

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**7075-T6 ALÜMİNYUM ALAŞIMINDA YAPAY
OLARAK OLUŞTURULAN OYUKLARIN YORULMA
DAYANIMINA ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak.Müh. Ahmet SOYYİĞİT

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : MAKİNE TASARIM İMALAT
Tez Danışmanı : Doç. Dr. KENAN GENEL

Haziran 2009

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

7075-T6 ALÜMİNYUM ALAŞIMINDA YAPAY
OLARAK OLUŞTURULAN OYUKLARIN YORULMA
DAYANIMINA ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak.Müh. Ahmet SOYYİĞİT

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : MAKİNE TASARIM İMALAT

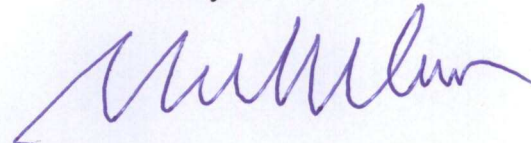
Bu tez 10/07/2009 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Doç.Dr. Kerem Genel
.....
Jüri Başkanı



Doç.Dr. Ahmet Türk
.....
Üye

Y.Doç.Dr. Muhammet Ceviz
.....
Üye



TEŞEKKÜR

Çalışmanın birlikte yönetilmesi ve sonuçlandırılmasında hiçbir fedakarlıktan kaçınmayan engin bilgisi ile beni aydınlatan, desteğini hiçbir zaman benden esirgemeyen çok değerli danışman hocam Doç. Dr. Kenan GENEL'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim süresince gerek araştırma gerekse deney süresi boyunca gerekli toleransı sağlayan tam bir idarecilik örneği gösteren değerli amirlerim Kıran Holding Planlama Müdürü Ali Canel SOFU ve Proje koordinatörü Serkan TÛTÛNCÛ'ye teşekkürü borç bilirim

Yüksek lisans eğitimin boyunca benim her zaman yanımda olan benden maddi ve manevi hiç bir desteğini esirgemeyen canım aileme ; annem Türkan SOYYIĞIT babam Ayhan SOYYIĞIT ve biricik kardeşim Mert SOYYIĞIT 'e en içten duygularıyla teşekkür ederim.

Ahmet SOYYIĞIT

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
TABLolar LİSTESİ.....	ix
ÖZET.....	x
SUMMARY.....	xi

BÖLÜM 1

GİRİŞ.....	1
------------	---

BÖLÜM.2

ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ YAPI VE ÖZELLİKLERİ.....	4
2.1. Alüminyum Döküm Alaşımaları	5
2.1.1. Alüminyum döküm alaşımlarının tanıtılması	6
2.1.1.1. Alüminyum – bakir alaşımları.....	6
2.1.1.2. Alüminyum – silisyum alaşımları.....	6
2.1.1.3. Alüminyum – magnezyum alaşımları.....	7
2.1.1.4. Al – zn – cu – si alaşımları.....	7
2.2. Alüminyum Dövme Alaşımları	7
2.2.1. Alüminyum dövme alaşımlarının tanıtılması	8
2.2.1.1. Alüminyum – bakır alaşımları.....	8
2.2.1.2. Alüminyum – magnezyum alaşımları.....	9
2.2.1.3. Alüminyum – magnezyum – silisyum alaşımları.....	10
2.2.1.4. Alüminyum – cinko – magnezyum alaşımları.....	10
2.2.1.5. Alüminyum – manganez alaşımları.....	11
2.3. Alüminyum alaşımlarının Isıl İşlemi	11
2.4. Alaşım Elementlerinin Etkileri	12

2.4.1. Bakır	12
2.4.2. Çinko	12
2.4.3. Demir	12
2.4.4. Magnezyum	12
2.4.5. Mangan	13
2.4.6. Silis	13
2.5. 7075 Alüminyum Alaşımı	14
2.5.1. Uygulama alanları	14
2.5.2. T6 ısıt işlemleri	15
2.5.3. 7075-T6 Alüminyum alaşımının korozyon davranışı	15

BÖLÜM 3.

KOROZYON VE OYUK KOROZYONU	18
3.1. Korozyonun Genel Özellikleri	18
3.2. Korozyon Çeşitleri	19
3.2.1. Üniform korozyon (Genel korozyon)	19
3.2.2. Oyuk korozyonu	19
3.2.3. Galvanik korozyon	19
3.2.4. Çatlak korozyonu	20
3.2.5. Kabuk altı korozyonu	20
3.2.6. Filiform korozyonu	20
3.2.7. Seçimli korozyon	20
3.2.8. Taneler arası korozyon.....	20
3.2.9. Erozyonlu korozyon.....	21
3.2.10. Aşınmalı korozyon.....	21
3.2.11. Stres korozyonu.....	21
3.2.12. Yorulmalı korozyon.....	21
3.2.13. Kaçak akım korozyonu.....	22
3.2.14. Mikrobiyolojik korozyon.....	22
3.3. Oyuk Korozyonu.....	23
3.3.1. Pasiflik.....	24
3.4. Oyuk Korozyonunun Önlenmesi.....	27
3.4.1. Pasifleştirici inhibitörler.....	29

3.4.2. Adsorpsiyon inhibitörleri.....	29
3.5. Korozyon Dayanımı Testleri.....	31
3.5.1. Statik korozyon testleri – tuzlu sis testi.....	31
3.5.2. Çevirim testleri.....	31

BÖLÜM 4

METALLERİN YORULMASI.....	33
4.1. Yorulma Kırılmasının Nedeni.....	34
4.2. Çatlak Oluşumu	34
4.3. Yorulma Zorlamalarında Kırılma Olayı	35
4.3.1. Dış etkenler	36
4.3.2. İç etkenler	36
4.4. Yorulma Kırıklarının Görünümü.....	37
4.5. Yorulma Dayanımının Saptanması	38
4.6. Yorulma Deneyi Türleri	39
4.7. Korozyonun Yorulma Ömrüne Etkisi	40
4.8. Alüminyum Alaşımlarının Yorulma Özellikleri.....	41

BÖLÜM 5

DENEYSEL ÇALIŞMA	44
5.1. Malzeme	44
5.2. Talaşlı İmalat ve Yapay Oyuk Oluşturulması.....	44
5.3. Metalografik İncelemeler	46
5.3.1. Optik mikroskop incelemeleri	46
5.3.2. Taramalı elektron mikroskop (sem) incelemeleri	46
5.4. Yorulma Deneyleri	46
5.5. Gerilme Hesabı ve Deney Parçasının Bağlanması.....	47

BÖLÜM 6

SONUÇLAR	50
6.1. Yorulma Deneyi Sonuçları	50
6.2. Sonlu Elemanlar Modellemesi	57
6.3.Öneriler	62

KAYNAKLAR	63
ÖZGEÇMİŞ	69

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

MPa	:Megapaskal
BSD	: Brinel sertlik değeri
$\sigma\epsilon$: Çekme gerilmesi
σ_{ort}	: Ortalama gerilme
σ_g	: Gerilme genliği
N	: Çevrim sayısı
YDS	: Yorulma dayanım sınırı
σ	: Gerilme
π	: Pi sayısı
d	: Çap
F	: Kuvvet
q	: Çentik hassasiyet katsayısı
Kt	: Statik çentik katsayısı
Kf	: Yorulma çentik katsayısı
a	: Derinlik
2c	: Oyuk çapı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Çökeltme sertleşmesi işlem kademeleri.....	11
Şekil 2.2. Alüminyum alaşımlarında oyuklanma korozyonu mekanizması.....	16
Şekil 2.3. Oyuk sınırlarında oluşan çatlak başlangıçları.....	17
Şekil 3.1. Alüminyum yüzeyinde oyuk oluşumunun elektrokimyasal mekanizması.....	24
Şekil 3.2. Çelik için sülfürik asit içinde şematik polarizasyon eğrisi.....	26
Şekil 3.3. Alüminyum için potansiyel pH diyagramı.....	27
Şekil 4.1. Korozif edici çevrenin σ -N diyagramına etkisi.....	41
Şekil 4.2. 2024-T3 alüminyum alaşımına ait oyuklanma ve çatlak büyümesinin yorulma ömrüne olan etkisi.....	43
Şekil 4.3. 2024-T3 alüminyum alaşımında oyuk yoğunluğunun yorulma ömrüne etkisi.....	43
Şekil 5.1. Yorulma deneylerde kullanılan numune ve ölçüleri.....	45
Şekil 5.2. Birincil ve ikincil oyuk geometrisi.....	45
Şekil 5.3. Yorulma deney cihazı.....	47
Şekil 5.4. Deney parçasının bağlanması ve çevrim sayacı.....	48
Şekil 5.5. Karşı ağırlıkların yorulma deney düzeneğine bağlanması.....	49
Şekil 6.1. Ana malzeme wöhler eğrisi.....	51
Şekil 6.2. Birincil yapay oyuklu malzemelerin wöhler eğrileri.....	52
Şekil 6.3. 7075-T6 Alüminyum alaşımına ait yapay oyuklu ve oyuksuz parçaların yorulma eğrileri.....	53
Şekil 6.4. Hasarın meydana geldiği başladığı kırık yüzeyi.....	54
Şekil 6.5. A Grubu deney parçası kesit görünümü.....	55
Şekil 6.6. B Grubu deney parçası kesit görünümü.....	55
Şekil 6.7. C Grubu deney parçası kesit görünümü.....	56
Şekil 6.8. C _{sp} Grubu deney parçası kesit görünümü.....	56
Şekil 6.9. Sonlu elemanlar yöntemiyle numune gösterimi.....	57

Şekil 6.10 A Grubu deney parçası ANSYS analiz görüntüsü.....	58
Şekil 6.11 B Grubu deney parçası ANSYS analiz görüntüsü.....	58
Şekil 6.12 C Grubu deney parçası ANSYS analiz görüntüsü.....	59
Şekil 6.13 C _{sp} Grubu deney parçası ANSYS analiz görüntüsü.....	59
Şekil 6.14 Literetürde tek ve çift oyuklu parçada yapılan ansys analiz sonuçları [35].....	60

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Alüminyum alaşım içerikleri ve kullanım alanları.....	13
Tablo 2.2. 7075 alüminyum alaşımının kimyasal bileşimi	14
Tablo 5.1. Kullanılan deney malzemesinin kimyasal bileşimi.....	44
Tablo 5.2. Birincil oyuklara ait ebat ve numune grupları.....	45
Tablo 5.3. İkincil oyuklara ait ebat ve numune grupları.....	46
Tablo 6.1. Kullanılan numunelerin oyuk çap ve ebatları.....	50
Tablo 6.2 Tezgahta oyuk açılan numunelerin ölçülen oyuk çap ve ebatları.....	50
Tablo 6.2 Yapay oyuk ebatları ve sonlu elemen analiz sonuçları.....	61

ÖZET

Anahtar Kelimeler; Korozyon Oyuğu,Kütle Erozyon Makinesi,Eğme Yorulma,Gerilme Yığılma Katsayısı

Oyuklanma korozyonu korozif ortamın etkisi altındaki çelik ve yüksek dayanımlı alüminyum alaşımlarında gözlenmekte ve yorulma çatlağının başlangıç potansiyel olarak tanımlanmaktadır. Bu çalışmada farklı derinliklere yapay olarak açılmış oyuklu numunelerin dönel eğme zorlanması altındaki yorulma davranışları sistematik olarak incelenmiştir. 500µm çapında ve 125, 250 son olarak 500 µm derinliklerine sahip yapay oyuklar dalma erozyon tezgahı kullanılarak oluşturulmuştur. Yapılan test sonuçları yapay oyukların 7075-T6 alüminyum alaşımı yorulma ömrü üzerine önemli bir etkisi bulunduğunu göstermiştir. Bununla beraber ana oyuk tabanında ikinci bir oyuğun varlığı yorulma ömrünü belirgin bir şekilde düşürmüştür. Tabanında çift oyuk ve oyuksuz parçaların yorulma verileri karşılaştırıldığında, 10^6 çevrim sayısı için yaklaşık % 50 oranında dayanımda düşme görülmüştür. Bu davranış gerilme yığılması etkisiyle açıklanabilir. Literatürde daha önce yapılan bir sonlu elemanlar çalışması da ana oyuk tabanındaki ikincil oyukların varlığı gerilme dağılımını bütünüyle değiştirdiği ve gerilme yığılma katsayısının (Kt) tek oyuklulara göre çok daha büyük olduğunu göstermiştir.

7075 T-6 ALUMINIUM ALLOYS ARTIFICIAL PITS EFFECTS ON FATIGUE STRENGTH

SUMMARY

Key Words: Corrosion pit, EDM, bending fatigue, stress concentration factor.

Pitting corrosion has been observed in steel and high-strength aluminium alloys in corrosive environments and has been identified as a potential origin for fatigue crack nucleation. In this thesis, under rotating bending loading, fatigue behaviours of artificial pitted specimens having different pit depth values have been investigated systematically. Artificial pits, which have 500µm in diameter and 125, 250 and 500µm in depth, have been formed by using an electro-discharged-machine (EDM). Result of fatigue test revealed that pit depth value has an important effect on fatigue performance of 7075-T6 aluminium alloy. However, the presence of secondary pit at the bottom main pit dramatically reduced fatigue strength. Approximately 50% reduction was seen in fatigue strength for 10^6 cycles, if the fatigue data of specimens that with and without double artificial pit were compared. This behaviour can be explained by stress concentration effect. The primary finite element study in literature also indicated that the existing secondary (premature) pit at the bottom of primary pit, stress distribution changes entirely; the overall stress concentration factor (SCF) is much more than the SCF value of single primary pit.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Alüminyum çok çeşitli kullanım özelliklerine sahip olduğu için sanayide geniş uygulama alanları bulmuştur. Kendinden var olan özellikleri yapılan araştırmalarla daha da çeşitlilik kazanan alüminyumun başlıca avantajlarından birisi hafifliğidir. Alüminyum alaşımlarının yaşlanma sertleşmesi ile çeliğe yakın mekanik özellikler kazandırılabilir. Bu, daha yüksek mukavemet / ağırlık oranı anlamına gelmekte ve özellikle uçak ve uzay uygulamaları için önemli potansiyel oluşturmuştur[1]. Ayrıca, korozyona direnç, zehirli olmayışı, işlenebilirliği, görünümü, yüksek elektrik iletkenliği, yüksek ısı iletkenliği, ışığı verimli bir şekilde yansıtması, manyetik olmayışı ve birçok ticari formda kolaylıkla bulunabilmesidir. Bu elverişli özelliklere ek olarak, alüminyum yaygın olarak kullanılmaya başlandığı zamandan beri oldukça makul ve istikrarlı bir fiyat seyri izlemiştir [2].

7075 alaşımı ise haddelenen alüminyum alaşım grubunda olup dövülebilen bir malzemedir. Yapılan araştırmalar sonucu kazandıkları uygun özellikler sayesinde ön plana çıkan 7075 alaşımı uçaklarda dönen parçalarda, işlenen parçalarda (freze ile işlenen), kemer tabir edilen takviye kısımlarında, basınç altında çalışması istenen yerlerde, dış yüzey elemanı olarak, şerit biçimli olan kısımlarda ve uzay mekiği, makine sanayisi gibi alanlarda kullanılmaktadır. Bunun en önemli nedeni ise uygun mekanik özelliklerinin yanı sıra diğer yapı malzemelerine göre çok daha hafif olmasıdır[1-3]. Alüminyum alaşımlarının birçoğu yüzeylerinde hızla oluşan oksit tabakasından dolayı doğal atmosfer ve doğal sularda korozyona karşı dirençlidirler. Alüminyum alaşımlarının yüzeyi normal olarak -50 A' kalınlığında koruyucu oksit tabakası ile kaplıdır. Bu oksit tabakası 4-9 PH aralığında kararlıdır. Ancak klorür iyonu (Cl⁻) içeren ortamlarda oyuklaşma korozyonu nedeniyle alüminyum 7075 alaşımı yüksek dayanıklılığını yitirmektedir[4-5]. Alüminyum alaşımlarının yapılarında kullanımlarını sınırlayan faktörler arasında korozyon çatlama ve taneler arası korozyon önemli yer tutmaktadır. Özellikle 7000 serisi alüminyum

alaşımlarında çok yüksek dayanım seviyelerinin elde edilebileceği uzun zamandan beri bilinmektedir, ancak bu yüksek dayanım seviyeleri, gerilmeli korozyon dayanımı ile ters orantılıdır [1-6]. 7000 serisi alüminyum alaşımları havacılık sanayinde yaygın olarak kullanılan, çökeltme ile sertleştirilmiş malzemelerdir. Bu seriye dâhil 7075 (Al-Zn-Mg-Cu) alüminyum alaşımı da uçak yapı malzemesi olarak yaygın olarak kullanılır, çünkü düşük bir yoğunlukla birlikte yüksek bir dayanıma sahiptir. Bu alaşım için en yüksek dayanım seviyesi T6 yaşlandırma ısıtma işlemi ile elde edilir [3].

Yüksek dayanımlı alüminyum alaşımlarından imal edilmiş parçalarda çalışma esnasında tuzlu su/sis ortamından kaynaklanan küçük oyukçukların dahi korozyonlu yorulma dayanımında azalmaya neden olduğuna dair bir çok çalışma rapor edilmiştir [46,47]. Hasarın oyuklanma orijinli olması nedeniyle literatürde oyuklanma korozyonu ve bunun malzemenin yorulma dayanımına olan etkisi özellikle incelenmiştir [46–51]. 7075-T6 alüminyum alaşımı üzerine yapılan bir çalışmada, oyukların şiddetine bağlı olarak 10^7 çevrim sayısı için belirlenen yorulma dayanımında %60'lara varan azalmaların görüldüğü vurgulanmıştır [51].

Çökeltme sertleşmesi uygulanmış 7075-T6 alaşımı oyuklanma korozyonuna karşı oldukça duyarlıdır. Uçak yapılarında kullanılan bu alaşımda korozyon oyukları yorulma çatlak başlangıcı için önemli bir potansiyel oluşturmaktadır [52,53]. Alüminyum alaşımlarında partikül kaynaklı oyuklanma mekanizması üzerinde detaylı çalışmaların yapılmış [54,55] ve olasılık tabanlı bazı modeller de öne sürülmüştür [55]. Bu modelde oyuk derinliği ve başlangıç çatlak büyüklüğü kullanarak yorulma ömrünün tahmin edilmesi amaçlanmıştır [47]. Yapay oyukların çatlak başlangıcına olan etkisinin incelendiği 7050 alaşımında hasar mekanizmasının uygulanan gerilmenin büyüklüğü ile değiştiği dikkat çekilmiş, ancak bu çalışmada Wöhler eğrileri oluşturulmamıştır [56].

Korozyonlu yorulma yada ön korozyon sonrası yorulma zorlanmasına maruz malzemelerin çatlak oluşumu ve bunun yorulma ömrüne olan etkisinin incelenmesinde doğal oyuklar bulunduran numunelerin kullanılması uygun değildir. Bunun nedeni oluşan oyukların geliştiği güzel şekil ve yönlenmelere sahip olmasıdır.

Yapay olarak açılacak, derinlik ve çap değerleri özdeş oyukların oluşturulması durumunda ise deney sonuçlarının daha sağlıklı olacağı ve değerlendirmelerin de kolaylaşacağı açıktır. Ancak yapay oyuk yüzeyinde pekleşme ve/veya iç gerilmelerin oluşmaması da son derece önemlidir. Bu açıdan yüzeyde çok küçük çaplardaki gravürlerin açılmasında basit mekanik yöntemlerin kullanılması da uygun değildir.

Bu tez çalışmasında özel olarak üretilen bakır elektrotlar kullanılarak dalma-erozyon tezgahında 7075-T6 alaşımından işlenmiş silindirik yorulma numunelerinin bir kısmının yüzeyine 500µm çapında farklı derinliklerde oyuklar açılmış, bir diğer kısmına ise açılan oyuklara ilave olarak bu oyukların tabanlarında farklı derinliklerde ikincil oyuklar açılmıştır. Yüzeylerinde sistematik olarak farklı oyuk konfigürasyonları açılan parçalar döner eğme zorlanması altında yorulma davranışları deneysel olarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlardan hareketle oyuk ebat ve konfigürasyonları ile yorulma dayanımı arasında ilişki kurulmaya çalışılmıştır.

BÖLÜM 2. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ YAPI VE ÖZELLİKLERİ

Saf olarak alüminyum sadece özel uygulamalarda tercih edilmektedir. Dayanımın ön plana çıktığı uygulamalar için alaşımları kullanılmaktadır. Günümüzde alüminyum ve alaşımları büyük ticari değeri olan ve büyük miktarlarda üretilen malzeme grubu haline gelmiştir. Alüminyumun uçak ve otomotiv sanayinde önemli rol oynaması “stratejik” bir metal sayılmasına neden olmuştur [7]. Alüminyum ve alaşımları bütün imalat sanayinin hem her dalında, tarım, inşaat, kimya, gıda, ulaştırma, elektrik ve elektronik sektörlerinde giderek artan oranlarda kullanılmaktadır. Ülkemizde alüminyum sanayi oldukça yeni olmasına rağmen, alüminyum ürünlerine olan talep ve buna bağlı olarak yurt içinde işlenen alüminyum ürünlerinin miktarı hızla artmıştır. Yaygın olarak kullanılan alaşımların uygulama alanları, plastik teknolojisi araba, ticari taşıtlar ve gemi yapımı, açık hava ve kent donanımı ve kısmen kalıpcılık sektörüdür.

Alüminyumun en belirgin özelliği hafifliğidir. Magnezyum ve berilyum dan sonra en hafif metaldir. Alaşımlarında yoğunluğu çok az artmasına rağmen mukavemeti önemli miktarda artmaktadır. Alüminyum iyi bir ısı ve elektrik iletkenidir; kolayca dökülür ve islenebilir; korozyona dayanıklıdır. Sıcak ve soğuk şekillendirilebilme, dekoratiflik özelliklerinden dolayı makine imalat, metal sanayi, inşaat, kimya, gıda sanayi, ulaştırma, elektrik – elektronik sanayi, uzay sanayi ve diğer birçok ortamlarda kullanılmaktadır. Diğer metallerin alüminyuma ilave edilmesi mukavemet ve sertliğin artmasına imkân verir. Bu hususta, ticari evsftaki alüminyumda mevcut küçük miktarlardaki gayri safiyetlerin dahi alüminyumun mukavemetini (saf metale kıyasla) % 50' ye kadar arttırmaya yeterli olduğu kaydetmeye değerdir. Alüminyum alaşımlarının istihsalinde en fazla kullanılan metaller bakır, silisyum, manganez, magnezyum ve çinkodur. Bu metaller, nihai alaşımda arzu edilen bileşimi elde etmek için tek tek veya birleşik halde alüminyuma ilave edilebilirler. Döküm alaşımlarında

alaşım yapıcı metaller daha yüksek miktarlarda sık sık kullanıldığı halde işleme alaşımları için bu metallerin toplam yüzdesi nadiren % 10' un üstüne çıkar. Dökülmüş ve tavllanmış şartlardaki alüminyum alaşımlarının çekme mukavemeti bileşimlerine bağlı olarak, ticari alüminyumunkinin iki misline kadar değişir. Soğuk işlem, işleme alaşımlarını çekme mukavemetini daha da yükseltir. Alaşımlandırma neticesi alüminyum metalinin mukavemetinde elde edilen yükseliş, diğer özelliklerdeki değişimlerle birlikte meydana gelir. Bu değişimler farklı alaşımlarda nadiren aynı olur, zira birçok alaşım esas itibarıyla aynı çekme mukavemetine sahip olmalarına rağmen süneklik, elektriklik ve ısı iletkenliği ve imal kolaylığı bakımından geniş ölçüde farklı olurlar. Alaşımlandırmada hafiflik özelliği genellikle fazla önemli değildir ve bazı hallerde alaşımlar daha da hafif olurlar. Örneğin % 10 – 13 nispetinde silisyum ihtiva eden alaşımların yoğunluğu 2.65 civarındadır. Alaşımlar uygun bir şekilde iki gruba ayrılabilirler ;döküm alaşımları ve işleme alaşımları [58].

2.1. Alüminyum Döküm Alaşımları

Döküm alaşımları başlıca iki kısımda değerlendirilir. Birinci kısımda ıslah edilen özellikler yalnız alaşımlandırma neticesinde elde edilmiştir. İkinci grupta ise, özelliklerin daha fazla ıslah edilmesi için ısı işlemler tatbik edilmiştir. Dökümlerde kullanılan alaşımlandırıcı metaller genellikle bakır, silisyum, magnezyum, çinko ve demirdir. Bu elementlerin uygun miktarlarda ilave edilmesi ile alüminyumun mukavemeti ve sertliği büyük ölçüde artırılabilir. Bununla beraber süreklilik azalır. Alüminyum alaşımlarının dökümü yalnız kum kalıplarında değil fakat metal kalıplarında da (kokil' lerde) yapılabilir. Buna ilaveten alaşımlardan bazıları püskürtme döküm makinelerinde dökülür. Metal kalıplarda istihsal edilen dökümlerin yüzeyleri, kum kalıplarda edilene nazaran daha düzgün ve boyut toleransları daha azdır. Bunun neticesi olarak da döküm parçasını işleme veya nihai şekillendirme maliyetlerinde önemli miktarda tasarruf sağlanmış olur.

Alüminyum döküm alaşımları için kullanılan simgeleme dizgesi işlem alaşımlarıninkine benzer. Dördüncü rakamı üçüncüsünden bir nokta ile ayrılan dört rakamlı bir simge kullanılır. 1xx.–için ikinci ve üçüncü rakamlar alüminyumun %

99.00 dan sonra aralık derecesini belirler. Son rakam 0 ise bu parça dökümleri; 1 ise ingotları; 2 ise incelmış ingotları belirtir. Rakamların önünde bir x varsa bu, alaşımın deneme aşamasında olduğunu belirtir. Rakamların önüne A harfi konmuşsa bu o alaşımın orijinal alaşım şartnamesinden farklı olduğunu gösterir. 2 xx.x – 9 xx.x arasındakilerde ise ikinci ve üçüncü rakamlar yalnızca bir sıralama sayısını oluşturur [11,58].

2.1.1. Alüminyum döküm alaşımlarının tanıtılması

2.1.1.1. Alüminyum – bakir alaşımları

Alüminyum kum dökümü endüstrisi, yaklaşık olarak % 8 bakir ihtiva eden bir alaşımın kullanılması ile gelişmiştir. Fakat günümüzde bu alaşımın yerini hemen hemen tamamen, bakıra ilaveten belirli miktarlarda demir, çinko, silisyum, nikel vs. ihtiva eden alaşımlar almıştır. Bu suretle dökümün yalnız kalitesi değil, fakat aynı zamanda mukavemet ve işlenebilme hususiyetleri de ıslah edilmiş olur.

2.1.1.2. Alüminyum – silisyum alaşımları

Silisyum ihtiva eden alaşımlar, yüksek akışkanlıkları sebebiyle, iyi döküm özelliklerine sahiptirler ve bu sebepten ötürü dizayn bakımından karışık olan parçaların dökümünde kullanılabilirler. Bu alaşımların mukavemetleri atmosfer etkilerine karşı da yüksek olduğundan, mimari ve dekoratif dökümler imalinde büyük değer taşırlar. % 5 silisyum alaşımlar daha ziyade dekoratif gayeler için kullanılır. Bu alaşımların çekme mukavemeti ve emniyet gerilmesi, alüminyum – bakir alaşımlarına kıyasla daha düşük olduğu halde süneklik ve darbeye karşı mukavemetleri daha yüksektir. % 10 ila 13 nispetinde silisyum ihtiva eden alaşımlarında geniş ölçüde kullanılma sahası mevcuttur. Alaşım, özel bir döküm tekniği uygulanmadan döküldüğü takdirde gevrek (kırılğan) ve iri kristalli bir yapıya sahip olur. Fakat küçük miktarlarda (%0,05 mertebesinde) metalik sodyum veya kalsiyum ilavesiyle yüksek mukavemet, süneklik ve ince kristalli yapıya sahip dökümler elde edilebilir. Bu işlem “ modification ” olarak adlandırılır. Yüksek

silisyumlu dökümler içten yanmalı motorlarda, vites kutularında, silindir ve kerterlerde ve nikel gibi metallerin ilavesiyle de piston imalinde kullanılır.

2.1.1.3. Alüminyum – magnezyum alaşımları

Bu gruptaki alaşımların deniz suyu etkilerine karşı yüksek direnç gösterirler, çekme mukavemetleri yüksektir, süneklik ve islenebilme özellikleri çok iyidir. Bununla beraber bu alaşımlar nispeten güç dökülürler ve döküm esnasında oksidasyonu önlemek için özel bir işlemin tatbikini gerektirirler. % 10 nispetinde magnezyum ihtiva bir alaşımı, ısıl işlemin tatbikinden sonra, bütün alüminyum döküm alaşımları içinde çekme mukavemeti, uzama ve darbeye karşı mukavemet bakımından en yüksek özelliğe sahiptir.

2.1.1.4. Al – zn – cu – si alaşımları

İkili Al – Zn alaşımları sıcak gevreklik özelliğinden dolayı pek kullanılmazlar. Ancak Cu ile birlikte kullanılırlar. Sıcak gevreklik ve yüksek katılma çekmesinden dolayı, pres dökümler için uygun değildir. Orta derecede dayanç ve esnemezlik özelliği gerektiren üretimlerde kullanılır. Yeni gelişmiş alaşımların bileşiminde Si' de vardır. Bunlar elektrik aygıtları, taşıt parçaları ve aygıt kutularında kullanılır.

2.2. Alüminyum Dövme Alaşımları

Alüminyum işlem alaşımlarından çeşitli profiller, yuvarlaklar, tel, boru, vb. ürünler ile sac, levha ve folyo gibi yassı ürünler üretilir. Alüminyum işlem alaşımları için dünyada en yaygın olarak kullanılan simgeleme Amerikan Standartlar Birliği (ASA) tarafından belirlenendir.

Dört rakamlı sayısal simgenin ilk rakamı hangi temel alaşım elementini içeren alüminyum alaşımı olduğunu belirtir. 1 XXX dizisi ari alüminyumu (% 99.00) belirtir. Son iki rakam % 99 değerinin noktadan sonraki rakamlarını belirtir. Soldan ikinci rakam ise özel olarak denetlenen katışık (empürite) elementlerin sayısını belirtir ve 1' den 9' a kadar değişebilir. 2 XXX' den 8 XXX' e kadar olan

alüminyum alaşımlarında ilk rakam alaşım türünü ikinci rakam değişimleri (modifikasyon) simgeler, son iki rakamın özel bir anlamı yoktur. Alaşımı dizideki diğer alaşımlardan ayıran sıra numarası gibi kullanılır.

Bu alaşımların “işlem” (temper) durumlarını belirtmek için de harfler ve rakamlar kullanılır, temel işlem durumu bir harf, bu işlemin çeşitli değişimleri ise bir rakam ile gösterilir.

İşleme alaşımları ısıtılma işleminin tatbiki ile değil fakat soğuk işleme mukavemet kazananlar ve ısıtılma işleme tabii tutulanlar olmak üzere iki gruba ayrılırlar. İkinci grup, birinciye nispeten daha fazla sayıda ilave element ihtiva eder [10].

2.2.1. Alüminyum dövme alaşımlarının tanıtılması

2.2.1.1. Alüminyum – bakır alaşımları

Bu grup, farklı yüzdelerde magnezyum ve manganez ihtiva eden bakırın başlıca alaşımlandırıcı element olduğu yüksek mukavemet alaşımlarını içine alır. Düralümin, alüminyum alaşımları içinde en iyi bilinendir. Düralümin’ in bileşimi, % 3,5 – 4,5 bakır, % 0,5 Mg, % 0,5 Mn ve az miktarda silisyum ve demirden ibarettir. 1906 yılında Almanya’ da keşfedilen alaşımın ismi, ilk defa istihsal edilen şehrin adına (Düren) izafeten verilmiştir. Düralümin, ısıtılma işleme tabii tutulabilecek alaşımlar içinde keşfedilenlerin ilki olması ve yaşlanma serleşmesi olayının (Bir alaşım, normal oda sıcaklığında dört veya beş gün müddetle bırakılacak olursa mukavemet ve sertliğinde kendiliğinden önemli bir artış meydana gelir.) Ortaya çıkmasına ön ayak olması sebebiyle büyük önem kazanmıştır.

Düralümin tipi alaşımlar (bilhassa plaka halinde olanlar) yüksek mekanik özelliklere sahip olmalarına rağmen korozyona karşı düşük mukavemet gösterirler. Bununla beraber bu mahzur, “ kaplama ” (Cladding) diye bilinen işlem vasıtasıyla giderilmiştir. Bu işlem, muhafaza vazifesi görecektir şekilde bir saf alüminyum tabakasını haddeleme yolu ile Düralümin plakasının her iki tarafına kaplamaktan ibarettir. Alüminyum kaplamanın kalınlığı, toplam plaka kalınlığının % 10’ u

civarındadır. Alüminyum kaplamalı alaşım plakaları geniş ölçüde uçak endüstrisinde kullanılmaktadır. Alüminyum kaplama işlemi, diğer metalleri de aynı şekilde kullanacak tarzda inkişaf ettirilmiştir. Aslında bakır eksikliğinin giderilmesi için geliştirilen bakır kaplamalı alüminyum, her iki metal özelliğinin de arzu edildiği yerlerde kendine tatbik sahası bulmuştur. Bakır, her ne kadar püskürtme veya galvano teknik (elektrik yolu ile kaplama) yolu ile alüminyuma tatbik edilebilirse de, en iyi sonuçlar kaplama işlemi sonunda elde edilmiştir. Tek taraflı kaplama için kullanılacak malzemedede genellikle % 80 Al ve % 20 Cu oranı muhafaza edilir, halbuki çift taraflı kaplamada en çok kullanılan oranlar 5 / 90 / 5 ve 10 / 80 / 10 dur. Bu işlemin en geniş tatbik sahası elektrik endüstrisindedir. Zira alüminyum iletken olarak kullanıldığında, belirli bir merhalede bakır ile birleşmek zorundadır. Böyle bir durum ise elektrokimyasal korozyon imkanını ortaya çıkarır.

Tek taraflı kaplanmış metal rondela kullanmak suretiyle, bakırın alüminyumla olan ek kısmı rondela içinde kalmış ve dolayısıyla paslandırıcı (korozif) etkenlerden uzaklaşmış olur. Tek taraflı kaplanmış malzemenin diğer bir kullanılış yeri de su borulu kazanlardır. Burada borunun bakır kaplı kısmı suya ve sülfürlü (kükürt yüklü) baca gazlarına karşı mukavemeti yüksek olan alüminyum kaplı kısım da ateşe dönük olarak kullanılır. Çeliğin sertlik, darbeye karşı dayanıklılık ve mukavemet özelliklerini, alüminyumun düşük yoğunluk, yüksek elektrik iletkenliği ve korozyona karşı mukavemet özellikleri ile bir araya getirmede elde edilecek faydalar aşikardır. Bu durum çeliğin çift taraflı olarak alüminyumla kaplanması neticesi gerçekleştirilmiş ve elde edilen malzeme “Feran” olarak adlandırılmıştır. Malzeme yüksek sıcaklıklarda mukavemetini muhafaza etmiş ve nakliye, radyo ve elektrik endüstrisinde kendine birçok tatbik sahası bulmuştur.

2.2.1.2. Alüminyum – magnezyum alaşımları

Magnezyumun alüminyuma ilavesi, deniz suyu korozyonuna karşı yüksek mukavemet, çekme ve yorulma mukavemetlerinin ıslahı da dahil olmak üzere arzu edilen birçok özellikleri kazandırır. Alüminyum – magnezyum alaşımları içinde 4 tanesi en fazla kullanılmaktadır. Bunlar sırasıyla % 2, %3,5, %5 ve % 7 mertebesinde magnezyum ile birlikte az miktarlarda manganez ve krom ihtiva eden alaşımlardır.

Mukavemet, 10 ton / inç² den (% 2 nispetinde magnezyum ihtiva eden tavlanmış alaşımda) 23 ton / inç² ye (% 7' lik yumuşak alaşımda) kadar değişir. Bu alaşımlar işlem sırasında oldukça çabuk sertleşirler. Bu sebepten ötürü yüksek magnezyumlu alaşımları sıcak veya soğuk olarak işlemek nispeten güçtür.

2.2.1.3. Alüminyum – magnezyum – silisyum alaşımları

Düralümin tipi alaşımlarda elde edilebilen maksimum mekanik mukavemetin lüzumsuz olduğu hallerde, ısıtma işlemine tabii tutulabilen diğer bir alaşım kullanılabilir. Bu alaşımda setleşme, Mg₂Si metaller arası kimyasal bileşiğinin sıcaklık ile değişen çözünürlüğünden ileri gelmektedir. En çok kullanılan bu tip alaşımlardan ikisi, yaklaşık olarak % 0.5 nispetinde magnezyum ile birlikte nispeten daha büyük miktarda (% 0.5 ila 1) silisyum ihtiva ederler. Bu alaşımlar kararlı olmaları ve eritme ısıtma işlemi (solution heat treated) şartlarında çok iyi şekillenebilmeleri ile karakterize edilirler. Şekillendirme ameliyesi su vermeden sonra malzeme üzerinde yürütülebilir ve lüzumlu mukavemet, malzemeyi bilahare 160 ° - 180 °C' da çökeltme ısıtma işlemine tabii tutmak suretiyle temin edilir. Alaşımlar, ilave edilen elementlerin oranı nispetinde küçük olduğundan, ticari bakımdan saf olan alüminyumun arzu edilen özelliklerinde çoğuna sahip olurlar. Bu alaşımların korozyona karşı göstermiş oldukları direnç saf alüminyumunkinden biraz azdır, mukavemetleri 16 ila 26 ton / inç² arasında değişir.

2.2.1.4. Alüminyum – çinko – magnezyum alaşımları

Bu alaşımlar bütün alüminyum alaşımları içinde en mukavemetli olanlarıdır, ve ikinci dünya savaşı esnasında hava kuvvetlerinde kullanılmak üzere geliştirilmiştir. Bileşim bakımından % 8' e kadar çinko, % 4 magnezyum, % 3 bakır ve küçük miktarlarda krom, titan manganez veya nikel ihtiva ederler. Bu alaşımlar imal güçlükleri arz ederler ve şekillendirme işlemi, eritme ısıtma işleminden hemen sonra yapılmalıdır. Bunu çökeltme ısıtma işlemi takip eder.

2.2.1.5. Alüminyum – manganez alaşımları

Bu alaşımlar, saf alüminyum ile yüksek mukavemetli alüminyum alaşımları arasındaki boşluğu doldururlar. Zira % 1,5 mertebesindeki bir manganez ilavesi, mukavemetin önemli miktarda (6 ila 11 ton / inç²) artmasına fakat sünekliğin ise cüzi miktarda azalmasına sebebiyet verir. Ticari alüminyum mukavemetinden daha yüksek bir mukavemete sahip ve işlem sırasında sertleşebilen bir alaşımı gerektiren yerlerde bu cins alaşımlar kendilerine tatbik sahası bulurlar. (Örneğin, presleme, bükme ve kaplama işlerinde).

2.3. Alüminyum Alaşımlarının Isıl İşlemi

İstenen özellikleri kazandırmak amacıyla uygulanan ısıl işlemler ve sonuçları geniş ölçüde incelenmiştir. Alüminyum alaşımlarının dayanımı çökeltme sertleşmesiyle artırılmaktadır. Çökeltme ısıl işlemi, çözeltilme alma işlemine takiben aşırı doymuş bir kati eriyikte oluşturmak üzere su verme ve son olarak da yapıda bulunan yapı bileşenlerinin çökmesini sağlamak (yaşlandırmak) gayesiyle alaşımın düşük bir sıcaklığa yeniden ısıtılmasından ibarettir. Burada yaşlandırma işlem süresi ve sıcaklığı ana işlem parametrelerini oluşturmaktadır. Genel olarak “çökeltme sertleştirilmesi” olarak bilinen bu işlem “yaşlanma sertleşmesi ” olarak da anılmaktadır.Çökeltme sertleşmesi işlem basamakları şekil 2.1’de gösterilmiştir [8,13].



Şekil 2.1. Çökeltme sertleşmesi basamakları

Çözeltiye alma, su verme ve uygun sıcaklıkta (yapay yaşlandırma için) Eritme ısı işlemleri bir alaşımı, tayin edilen bir zaman zarfında, bazı yapı bileşenlerinin kati eriyik teşkil ettiği bir sıcaklığa ısıtmak ve bu bileşenleri çözelti halinde tutmak maksadıyla, (aşırı doymuş olarak muhafaza edebilmek için) genellikle su vermek suretiyle bu sıcaklıktan süratle soğutulmaktan ibarettir [13].

2.4. Alaşım Elementlerinin Etkileri

2.4.1. Bakır

% 12 Cu' a dek dayancı arttırır, daha fazlası gevreklik yaratır; genellikle yüksek sıcaklık özellikleri ile işlenebilirliği artar.

2.4.2. Çinko

Dökülebilirliği düşürür; yüksek çinkolu alaşımlar sıcak çatlama ve soğuma çekmesi gösterirler; % 10 Zn' dan yüksek gerilim yenimi çatlama gösterir; diğer alaşım elementleri ile birlikte dayancı çok arttırır; %3 Zn' dan daha az çinko içeren ikili alüminyum alaşımlarda belirgin bir etkisi yoktur [2,14].

2.4.3. Demir

Alüminyum cevherlerinde doğal katıksı olarak bulunur; az oranlarda bazı alaşımların sertlik ve dayancını arttırır; dökümleri sıcak çatlama eğilimlerini azaltır [7].

2.4.4. Magnezyum

Katı çözelti sertleşmesi yaratır; % 6' dan fazla magnezyum içeren alaşımlarda çökme sertleşmesi olur; dökümleri zordur [14].

2.4.5. Mangan

Dökülebilirliği arttırmak için demir ile birlikte kullanılır; metallar arası bileşiklerin özelliğini değiştirir; çekmeyi azaltır, alaşımların süreklilik ve tokluk özelliklerini artırır [14].

2.4.6. Silis

Akışkanlığı artırır; sıcak çatlama eğilimini azaltır; %13' den fazla silis içeren alaşımların işlenmesi çok zordur; yenim direncini artırır [1].

Alüminyum alaşımları kimyasal içerikleri ve kullanım alanları tablo 2.1'de incelenmiştir.

Tablo 2.1. Alüminyum alaşım içerikleri ve kullanım alanları

Malzeme	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Kul.Amacı için Ana Kriterler
2017	0.70	3.50 4.50	0.40 1.00	0.40 1.00	0.10	0.25	- - -	Mekanik özellikleri, mukavemeti, işlenebilirliği, termal iletkenliği
5083	0.40	0.10	0.40 1.00	4.00 4.90	0.05 0.25	0.25	0.15	Mekanik mukavemeti, işlenebilirliği, termal iletkenliği, kaynak yapılabilirliği, korozyon direnci,
6061	0.70	0.15 0.40	0.15	0.80 1.20	0.04 0.35	0.25	0.15	Mekanik mukavemeti, işlenebilirliği, termal iletkenliği, kaynak yapılabilirliği
7075	0.50	1.20 2.00	0.30	2.10 2.90	0.18 0.28	5.10 6.10	0.20	Mekanik mukavemeti, işlenebilirliği

2.5. 7075 Alüminyum Alaşımı

7075 alüminyum alaşımı hafifliği ve T6 ısıtım şartlarında eriştiği yüksek dayanım özellikleri nedeniyle uçak endüstrisinde yaygın olarak kullanılan bir yapı malzemesidir. Bu alaşımın kimyasal bileşimi Tabloda görülmektedir. 7075 ilk kez 1943 'te geliştirilmiştir. Diğer 7000 serisi alaşımları gibi çökelme ile sertleştirilir. Genel olarak levha formunda üretilir. Artan kullanım sonucu dövme ve ekstrüzyon mamulleri ve kalın levha üretimi de yaygınlaşmıştır.

Tablo 2.2. 7075 Alüminyum kimyasal bileşimi

Alaşım Elementi	Zn	Mg	Cu	Fe	Si	Mn	Cr	Ti	Al
% Ağ.	5,1-6,1	2,1-2,9	1,2-2,0	Max 0,5	Max 0,4	Max 0,3	0,18-0,28	Max 0,2	Kalan

7075 alüminyum alaşımının iyi mekanik davranışına rağmen, atmosferik rutubet gibi düşük aktiviteli ortamlarda dahi gerilmeli korozyona hassas olduğu tespit edilmiştir. 7075 alüminyum alaşımının kimyasal bileşimi üstte tablo 2.2.'de gösterilmiştir. Bu nedenle ticari 7075 alaşımı levhalar genellikle "Alclad" denilen ve her iki tarafına korozyona dayanıklı bir alüminyum alaşımı tabaka giydirilmiş ürünler şeklinde piyasaya sunulur. 7075 alüminyum alaşımının mekanik özelliklerini iyileştirmek için T6 yapay yaşlandırma ısıtım işlemi uygulanmaktadır [8].

2.5.1. Uygulama alanları

Sac ve plaka üretim formundaki 7075 alüminyum alaşımı, alaşım elementlerinin küçük oranlarda katılması ile yoğunluğunun çok az artmasına karşın, mekanik özellikleri ile dökülebilirlik özelliğinde önemli iyileşmeler gözlenmektedir. Yüksek mukavemet ile ortalama tokluk ve de en önemli özelliklerinden biri olan hafifliği nedeniyle uzay-uçak yapılarında yoğun olarak kullanılmaktadır. Alüminyum kaplı sac, kalınlığı 101,6 mm kadar olan yapısal levha bileşenleri alüminyumun genel uzay-uçak uygulamaları bu alaşımın tipik uygulamalarıdır. Kanat uygulaması (gerilme etkin) ve yatay kuyruk uygulamasıdır (gerilme-basma etkin). Günümüzde kullanılmakta olan birçok askeri ve ticari uçakların üst kanat panelleri ile alt yatay

dengeleyici panellerinde, gövde kirişleri ve gövde omurga kirişlerinde ekstrüzyonla üretilerek kullanılır. Hafifliği nedeniyle tercih edilen diğer bir kullanım alanı piston ve piston kolları ve motor gövdeleridir. Isı genliğinin yüksek olması, bu alaşımların piston olarak kullanımını sırasında daha yüksek sıkıştırma uygulanabilmesine olanak sağlar. Silah donanımlarında, mermi yapımında, uçakların iniş takım çalıştırma silindirleri ve yapısal parçalarında, yüksek basınç altında çalışan sahalarda v.b. yerlerde kullanılırlardı [1,15,16].

2.5.2. T6 ısıt işlemleri

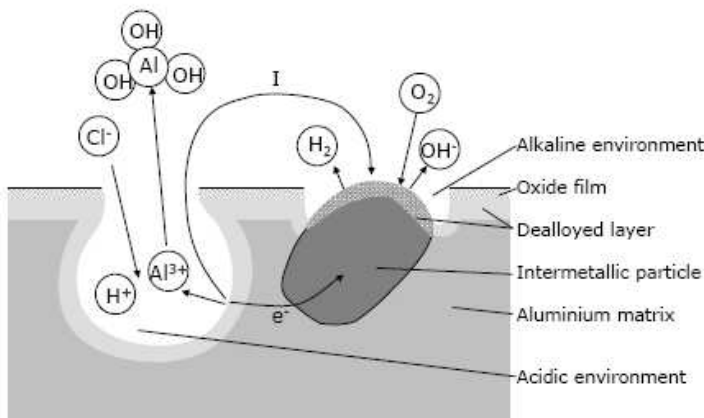
T6 ısıt işlemleri. 7000 serisi alüminyum alaşımları için en yüksek dayanım seviyesini sağlayan ticari bir ısıt işlemdir. Konvansiyonel T6 ısıt işlemleri, malzemeye çözündürme ısıt işlemleri uygulandıktan sonra su verilerek 120 C°'de 24 saat yaşlandırma ile elde edilir. T6 ısıt işlemleri. 7075 alüminyum alaşımına koşullan uygulandıığında ısıt işlemleri sürelerine göre mekanik özellikleri iyileşmektedir. Çekme dayanımı 228 MPa'dan 572 MPa'a, akma dayanımı 103 MPa'dan 503 MPa'a, sertliği 60 BSD'nden 150 BSD' ne kadar çıkabilmektedir [17,18]. Ayrıca 7075-T6 alüminyum alaşımının spesifik dayanımını düşünecek olursak, ancak yay çeliklerinin spesifik dayanımı o mertebelerde olmaktadır.

2.5.3. 7075-t6 alüminyum alaşımının korozyon davranışı

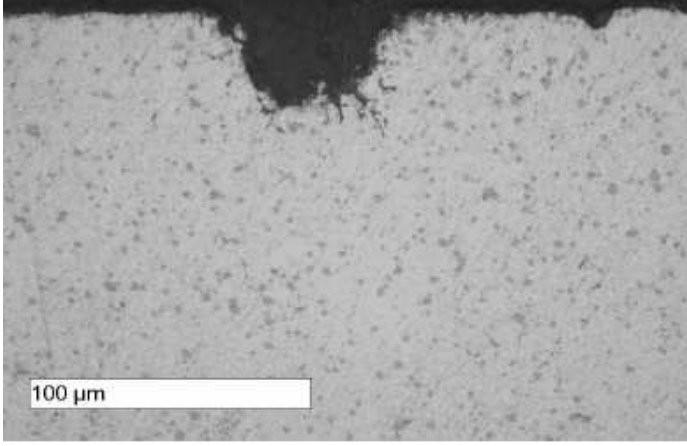
Alüminyum alaşımlarının korozyon direnci saf alüminyumunkinden çok daha düşüktür. Bakır varlığı içeren alüminyum alaşımlarının korozyon direnci kötüdür. Alüminyum alaşımları ile diğer metallerin ya da alaşımların kendi aralarında temas durumunda olmaları, nemli ortamda korozyona neden olur. Elektrokimyasal gerilim serisindeki konumu nedeniyle asal bir metal olmayan alüminyumun korozyona dayanıklılığı, havada veya sulu çözeltilerde yüzeyi kaplayan oksit tabakasından ileri gelir. Bu koruyucu tabaka, bozulduğunda doğal oksitlenme ile hemen yeniden oluşur; ayrıca ortamda bulunabilecek asitler ne kadar oksitleyici ise o kadar kararlı davranır. Örneğin derişik nitrik asit, alüminyum kaplarda nakledilebilmektedir. Saf alüminyum bu özelliği, korozyona hassa alaşımlarında, alaşımlı levhaların korozyona maruz yüzeylerine çok ince bir tabaka saf alüminyum

giydirilerek (Cladding) korozyondan korunmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Öte yandan anılan oksit tabakasını çözebilen derişik alkaliler alüminyum korozyona uğrattır. Yüzeideki doğal oksit tabakası sadece 0,01 μm kalınlığında olup çok sayıda gözenek içerdiğinden, alüminyumda öncelikle bakır, demir gibi katışıklar yerel bileşim farklılıkları ve dolayısıyla korozyon pilleri oluşturabilirler. Alüminyum doğal koruyucu tabakasını kuvvetlendirmek üzere kimyasal fosfatlama ve kromatlama yapılabilir. Ancak bu amaçla, daha yaygın olarak kullanılan alüminyumun elektrolitik oksitlenmesidir (anodizasyon, eloksal). Bu işlem sülfürik veya kromik asitli banyolarda gerçekleştirilir.

Maksimum mekanik dayanım şartlarına yaşlandırılmış (T6) 7075 alüminyum alaşımının taneler arası gerilmeli korozyon çatlamasına hassas olduğu bilinmektedir [19] (özellikle klorür içeren ortamlarda). Çökeltme ile sertleştirilmiş alüminyum alaşımlarında, çökeltiler veya bunların etrafındaki, alaşım elementlerinden yoksun kalmış bölgeler belirli korozif ortamlarda matrise ve etraflarındaki bu fakir bölgeye göre elektrokimyasal potansiyel farktan dolayı anodik davranırlar. Bu çökeltilerin tane sınırları boyunca korozyona uğramaları sonucu tane sınırlarına çok yakın bir seri boşluklar oluşacaktır. Tane sınırlarına dik gerilmeler etkisi ile bu oyuklar büyüyüp birleşerek oyuklanmaya sebep olacaklardır [20]. Alüminyum alaşımlarındaki genel oyuklanma korozyonu ve oyuklanma sınırlarında oluşan çatlak başlangıçları sırasıyla şekil 2.2. ve şekil 2.3.'de gösterilmiştir [59].



Şekil 2.2. Alüminyum alaşımlarında oyuklanma korozyonu mekanizması



Şekil 2.3. Oyuk sınırlarında oluşan çatlak başlangıçları

7075 alüminyum alaşımının T6 ısıtım koşullarında istenen dayanım özelliklerini sağladığı, ancak korozyon direncinin düştüğü; 7000 serisi alüminyum alaşımlarının mukavemet özelliklerinde azalma olmadan yüksek bir oyuk korozyon direncinin kazandırılabilmesi için yapılan çalışmaların çoğu ısıtım şartları ve çökelti özellikleri üzerinde yoğunlaşmıştır. Dayanım ve korozyon direnci gibi özellikler alaşımın çökelti yapısı ile (tür ve dağılımları ile) çok yakından ilgilidir. Çökelti yapıları alaşımın metalürjik şartlarını, mekanik özelliklerini ve korozyon davranışını belirler [8].

Çökeltilerin tür ve dağılımları ısıtım şartları ile yakından ilgili olduğundan. 7075 alüminyum alaşımının gerilmeli korozyon çatlama problemi çözümünde ısıtım şartlarının optimizasyonu önem kazanmıştır. Bu nedenle 7075 alüminyum alaşımında dayanımın ve korozyon direncinin nasıl optimize edildiğinin anlaşılması için AlZnMg alaşımlarının mikro yapısının ve çökeltme işleminin incelenmesinde yarar vardır [21].

BÖLÜM 3. KOROZYON VE OYUK KOROZYONU

3.1. Korozyonun Genel Özellikleri

Korozyon metal ve alaşımlarının çevreleri ile kimyasal ve elektrokimyasal reaksiyonları sonucu bozunmalarıdır. Oluşumunu sağlayan reaksiyonun türüne göre kimyasal ve elektrokimyasal korozyon olmak üzere iki grupta incelenebilir. Kimyasal korozyon metal ve alaşımlarının gaz ortamlar içindeki oksitlenmesidir. Elektrokimyasal korozyon ise metal ve alaşımlarının sulu ortamlar içinde sunmalarıdır. Sözü edilen sulu ortamlar metal yüzeyinde yoğunlaşmış ince filmlerden sulu çözeltilere kadar su içeren bütün ortamları kapsamaktadır. Örneğin: Atmosfer, doğal sular, topraklar, vücut sıvıları, kimyasal çözeltiler, besin ürünleri. vb. [24-25].

Korozyon olgusunun temelini elektrokimyasal olarak yürüyen reaksiyonlar oluşturur. Bu reaksiyonlar metal yüzeyinde veya metal-çözelti ara yüzeyinde yürürler. Korozyon bir yüzey olayıdır ve yüzeyden başlayarak metalin içine doğru ilerler. Korozyon reaksiyonlarının elektrokimyasal yoldan yürüyebilmesi için aşağıdaki üç koşulun bir araya gelmesi gerekir. Bir potansiyel farkı bulunmalıdır. Elektronik ve elektrolitik iletkenler arasında yük transferi reaksiyonu olmalıdır. Sürekli bir akım iletim yolu bulunmalıdır.

Korozyon reaksiyonları Au, Pt ve Pd gibi soy metaller dışındaki metallerin termodinamik kararsızlığı sonucu veya dış akımların etkisiyle gerçekleşir. Metaller, cevherlerinden doğadaki temel reaksiyonları tersine çevrilerek: indirgenme yoluyla elde edilirler. Dolayısıyla bu metaller birçok ortamda kararlı değildirler ve yeniden kararlı bileşikler oluşturabilme eğilimi gösterirler. Bu eğilim de korozyona neden olur.

Korozyon olayının mekanizmasını belirleyebilmek için anot ve katot reaksiyonlarının ayrı ayrı incelenmesi ve enerji ilişkilerinin bilinmesi gerekmektedir. Böylece reaksiyonun hızı, kendiliğinden yürüme yönünde istekli olup olmadığı ve nasıl denetlenebileceği konusunda fikir edinilebilir.

3.2. Korozyon Çeşitleri

Değişik ortamlarda oluşan korozyon olayları birbirinden oldukça farklılık arz etmektedir. Pratik olarak birbirinden ayırt edilebilen korozyon türleri aşağıda verilmiştir [26,57].

3.2.1. Üniform korozyon (genel korozyon)

Metal yüzeyinin her noktasında aynı hızla yürüyen korozyon çeşididir. Normal olarak korozyon olayının bu şekilde yürümesi beklenir Üniform korozyon sonucu metal kalınlığı her noktada aynı derecede incelir.

3.2.2. Oyuk korozyonu

Metal yüzeyinin bazı noktalarında çukur oluşturarak meydana gelen korozyon türüdür. Bu tip korozyon olayında anot ve katot bölgeleri birbirinden kesin şekilde ayrılmıştır. Anot, yüzeyin herhangi bir noktasında açılan çukurun içindeki dar bir bölge, katot ise çukurun çevresindeki çok geniş bir alandır. Korozyon sonucu çukur gittikçe büyüyerek metalin o noktadan kısa sürede delinmesine neden olur. Bu nedenle çukur tipi korozyon çok tehlikeli bir korozyon türü olarak kabul edilir [27].

3.2.3. Galvanik korozyon

İki farklı metalin bağlantısından ileri gelen bir korozyon çeşididir. Bu tip korozyona çok rastlanır. Metallerden daha soy olanı katot, daha aktif olanı ise anot olur. Böylece bir korozyon hücresi meydana gelir. Bu hücrede yalnız anot olan metal korozyona uğrar.

3.2.4. Çatlak korozyonu

Metal yüzeyinde bulunan çatlak, aralık veya cep gibi çözeltinin durgun halde kaldığı bölgelere oksijen transferi güçleşir. Bunun sonucu olarak bu bölgeler anot, çatlağın çevresindeki metal yüzeyleri katot olur. Çatlak korozyonu yalnız metal yüzeyinde bulunan bir çatlakta değil, metal olmayan bir malzeme ile metal yüzeyi arasında da meydana gelebilir.

3.2.5. Kabuk altı korozyonu

Metal yüzeyinde korozyon ürünlerinin oluşturduğu veya başka bir nedenle oluşan bir kabuk (birikinti) altında meydana gelen korozyona kabuk altı korozyonu denir. Bu korozyon kabuk altının rutubetli olmasından ve yeteri kadar oksijen alamamasından kaynaklanır. Çünkü kabuk altında sıvı hareketi yoktur. Bu durum çatlak korozyonuna benzer bir ortam yaratır. Kabuğun altı anot, kabuk çevresi ise katot olur. Örneğin, boru yüzeylerini izole etmek amacı ile sarılan cam pamuğu yağış nedeniyle ıslanırsa, bu bölgelerde şiddetli bir kabuk altı korozyonu başlar.

3.2.6. Filiform korozyonu

Metal yüzeyinde bulunan boya veya kaplama tabakası altında yürüyen bir korozyon olayıdır. Filiform korozyonu, çatlak korozyonunun bir türü olarak kabul edilebilir.

3.2.7. Seçimli korozyon

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

3.2.8. Taneler arası korozyon

Bir metalin kristal yapısında tanelerin sınır çizgisi boyunca meydana gelen korozyona taneler arası korozyon denir. Taneler arası korozyonun en tipik örneği paslanmaz çeliklerde görülür.

3.2.9. Erozyonlu korozyon

Korozif çözeltilerin metal yüzeyinden hızla akması halinde, korozyon olayı yanında erozyon da meydana gelir. Bu durum korozyon hızının da artmasına neden olur. Bunun nedeni, oluşan korozyon ürünlerinin akışkan tarafından sürüklenerek götürülmesidir. Erozyonlu korozyon olayı daha çok hareketli akışkanların bulunduğu ekipmanlarda, (borular, dirsekler, valfler, pompalar, santrifüjler, pervaneler, karıştırıcılar, ısı değıştirciler vb.) söz konusu olabilir.

3.2.10. Aşınmalı korozyon

Birbiri üzerinde kayan iki yüzeyin aşınması ile birlikte yürüyen korozyon olaylarına aşınmalı korozyon denir. Aşınmalı korozyon daha çok metallerin yığın halinde uzun mesafelere taşınmaları sırasında ve yumuşak bağlantı yapılmış elemanlar arasında görülür. Aşınmalı korozyonun oluşması için ortamda suyun bulunmasına gerek yoktur.

3.2.11. Stres korozyonu

Korozif ortamda bulunan bir metal aynı zamanda statik bir gerilme altında ise, metalin çatlayarak kırılması, korozyonun başlaması için uygun bir ortam yaratır. Normal halde korozyon ürünleri metal yüzeyinde koruyucu bir kabuk oluşturduğu halde, stres altında iken kabuk oluşturamaz. Bunun sonucu olarak korozyon hızla devam ederek metalin o bölgede çatlamasına neden olur.

3.2.12. Yorulmalı korozyon

Periyodik olarak yükleme - boşaltma şeklinde etkiyen dinamik bir stres altında bulunan bir metal zamanla yorulur. Yorulmuş halde bulunan metal, normalden daha küçük gerilmelerin etkisi ile çatlayabilir. Yorulma ve korozyonun birlikte etkisi metalin kısa sürede çatlamasına neden olur [27].

3.2.13. Kaçak akım korozyonu

Doğru akım ile çalışan raylı taşıt araçları, doğru akım taşıyan yüksek voltajlı elektrik hatları ve kaynak makineleri zemin içine kaçak akım yayarlar. Bu kaçak akımlar çevrede bulunan metalik yapılara girerek korozyona neden olurlar. Örneğin bir yeraltı tren hattına paralel giden boru hattında kaçak akım korozyonu meydana gelebilir.

3.2.14. Mikrobiyolojik korozyon

MIC (mikrobiyolojik etkiden kaynaklanan korozyon veya mikrobiyolojik korozyon, microbiological influenced corrosion), mikroplar, bakteriler ve mantarlar tarafından başlatılan veya hızlandırılan korozyondur. 100 yılı aşkın bir süre önce ortaya çıkarılan MIC'in, modern endüstriyel sistemler için ciddi bir problem olduğunun farkına son 30 yılda varılmıştır.

MIC, metal ve yapı malzemelerine olan korozyon zararlarının yaklaşık % 20'sini oluşturmaktadır. Dünya genelinde MIC'in direkt olarak sebep olduğu zararın yıllık 30 – 50 Milyar \$ mertebesinde olduğu tahmin edilmektedir. ABD sanayi, boru hatlarında meydana gelen korozyonun % 15-30'unu oluşturan MIC ile mücadele etmek amacıyla, sadece doğal gaz endüstrisinde yılda 1,2 Milyar \$ harcama yapmaktadır.

MIC, özellikle enerji ve petrol sanayinde, mikrobiyolojik korozyondan kaynaklanan yangın problemleri gibi zaman zaman ciddi hasarlarla sonuçlanan birçok soruna yol açmaktadır.

Mikrobiyolojik korozyon, normal korozyon olaylarından farklı yapıda olmayıp, bazı mikro canlıların korozyonun reaksiyon hızını arttırması şeklinde kendini gösterir. Normal korozyon olayının mevcut olmadığı ortamlarda mikrobiyolojik korozyon olayına nadiren rastlanır. Başka sebeplerle meydana gelen korozyon olaylarına ayrıca mikrobiyolojik korozyon olayları da katılarak korozyon hızını artırıcı etki yapar.

3.3. Oyuk Korozyonu

Oyuk korozyon metal yüzeyinin özel bölgelerinde küçük oyuklar oluşurken metalin geriye kalan yüzeyinin çoğu kez etkilenmeden kaldığı yerel korozyonun sınır hali olarak tanımlanır. Sulu elektrolit çözeltileri içinde metali yıkıcı en yaygın ve tehlikeli korozyon türüdür. Demir, nikel, alüminyum, magnezyum, zirkonyum, bakır, kalay, çinko ve bunların çeşitli alaşımlarında gözlenir.

Oyuk korozyonunda görülen oyukların oluşması için genellikle uzun bir başlama süresi geçer. Bu süre metale ve Korozif ortama bağlıdır. Oyuklar genellikle yerçekimi doğrultusunda büyüyerek metal yüzeyini derinliğine oyma eğilimi gösterirler. Oyukların biçimi iç yüzeyi parlatılmış yan küresel, düzgün olmayan. yanları kristal yüzeylerden oluşan kristalografik veya tane yönlenmesi gösteren kristalografik şekillerde olabilir [27].

Oyuk oluşması ve büyümesi ya da başka bir deyişle metalin oyuk korozyona uğraması için şu koşullar sağlanmalıdır [30].

- a. Metal pasif durumda olmalıdır.
- b. Elektrot potansiyeli oyuk oluşma potansiyelinden. E_{00} . Daha pozitif olmalıdır.
- c. Ortamdaki elektrolit çözeltisi yüksek derişimde aşındırıcı anyon (Cl^-) içermelidir.

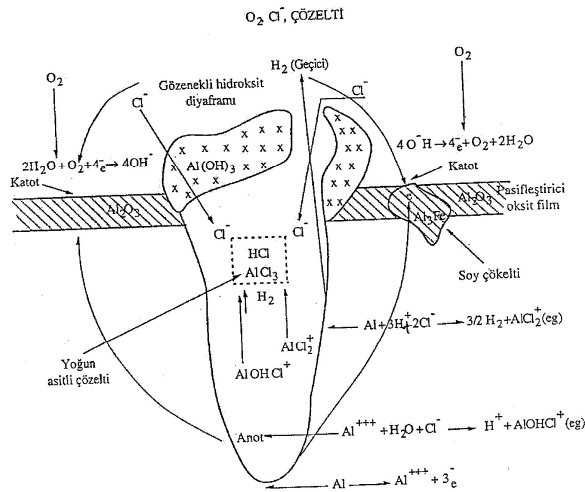
Oyuk korozyonda korozyonun oyuk içinde başlaması ve sürmesi için gerekli koşulların kendiliğinden olması olayın otokatalik olarak yürüdüğünü gösterir.

Şekil 3.1. 'de oksijenli ortamda sodyum klorür çözeltisi içerisinde alüminyum oksit yüzeyinde oyuk oluşması ve büyümesinin elektrokimyasal mekanizması şematik olarak gösterilmiştir.

Oyuk içinde metal anodik olarak çözünürken metal yüzeyinde oksijen indirgenir. Oyuk içinde metalin hızla çözünmesiyle çok miktarda artı yüklü iyonlar oluştuğundan elektriksel nötrlük koşulunu korumak için klorür iyonları oyuk içine

difüzenir. Oyuk içinde $AlCl_3$ derişimi artınca hidroliz sonucu hidrojen iyon derişimi artar ve ortam asidik olur. Bu durumda pasifleşme potansiyeli yükselir ve metalin çözünmesi artar. Hidrojen ve klorür iyonlarının her ikisi de birçok metalin ve alaşımlarının çözünmelerini arttırıcı etki gösterirler. Oyuğun içi küçük anot, metal yüzeyi büyük katot olarak etkiyerek oyuk otokatalitik olarak çözünmelerini sürdürür [32].

Oyuk korozyon genellikle Cl^- , Br^- , F^- , I^- gibi halojenür iyonları içeren ortamlarda olur. Bunların yanında yükseltgeyici metal iyonları da korozyonu arttırırlar. Bakır II, demir-III, cıva-II halojenürleri oyuk korozyonu bakımından çok etkindirler.



Şekil 3.1. Alüminyum yüzeyinde oyuk oluşumunun elektrokimyasal mekanizması

Adsorpsiyon oyuk korozyonun oluşmasında önemlidir. Cl^- ve diğer aşındırıcı iyonların metal yüzeyine Adsorpsiyon korozyonun ilk aşamasıdır. Klorür iyonlarının pasif metal yüzeyine Adsorpsiyon Tempkin Adsorpsiyon izotermine uymaktadır.

3.3.1. Pasiflik

Pasiflik metallerin şiddetle oksitlenmelerinde düşük korozyon hızı ile karakterize edilen bir potansiyel bölgesindeki metal yüzeyinin hali ya da korozyon ürünlerinin

metal yüzeyinde koruyucu bir tabaka oluşturmasıyla korozyon eğiliminin azalması olarak tanımlanabilir. Kimyasal ve mekanik olmak üzere iki tür pasiflik vardır [27,31].

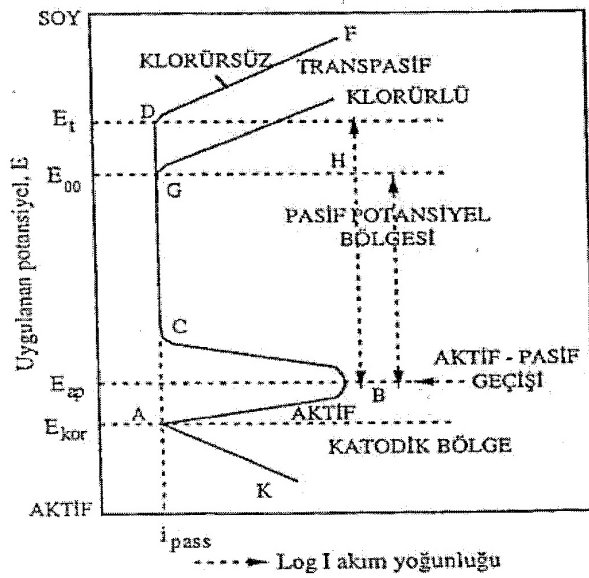
Kimyasal pasiflik geçiş metallerinde ve diğer bazı metallerde ortaya çıkmaktadır. Pasifleşen geçiş metallerine örnek olarak demir, platin, krom, molibden, tungsten, titanyum ve zirkonyum verilebilir. Bunun yanında geçiş metali olmayıp da pasiflik gösteren metaller de vardır, örneğin; alüminyum. Kimyasal pasifliği sağlayan, metal yüzeyindeki çok ince fakat yoğun ve yan iletken oksit filmidir. Bu film sayesinde metalin elektrot potansiyeli (alüminyum için bu elektrot potansiyel değeri -1,67 V 'tur) oldukça pozitif değerlere kayar(0,5-2V).

Mekanik pasiflik ise uygun ortamlarda metal yüzeyinde katı tuzların çökebildiği tüm metal türlerinde görülür. Bu kez korozyon hızını azaltan faktör kalın, gözenekli ve genellikle iletken olmayan tuz tabakasıdır. Elektrot potansiyelinin pozitif değerlere kayma gerekliliği yoktur, ancak eğer tuzun çözünürlük çarpımı düşükse potansiyel standart potansiyelden daha negatif değerlere kayar. Bu tip pasifliğe örnek olarak ise sülfürik asit içindeki kurşun, flüorür ya da su içinde magnezyum, klorür çözeltisi içinde gümüş verilebilir.

Kimyasal pasiflik metalin içinde bulunabileceği birçok ortamda gerçekleşebilen genel bir olaydır. Kimyasal ve mekanik pasiflik arasında kesin bir ayırım yapmak mümkün değildir. Çünkü alüminyum, magnezyum ve tungsten örneklerinde olduğu gibi metallerin yüzeylerindeki ince doğal oksit film tabakası anodik işleme kalın ve daha koruyucu oksit filmine dönüştürülebilir.

Aktif-pasif geçişli bir metal veya alaşımının durumunu incelemek için anodik polarizasyon eğrilerinden yararlanır. Pasifleşen bir metal veya alaşımının durumu üç bölgede incelenebilir; Aktif bölge, pasif bölge, trans pasif bölge [37] şekil 3.2. "de görüldüğü gibi anodik akım önce artar, sonra potansiyel arttıkça ani olarak azalır. Bu davranış ortamdaki oksitleyici derişimi arttıkça korozyon hızının artışının ve oksitleyici derişimi kritik bir değere ulaştığında korozyon hızının aklığının bir

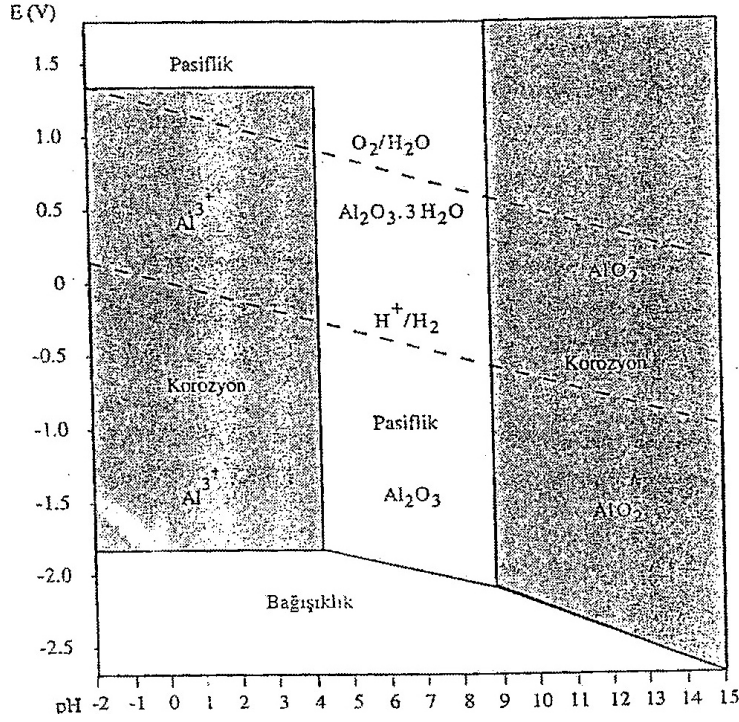
göstergesidir. Korozyon hızındaki bu ani düşüğe üleşme denir. Sadece alüminyumda bu davranış farklılık gösterir. Alüminyumda da diğer metallerde olduğu gibi korozyon potansiyelinden sonra korozyon hızı (akım) düzgün olarak artar. Ancak alüminyumda aktif-pasif geçiş bölgesine gelindiğinde korozyon akımı pasif potansiyel bölgesi boyunca sabit kalır, akımda ani bir düşüş gözlenmez. Pasif bölgeden sonra potansiyel daha da arttırılırsa alüminyum ve diğer bütün metaller için akımda tekrar ani bir artış olur. Bu artışın gözlendiği potansiyel oyuk oluşma potansiyeli ya da trans pasif potansiyel olarak adlandırılır. Bu ani artışın nedeni ise pasif filmin bozulmasıdır.



Şekil 3.2. Çelik için sülirikasit içinde şematik polarizasyon eğrisi

Aktif çözünme bölgesinin bütün potansiyel aralığında düzgün bir çözünme gözlenir. Aktif-pasif geçişin gözlendiği tepe bölgesi civarında da düzgün bir korozyon beklenmelidir. Bu tepe bölgesinden, yani E_{ap} , birinci pasiflik bölgesinden sonra metal yüzeyi bir pasiflik filmi ile kaplanmaya başlar ve bu film C-D potansiyel bölgesinde metal yüzeyini korur. Daha sonra klorür gibi Korozif iyonların veya yüksek oksitleyici güce sahip maddelerin etkisi ile pasif film parçalanır ve filmin parçalanması ile bozulan yerlerde büyük miktarda akım geçer. Bu potansiyel değerine oyuk oluşma potansiyeli veya trans pasif potansiyel denir.

Metalin pasifliği konusunda Pourbaix diyagramları da fikir verir. Bu diyagramlarda korozyon olayında ortamın pil değerleri elektrot potansiyellerine karşı çizgelere geçirilmiştir. Her metal için bir potansiyel-pH diyagramı çizilerek metallerin kuramsal pasiflik, korozyon ve bağışıklık bölgeleri gösterilebilir (şekil3.3.).



şekil 3.3. Alüminyum için potansiyel pH diyagramı

Bu diyagramlar metalin korozyon durumunu ve pasiflik alan genişliğini oldukça iyi gösterir. Bununla birlikte pasifleştiği kesin olan bazı metallerde bu kuramsal diyagramlar metalin pratikte gösterdikleri gerçek pasiflik bölgesini daha kk göstererek metalin korozyon özelliklerini belirtmede yetersiz kalabilirler. Bu nedenle Pourbaix diyagramları ancak E-I polarizasyon eğrileri ile birlikte kullanıldığında korozyon ve pasiflik konusunda kesin bilgiler elde edilebilir [25].

3.4. Oyuk Korozyonun Önlenmesi

Bölüm 3.3.'de de belirtildiği gibi oyuk korozyonu, oyuğun oluşması ve oyuğun büyümesi (gelişme ve yayılma) olmak üzere iki aşamada gerçekleşir. Bu iki aşamanın gerçekleşmesi için şu koşullar bulunmalıdır.

- Metil pasif durumda olmalıdır.
- Elektrot potansiyeli, oyuk oluşma potansiyelinden E_{00} , daha pozitif olmalıdır.
- Ortamdaki elektrolit çözeltisi yüksek derişimde aşındırıcı anyon içermelidir.

İnhibitörler bu faktörlerin hepsi üzerinde etki gösterebilirler. Etkili bir inhibitör pasif filmin koruyucu özelliğini kuvvetlendirir, oyuk oluşma potansiyelini artırır ve metalin oldukça yüksek derişimde aşındırıcı iyon içeren çözeltide korozyona uğramadan kalmasını sağlar.

Aşındırıcı iyonun pasif filmi yerel olarak tahrip etmesi ve çıplak metal yüzeyine etki ederek metali aktif olarak çözmesiyle ilgili tam bir mekanizma belirlenememiştir. Metalin aktif çözünmesiyle ilgili iki hipotez bulunmaktadır. Birinci hipoteze göre oyuk oluşumu oksit-metal ara yüzeyinde olmaktadır. Bu hipoteze göre;

- Pasif filmde bulunan çatlaklar ve gözeneklerden klorür iyonlarının çıplak metal yüzeyine difüzlenmesiyle,
- Metal-oksit ara yüzeyindeki katyon boşlukları nedeniyle pasif filmin yıkılmasıyla,
- Gerilmeler nedeniyle oksit filmin mekanik olarak kırılmasıyla,
- CT iyonları çıplak metal yüzeyine ulaşarak oyuk oluşumuna neden olur.

İkinci hipoteze göre oyuk oluşumu oksit-çözelti ara yüzeyinde olmaktadır. Bu hipoteze göre ise;

- Oksit filmindeki oksijen iyonları ile klorür iyonları yer değiştirirler.
- Metal katyonları ile klorür iyonları klorür kompleksleri oluşturur.

- Metal katyonları ile klorür iyonları arasındaki reaksiyon sonucu tuz oluşur.

Bu nedenlerle pasif film incelik ve klorür iyonları çıplak metal yüzeyine ulaşarak oyuk oluşumuna neden olur. Aşındırıcı iyonların metal yüzeyine saldırı şekline bağlı olarak oyuk oluşumunu önleyen inhibitörler iki sınıfa ayrılır [33].

1. Pasifleştirici inhibitörler
2. Adsorpsiyon inhibitörleri

3.4.1. Pasifleştirici inhibitörler

Pasifleştirici inhibitörler filmdeki yapısal eksiklikleri gidererek filmi iyileştirme ve korozyon potansiyelini anodik değerlere kaydırma özelliğine sahiptirler. Pasifleştirici inhibitörler metali oyuk korozyondan üç şekilde koruyabilirler:

1. Metal yüzeyinde az çözünür tuzlar oluştururlar.
2. Oksit film üzerindeki zayıf noktaları (gözenekler, boşluklar vb), gözenekleri, boşlukları tıkayarak ya da filmin kimyasal bileşimini ve yapısını değiştirerek filmi iyileştirirler.
3. Metal yüzeyinde mono atomik veya poliatomik oksit film oluşturarak metali korurlar.

Pasifleştirici inhibitörler metali oyuk korozyon yanında genel korozyondan korumada da etkilidirler. Pasifleştirici inhibitör olarak kullanılan bazı anyonların oksijensiz ortamda, pasifleştirme yetenekleri şu sıralamaya göre artış gösterir. Nitrik > OH> kromat > borat > fosfat > karbonat > benzoat > bikarbonat > nitrat Nitrik ve kromat gibi tipik pasifleştirici inhibitörler uygun derişimlerde kullanıldığında sürekli bir pasifleşme veya yeniden pasifleşme (oksit filmin onarılması) sağlayarak metali oyuk korozyondan korur [30].

3.4.2. Adsorpsiyon inhibitörleri

Adsorpsiyon oyuk oluşumu ve oyuk önlenmesinde önemli bir süreçtir. Daha önce de bahsedildiği gibi oyuk oluşumu Cl^- iyonlarının oksit yüzeyine adsorplanarak oksit örgüsünde alüminyum katyonu ile çözünür kompleks oluşturmasıyla başlar. Daha sonra çözünür kompleksin yüzeyden difüzyonuyla oksit film incelik ve incelen bölgelerde metalin doğrudan elektrolitteki aşındırıcı iyonlarla reaksiyona girmesiyle oyuk büyür. Inhibitor olarak belirlenen bileşiğin Adsorpsiyonun Aşağıdaki sonuçları vermelidir:

1. Adsorpsiyon da aşındırıcı iyonla yarışmalı ve aşındırıcı iyondan daha hızlı adsorbe olmalı.
2. Adsorpsiyonla aşındırıcı iyonun metal katyonu ile çözünür kompleks vermesi önlenmeli.
3. Adsorbe olan inhibitör, metal ile çözünür kompleks oluşturmamalıdır [34].

Pasif film üzerine anyonların adsorpsiyon yüzey yüküne bağlıdır. Pasifleştirilmiş metal suya daldırıldığında oksit film üzerinde suyun adsorpsiyonuyla hidratlanmış bir yüzey tabakası oluşur. Yüzey yükünün sıfır olduğu noktada (pH_{ZC1}) ortamdaki OH^- derişimi ile H^+ derişimi birbirine eşittir. pH_{7Ln} 'dan daha büyük PH değerlerinde oksit film negatif yüklüdür ve bu durumda anyonların adsorpsiyonu gerçekleşmez. Ancak pH_{c1} , 'dan daha düşük pl 1 değerlerinde yüzey pozitif yüklü olduğundan Cl^- iyonlarının da.,inhibitörün de yüzeye adsorpsiyonu mümkündür. Alüminyum oksit için pH_{zc} , değeri 9,1 'dir. Yani bu pl I değerinin altında yüzey pozitif yüklüdür ve anyonlar adsorplanabilir. Metal veya oksit filmleri üzerinde ne tür maddelerin kuvvetle adsorplanabileceği konusunda yapılan çalışmalarda iki kuralın teorik olarak yol gösterici olabileceği üzerinde durulmaktadır:

- 1) Kuvvetli ve zayıf asit ve baz kuralı(HSAB)
- 2) Lineer serbest enerji ilişkisi(LFER)

IISAB kuralına göre hidroksit, sülfat gibi inhibitör olarak davranan kuvvetli bazların metal katyonu içeren oksit film üzerine adsorpsiyonu kolayca gerçekleşir. Bu kurala göre bazlığı $I^- < Br^- < Cl^-$ sıralamasına göre artan aşındırıcı anyonlarda oksit film üzerine kuvvetle adsorplanırlar. Bu nedenle inhibitörün aşındırıcı anyonlarla yüzeyde adsorpsiyonda yarışabilmesi için aşındırıcı anyonlardan daha nükleolilik olması gerekir. Ayrıca elektron verici (nükleofilik karakter) ile oksit arasındaki etkileşimin ürünü çözünür bir bileşik olmamalıdır. LFER kuralı ise farklı sabitler kullanarak, çeşitli şekillerde bu konuda kullanılabilir (Örneğin; süstitüenlin indüktif etkileri).

İnhibitör etkinliği inhibitör molekülünün içerdiği fonksiyonel gruplara bağlıdır, molekül çok uzun bir alifatik zincir içermediği durumda fonksiyonel grubun elektronik yapısı oyuk oluşumunu önlemede etkin rol oynar. Molekülün alifatik incirle birlikte karboksil grubu da içerdiği durumda inhibitörün etkinliği metal yüzeyine hidrofobik özellikleri kazandıran alifatik zincirle artar. Karboksil grupları da molekülü metal yüzeyine bağlaması ve oyuğun oluştuğu noktalarda H tamponu görevi yapması nedeniyle oyuk oluşumunu önlemede büyük rol oynar [28-30].

3.5. Korozyon Dayanımı Testleri

Korozyonu önleme amaçlı uygulanan yüzey işlemlerden bahsetmeden önce, kaplamaların korozyon dayanımını ölçen hızlandırılmış testlerinden bahsedelim. 1890'lerden itibaren uygulanmaya başlayan korozyon testleri teknoloji, malzemeler, performans beklentileri ve çevre şartları göz önünde bulundurularak geliştirilmiş ve günümüze gelene kadar farklı test metotları oluşturulmuştur. Bu metotların en yaygın olarak uygulananları arasında statik korozyon testleri ve çevirim (cyclic) testleri yer alır [57].

3.5.1. Statik korozyon testleri – tuzlu sis testi

Sabit sıcaklık ve nem ortamında, tuzlu su püskürtme testi. En yaygın olanları ASTM B117, DIN 50021 testleridir.

3.5.2. Çevirim testleri

Farklı sıcaklık, nem, elektrolit ortamlarında farklı çevirim sürelerinde uygulanan testler. En yaygın olanları ASTM G 85, ASTM B 605, DIN 50018 testleridir. Bir kaplamanın korozyona uğramasında etkili faktörleri şöyle sıralayabiliriz:

1. Uygulanan kaplamanın kalınlığı
2. Pasivasyon tabakasının varlığı, kalınlığı, türü
3. Kaplama sonrasında uygulanan son kat işlemi (yağ, vernik.)
4. Kaplanan malzemenin kullanım ortamı (nem, ısı, UV ekspozisyonu.)
5. Fosfat kaplamalarda kristal yapısı.

Yapılan kaplamanın ömrü yukarıda belirtilen faktörlerden bir veya birkaçına bağlı olabilir. Bir malzeme için seçilecek kaplamada başta baz metalin (substrate) uygunluğu, ardından ürünün kullanım yeri, korozyon performansı, çevre şartları ve kaplanmış ürüne uygulanacak işlemler (şekil verme, plastik kaplama, boyama, kauçuk kaplama .) gibi birçok unsurun göz önünde bulundurulması gerekir.

BÖLÜM 4. METALLERİN YORULMASI

Yorulma hasarı, tasarım mühendisliğinin en büyük problemi olarak güncelliğini korumaktadır. Bu problem özellikle dalgalı ve değişen tekrarlı yüklerin uygulandığı durumlarda ve konstrüksiyon malzemesinin çok fazla yüzey pürüzlülüğü ihtiva ettiği hallerde etkili olmaktadır. Uygulamada, makinelere ve dolayısı ile makine parçalarına genellikle büyüklüğü ve yönü, düzenli veya düzensiz olarak zamanla değişen kuvvetler, gerilmeler ile eğme ve burma momentleri etki ederler. Bu tür zorlama altındaki bir makine elemanı kendi akma sınırının altındaki bir gerilmeye beklenmedik bir tarzda kırılabilir. Bu tür kırılmalara yorulma kırılması adı verilir. Zorlama sırasında yük istendiği kadar tekrarlanabilir veya zorlamanın yapılmadığı zaman aralıkları mevcut olabilir [35].

Yorulma zorlamasında yükün zamana bağlı olarak nasıl değiştiğinden çok, en alt ve en üst sınır değerlerinin büyüklüğü önemli olduğundan, yük değişimi genellikle sinüzoidal olarak kabul edilir. Birim zamandaki çevrim sayısı (periyot, yük tekrarı), çok düşük veya malzemenin ısınmasına neden olacak kadar çok yüksek olmamak şartıyla, yorulma ömrünü (kırılmaya kadar geçen çevrim sayısı) önemli ölçüde etkilemez. Kuvvetin veya momentin en küçük ve en büyük değerleri sıfır konumuna göre ters veya aynı işaretli olabilir. Yorulma deneylerinde kuvvet veya momentin uygulanma şekli "R" değeri ile belirtilir. $R = -1$ değeri uygulanan kuvvet veya moment değerinin sıfır konumuna göre ters işaretli olduğunu ifade eder. Yorulma zorlamasının iki hali için özel isimler kullanılmaktadır: Kuvvet veya moment aynı büyüklükte fakat biri artı diğeri eksi işaretli iki sınır değeri arasında değişiyor ise "değişken zorlama" ve malzeme dayanımı bakımından "değişken yorulma dayanımı" değeri söz konusudur. Kuvvet veya moment sıfır değeri ile belirli bir değer arasında değişiyor ise "dalgalı zorlama" ve malzeme dayanımı bakımından "dalgalı yorulma dayanımı" değeri deyimleri kullanılır [35].

Yorulma hasarı üzerinde etkili olan faktörlerin çokluğundan dolayı otomotiv ve fak endüstri sindeki parçalar ile kompresör, pompa, türbin gibi makine parçalarının servis ortamında meydana gelen hasarlarının % 80-90 "ı yorulma kırılmasıdır [35].

4.1. Yorulma Kırılmasının Nedeni

Yorulmanın meydana geliş biçimi tam olarak bilinmemekle beraber, plastik şekil değiştirmelerin rol oynadığı kabul edilmektedir. Yorulma zorlamasında sadece dış kuvvetler değil, ısısal genleşme ve büzülmelemlerden doğan ısısal gerilmeler de etkilidir [36]. İşletme koşullarındaki zorlamalar sonucu ortaya çıkan gerilmeler mukavemet bilgisinin temel denklemlerine her zaman uymaz, dolayısıyla çekme veya basma gerilmeleri parça kesitinde eşil olarak dağılma, eğme ve burma gerilmeleri de yüzeyden ortaya doğru doğrusal bir azalma göstermeyebilirler. Uygulamada bu kuramsal gerilme dağılımlarında az veya çok sapmalar görülür. Parçanın şekli, yüzey kalitesi, ortamın korozif etkisi, kuvvet iletiminin türü, ön gerilme, malzeme hatası, mikro yapının büyük ölçüde heterojen olması gibi nedenler ile yerel "gerilme yığılmaları" oluşur. Yorulma çatlağı gerilme yığılmalarının bulunduğu bölgelerde başlar. Ayrıca bir makine elemanı veya yapı elemanın öz titreşim frekansına yakın bölgelerde zorlanması sonucu rezonans titreşimlerine veya her zaman önlenmesi mümkün olmayan aşırı yüklere dayanacak şekilde tasarlanmış olması da yorulma çatlaklarına yol açabilir. Yorulma hasarının diğer bir nedeni de montaj hatalarıdır. Örneğin, balansı bozulmuş bir milde, hesaplarda ön görülenden daha yüksek gerilmeler oluşabilir. Ayrıca zorlanan bölgelerde dolgu kaynağı işlemlerinin uygun olarak yapılmaması halinde de yorulma çatlakları görülebilir [36].

4.2. Çatlak Oluşumu

Yüzey özellikleri metalik parçaların yorulma dayanımında büyük etkiye sahiptir, çekme dayanımında ise yorulmaya nazaran daha az etkiye sahiptir. Yorulma olayında çatlama genellikle yüzeydeki bir pürüzde, bir çentikte, çizikte, bir kılcal çatlakta veya ani kesit değişimlerinin olduğu yerde başlar. Çünkü eğme ve burma gerilmelerinin uygulandığı durumlarda en yüksek gerilme yüzeylerde oluşur. Eksensel gerilme

halinde, gerilmenin tüm kesite üniform dağılması beklenirken rastgele yüklenmiş çok taneli malzemelerde gerilme üniform dağılmayıp yüzeyde maksimum değerde olabilir. Yüzeyde başlayan yorulma çatlacağına daha sonra çentik etkisi yapacağından gerilme Konsantrasyonu'na ve dolayısı ile çatlakın hızlı ilerlemesine yol açacaktır. Çatlak ilerlemesi ile azalan kesit uygulanan yükü taşıyamaz ve ani kopma meydana gelir. Yorulmanın çatlakın teşekkülü, çatlakın yayılması ve malzemenin kopması gibi üç kademe meydana geldiği düşünülmektedir [37]. Çatlak teşekkülü için genellikle şu üç ana şartın gerçekleşmesi gereklidir [36].

1. Yeteri derecede yüksek bir çekme gerilmesi
2. Uygulanan gerilmenin değişimi
3. Uygulanan gerilmenin tekrar sayısı

Bu ana faktörler yanında pek çok yan faktörler de çatlak teşekkülüne zemin hazırlarlar. Malzeme yapısının düzensiz olması halinde çatlak, yüzeye en yakın düzensizlikten (boşluk, kalıntı, sert ikinci faz parçacıklar) başlar. Düzensizliklerin şekilleri, cinsleri ve büyüklükleri yorulma çatlak başlatmada etkilidir. Düzensizlikler yorulma çatlakını hızlandırabildikleri gibi yavaşlatabilmektedir [38].

4.3. Yorulma Zorlamalarında Kırılma Olayı

Sürekli artan zorlamalarda şekil değiştirmenin tek yönlü olmasına karşın, yorulma zorlamasında kuvvet veya moment, dolayısıyla şekil değiştirme sürekli yön değiştirerek artma-azalma gösterir. Söz konusu şekil değiştirmeler malzemenin kristal kafesi tarafından taşınabilirler. Kalıcı şekil değiştirmeler kristal kafesin çarpılması ile değil, kafesin değişik bölümlerinin yeni bir denge durumu sağlanıncaya kadar ötelenmesi yoluyla oluşurlar. Kafes kısımlarının birbirlerine göre ötelenmelerine kayma adı verilir ve olay kayma düzlemleri olarak adlandırılan tercihli bazı düzlemlerde olur. Kayma düzlemlerinin kristal kafesindeki konumu kristal yapısı ile ilgilidir [35].

Yorulma zorlaması sırasında tekrarlanan kalıcı şekil değiştirmelerin yeteri kadar birikimi sonucu, malzemenin dayanımının aşıldığı noktalarda mikroskobik boyuttan

da küçük çatlaklar oluşur. Zorlama sırasında dışarıdan verilen enerjinin büyüklüğüne bağlı olarak bunlar mikro ve makro çatlaklar olarak birleşir ve sonunda bu çatlaklardan herhangi biri yorulma kırılmasına neden olur. Hasar çok küçük ve sınırlı bir bölgede başlayıp çatlak olarak ilerlediğinden dışarıdan herhangi bir kalıcı şekil değiştirme görülmez ve bu nedenle yorulma kırılmaları şekil değiştirmesiz olarak nitelenir. Hasarın ilk oluştuğu nokta çoğunlukla yüzeyde veya yüzeyin hemen altındadır, ancak heterojenliklerin veya malzeme hatalarının durumuna göre malzemenin iç kısmında da bulunabilir [35]. Yorulma kırılmasını kolaylaştıran etkenler pek çok olmasına rağmen dış etkenler (şekil, yüzey durumu ve zorlama şekli) ile iç etkenler (malzemenin durumu) olarak ikiye ayrılabilir [35].

4.3.1. Dış etkenler

1. Konstrüksiyon ile ilgili çentikler, (yağ delikleri, kama yuvaları, keskin kesit değişimleri, faturalar, enine delikler vb.)
2. Kuvvetlerin doğrultu değiştirdiği yerler, (cıvata kafaları, krank millerinin dirsekleri, sıkı geçmeler vb.)
3. Kuvvet etki noktaları, (toleranslı veya sıkı geçmeler, dingil başlıkları ve diğer noktasal veya çizgisel etkiyen kuvvetler)
4. Talaşlı işlemler sırasında oluşan yüzey zedelenmeleri, (taşlama izleri, taşlama çatlakları, torna izleri, yüzey çizikleri vb.)
5. Diğer yüzey zedelenmeleri, (korozyona uğramış noktalar, aşınmış bölgeler, sertleştirme çatlakları, hadde veya dövme hataları vb.)

4.3.2. İç etkenler

1. Cüruf kalıntılarının yoğunlaştığı bölgeler veya tek tek iri cüruf kalıntıları, cürufların, oksitlerin, nitrürlerin ve karbürlerin tane sınırlarına çökelmeleri.
2. Her türlü birikmeler(segregasyonlar).
3. Yüzey kabarcıkları.

4. Tane sınırlarında oksitlenme (yanma) veya tanelerin içinde oksijen miktarının artması. Her ikisi de sıcak şekil verme veya ısıl işlem sırasında aşırı yüksek sıcaklıklar nedeni ile ortaya çıkabilir.
5. İç çatlak kümeleri: Haddelenmiş veya dövülmüş çeliklerde veya çeliklerin ark kaynağı dikişlerinde görülür.
6. Bölgesel yüzey sertleştirilmesi yapılmış malzemelerin yük taşıyan bölgelerinde veya çentiklerinde, sertleştirilmiş ve sertleştirilmemiş kısımlar arasındaki keskin geçişler.
7. Kaynak dikişlerinde gaz boşlukları, gözenekler, cüruf kalıntıları, çatlaklar, erime oyukları bulunması. Kaynak bağlantılarının gerilme giderme ve normalizasyon tavlarının yapılmaması.
8. Kaynak dikişi dışındaki elektrot ateşleme izleri.

4.4. Yorulma Kırıklarının Görünümü

Yorulma kırıklarının görünümü özellikle çelikler için. hemen hemen her olayda zorlamanın şekil ve seviyesi ile zorlamanın zamanla değişimi hakkında bilgi verir. Kırılmanın başladığı yerler genellikle saptanabilir. Yorulma kırılmasının ilerlemesinden de noktasal veya çevresel çentik etkilerinin var olup olmadığı anlaşılabilir. Çeliklerin çekme ve eğme zorlamalarında kırık yüzeyindeki görünümleri bakımından birbirinden tamamen farklı iki bölge ortaya çıkar:

- a) Düzgün ve mat veya bazen sürtünerek parlatılmış bölge: "Yorulma çatlağı"
- b) Kaba kristalli, yarıklar içeren, kısmen kalıcı şekil değiştirmiş ve son çevrim sırasında zorunlu olarak ani kırılmış bölge: "Son kırılma yüzeyi"

Yorulma çatlağında, zorlamanın durdurulduğu aralıklar veya zorlama seviyesinin değişimi nedeniyle, ağaçlarda görülen yaş halkalarına benzer "duraklama çizgileri" bulunabilir. Duraklama çizgileri yorulma kırılmasının kesin bir işaretidir ve bu çizgilerin şeklinden yorulma kırılmasının başlaması ile ilerlemesi hakkında bilgiler elde edilir [35].

4.5. Yorulma Dayanımının Saptanması

Malzemelerin yorulma dayanımının saptanması için eksene paralel doğrultuda mekanik veya elektrolitik olarak parlatılmış düzgün deney parçaları kullanılır. Yorulma dayanımı normal olarak Wöhler yöntemi ile bulunur. Bu yöntemde, malzeme, biçim ve yüzey kalitesi bakımından tümüyle aynı olan deney parçalarının her biri aralıksız şekilde ve farklı seviyelerde zorlanarak kırılmanın olduğu çevrim sayıları saptanır. Bir deney serisinde çoğunlukla 8-12 adet parça gereklidir. Belirli bir deney parçası için başlangıçta ayarlanan yorulma zorlaması deney sırasında değiştirilmez, yani tek kademeli yorulma deneyi söz konusudur. Buna karşın çok kademeli yorulma deneylerinde zorlama deney sırasında sistematik olarak değiştirilir.

Farklı sabit gerilmeler altında, malzemenin kaç çevrim sonunda çatlayacağı veya kırılacağı Wöhler diyagramı ile belirlenir. Wöhler diyagramının düşey ekseninde gerilme genliği (σ_g), yatay ekseninde ise, ortalama gerilme (σ_m) sabit kalmak şartıyla ilk deney parçasına, üst gerilme genellikle akma sınırına yakın olacak şekilde yüksek düzeyde, daha sonraki deney parçalarına ise gittikçe daha düşük gerilme uygulanarak malzemenin kırılmasına kadar geçen çevrim sayısı (N) bulunur [37].

Bir deney serisi sonunda uygulanan gerilme genliklerine karşı bulunan çevrim sayıları bir eğri olarak çizilerek Wöhler eğrisi elde edilir. Wöhler eğrisinde çevrim sayısının yer aldığı apsis logaritmik, gerilme genliğinin yer aldığı ordinat ise metrik olarak seçilir.

Wöhler diyagramında eğrinin yatay hale geldiği gerilmeye "Yorulma Dayanım Sınırı" (YDS) denir. Bu gerilmenin altındaki periyodik gerilmelerde parçanın sonsuz çevrime dayanabileceği kabul edilir. Demir Çelik grubu malzemelerde YDS. Malzemenin çekme mukavemeti ($\sigma_{\text{ç}}$) ve brinel sertlik değerinden (BSD) faydalanarak;

$$YDS \gg \pm 0,5\sigma_{\text{ç}} \sim \pm 0,18BSD$$

Olarak kabul edilebilir. Demir dışı malzemelerde ise;

YDS $\sim 1/3\alpha\epsilon$

Olarak kabul edilmektedir. Bu YDS, Wöhler eğrisinde 10^6 ile 10^8 çevrime karşı gelen gerilme genliğini vermektedir [44].

Genellikle malzemenin statik çekme dayanımı arttıkça, malzemenin yorulma dayanım sınırı da yükselir. Çekme dayanımını arttırmadan sadece yorulma dayanımını arttıran alaşım elementi yoktur. Sünek malzemelere uygulanan son mekanik işlemlerinde yorulma dayanımına etkisi vardır. Soğuk işlem ile sertliği ve yüzey düzgünlüğü artırılan malzemenin yorulma dayanımı, sıcak işlem görmüş aynı malzemeye göre daha yüksektir [39].

4.6. Yorulma Deneyi Türleri

Yorulma deneyi sırasında deney parçasına uygulanan gerilme türü,yorulma deneyine de adını vermektedir. Başlıca yorulma deneyi türleri; eksensel gerilmeli, eğme gerilmeli,burma gerilmeli ve bileşik gerilmeli olmak üzere dört çeşittir.

Eksenel Gerilmeli yorulma deneyinde, numuneye uzunluğu boyunca değişen çekme ve basma gerilmeleri uygulanır. Uygulanan gerilme numune enince de üniform olarak dağılır. Eksensel gerilmelerin söz konusu olduğu bir örnek, içten yanmalı motorların biyel kollarıdır. Ancak burada eksensel gerilme yanında eğme kuvvetleri de etkilidir.

Eğme gerilmeli yorulma deneyi kendi arasında ikiye ayrılır;

a) Düzlemsel eğme gerilmeli yorulma deneyi

b) Dönen eğme gerilmeli yorulma deneyi

Birinci deney türünde, numune tarafsız bir düzleme (veya eksene) göre tekrarlanan eğme gerilmeleri altındadır. Taşıtların yaprak (makas) yayları buna güzel bir örnektir [40].

İkinci deney türünde numune devamlı dönen bir tarafsız eksene göre tekrarlanan eğme gerilmeleri altındadır. Hareket halindeki taşıtların akslarında, her türlü millerde sıkça rastlanılır.

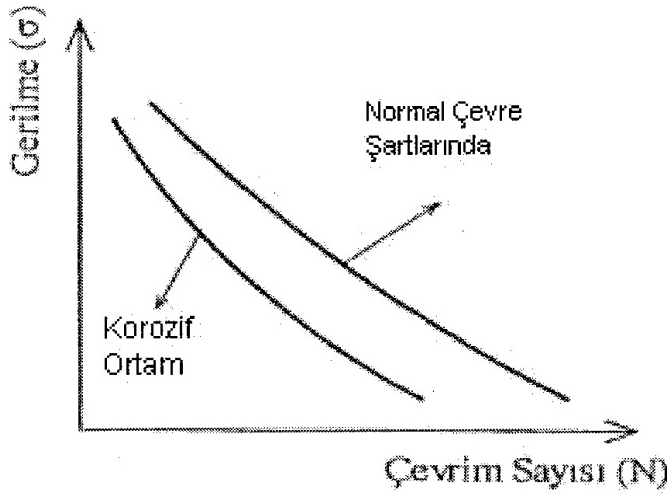
Burma gerilmeli yorulma deneyinde, deney numunesine sabit bir eksene göre tekrarlanan burma (dönme) zorlaması uygulanmaktadır. Araçların süspansiyon yaylarında ve çekme-basma kuvvetlerinin uygulandığı tüm helisel yaylarda bu tür burma gerilmeleri oluşur.

Bileşik gerilmeli yorulma deneyinde, yukarıda sayılan farklı gerilme türlerinden ikisinin veya daha fazlasının bir arada bulunabileceği durumlarda bileşik gerilmeler söz konusu olur. Uygulamada en çok rastlanan bileşik gerilme durumu eğme ve burma gerilmelerinin bir arada bulunduğu durum ile aksel ve burma gerilmelerinin bir arada bulunduğu durumdur. Motorların krank mili başlıklarındaki gerilme, eğme ve burma gerilmelerinin bir arada bulunduğu gerilme türüne en güzel örnektir [37].

4.7. Korozyonun Yorulma Ömrüne Etkisi

Yorulma yükleri korozyon çevre şartlarında uygulandığında, zararlı etkiler yorulma ve korozyonun ayrı ayrı uygulanmasından daha fazladır. Bu durumda uygun bir yüzey koruması öngörülmemiş ise yorulma dayanımında önemli azalma gözlenir, gerilmesiz ön korozyonda oluşan hasarın şiddeti ön korozyonun süresine ve korozyon ortamına bağlıdır [35]. Yorulma çatlak başlangıç aşaması süresine korozyon yorulmasının temel mekanizması, metal yüzeyini korozyon çevrenin bozması ve parça yüzeyinde oksit film tabakasının oluşturulmasıdır. Genellikle bu oksit tabakası bir koruyucu tabaka gibi davranarak metalin daha fazla korozyon olmasını önlemektedir. Fakat çevrimsel yükler bu tabakada bölgesel çatlaklar oluşturmakta ve metalin tekrar çevre ile temasını sağlamaktadır. Aynı zamanda korozyon yüzey

düzgünlüğünü bozduğundan gerilme konsantrasyonlarına sebep olmaktadır. Şekil 4.1. "de korozif çevre koşullarının gerilme-ömür grafiğine etkisi görülmektedir.



Şekil 4.1. Korozif edici çevrenin σ -N diyagramına etkisi

Korozif ortamda yorulma dayanımı yük frekansına önemli derece bağlıdır. Yorulma dayanımı çevrim frekansının azalması ile düşmektedir. Bu etki özellikle 10 Hz "den daha düşük çevrimlerde önem kazanmaktadır [41]. Çevrimsel yüklere maruz mühendislik parçaları servis süresince korozif çevrede çalıştıklarında malzeme yüzeyinde çatlak oluşumunu kolaylaştıran merkezler vardır. Bu merkezler:

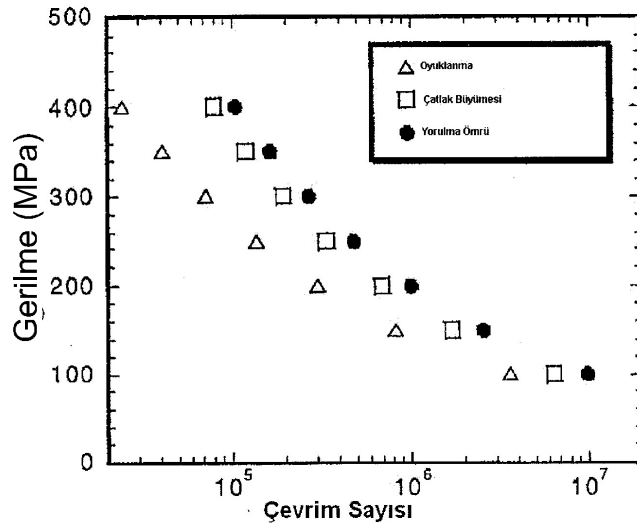
- Yüzeyde oluşan kayma basamakları veya çıkıntılar
- Koruyucu oksit tabakasının kırıldığı yerler
- Yüzeye yakın kalıntılar [23].

4.8. Alüminyum Alaşımlarının Yorulma Özellikleri

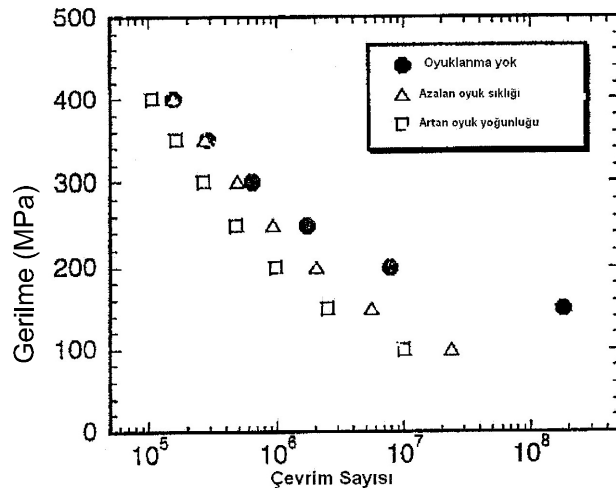
Alüminyum alaşımların düşük yorulma dayanımı, tüm metallerde etkin olan faktörlere ilaveten, bu alaşımlarda, tane sınırlarının yakınında bulunan, nispeten düşük sertlikteki çökeltisiz bölgeler ve yarı kararlı çökelti partiküllerinden kaynaklanmaktadır. Bu partiküllerde gerilme yoğunlaşması olmakla ve aşırı

yaşlandırma ya da çözünme gibi nedenlerle, kayma bantları üzerinde partiküllerin yok olması, bu bölgelerde gerilme yoğunlaşmasını daha da arttırmaktadır. Bu da kırılma sürecini hızlandırıcı bir faktör olmaktadır. Sözü edilen sorunu önlemek için, kaymanın, diğer bileşenlerce yapı içinde homojen olarak dağıtılması önerilmiş ve bu öneri ışığında, metaller arası bileşik ya da empürite içeren ticari alüminyum alaşımlarının yorulma dayanımının, yüksek saflıktaki alaşımlardan daha yüksek olacağı ileri sürülmüştür [42].

Yorulma koşulları altında, yüzeyi giydirilmiş sacların yorulma dayanımı, giydirilmemiş duruma göre önemli ölçüde azalmaktadır. Örneğin. 2014 Alclad alaşımının, atmosfer koşullarında yapılan düzlemsel eğme yorulma dayanımı, giydirilmemiş haline göre % 50 daha düşüktür. Bu olumsuz etki, yorulma çatlağının, yüzeydeki yumuşak giydirilmiş tabakada kolaylıkla başlamasından kaynaklanmaktadır. Eksensel yorulma koşullarında, ya da bir sistemin alt elemanı olarak çalışan malzemelerde, giydirilmiş tabakanın olumsuz etkisi daha azdır [50]. Bazı alaşım sistemlerinde yapıya küçük miktarda (%0,5) gümüş ilavesi, yaşlandırma sonrası, yapı içerisinde çok ince çökelti partikülleri oluşturarak alaşımın çekme dayanımını arttırmakta, ancak bu sırada yorulma dayanımı azalmaktadır. Bu alaşımın aynı sıcaklıkta yaşlandırma süresinin arttırılması ise, yapıda daha büyük ikinci faz partikülleri oluşturmakta ve çekme dayanımı bir miktar azalmaktadır. Ancak, kaba boyutlu bu ikinci faz partikülleri, kaymayı yapı içerisine dağıtıcı bir rol üstlenerek yorulma dayanımını arttırmaktadır. Dolayısıyla, bu durum, ince ve nispeten kaba yapılı iki tip partikül içeren bir yapının, hem çekme hem de yorulma dayanımının yüksek olacağını göstermektedir [42]. Korozyon, alüminyum alaşımlarının yorulmaya karşı gösterdiği dayanımı azaltır. Çökelmeye tabi tutulmuş alüminyum alaşımlarda yorulmalarda meydana gelebilecek çatlak başlangıçlarına ve bu çatlakların büyümesine sebep olabilecek oyuklarına korozyonu, yorulma ömürlerini aşağı çekmektedir (Şekil-4.2.). Alüminyum alaşımlarında yorulma ömrünün aşağı çekilmesinde artan korozyon süresi ile oyuk büyüklüğü ve yoğunluğu ana parametredir (Şekil-4.3.) [43,44].



Şekil 4.2. 2024-T3 Alüminyum alaşımına ait oyuklaşma ve çatlak büyümesinin yorulma dayanımına olan etkisi



Şekil 4.3. 2024-T3 Alüminyum alaşımında oyuk yoğunluğunun yorulma ömrüne etkisi

BÖLÜM 5. DENEYSEL ÇALIŞMA

5.1. Malzeme

Deneysel çalışmada kullanılan 7075-T6 alüminyum alaşımı 12 mm çapında ekstrüzyon edilmiş olarak temin edilmiştir. Kullanılan alaşımının kıymasal içeriği tablo 5.1’de verilmiştir.

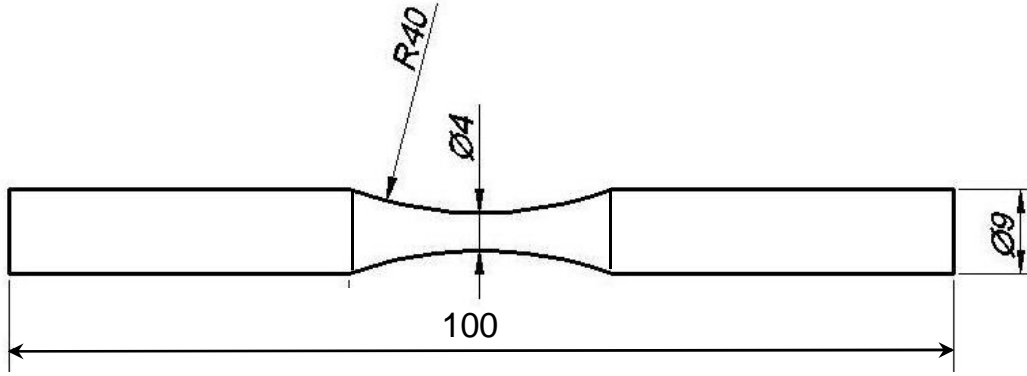
Tablo 5.1. Kullanılan deney malzemesinin kimyasal bileşimi

Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Cr
0.48	0.43	1.98	0.14	2.63	5.51	0.001	0.18

Kullanılan malzemenin çekme özelliklerinin belirlemek üzere hassas şekilde çekme numuneleri standartlara uygun bir biçimde hazırlanmıştır. Çekme deneyi AKMETAL metalürji endüstrisi a.ş ‘ de laboratuvarındaki cihazda yapılmıştır.

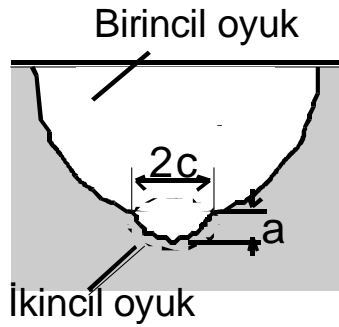
5.2. Talaşlı İmalat ve Yapay Oyuk Oluşturulması

12 mm çapında temin elden çubuk profil 7075-T6 alüminyum alaşımı bilgisayar kontrollü tezgâhta talaşlı imalat ile hassas bir şekilde 50 adet işlenip Şekil 5.1 deki boyutlarına işlenmiştir. Yorulma deneyi numunesi ASTM E 466-82 standardına göre işlenmiştir. Daha sonra, yorulma deney numuneleri sırasıyla 800,1000 ve 1200 numara su zımpara ile tornada sabit devirde bütün parçalarda aynı yüzey kalitesini verecek şekilde zımparalanmıştır.Tornada işlenen numune geometrisi şekil 5.1 ‘de gösterilmektedir.



Şekil 5.1. Yorulma deneylerde kullanılan numune ve ölçüleri

Talaşlı imalat sonrası parça yapay oyuk oluşturulması için dalma erozyon cihazı kullanılmıştır. Oluşturulan birincil ve ikincil oyuk geometrisi şekil 5.2’de gösterilmiştir. Parçada 3 ayrı ana oyuk 3 grupta ikincil oyuk oluşturulmuştur. Oyuk çap ve derinlikleri tablo 5.3 ve tablo 5.4’de gösterilmektedir



Şekil 5.2. Birincil ve ikincil oyuk geometrisi

Tablo 5.2. Birincil oyuklara ait ebat ve numune grupları

GRUP KODU	A GRUBU	B GRUBU	C GRUBU
ÇAP	500 μ	500 μ	500 μ
DERİNLİK	500 μ	250 μ	125 μ

Tablo 5.3. İkincil oyuklara ait ebat ve numune grubu

GRUP KODU	1 GRUBU
ÇAP	100 μ
DERİNLİK	100 μ

5.3. Metalografik İncelemeler

5.3.1. Optik mikroskop incelemeleri

Yorulma deney numuneleri yüzey ve yüzeye yakın kısımlarına ait içyapı incelemeleri olympus marka optik mikroskopta yapılmıştır.

5.3.2. Taramalı elektron mikroskop (sem) incelemeleri

Sakarya Üniversitesi metalürji ve malzeme laboratuvarında bulunan elektron mikroskobu kullanılarak yapılan çalışmalarda kırık yüzeyleri üzerinde yorulma çatlak başlangıç ve ilerleme özellikleri incelenmiştir.

5.4. Yorulma Deneyleri

Yorulma deneyleri Sakarya Üniversitesi makine mühendisliği bölümü malzeme laboratuvarına ait döner eğme şartlarında frekansı 95 hz (5700 dev/dk) olan şekil 5.3 deki gösterilen HI-TECH marka deney makinesinde yapılmıştır. Bazı gerilme değerleri için yorulma deneyleri tekrarlanmıştır.



Şekil 5.3. Yorulma deney cihazı

7075-T6 alüminyum alaşımından işlenmiş oyuksuz parçalar beş gerilme seviyesinde, farklı oyuk büyüklüklerindeki numuneler ise üç gerilme seviyesinde yorulma deneyleri gerçekleştirilmiş ve Wöhler eğrileri elde edilmiştir.

5.5. Gerilme Hesabı ve Deney Parçasının Bağlanması

Yorulma deneyleri sırasında en küçük çapı 4 mm deney parçasına uzaklığı (moment kolu)125,7 mm olan yükleme noktasından ağırlık asılarak yorulma deney numuneleri eğmeye zorlanmaktadır. Numune deney düzeneğine kompretör yardımıyla eksantriklik miktarı maksimum 0,01'yi geçmeyecek şekilde hassas bir şekilde bağlanmıştır. Kırılma sonucu çevrim sayısını gösteren mekanik sayaçtan belirlenmiştir. Bağlanan parçanın düzenekteki durumu şekil-5.4 gösterilmektedir.



Şekil 5.4. Deney parçasının bağlanması ve çevrim sayacı

Yorulma deneyi başlangıcında öncelikle numunenin kritik kesiti kumpas ile hassas bir şekilde ölçülmüş, daha sonra uygulanacak gerilme değerine göre asılacak olan ağırlık miktarı hesaplanmıştır. Gerilme hesaplarında aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$\sigma = \frac{F + 1.1}{d^3} \times 1463.7 \dots\dots\dots(5.1)$$

Karşı ağırlıkların deney düzeneğine bağlanması Şekil 5.5'te gösterilmektedir.



Şekil 5.5. Karşı ağırlıkların yorulma deney düzeneğine bağlanması

BÖLÜM 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Deneysel çalışmaya konu olan 7075-T6 alüminyum alaşımından ASTM standartlarına göre işlenen yorulma numuneler yüzeylerinde dalma erozyon yöntemiyle açılan yapay oyukların çap ve derinlikleri Tablo 6.1 de gösterilmiştir.

Tablo 6.1. Kullanılan numunelerin oyuk çap ve ebatları

MALZEME GRUP KODU	A GRUBU	B GRUBU	C GRUBU	C İKİNCİL OYUKU GRUP
BİRİNCİL OYUK ÇAP	500 μm	500 μm	500 μm	500 μm
BİRİNCİLOYUKDERİNLİĞİ	500 μm	250 μm	125 μm	125 μm
İKİNCİL OYUK ÇAPI	-	-	-	100 μm
İKİNCİL OYUK DERİNLİĞİ	-	-	-	100 μm

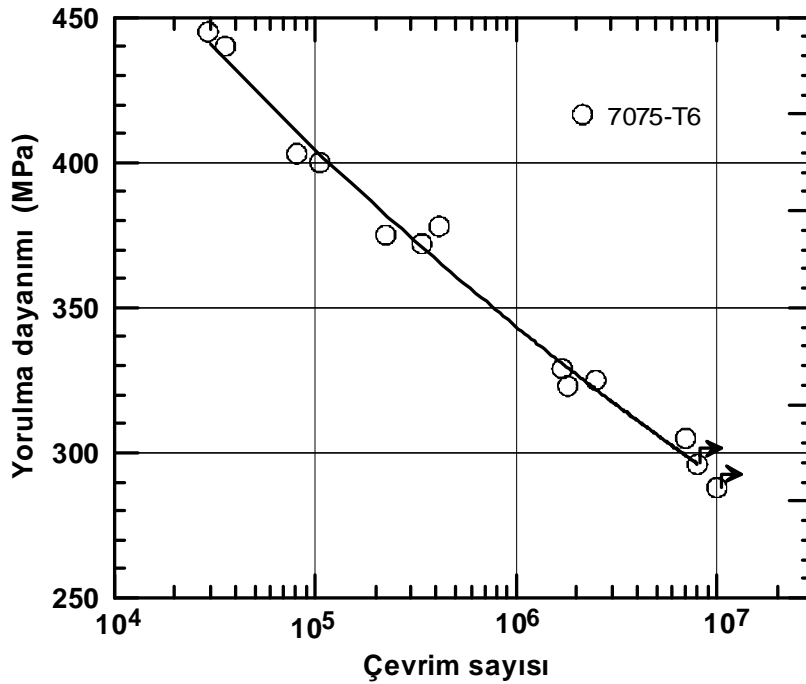
6.1. Yorulma Deneyi Sonuçları

Dalma erozyon tezgahında özel olarak imal edilen bakır elektrot ile açılan ve ölçülen gerçek oyuk derinliği ve oyuk çapları aşağıdaki tablo 6.2’de belirtilmiştir.

Tablo 6.2. Tezgahta oyuk açılan numunelerin ölçülen oyuk çap ve ebatları

MALZEME GRUP KODU	A GRUBU	B GRUBU	C GRUBU	C İKİNCİL OYUKLU GRUP
OYUK ÇAPI (2c)	440 μm	208 μm	454 μm	736 μm
OYUKDERİNLİĞİ (a)	480 μm	400 μm	55 μm	228 μm

Yorulma deneylerinden 7075-T6 alüminyum alaşımının 10^4 - 12×10^6 çevrim sayısı aralığında malzeme yorulma sınırına sahip olmadığı ve 10^7 çevrim sayısı için yorulma dayanımının 295 MPA olarak belirlenmiştir. Söz konusu malzemenin yorulma deneyleri sonucu oluşturulan WÖHLER eğrisi şekil 6.1 de görülmektedir.

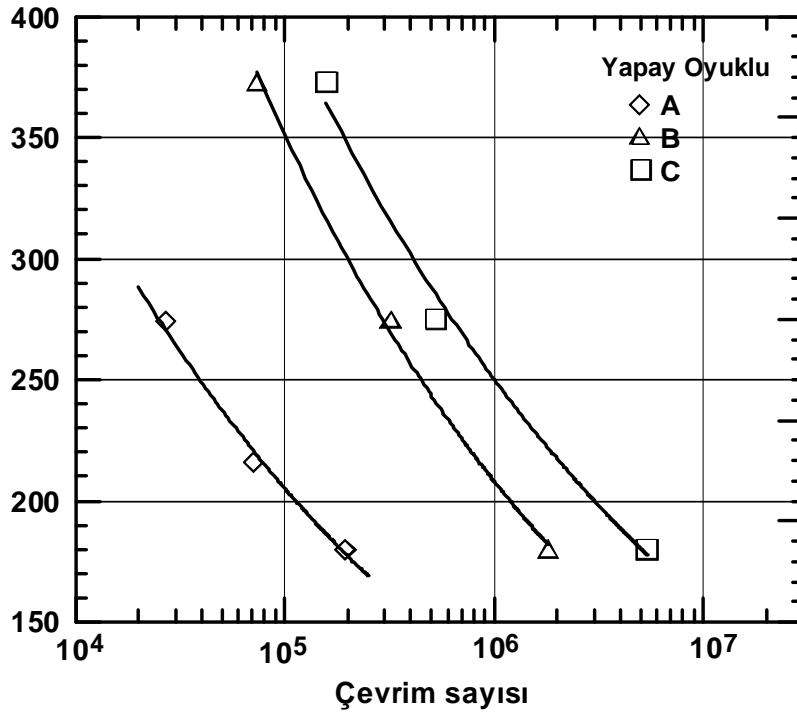


Şekil 6.1. Ana malzeme wöhler eğrisi

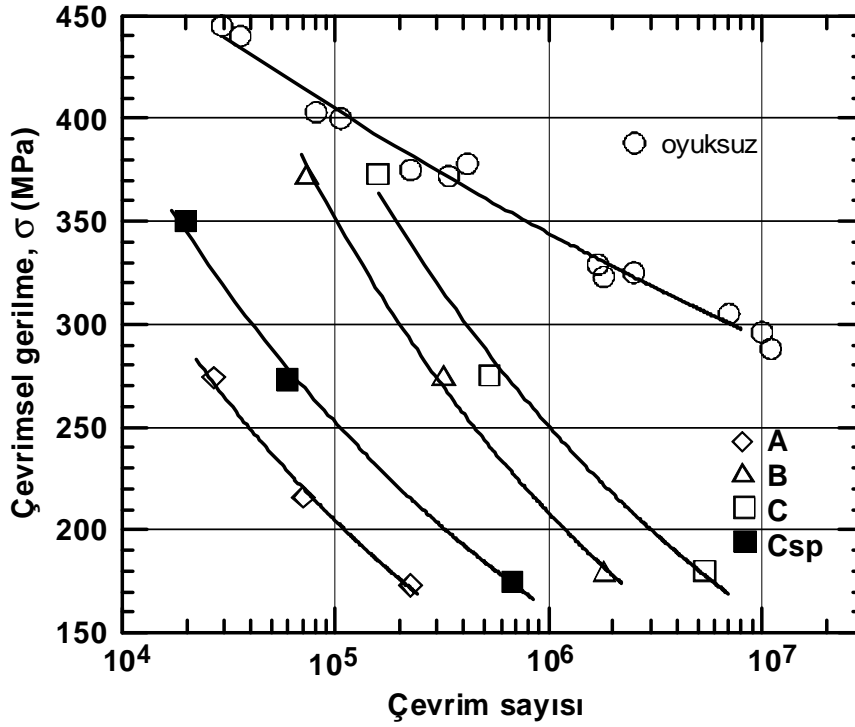
Dalma erozyon tezgahında yapay olarak oluşturulan belirli çap ve ebatlardaki birincil oyukların (Bkz.tablo 6.1.) etkisi belirli gerilme ve yük değerleri ile numuneler yorulmaya zorlanarak elde edilen çevrim sayılarıyla oluşturulan wöhler eğrisinden yararlanarak belirlenmiştir. Şekil 6.2’de birincil oyuk kademesinde sırasıyla “A” grubu “B” grubu ve “C” grubu numunelerin yorulma dayanım eğrileri gösterilmiştir. Yorulma eğrileri incelendiği takdirde A grubu numunenin yorulma dayanımının en kötü C grubu numunenin yorulma dayanımının en iyi olduğu “B” grubunun ise yorulma ömrünün tam orta bölgesinde olduğu görülür. Eğer 250 MPA gerilme değeri baz alınıp yorulma eğrileri incelenirse “A” grubu parçalar için çevrim sayısının 30500, “B” grubu parçalarda 112500, “C” grubunda ise 18×10^5 çevrim sayısına karşılık gelmektedir. Yani bu verilerden yola çıkarak yapay olarak

oluşturulan oyukların derinliği arttığı taktirde düşük çevrimsel gerilmeler de dahi yorulma ömrünü önemli oranda azalttığı görülmüştür.

Sankaran [44] ortalama oyuk derinliği ve oluşan ilk çatlak boyutunun yorulma ömrü üzerindeki azaltıcı etkisini sayısal olarak göstermiştir. DuQuesnay [45] ise 7075-T6511 alüminyum alaşım plaka üzerinde yaptığı deneylerden oyuk derinliğinin yorulma ömrünü belirlemede ana değişkeni oluşturduğunun ifade etmiştir. Bu tez kapsamında aynı çaplı, farklı derinliklerdeki oyukların yorulmaya olan etkileri daha önce literatürde rapor edilen sonuçlarla paralellik göstermektedir.



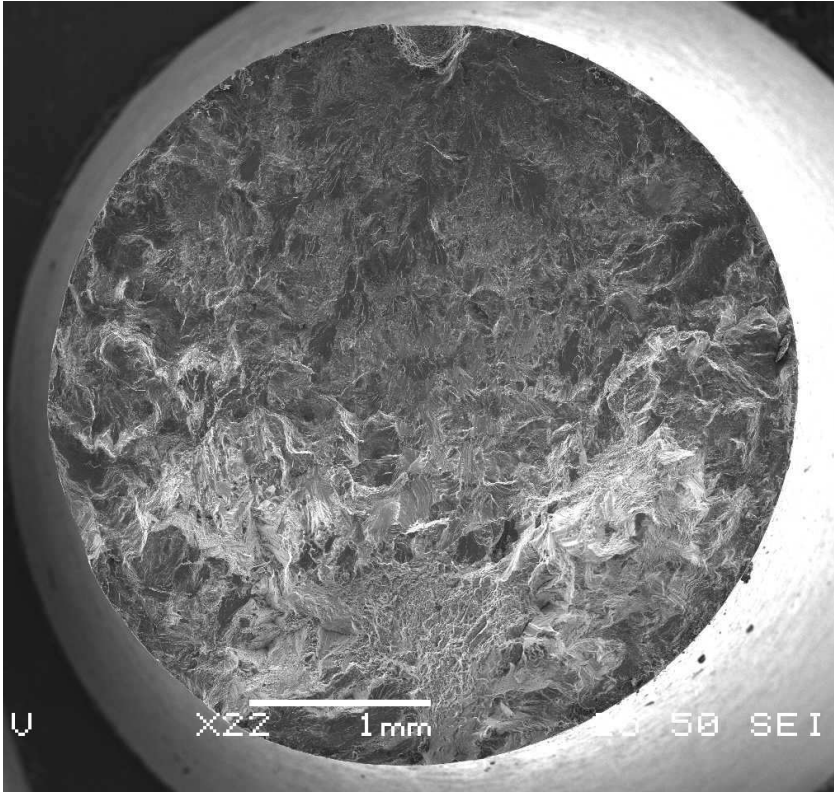
Şekil 6.2. Birincil yapay oyuklu malzemelerin wöhler eğrileri



Şekil 6.3. 7075-T6 Alüminyum alaşımına ait yapay oyuklu ve oyuksuz parçaların yorulma eğrileri

Şekil 6.3. 'de 7075-T6 alüminyum alaşımına ait oyuklu ve oyuksuz parçaların yorulma verileri toplu olarak verilmiştir. Yorulma eğrilerinden, parça yüzeyine açılan yapay oyukların artan derinlikle yorulma dayanımına önemli oranda azalttığı görülmektedir (Bkz 6.2. A,B ve C eğrileri). 200×10^3 çevrim sayısı referans alındığında, oyuksuz parçaların yorulma dayanımına göre % 53 oranında azalma oluşmuştur. Kırık yüzeyinde yapılan çalışmalar tüm çatlakların açılan yapay oyuklarından başladığı anlaşılmıştır. Yüzeyinde çok sayıda, düzgün olmayan ve keskin çentikler içeren gerçek korozyon oyuklarına sahip parçalarla yapılan deneylerde yorulma dayanımında azalmanın %65'lere ulaşmış olduğu araştırmacılar tarafından vurgulanmıştır [51,43], dolayısıyla elde edilen bu sonuçlar gerçek oyukların davranışını önemli oranda yansıtmaktadır. En sığ derinliğe sahip (C gurubu) parçaların tabanında ikinci ama küçük bir oyuğun bulunması durumunda, diyagramda C_{sp} eğrisi, yorulma dayanımı /ömründe beklenmedik şekilde azalmanın varlığı dikkat çekmektedir. Bu davranış doğal oyuklanmış parçalarda yorulma çatlaklarının neden taban kısmından başladığı sorusuna açıklık getirmektedir. Ayrıca, literatürde sonlu elemanlar tabanlı oyuklu parçalar üzerine yapılan bir çalışmada [49], gerilme çentik katsayısının çift oyuklu parçaların ikinci oyuk içinde en büyük değeri almış olması da bu tezde elde edilen sonucu destekler niteliktedir. Farklı

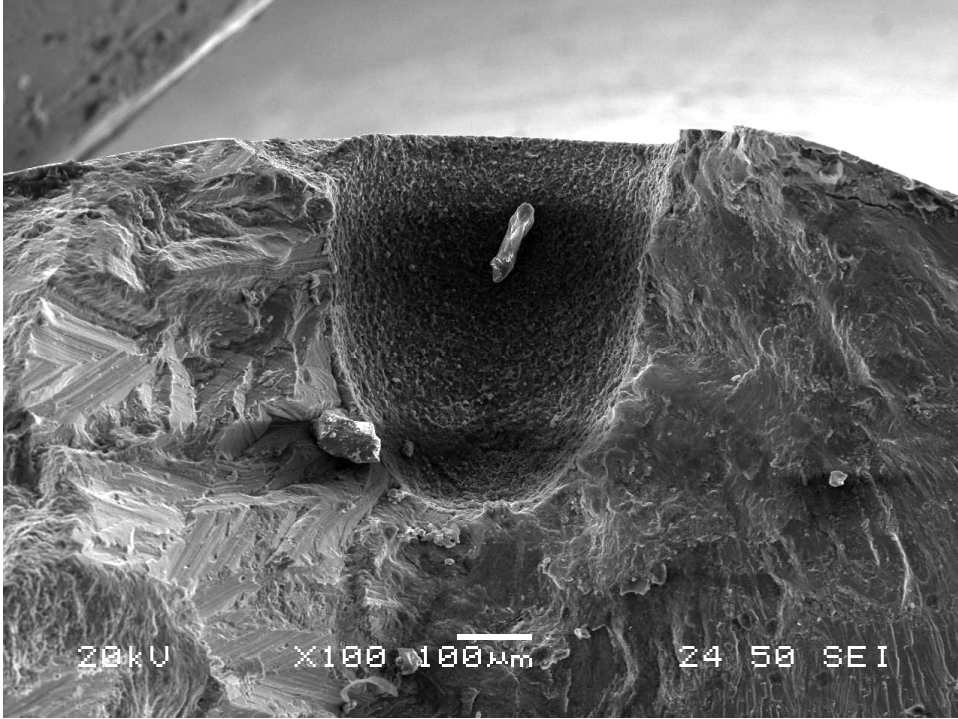
çentik katsayısı değerlerine sahip parçalar üzerinde çalışmalar yürütmüş olan J. Liu ark. da alüminyum alaşımında artan çentik katsayısıyla yorulma dayanımının azaldığını deneysel olarak göstermiştir. Bu bilgiler ışığı altında parça, oyuk ve zorlanmaya bağlı olarak belirlenen çentik katsayısının (Kt) artmasıyla, yorulma çentik katsayısının da (Kf) artacağı doğal bir sonuçtur [dieter].



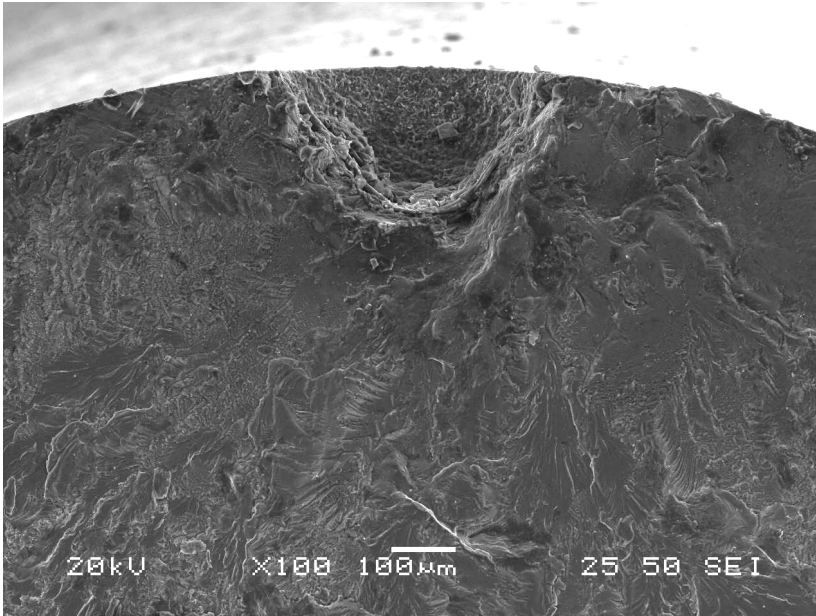
Şekil 6.4. Hasarın meydana geldiği başladığı kırık yüzeyi

Hasar, yukarıdaki kırık yüzeyinde (şekil 6.4) görülen yapay oyuktan başlayan çatlak kesit içerisine doğru ilerleyerek geride ani ve zorunlu kırılma bölgesi bırakarak parçanın tamamen ayrılmasıyla oluşmaktadır. Bu davranış bütün parçaların gösterdiği ortak bir hasar mekanizmasını oluşturmaktadır. Oyuklu parçalarda çatlak her zaman için oyuk çeperlerinden başlaması nedeniyle Wöhler eğrisinde önemli bir dağılım göstermemiş ve az sayıdaki deney verisinin davranışı yansıttığı anlaşılmaktadır.

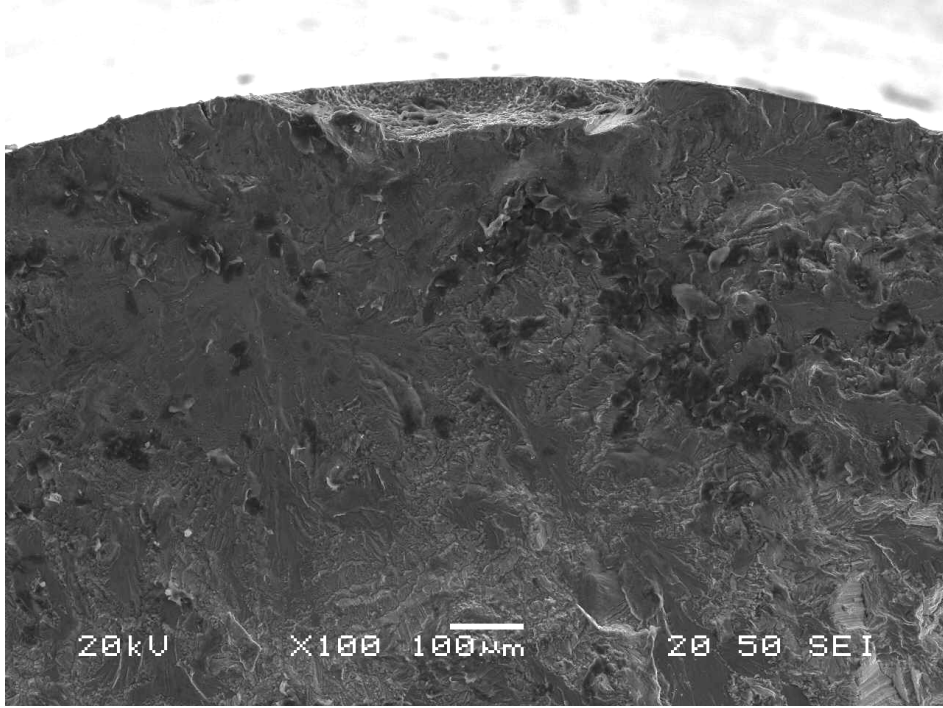
Sırasıyla yapılan deneyler sonucu oluşan kırık yüzeyi resimleri sırasıyla A oyuk derinliği en fazla olan B oyuk derinliği yarı yarıya azalan C oyuk derinliği dörtte bir azalan ve C_{sp} oyuk dibinde ikincil bir oyuk bulunan numune aşağıdaki gibidir.



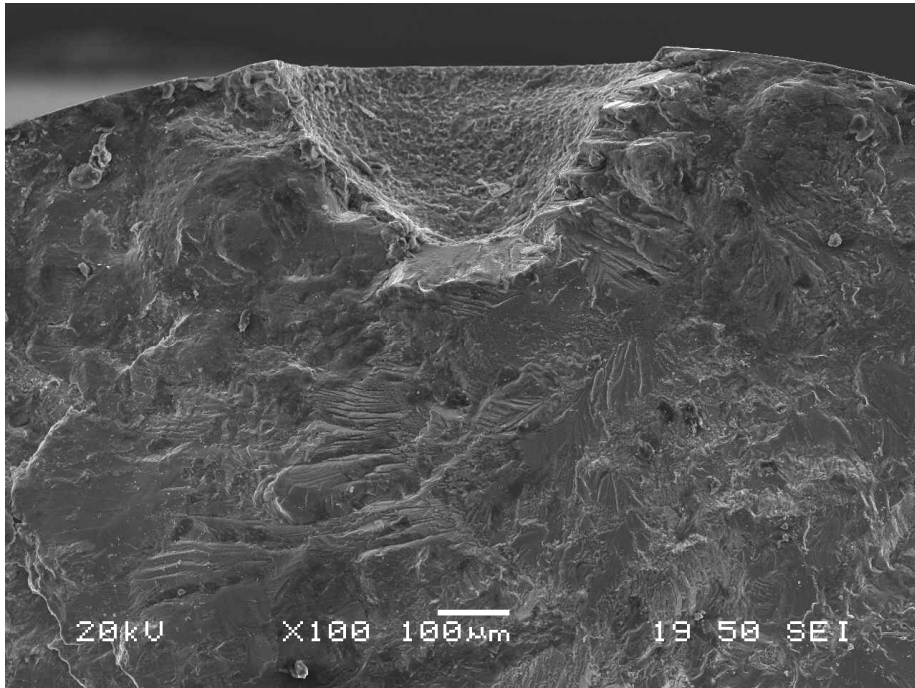
Şekil 6.5. A Grubu deney parçası kesit görünümü



Şekil 6.6. B Grubu deney parçası kesit görünümü

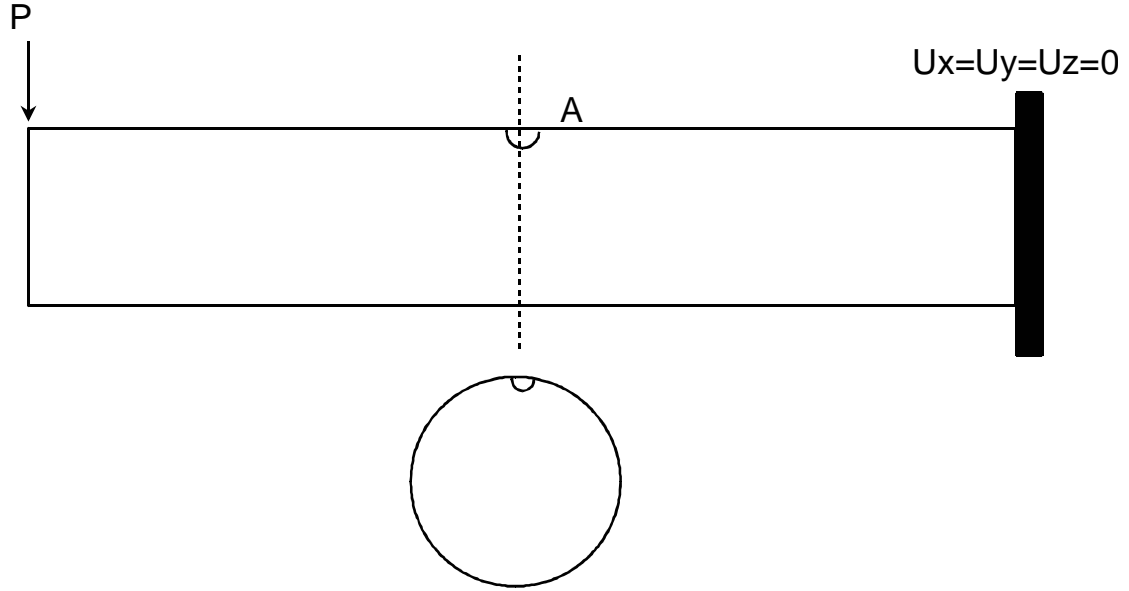


Şekil 6.7. C Grubu deney parçası kesit görünümü



Şekil 6.8. C_{sp} Grubu deney parçası kesit görünümü

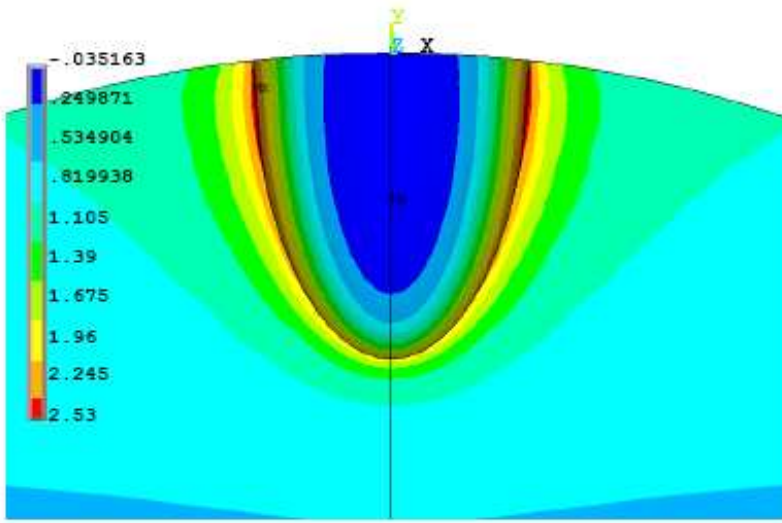
6.2. Sonlu Elemanlar Modellemesi



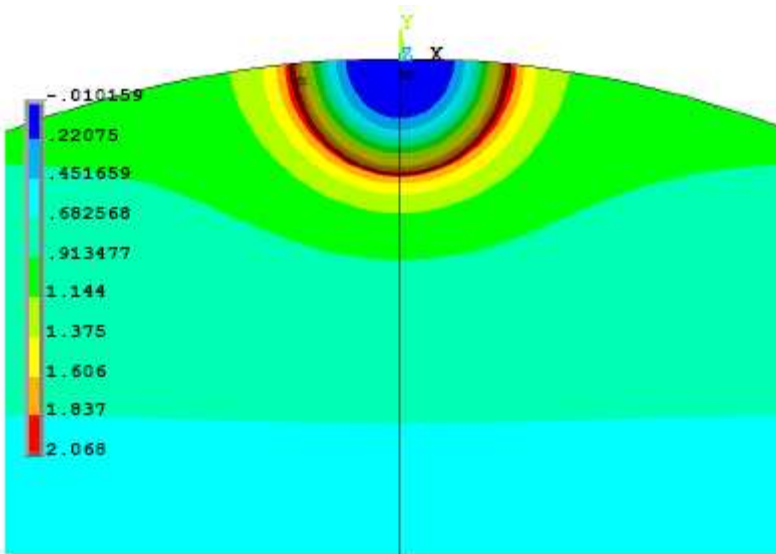
Şekil 6.9. Sonlu elemanlar yöntemiyle numune gösterimi

Sonlu elemanlar analizlerinde parçanın bir ucundan uygulanan yükün değeri düz parça yüzeyinde şiddeti “1”MPa ‘a eşit olacak şekilde seçilmiştir. Böylece oyukta okunan gerilme değeri doğrudan doğruya çentik katsayısını vermektedir. Parçanın sabitlenen diğer ucunda ise sınır şartları yukarıdaki gibi, tüm doğrultulardaki yer değiştirmeler sıfır olacak şekildedir. Oyuk civarındaki sonlu elemanlar ağı hassas çözüm için diğer bölgelere göre inceltilmiştir.

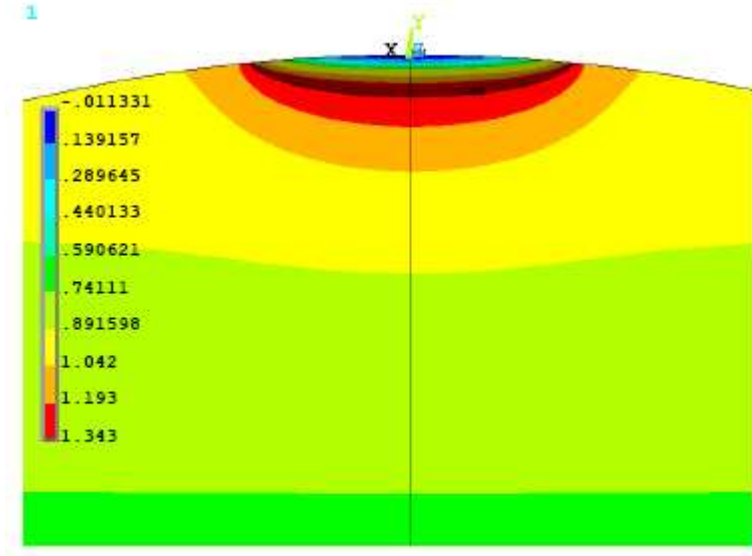
Sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan analiz sonuçlarında her bir oyukun ne denli yorulma dayanımında etkili olduğu gerilme skalasında açıkça görülebilmektedir. Sonlu elemanlar analizinde ANSYS programı kullanılmış olup analizlerin sonucu elde edilen skala sırasıyla şekil 6.9. şekil 6.10. şekil 6.11. ve şekil 6.12. de görülebilmektedir.



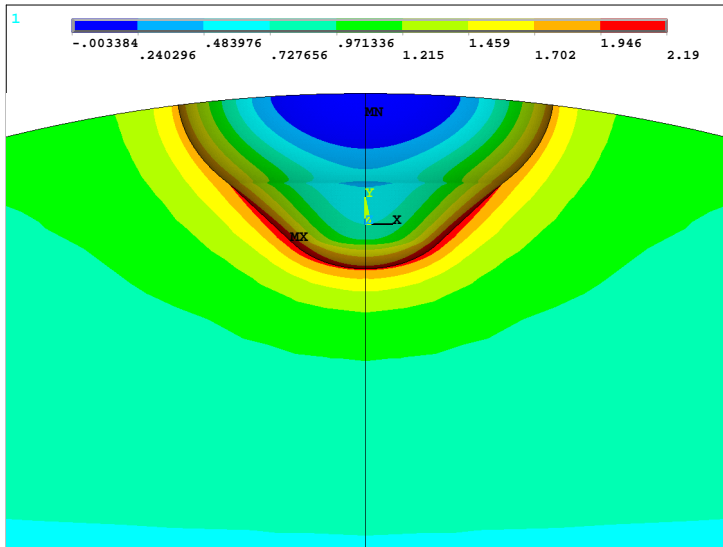
Şekil 6.10. A Grubu deney parçası ANSYS analiz görüntüsü



Şekil 6.11. B Grubu deney parçası ANSYS analiz görüntüsü



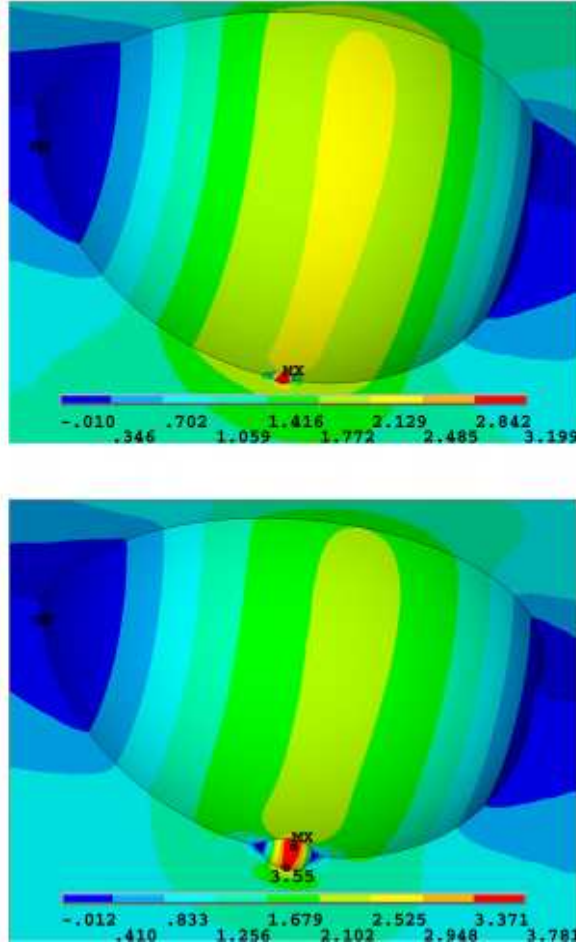
Şekil 6.12. C Grubu deney parçası ANSYS analiz görüntüsü



Şekil 6.13. C_{sp} Grubu deney parçası ANSYS analiz görüntüsü

Analiz sonuçlarında da açıkça görüldüğü gibi oyuk diplerine doğru gerilme değerlerinde yani çentik etkisindeki artış gözlenebilmektedir. A numune grubunda Kt değerinin diğer b grubu ve c grubuna göre derinlikten dolayı daha yüksektir. Tek oyuklu C numunesi grubu diğer tek oyuklu numunelere göre daha az etki etmekte

olup yorulma dayanımına ancak ikincil oyuğun bulunması durumunda (C_{sp}) daha da azaltmıştır. Bu daha önce sözü edildiği gibi tamamen çentik katsayısının büyüklüğü ile ilgilidir. Analiz sonucu elde edilen K_t değerleri tablo 6.2’de toplu olarak verilmiştir.



Şekil 6.14. Literatürde tek ve çift oyuklu parçada yapılan ansys analiz sonuçları[35]

Literatürde de sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan çalışmalarda da açıkça görülmüştür ki oluşan ikincil oyukların çentik etkileri, ikincil oyuksuz tek oyuklara göre çok daha yüksektir [35].

Tablo 6.3. Yapay oyuk ebatları ve sonlu eleman analiz sonuçları

NUMUNE	A	B	C	C _{sp}
ADI	GRUBU	GRUBU	GRUBU	GRUBU
a , derinlik (μm)	480	400	55	228
2c, ağız çapı (μm)	440	208	454	736
(a/2c)	1,09	0,52	0,12	0,309
K_t	2,53	2,068	1,343	2,19

Yorulma dayanımı hesaplamalarında, bilindiği gibi, parçadaki çentiğin yorulma çentik katsayısı kullanılmakta, bu katsayı hem malzemeye bağlı hem de geometriye bağlı olarak belirlenmektedir. Burada en önemli problem çentiğin neden olacağı gerilme yığılmasının doğru bir şekilde saptanmasıdır. ANSYS analizler sonuçlarından hareketle belirlenecek K_t değeri, aşağıda verilen 6.2 eşitliği kullanılarak, parçanın K_f değeri hesaplanabilir [11]. Bu eşitlikteki “q” malzemenin çentik hassasiyeti olup malzemeye özgü bir büyüklüktür.

$$K_f = q(kt - 1) + 1 \dots(6.2.)$$

6.2. eşitliğinde K_t nin artması yorulma çentik katsayısının da artması anlamına gelmektedir. Tablo 6.2’de verilen K_t değerleri ve Şekil 6.3’ deki yorulma eğrileri dikkate alındığında sonuçların kendi içerisinde uyumlu olduğu sonucuna varılmaktadır.

6.3. Öneriler

Yapılan çalışmalar neticesinde , birincil oyukların derinliğinin artışına bağlı olarak olarak yorulma dayanımının azaldığı, ikincil oyuğun, birincil oyuğa göre yorulma dayanımında daha büyük düşüslere yol açtığı deneysel olarak belirlenmiştir. İleride yapılacak çalışmalar açısından; çeşitli derinliklerde ve çapta oluşturulan birincil oyuklar yanında birincil oyukların tabanına açılmış çeşitli derinlik ve çaplarda ikincil oyukların oyuk çap ve derinlik oranına bağlı olarak yorulma dayanımını hangi oranda etkilediği daha iyi belirlenebilir. Ayrıca çok sayıda oyuğun etkileşimi deneysel olarak incelenerek bunların olasılık hesapları da ilave edilerek gerçekteki malzeme davranışı tahmin edilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] KIZILBEY, M., 7075 Alüminyum Alaşımı ve Hata Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2000
- [2] VAN HORN, KENT R., Aluminum, American Society For Metals, Vol.II, 1968
- [3] YÜKSEL, E.E, 7075 Alüminyum Alaşımında Basamaklı Yaşlandırma ile Özellikleri Kontrol İmkanları, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ FBE, 1991
- [4] POURBAIX, M., Atlas D'Equibres Electrochimiques a 25 'C, Gauthier-Villars and C Editeur, 1963; France
- [5] FREEMAN, A.J., Cooling Water Treatment In Process Industries, Corrosion, 1986
- [6] URAL. K., 7075 Alüminyum Alaşımını Retregrasyon İşleminde Optimum Şartların Araştırılması, Doktora Tezi, Yıldız Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [7] MONDOLFO, L.F., Aluminium Alloys Structure and Properties, Butterworth and Co. (Publishers) Ltd., England, 1976; 693-724
- [8] VAN HORN, KENT R., Aluminum, American Society For Metals, Vol.I, 1968
- [9] ÜÇİŞİK, A.H., Alüminyum Alaşımları, İ.T.Ü Maden Fakültesi Fiziksel Metalurji Kürsüsü, 1978; 1-44
- [10] TEKİN, E., Demir Dışı Metaller ve Uygulamalı Optik Metalografisi, Yayın No:101, Ankara, 1982; 125-193
- [11] FLINN, R.A., TROJEN, P.K., Engineering Metarials and Their Application, Houghton Mifflin Comp., Boston, 1975; 141-149
- [12] <http://aluminium.matter.org.uk> , Ocak 2009
- [13] ASM Handbook, Heat Treating, Vol. 4, ASM International, Materials Park, Ohio, 1990

- [14] COŞGUNER. A.O., 5000 Serisi Alüminyum Magnezyum Alaşımlarının Döküm ve Termomekaniksel Prosesleri, Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, 2001
- [15] COŞKUN. K., Hadde Alüminyum Alaşımların Uçaklarda Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2002
- [16] ROBERTS, S.G., High Performance Alloys, University of Oxford Department of Materials Lecture Notes, Oxford, 2001
- [17] SWANSON, R.E., BERNSTEIN, I.M., THOMPSON, A.W., Stres Corrosion Cracking of 7075 Al in The T6-RR Temper, Scripta Metallurgica, Vol. 16, 1982; 321-324
- [18] DENNY, A.J., Principles and Prevention of Corrosion, Second Edition, Department of Chemical and Metallurgical Engineering University of Nevada, Reno, 1996
- [19] TSAI, W.T., DUH, J.B., YEH, J.J., LEE, J.T., CHANG, Y.C., "Effect of Ph on Stress Corrosion Cracking of 7075-T7451 Aluminum Alloy in 3,5 wt% NaCl Solution, Corrosion, Vol.46, No.6, 1990; 444-449
- [20] NGUYEN, D., RAJAN, K., WALLACE, W., Discussion of "Effect of Retrogression and Reaging Treatment on The Microstructure of Al-7075-T651, Metallurgical Transactions A, Vol.16A, 1985, 2068
- [21] RYUM, N., Further Investigation On the Precipitation Kinetics In An Al-Zn-Mg-Alloy, Z.Metal İkde, Vol.66, 1966; 344-346
- [22] www.aluminyumsanayi.com (Timur Ulucak- Web Sitesi) , Nisan 2009
- [23] SURESH, S., Fatigue of Metarials, Cambridge University Press, New York, USA, 1991
- [24] DORUK, M., Korozyonun Temel İlkeleri Üzerine, V.Korozyon Sempozyumu, Adana, 1996; 1-31
- [25] ÜNERİ, S., Korozyon Mühendisliği, Segem, Ankara, 1981
- [26] ERBİL, M., Korozyon-I , Segem, Ankara, 1984
- [27] ÜNERİ, S., Metallerin Çukurcuk Korozyonu, I. Korozyon Sempozyumu, Ankara, 1988; 1-29
- [28] NACE, Corrosion Basics An Introduction. An Offical NACE Production, Houston, 1984
- [29] DAVIS, J.R., Corrosion of Aluminum and Aluminum Alloys, ASM International, Materials Park, Ohio, 1999

- [30] SMIALOWSKA, Z.S., Inhibition of Localized Corrosion, Proceedings of the 7 th European Symposium on Corrosion Inhibitors, Italy, 1990; 979-997
- [31] WRANGLLEN, G., An Introduction to Corrosion and Protection of Metals, Chapman and Hall Ltd., London, 1985
- [32] FONTANA, M.G., GREENE, N.D., Pitting Corrosion Engineering, Mc Graw-Hill Book Co., New York, 1984
- [33] LYBERATOS, G., KOBOTIATIS, L., Inhibition of Aluminum 7075 Alloy Corrosion by Concerted Action of Nitrate and Oxalate Salts. Corrosion, 47(11), 1991; 820-824
- [34] SAMUELS, B.W., SOTOUDEH, K., FOLEY, R.T., Inhibition and Acceleration of Aluminum Corrosion, Corrosion, 37(2), 1981; 92-97
- [35] CERIT, M., GENEL , K., EKSI, S., numerical investigation on stres concentration of corrosion pit efa 1233engineering failure analysis 2009
- [36] SARITAŞ, S., Mechanical Properties Of Two Low Alloy Powder Forged Steels, Doktora Tezi, Manchester, 1979
- [37] ÇİMENÖĞLU, H., KAYALI, E., Malzemelerin Yapısı ve Mekanik Davranışları, İ.T.Ü. Yayınları, İstanbul, 1991
- [38] AKDOĞAN, G., Elektrohidrolik Tahrikli Düşük Frekanslı Bir Yorulma Test Cihazının Tasarımı ve İmalatı, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, F.B.E, Ankara, 1989
- [39] ÇETİN, R., VAROL , R., Bilyalı Dövme İşlem Parametrelerinin Yorulma Ömrü Üzerine Etkisi, 4. Denizli Malzeme Sempozyumu, 1991; 427-435
- [40] KAYALI, E.S., ENSARİ, C., DİKEÇ, F., Metalik Malzemelerin Mekanik Deneyle, İ.T.Ü Yayınları, 1990
- [41] LAIRD, C., Fatigue Failures, Metals Handbook Desk Edition, (Ed:BOYER H.E., GALL T.L.), American Society for Metals, Ohio, USA, 1985
- [42] POLMEAR, I.J., Light Alloys Metallurgy of the Light Metals, Edward Arnold, Great Britain, 1989
- [43] PAO, P.S., FENG, C.R., GILL, S.J., Corrosion 56, 2000; 1022-1031
- [44] SANKARAN, K.K., PEREZ, R., JATA, K.V., Metarial Science Engineer A 297, 2001; 223-229.
- [45] DUQUESNAY , D.L., UNDERHİLL, P.R., BRİTT, H.J., Int. J. Fatigue, 25 (2003); 371-377

- [46] PAO, P.S., GILL, S.J., FENG, C.R., *Scr. Mater.* 43 (2000) 391.
- [47] DOLLERY, E.J., LEE, B., WEI, R.P., *Fatigue Fract. Eng. Mater. Struct.* 23 (2000) 555.
- [48] WANG, Q.Y., KAWAGOISHI, N., CHEN, Q., *Scr. Mater.* 49 (2003) 711.
- [49] PAO, P.S., FENG, C.R., GILL, S.J., *Corrosion* 56 (2000) 1022.
- [50] SANKARAN, K.K., PEREZ, R., JATA, K.V., *Mater. Sci. Eng.* 297 (2001) 223.
- [51] GENEL, K., *Scr. Mater.* 57 (2007) 297.
- [52] WANHILL, R.J.H., *Aircraft Corrosion and Fatigue Damage Assessment*, NLR Technical Publication TP 94401 L, National Aerospace Laboratory, Amsterdam, 1994.
- [53] DUQUESNAY, D. L., UNDERHILL, P. R., BRITT, H. J., *Fatigue crack growth from corrosion damage in 7075-T6511 aluminium alloy under aircraft loading*, *International Journal of Fatigue*, 25, 2003, 371-377
- [54] ISHIHARA, S., SAKA, S., NAN, Z.Y., GOSHIMA, T., SUNADA, S., *Prediction of corrosion fatigue lives of aluminium alloy on the basis of corrosion pit growth law*, *Fatigue , Fract Engng Mater Struct* 29 (2006) 472-480.
- [55] HARLOW, D.G., Wei, R.P., *Probability modeling and material microstructure, applied to corrosion and fatigue of aluminum and steel alloys*, *Engineering Fracture Mechanics* 76 (2009) 695-708
- [56] NASA/TM-2003-212166 *Simulation of fatigue crack initiation at corrosion pits with EPDM Notches*, March 2003
- [57] 4. VIII. Uluslararası Korozyon Sempozyumu Bildiriler Kitabı (Proceeding of the VIII th International Corrosion Symposium) Editörlüğü, Osmangazi Üniversitesi Basımevi Eskişehir, 2002
- [58] http://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi139/d139_3850.pdf , Nisan 2009
- [59] <http://www.metaldunyasi.com/tr/dergi.asp?id=170&dergi=buay> , Mayıs 2009
- [60] *Corrosion of Aluminium Alloys* Gaute Svenningsen Department of Materials Technology, 7491 Trondheim, Norway
-



ÖZGEÇMİŞ

Ahmet SOYYIĞİT, 11.03.1983 de İstanbul' da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini İstanbul'da tamamladı. 2001 yılında Habire Yahşi Süper Lisesi, Fen-Matematik Bölümünden mezun oldu. 2002 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünü 2006 yılında bitirdi. 2006 yılında Sakarya Üniversitesi, FEN Bilimleri Enstitüsü Makine Tasarım İmalat Bölümünde Yüksek Lisans eğitime başladı.2006-2007 yılları arasında ÇETİN-İŞ otomotiv yan sanayii firmasında üretim mühendisi olarak çalıştı.2007 yılında KIRAN HOLDİNG bünyesindeki Tuzla tersanecilik ve turizm A.Ş de planlama mühendisi olarak göreve başladı ve hala planlama mühendisliği görevine devam etmektedir.