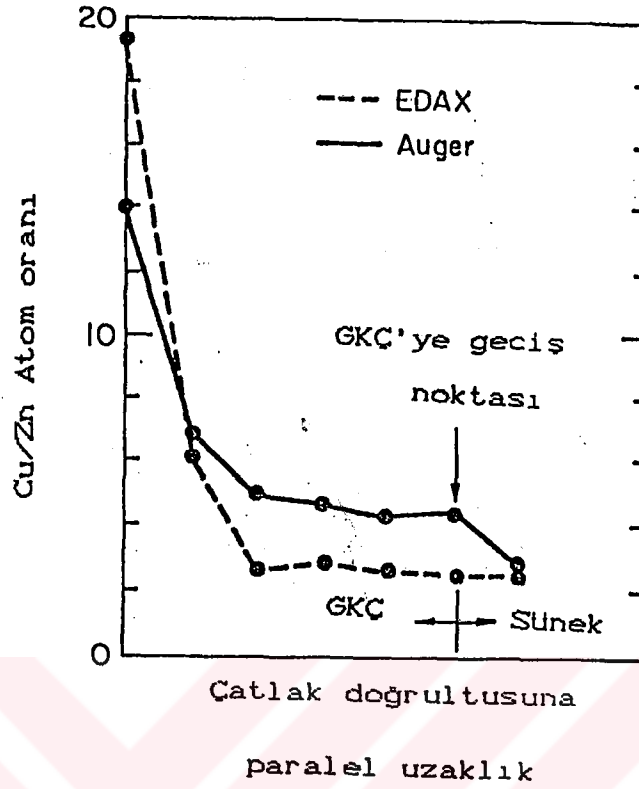


Sekil 3.3 0.5 g/l bakır içeren 1N sulu NH₃ çözeltisinde anodik polarizasyon eğrisi [4].

Sekil 3.3 ' anodik polarizasyon eğrisini göstermektedir. Akım yoğunluğunun artması film tabakasının kırılmasından dolayıdır. Film kırılma hızı Zn miktarı ile artmaktadır. Pinchback, Clough ve Heldt [5] Cu-30Zn üzerinde yaptıkları deneyler siyah film oluşumu ve bunun GKÇ ile ilişkisi hakkında önemli sonuçlar ortaya koymuştur. Bu deneyde tanelerarası GKÇ içeren numuneler çözeltiden çıkarılmış ve havada eğilerek kırılmıştır. Kırık yüzeyi optik mikroskop ile incelendiğinde sünek bölgelerin çinko renginde olduğu gerilmeli korozyon çatlağı yüzeyinin bakır renginden koyu sarı ve sarı-siyah karışımı renge doğru değiştiği ve çatlak ucundan uzaklaştıkça siyahlaştığı görülmüştür. Siyah kısım deney parçasının dış yüzeyindeki kalın tabakanın (tarnish) karakteristiğidir.

Sekil 3.4 ' de Cu/Zn atom oranı çatlak ucundan uzaklığa göre çizilmiştir. EDAX (Energy Dispersive x-ray Analysis) ölçümü sürekli filmle kaplı bölgede Cu/Zn oranında büyük bir artış olduğunu göstermektedir. Kristal çökeltinin olduğu bölgede bu oran azalarak alaşımdaki değerine yaklaşmıştır. Bu durum çatlak ucuna kadar devam etmekte ve sünek kırılma yüzeyine geçmektedir. AES (Auger Elektron Spektroskopi) verileri de filmle kaplı bölgede Cu/Zn oranlarının büyük olduğunu göstermiştir. Bu oran çatlak ucuna yaklaşıldıkça azalır ancak sünek kırılma yüzeyine ulaşana kadar normal alaşım oranının üzerinde bir değerdedir.

Bu çalışmaya dayanarak Pinchback ve arkadaşları, GKÇ yüzeyinde çatlak ucuna yakın yerde oksit filminin oluştuğunu ve bu oksit filminin, AES ile saptanacak kalınlıkta, fakat EDAX' la tesbit edilemeyecek kadar ince olduğunu göstermiştir.



Sekil 3.4 Kırık yüzeyinde EDAX ve AES analiz sonuçları [4].

Çatlak ucundan uzak kısımlarda kristal çökeltinin oluşması ince oksit tabakasının kırılması sonucu ortaya çıkmakta, dolayısıyla sürekli oksit tabakası, çökelmiş tabakanın oluşmasına yardım etmektedir. Bu da daha önce açıklanan (1) ve (2) adımlarının oluşumunu açıklamaktadır. Deney parçasında kısmi olarak GKÇ oluşturduktan sonra (tarnishing) çözelti içinde hızlı olarak kırılırsa kırık yüzeyi sarı renk, sünek bölge siyah oksit tabakası ile kaplanır. %45 lik HNO_3 ile dağlanıp, deney çözeltisine tekrar daldırılınca kırık yüzeyi Uniform olarak siyah renge döner. Bu çalışmaya dayanarak Tromans ve arkadaşları [6], siyah lekelenme (tarnish) kinetiğinin gerilmeli korozyon kırık yüzeyinde daha yavaş olduğunu ileri sürmüşlerdir. Procter ve Stevens [7] GKÇ tarafından açığa çıkarılan yüzeyin siyah film oluşumuna karşı dirençli olduğunu ve bununda çatlak

oluşumu sırasında çatlak ucundaki çinkosuzlaşma sonucu ileri geldiğini öne sürmüşlerdir. Cheng' in [4], koruyucu filmin kırılma hızının çinko miktarı arttıkça arttığına ilişkin gözlemi ve α -pirincinde tanelerarası GKÇ' nin çinkosuzlaşmayı da içerdiğini gösteren deneysel bulgularla uyushmaktadır. Elipsometrik ve elektriksel iletkenlik deney sonuçlarına göre; Roberts, Booker ve Salim [8], PH=7.2 olan Mattson çözeltisinde bakır ve Cu-Zn alaşımları üzerinde siyah filmin oluştuğunu ve bunların boşluklar ve delikler ihtiva ettiğini ileri sürmüşlerdir. Bu filmin elektrik iletkenliğinin ısıt oksidasyonla oluşan Cu_2O iletkenliğinden 10 veya 100 defa daha büyük olduğunu göstermişlerdir.

Bakır ve alaşım elamanları metal ve geçirgen siyah film tabakası ara yüzeyinden çözelti içine girer. Alaşım elemanları gözeneklerden geçerek çözelti içinde iyon halinde kalırken bakır iyonları Cu_2O olarak çökelir. Parçanın uzun süre "tarnishing" çözeltide bırakılması dış tabakanın oluşmasına neden olur. X ışınları difraksiyonu bunun CuO olduğunu göstermiştir. Bu tabakanın kalınlığı çözeltide kalma zamanı ile artmaktadır. CuO tabakasının oluşumu Cu_2O ' in oksidasyonu ile oluşmaktadır.

3.2.3. HASAR MEKANİZMALARI

1. $\%Zn < 18$ ve parça yüzeyinde siyah film oluşturmeyen (non-tarnishing) çözeltiilerde tanelerarası GKÇ.
2. $\%Zn > 18$ ve parça yüzeyinde siyah film oluşturmeyen (non-tarnishing) çözeltiilerde taneleriçi GKÇ.
3. Parça yüzeyinde siyah film oluşturan (tarnishing) çözeltiilerde ve parça tavlanmış durumda tanelerarası GKÇ.
4. Parça yüzeyinde siyah film oluşturan (tarnishing) çözeltiilerde ve aşırı soğuk şekil değiştirmiş Cu-30Zn' da taneleriçi GKÇ.

3.2.4. TAVLANMIŞ α -PİRİNÇLERİNDE TANELERARASI GKÇ

Bu bölümde (3)' de bahsedilen durum açıklanacaktır. Siyah tabakanın çatlak ucuna kadar ilerlemediği, çatlak ucunda siyah film (tarnish) yerine koruyucu bir film olduğu Pincback [5] tarafından ileri sürülmüştür. Bu durumda tanelerarası GKÇ için Champion-logan film parçalanma modeli daha geçerlidir [4].

Bu modelde; uygulanan gerilme nedeniyle hareket eden dislokasyonların meydana getirdikleri kayma bantları pasif filmin sürekliliğini bozar. Burada yerel anodik çözünme ile korozyonun yerel olarak gelişmesiyle bir çukurcuk oluşur. Bu çukurcukun ucunda çentik etkisiyle gerilme yığılması dolayısıyla plastik şekil değiştirmiş bir bölge meydana gelecektir. Yeniden oluşmuş olan pasif film de çukurcuk ucunda tekrar parçalanır. Çukurcukun yanakları pasif filmle kaplı olduğu için katot, plastik deformasyona uğramış ucu ise anot olarak davranacak ve hızla çözünecektir. Böylece çukurcuk büyüyüp keskinleşecek ve çatlak haline dönüşecektir. Plastik şekil değişimi ve kütleleşme nedeniyle gerilme yığılmasının azalmasına karşılık, korozyon sonucu çatlak uzunluğunun artması ve çatlak ucunun keskinleşmesi nedeniyle tekrar artarak etkinlik kazanacaktır. Olay kısaca plastik deformasyonun çatlak ucunda filmle kaplı olmayan metal yüzeyini açığa çıkarması ve yerel anodik çözünme sonucu çatlağın ilerlemesi olarak özetlenebilir.

Çatlak ucunda hızlı anodik çözünmenin olabilmesi için potansiyel yeterince büyük olmalı ancak pasifleşmeye yol açacak kadarda yüksek olmamalıdır. Bu da ancak bazı özel ortamlarda gerçekleştirilebilmektedir. Pirincin tanelerarası çatlamasının sadece sulu NH_3 veya belirli çözeltilerde oluşmasında bununla açıklanmaktadır [4].

α -Pirinçlerinde GKÇ duyarlılığına etkiyen önemli bir karakteristik de alaşımın çinko içeriğidir. 8g/l bakır

içeren 15N (tarnishing) çözeltide çinko içeriği % 5-10-20 ve 30 olan alaşımların hasar süreleri sırasıyla 3400,350, 200 ve 90sn dir. Film kırılma modelini dikkate alırsak çinko iki bakımdan etki edebilir. Bunlar filmin kırıldığı yerde metalin anodik olarak çözünmesi ve yeniden pasifleşmedir.

Yavaş genleme hızlı deneylerde çatlak ucunda devamlı filmsiz yüzey oluşturulurken, sabit yükleme deneylerinde bu yüzeyler oluşamamaktadır. Çatlak ucundaki filmin kırılması ve yeniden oluşması sadece elektrokimyasal şartlara bağlı olmayıp aynı zamanda plastik genleme hızına da bağlıdır. Eğer plastik genleme hızı büyük ise sünek çatlak ilerlemesi GKÇ ilerlemesinden daha hızlı olur. Eğer yavaş olursa pasifleşme meydana gelir. Sabit yük deneylerinde çatlak ilerlemesi sadece çatlak ucundaki birim şekil değişimi hızının, minimum hızı aştığı durumlarda ortaya çıkar. Tane sınırlarının yapısı, tane sınırlarının yeniden pasifleşme kinetiğinin taneye göre daha yavaş olmasına neden olmakta ve çatlağın tanelerarasından ilerlemesine yol açmaktadır. Dolayısıyla daha önceden ileri sürülen kalın siyah film tabakasının tane sınırlarına doğru ilerlediği ve bu nedenle çatlak ilerlemesinin tane sınırları boyunca olduğu fikri ikinci plana düşmüştür. Ancak burada çatlak oluşum zamanı dikkate alınmamıştır. Dolayısıyla film tabakasının tane sınırlarına doğru ilerlemesi belki de çatlak oluşumunda çok önemli rol oynamaktadır.

3.2.5. α -PİRİNÇLERİNDE TANELERİÇİ GKÇ

Parça yüzeyinde siyah filmin oluşmadığı (non-tarnishing) çözeltielerde çatlak gerilmeye maruz deney parçasının hızlı anodik çözünmeye maruz kaldığı durumlarda ortaya çıkmaktadır. Açık devre deneylerinde, yeterli hızlı çözünmenin oluşabilmesi için Cu^{+2} iyonlarının ortamda bulunması gerekir. Potansiyostatik

deneylerde bu iyonların olmadığı durumlarda da çatlak aynı mekanizma ile oluşmaktadır. Hasar çatlak ucundaki anodik çözünme sonucu ortaya çıkmakta ve koruyucu yüzey filminin olmaması nedeniyle film parçalanma modeli ile izah edilememektedir. Elektron mikroskopu ile yapılan çalışmalar taneleriçi kırılma yüzeylerinin görünüş olarak ayrılma kırılmasına benzediğini göstermektedir. Taneleriçi kırılmanın gerilmeler etkisiyle oluşan bir gevrek kırılmayla olduğu düşünülürse bu durumda gevrekliği oluşturan sebepleri araştırmak gerekir. Bunun oluşumuda aşağıdaki modellerle açıklanmaktadır [4],

a) ADSORPSİYON MODELİ

Bu modele göre çatlak ucundaki birim şekil değişimine uğramış bağlar, iyon gruplarının buraya girerek bağ dayanımını düşürmesi sonucu gevrek kırılmaya neden olmaktadır. Bunların da bakır veya diğer ağır metallerin amonyum kompleksleri olduğu Uhlig, Gupta ve Liang [4] tarafından ileri sürülmüştür. Dolayısıyla burada bakır esaslı iyonlar olaya katılmakta amonyum molekülleri veya amonyum iyonları kritik iyonlar olup, bakır komplekslerinin sadece korozyon potansiyelini GKC için gerekli potansiyel üzerine çıkarmaktadırlar. Oluşan anodik polarizasyon da çatlama neden olmaktadır.

b) HİDROJEN KIRILGANLIĞI

Ayrılma kırılmasıyla oluşan diğer kırık yüzeyleri ile karşılaştırma yapıldığında taneleriçi kırılmanın hidrojen kırılğanlığından oluştuğu ileri sürülebilir. Ancak burada herhangi bir hidrojen kaynağı bulunmamaktadır. Anodik çözünmenin artışı ile çatlak hızının arttığı gözönüne alınarak



olarak anodik reaksiyonun hidrojen açığa çıkardığı iddia

edilebilir. Ancak çözünme veya çatlama esnasında hidrojen tesbit edilememiştir.

c) ÇINKOSUZLAŞMA

Çinkosuzlaşmanın çatlak ucunda gevrek bir bölge oluşturduğu ve bununda sürekli olmayan gevrek kırılmaya yol açtığı Forty [4] tarafından ileri sürülmüştür.

3.2.6. α/β PİRİNÇLERİNDE GKÇ MEKANİZMASI

Hintz, Nettleton ve Heldt [9] α/β pirinçlerinde GKÇ mekanizmasını açıklamak için Cu-42Zn pirinci üzerinde sabit çekme hızlarında değişik ortamlarda deneyler yapmışlardır. Bu deneyleri damıtılmış su ve değişik PH değerlerinde 1N Na_2SO_4 çözeltisinde yapmışlardır. Deney sonuçlarının kısaca bir özetini açıkladıktan sonra GKÇ mekanizmasını hangi modele dayandırdıklarını inceleyelim. Deneyde;

a) Süneklik kaybının olduğu PH/potansiyel rejimlerde, tanelerarası β ayrılması, $\alpha-\beta$ fazlararası ayrılma ve taneleriçi β çatlağı görülmüştür. Bir çatlak boyunca kısa bir mesafede her üç türünde bulunduğu saptanmıştır.

b) Süneklik kaybı, kırık yüzeyi görünüşü ve hasar zamanı için PH 6.2 ± 0.2 olan damıtılmış su ve aynı PH değerine sahip 1N Na_2SO_4 çözeltisinde yapılan yavaş genleme hızlı deneylerde aynı değerler elde edilmiştir. Na_2SO_4 ilavesi çözeltinin iletkenliğini artırması ve Cu ve Zn' nun çözünabilirliğini artırmasına rağmen, Na^+ ve SO_4^{2-} iyonlarının ortama ilavesi GKÇ davranışı üzerinde çok az etki etmiştir.

c) Genel açık devre şartları altında; maksimum süreklilik kaybının olduğu rejim içerisinde test edilen numunelerde genel korozyif etki veya herhangi bir görülebilir film oluşumu meydana gelmemiştir. Parça yüzeyinde film oluşumu deneydeki PH aralığının üst değerinde GKÇ duyarlılığının azalmasıyla açığa çıkmıştır.

d) 1N Na_2SO_4 PH=8 çözeltisinde potansiyostatik şartlarda, potansiyel, numunenin genel anodik çözünmeye uğradığı ve çatlağın oluştuğu değere yükselmiş ancak çatlak yapısında herhangi bir değişiklik olmamıştır. Potansiyelin düşürülmesi de çatlak ilerlemesini durdurmuştur Hintz, Nettleton ve Heldt [9] yukarıdaki deney sonuçlarından elde edilen gözlemlere dayanarak α - β pirincinde;

a) Hidrojen gevrekliği

b) Yerel anodik çözünme

c) Gevrek özelliğe sahip film oluşması

d) Adsorpsiyon

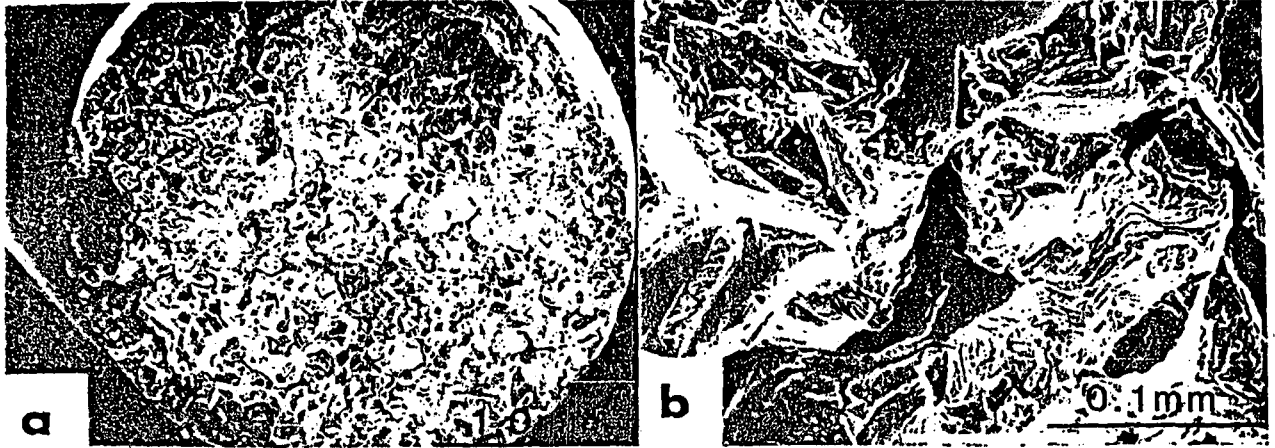
modellerine dayanan taneleriçi GKÇ modeli üzerinde aşağıdaki açıklamaları yapmışlardır.

a)Hidrojen gevrekliği: Bu modele göre korozyon sırasında katodik reaksiyon sonucu oluşan hidrojen atomlarının bir kısmı molekül oluşturmadan önce atom halinde metale absorbe olarak metaldeki çatlak uçlarına doğru yayınırlar. Tercihen yayındıkları yer, çatlak ucunda gerilme nedeniyle oluşan plastik bölgenin sınırıdır. Bunun nedeni, bu sınırdaki hidrostatik çekme gerilmesinin en yüksek oluşudur. Burada hidrojen miktarı çatlamaya neden olan kritik bir konsantrasyona ulaştığında çatlama olur ve meydana gelen çatlak, esas çatlakla birleşerek çatlak uzunluğunda artmaya neden olur. Ancak bakır alaşımlarında hidrojen gevrekliğinin oluşumu ile direkt bir bağlantı yoktur.

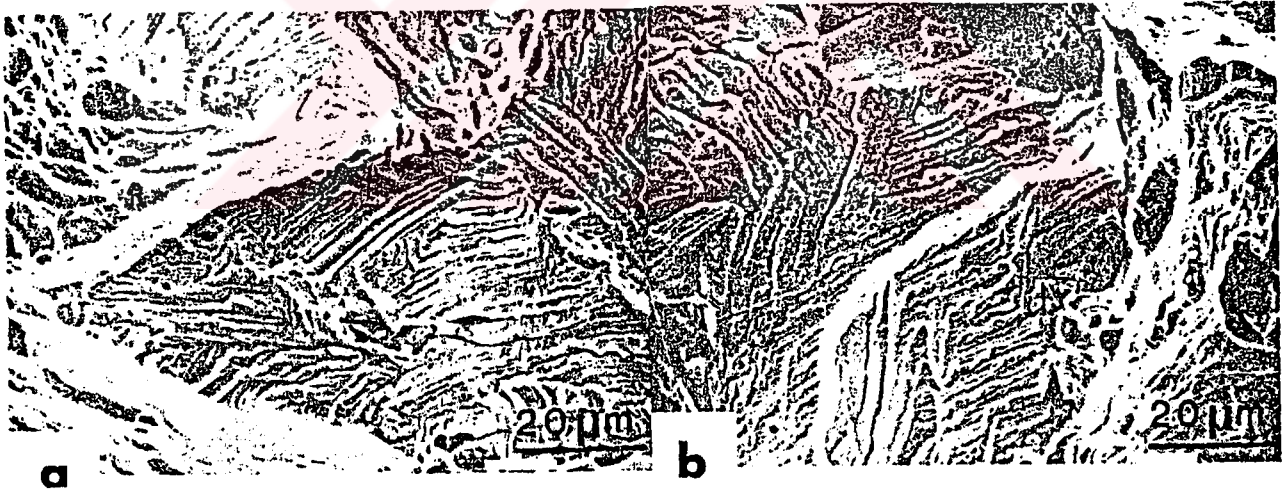
b) Yerel anodik çözünme: Çatlak ucundaki anodik çözülme GKÇ' yi izahta kullanılan mekanizmalardan biridir. Bu modelde çatlak ucu ani olarak çözünmekte çatlak kenarında ise çok az veya hiçbir çözünme olmamaktadır. Bir çok araştırmacı yerel çözünmenin, pasif film oluşumu ve bu filmin çatlak ucunda kayma

düzlemlerinde kırılması, yerel çözünme ve kısmen veya tamamen yeniden pasifleşme oluşumunun bir tekrarı olarak açıklamıştır. Ancak GKÇ davranışını direkt olarak çözünme işlemi ile izah etmekte bazı zorluklar oluşmaktadır.

Sekil 3.5 ve 3.6 ' de β -fazında oluşan taneleriçi gerilmeli korozyon çatlakları görülmektedir. α -fazında taneleriçi GKÇ'ı çözünme işlemi ile bağdaştırmak oldukça güçtür. Ayrıca pasif veya çok daha az aktif olan çatlak duvarına sahip ve aktif olarak çözünen çatlak ucu için çatlak ilerleme hızı elektrolit iletkenliğinden etkilenecektir. Daha az iletkenliğe sahip çözeltide daha yavaş oluşacaktır. Hintz ve arkadaşlarının çalışmasında saf suyun iletkenliği 1N Na_2SO_4 'ın iletkenliğinden 7 kat daha azdır. Cu ve Zn'nin saf sudaki çözünürlüğü Na_2SO_4 'dekinden 30 kat daha azdır. Çatlak ucundaki çok küçük miktardaki çözeltiyi düşünecek olursak bunun çözünme davranışını etkilemesi gerektiğini bekleriz. Yukarıdaki açıklamalardan, eğer çatlama olayı anodik çözünme ile kontrol ediliyorsa 1N Na_2SO_4 'ın arıtılmış sudan daha fazla etkin bir GKÇ ortamı olması sonucu ortaya çıkar. Ancak Hintz ve arkadaşlarının yaptıkları deneylerde bu gözlenmemiştir. $\alpha+\beta$ alaşımının iki ortamdaki açık devre GKÇ davranışı aslında birbirinin aynıdır. Ancak sabit uzama hızlı GKÇ deneylerinde süreklilik kaybı deney süresine bağlıdır. Bu süre de çatlak ilerlemesi kadar, çatlak başlangıç süresini de içine almaktadır. α -Pirinçlerinin GKÇ için çatlak oluşum süresinin çatlak



Sekil 3.5 Arıtılmış suda (pH 6.2) GKC oluşan parçaların elektron mikroskopunda görünüşü. (a) Taneleriçi kırığın genel görünüşü (b) Fazlararası ve taneleriçi çatlak (c) ve (d) fazlararası ve ayrılma kırılması görünüşlü alanın daha büyük büyültme oranında görünüşü [9].



Sekil 3.6 1N Na_2SO_4 (pH 8.0) çözeltisinde kırık yüzeyinin görünüşü. [9].

ilerleme süresinden çok daha fazla olduğu Ranjan ve Buck [38] tarafından ileri sürülmüştür. Dolayısıyla sabit uzama hızlı deneylerde süneklik kaybının ölçümü, çatlak ilerleme hızındaki değişikliğe duyarlı olmayabilir.

c) Gevrek özellikli yüzey filminin oluşumu: Hintz ve arkadaşlarının çalışmasında maksimum süneklik kaybının olduğu PH/potansiyel rejiminde herhangi bir görülebilir film oluşmazken ince saydam bir filmin oluştuğu ileri sürülmüştür. Paskin ve arkadaşları [10], sünek malzeme üzerindeki ince filmin ayrılma çatlağı başlangıcı olarak çalıştığını göstermişlerdir. Çatlak başladıktan sonra çatlak ucunda kütleleşme veya çatlak durması oluşmadan önce malzeme içine doğru ilerlemektedir. Paskin ve arkadaşlarının modelinde film-alt tabaka ara yüzeyi birbirine yapışkan olup filmin kafes parametresi alt yüzeyinkinden daha azdır. Newman ve Sieradzki [11], eğer film gevrek özelliğe sahipse, kafes parametresinden bağımsız olarak α -pirinci ve bakır için geçerli olduğunu belirtmişlerdir. Filmin çinkosuzlaşmış bir tabaka içerdiği Edleau ve Forty [12] tarafından ileri sürülmüştür. Auger spektrometrik çalışmalarında bir çok durumda GKÇ'da çatlak ucunda çinkosuzlaşmanın oluşmadığı görülmüştür. Genellikle çinkosuzlaşma çatlak ucundan $10 \div 20 \mu m$ geride oluşmaktadır. Bu çalışmalarda ayrıca, bütün durumlarda çatlak ucunda oksijenin yoğunlaşmış olduğunu göstermiştir. Böylece pirinçlerin GKÇ'ında çatlak ucunda alaşımsızlaşma oluşmazken oksijenin bazı roller oynadığı açığa çıkmıştır. Metal yüzeyindeki oksijen yüzeye yakın bölgedeki kafes parametresini artıracaktır. Böylece film elastik olarak kuvvetli, hem de gevrek olacaktır. Bu karakteristikler filmi oluşturan Cu, Zn, O için normal olarak öngörülmemektedir.

Daha önce yapılan analitik yüzey çalışmaları ortalama film kalınlığının 10 μm veya daha az olduğunu göstermekle beraber, çatlak ucundaki film kalınlığı hakkında herhangi bir kesin bilgi bulunmamakta ve filmin mekanik özellikleri hakkında ise çok az bilgi mevcut bulunmaktadır. Birley ve Tromans [13] Cu_2O filminin tek kristal α -pirincinde plastik akış üzerine etkisini araştırmışlar ve filmin zayıf ve yüzey dislokasyon davranışlarının etkisine karşı yetersiz olduklarını ileri sürmüşlerdir. Cu ve Cu-Zn alaşımlarının GKÇ' da çatlak ucunda oksijen zengin filmin olduğu bilinmekle beraber, çatlak prosesinde bu filmin rolünün ne olduğu olduğu kesin izah edilememiştir.

d) Adsorpsiyon: Uhlig ve arkadaşları [9] çatlak ucunda adsorbe edilmiş iyon türlerinin atomlararası bağı zayıflatığı böylece azalan gerilme seviyesinde gevrek kırılmanın olduğunu söylemişlerdir.

Lynch [14] adsorbe edilen iyon türlerinin çatlak ucu yakınında dislokasyon davranışını değiştirerek çatlamaya neden olduğunu belirtmiştir. Adsorpsiyon kristalografik yönlenmeye bağlı olarak belirli özel yerlerde oluşmaktadır. Çatlak hızı çözelti iletkenliğinden bağımsızdır. Bu türlerin neler olduğu kesin olarak bilinmemekle beraber bunların malzemenin ortam ile reaksiyonu sonucu olduğu ileri sürülmektedir. Cu-42Zn $\alpha+\beta$ pirincinin arıtılmış su ve Na_2SO_4 çözeltisinde değişik koşullardaki GKÇ duyarlılığı için yapılan çalışmalar [9] sonucu elde edilen elektrokimyasal davranışlar ve metalografik incelemeler, GKÇ davranışının α -fazlı pirince benzer olduğunu ve yukarıdaki açıklamalar ışığı altında da gözlenen davranışların adsorpsiyon modeline uyduğunu göstermiştir.

BÖLÜM 4

MALZEMELERİN GERİLMELİ KOROZYON ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ İÇİN DENEY YÖNTEMLERİ

4.1 GERİLMELİ KOROZYON ÇATLAMASI DUYARLILIĞINI SAPTAMADA KULLANILAN YÖNTEMLER

Gerilmeli korozyon deneylerini amaçları bakımından, akademik ve endüstriyel olmak üzere iki ana gruba ayırabiliriz. Endüstriyel deneylerin ana amacı bir alaşımın veya ürünün çalışma ömrünün tesbiti veya rizikosunun tahminidir. Akademik deneylerin amacı, endüstriyel amaçlar için daha uygun deney metotlarının seçilmesini sağlayacak gerilmeli korozyon mekanizmalarının anlaşılmasını sağlamaktır.

Bununla birlikte bütün gerilmeli korozyon deneylerinin uzun dönemde amacı, belirli bir çalışma ortamında, bir alaşımın çalışma ömrünün tayinidir [15].

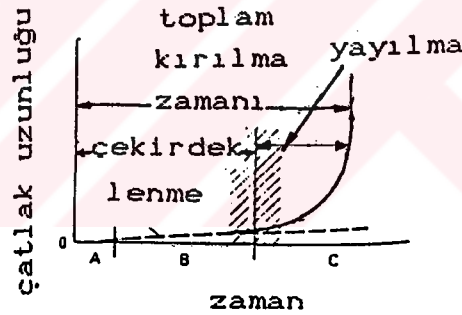
4.2 HIZLANDIRILMIŞ GERİLMELİ KOROZYON ÇATLAMASI DENEYLERİ

Gerilmeli korozyon çatlağı (GKÇ) ile son 40 yıldır ilgilenilmektedir. Son 20 yıl içinde gerilmeli korozyon mekanizmasını anlamada ve gerilmeli korozyon deney metotlarında önemli gelişmeler olmuştur. 50'li ve 60'lı yıllarda endüstriyel GKÇ problemlerinin artması üzerine bu konudaki araştırmalar ve deney metotları üzerindeki çalışmalar yoğunlaştırılmıştır. 1965' den önce GKÇ oluşumu için, düz ve çentikli parçalarda sabit yük ve sabit genleme deneyleri uygulanmaktaydı. 60'lı yıllardan sonra değişik mekanik yaklaşımlara dayalı iki

hızlandırılmış deney tekniği ortaya çıktı. Bunlardan birincisi lineer elastik kırılma mekaniği'ni kullanan ve mekanik olarak önceden çatlatılmış deney parçasına yükü statik olarak yükleyen deney tekniği, ikincisi sabit genleme hızlı deney tekniğidir. İkincisinde düz veya önceden çatlatılmış deney parçaları kullanılır.

Diğer deney yöntemleri laboratuvar şartlarında GKÇ oluşturamazken , bu yöntemlerle yapılan deneyler genellikle GKÇ oluşturmaktadırlar.

Gerilmeli korozyon çatlağı çekirdeklenme ve yayılma olmak üzere iki safhada ele alınır. Şekil 4.1. 'de görüldüğü gibi bu iki mikroses arasında tam sınır bulunmayan tedrici bir geçiş vardır. Deney metotlarının seçiminde çatlak ilerlemesi kadar çekirdeklenmeyi inceleyen deneylerde dikkate alınmalıdır.



Şekil 4.1. GKÇ' da çatlak başlangıcı ve çatlak ilerlemesi.

- A: Oksit filminin yerel olarak kırılması
- B: Yerel gerilme yığılması ve GKÇ çekirdeklenmesi
- C: İki veya üç kademedeki çatlak ilerlemesi

4.3. STATİK YÜKLEME

Tablo 4.1'de çalışma şartlarında ortaya çıkan ve GKÇ'ye yol açan değişik gerilme kaynakları açıklanmıştır.

Tablo 4.1. çalışma şartlarında ortaya çıkan gerilme kaynakları

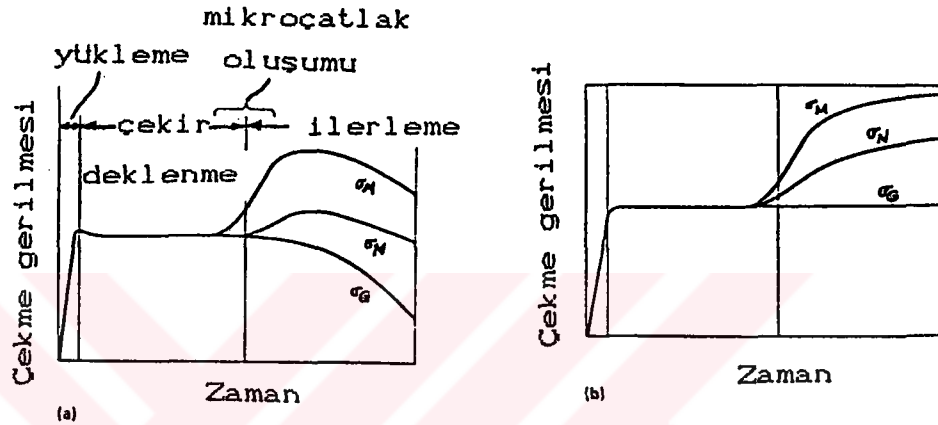
Gerilme kaynağı	Sabit genleme	Sabit yük
Artık gerilme		
Su verme	X	
P.S. verme	X	
Kaynak	X	
Montaj hatası	X	
Hidrolik basınç	X	
Ölü ağırlık		X

4.3.1 SABİT GENLEME VE SABİT YÜK İLE GERİLME UYGULAMA

Kolayca uygulanabilir olması, pahalı aparat gerektirmemesi nedeniyle sabit genleme deneyleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Gerilme seviyesinin yeniden elde edilmesi zorluğu bu deneylerin başlıca sakıncalarıdır [15].

Sabit genleme deneyleri genellikle azalan yük deneyleri olarak adlandırılırlar. Çünkü bu deney

parçalarında GKC oluştuktan sonra kesit alanında oluşan gerilme ve ortalama gerilme azalmaktadır. Bunun nedeni, çatlak ucunda yoğunlaşmış olan yüksek gerilmenin çatlak açmasına yani elastik genlemenin plastik genlemeye dönüşmesine dolayısıyla yükün azalmasına yol açmaktadır. Çatlak ilerlemesi sırasında oluşan bu durum şekil 4.2. de gösterilmiştir.



Şekil 4.2 Çatlak başlangıç ve ilerleme safhasında gerilmedeki değişim. (a: sabit genleme, b: sabit yük, σ_M : çatlak ucundaki maksimum gerilme, σ_N : kesitteki nominal gerilme, σ_a : kesit alanındaki uygulanan gerilme)

Şekil 4.2a ve 4.2b'deki gerilme şekilleri incelense sabit-genleme ve sabit-yük deneylerinin hiçbirinde makro çatlak oluşumundan sonra sabit gerilme sağlanamaz.

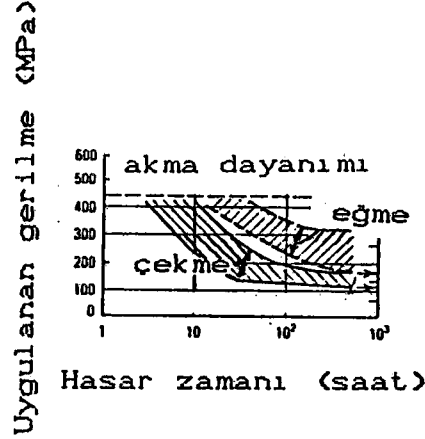
Gerçek sabit-yük (ölü-yük) deneyleri tamamen kırılmayla son bulan erken hasarlara yol açarlar. Sabit-genleme deneylerinden daha düşük bir eşik gerilme değeri elde edilir. Şekil 4.2a ve 4.2b' deki gerilme diyagramı genellikle önceden çatlatılmış numunelerde dahil olmak üzere bütün deney numunelerine uygulanabilir.

Ancak eğrinin genel durumu deney koşullarına göre değişebilir. Eğer belirli bir deney prosedürü kullanılmıyorsa kullanılan numune ve deney aparatının rijitliği deney sonuçlarının etkrar oluşturulmasında önemli etkiye sahiptir. Eğer gerilme oluşturmak için uygulanan sistemde yay kullanılıyorsa, sabit genleme deneyi olarak adlandırılan deneylerin çoğu aslında sabit genleme deneyi değildir. Gerçek sabit genleme deneylerinde çatlak ilerlemesi oluşmayabilir.

Ancak sabit-yük deneylerinde birçok çatlak ilerlemesi devam eder ve parça kırılır. Çatlak ilerlemesi ile klasik gerilme analizinin yetersiz kalması nedeniyle, laboratuvar sonuçları ile büyük yapı elemanları arasındaki boşluğu kaldırmak için kırılma mekaniği kullanılır.

4.3.2 EĞME DENEYLERİ

GKÇ deneylerinde ençok kullanılan numunelerden biride sabit deformasyonla yüklenen eğme numuneleridir. Basit teknik gerektirmesi ve her türlü ortamda bir çok malzemeye uygulanabilir olması nedeniyle tercih edilmektedir. Ancak bu numunelerde gerilme durumu çekme numunelerine göre daha karışıktır. Çekme numunelerinde gerilme kesit boyunca aynıdır. Oysa eğme numunelerinde kesit boyunca değişmektedir. Dolayısıyla metal yüzeyinin sadece %50'si sıfırdan max.'a kadar değişen çekme gerilmesi altındadır. Çatlak ilerledikçe kesitteki gerilme gradyeni dolayısıyla gerilme ve genlemede değişiklik olacaktır. Halbuki çekme numunelerinde böyle bir durum sözkonusu değildir. Dolayısıyla bu durum GKÇ'ye karşı etkide önemli farklılıklar doğurur.



Şekil 4.3. Al-5.3Zn-3.7Mg-0.3Mn-0.1Cr alaşımında eğme ve çekme deneyi sonuçlarının karşılaştırılması (%3'lük sodyum klor çözeltisinde) [15].

4.3.3 DÜZ DENEY NUMUNELERİ

Statik olarak yüklenen düz deney numuneleri genel olarak üç kategoriye ayrılabilirler.

- a) Elastik genlemeli deney numuneleri.
- b) Plastik genlemeli deney numuneleri.
- c) Artık gerilmeli deney numuneleri.

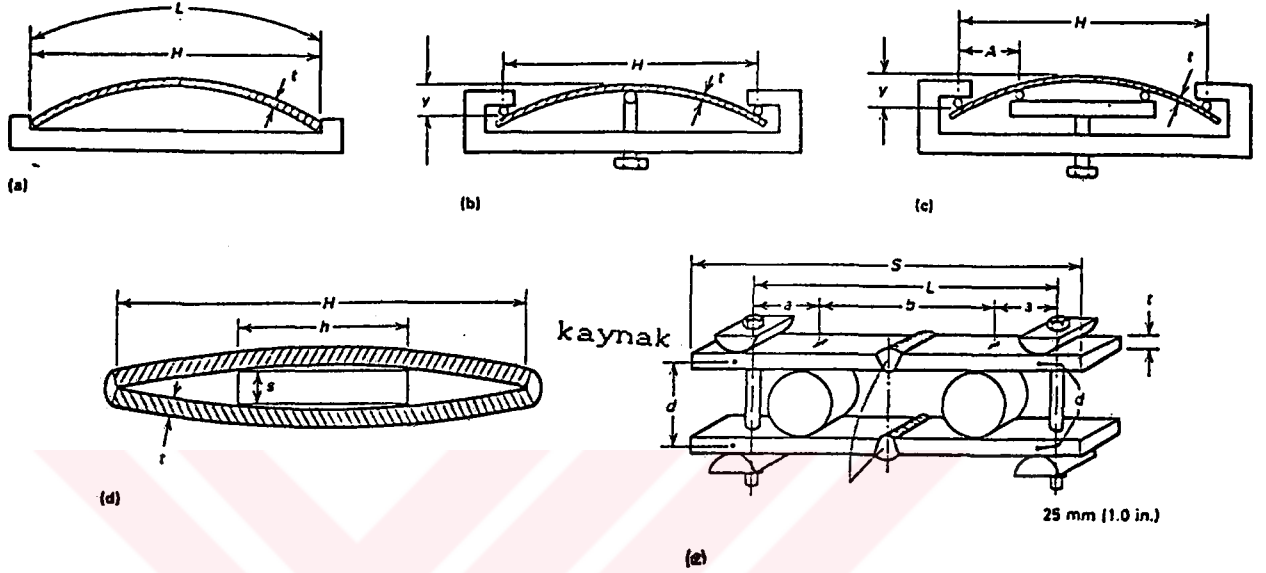
4.3.3.1 ELASTİK GENLEMELİ DENEY NUMUNELERİ

Deformasyon oluşturularak yüklenen deney numunelerinde yüzeydeki gerilmeyi kontrol etmek için birim şekil değişimi (genleme) elastik sınır içinde kalmalıdır. Böylece uygulanan gerilmenin seviyesi ölçülen genleme ve elastiklik modülü yardımıyla ölçülebilir. Sabit yük deneylerinde de yük direkt ölçülür ve numune durumuna ve yükleme durumuna göre gerilme hesaplanır. Load-cell veya kalibre edilmiş yay kullanılarak deney esnasındaki yük değişimi kaydedilebilir. Elastik genlemeli deney numuneleri aşağıdaki şekillerde olabilirler.

4.3.3.1.1 EĞME KİRİŞİ NUMUNELERİ

Bu numuneler çeşitli şekildeki parçalara uygulanabilir. Genellikle düz dikdörtgen şeklindeki deney numuneleri kullanılmakla beraber, çubuk şeklindeki döküm malzemelerine ve dairesel durumdaki numunelerde kullanılabilir. Elastik alanda kalmak şartıyla bütün malzemelere uygulanabilir. Genellikle bu deneyler sabit genleme altında yapılmakla beraber sabit-yük deneyleride yapılabilir. Ancak her iki durumda da çatlağın ilerlemesiyle deney numunesinin eğriliğindeki değişim nedeniyle gerilme ve genlemede değişiklikler oluşacaktır.

Bu nedenle deney gerilmesi olarak çatlak başlamadan önceki en yüksek yüzey gerilmesi alınır (şekil-4.3) Şekil.4.4'de ASTM-standart 639'da detayı verilmiş olan kiriş eğme deney ve gerilme uygulama şekilleri verilmiştir. Buradaki hesaplanan gerilmeler en dıştaki çekme gerilmelerdir.



çift kirişli numuneler için boyutlar

mm	in.	mm	in.	mm	in.	mm	in.	mm	in.
3.2	0.125	100	4.0	50	2.0	250	10.0	305	12.0
6.4	0.25	100	4.0	50	2.0	250	10.0	305	12.0
9.5	0.375	120	4.75	90	3.5	330	13.0	380	15.0
13	0.5	120	4.75	90	3.5	330	13.0	380	15.0
19	0.75	140	5.5	150	6.0	430	17.0	480	19.0
25	1.0	150	6.0	200	8.0	510	20.0	560	22.0
38	1.5	165	6.5	305	12.0	635	25.0	685	27.0

Şekil 4.4 Eğme kirişli numunelerinin şematik gösterilişi.

(a: iki noktadan yüklenen, b: uç noktadan yüklenen, d: çift kirişli numuneler.

Gerilme için formül: $\Delta d = 2fa / 3Et (3L - 4a)$

Δd : çökme, f : nominal gerilme, E : elastiklik modülü) [15].

4.3.3.1.2 İKİ NOKTADAN YÜKLENEN NUMUNELER

$$\frac{(L-H)}{H} = 0.01 \text{ Şeklinde deform olduğunda plastik}$$

olarak deforme olmayan malzemelerde kullanılır. (Parça boyutları 25x250)

$$\epsilon = 4(2E-K) \left[\frac{k}{2} - \frac{2E-K}{12} \left(\frac{t}{H} \right) \right] \left(\frac{t}{H} \right) \quad (4.1)$$

$$\text{ve } \frac{L-H}{H} = \left[\frac{k}{2E-K} \right]^{-1} \quad (4.2)$$

L=numune uzunluğu

H=Kollar arasındaki uzunluk

t=kalınlık

ϵ =max. çekme genlemesi

$$E = \int_0^{\pi/2} (1-k^2 \sin^2 z)^{1/2} dz \quad (4.3)$$

$$K = \int_0^{\pi/2} (1-k^2 \sin^2 z)^{-1/2} dz \quad (4.4)$$

$k = \sin(\theta/2)$ (θ numune ucundaki yatayla yapılan açı)

z=integral parametresi

Max. σ 'yı oluşturacak numune uzunluğu L'yi tesbit etmek için şu sıra takip edilir.

$$\epsilon = \frac{\sigma}{E}, \quad y = \text{max çökme olmak üzere } \frac{y}{H} = \frac{k}{2E-K} \quad (4.5)$$

numune kalınlığı, uzunluğu ve H değeri, $(L-H)/H = 0.01 \div 0.5$ olacak şekilde seçilmelidir. İki noktadan yüklemede max gerilme ortada oluşur ve numune uçlarında sıfıra düşer.

4.3.1.3 UÇ NOKTADAN YÜKLENEN NUMUNELER

Numuneler uçlarından desteklendikten sonra bir vida vasıtasıyla ortasından kuvvet uygulanır. Böylece uygulanan gerilme

$$\sigma = \frac{6.E.t.y}{H^2} \quad (4.6) \quad \sigma = \text{max. çekme gerilmesi}$$

E = Elastiklik modülü

t=kalınlık, y=max. çökme miktarı, H=kollar arası uzaklık. 4.6 eşitliği ($y/H < 0.1$) gibi küçük çökme miktarları için geçerlidir.

4.3.3.1.4 DÖRT NOKTADAN YÜKLENEN NUMUNELER

Bu numuneler genellikle 25-51mm genişliğinde, 127-254mm uzunluğundadır. Ve kalınlıkları malzemenin mekanik özelliklerine göre tesbit edilir. Deney parçası iki ucundan desteklenir, ve ortada iki noktadan kuvvet uygulanarak eğilir (şek.4.4c). Bunlar orta noktadan aynı uzaklıktadırlar. Ortadan kuvvet uygulanan iki nokta arasındaki elastik gerilme

$$\sigma = \frac{12.E.t.y}{(3H^2 - 4A^2)} \quad (4.7) \text{ olarak hesaplanır.}$$

A=iç ve dış destek noktaları arasındaki uzaklık. A'değeri ($y/H < 0.1$) olacak şekilde $A=H/4$ seçilir. Max. gerilme içteki destek noktaları arasında oluşur. Burada gerilme sabittir. İç destek noktası ile dış destek noktası arasında lineer olarak sıfıra iner. Geniş bir alanda Uniform bir gerilme dağılımı sağladığı için dört noktadan yükleme deneyleri genellikle nüç noktaya göre tercih edilir.

4.3.3.1.5 ÇİFT KIRIŞLI NUMUNELER

İki tane (25-51mm) genişliğinde (127-254mm) uzunluğunda numune ortaya bir parça konduktan sonra uçlarında birbirine değinceye kadar eğilir ve iki ucundan kaynak edilir (şek.4.4d). Ortadaki parça ile temas halindeki iki nokta arasındaki elastik gerilme

$$\sigma = \frac{3.E.t.s}{H^2 [1 - (h/7)] [1 + (2h/H)]} \quad (4.8)$$

s=ara parçanın kalınlığı, h=ara parçanın uzunluğu
h değeri $H=2h$ olacak şekilde seçildiği zaman (8) eşitliği

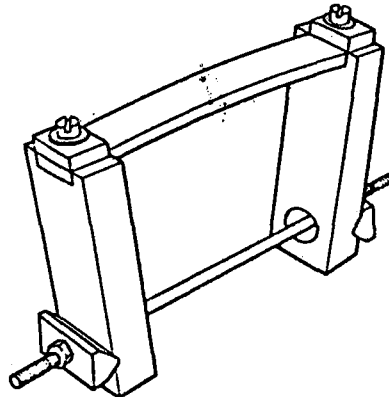
$$\sigma = \frac{3.E.t.s}{H^2} \quad (4.9) \text{ olur. } (s/H < 0.2) \text{ olmalı.}$$

Max gerilme iki temas noktası arasında oluşur ve bu aralıkta gerilme sabittir. Uçlara yaklaşıldıkça lineer olarak azalır ve uçlarda sıfır olur.

4.3.3.1.6 SABİT MOMENT OLUŞTURAN NUMUNELER

Şekil 4.5'deki deney parçası uzunluğunca sabit moment dolayısıyla sabit gerilme oluşturulmaktadır. (Kalınlık/genişlik) oranı 4'den küçük tutularak iki eksenli gerilme oluşumundan kurtulunulmaktadır. Bu tip numuneler parça boyutunun çok küçük olduğu durumlarda rahatlıkla kullanılabilir. Ve elastik gerilme

$$\sigma = \frac{4.E.t.y}{h} \quad (4.10) \text{ bağıntısıyla hesaplanmaktadır.}$$



Şekil 4.5 Sabit moment aparatı

4.3.3.1.7 C-HALKA NUMUNELERİ

ASTM G-38 "C-halka gerilmeli korozyon numuneleri yapımı ve kullanım standartları" da tanımlanmıştır. Bütün alaşımlar ve ürün şekilleri için ekonomik olarak kullanılabilir. Özellikle boru deney numunelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Boyutları geniş bir aralıkta değişmekle birlikte dış çapı 16mm'den küçük olmamalıdır.

Bu numunelerde esas olan çevresel gerilmedir. Bu gerilmelerde uniform olmayıp çevre boyunca değişmektedir. Gerilme civata deliklerinin bulunduğu her iki uçta sıfır olup orta kısımda maksimuma ulaşır. Çentikli numunelerde çentik ucunda uç eksenli gerilme durumu oluşur. Burada çevresel gerilme nominal gerilmeden daha büyük olup akma sınırını da aşmış olabilir. C-halkaları sabit-genleme deneyleridir, ve numunenin dış kısmındaki çekme gerilmeleri, çap üzerine yerleştirilmiş civata yardımıyla oluşturulur. Ancak kalibre edilmiş yayın civata üzerine yerleştirilmesiyle de sabit-yük elde etmek mümkündür (Şek.4.6). C halkası ters yönde açmaya çalışılarak iç kısımda çekme gerilmesi oluşturulabilir. Uygulanan gerilmeyi yaklaşık olarak ölçmek için numune üzerine çevresel ve eksenel yönde strain-gage yerleştirilerek civata yardımıyla sıkılmaya başlanır ve istenilen genleme değerinin elde edilmesiyle işlem biter. Böylelikle orantı limiti aşılmamış olur, oluşan gerilme ise ;

$$\sigma_c = \left[\frac{E}{1-\mu^2} \right] (\epsilon_c + \mu \cdot \epsilon_t)$$

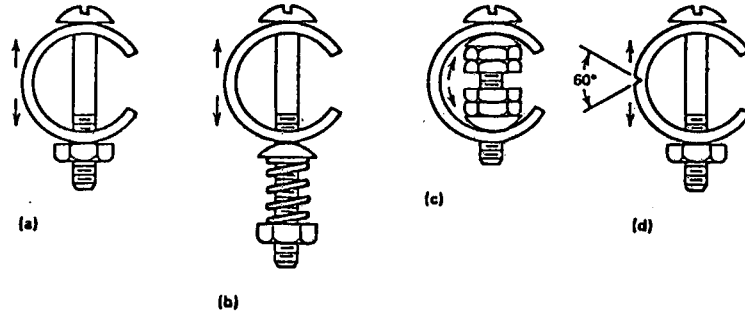
$$(4.11) \quad \mu = \text{Poisson oranı}$$

$$\epsilon_c = \text{Çevresel genleme}$$

$$\epsilon_t = \text{Eksenel genleme}$$

$$\sigma_t = \left[\frac{E}{1-\mu^2} \right] (1 + \mu \cdot \epsilon_t)$$

$$(4.12)$$



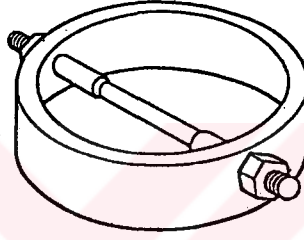
Şekil 4.6. C-halka numunelerde gerilme oluşturma yöntemleri. (a: sabit genleme, b: sabit yük, c: sabit genleme, d: çentikli numune)

İstenen elastik gerilmeyi sağlayacak şekil değişim miktarı hesaplandıktan sonra halka gerilmeye maruz bırakılır. Çentikli numunelerde çentik dibindeki gerilmeyi hesaplamak için çentik faktörü göz önüne alınmalıdır.

4.3.3.1.8 ÇEKME NUMUNELERİ

GKÇ numunelerinde kullanılan çekme deneyleri ASTM-G49'da ayrıntılı olarak belirtilmiştir. Numune çekme yükü ile yüklendiği zaman parçada oluşan gerilmeler uniformdur. Numuneler sabit-yük, sabit-genleme, artan-yük veya artan genleme şeklinde yüklenebilirler. Değişik boyuttaki deney parçaları test edilebilir. GKÇ deney sonuçları deney numunesinin kesitinden etkilenirler. Büyük boyuttaki deney numuneleri uygulamadaki parçaları daha çok temsil etmelerine rağmen laboratuvar şartlarında bunların kullanılması bir çok zorlukları doğurmaktadır. Dolayısıyla daha küçük boyutlu deney numuneleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunlar GKÇ'de çatlak oluşumuna karşı daha duyarlıdır. Ancak bunlarında işlenmesi güçleşmekte ve eksenel olmayan yükleme gibi hatalardan çabuk etkilenmektedirler.

Dolayısıyla ölçüboyu 10mm ve çapı 3mm'den küçük numuneler kullanılmamalıdır. Bu deney parçaları elastik ve plastik alanda olmak üzere geniş bir gerilme seviyesi aralığında yüklenebilirler. Ancak bu tür aparatları yaparken eğme gerilmelerini minimuma indirecek tedbirler alınmalıdır. Genellikle telden numuneler için yapılan sabit yük deneylerinde en basit yöntem telin bir ucuna ağırlık asmaktır. Kesiti daha büyük numunelerde kalibre edilmiş yaylardan oluşan aparatlar kullanılmalıdır. Şekil 4.7'deki gibi bir halka kullanmakta çekme gerilmesi üretir.



Şekil 4.7 Çekme halkası

Sabit genleme deney düzenekleri daha basittir. Bunlarda numune istenen uzunluğa getirildikten sonra bu pozisyonu sabitleştirilir. Yük ölçmek için herhangi bir alet içermeyen deney düzeneklerinde yük, genleme ölçülerek hesap edilir. Ancak bu elastik alanda geçerlidir. Yüksek sıcaklıklarda sabit-genleme şartlarında gerilme gevşemesi ve sürünme gözönüne alınmalıdır. Gevşeme veya sürünme oluşursa elastik genleme plastik genlemeye dönüşür, dolayısıyla nominal gerilmede bir azalma görülür. Eğer gerilme eşik değere yakın ise kırılma oluşmayabilir. Bu durumda GKÇ'nin olup olmadığı mekanik veya metalografik deneylerle tesbit edilir[15].

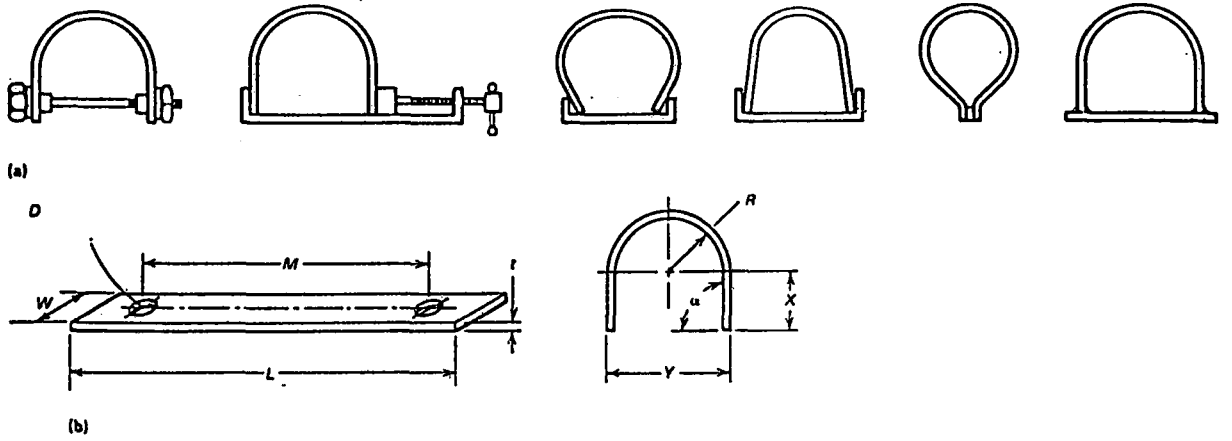
4.3.3.1 PLASTİK GENLEME NUMUNELERİ

GKÇ deneylerinin çok daha kısa sürede yapılması istendiğinde parça plastik deformasyona uğratılır. Bunlarda genellikle gerilme durumu önceden tesbit edilemez. Şekil verme sırasında değişik şekil değiştirme durumları meydana gelebilir ve buda parçanın esas durumuna göre GKÇ davranışını etkileyebilir. Bu tür deneyler öncelikle;

- a) bir alaşımın değişik ortamlarda,
 - b) bir alaşımın verilen bir ortamda değişik metalurjik şartlarda,
 - c) aynı ortamda değişik alaşımların,
- GKÇ'ye karşı dirençlerinin tesbitinde kullanılır.

3.3.2.1 U-ŞEKLİNDE BÜKÜLMÜŞ NUMUNELER

Bu numune tipleri genellikle önceden tesbit edilen bir çap etrafında yaklaşık olarak 180° bükülen ince levhalardır. Standartizasyonu ASTM-G30'da ayrıntılı olarak ele alınmıştır. "U-bükülmüş" terimi genel olarak elastik limitin aşıldığını belirlemek için kullanılmaktadır. Yoksa bükülme açısı 180° 'den küçükte olabilir. Şekil 4.8'de bunun değişik örnekleri verilmiştir.



Boyutlar	mm	in.	mm	in.	mm	in.	mm	in.	mm	in.	mm	in.	mm	in.	mm	in.
A	30	3.2	30	2.0	20	0.8	2.5	0.098	10	0.4	32	1.26	14	0.55	5	0.2
B	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
C	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
D	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
E	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
F	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
G	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

$\alpha = 1.57 \text{ rad}$

Şekil 4.8 U- bükülmüş deney numuneleri
(a: çeşitli u-bükme metotları, b:boyutlar)

U-bükülmüş numuneler genellikle herhangi bir çatlak oluşmadan U-şeklini alabilen bütün sünek malzemelere uygulanır. Bu numuneler genellikle ince levha halinde olmalarına karşılık çubuk, tel, döküm, kaynak v.s. ile elde edilen numunelerde kullanılabilir. Bunlarda önemli olan çevresel gerilmedir. Buda çevre boyunca uniform değildir. Büyük bir yaklaşıklıkla uygulanan genleme;

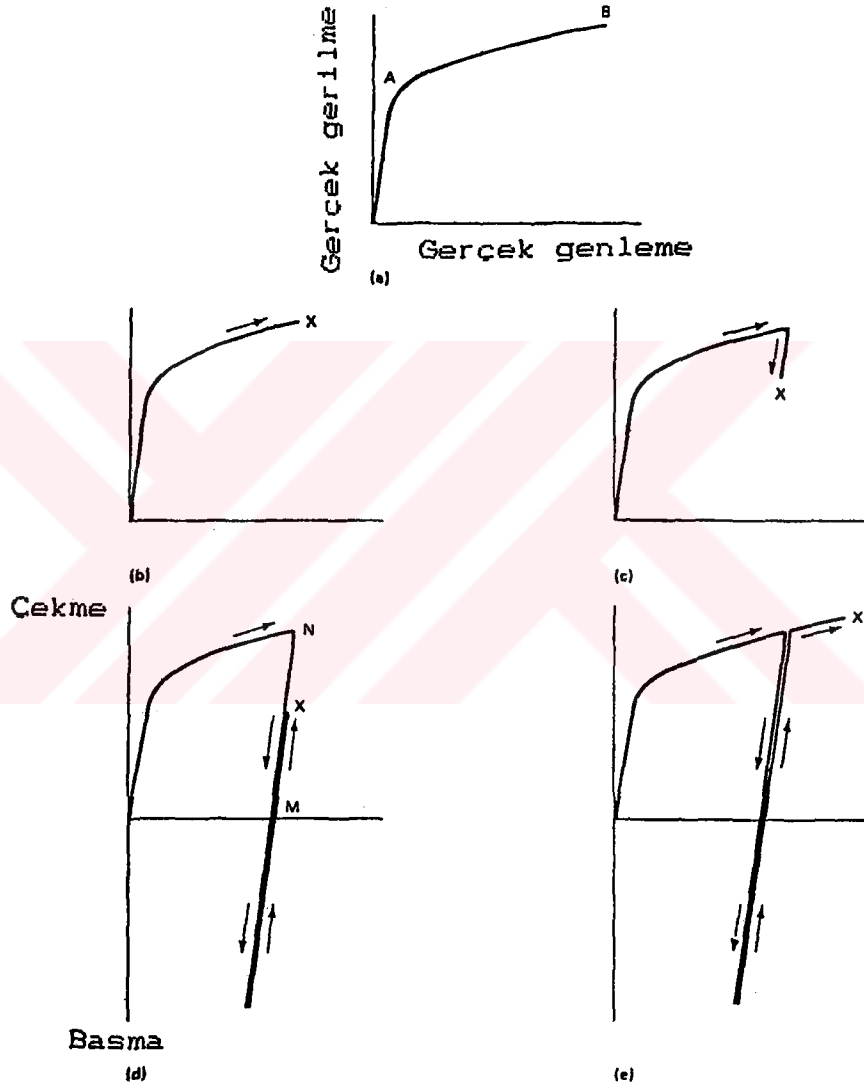
$$\epsilon = \frac{T}{2R} \quad (4.13) \quad (T < R \text{ olduğunda}) \quad \text{olarak hesaplanır.}$$

T=numune kalınlığı, R=eğrilik yarı çapı

Ancak gerilmeyi hesaplayabilmek için gerilme-genleme eğrisinin bilinmesi gerekir. Bir U-bükülmüş numune gerdirildiği zaman dış yüzeyde malzeme plastik alana

ulaşır. Gerçek gerilme-genleme diyagramında bu AB bölümüne karşılık gelir (şek.4.9a).

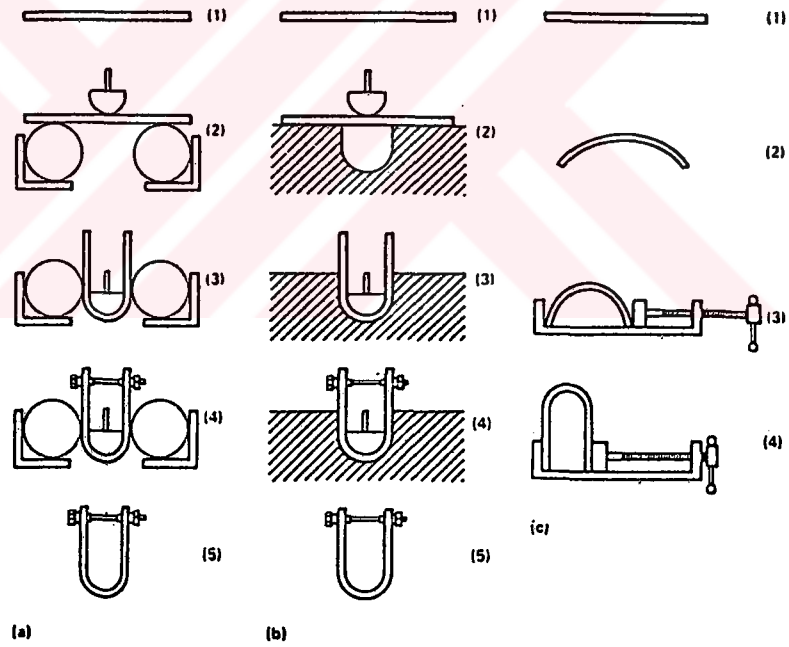
Malzemenin dış kısmında oluşabilecek değişik gerilme-genleme durumları şekil 4.9b-e'ye kadar olan şekillerde gösterilmiştir.



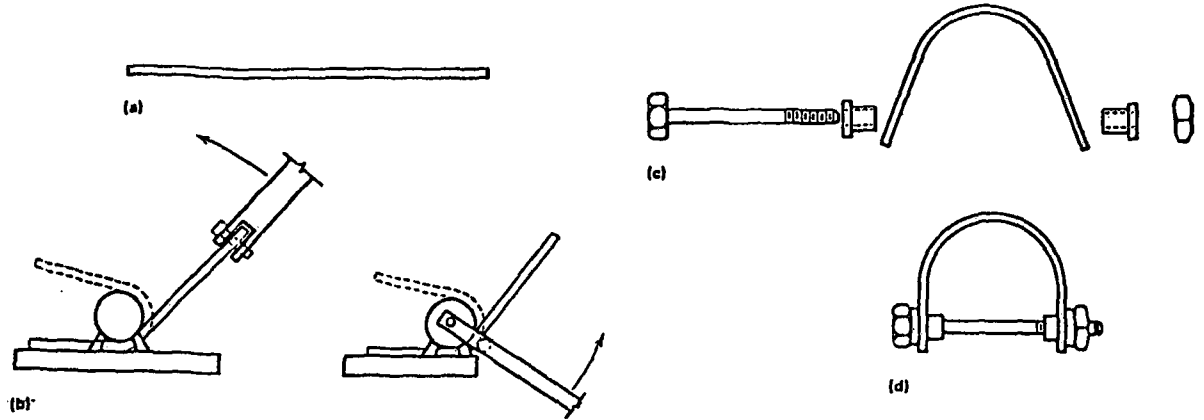
Şekil 4.9 U-bükülmüş numunelerde gerçek gerilme/ gerçek genleme ilişkisi [15].

Genellikle gerilme işlemi bir veya iki kademe oluşturulur. Gerilme oluşturma işlemi sırası şekil 4.10'da verilmiştir.

Şekil 4.10a'da gösterilen parçalar genellikle çekme makinaları ile yapılır ve bunlar daha çok kalın veya yüksek dayanımlı parçalara uygulanır. Şekil 4.10b ve 10c deki metod ise daha çok ince veya düşük dayanımlı parçalar için uygundur. Bükme işlemi tek kademede veya iki kademede yapılabilir. İki kademede yapılanlarda ilk kademede yaklaşık bir U-şekli elde edilir daha sonra ikinci kademe yapılır şek.4.11a-d. Şekil 4.9b ve (e)'deki şartları sağlamak için önceki şekil değişimi son uygulanan şekil değişiminden az olmalıdır. Son plastik şekil değişimi verildikten sonra geriye yaylanmadan kaçınmak gerekir.



Şekil 4.10 U numuneleri tek kademede elde etme metotları



Sekil 4.11 İki kademedede gerçekleştirilen U numuneler

4.3.3.3 ARTIK GERİLMELİ NUMUNELER

Isıl işlem, kaynak gibi işlemler sonucu ortaya çıkan artık gerilmeler endüstride sıkça rastlanmaktadır. Dolayısıyla bunların GKÇ'ya karşı dirençlerinin tesbiti oldukça önemlidir.

4.3.3.4 DÜZGÜN PARÇALARIN YÜZEYİNİN HAZIRLANMASI

Parçaların yüzey durumları çatlak başlangıcı için oldukça önemlidir. Dolayısıyla parça yüzeyi iyi işlenmelidir. Ancak yüzeydeki ısıtma işlem filmlerini ortadan kaldırmak için kimyasal yağlayıcılar ve elektrokimyasal parlatma kullanılmalıdır. Ancak bunlar ana metale veya faz yapısına etki etmemelidir. Ayrıca H_2 kırılganlığı oluşturabilecek yağlayıcılarda kullanılmamalıdır. Numunelerde plastik deformasyon, artık gerilme ve ısıtma etkiden kaçınılmalıdır.

4.3.4 ÖNCEDEN ÇATLATILMIŞ NUMUNELER

Önceden çatlatılmış deney numuneleri ve kırılma mekaniği analizi yaygın olarak uygulanmaktadır. Hemen hemen bütün düzlem-genleme kırılma tokluğu deney standartları GKÇ deney koşullarına adapte edilebilir. Şekil 4.12'de bu numune çeşitleri şematik olarak gösterilmiştir. Bunlar yüklenme metoduna ve GKÇ ilerlemesi ile gerilme şiddet faktörünün değişimine göre sınıflandırılır. Boyut ve toleranslar ASTM-E39'da verilmiştir.

4.3.4.1 KONSOL EĞME KIRIŞI NUMUNELERİ

Şekil 4.13'de sabit-yük (artan K) yüksek dayanımlı ve titanyum alaşımlarında kullanılan numune gösterilmektedir.

$$K = \frac{6M}{BW^2} \left[\frac{2W}{\pi a} \tan \frac{\pi a}{2W} \right]^{1/2} \times \left[\frac{0.923 + 0.199 \left(1 - \sin \frac{\pi a}{2W} \right)}{\cos \frac{\pi a}{2W}} \right] \quad (4.14)$$

$$\frac{E.B.W.(2V_0)}{M} = e^x \quad e = \text{doğal logaritma tabanı} \quad (4.15)$$
$$x = [0.01426 + 11.92(a/w) - 17.42(a/w)^2 + 15.84(a/w)^3 - 2.235(a/w)^4]$$

$$\frac{E.B.W.V_{LL}}{M} = e^y \quad (4.16)$$

$$y = [6.188 + 12.98(a/w) - 41.19(a/w)^2 + 54.98(a/w)^3 - 22.28(a/w)^4]$$

M=uygulanan eğme momenti,

B=numune kalınlığı

W=numune derinliği

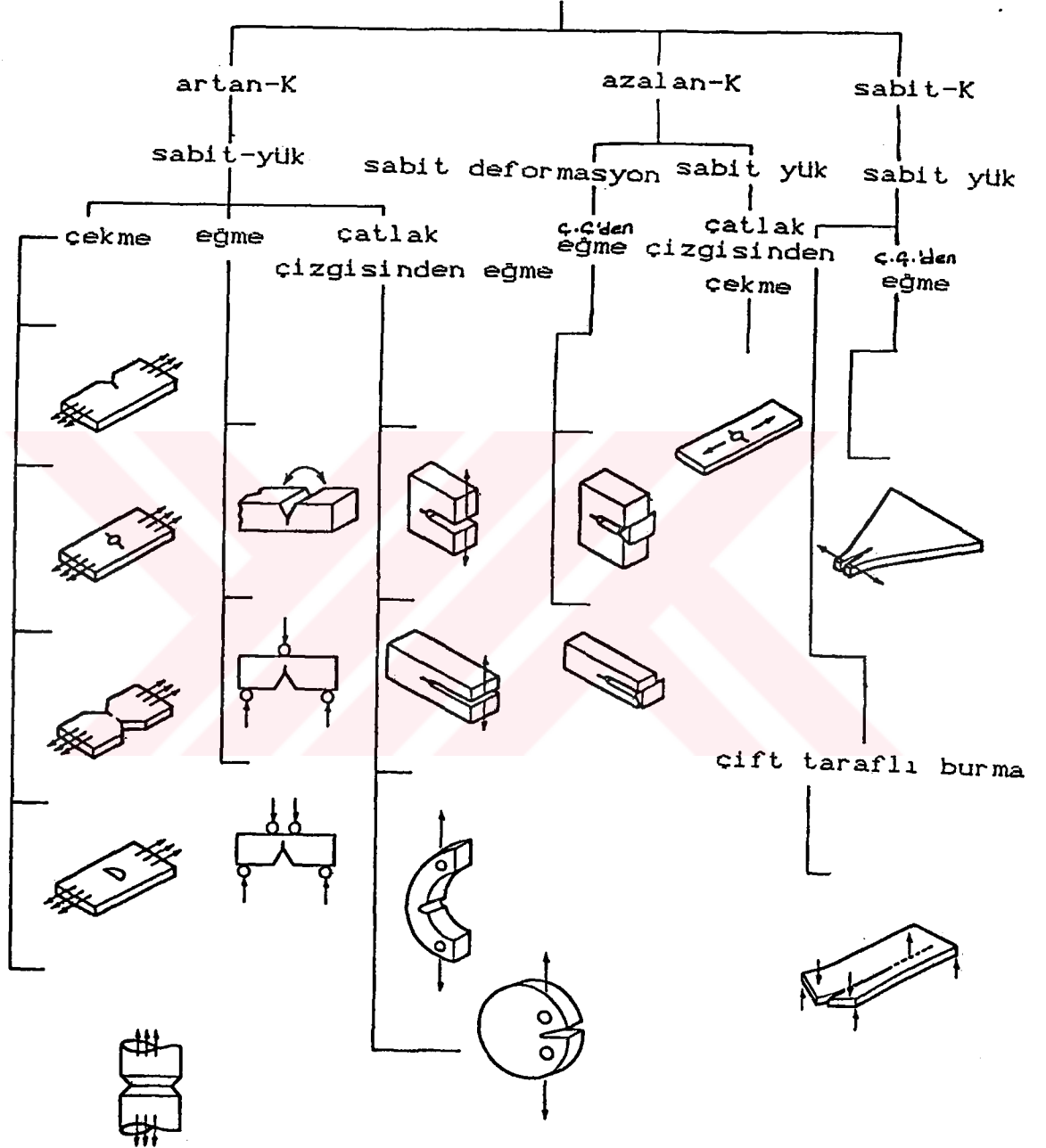
a=çatlak + çatlak uzunluğu

E=elastisite modülü

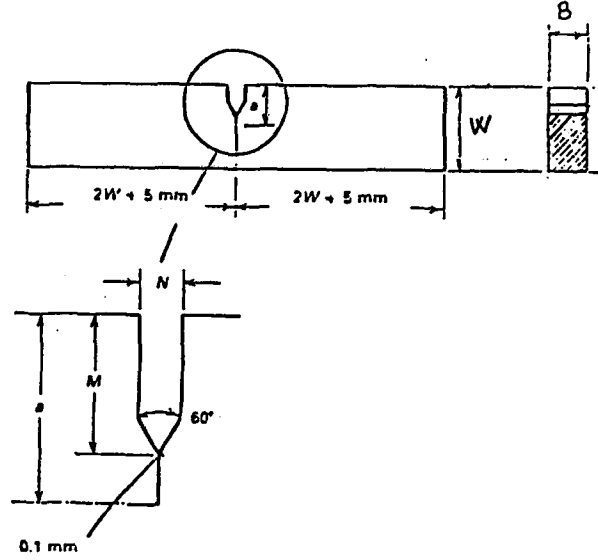
$2V_0$ =parça yüzeyinde toplam çatlak ağzı açılması

V_{LL} =yük uygulandığında toplam çatlak ağzı açılması

GKÇ' da kullanılan önceden çatlatılmış numuneler

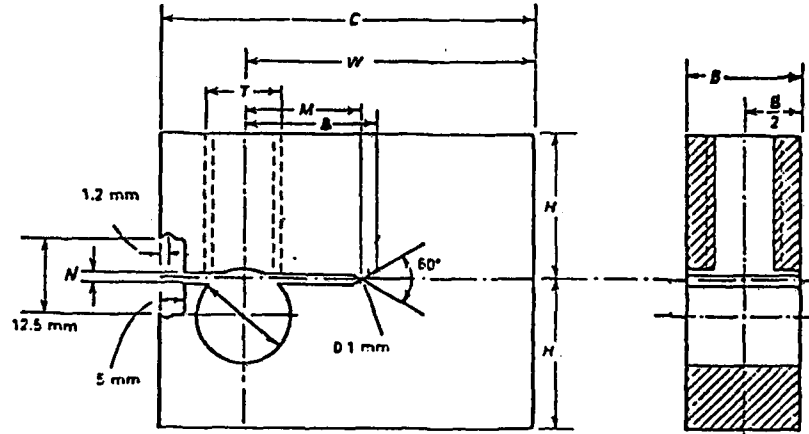


Sekil 4.12 GKÇ de kullanılan önceden çatlatılmış numunelerin sınıflandırılması



Sekil 4.13. konsol kiriş numuneleri için boyutlar.
(W =genişlik, kalınlık $B=0.5W$, yarı yükleme kolu $L=2W$,
çentik genişliği $N=0.065W$, çentik uzunluğu $M=0.25-0.45W$,
çatlak uzunluğu $a=0.45-0.55W$)

4.14 denklemi dikdörtgen kirişin eğme durumundaki gerilme şiddet faktörünü geniş bir a/w aralığı için 1 nolu yükleme moduna göre vermektedir. 4.16 ve 17 denklemi konsol kirişten elde edilen deney sonuçlarının (a/w) 'nin doğal logaritma üstü olarak polinom açılımından elde edilmiştir. Ve sonuçlar 15 denklemi ile uygunluk sağlamaktadır. Ancak çatlak ucundaki gerilme durumu değişecektir. Çatlak ilerlemesi numuneye bağlanan clip-gage'lerle okunabilir.



Şekil 4.14 Kompakt numuneler için boyutlar
(genişlik $W=2.55B$, toplam genişlik $C=3.2B$,
yükseklik $1.24B$, çap $D=0.715B$, çentik uzunluğu $M=0.77B$,
çentik genişliği $N=0.068B$, vida çapı $T=0.625B$)

4.3.4.2 KOMPAKT NUMUNELER

Bu numuneler (Şekil 4.14) daha çok bir civata vasıtasıyla sabit bir şekil değişim miktarı verilerek yüklenmelerine rağmen, ayrıca sabit-yük ile de yüklenebilirler. (4.17, 18,19,20) Denklemleri, gerilme şiddet faktörünü hesaplamada, numune yorulmayla önceden çatlatılırken çatlak açılma miktarının tesbitinde veya GKÇ'da çatlak oluşum zamanını, deney sırasındaki ardışık aralıkların hesabında kullanılabilir.

$$K_{I0} = \frac{P \left(2 + \frac{a_0}{W} \right)}{B \sqrt{W} \left[1 - \frac{a_0}{W} \right]^{1/2}} \times \left[1.308 + 5.278 \left(\frac{a_0}{W} \right) - 19.67 \left(\frac{a_0}{W} \right)^2 + 24.57 \left(\frac{a_0}{W} \right)^3 - 10.27 \left(\frac{a_0}{W} \right)^4 \right] \quad (4.17)$$

$$2V_0 = \frac{P}{E \cdot B} \times e^X \quad (4.18)$$

$$X = [1.830 + 4.307(a_0/W) + 5.871(a_0/W)^2 - 17.53(a_0/W)^3 + 14.57(a_0/W)^4]$$

$$2V_{LL} = 2V_0 \times \frac{e^y}{e^x} \quad (4.19)$$

$$y = [1.623 + 3.352(a_0/W) + 8.205(a_0/W)^2 - 19.59(a_0/W)^3 + 15.23(a_0/W)^4]$$

$$K_{II} = \frac{E(2V_{LL}) \left(2 + \frac{a_1}{W}\right)}{\sqrt{W} \left(1 - \frac{a_1}{W}\right)^{3/2}} \times \left[\left[1.308 + 5.278(a_1/W) - 19.67(a_1/W)^2 + 24.57(a_1/W)^3 - 10.27(a_1/W)^4 \right] \div e^z \right]$$

$$z = [1.623 + 3.352(a_1/W) + 8.205(a_1/W)^2 - 19.59(a_1/W)^3 + 15.23(a_1/W)^4] \quad (4.20)$$

K_{IO} = İstenen başlangıç gerilme şiddet faktörü

a_0 = Başlangıç çatlak uzunluğu

W = Yükleme çizgisinden ölçülen net numune genişliği

K_{II} = Belirli bir zaman aralığından sonraki gerilme şiddet faktörü

a_1 = Belirli bir zaman aralığından sonraki çatlak uzunluğu

$2V_{LL}$ = Yükleme çizgisinde toplam çatlak ağzı açılma miktarı

4.3.4.3 ÇİFT KIRIŞ NUMUNELERİ

Bunlar kompakt numunelere benzerler, ancak daha geniş ve uzun olmaları nedeniyle GKÇ hızı ölçmelerinde daha geniş K'değeri aralığında rahatça çalışabilirler. Bunlarda yine sabit şekil değişimi ve sabit yükleme şartlarında kullanılırlar. Civata ile yüklenen numuneler daha çok alüminyum ürünlerinin

deneylerinde yaygın olarak kullanılırlar.

$$K_{IO} = \frac{P\sqrt{12}}{B\sqrt{H}} \times \left[\frac{a_0}{H} + 0.628 - 0.0377 \left(\frac{H}{a_0} \right)^2 \right] \quad (4.21)$$

$$2V_0 = \frac{4K_{IO}\sqrt{H}}{\sqrt{3} E} \left[\left(\frac{a_0}{H} + 0.628 \right)^2 \times \left[1 + 1.5 \left(\frac{C_0}{a_0} \right) - \left(\frac{C_0}{a_0} \right)^2 \right] \right]$$

$$2V_{LL} = \frac{2V_0}{1 + 1.5 \left(\frac{C_0}{a_0} \right) - 1.15 \left(\frac{C_0}{a_0} \right)^2} \quad (4.22)$$

$$K_I = \frac{\sqrt{3} E (V_{LL})}{4\sqrt{H} \left[\frac{a_1}{H} + 0.6728 \right]^2} \quad (4.23)$$

(4.23) eşitliği daha uygun değerler vermektedir. Eğer deney mümkün olan en kısa zamanda yapılmak istenirse "a" küçük olmalı. Böylece çatlak ilerlemesi ile birlikte K'nın azalması maksimumdur. Ancak daha büyük bir yaklaşıklık istendiğinde "M" büyük seçilmelidir.

Alüminyumla yapılan önceki çalışmalarda ($a/H=0.9$) gibi küçük değerler kullanılmakla beraber son zamanlarda ($a/H=1.2 - 2.2$) gibi küçük değerler kullanılmaktadır. Başlangıç a/H değeri ön çatlak uzunluğuna bağlı olarak yaklaşık olarak 2 - 2.2 dir.

4.3.4.4 SABİT K NUMUNELERİ

Bu tür numuneler GKÇ mekanizmalarının incelenmesinde çok uygun sonuçlar vermişlerdir. K_I çatlak uzunluğuna bağlı olmayıp kinetik çalışmalarda ihmal edilebilir. Bu avantajlarına rağmen numune hazırlanması ve gerekli araçların pahalılığı nedeniyle yaygın olarak kullanılamamaktadır. Diğer numune tipleri şekil-35'de verilmiştir.

4.3.4.5 ÖNCEDEN ÇATLATILMIŞ NUMUNELERİN HAZIRLANMASI

Önceden çatlatılmış numunelerle deney yaparken parça boyutları, çatlak şekline, hazırlanışına ve çatlatma durumuna dikkat etmek gerekir.

4.3.4.5.1 GEREKLİ BOYUTLAR

Önceden çatlatılmış deney numunelerinin değişik tasarımlarında temel olan, düzlemsel-genleme (Uç eksenli gerilme) şartlarını sağlayacak yeterli boyutların sağlanması gerekir. Böylelikle plastik deformasyona uğrayan bölge çatlak ucuna yakın küçük bir bölgede oluşur. Dolayısıyla çatlak uzunluğu "a" ve numune kalınlığı "B" $2.5(K_{IC} / \sigma_{ak})^2$ 'den küçük olmamalıdır. σ_{ak} =akma gerilmesi

Elde edilen değişik $K_{I\alpha K\phi}$ değerleri için belirli minimum kalınlıkların belirli olmaması nedeniyle, numunelerin tasarımında şu yol izlenmelidir.

Yukarıdaki ifadede K_{IC} yerine eşik değer konmalıdır. Eğer numuneler $K_{I\alpha K\phi}$ yi tesbit için deneniorsa, numune boyutları malzemenin $K_{I\alpha K\phi}$ 'sinin tahminine göre yapılmalıdır. $K_{I\alpha K\phi}$ tahmini değer olduğu için parça boyutları daha büyük tutulmalıdır. Gerilmeli korozyon çatlak ilerleme davranışı, gerilme şiddet faktörünün fonksiyonu olarak tesbit edilirken parça boyutları çatlak ilerleme hızının ölçüleceği en büyük gerilme şiddet faktörüne göre yapılmalıdır.

4.3.4.5.2 İŞLEME

İstenilen doğrultudaki parçalar bitmiş numunede artık gerilmeden kaçınmak için tamamen ısıtılma işlemi görmüş ve gerilme giderme tavlama uygulanmış ürünlerden yapılır. (Isıl işlemle sonra işleme zorluğu çıkan malzemelerde son ısıtılma işlemi çentik açma ve bitirme işleminden önce verilebilir.) Tamamen işlenmiş parçaların ısıtılma işlemi tabii tutulması sadece ısıtılma işleminin çarpılma, artık gerilmenin ortaya çıkmayacağı şartlarda gerçekleştirilmelidir.

4.3.4.6 ÖNCEDEN ÇATLATMA İŞLEMİ

Yorulma ile önceden çatlak oluşturma ASTM-399'a göre yapılmalıdır. Her numunede çatlak oluşturmak için kullanılan K seviyesi başlangıç K değerinin üçte ikisini aşmamalıdır. Bu yorulma hasarını ve GKÇ davranışını etkileyebilecek çatlak ucundaki basma artık gerilmelerinin oluşmasını önler.

Alüminyum ve alaşımları "Pop-in" metoduyla çatlattırılır. Bunda numune aşırı yüklenerek çatlak oluşumu sağlanmaktadır. Ancak çelik ve titanyum alaşımları gibi yüksek dayanımlı malzemelerde numune kollarının kırılması tehlikesi olduğu için bu yöntem pek uygulanmaz. Şevron çentiğinin kullanımı mekanik ön çatlattırmaı kolaylaştırır ve yüzey çentiği tok malzemelerde doğru çatlak oluşturmada gerekli olabilir. Ayrıca bu yöntemler yorulma çatlak oluşumunun kontrolünde sağlayabilirler. Numune mekanik olarak "Pop-in" yöntemiyle çatlattırıldığı zaman, yükte azalma olmamalıdır. Yükün çatlak ağzının açılmasıyla pop-in için gerekli olan yük değerinden azalması çatlak ucunda artık basma gerilmeleri oluşturacak buda GKÇ'nin başlangıcına etki edecektir.

4.3.4.7 ORTAM İÇERİSİNE BIRAKMA

Deney numunesi gerilme uygulanmadan önce korozif ortama maruz bırakılmalıdır. Böylelikle korozif ortamın çatlak ucuna nüfuzu sağlanır ve çatlak başlangıcının buradan başlamasını ve deney sonuçlarındaki farklılığın azaltılmasını sağlar. Benzer şekilde ön çatlak oluşturma safhasında da parçayı korozif ortama maruz bırakmak faydalıdır. Ancak ön çatlatmadan sonra hemen korozif ortama maruz bırakılmazsa çatlak ucundaki korozif parçacıklar korozif etki sonucunda çatlak ucunun körleşmesine yolaçar.

4.3.4.8 DENEY AŞAMALARI

Bütün çatlatılmış numunne kullanan metotların amacı, belirli bir alaşım-ortam ikilisi için K_{ISCC} 'yi tesbit etmektir. Burada iki yöntem kullanılmaktadır. Bunlardan biri, düz numunelerdeki gibi sabit-yük (artan K) ve sabit-şekil değişimi (azalan K) yöntemidir. Diğer ise sadece önceden çatlatılmış numunelerde kullanılan çatlak durdurma esasına dayanan yöntemdir. Bu azalan-K (sabit şekil değişimi) ile sağlanır. Şekil 4.15 GKC ilerledikçe K'daki değişimi göstermektedir.

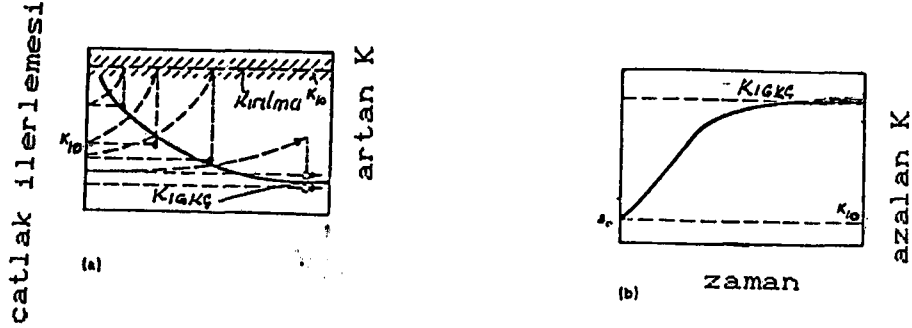
4.3.4.9 ARTAN VEYA AZALAN "K"

Sabit yük (artan K) deneylerinde gerilme parametreleri doğru olarak ölçülebilir. Çatlak büyümesi çatlağın açılmasına dolayısıyla oksit filminin çatlağı durdurma ihtimalini azaltacaktır. Çatlak uzunluğu ölçümünde değişik metotlarla yapılabilir. Sabit yük numunelerinde geometrinin geniş bir aralıkta

seçilebilmesi nedeniyle çatlak ilerlemesi hem eğme hemde çekme deneyleri ile yapılabilir. Önceden yorulma çatlakları oluşturularak GKÇ'nin başlatıldığı numuneler kullanılarak K_{Iaxc} tesbit edilebilir veya çatlak ilerleme hızı ölçülebilir. Sabit yük deneylerinin başlıca dezavantajı yük uygulama sisteminin pahalı olmasıdır. Eğme numuneleri basit araçlarla gerçekleştirilebilmesine rağmen çekme deneylerinde çekme deneylerinde sabit yük- sürünme kırılma makinaları veya benzer makinalar gerekir.

Bu durumda maliyeti indirmek için birden fazla numuneyi çeşitli yükleme halkaları kullanarak aynı anda yapmak mümkündür. Fakat bundada bütün numunelerin hasarı oluşuncaya kadar yüksüz kalmamalarını sağlayacak tedbirler alınmalıdır. Sabit şekil değişimi (azalan K) uygulanan deneyler kendi kendini yükleyen numunelerdir. Böylece dışarıdan gerilme uygulanamak için herhangi bir alet gerekmez. Sabit şekil değişimi deneyleride K_{Iaxc} 'nin tayini için kullanılabilir. Bu çatlak ilerlemesinin durdurulması ile yapılabilir. Çünkü sabit şekil değişimi deneylerinde, çatlak ilerledikçe gerilme şiddeti azalır. Bu durumda pratik olarak bir numune yetersede deney sonuçlarının doğruluğu için daha fazla numune kullanılması gerekir.

Oksit oluşması veya korozyon ürünlerinin açık çatlak yüzeylerini sıkıştırması (kaplaması) uygulanan yük ve şekil değişiminde değişikliğe yol açar. Oksit oluşumu ayrıca çatlak ağzınıda kapatabilir. Bu da korozif parçacıklarının girmesini engeller. Dolayısıyla elektrik direnç metoduyla çatlak uzunluğu ölçümünde hatalara yol açar. Uygulanan yük sadece dolaylı olarak şekil değişimi yardımıyla ölçülebilir. Çatlak durdurulması pratik ve doğru olarak ölçülebilecek belirli bir çatlak hızının altındaki değere göre tarif edilmelidir.



Şekil 4.15 K_{I SCC} nin tesbit yöntemlerinin karşılaştırılması. (a: sabit yük, b: sabit çatlak ağzı açılma deneyi.)

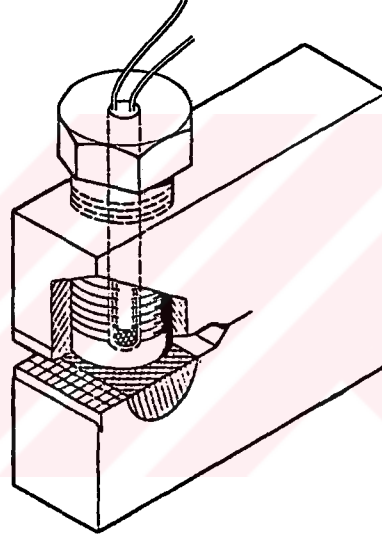
4.3.4.10 YÜKLEME DÜZENLERİ VE ÇATLAK ÖLÇÜLMESİ

Sabit şekil değişimi ile yüklenmiş deney parçaları kullanılıncı azalan gerilme şiddetinin fonksiyonu olarak çatlak yayılma hızı ölçülünce iki veya üç deney değişkeni ölçülmelidir. Bunlar, çatlak uzunluğu (a_1), yük (P_1) ve yük çizgisi üzerinde çatlak ağzı açılma miktarı (V_{LL})'dir. Çatlak oluşumu ve ilerlemesi yükteki ve çatlak uzunluğundaki değişimden tesbit edilebilir. Ancak yük değişimi genellikle bu şartlara karşı daha duyarlıdır. Şekil 4.16 yük değişimlerini gösteren yükleme düzenini göstermektedir.

4.3.4.11 ÇATLAK HIZININ HESABI

Çatlak büyüme hızını (da/dt) gerilme şiddet faktörünün fonksiyonu olarak ifade eden kabul edilmiş genel bir yöntem olmamakla beraber değişik yaklaşımlar bulunmaktadır. Bunlardan en basiti a 'nın t ile

değişimini kapsayan $\Delta a/\Delta t$ grafik tekniğidir. Diğer yaygın olarak kullanılan yaklaşımda ise çatlak büyüme eğrisi bilgisayar ile düzeltilerek a 'nın t ile değişimi polinom fonksiyonu olarak ifade edilmektedir. Çatlak büyüme eğrisinde türevler değişik noktalarda alınarak değişik hızlar elde edilir. Böylece çatlak hızı - gerilme şiddeti çizilir. Böylece değişik aralıklarda elde edilen değerlerle Şeîl-5'deki diyagram elde edilir. Çatlak büyüme hızını hesaplamak için kullanılan bütün metotlar aynı genel sonuçları vermektedir. Bu sonuçlarda geniş bir aralıkta dağıldığı için yorumları oldukça zordur.



Şekil 4.16 çatlak ölçülmesinde kullanılan deney düzeneğı.

4.4 DİNAMİK YÜKLEME

4.4.1 YAVAŞ GENLEME HIZLI DENEYLER

Yavaş genleme hızlı deneyler değişik türde deney parçalarına uygulanabilir. Deneyler çekme, eğme veya önceden çatlatılmış deney numuneleri ile yapılabilir. En büyük avantajı deney sonuçlarının hızlı bir şekilde elde edilmesidir.

4.4.2 KRİTİK GENLEME HIZI

Deneyin en önemli karakteristiği genleme hızıdır. Bir çok sistem için genleme hızı 10^{-5} - 10^{-6} s⁻¹ arasında değişmektedir. Sünek malzemelerde boyun oluştuktan sonra bu bölgedeki etkin genleme hızı artabilir, böylece kritik hızın dışına çıkılabilir. Verilen bir sistemde gerilmeli korozyon çatlağını ilerletecek en büyük genleme hızı çatlak hızına bağlıdır. Genellikle daha az çatlak hızında daha düşük genleme hızı gereklidir. GKÇ'nı ilerletmek için uygulanması gereken metal/ortam ilişkisinde gerekli olan genleme hızları tablo 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.2 Metal/ortam ilişkisinde gerekli genleme hızları.

ALAŞIM / ORTAM	uygulanan genleme hızı (s ⁻¹)
Alüminyum alaşımları / klorid çözeltileri	10^{-4} - 10^{-7}
Bakır alaşımları / amonyak ve nitrit çözeltileri	10^{-6}
Ferritik çelikler / karbonat, hidroksit, nitrat çözeltileri	10^{-6}
Magnezyum alaşımları / kromat, klorid çözeltileri	10^{-5}
Paslanmaz çelikler / klorid çözeltileri	10^{-6}
Paslanmaz çelikler / yüksek sıcaklık çözeltileri	10^{-7}
Titanyum alaşımları / klorid çözeltileri	10^{-5}

4.4.3 NUMUNE SECİMİ

Özel çalışmalar yapılmadıkça (ASTM-E8)'e göre düzenlenmiş numuneler kullanılabilir.

Düz numunelere başlangıçta belirli bir genleme hızı ile başlanır. Ancak çatlak oluşup ilerlemeye başladıktan sonra, çatlak ucuna yakın yerlerdeki etkin genleme hızı bilinmeyecektir. Çentikli veya önceden çatlatılmış numuneler, çatlağın belirli bir yerden başlatılması istendiğinde kullanılabilir.

4.4.4 DENEY ARAÇLARI

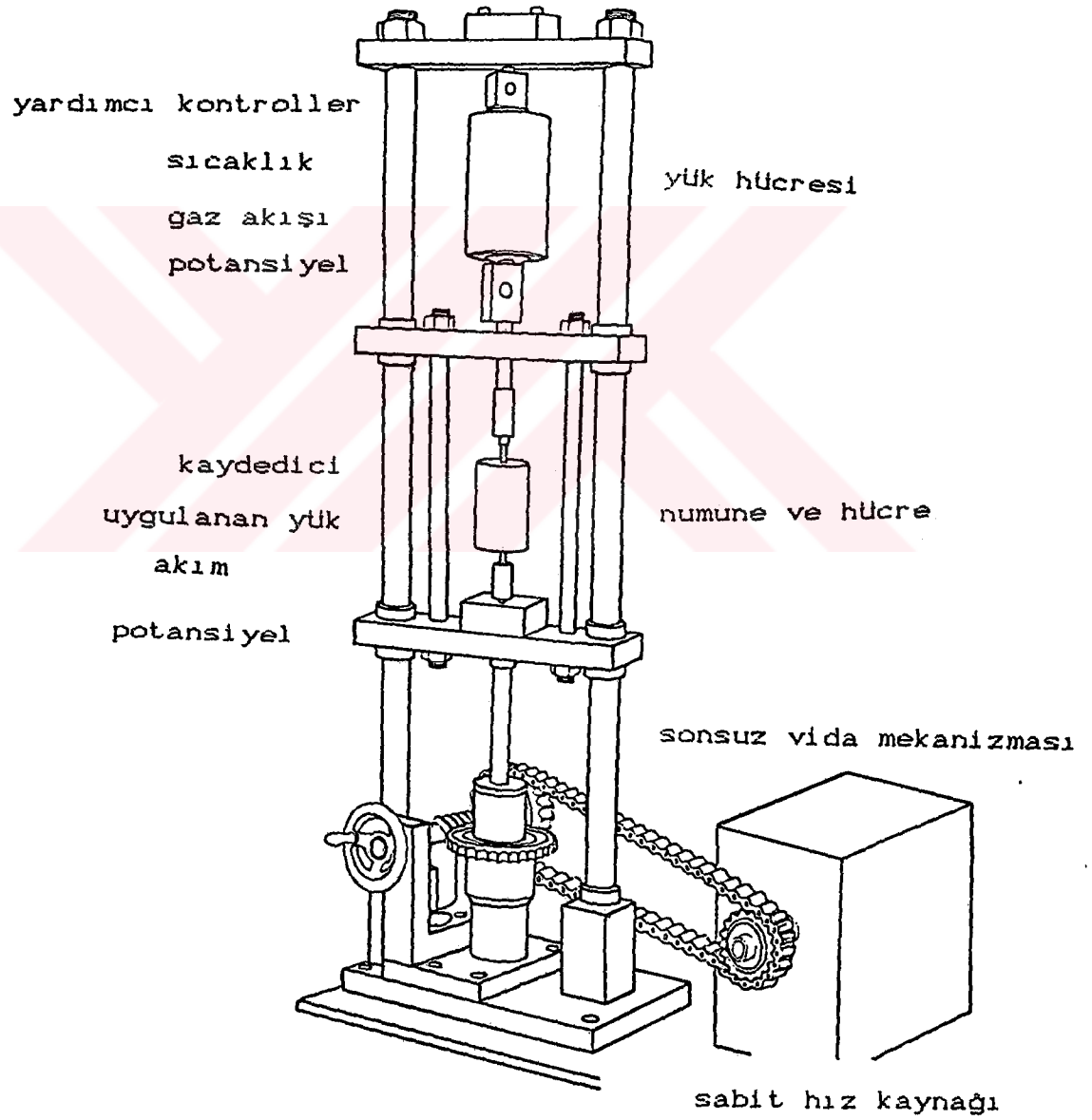
Şekil 4.17'de sabit genleme hızlı bir deney düzeni şematik olarak gösterilmektedir. Yardımcı aletlerde deney koşullarının kontrolü ve deney sonuçlarının kaydedilmesinde kullanılmaktadır. Tek eksenli çekme Unitesine ek olarak ayrıca az karbonlu çeliklerin GKÇ tesbitinde kullanılan sabit genleme hızlı cantilever aparatıda kullanılmaktadır.

4.4.5 SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

GKÇ deney sonuçlarının değerlendirilmesi, çekme sırasında oluşan maksimum gerilme, yüzde uzama, yük-çökme eğrisi ile sınırlanan alan ve kesit büzülmesi gibi yavaş genleme hızlı deneylerden elde edilen parametrelere dayalı olarak yapılır.

Mikroskopi ile birleştirilmiş olan yavaş genleme hızlı deney teknikleri ile ortalama GKÇ hızı tesbit edilebilir. Bunda kırık yüzeyindeki maksimum çatlak derinliğinin veya tamamen hasara uğramayan numunelerde çap üzerindeki çatlak ölçülüp bunun zamana bölünmesi ile bulunur. Ancak burada çatlağın deneyin başlangıcında

başladığı kabul edilmekte, bu ise her zaman doğru olmamaktadır. Önceden çatlatılmış numune kullanılan deneylerde çatlak hızı rahatça tesbit edilebilir. Dayanım, tokluk gibi GKÇ'yi etkileyen malzeme özellikleri faktör olarak ortadan kaldırılır dolayısıyla değişik yapı ve mekanik özellikli alşımların doğru olarak karşılaştırılması yapılır [15],



Sekil 4.17 Yavaş genleme hızlı deneylerin yapıldığı deney düzeneği [15].

BÖLÜM 5.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

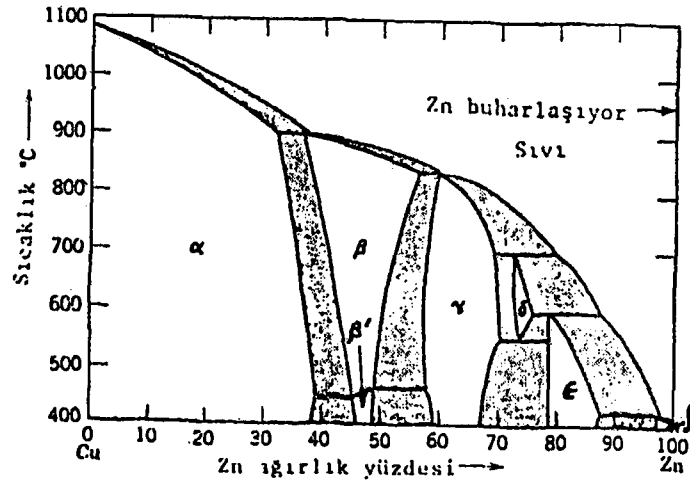
5.1. KULLANILAN MALZEME

Deneylerde kullanılan malzemelerden P158 pirinci $\phi 9$ mm, P163 pirincide $\phi 6$ mm' lik çubuklar halinde alınmıştır. Bu malzemelerin kimyasal analiz sonuçları tablo 5.1' de verilmiştir.

Tablo 5.1 kullanılan pirinç malzemelerin kimyasal analiz sonuçları.

Malzeme	% ağırlık oranları		
	Cu	Zn	Pb
P1-58	57,6	40,9	1,5
P1-63	62,4	37,6	—

Cu-Zn denge diyagramı şekil 5.1' de verilmiştir. Bu diyagramdan da görüldüğü gibi $\text{Cu} \geq \%63$ ise α -pirinci, $\%63 > \text{Cu} > \%53$ ise α - β pirinci söz konusudur.



Şekil 5.1. Cu-Zn denge diyagramı [16].

Pi58 ve Pi63 pirinçleri değişik tane boyutu elde etmek için maksimum 1200 °C kadar ısınabilen fırında değişik sıcaklık ve sürelerde tavlama işlemine tabi tutulmuştur. Elde edilen tane boyutları, bunların karşılık geldiği süre ve sıcaklıklar ve malzemelerin kodlaması tablo 5.2' de verilmiştir.

Tablo 5.2 Değişik tavlama sıcaklıkları ve elde edilen tane boyutları

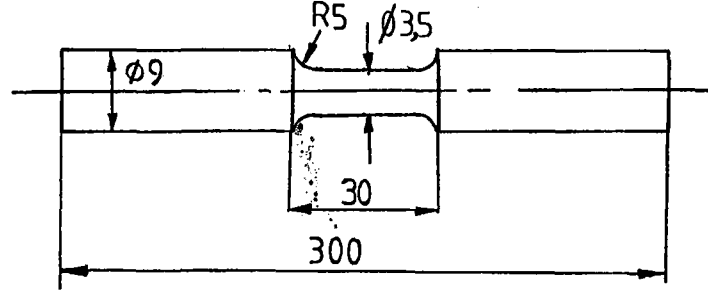
Malzeme kodu	Sıcaklık (°C)	Malzeme Pi58		ortalama tane çapı(μm)
		süre(saat)	soğutma	
Pi 58/15	500	1/3	havada	15
Pi 58/45	600	2.5	2.5 saat fırında+havada	45
Pi 58/100	800	0.5	2.5 saat fırında+havada	100
Pi 58/140	800	1	fırında	140
Malzeme Pi63				
Pi 63/20	600	1	havada	20
Pi 63/50	700	1	2.5 fırın+havada	50
Pi 63/300	800	1	fırında	300

5.2. DENEY NUMUNELERİ

5.2.1. SABİT KUVVET DENEY NUMUNELERİ

Sabit kuvvet deney numuneleri torna tezgahında şekil 5.2 deki ölçülerde hazırlanmıştır. Torna işleminden

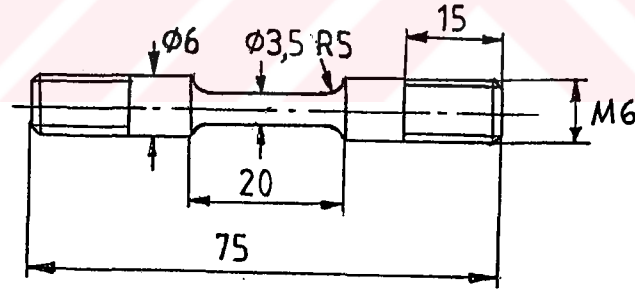
sonra torna kaleminin izlerinin yok edilmesi için aksenal doğrultuda zımparalama işlemine tabi tutulmuştur.



Şekil.52. Sabit kuvvet deney numunesi

5.2.2. SABİT GENLEME HIZLI DENEY NUMUNELERİ

Sabit genleme hızlı deneylerde kullanılan deney numuneleri şekil 5.3 deki ölçülerde sabit kuvvet deney numunelerine benzer şekilde hazırlanmıştır. Bu numuneleri gerilmeli korozyon aparatına bağlamak için iki ucunda M6 vida açılmıştır.



Şekil.53. Sabit genleme hızlı deney numunesi

5.3. DENEYİN YAPILIŞI

5.3.1. TANE BOYUTUNUN ÖLÇÜLMESİ

Tane boyutu ölçümleri jefferies planimetrik metoduna [17] göre yapılmıştır. Bu yöntemde ışık mikroskopunda görüntünün düştüğü ekran üzerine $\phi 79,8\text{mm}$

(5000 mm²)'lik daire çizilir. Bu daire içinde kalan taneler sayılır. Dairenin kestiği tanelerin sayısının yarısı bu sayıya eklenerek, daire içindeki toplam tane sayısı bulunur. Daha sonra bu sayı, görüntünün büyültme değerine göre seçilecek bir büyültme faktörü ile çarpılır. Bu elde edilen tane sayısı ve büyültme oranı dikkate alınarak tane boyutu hesaplanır.

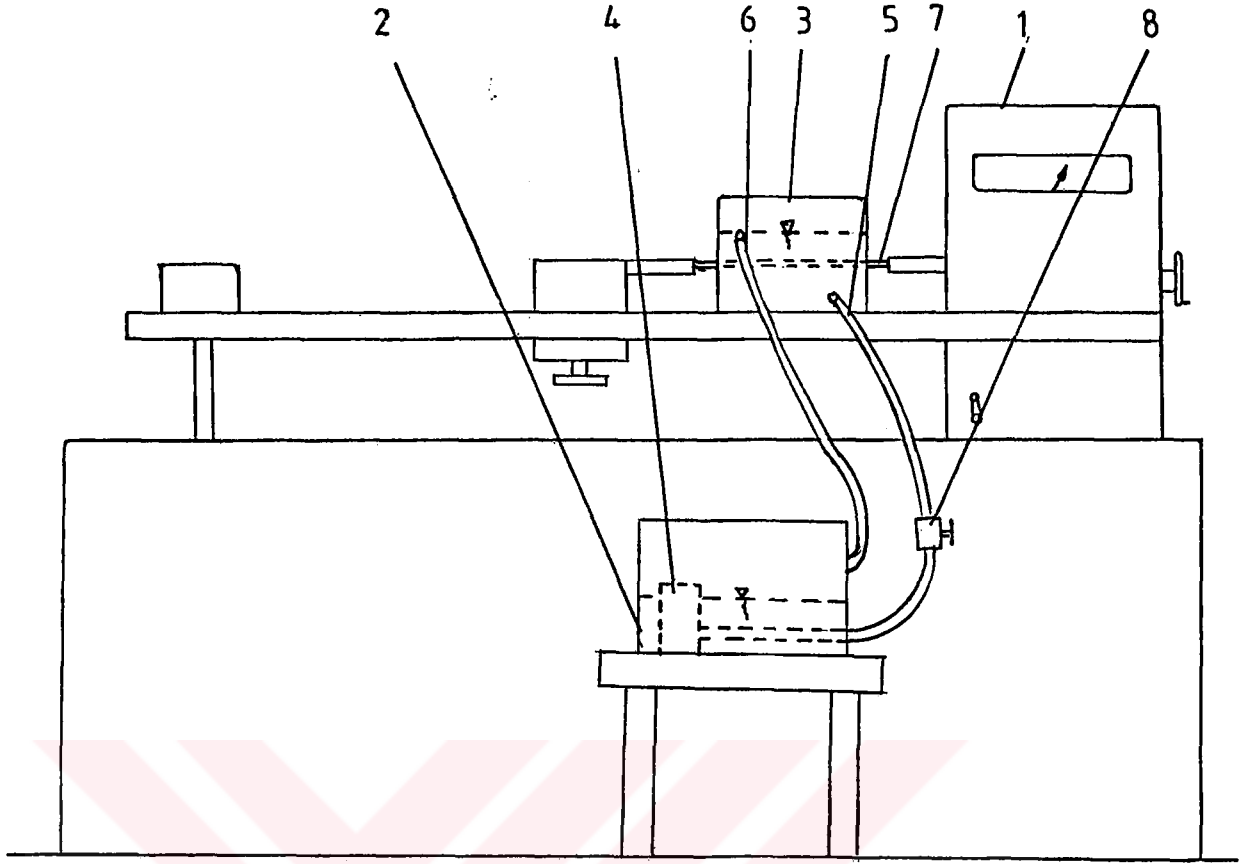
5.3.2. SABİT KUVVET ALTINDA GKÇ DENEYLERİ

Bu deneyler şekil 5.4' de şematik olarak gösterilen deney düzenğinde yapılmıştır.

Deneyde sabit kuvvet mekanik olarak tahrik edilen ve maksimum kuvveti 200kg olan yatay "SCHENK" çekme makinası ile gerçekleştirilmiştir.

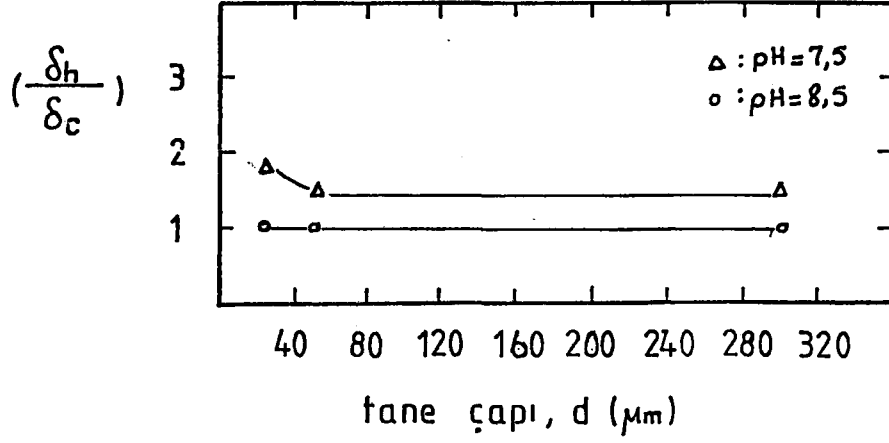
Korozif ortam olarak bakır ve alaşımları için literatürde belirtilen [15], 12,6 g/l CuSO₄.5H₂O, 55,5 g/l (NH₄)SO₄, 80 ml/l 2N NH₄OH' dan oluşan ve pH' ı 7.5 olan Mattson çözeltisi kullanılmıştır. Çözeltinin pH değeri belirli aralıklarda pH kağıtları ile ölçülerek sabit tutulmuştur. Literatürde bakır ve alaşımlarının korozif ortamdan etkilenmesinin pH=7,5 değerinde maksimum olduğu belirtilmektedir [3], Bunu belirlemek için yapılan deneylerin sonuçları şekil 5.5 ve 5.6' de verilmiştir.

Korozif hücrenin sızdırmazlığı deney numunesinin korozif hücreye tutturulduğu yerlere çekomastik sürülerek sağlanmıştır.



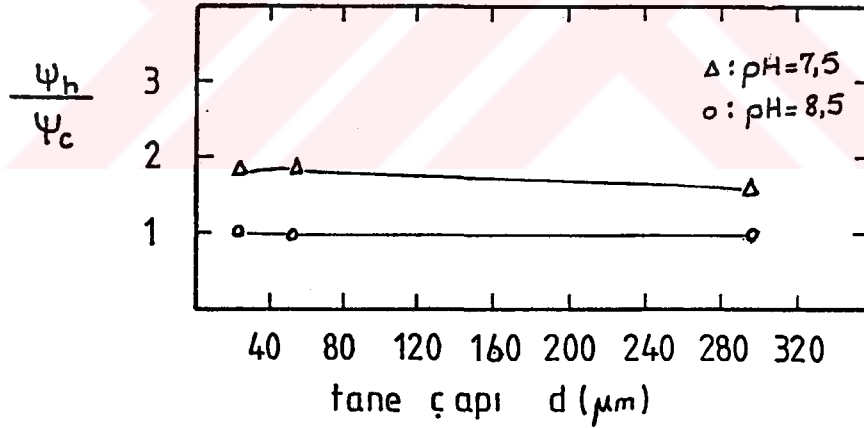
1. Yatay çekme makinası
2. Koroziif çözelti haznesi (P.V.C)
3. Koroziif hücre (P.V.C.)
4. Hidrolik pompa
5. Giriş borusu
6. Çıkış borusu
7. Deney numunesi
8. Debi ayar vanası

Sekil.5.4. Sabit kuvvet deney düzeneğinin
sematik gösterilişi



Şekil.5.5 (δ_h/δ_c) oranının tane boyutu ile değişimi

(δ_h havadaki ; δ_c koroziif ortamdaki % uzama)



Şekil.5.6 (ψ_h/ψ_c) oranının tane boyutu ile değişimi

(ψ_h havadaki ; ψ_c koroziif ortamdaki % kesit büzülmesi)

$$\left[\begin{array}{l} \text{malzeme: } 63\text{Cu}-37\text{Zn} \\ \dot{\epsilon} = 5.10^{-6} \cdot \text{s}^{-1} \end{array} \right]$$

Şekil 5.5 ve 5.6 da da görüldüğü gibi, pH=8.5 değerinde malzeme koroziif ortamdan etkilenmiyor.

- Deneylerde aşağıdakim yol izlenmiştir:
- Parça koroziif hücreye yerleştirilir.
- Deney parçası yatay çekme makinasına bağlanır.
- Kuvvet uygulanır.
- Kopma süresi tesbit edilir.

5.3.3. SABİT GENLEME HIZLI DENEYLER

Sabit genleme hızlı gerilmeli korozyon deneyleri şekili 5.7' de şematik olarak gösterilen deney düzeneğinde gerçekleştirilmiştir.

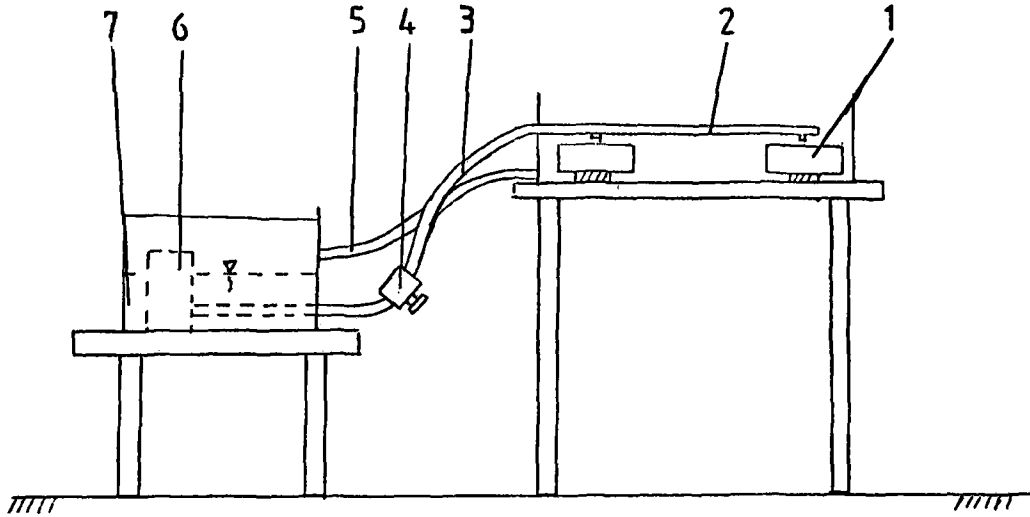
Sabit genleme hızını gerçekleştirmek için özel olarak tasarımı yapılan şekil 5.7' deki deney aparatı kullanılmıştır. Literatürde [15] bakır ve alaşımları için kritik genleme hızı $\dot{\epsilon}=10^{-6}.s^{-1}$ olarak verilmektedir. Bu değeri gerçekleştirecek deney düzeneği bulunmadığından şekil 5.7' deki aparat tasarlanmıştır. Bu aparatta 10 parça numarası ile gösterilen civatanın belirli zaman aralıklarında sıkılması ile kademeli olarak bir ortalama $\dot{\epsilon}$ değeri ($\dot{\epsilon}_{ort}$) sağlanmıştır.

$$\epsilon = \ln \frac{L}{L_0} \quad ; \quad \dot{\epsilon} = \frac{d\epsilon}{dt} = \frac{d\epsilon}{dL} \frac{dL}{dt} = \frac{d}{dL} \left(\ln \frac{L}{L_0} \right) \frac{dL}{dt}$$

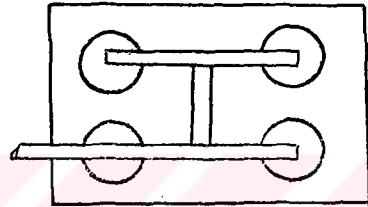
$$\dot{\epsilon} = \frac{1}{L} \frac{dL}{dt} \quad ; \quad dL = dt.L.\dot{\epsilon}$$

eşitliği dikkate alınarak civataya verilmesi gereken dL miktarı hesaplanabilir. Burada civatayı sıkma zaman aralığının deney sonuçlarına etkisinin olup olmadığını araştırmak için sonuçları şekil 5.9' da verilen deneyler yapılmış dolayısıyla 15dk veya 1saat'te bir artırmanın deney sonucunu etkilemediği görülmüştür. Deneylerde artırma zaman aralığı 1 saat olarak alınmıştır.

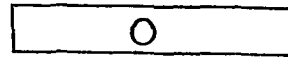
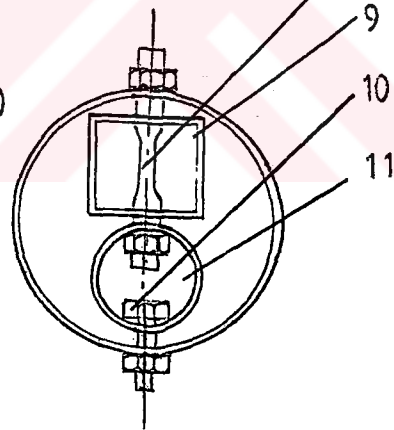
Dolayısıyla her saat artırılacak dL miktarı;
 $dL = L.\dot{\epsilon}.t$ ($L=20mm$ şekil 5.3' den ve çalışma süresi düşünülerek $\dot{\epsilon} = 5.10^{-6}.s^{-1}$ alınarak)
 $dL = 20.5.10^{-6}.3600 = 0.36mm$ olarak hesaplanmıştır.



1. Deney aparatı
2. Dağıtım borusu
3. Çıkış borusu
4. Debi ayar vanası
5. Dönüş borusu
6. Hidrolik pompa
7. Korozyon çözelti haznesi (P.V.C)
8. Numune
9. Korozyon hücresi (P.V.C)
10. M8 civata
11. Çekme aparatı

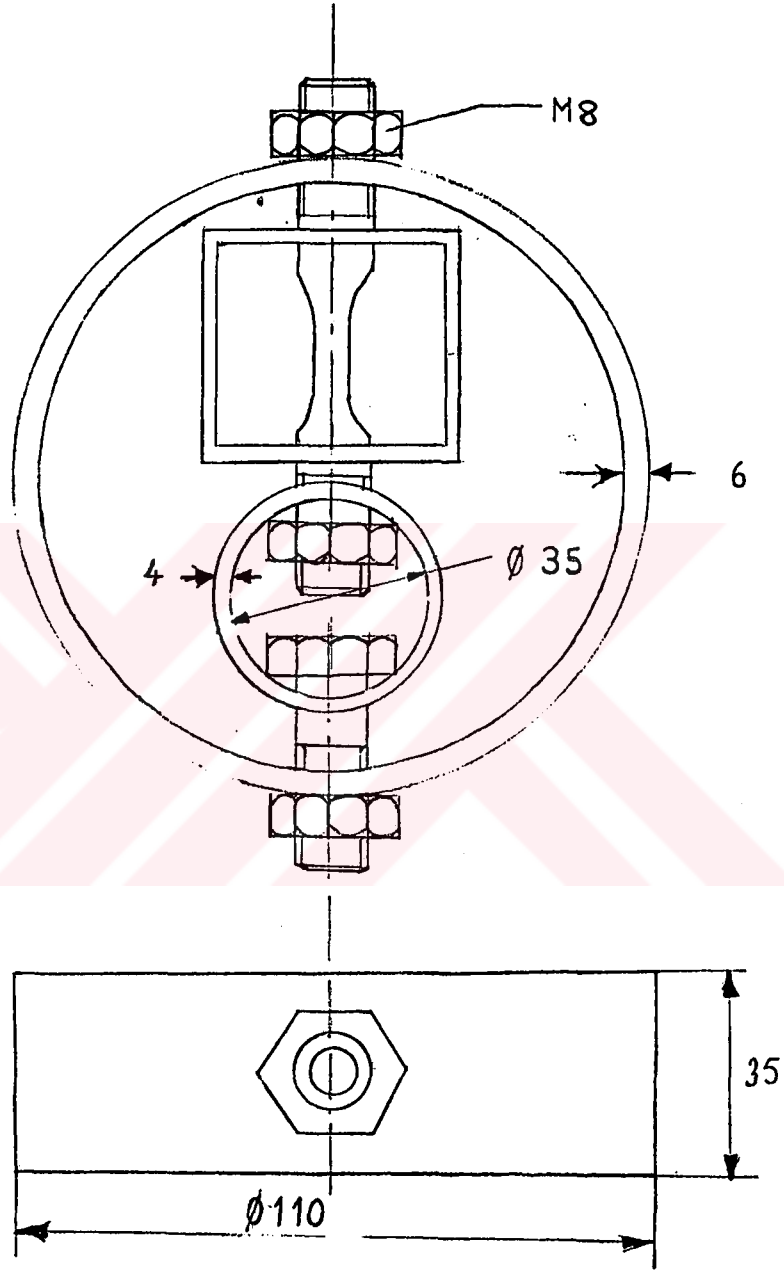


numunelerin yerleştirildiği kabın
üst görünüşü

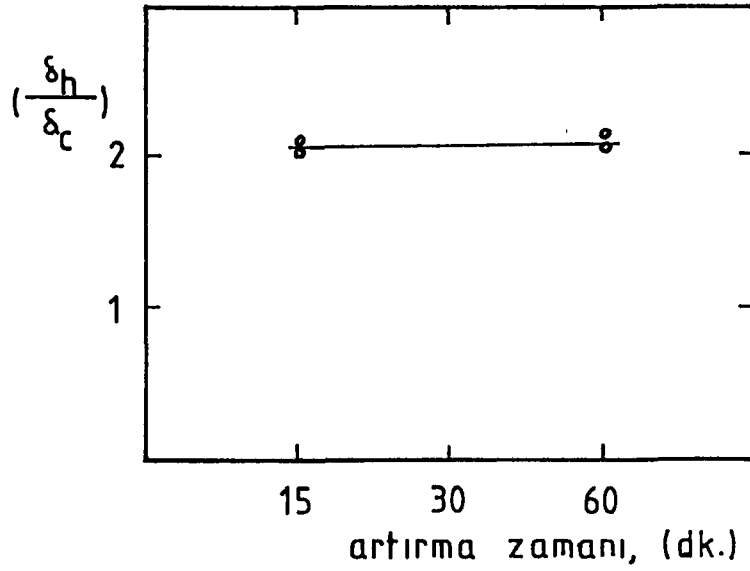


Deney aparatı

Şekil.5.7. Sabit genleme hızlı deney düzeneğinin
şematik gösterilişi

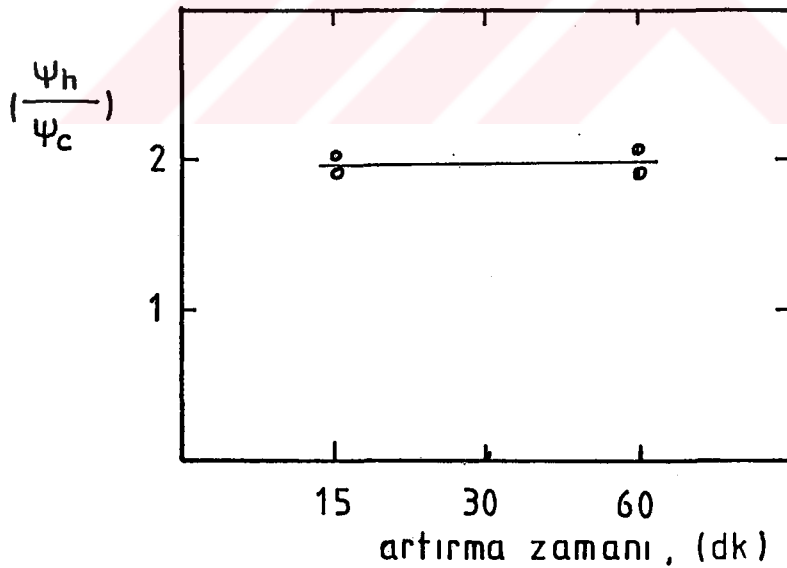


Şekil . 5.8 Sabit genleme hızlı deney aparatı



δ_h/δ_c oranının artırma zamanı ile değişimi
(δ_h havadaki ; δ_c korozif ortamdaki %kapma uzaması)

[malzeme: 58Cu-40Zn-2Pb
 $\dot{\epsilon}=10^{-5} \text{ s}^{-1}$; pH=7.5 ; tane çapı $d=15 \mu\text{m}$.]



Şekil.5.9 ψ_h/ψ_c oranının artırma zamanı ile değişimi

(ψ_h havadaki ; ψ_c korozif ortamdaki % kesit büzülmesi)

[malzeme : 58 Cu-40 Zn-2 Pb
 $\dot{\epsilon} = 10^{-5} \text{ s}^{-1}$; pH=7.5 ; tane çapı $d=15 \mu\text{m}$]

Şekildeki grafikte görüldüğü dLyi artırma zamanının
süneklik kaybı üzerinde herhangi bir etkisi olmamaktadır.

M6 civatanın hatvesi 1.15mm olarak ölçülmüştür. Dolayısıyla her saat M6 civata 120° sıkılarak $\dot{\epsilon}_{ort} = 5 \cdot 10^{-6} \cdot s^{-1}$ değeri sağlanmıştır. Bu hesaplanan ortalama $\dot{\epsilon}$ başlangıç durumu için geçerli olup parçanın uzaması ile bu değer artacaktır. Bu durum ise deney için daha uygundur.

Deneylerde aşağıdaki yol izlenmiştir.

- Parça aparata bağlanır.
- Her saat gerekli ΔL uzaması verilir.
- Kopma uzaması ($\% \delta$) ve kopma büzülmesi ($\% \psi$) ölçülür.

5.3.4 GERİLMELİ KOROZYON ÇATLAKLARININ METALOGRAFİK İNCELENMESİ

Metalografik incelemelerde şu araçlar kullanılmıştır:

- Deney numunelerinin kırılmış kısımlarının gömülmesi için polyester
- Tanelerin mikroskopta görünmesini sağlamak için dağlama ayıracı (5 gr. $Fe(NO_3)_2$, 25 ml HCl, 70 ml su [18].)

Deneyde şu yol izlenmiştir:

- Parça polyestere gömülür.
- Taşlama ve zımparalama ile çatlak açığa çıkarılır.
- Metalografik parlatma ve dağlama yapılır.
- Mikroskopta iç yapı incelenerek fotoğrafı çekilir.

BÖLÜM 6

DENEY SONUÇLARI

6.1. SABİT KUVVET DENEY SONUÇLARI

Tane boyutu ile hasar süresi ilişkisini belirlemek için bölüm 5.2.1 de boyutları verilen deney numuneleri ile yapılan yapılan deneylerin sonuçları tablo 6.1. de verilmiştir.

Tablo 6.1. Tane boyutu ile hasar süresi ilişkisini belirlemek için yapılan deney sonuçları.

Deney no	Malzeme kodu	Uygulanan kuvvet (Kg)	Ortlama tane çapı (μm)	Parçanın kırılma süresi (saat)
SK-1	58/20	185	20	408
SK-2	58/140	185	140	120

6.2. SABİT GENLEME HIZLI DENEY SONUÇLARI

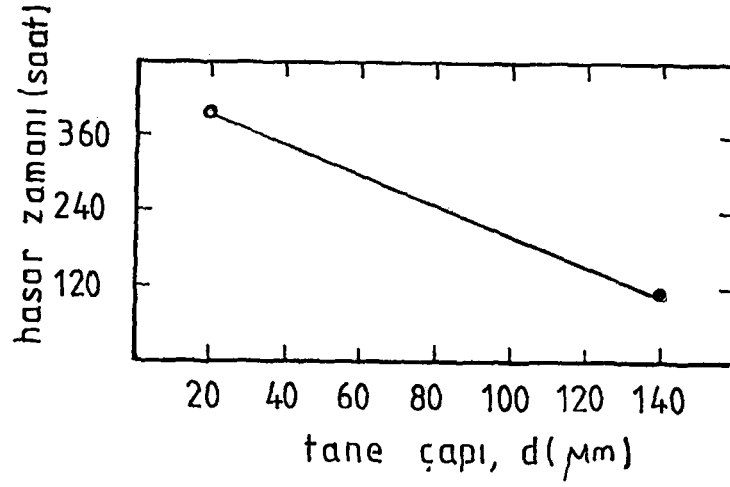
Malzemenin tane boyutunun korozi ortamdaki süneklik kaybına etkisini belirleyebilmek için bölüm 5.2.2 de boyutları verilen numunelerle yapılan deneylerin sonuçları P158 ve P163 pirinçleri için tablo 6.2 ve 6.3 de verilmiştir.

Tablo 6.2 P158 pirincine ait sabit genleme hızlı deney sonuçları.

$\dot{\epsilon}_{ort} = 5.10^{-6} . s^{-1}$; Mattson çözeltisi pH=7.5					
Deney no	Tane boyutu (μm)	Havadaki % kopma uzaması	Korozif ortamda % kopma uzaması	Havadaki % kesit büzülmesi	Korozif ortamda % kesit büzülmesi
SGH-1	15	27	9.5	48	23
SGH-2	15	27	10.5	48	23
SGH-3	45	28	12.5	50	28
SGH-4	45	28	14	50	26
SGH-5	100	30	13	50	27
SGH-6	100	30	10	50	28
SGH-7	140	34	12	51	31
SGH-8	140	34	15	51	27

Tablo 6.3. P163 pirinicine ait sabit genleme hızlı deney sonuçları.

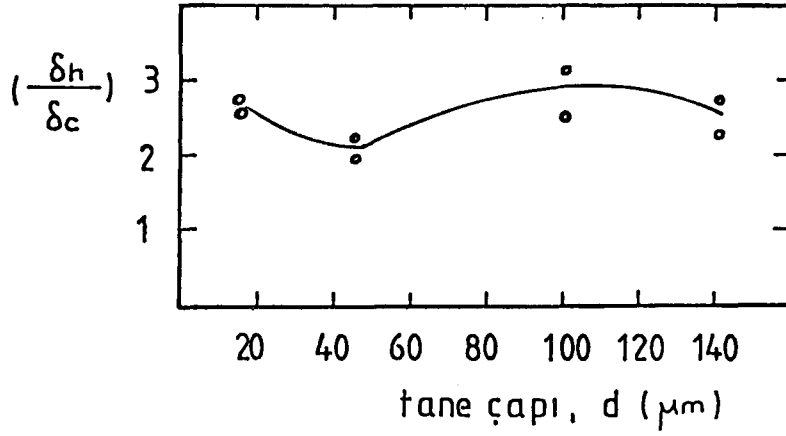
$\dot{\epsilon}_{ort} = 5.10^{-6} \cdot s^{-1}$; Mattson çözeltisi pH=7.5					
Deney no	Tane boyutu (μm)	Havadaki % kopma uzaması	Korozif ortamdaki % kopma uzaması	Havadaki % kesit büzülmesi	Korozif ortamdaki % kesit büzülmesi
SGH-9	20	32	24	64	37
SGH-10	20	32	22	64	40
SGH-11	20	32	19	64	35
SGH-12	50	36	28	65	45
SGH-13	50	36	26	65	36
SGH-14	50	36	30	65	46
SGH-15	300	40	26	66	45
SGH-16	300	40	32	66	50
SGH-17	300	40	32	66	44



Şekil.6.1 Hasar süresinin tane boyutu ile değişimi

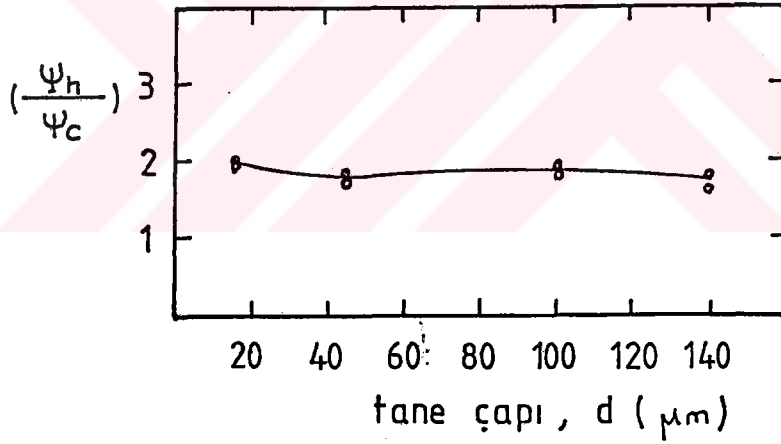
$$\left[\begin{array}{l} F=185 \text{ kg} \quad ; \quad \text{pH}=7.5 \\ 58 \text{ Cu}-40 \text{ Zn}-2 \text{ Pb} \end{array} \right]$$

Sabit kuvvet altında hasar zamanı tane boyutunun artışı ile azalmaktadır.



Şekil.6.2 (δ_h / δ_c) oranının tane boyutu ile değişimi

(δ_h havadaki ; δ_c korozyif ortamdaki % uzama)

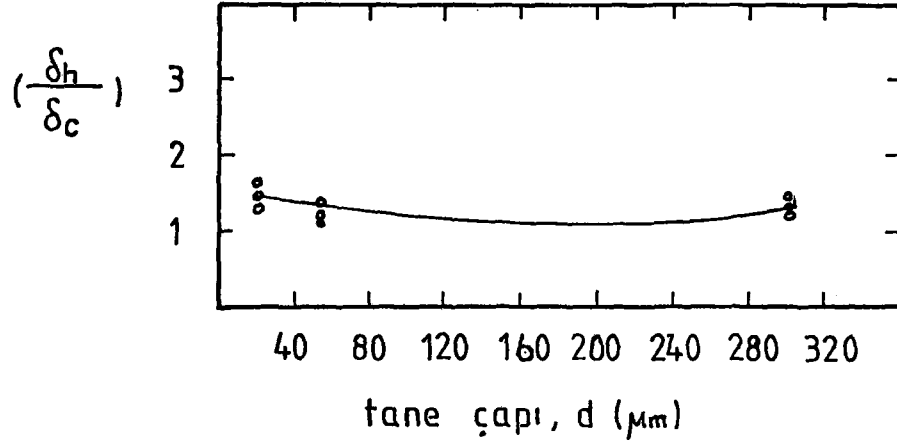


Şekil.6.3 (ψ_h / ψ_c) oranının tane boyutu ile değişimi

(ψ_h havadaki ; ψ_c korozyif ortamdaki)
% kesit büzulmesi

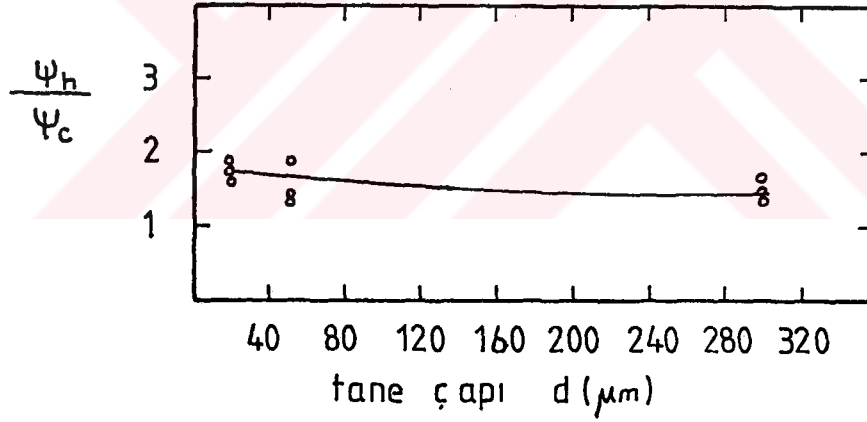
$$\left[\begin{array}{l} \text{malzeme : 58 Cu-40Zn-2Pb} \\ \dot{\epsilon} = 5.10^6 \cdot s^{-1} \quad pH \approx 7.5 \end{array} \right]$$

Tane boyutu büyük oranda artmasına karşılık süneklik kaybında fazla bir değişiklik olmamaktadır.



Şekil.6.4. (δ_h/δ_c) oranının tane boyutu ile değişimi

(δ_h havadaki ; δ_c koroziif ortamdaki % uzama)

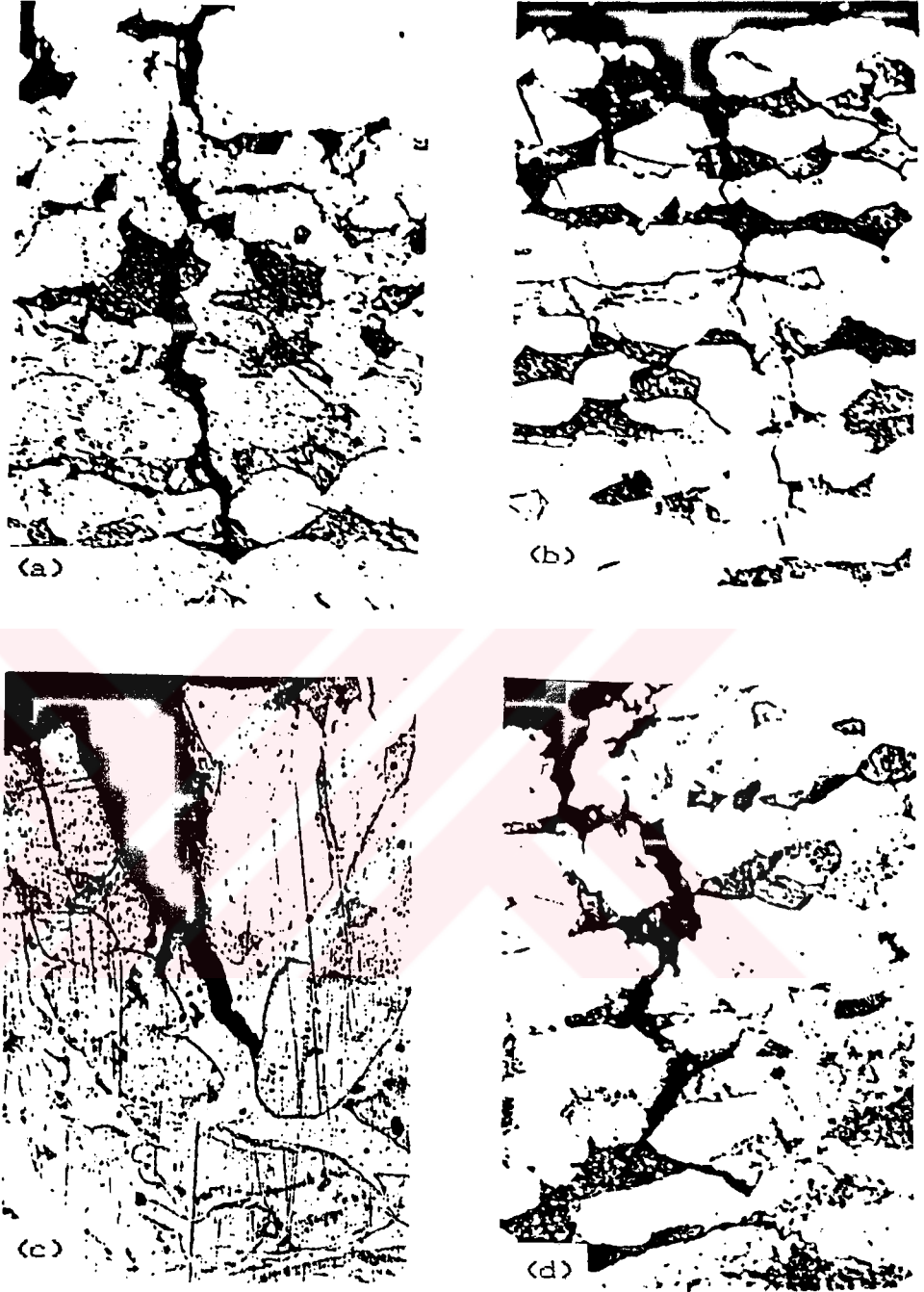


Şekil.6.5 (ψ_h/ψ_c) oranının tane boyutu ile değişimi

(ψ_h havadaki ; ψ_c koroziif ortamdaki % kesit büzülmesi)

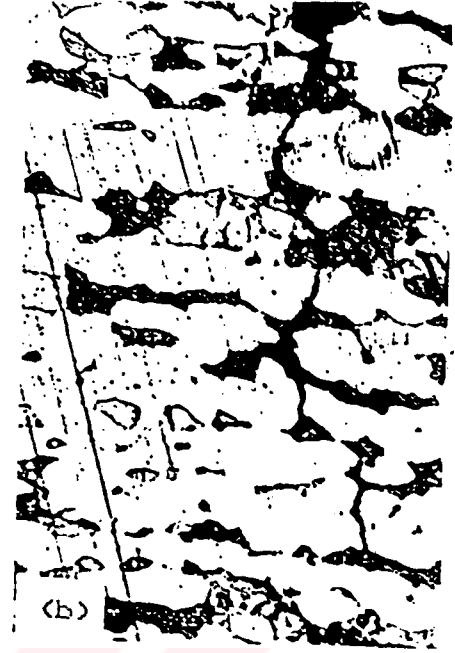
$$\left[\begin{array}{l} \text{malzeme: } 63\text{Cu}-37\text{Zn} \\ \dot{\epsilon} = 5.10^{-6} \cdot \text{s}^{-1} ; \text{ pH}=7.5 \end{array} \right]$$

Tane boyutu büyük oranda artmasına karşılık sünelik kaybında fazla bir değişiklik olmamaktadır.



Şekil 6.6 Gerilmeli korozyon çatlaklarının genel görünüşü (a,b,c,d)
(58Cu-40Zn-2Pb ; tane çapı $d=25\mu\text{m}$, büyütme $\times 600$)

a, b, d: Çatlak α - β fazlararsından ilerlemektedir.
 β fazını taneleriçi olarak geçmektedir.
c: β' yı taneiçinde geçen çatlak.

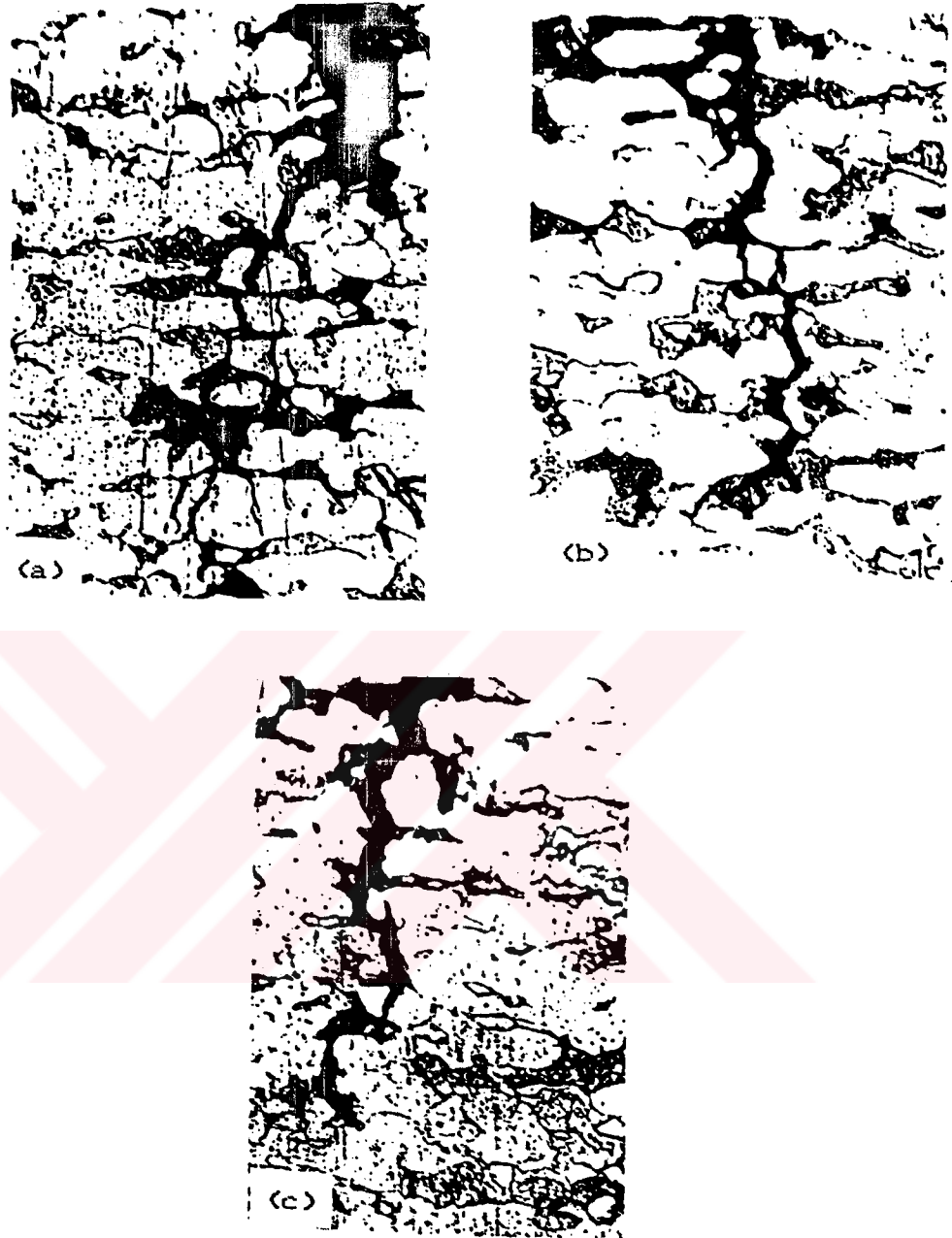


Sekil 6.7 Gerilmeli korozyon çatlaklarının genel görünüşü (a,b,c,d)

(58Cu-40Zn-2Pb, tane çapı $d=15\mu\text{m}$, büyültme $\times 600$)

c: fazlararası α ayrılması, β' da taneleriçi GKC.

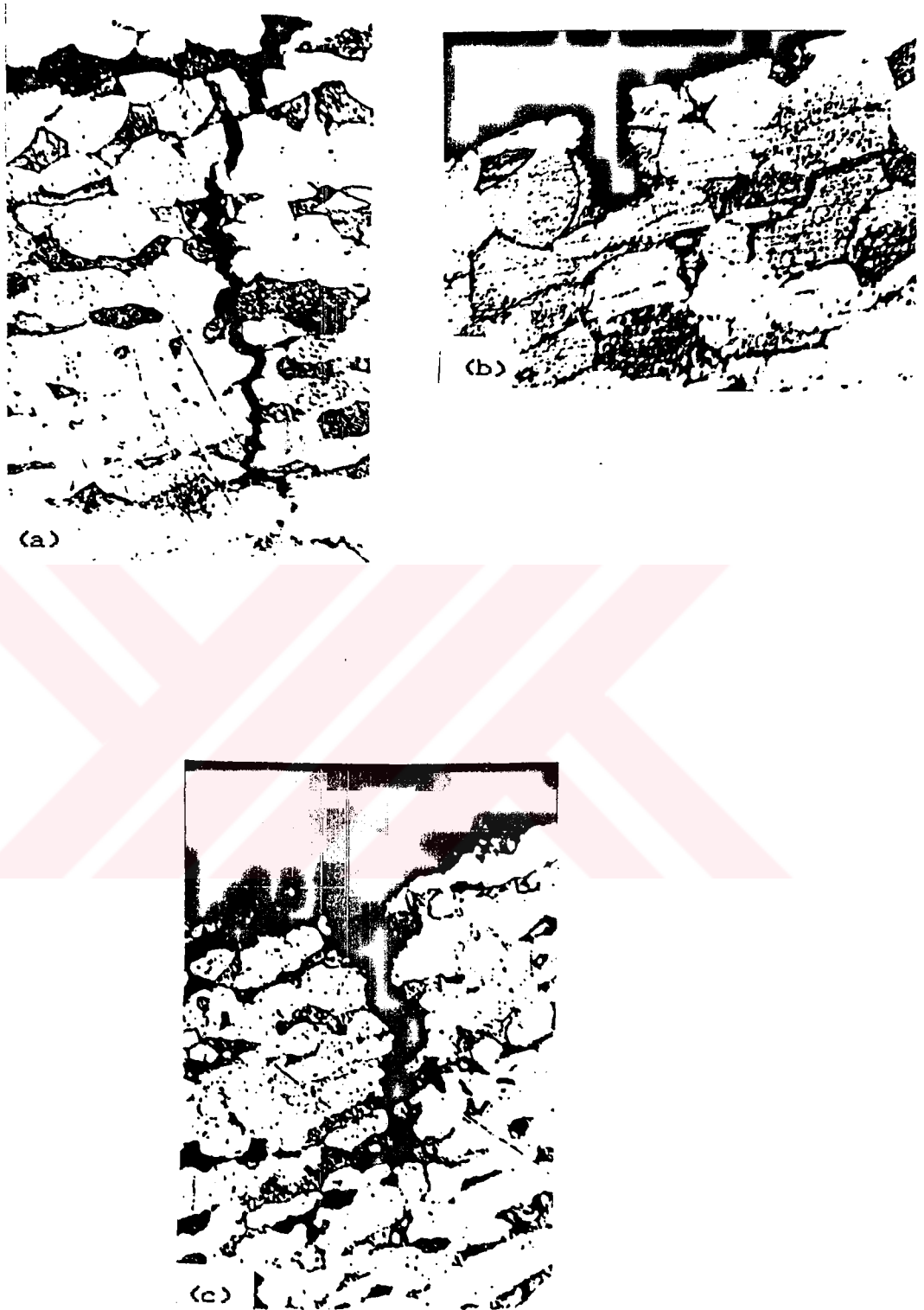
a, b, d: şekil 17 ile aynı karakterde GKC ilerlemesi.



Şekil 6.8 Gerilmeli korozyon çatlaklarının genel görünüşü (a,b,c)

(58Cu-40Zn-2Pb, tane çapı $d=15\mu\text{m}$, büyültme $\times 600$)

a, b, c: GKÇ fazlararasıdan, α ve β fazında ise taneleriçi olarak ilerlemektedir.



Sekil 6.9 Gerilmeli korozyon çatlaklarının genel görünüşü (a, b, c)

(a, b: 58Cu-40Zn-2Pb, tane çapı $d=25\mu\text{m}$, büyültme $\times 600$
c: tane çapı $15\mu\text{m}$)

a, c: α ve β fazında taneleriçinden ilerleyen GKÇ.

b: β 'yı taneliçinden geçen GKÇ.



Şekil 6.10. Gerilmeli korozyon çatlaklarının genel görünüşü (a,b,c)

(a: 63Cu-37Zn, tane çapı $d=300\mu\text{m}$, büyültme $\times 600$,
b: 63Cu-37Zn, tane çapı $d=50\mu\text{m}$ büyültme $\times 600$,
a, b: Taneleriçi ilerleyen gerilmeli korozyon çatlağı.

BÖLÜM 7

DENEY SONUÇLARININ İRDELENMESİ

Malzemelerin GKÇ davranışına etki eden faktörler; korozif ortamın özellikleri, malzemenin metalurjik yapısı ve uygulanan gerilmenin türüdür.

GKÇ oluşabilmesi için parça üzerinde çekme gerilmesinin bulunması gerekir. Bu gerilme parçada bulunan artık iç gerilmeler veya parçaya uygulanan çekme gerilmesi olabilir. Soğuk haddelenmiş parçalarda soğuk şekil değiştirme miktarı ve uygulanan gerilmenin yönü de malzemenin GKÇ duyarlılığına etki eden faktörlerdir.

Gerilme durumunun aynı olduğu malzemelerde ise malzemenin GKÇ davranışı ortamın özelliklerinden ve malzemenin iç yapısından etkilenmektedir. Korozif ortamın içerdiği iyonlar ve ortamın pH değeri ve sıcaklığı, GKÇ davranışını etkileyen ortamlarla ilgili özelliklerdir.

Malzeme ile ilgili özelliklerden, malzemenin yerel ve genel kimyasal bileşimi ve kristal yapısı, tek fazlı veya çok fazlı olması, soğuk şekil değiştirip değiştirmediği ve tane boyutu gibi metalurjik özellikleri GKÇ'ye karşı duyarlılıkta etkili olan malzeme ile ilgili parametrelerdir.

Malzemelerin GKÇ davranışlarını belirleyen deney yöntemleri, statik yükleme ve dinamik yükleme uygulayan yöntemler olmak üzere iki ana başlık altında toplanabilir. Statik yükleme deneyleri, sabit yük veya sabit genleme oluşturarak gerçekleştirilmektedir. Statik yükleme deneyleri ile bir malzemenin verilen bir ortam içindeki gerilme-hasar zamanı ilişkisi tesbit edilmektedir. Bu iki statik yükleme deneyinden başka, lineer elastik kırılma mekaniğini kullanan ve mekanik olarak önceden çatlatılmış deney parçasına yükü statik olarak uygulayan ve çatlak ilerleme hızını hesaplayan deney tekniğide geliştirilmiştir.

Dinamik yükleme deneyleri ise sabit genleme hızı oluşturularak gerçekleştirilmektedir. Sabit genleme hızlı deney sonuçları, çekme sırasında oluşan maksimum gerilme, yüzde uzama ve yüzde kesit büzülmesi parametrelerine dayalı olarak değerlendirilir.

Bu çalışmada, korozyif ortamla ilgili özellikler sabit tutularak pirinçte tane boyutundaki değişikliğin GKÇ davranışını nasıl etkilediği araştırılmıştır. Bunun içinde sabit genleme hızında tane boyutu ile süreklilik kaybı arasındaki ilişkiyi ve sabit kuvvet altında tane boyutu ile hasar zamanı ilişkisini veren deneyler yapılmıştır.

Sabit genleme hızlı deneylerde kritik olan parametre genleme hızıdır. Bakır ve alaşımları için $10^{-6}.s^{-1}$ olan bu değer deneysel çalışmalarda $5.10^{-6}.s^{-1}$ olarak kademeli olarak gerçekleştirilmiştir.

Artırım zamanını (kademe aralığını) belirlemek için sonuçları şekil 5.8' de verilen deneyler yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre 15 dakikada bir artırım ile 60 dakikada bir artırım sonucu değiştirmemektedir. 15 dak. ve 60 dakikada parça yüzeyinde oluşan film kalınlığı farklı olduğu halde (şekil 3.2), aynı $\dot{\epsilon}$ değerinde, süneklilik kaybı her iki artırım zamanı içinde aynıdır.

Sekil 6.1' de verilen deney sonucuna göre sabit kuvvet yani aynı gerilmeyi taşıyan parçalarda, küçük taneli pirincin kırılma zamanı büyük taneli pirincinkinden daha uzundur. Aynı ilişki H.Uhlig tarafından yapılan çalışmada da belirtilmektedir [2].

Bir çok metalin çekme ve akma dayanımının tane çapının karekökü ile ters orantılı olduğu bilinmektedir [3]. Dolayısıyla büyük taneli P158-pirincinin akma ve çekme dayanımına göre bağlı olarak daha büyük bir gerilme ile yüklenmekte, dolayısıyla hasar zamanı kısalmaktadır.

Sabit genleme hızı altında yapılan deneylerden elde edilen sonuçlara göre (şekil 6.2- 6.5), tane boyutunun süneklilik kaybı üzerinde herhangi bir etkisi yoktur. Yani korozyf ortam küçük ve büyük taneli P158 ve P163 pirinçlerini aynı seviyede etkilemektedir.

Küçük taneli yapıda tane yüzeyi büyük taneliye nazaran daha fazladır. Dolayısıyla çatlak ilerlemesinin tanelerarasından olması veya tanelerarası çatlak ilerlemesinin baskın olması durumunda küçük tanelide korozyona uğrayacak tane yüzeyi daha fazla olacağından, küçük taneli yapının korozyf ortamdan etkilenmesi büyük taneliye nazaran daha fazla olacaktır.

P158 ($\alpha+\beta$) ve P163 (α) pirinçlerinde Mattson çözeltisinde ($\text{pH}=7,5$), $i=5.10^{-6} \text{ s}^{-1}$ genleme hızında gerçekleştirilen bu deneylerde, küçük ve büyük tanelide süneklilik kaybının aynı olması; çatlağın taneleriçi ilerlemesinin tanelerarası ilerlemeye göre daha baskın olduğunu ve korozi ortamdan etkilenmenin her ikisinde de aynı oranda gerçekleştiğini göstermektedir.

Deneyler sonunda çatlaklar üzerinde yapılan metalografik incelemeler (şekil 6.6-6.10), $\alpha+\beta$ pirinçlerinde çatlak; β fazında taneleriçinden, α ile β fazları arasından α fazında da taneleriçinden ilerlemektedir. Bu da Hintz ve arkadaşlarının [7], Na_2SO_4 çözeltisinde $\alpha+\beta$ pirinçlerinde tesbit ettikleri çatlak ilerleme yörüngeleri ile uyusmaktadır.

$\alpha+\beta$ pirinçlerinde amonyaklı ortamlarda hasar, çatlak ucunda adsorbe edilen iyon gruplarının atomlararası bağı zayıflatması ile oluşmaktadır.

Şekil 6.2 ve 6.5' deki sonuçlardan da görüldüğü gibi süneklilik kaybı P158 pirincinde P163 pirincine nazaran daha fazladır. Pirinçlerde çinko miktarının artması ile korozyona karşı duyarlılık artmakta, dolayısıyla süneklilik kaybı daha çok olmaktadır.

α -pirinçlerinde literatürde belirtilenin aksine taneleriçi çatlak tesbit edilmiştir (şekil 6.10).

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

1- Yavaş sabit genleme hızını gerçekleştirecek deney araçları bulunmadığı zaman sabit genleme hızını kademeli olarak gerçekleştirmek, deney sonuçlarını değiştirmemektedir.

2- Aynı gerilmeyi taşıyan pirinçlerden küçük taneli olanı büyük taneliye nazaran daha uzun sürede kopmaktadır.

3- Korozi ortamın neden olduğu süneklilik kaybı, küçük ve büyük taneli pirinçlerde aynıdır.

4- $\alpha+\beta$ pirincinde çatlak ilerlemesi hem taneleriçi hemde tanelerarsıdır.

5- α pirincinde literatürde belirtilenin aksine taneleriçi çatlak da görüldü.

6- Bundan sonraki yapılacak çalışmalar için akma veya çekme gerilmesine göre bağıl gerilme seviyeleri aynı olan pirinçler parçalarda, kırılma zamanının tane boyutu ile değişimi incelemesi ve korozi ortamın pH değerinin değişiminin süneklilik kaybı üzerine etkisini belirlemeye yönelik araştırmalar önerilebilir.

KAYNAKLAR

- [1]- DORUK M., Korozyon ve önlenmesi, ODTU Yayınları Ankara, pp. 7-90 (1982).
- [2]- ASM Metals Handbook, Failure Analysis and Prevention Vol.10, pp. 205-227 (1985).
- [3]- LOGAN H.L., Stress Corrosion of Metals, John Wiley and sons, Newyork pp. 157-175 (1966).
- [4]- PUGH E.N., The Stress Corrosion Cracking of Copper Alloys, Stress Corrosion Cracking of Metals-Astate of the Art, pp. 177-209 (1976).
- [5]- PINCHBACK T.R., CLOUGH S.P., and HELDT L.A., Stress Corrosion Cracking of Alpha Brass in Tarnishing Ammonical Environment, Metallurgical Transactions Vol 6A, pp. 1479-1483 (1975).
- [6]- BIRLEY S.S., and TROMANS D., Ammonical Stress Corrosion Cracking of Alpha Brass, Corrosion Vol.27, pp. 297-302 (1971)
- [7]- PROCTER R.P.M., and STEVENS G.N., The Formation of Cuprous Oxides Films on Alpha Brass Stress Corrosion Fracture Surfaces, Corrosion Science, Vol.15, pp. 349-358 (1975).
- [8]- ROBERTS E.F.I., BOOKER C.J.L., OSBORNE P., and SALIM M., Some Observations on Films Formed on Alpha Brass Tarnished in an Ammonical Solution of Copper Sulphate, Corrosion Science, Vol.14, pp. 307-312 (1974).
- [9]- HINTZ M.B., NETTLETON L.J., and HELDT L.A., Stress Corrosion Cracking Of Alpha Brass in Distilled Water and Sodium Sulphate Solutions, Metallurgical Transactions A, Vol.16, pp. 971-978 (1985).
- [10]- PASKIN A., SERADZKI K., SOM D.K., and DIENES G.J., Envvironmentally Induced Crack Nucleation and Brittle Fracture, Acta Metallurgica, Vol.30, pp. 1781-1788 (1982).

[11]- SIERADZKI K., and NEWMAN R.C., Brittle Behaviour of Ductile Metals During Stress Corrosion Cracking, Philosophical Magazine A, Vol.51, pp. 95-128 (1984).

[12]- EDELEANU C., and FORTY A.J., Stress Corrosion Cracking of Alpha Brass, Philosophical Magazine, Vol.5, pp. 1029-1037 (1960).

[13]- BIRLEY S.S., and TROMANS D., Stress Corrosion Cracking of Beta Brasses in Water, Metallurgical Transactions A, Vol.12A, pp. 1215-1222 (1981).

[14]- LYNICH S.P., Mechanism of Environmentally Assisted Cracking in Al-Zn-Mg Single Crystals, Corrosion Science, Vol.22, pp. 925-930 (1982).

[15]- ASM Metals Handbook, Mechanical Testing, Vol.8, pp. 495-533 (1986).

[16]- ONARAN K., Malzemelerin İç Yapı ve Özellikleri Cilt-1, İ.T.U. Yayınları İstanbul, (1985).

[17]- KEHL G.L., The Principles of Metallographic Laboratory Practice, Newyork (1949).

[18]- GEÇKİNLİ A.E., Metallografi, İ.T.U. Yayınları İstanbul, pp. 1400-150 (1989).

ÖZGEÇMİŞ

Muatafa TUĞRUL 1966 yılında Kayseri' ye bağlı Hacılar ilçesinde doğdu. İlk öğrenimini Hacılar' da, orta öğrenimini de Kayseri' de tamamladıktan sonra 1983 yılında İ.T.U. Makina Fakültesine girdi. 1987 yılında Makina Mühendisi olarak mezun oldu.

Aynı yıl İ.T.U. Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Anabilim Dalı Konstrüksiyon ve İmalat programını kazandı. Aynı fakültenin Makina Malzemesi ve İmalat Teknolojisi Kürsüsünde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır. Halen Yüksek Lisans öğrencisidir.

4.6.1990

Mustafa TUĞRUL