

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ÇİNKO-ALÜMİNYUM ESASLI ALAŞIMLARIN YORULMA
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Mak. Müh. Murat AYDIN

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“Makina Yüksek Mühendisi”
Ünvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 10.08.1995

Tezin Savunma Tarihi : 05.09.1995

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Temel SAVAŞKAN



Jüri Üyesi : Prof. Dr. Fazlı ARSLAN



Jüri Üyesi : Doç. Dr. Ümit UZMAN



Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Temel SAVAŞKAN



Ağustos 1995

TRABZON

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, genel makina imalâtında ve kaymalı yatak yapımında kullanılmak üzere, geliştirilmekte olan çinko-alüminyum esaslı alaşımların, yorulma özelliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu nedenle, değişik kimyasal bileşimlerde, bir dizi çinko-alüminyum esaslı alaşım, kokil döküm yöntemiyle üretilerek, laboratuvarında imal edilen dönel eğmeli bir yorulma deney düzeneği yardımıyla, söz konusu alaşımların yorulma özellikleri incelenmiş ve bu alaşımların gerilme-çevrim sayısı eğrileri ilk kez bu çalışma sonucunda çıkarılmıştır.

Bu tez çalışmasında, kendisinden her türlü yardım ve fedakarlığı gördüğüm sayın hocam Prof. Dr. Temel SAVAŞKAN'a teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca, bu çalışmada emeği geçen bütün mesai arkadaşlarıma, Malzeme Bilimleri, İmal Usulleri ve Triboloji Laboratuvarı personeline ve Talış İmalât Atölyesi teknisyenlerine teşekkürlerimi sunarım.

Trabzon, Ağustos 1995

Murat AYDIN

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET	V
SUMMARY	VI
ŞEKİL LİSTESİ	VII
TABLO LİSTESİ	VIII
ÇİNKO - ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş	1
1.2. Çinko - Alüminyum Faz Diyagramı	2
1.3. Çinko - Alüminyum Alaşımlarının Mekanik Özellikleri	4
1.3.1. Çinko-Alüminyum Alaşımlarının Mekanik Davranışlarına Genel Bakış	4
1.3.2. Çinko-Alüminyum Alaşımlarının Yorulma Özellikleri	5
1.3.2.1. Yorulma İle İlgili Genel Bilgiler	5
1.3.2.2. Çinko - Alüminyum Alaşımlarının Yorulma Özellikleri ile İlgili Literatür Araştırması	12
1.4. Literatür Özeti ve Çalışmanın Amacı	13
2. DENEYSEL ÇALIŞMA	14
2.1. Alaşımların Üretimi	14
2.2. Metalografik İncelemeler	14
2.3. Mekanik Deneyler	15
2.4. Yorulma Deney Düzeninin Konstrüksiyonu ve Özellikleri	15
2.5. Yorulma Deneyi	18
3. BULGULAR	19
3.1. Kimyasal Analiz Sonuçları	19
3.2. Alaşımların İç Yapısı	19
3.3. Mekanik Deneylerden Elde Edilen Sonuçlar	22
3.4. Yorulma Deneyi Sonuçları	22

4. İRDELEME	29
5. SONUÇLAR	31
6. KAYNAKLAR	32
7. ÖZGEÇMİŞ	35



ÖZET

Değişik kimyasal bileşimlerde, üç adet üçlü çinko-alüminyum-bakır, bir adet dördü çinko-alüminyum-bakır-silisyum alaşımı kokil döküm yöntemi ile üretildi. Söz konusu alaşımların yorulma özellikleri, laboratuvarında imal edilen dönel eğmeli bir yorulma deney makinası yardımıyla incelendi. Söz konusu alaşımlar için ilk gerilme-çevrim sayısı eğrileri (Wöhler diyagramı) elde edildi. Yorulma sonucunda kırılan alaşımların kırılma yüzeyleri, ışık ve taramalı elektron mikroskobu yardımıyla ayrıntılı biçimde incelendi.

İncelemeler sonucunda, çinko-alüminyum esaslı alaşımların yorulma eğrilerinin birbirine çok benzediği ve mukavemet değerlerine göre sıralandığı gözlemlendi. Bu nedenle, alüminyum oranı arttıkça, yorulma ömrünün az da olsa arttığı görüldü. İncelenen çinko-alüminyum esaslı alaşımlar içerisinde, en uzun yorulma ömrü, en yüksek mukavemet değerine sahip olan ZnAl40Cu2Si1 alaşımından, en kısa yorulma ömrü ise, en düşük çekme mukavemetine sahip olan ZA-27 alaşımından elde edildi. Yorulma deneyine tabi tutulan çinko-alüminyum alaşımlarının kırılma yüzeylerinin, tipik yorulma belirtilerine sahip olduğu ve söz konusu alaşımların oldukça gevrek bir kırılma davranışı sergilediği gözlemlendi.

Ayrıca, çinko alüminyum esaslı alaşımların, aşırı yaşlandırılmış durumdaki AlCu4Si1 (Etial 220) alaşımından daha yüksek yorulma dayanımına veya daha uzun yorulma ömrüne sahip olduğu belirlendi. Ancak, piyasadan tedarik edilen CuZn20 pirincinin, söz konusu alaşımlardan çok daha üstün yorulma davranışı sergilediği gözlemlendi.

Anahtar kelimeler : Çinko-alüminyum alaşımları, yorulma dayanımı, yorulma ömrü, gerilme-çevrim sayısı diyagramı.

SUMMARY

Investigation of Fatigue Properties of Zinc-Aluminum Based Alloys

A series of ternary zinc-aluminum-copper and a quaternary zinc-aluminum-copper-silicon alloys were produced by permanent mould casting. Fatigue properties of these alloys were examined using a rotating beam fatigue testing apparatus which was designed and constructed for this work. As a result of this work, stress-number of cycles (S-N) curves or Wohler diagrams of these alloys were obtained. Fracture surfaces of the test samples were examined using both optical and scanning electron microscope (SEM).

The S-N curves of these alloys found to be similar to each other showed an arrangement according to their strength values. For this reason, the fatigue life of these alloys were found to be increased with increasing aluminum content. Among the zinc-aluminum based alloys examined, the longest fatigue life was obtained from the ZnAl40Cu2Si1 alloy, which has the highest strength value, and the lowest fatigue life was obtained from the ZA-27 alloy which has the lowest tensile strength. It was also found that the fracture surfaces of zinc-aluminum based alloys obtained after fatigue testing, showed typical fatigue fracture surface characteristics and these alloys in general exhibited brittle fracture behaviour.

The fatigue strength of zinc-aluminum based alloys was found to be higher than that of AlCu4Si1 alloy, but CuZn20 brass exhibited superior fatigue behaviour than the zinc-aluminum based alloys.

Key Words : Zinc-aluminum based alloys, fatigue strength, fatigue life and S-N diagrams.

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. İkili çinko-alüminyum faz diyagramı2
Şekil 2. Kısa ömürlü yorulmada çatlak oluşumu6
Şekil 3. Metallerde yorulma kırılmasının makroskobik görünümü.8
Şekil 4. Gerilme - çevrim sayısı diyagramı8
Şekil 5. Smith yorulma diyagramı	10
Şekil 6. Dönel eğmeli yorulma deney düzeneğinin şematik resmi	16
Şekil 7. Dönel eğmeli yorulma deney düzeneğinin genel görünümü	17
Şekil 8. Numunenin kırılması durumunda yorulma deney düzeneğinin görünümü	17
Şekil 9. Dönel eğmeli yorulma deneyi numunesi	18
Şekil 10. ZA-27 alaşımının dökülmüş durumdaki iç yapısı	20
Şekil 11. ZnAl ₃₅ Cu ₂ alaşımının dökülmüş durumdaki iç yapısı	20
Şekil 12. ZnAl ₄₀ Cu ₂ alaşımının dökülmüş durumdaki iç yapısı	21
Şekil 13. ZnAl ₄₀ Cu ₂ Si ₁ alaşımının dökülmüş durumdaki iç yapısı.	21
Şekil 14. Alaşımların gerilme-çevrim sayısı eğrileri.	24
Şekil 15. 80 MPa 'lık gerilme değerinde yorulma deneyine tabi tutulan ZA-27 alaşımına ait numunenin kırılma yüzeyinin genel görünümü	25
Şekil 16. 144 MPa 'lık gerilme değerinde yorulma deneyine tabi tutulan ZA-27 alaşımına ait numunenin kırılma yüzeyinin genel görünümü	26
Şekil 17. 72 MPa'lık gerilme altında yorulma deneyine tabi tutulan ZA-27 alaşımına ait numunenin kırılma yüzeyinin SEM görüntüsü.	27
Şekil 18. 72 MPa'lık gerilme altında yapılan yorulma deneyi sonucunda kırılan ZA-27 alaşımına ait numunenin kırılma yüzeyindeki yorulma çatlaklarının ve diğer detayların SEM görüntüsü	27
Şekil 19. 72 MPa'lık gerilme altında yapılan yorulma deneyi sonucunda kırılan ZA-27 alaşımına ait numunenin kırılma yüzeyinin ayrıntılarını gösteren SEM fotoğrafı	28

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. İkili çinko-alüminyum alaşım sistemindeki önemli dönüşümler	3
Tablo 2. Bazı ticari çinko-alüminyum alaşımlarının mekanik özellikleri.	4
Tablo 3. Bazı ticari çinko-alüminyum alaşımlarının yorulma özellikleri.	12
Tablo 4. Alaşımların kimyasal bileşimi	19
Tablo 5. Mekanik deney sonuçları	22
Tablo 6. Dönel eğmeli yorulma deneyi sonuçları.	23

1. ÇİNKO - ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Genel makina imalâtında ve kaymalı yatak yapımında kullanılmak üzere geliştirilmekte olan çinko-alüminyum esaslı alaşımlar, demir olmayan metallerin çoğundan daha üstün fiziksel, mekanik ve tribolojik özelliklere sahip olmaları nedeniyle, pek çok uygulamada geleneksel yatak malzemelerinin yerini almaktadır [1]. Yapılan araştırmalar, çinko-alüminyum esaslı alaşımların geleneksel yatak malzemelerine göre, pek çok üstünlüklere sahip olduğunu göstermiştir. Bu üstünlüklerin başında, ideal döküm ve ısıl işlem özelliklerine ve düşük ergime noktasına sahip olmaları, döküm sonrası az bir ilave işlem gerektirmeleri, ısıl işleme elverişli olmaları, özgül mukavemetlerinin (mukavemet/yoğunluk) yüksek olması, alaşım elementlerinin kolay ve ucuza temin edilebilmesi gelmektedir [2].

Çinko-alüminyum esaslı alaşımlar genel olarak düşük hız ve ağır yük taşıyan kaymalı yatakların imalâtında, madencilikte kullanılan düşük hızlı araçların kaymalı yataklarında, kablolu kren, iş makinaları, vites kutusu, torna tezgahı, taş kırma makinası yataklarında, hidrolik kaldırma silindirlerinde, maden direklerinde piston olarak, hidrolik sistemlerde, biyel kollarında, kayıcı papuçlarda, su pompalarında, matbaa makinalarında, havalı ve tarımsal makinalarda, tekstil ve otomobil sanayii gibi birçok mühendislik alanında kullanılmaktadır [2].

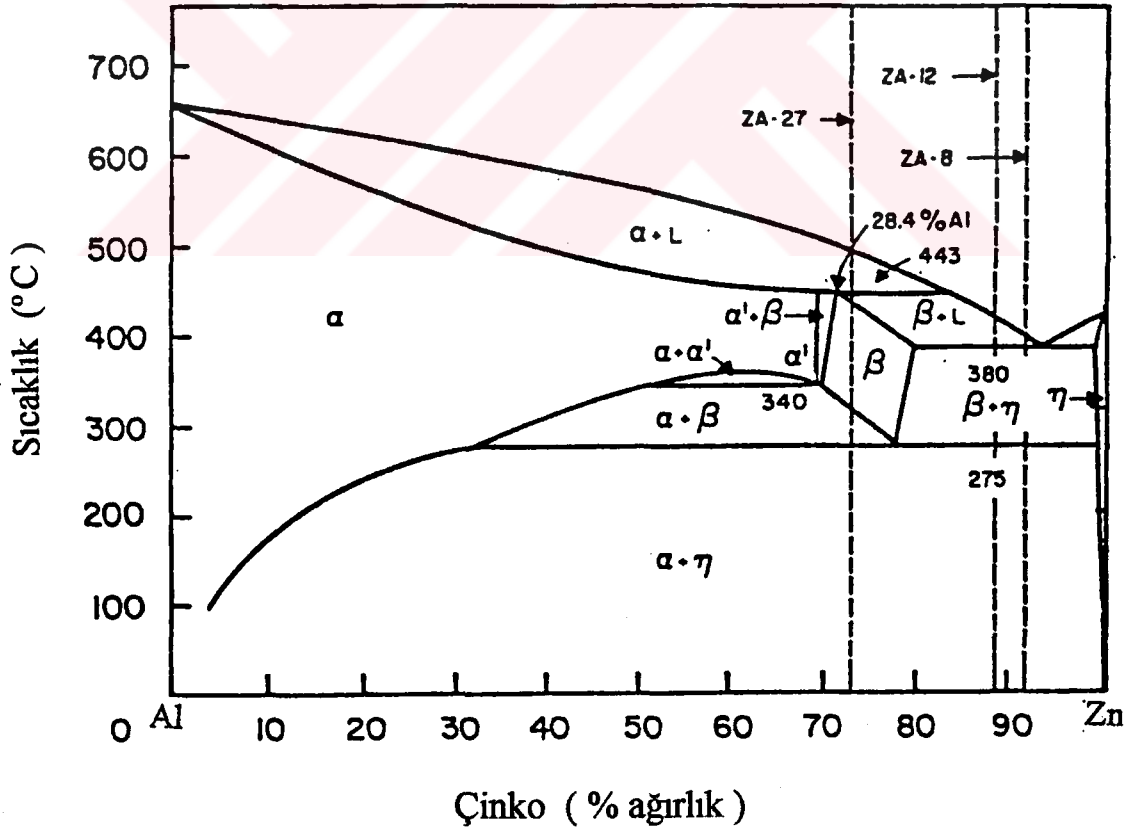
İlk kez, 1920'li yıllarda basınçlı döküm yöntemiyle üretilen çinko-alüminyum alaşımları [3], daha sonra II. Dünya savaşı yıllarında, bakır tedarikinde karşılaşılan güçlükler nedeniyle, bronzun yerine üretilmeye başlanıldı [4]. 1960'lı yıllarda ILZRO (International Lead-Zinc Research Organization) tarafından üretilen bazı çinko-alüminyum alaşımları, 1970'li yıllarda Noranda firması tarafından ZA-8 ve ZA-27 ticari isimli çinko-alüminyum alaşımları olarak geliştirildi [2]. Ayrıca, bu yıllarda, Avusturya'daki Vöest-Alpina firması tarafından, ALZEN alaşımları olarak bilinen ve %27-70 Al, %0-5 Cu ve %0-5 Si içeren çinko-alüminyum alaşımları geliştirildi [5]. Bu alaşımlardan, ALZEN-305 (ZnAl30Cu5) olarak bilinen alaşım, halen İngiltere'de yatak malzemesi olarak kullanılmaktadır [5]. Çinko-

alüminyum alaşımlarının incelenmesi ve geliştirilmesi çalışmaları günümüzde de büyük bir hızla sürdürülmektedir.

Ancak, söz konusu alaşımların yorulma özellikleri hakkında literatürde yeterli bilgi bulunmamaktadır. Bu eksikliğin giderilmesi, bu alaşımların kullanım alanlarının ve ömürlerinin belirlenmesi açısından yararlı olacaktır.

1.2. Çinko - Alüminyum Faz Diyagramı

Çinko-alüminyum alaşımlarının faz diyagramları bir çok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Presnyakov ve arkadaşları [6]. tarafından belirlenen ve ikili çinko-alüminyum alaşım sistemini en doğru bir şekilde temsil ettiği kabul edilen faz diyagramı Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. İkili çinko-alüminyum faz diyagramı

Çinko-alüminyum denge diyagramında α alüminyumca zengin faz bölgelerini , η ise çinkoca zengin faz bölgelerini göstermektedir. Çinko, alüminyum içerisinde % 83 oranına kadar çözünerek, yüzey merkezli kübik (YMK) yapıya sahip, α , α' ve β olarak adlandırılan üç değişik faz bölgesi oluşturmaktadır. Bu fazların her biri, yavaş soğutma işlemi sonunda kararlı çinko ve alüminyum fazlarına dönüşmektedir. Hızlı soğutma işlemi, çinkonun aşırı doymuş katı çözeltili içerisinde tutulmasına neden olmakta ve daha sonra uygulanan yaşlandırma işlemi sırasında ortaya çıkan faz dönüşümleri, bir takım geçiş fazlarını oluşturmaktadır [7]. İkili çinko-alüminyum alaşım diyagramında meydana gelen faz dönüşümleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. İkili çinko-alüminyum alaşım sistemindeki önemli dönüşümler

Dönüşüm	Çinko oranı(%)	Sıcaklık(°C)
Ötektik $S \rightleftharpoons \beta + \eta$	95	382
Ötektoid (i) $\beta \rightleftharpoons \alpha + \eta$ (ii) $\alpha / \alpha' \rightleftharpoons \alpha + \beta$	78 52	276 340
Peritektik $\alpha + S \rightleftharpoons \beta$	71.6	443

Çinko-alüminyum-bakır sistemine ait faz diyagramı henüz tam olarak belirlenememiş olmakla birlikte, sistemin düşük oranlarda bakır içeren bölümü Murphy [8] tarafından ayrıntılı olarak incelenmiştir.

Çinko-alüminyum-silisyum alaşım sistemine ait faz diyagramı, Savaşkan ve arkadaşları [9] tarafından elektron mikroskobu ve X-ışınları difraksiyonu yardımıyla incelenerek önemli faz dönüşümleri belirlenmiştir.

1.3. Çinko - Alüminyum Alaşımlarının Mekanik Özellikleri

1.3.1. Çinko-Alüminyum Alaşımlarının Mekanik Davranışlarına Genel Bakış

Çinko-alüminyum alaşımları, demir olmayan bir çok metalden ve dökme demirden daha yüksek mukavemet değerlerine sahiptir [10]. Bazı ticari çinko-alüminyum alaşımlarının mekanik özellikleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Bazı ticari çinko-alüminyum alaşımlarının mekanik özellikleri

Mekanik özellikler	ZA-8		ZA-12		ZA-27	
	Kum döküm	Kokil döküm	Kum döküm	Kokil döküm	Kum döküm	Sürekli döküm
Çekme muk. (MPa)	240-276	221-255	276-317	310-345	400-441	414-441
Akma muk. (MPa)	200	207	207	268	372	379-393
Kopma uzaması, %	1-2	1-2	1-2	1.5-2.5	3-6	8-11
Sertlik (BSD)	80-90	85-90	92-96	85-95	110-120	115-130
Darbe enerjisi (J)	20	-	25	-	47	73
Young modülü (GPa)	85.5	85.5	82.7	82.7	77.9	-
Poisson oranı	-	0.296	0.302	0.302	0.323	-

Çinko-alüminyum alaşımlarının akma ve çekme dayanımları ile sertliği, artan sıcaklıkla azalmakta, kopma uzaması değeri ise artmaktadır [10] . Alaşım elementi olarak katılan alüminyum, bu alaşımların döküm özelliklerini iyileştirmektedir [10]. Düşük oranlardaki bakır, magnezyum ve silisyum katkıları, bu alaşımların mukavemet değerlerini önemli ölçüde artırmaktadır [10]. Özellikle bakır katkısı, ikili alaşımların mukavemet, korozyon, aşınma ve

sürünme dayanımını büyük ölçüde artırmakla birlikte, boyutsal kararsızlık problemlerine yol açmaktadır [10,11]. Bu nedenle, bakır katkısının % 3 değerinin altında tutulmasının daha uygun olacağı belirlenmiş bulunmaktadır [11]. Bu alaşımların kırılma tokluğu, diğer mühendislik malzemelerine göre oldukça düşük olmakla birlikte, bu değer artan alüminyum oranı ile artmaktadır [12]. Düşük oranlardaki silisyum katkısı ise mukavemet değerlerini bakır kadar artırmamakta, ancak aşınma dayanımını büyük ölçüde iyileştirmektedir [13].

Çinko-alüminyum alaşımlarının ergime sıcaklıklarının düşük ve katılaşma aralıklarının oldukça geniş olması, iç yapıda gözeneklerin (mikroboşlukların) oluşmasına neden olmaktadır [13]. Katılaşma sırasında, iç yapıda oluşan gözeneklerin alaşımların mukavemet değerlerini önemli ölçüde azalttığı gözlenmiştir [13]. Bu nedenle, döküm sonrasındaki katılaşmaya etki eden döküm sıcaklığı, kokil sıcaklığı ve katılaşma hızı gibi faktörlerin kontrol edilerek gözenek oluşumunun önlenmesi ya da en aza indirilmesi gereklidir.

Yapılan değerlendirmeler sonucunda, çinko-alüminyum alaşımlarının sertlik ve mukavemet değerlerini artırmak için en uygun yöntemin alaşım elementi katkısı olduğu belirlenmiş bulunmaktadır [14].

1.3.2. Çinko-Alüminyum Alaşımlarının Yorulma Özellikleri

1.3.2.1. Yorulma İle İlgili Genel Bilgiler

Bir çok makina parçası ve yapı elemanı, tekrarlanan gerilmelerin ve titreşimlerin etkisi altında çalışır [14]. Değişken gerilmelerin etkisinde bulunan malzemelerde, gerilmelerin en yüksek değeri yerine, bunların periyodik değişimi, yani yük tekrarı daha önemlidir. Tekrarlı gerilmelerin etkisi altında çalışan metalik parçalarda; uygulanan gerilmeler, parçanın statik mukavemetinden daha düşük olmalarına rağmen, belirli bir tekrar sayısı (çevrim sayısı) sonunda, yüzeyde çatlama ve bunu izleyen kopma olayına neden olurlar. Bu olay yorulma olarak adlandırılmaktadır [15,16].

Makina ve yapı elemanlarında, çalışma sırasında meydana gelen hasarların % 80 veya daha fazlasının yorulmadan kaynaklandığı bilinmektedir [17]. Bu durum, tekrarlı gerilmelerin etkisi altında çalışan parçaların veya elemanların tasarımında, yorulma olayının dikkate alınması gereken önemli bir parametre olduğunu göstermektedir. Yorulmanın, özellikle kaymalı ve rulmanlı yataklarda hasara neden olan en önemli mekanizmalardan biri

olduğu bilinmektedir. Bu nedenle, yatakların imalatında ve kullanımında yorulmanın dikkate alınması gerekir.

Yorulma olayının incelenmesinde özel terimler kullanılmaktadır [16]. Bunlar, en büyük gerilme ve en küçük gerilme değerine bağlı olarak aşağıda verilmiştir.

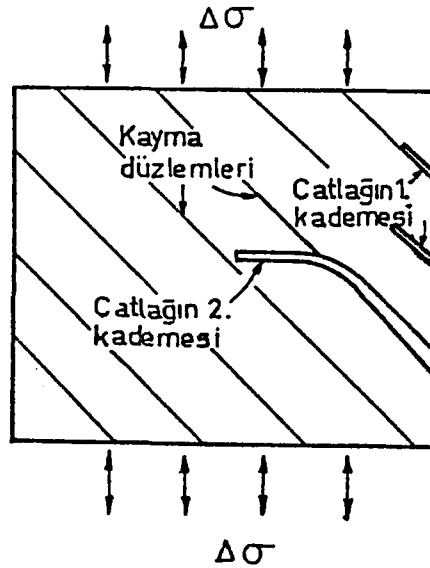
$$\text{Gerilme aralığı } (\Delta\sigma) = \sigma_{\max} - \sigma_{\min} \quad (1)$$

$$\text{Ortalama gerilme } (\sigma_{og}) = (\sigma_{\max} + \sigma_{\min})/2 \quad (2)$$

$$\text{Gerilme genliği } (\sigma_{gn}) = (\sigma_{\max} - \sigma_{\min})/2 \quad (3)$$

Yorulma, çatlaksız malzemelerde yorulma ve çatlaklı malzemelerde yorulma olarak ikiye ayrılır [16]. Çatlaksız malzemelerdeki yorulma ise, uygulanan gerilmenin büyüklüğüne göre, uzun ömürlü yorulma ve kısa ömürlü yorulma olmak üzere iki gruba ayrılır [18].

Çatlaksız malzemelerin kısa ömürlü yorulmasında, uygulanan gerilmeler malzemenin akma sınırının üstünde olduğundan dolayı malzemede genel plastisite söz konusudur [18]. Yük uygulandığı sırada, genel plastisite nedeniyle malzemenin yüzeyi çabucak pürüzleşir. Yorulma çatlağı bu pürüzlerde oluşur ve Şekil 2’de görüldüğü gibi, önce kayma düzlemi boyunca, daha sonra çekme eksenine dik doğrultuda ilerler [18].

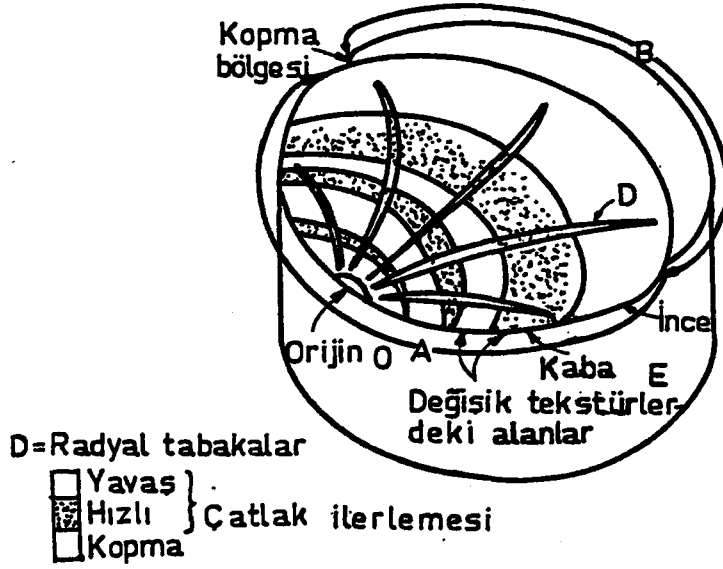


Şekil 2. Kısa ömürlü yorulmada çatlak oluşumu

Uzun ömürlü yorulmada, uygulanan gerilmeler malzemenin akma sınırının altında olduğu için, ömrün tamamı çatlak oluşumu için harcanır [16]. Bu durumda, malzemede genel plastisite söz konusu değildir. Ancak, çentik, çizik ve kesit değişimlerinin sebep olduğu yerel plastisite vardır [16]. Çatlaklar, genellikle keskin köşelerde, çentiklerde, vidalı ve perçinli bağlantılarda veya bunlara benzer gerilme yığılmasının meydana geldiği bölgelerde oluşur [20,21]. Bu bölgeler yorulma çatlağının başlangıç noktaları olup, yorulma ömrünü azaltırlar [19]. Bu nedenle, makina parçalarının tasarımında keskin köşelerden, çentiklerden ve gerilme yığılmasına sebep olabilecek hata ve konstrüksiyonlardan kaçınmak gerekir. Ayrıca, küçük yapısal hata olarak bilinen kalıntıların (enklüzyon) ve korozyonun da yorulma dayanımı ve yorulma ömrünü olumsuz etkilediği bilinmektedir [19,22]. Enklüzyonların yorulma dayanımı üzerindeki etkisi, enklüzyonun büyüklüğüne, şekline ve yerine bağlıdır. Bu durum, yorulma dayanımının geniş bir aralıkta değişmesine sebep olmaktadır [22].

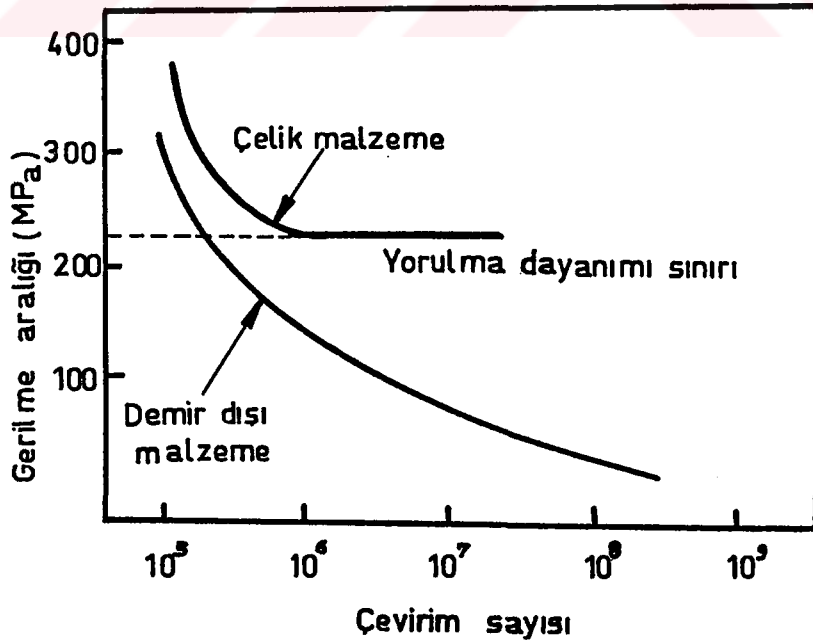
Makina parçalarının ve yapı elemanlarının çoğu, geometrik veya metalurjik hatalardan kaynaklanan çatlak veya çentikler içerirler [19]. Bu tür malzemelerde görülen yorulma çatlağının ilerleme mekanizmaları lineer elastik kırılma mekaniği yöntemi ile belirlenir [19]. Sabit genlikte uygulanan tekrarlı yüklerin etkisi altındaki malzemelerde yorulma çatlağının ilerlemesi, gerilme şiddet faktörü (K) ile kontrol edilir. Herhangi bir malzeme için, gerilme şiddet faktörü aralığına karşılık gelen her bir çevrim için çatlağın ilerlemesi, yorulma çatlağının ilerlemesine ait tipik bir veridir [19].

Yorulma çatlağı, alternatif olarak değişen, tekrarlı yüklerin etkisi altında başlar ve içeriye doğru parça kırılıncaya kadar ilerler [20]. Yorulma sonucunda kırılan bir malzemenin kırılma yüzeyinde, Şekil 3'te görüldüğü gibi, genellikle iki ayrı bölge oluşur [17]. Birincisi, farklı renklere ve yüzey özelliğine sahip, aynı merkezli bandlar veya bilezikler içeren, pürüzsüz ve parlak bir bölgedir. İkincisi ise, kaba, pürüzlü, kristal görünümlü bir bölge görünümündedir. Kırık yüzey üzerindeki düzgün ve pürüzsüz alan, çatlağın ilerlediği bölgeyi gösterir. Kaba, pürüzlü bölge ise, parçanın son yük çevrimi etkisiyle aniden kırıldığı alanı gösterir. Pürüzsüz yüzey üzerindeki renkli bandlar ve donuk (renksiz) tabakalar, değişken tekrarlı gerilmelerin etkisiyle, çatlağın hızlı veya yavaş ilerlediği bölgeleri göstermektedir. Çatlağın başlangıç noktası (orijin), genellikle parlak bölgenin ucunda yer alır [17].



Şekil 3. Metallerde yorulma kırılmasının makroskobik görünümü

Tekrarlı gerilmelerin etkisi altında, malzemenin kaç çevrim sonunda çatlayacağı veya kırılacağı Wöhler diyagramı (gerilme-çevrim sayısı diyagramı) yardımıyla belirlenir. Wöhler diyagramının düşey eksenini gerilme aralığını (σ_{og}), yatay eksenini ise, çevrim sayısını gösterir. Diyagramın yatay ekseninde logaritmik ölçek kullanılır [18].



Şekil 4. Gerilme - çevrim sayısı diyagramı

Wöhler diyagramı, malzemenin yorulma dayanımı ve yorulma ömrü hakkında yararlı bilgiler verir. Yorulma dayanımı, malzemenin belirli bir çevrim sayısı (N_f) sonunda hasara uğradığı gerilme değeri olarak tanımlanır. Bu durumda, N_f yorulma ömrü, belirli bir gerilme etkisi altında malzeme kırılıncaya kadar dayanabileceği en yüksek çevrim sayısını gösterir. Wöhler diyagramında eğrinin yatay hale geldiği gerilme değerine " yorulma dayanımı sınırı " denir. Bu gerilme değerinden daha düşük periyodik gerilmelerin etkisi altında parçanın sonsuz çevrime dayanabileceği kabul edilmektedir [14]. Demir-çelik türü malzemeler böyle bir sınır değerine sahip olmakla birlikte, demir olmayan metallerde böyle bir sınır değeri yoktur [16,18]. Farklı gerilme değerlerinde yapılan deneylerden elde edilen ömür değerlerine ait noktaların birleştirilmesiyle herhangi bir malzeme için gerilme-çevrim sayısı eğrisi (Wöhler diyagramı) elde edilmektedir [20].

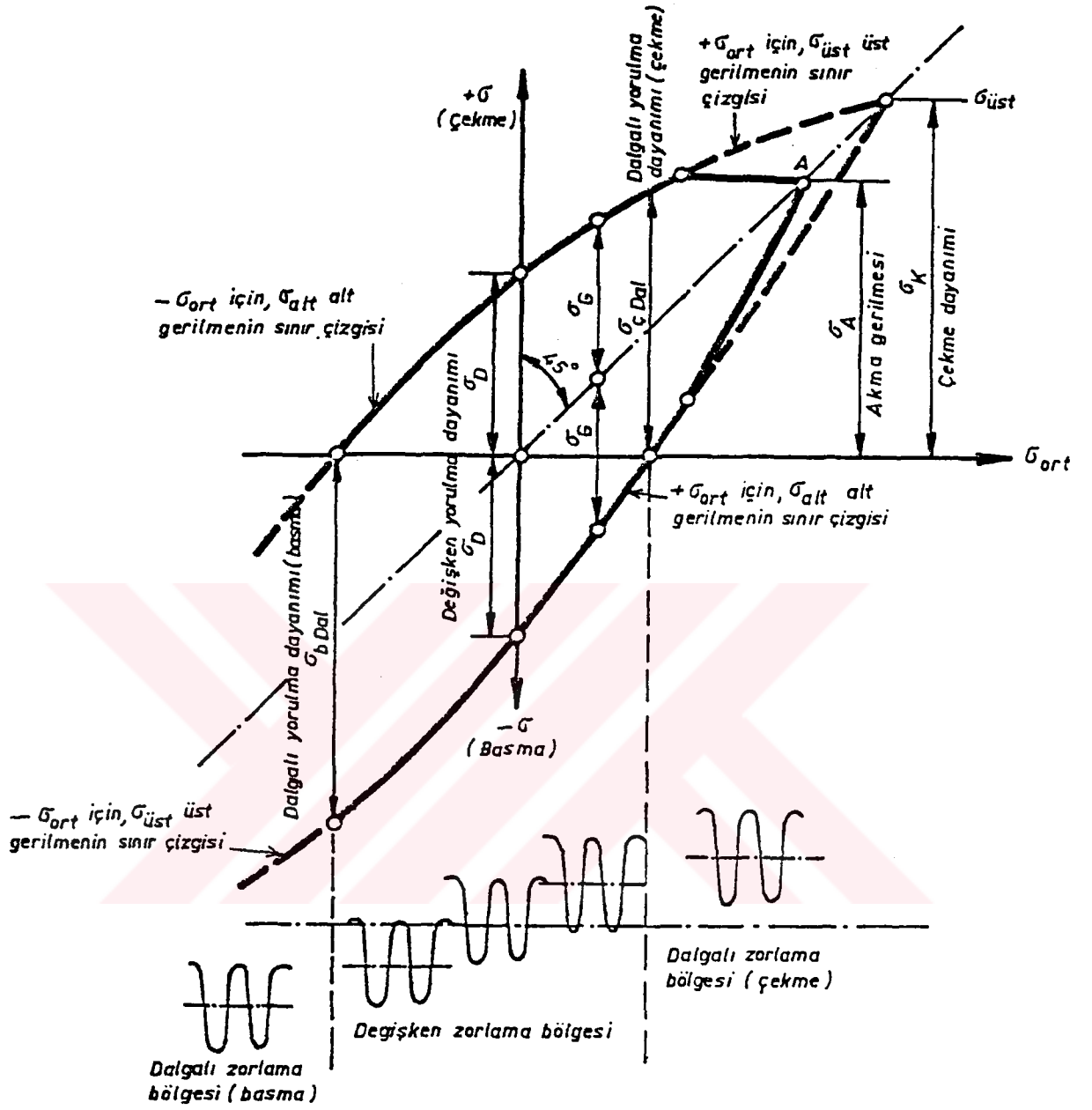
Yorulma dayanımı ile mukavemet değerleri arasındaki ilişkiyi en açık şekilde ifade ettiğinden dolayı, mühendislikte genellikle Şekil 5'te görülen Smith yorulma diyagramı kullanılmaktadır [23].

Bu diyagramda, belirli bir yorulma dayanımı değeri için, en büyük gerilme, en küçük gerilme ve gerilme genliğinin ortalama gerilmeye göre değişimi verilmektedir [24]. Söz konusu diyagramın yatay ekseninde ortalama gerilme, dikey ekseninde ise, her bir ortalama gerilme değerine karşılık gelen en büyük (σ_{max}) ve en küçük (σ_{min}) gerilmeler yer almaktadır. Değişik ortalama gerilmeler için bulunan noktaların birleştirilmesiyle en büyük ve en küçük gerilmelerin sınır çizgileri elde edilir. Dikey ve yatay ekseninde aynı ölçek kullanıldığından, 45°'lik açı ile çizilen açıortayı da ortalama gerilmelerin değerini verir ve gerilme aralığını ortadan ikiye böler. Böylece, diyagramdan istenilen değerler elde edilmiş olur [24]. Değişik uygulamalarda bundan başka yorulma diyagramları da kullanılmaktadır [24].

Elastik deformasyonun söz konusu olduğu uzun ömürlü yorulmada, aşağıda verilen Basquin bağıntısı kullanılır [16].

$$\Delta\sigma N_f^a = c \quad (4)$$

Burada, $\Delta\sigma$ gerilme aralığı, N_f yorulma ömrü, a ve c birer sabittir.



Şekil 5. Smith yorulma diyagramı

Çatlaksız malzemelerin kısa ömürlü yorulmasında ise, malzemede plastik deformasyon söz konusu olduğundan, Basquin bağıntısı geçerli değildir. Bu durumda aşağıda verilen Coffin-Manson bağıntısı kullanılır [16].

$$\Delta \epsilon_{pl} N_f^b = d$$

(5)

Burada, $\Delta\varepsilon_{pl}$ plastik birim şekil değiştirme aralığı, N_f yorulma ömrü, b ve d sabit değerlerdir.

Malzeme ortalama çekme ve basma gerilmelerinin etkisi altında, yani $\sigma_{og} \neq 0$ ise, aşağıda verilen Goodman bağıntısı geçerlidir [16].

$$\Delta\sigma\sigma_{og} = \Delta\sigma_o [1 - (|\sigma_{og}| / \sigma_c)] \quad (6)$$

Burada, $\Delta\sigma_o$, sıfır ortalama gerilme altında, belirli bir çevrim sayısı sonunda kırılmaya neden olan gerilme aralığıdır. $\Delta\sigma\sigma_{og}$ ise, σ_{og} ortalama gerilmesi için aynı şeyi ifade etmektedir. σ_c , malzemenin çekme dayanımıdır. Goodman bağıntısı her zaman geçerli değildir. Bu nedenle, malzemenin kullanılacağı şartlara benzer şartlarda deneyler yapılmalı ve bulunan sonuçlar son tasarımlarda kullanılmalıdır [16].

Demir - çelik grubu malzemelerde, yorulma dayanımı sınırı (YDS), çekme dayanımı (σ_c) ve Brinell sertlik değeri (BSD) arasında aşağıdaki bağıntının geçerli olduğu kabul edilmektedir [16]

$$YDS \cong 0.5 \sigma_c \cong 0.18 BSD . \quad (7)$$

Emniyetli yorulma ömrünü belirlemeye yarayan metodların geliştirilmesi, yorulma sonucunda meydana gelen hasarların önlenmesi ve parça tasarımında zaman ve maliyetin azaltılması bakımından oldukça önemlidir [20]. Yorulma deneyleri, aksenal, eğilme, burulma veya bunların herhangi bir kombinezonu olan tekrarlı yük veya gerilmelerin etkisi altında gerçekleştirilir. Dönel eğmeli yorulma deneyleri, numuneye aynı büyüklükte, alternatif olarak, sinüzoidal değişim gösteren tekrarlı yükler uygulamak suretiyle gerçekleştirilir. Bu durum " tam dönmeli yükleme " olarak bilinmekte ve dönel eğmeli yorulma deney makinasında otomatik olarak ortaya çıkmaktadır. Burada dönen numuneye, ortalama gerilme sıfır olacak şekilde tek bir doğrultuda yük uygulanmaktadır. Deney numunesi bir elektrik motoru tarafından, sürekli olarak döndürülmekte ve numune üzerindeki her nokta, sürekli olarak sinüzoidal biçimde değişen maksimum çekme ve basma gerilmelerinin etkisinde kalmaktadır [16,19]. Herhangi bir gerilme değerinde, çevrim sayısı, demir-çelik grubu malzemeler için 10×10^6 , demir olmayan malzemeler için 20×10^6 değerine ulaştığında

numune kırılmamışsa deneye son verilir. Bu gerilme, söz konusu malzeme için YDS değeri olarak kabul edilir [16].

1.3.2.2. Çinko - Alüminyum Alaşımlarının Yorulma Özellikleri ile İlgili Literatür Araştırması

Literatürde, çinko-alüminyum esaslı alaşımların yorulma özellikleri hakkında yeterli bilgi bulunmama ile birlikte, ZA-8, ZA-12 ve ZA-27 alaşımlarının değişik döküm şartlarındaki yorulma dayanımı değerleri Tablo 3'te verilmiştir [10]. Bu tablodaki yorulma dayanımı değerleri, oda sıcaklığında ölçülen değerler olup, 5×10^8 'lik çevrim sayısına karşılık gelmektedir. Bu değerler, 10000 d/dak'lık devir sayısında çalışan dönel eğmeli yorulma deney makinasında, ASTM E446 test yöntemi kullanılarak yapılan deneylerden elde edilmiştir [10].

Tablo 3. Bazı ticari çinko - alüminyum alaşımlarının yorulma özellikleri [10]

Alaşım	Döküm yöntemi	Yorulma dayanımı (MPa)
ZA - 8	Kum döküm	-
	Kokil döküm	52
	Basınçlı döküm	103
ZA - 12	Kum döküm	103
	Kokil döküm	-
	Basınçlı döküm	-
ZA - 27	Kum döküm	172
	Kokil döküm	-
	Basınçlı döküm	145

Tablo 3'teki değerler karşılaştırıldığında, basınçlı döküm yöntemiyle üretilen ZA-8 alaşımının yorulma dayanımının, kokil döküm yöntemiyle üretilen ZA-8 alaşımının yorulma dayanımının hemen hemen iki katına eşit olduğu görülmektedir. Ayrıca, kum döküm yöntemiyle üretilen ZA-27 alaşımının, basınçlı döküm yöntemiyle üretilen ZA-27 alaşımından daha üstün yorulma dayanımına sahip olduğu anlaşılmaktadır [10].

1.4. Literatür Özeti ve Çalışmanın Amacı

Günümüzde bir çok alanda kullanılmak üzere, geliştirilen çinko-alüminyum esaslı alaşımlar, üstün mekanik ve tribolojik özelliklere sahiptir. Bu alaşımların kullanımını kısıtlayan faktörlerin başında, yüksek sıcaklıklarda mukavemet değerlerinde meydana gelen azalma ve özellikle bakır içeren alaşımlarda ortaya çıkan boyutsal kararsızlık problemi gelmektedir. Söz konusu sorunlar, kimyasal bileşimin uygun şekilde ayarlanması ve uygun ısı işlem uygulanması ile büyük ölçüde giderilebilir. Son zamanlarda geliştirilen Zn-Al-Si alaşımlarının çok üstün aşınma dayanımına sahip olmalarına karşın, mukavemet değerlerinin bakır içeren üçlü alaşımlardan daha düşük olduğu gözlenmiştir. Buna benzer hususlar, araştırmacıları en uygun bileşim oranını ve ısı işlem yöntemini belirlemeye yöneltmiştir.

Çinko-alüminyum esaslı alaşımların yorulma davranışları hakkında literatürde yeterli bilgi bulunmamaktadır. Bu durum, söz konusu alaşımlardan imal edilecek parçaların ve makina elemanlarının tasarımında önemli bir eksiklik olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle, bu çalışmanın amacı, çinko-alüminyum alaşımlarının yorulma özelliklerini incelemek ve yorulma mekanizmalarını aydınlatmaya çalışmaktır. Bunun için, değişik kimyasal bileşimlerde bir dizi çinko-alüminyum alaşımı döküm yöntemiyle üretilerek, laboratuvarında imal edilen dönel eğmeli bir yorulma deney makinasıyla, söz konusu alaşımların yorulma davranışları incelenecek ve bu incelemeler sonucunda alaşımların yapıları ile yorulma davranışları arasındaki ilişkiler belirlenmeye çalışılacaktır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

2.1. Alaşımların Üretimi

Bu çalışmada, bir adet ticari ZA-27 alaşımı, iki adet üçlü Zn-Al-Cu alaşımı ve bir adet dördü Zn-Al-Cu-Si alaşımı, kokil döküm yöntemiyle üretildi. Alaşımların üretiminde yüksek saflıkta (%99.99) çinko, elektrolitik bakır (%99.99) ve ticari saflıkta (%99.7) alüminyum kullanıldı. Dördü alaşım için gerekli olan silisyum, Etial - 140 (AlSi12) alaşımından ve alaşımlardaki bakır ise intermetalik alüminyum-bakır (AlCu50) alaşımından karşılandı. Ergitme işlemi, sıcaklık kontrollü elektrikli bir pota fırını içerisinde gerçekleştirildi. Ergitilen alaşımlar, kimyasal bileşim oranına göre belirlenen, 600-700 °C arasındaki uygun bir döküm sıcaklığından, 200 °C sıcaklıktaki kokil kalıba dökülerek katılaştırıldı. 45x60x200 mm boyutlarında olan kokil kalıp, yönlendirilmiş katılaştırmanın ve beslemenin sağlanması için konik biçimde imal edildi. Döküm sonrası, dökülen parçanın üst kısmında çekilme boşluğu içeren yaklaşık 50 mm'lik kısmı kesilerek atıldı. Gözenek miktarını azaltmak için numuneler kokilin kenar kısımlarından alındı.

Üretilen alaşımların kimyasal bileşimleri, yaş kimyasal analiz ve atomik absorpsiyon yöntemi ile belirlendi.

2.2. Metalografik İncelemeler

İç yapı incelemeleri için, dökülmüş durumdaki alaşımlardan alınan numuneler, standard metalografi yöntemi ile hazırlandıktan sonra, % 20'lik nital (%20 nitrik asit+alkol) içerisinde dağlandı. Hazırlanan numuneler ışık mikroskobunda incelenerek metalografik yapıları gösteren fotoğraflar çekildi.

Ayrıca, yorulma deneyleri sonucunda kırılan numunelerin kırık yüzeyleri hem ışıklı stereo mikroskopta, hem de taramalı elektron mikroskobunda incelendi.

2.3. Mekanik Deneyler

Dökülmüş durumdaki alaşımlardan, talaşlı imalat yöntemi ile TS 138-A standardına uygun olarak hazırlanan numuneler çekme deneyine tabi tutuldu. Çekme deneyi sonucunda alaşımların çekme dayanımı ve kopma uzaması değerleri belirlendi.

Sertlik deneyi için, alaşımlardan alınan numuneler, talaşlı imalat yöntemi ile yüzeyleri paralel olacak şekilde işlendikten sonra parlatıldı. Sertlik ölçümleri, Brinell sertlik ölçme yöntemi ile 31.25 kg 'lık yük altında ve 2.5 mm çaplı bilya uç kullanılarak gerçekleştirildi. Her numune üzerinde beş sertlik ölçümü yapılarak, elde edilen değerlerin ortalaması alındı.

2.4. Yorulma Deney Düzenekinin Konstrüksiyonu ve Özellikleri

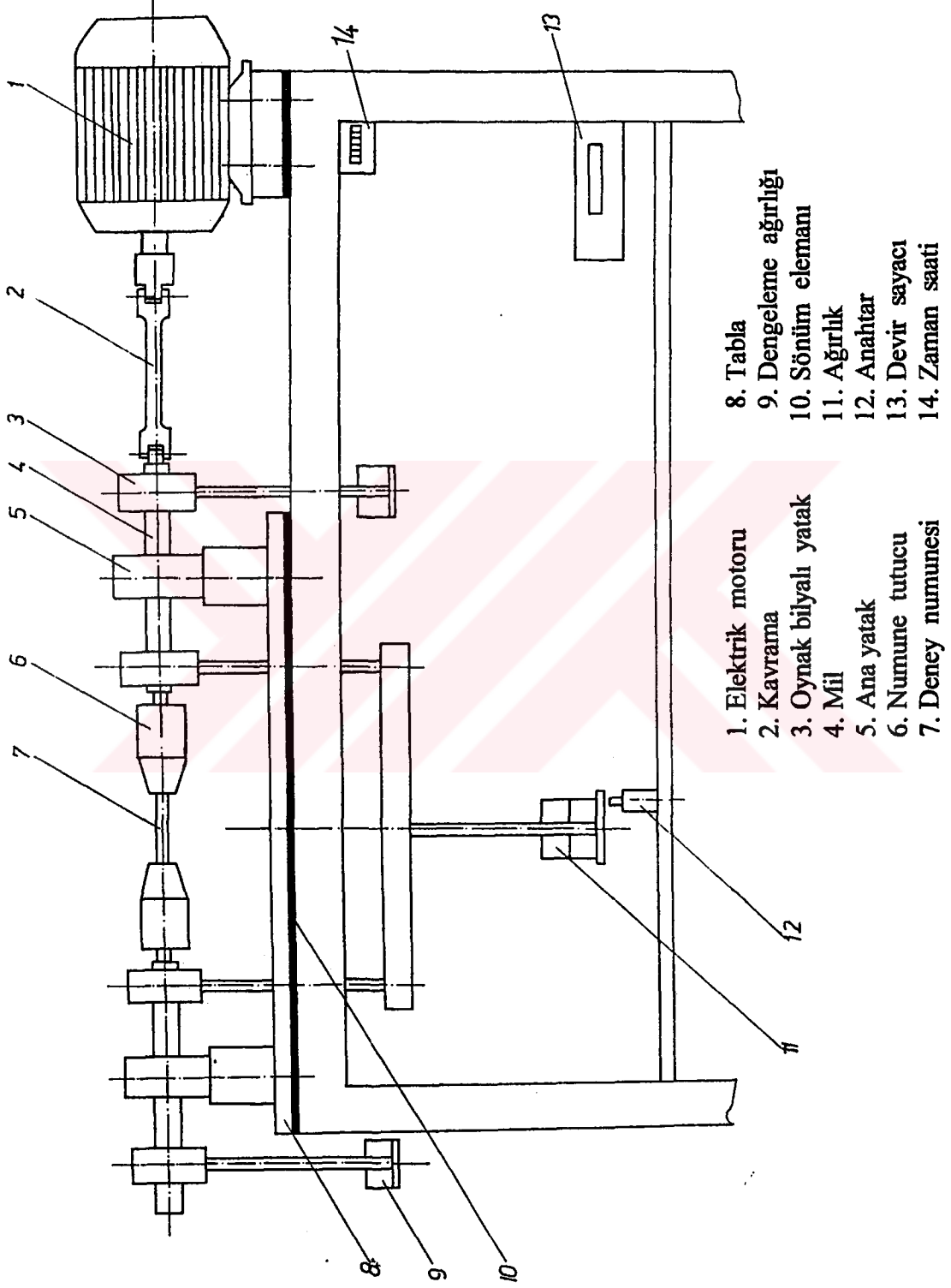
Alaşımların yorulma davranışlarını incelemek amacıyla laboratuvarında dönel eğmeli bir yorulma deney düzenekği imal edildi. Konstrüksiyonu Şekil 6'da gösterilen deney düzenekği, 3 kW gücünde bir elektrik motoru, altı adet oynak rulmanlı yatak, kavrama, mil, numune tutucuları, yük askı kolları, dengeleme ağırlıkları, otomatik kumanda sistemi ve devir sayacı gibi elemanlardan oluşmaktadır.

Bu makinada, talaşlı imalat yöntemiyle yüzeyi hassas bir şekilde işlenen yorulma numunesi, iki ucundan numune tutuculara bağlanarak sabitlenmektedir. Yük askı koluna ağırlıklar asılarak numuneye eğme yükü uygulanmaktadır. Deney milinin, dönme hareketi yanında açısız hareket serbestliğinin de sağlanabilmesi için, yataklamalar oynak bilyalı rulmanlarla yapılmıştır. Motor ile deney düzenekğinin mili arasındaki bağlantıyı sağlayan özel bir kardan kavraması, sisteme açısız hareket serbestliği sağlamaktadır. Düzenekte, numunenin kırılmasına kadar geçen çevrim sayısının ölçülmesi için elektronik bir devir sayacı ve numune kırıldığında düzenekğin otomatik olarak durmasını sağlayan bir anahtar mevcuttur. Motorun devir sayısı, bir hız kontrol ünitesi yardımıyla ayarlanabilmektedir. Deney düzenekğinde, ayrıca deney süresini ölçmek için bir zaman saati kullanılmıştır. Şekil 7'deki fotoğrafta dönel eğmeli yorulma deney düzenekğinin genel bir görünümü, Şekil 8'deki fotoğrafta ise, deney düzenekğinin numune kırıldığı andaki görünümü yer almaktadır.

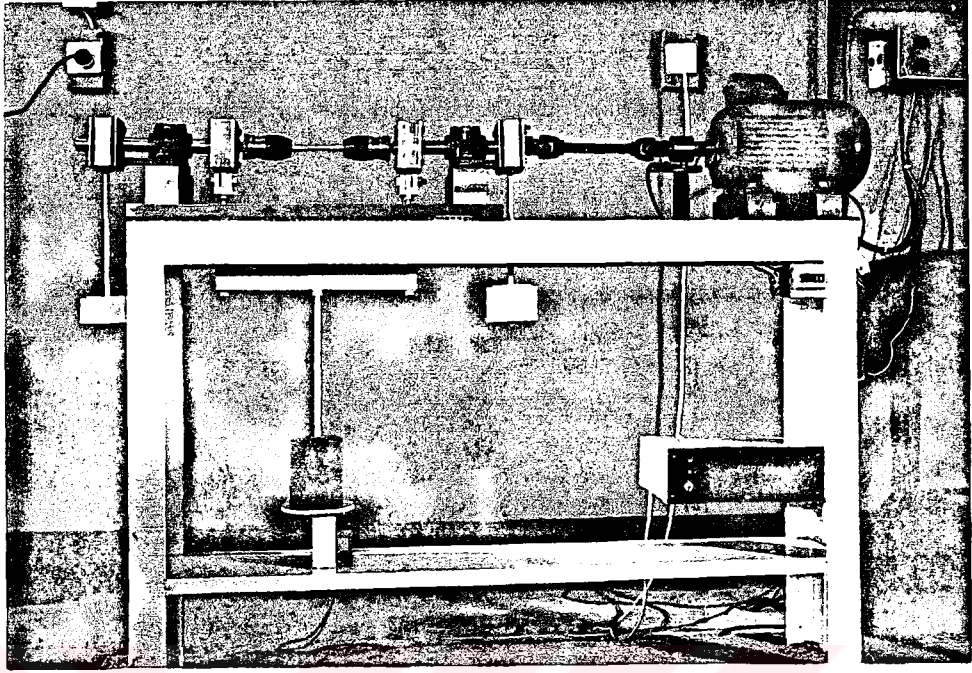
Yapılan hesaplamalar sonucunda, söz konusu deney düzenekğinde, uygulanan yük (P) ile elde edilen eğme gerilmesi ($\sigma_{eğ}$) arasında aşağıdaki bağıntının geçerli olduğu belirlenmiştir.

$$\sigma_{eğ} = 16P \quad (8)$$

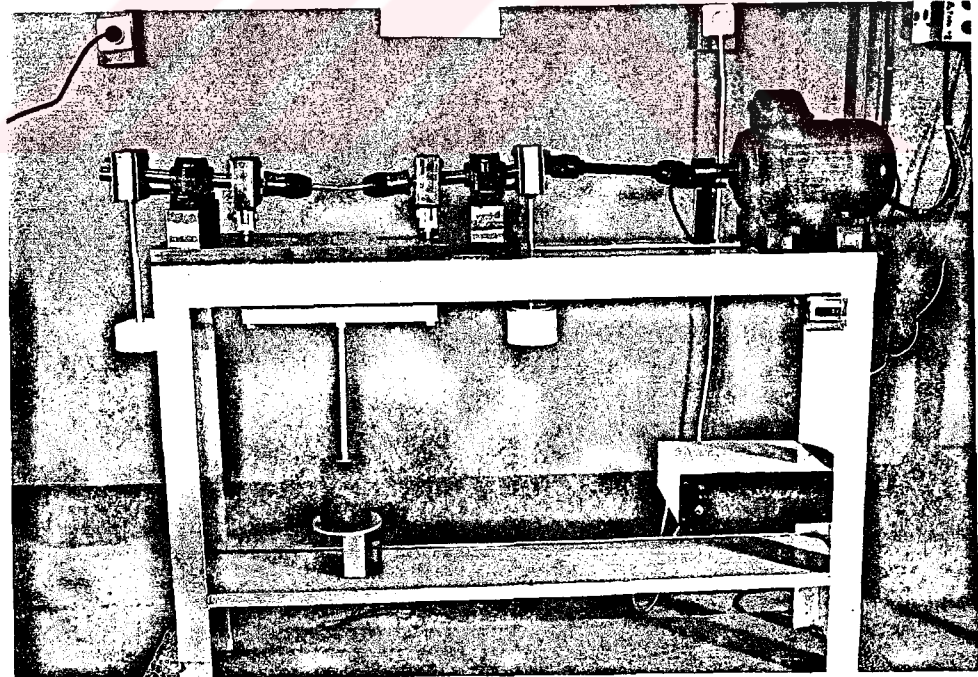
Burada, P'nin birimi kg, $\sigma_{eğ}$ 'nin birimi MPa'dır.



.Şekil 6. Dönel eğmeli yorulma deney düzenineşinin şematik resmi



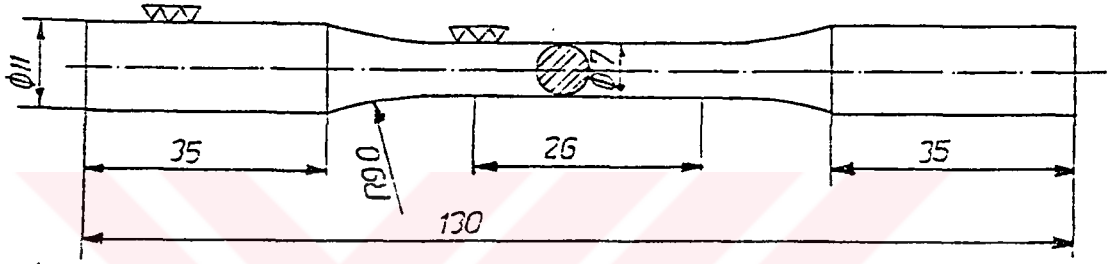
Şekil 7. Dönel eğmeli yorulma deney düzeneğinin genel görünümü



Şekil 8. Numnenin kırılması durumunda yorulma deney düzeneğinin görünümü

2.5. Yorulma Deneyi

Yorulma deneyleri, bu çalışma için üretilen çinko-alüminyum esaslı alaşımlar (ZA-27, ZnAl35Cu2, ZnAl40Cu2 ve ZnAl40Cu2Si1) ile piyasadan tedarik edilerek yaşlandırma işlemine tabi tutulan Etial 220 (AlCu4Si1) alaşımı ve ticari pirinç (CuZn20) malzemeden imal edilen numuneler ile gerçekleştirildi. Boyutları Şekil 9’da verilen söz konusu numuneler, talaşlı imalât yöntemiyle yüzeyleri hassas bir şekilde işlenerek hazırlandı.



Şekil 9. Dönel eğmeli yorulma deneyi numunesi

Yorulma deneyleri, söz konusu düzenekte, 2000 d/dak’lık sabit devir sayısında ve 72 MPa ile 148 MPa arasında değişen gerilme değerleri altında yapıldı. Bu deneylerde, her bir gerilme değeri için, numunenin kırılmasına kadar geçen çevrim sayısı devir sayacı yardımı ile belirlendi. Yapılan deneyler sonucunda çinko-alüminyum esaslı alaşımlar için, gerilme-çevrim sayısı eğrileri (Wöhler diyagramı) elde edildi.

3. BULGULAR

3.1. Kimyasal Analiz Sonuçları

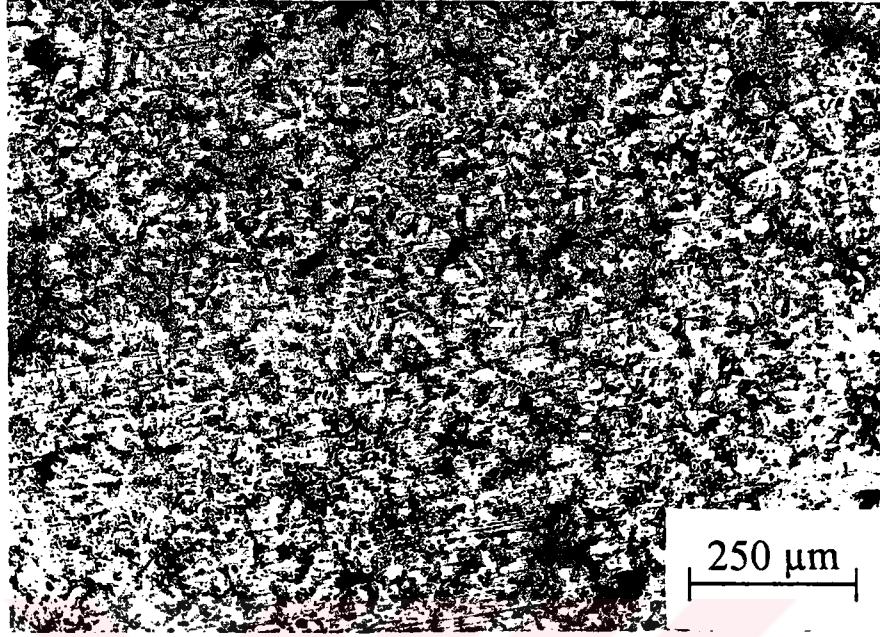
Alaşımın kimyasal bileşimi Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Alaşımın kimyasal bileşimi

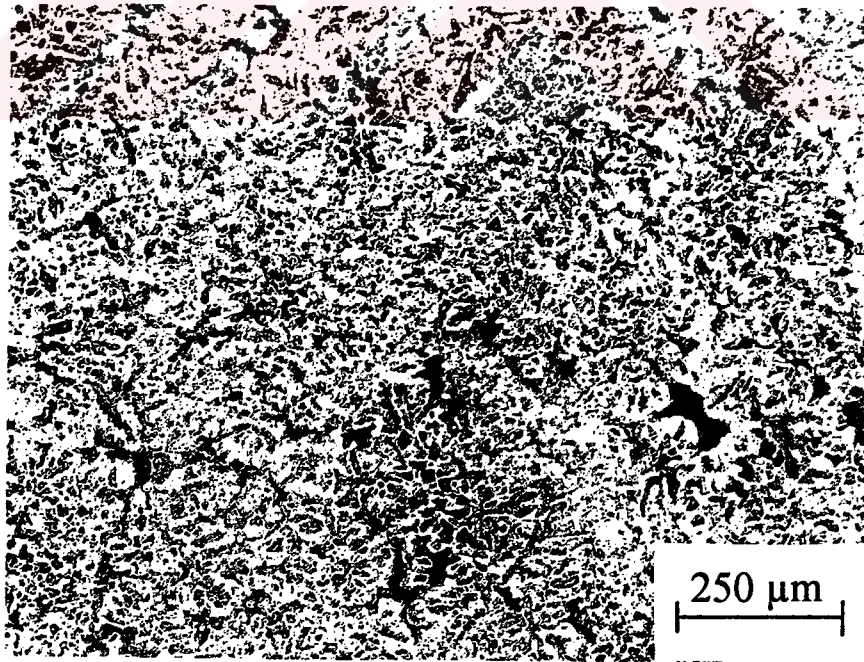
Alaşım	Kimyasal bileşim, (% ağırlık)			
	Zn	Al	Cu	Si
ZA-27	69.8	27.9	2.3	-
ZnAl35Cu2	62.2	35.6	2.2	-
ZnAl40Cu2	57.9	40.5	2.1	-
ZnAl40Cu2Si1	56.1	40.7	2.1	1.1

3.2. Alaşımın İç Yapısı

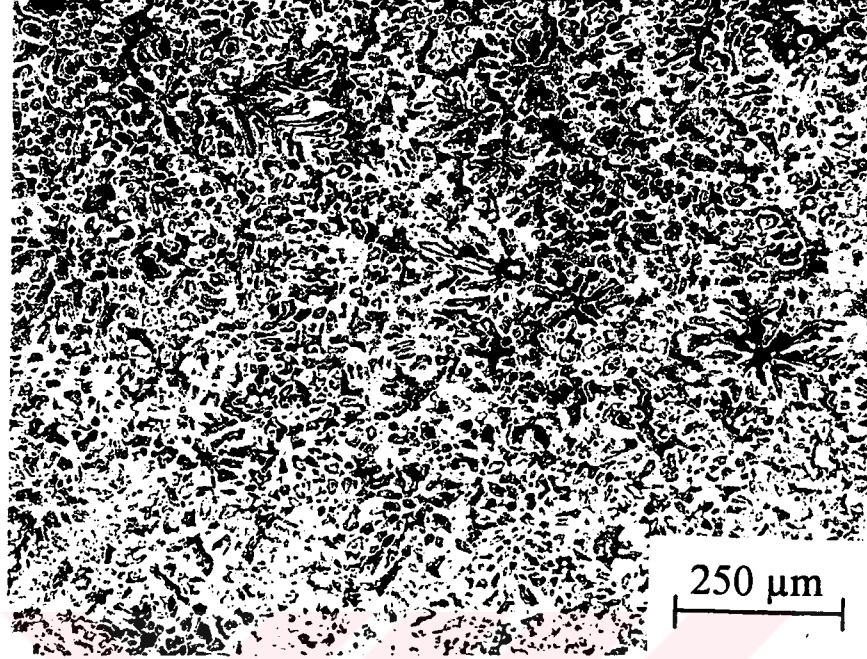
Ticari ZA-27 alaşımının dökülmüş durumdaki iç yapısı Şekil 10'da görüldüğü gibi, alüminyumca zengin α dendritleri ile bunları çevreleyen çinkoca zengin fazlardan oluşmaktadır. Üçlü ZnAl35Cu2 alaşımının dökülmüş durumdaki iç yapısının, Şekil 11'de görüldüğü gibi, alüminyumca zengin geniş α dendritleri ile bunların etrafını saran çinkoca zengin η ve ϵ gibi fazlardan oluştuğu gözlemlendi. Üçlü ZnAl40Cu2 alaşımının iç yapısı ise, ZnAl35Cu2 alaşımında olduğu gibi, alüminyumca zengin geniş α dendritleri ile bunları çevreleyen çinkoca zengin fazlardan oluşmaktadır (Şekil 12). Dörtlü ZnAl40Cu2Si1 alaşımının iç yapısında Şekil 13'te görüldüğü gibi, ZnAl40Cu2 alaşımından farklı olarak Si parçacıkları mevcuttur.



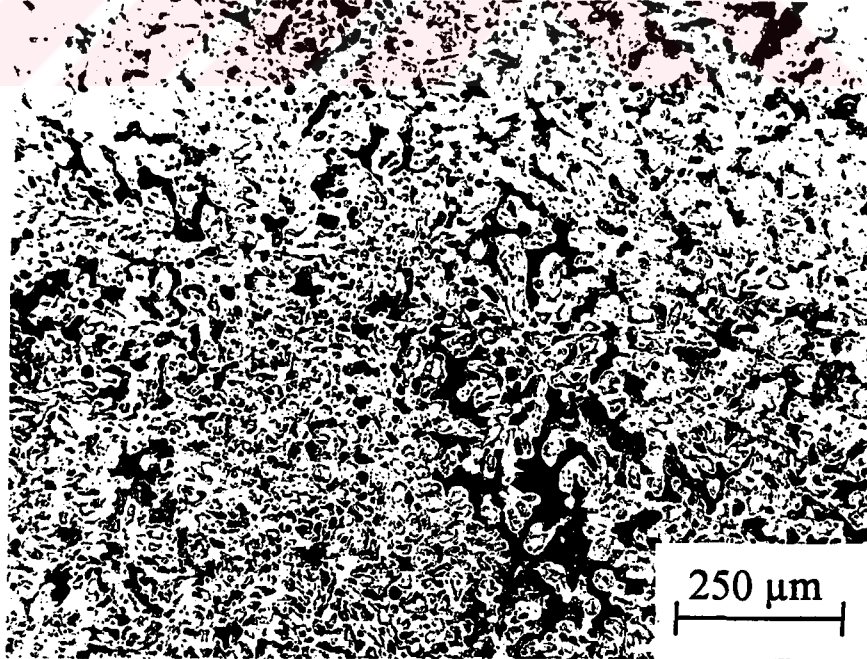
Şekil 10. ZA-27 alaşımının dökülmüş durumdaki iç yapısı



Şekil 11. ZnAl35Cu2 alaşımının dökülmüş durumdaki iç yapısı



Şekil 12. ZnAl40Cu2 alaşımının dökülmüş durumdaki iç yapısı



Şekil 13. ZnAl40Cu2Si1 alaşımının dökülmüş durumdaki iç yapısı

3.3. Mekanik Deneylerden Elde Edilen Sonuçlar

Alaşımın, dökülmüş durumdaki sertlik, çekme dayanımı ve kopma uzaması değerleri Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Mekanik deney sonuçları

Alaşım	Sertlik (BSD)	Çekme dayanımı (MPa)	Kopma uzaması, %
ZA-27	105	314	3
ZnAl35Cu2	112	319	3
ZnAl40Cu2	112	330	4
ZnAl40Cu2Si1	113	336	2

Bu tablodan, ZnAl40Cu2Si1 alaşımının en yüksek mukavemet değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca, çekme dayanımının artan alüminyum oranı ile arttığı ve ZnAl40Cu2 alaşımının diğer alaşımlardan daha yüksek kopma uzaması değerine sahip olduğu gözlemlendi. % 1' lik Si katkısının ZnAl40Cu2 alaşımının çekme dayanımını az da olsa artırdığı, kopma uzaması değerini ise düşürdüğü gözlemlendi. En düşük sertlik değeri, ticari ZA-27 alaşımından elde edildi. Çinko-alüminyum esaslı, diğer alaşımların sertlik değerlerinin ise, birbirine yakın olduğu görüldü.

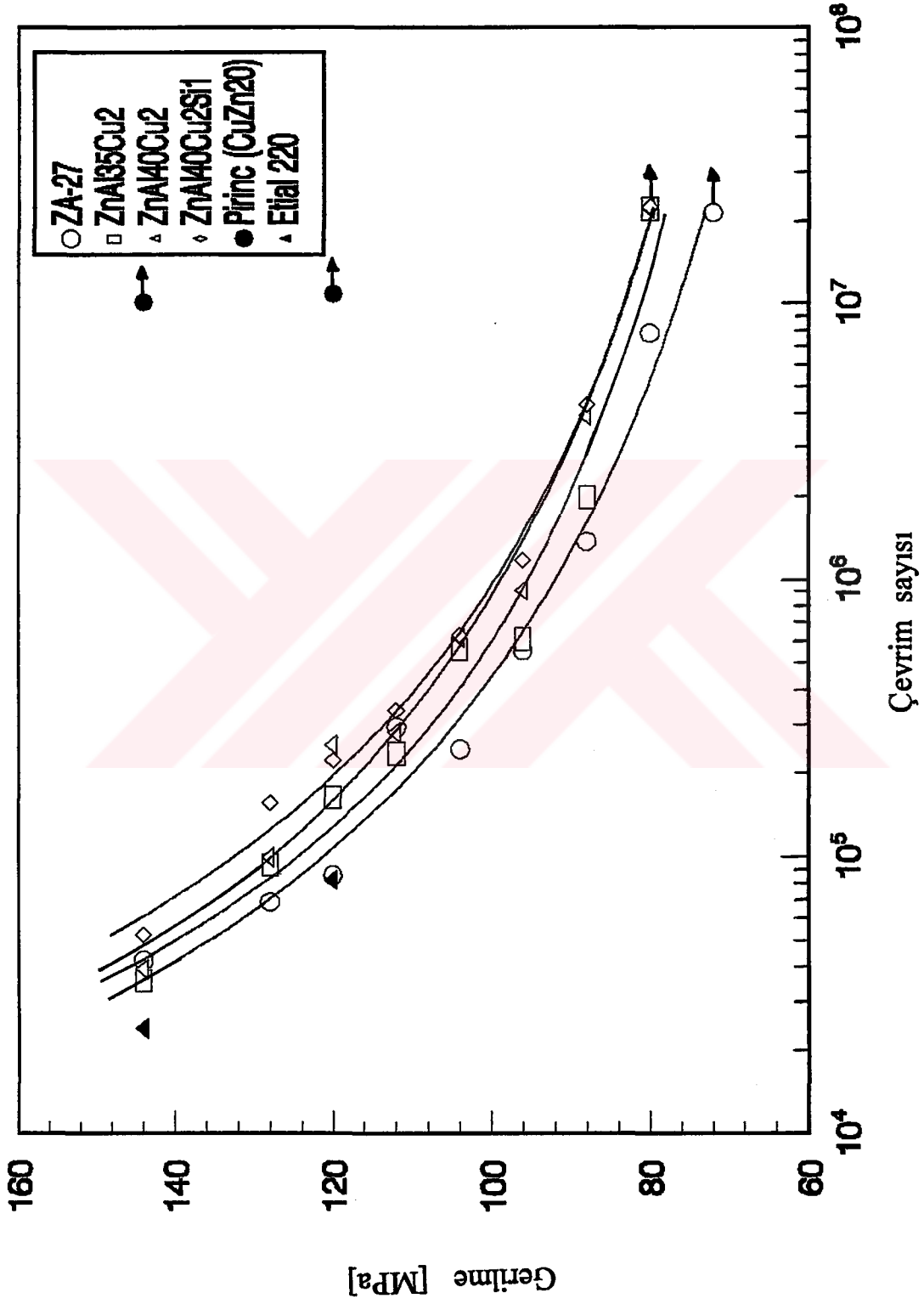
3.4. Yorulma Deneyi Sonuçları

Farklı gerilmeler altında yapılan deneylerde, alaşımlara ait numunelerin kırılmasına kadar geçen çevrim sayısı değerleri Tablo 6'da verilmiştir. Bu tablodaki verilerden yararlanılarak çizilen gerilme-çevrim sayısı eğrileri Şekil 14' te verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi, çinko-alüminyum esaslı alaşımlara ait gerilme-çevrim sayısı eğrileri, literatürde demir olmayan metaller için verilen yorulma eğrilerine benzemekte olup, uygulanan gerilme değeri düştükçe, alaşımların kırılmasına kadar geçen çevrim sayısı artmaktadır. Söz konusu alaşımlar içerisinde, en düşük yorulma ömrü ticari ZA-27 alaşımından, en yüksek yorulma ömrü ise ZnAl40Cu2Si1 alaşımından elde edildi. Ayrıca,

Tablo 6. Dönel eğmeli yorulma deneyi sonuçları

Alaşım	Gerilme (MPa)	Çevrim sayısı
ZA-27	72	21315000 *
	80	7775249
	88	1371615
	96	552387
	104	243670
	112	292898
	120	85259
	128	68334
	144	42151
ZnAl35Cu2	80	22005746 *
	88	1978650
	96	609085
	104	557138
	112	234975
	120	163210
	128	93109
	144	35588
ZnAl40Cu2	80	22137050 *
	88	3902176
	96	914977
	104	614830
	112	280262
	120	252702
	128	99215
	144	39210
ZnAl40Cu2Si1	80	22357610 *
	88	4290624
	96	1173908
	104	630380
	112	337385
	120	221508
	128	155791
	144	52158
Pirinç (CuZn20)	144	10050000 *
	120	10805000 *
Etial 220	144	23841
	120	82233

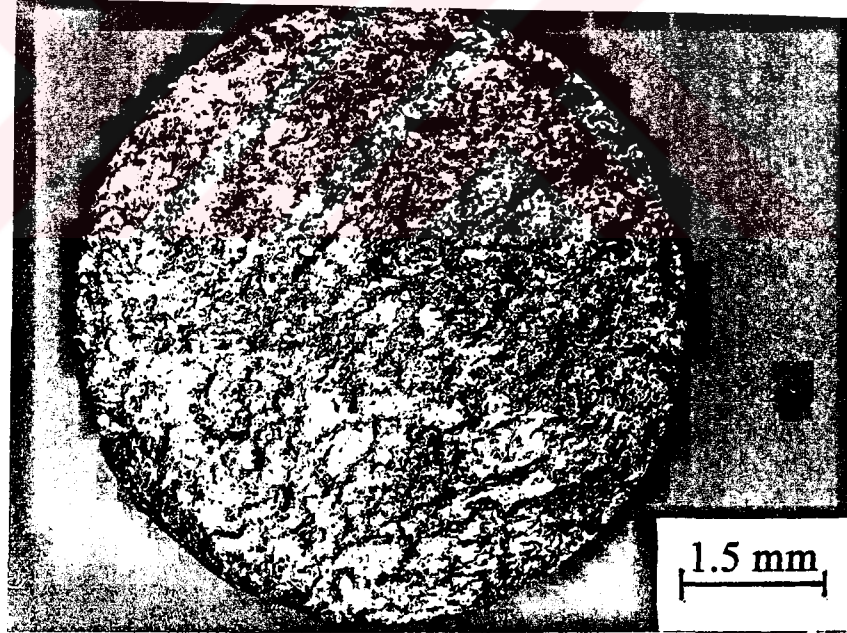
(* Belirtilen çevrim sayısına ulaşılmasına rağmen numune kırılmadı.)



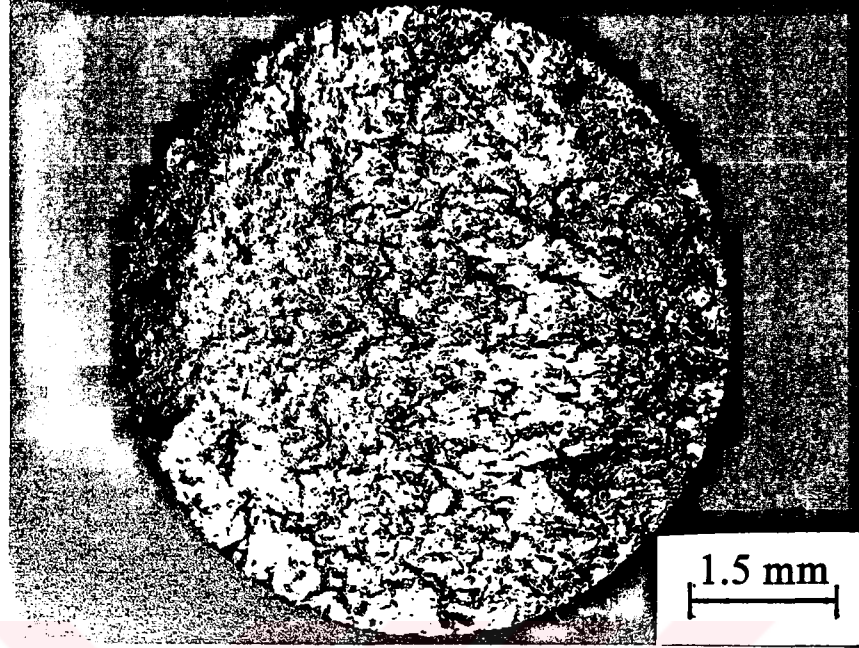
Şekil 14. Alaşımların gerilme-çevrim sayısı eğrileri

bu alaşımların çevrim sayısı değerlerinin artan alüminyum oranı ile arttığı gözlemlendi. 80 MPa'lık gerilme değerinde, ZA-27 alaşımı hariç, diğer çinko-alüminyum alaşımlarına ait numunelerin, çevrim sayısının 20×10^6 değerini aşmasına rağmen kırılmadığı gözlemlendi. ZA-27 alaşımında ise, bu durumun 72 MPa'lık gerilme değerinde ortaya çıktığı gözlemlendi. %1'lik Si katkısının, ZnAl40Cu2 alaşımının, belirli gerilmeler altındaki yorulma ömrünü az da olsa artırdığı görüldü. Aynı gerilme değerlerinde, çinko-alüminyum alaşımlarının, aşırı yaşlandırılmış durumdaki Etial 220 alaşımından daha yüksek, CuZn20 pirincinden daha düşük yorulma ömrüne sahip olduğu gözlemlendi.

Stereo ışık mikroskobu ile yorulma numuneleri üzerinde yapılan inceleme sonucunda, çinko-alüminyum esaslı alaşımların kırılma yüzeylerinin hemen hemen aynı özelliklere sahip olduğu görüldü. Bu nedenle, söz konusu alaşımlardan sadece bir tanesinin (ZA-27), düşük ve yüksek gerilme değerleri altında yapılan yorulma deneyleri sonucunda kırılan bazı numunelerinin kırılma yüzeylerine ait fotoğraflar sırasıyla, Şekil 15 ve 16'da verilmiştir.



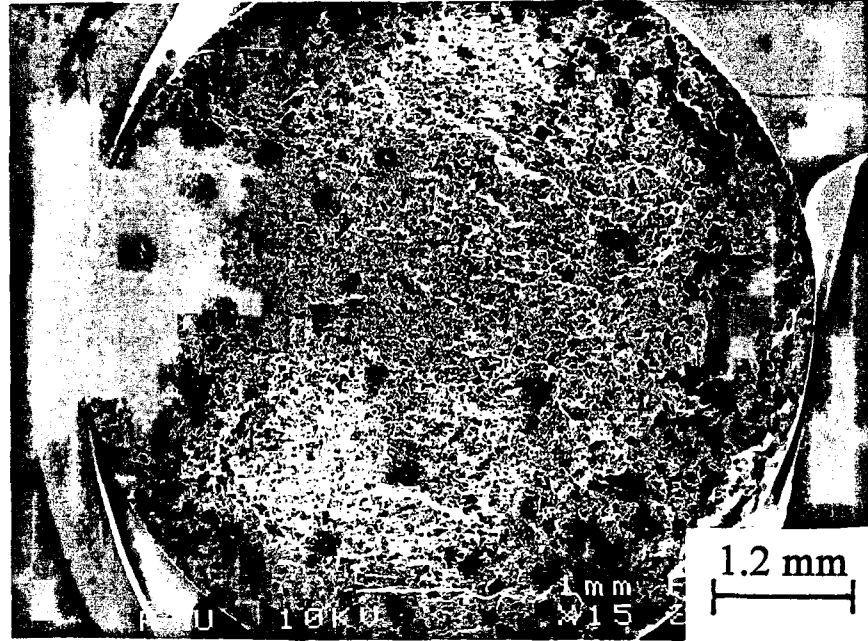
Şekil 15. 80 MPa'lık gerilme değerinde yorulma deneyine tabi tutulan ZA-27 alaşımına ait numunenin kırılma yüzeyinin genel görünümü



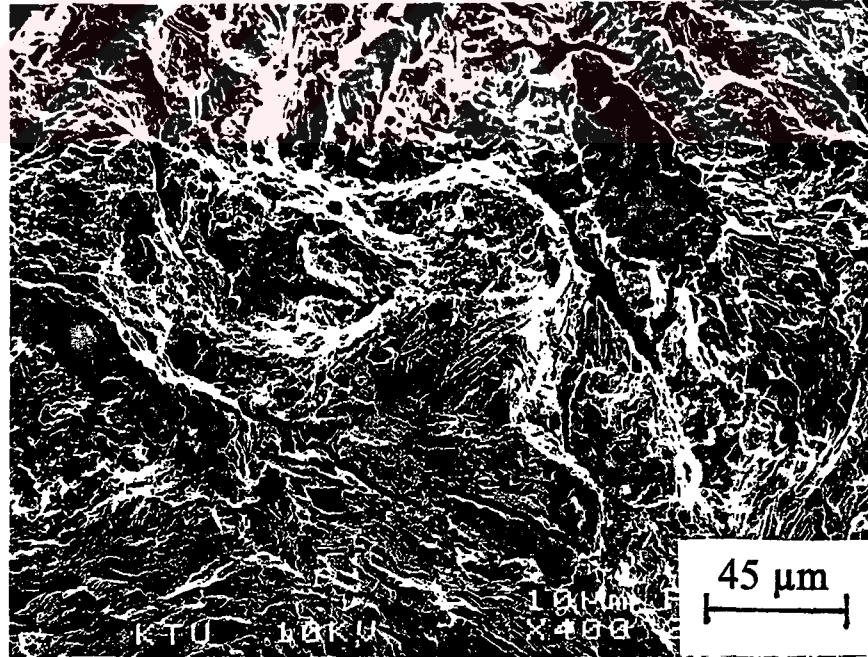
Şekil 16. 144 MPa'lık gerilme değerinde yorulma deneyine tabi tutulan ZA-27 alaşımına ait numunenin kırılma yüzeyinin genel görünümü

Şekillerde verilen fotoğraflardan görüldüğü gibi, söz konusu alaşımların kırılma yüzeyleri, tipik yorulma kırılması özelliklerine sahip olup, iki ana bölgeden oluşmaktadır. Bunlardan birincisi, yorulma çatlaklarının başladığı noktaları içeren mat bir alan ile çatlağın ilerlediği parlak, pürüzsüz bir alandan oluşmaktadır. İkincisi ise, kaba ve pürüzlü, bir yüzey görünümünde olup, deneye tabi tutulan numunenin son yük çevrimi etkisiyle kırıldığı bölgeyi göstermektedir. Şekil 15 ve 16'dan görüldüğü gibi, uygulanan gerilme arttıkça ikinci bölgenin alanı artmaktadır.

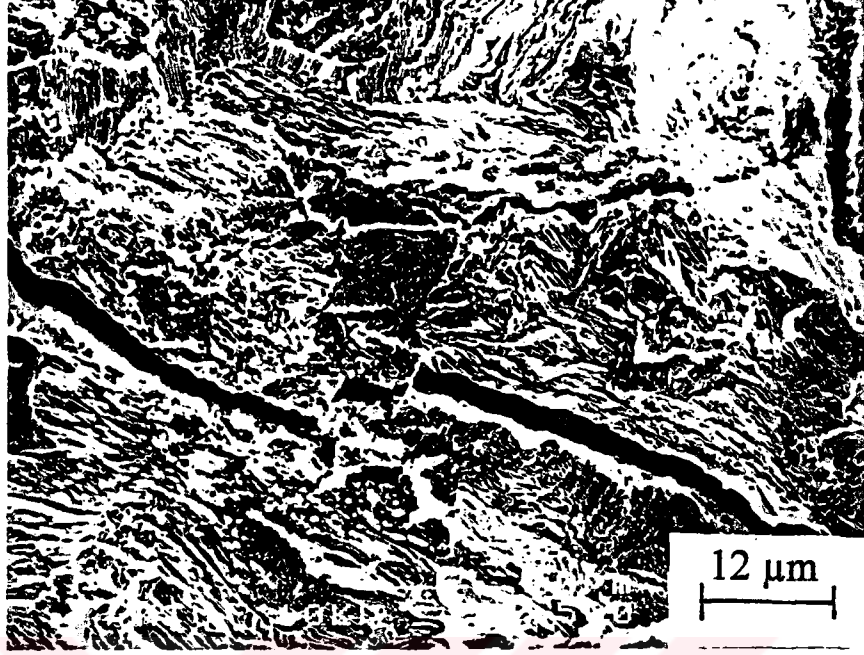
Ayrıca, yorulma sonucunda kırılan bütün numunelerin kırılma yüzeyleri taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelendi. Ancak, bunlardan yalnız ZA-27 alaşımının kırılma yüzeyinden farklı büyültmelerde çekilen SEM fotoğrafları Şekil 17, 18 ve 19'da verildi. Şekil 17'de verilen SEM fotoğrafı, söz konusu alaşımın oldukça gevrek bir kırılma davranışı sergilediğini göstermektedir. Aynı kırılma yüzeyinde meydana gelen çatlaklar ile diğer detaylar Şekil 18'deki SEM fotoğrafında görülmektedir. Şekil 19'daki SEM fotoğrafı ise, aynı kırılma yüzeyinin ayrıntılarını göstermektedir. Nitekim, bu fotoğraftan alaşımın



Şekil 17. 72 MPa'lık gerilme altında yorulma deneyine tabi tutulan ZA-27 alaşımına ait numunenin kırılma yüzeyinin SEM görüntüsü



Şekil 18. 72 MPa'lık gerilme altında yapılan yorulma deneyi sonucunda kırılan ZA-27 alaşımına ait numunenin kırılma yüzeyindeki yorulma çatlaklarının ve diğer detayların SEM görüntüsü



Şekil 19. 72 MPa'lık gerilme altında yapılan yorulma deneyi sonucunda kırılan ZA-27 alaşımına ait numunenin kırılma yüzeyinin ayrıntılarını gösteren SEM fotoğrafı

lamelli yapısı ile yorulma çatlaklarının hem lamel hem de tane sınırları boyunca ilerleme şekli görülmektedir.

4. İRDELEME

Yorulma deneyleri sonucunda, incelenen çinko-alüminyum esaslı alaşımların Wöhler eğrilerinin birbirine benzediği ve yorulma ömrü değerlerinin birbirine yakın olduğu gözlemlendi. Ancak, alüminyum oranı arttıkça yorulma ömrünün az da olsa arttığı belirlendi. Söz konusu alaşımlar içerisinde en uzun yorulma ömrü, en yüksek mukavemet değerine sahip olan ZnAl40Cu2Si1 alaşımından, en kısa yorulma ömrü ise, en düşük çekme mukavemetine sahip olan ticari ZA-27 alaşımından elde edildi. Bu durum, literatürde de [16] belirtildiği gibi, sertlik ve mukavemeti yüksek olan malzemelerin yorulma dayanımının yüksek veya yorulma ömrünün uzun olduğunu göstermektedir.

Sıkı düzenli hegzagonal (SDH) yapıya sahip olan çinkonun, yüzey merkezli kübik (YMK) yapılı alüminyumdan daha gevrek olduğu bilinmektedir [10]. Alüminyum oranı arttıkça, alaşımların sünekliliği artmakta, yorulma çatlaklarının oluşumu gecikmekte ve çatlakların ilerleme hızı düşmekte ve bunun sonucunda yorulma ömrü uzamaktadır. Nitekim, uzun ömürlü yorulmada, yorulma çatlaklarının, iç yapıda bulunan kısmen yumuşak tanelerde, pekleşme sonucunda meydana gelen gevreklik nedeniyle oluştuğu ifade edilmektedir [18]. Şöyle ki; tekrarlı yüklerin etkisiyle, yumuşak tanelerde akma sonucunda meydana gelen sürekli plastik deformasyon, pekleşmeye neden olmaktadır. Pekleşme sonucu gevrekleşen tanelerde yorulma çatlakları oluşmaktadır [18]. Dolayısıyla, yorulma malzemenin gevrekleşmesi sonucunda meydana gelmektedir.

Çinko-alüminyum esaslı alaşımların mukavemet değerlerinin, alaşım elementi katkısıyla veya çökelme sertleşmesi yöntemiyle büyük ölçüde artırıldığı bilinmektedir [14]. Çinko-alüminyum alaşımlarının sertlik ve mukavemet değerlerini büyük ölçüde artıran bakır katkısının, söz konusu alaşımların yorulma davranışlarını iyileştirmesi beklenir. % 1'lik silisyum katkısının ZnAl40Cu2 alaşımının yorulma davranışlarını az da olsa iyileştirdiği belirlenmiştir. Bu durum, iç yapıda çözünmeden kalan silisyum parçacıklarının yorulma çatlaklarının ilerlemesine engel teşkil etmesinden ve böylece çatlak ilerleme hızını düşürmesinden kaynaklanmış olabilir. Ayrıca, % 1'lik silisyum katkısının söz konusu alaşımın mukavemet değerlerini az da olsa artırdığı gözlemlenmiştir. Mukavemet değerlerindeki bu artış, yorulma dayanımı ve dolayısıyla yorulma ömrünü de artırmış olabilir.

Yorulma deneyleri sonucunda, çinko-alüminyum esaslı alaşımların, aşırı yaşlandırılmış durumdaki ticari Etial 220 alaşımından daha yüksek yorulma dayanımına veya daha uzun yorulma ömrüne sahip olduğu belirlendi. Ancak, piyasadan tedarik edilen CuZn20 pirincinin, çinko-alüminyum esaslı alaşımlardan çok daha üstün yorulma davranışı sergilediği görüldü. Bu durum, pirincin daha yüksek sertlik, mukavemet ve süneklik değerlerine sahip olmasından kaynaklanmış olabilir.

ZA-27 alaşımı hariç, bu çalışmada incelenen diğer çinko-alüminyum esaslı alaşımlarda, 80 MPa'dan daha düşük gerilme değerlerinde yorulma meydana gelmediği gözlemlendi. Bu nedenle, söz konusu gerilme değeri bu alaşımlar için yorulma dayanımı sınırı olarak kabul edilebilir. ZA-27 alaşımında ise, 72 MPa'dan daha düşük gerilmelerde aynı durum söz konusudur. Literatürde [16] belirtildiği gibi, demir olmayan malzemeler için yapılan yorulma deneylerinde, herhangi bir gerilme altında, çevrim sayısı 20×10^6 değerine ulaştığında deneye son verilerek bu gerilme değeri söz konusu malzeme için yorulma dayanımı sınırı olarak kabul edilebilir.

Çinko-alüminyum esaslı alaşımların üretiminde kullanılan döküm yönteminin, söz konusu alaşımların yorulma davranışını büyük ölçüde etkilediği bilinmektedir [10]. Kokil döküm yöntemi ile üretilen çinko-alüminyum esaslı alaşımlarda, basınçlı döküm yöntemi ile üretilen alaşımlara göre daha fazla gözenek oluştuğu bilinmektedir [25]. Söz konusu gözenekler, yorulma çatlaklarının oluşmasında önemli bir etken olarak ortaya çıkmaktadır [26]. Bu nedenle, döküm şartlarını kontrol etmek veya gözenek oluşumuna imkan vermeyen basınçlı döküm yöntemi uygulamak suretiyle çinko-alüminyum esaslı alaşımların hem yorulma, hem de diğer mekanik özelliklerinin iyileştirilebileceği sonucuna varılabilir.

5. SONUÇLAR

1. İncelenen çinko-alüminyum esaslı alaşımların Wöhler eğrileri birbirinin benzeri olup, yorulma ömrü değerleri birbirine yakın olmakla birlikte, alüminyum oranı arttıkça, söz konusu alaşımların yorulma dayanımı veya yorulma ömrü az da olsa artmaktadır.
2. Çinko-alüminyum esaslı alaşımların sertlik ve mukavemet değerleri arttıkça, yorulma dayanımı veya yorulma ömrü artmaktadır.
3. ZA-27 hariç, bu çalışmada incelenen çinko-alüminyum esaslı alaşımlarda, 80 MPa'dan daha düşük gerilme değerlerinde yorulma meydana gelmemektedir. Bu nedenle, söz konusu gerilme değeri bu alaşımlar için yorulma dayanımı sınırı olarak kabul edilebilir.
4. % 1 'lik silisyum katkısı, 112-148 MPa gerilme aralığında, $ZnAl_{40}Cu_2$ alaşımının yorulma ömrünü az da olsa artırmaktadır.
5. Çinko-alüminyum esaslı alaşımlar, aşırı yaşlandırılmış durumdaki Etial 220 alaşımından daha yüksek yorulma dayanımı ve daha uzun yorulma ömrüne sahiptir. Ancak, piyasadan tedarik edilen CuZn20 pirinci, söz konusu alaşımlardan daha üstün yorulma davranışı sergilemektedir.

6. KAYNAKLAR

1. Calayag, T.S., The Practicality of Using Zinc-Aluminum Alloys for Friction-Type Bearings, 25th Ann. CIM Conf. of Metallurgists, August 1986, Toronto, Int. Symp. on Zinc-Aluminum (ZA) Casting Alloys, 305-312.
2. Gervais, E. ve Loong, C.A., New ZA Alloys in Die Casting, 11th International Pressure Die Casting Conference, June 1984, Lyon, France, 1-25.
3. Apelian, D., Paliwal, M. ve Herrschaft, D.C., Casting with Zinc Alloys, Journal of Metals, (1981) 12-19
4. Altorfer, K.J., Zinc Alloys Compete with Bronze in Bearings and Bushings, Metal Progress, (1982) 29-31.
5. Lee, P.P., Savaşkan, T. ve Laufer, E., Wear Resistance and Microstructure of Zn-Al-Si and Zn-Al-Cu Alloys, Wear, 117 (1987) 79-89.
6. Presnyakov, A.A., Gorban, Y.A. ve Chernyakova, V.V., Russ J. Phys. Chem., 35, 6 (1961) 632-633.
7. Gervais, E., ZA Alloys-A Challenge to the Metals Industry, CIM Bulletin, 80, 900 (1987) 67-142.
8. Murphy, S., Solid-Phase Reactions in the Low Copper Part of the Al-Cu-Zn System, Z. Metallkunde, 71 (1980) 96-102.
9. Zhu, Y.H., Savaşkan, T. ve Murphy, S., Phase Transformations in Quench-Aged Zn-Al-Si Alloys, Materials Research Society Synop. Proc., 21, 1984, New York, 835-840.
10. Goodwin, E. ve Ponikvar, A.L., Engineering Properties of Zinc Alloys, Third Edition, International Lead Zinc Research Organization Inc., 1989.
11. Savaşkan, T. ve Murphy, S., Creep Behaviour of Zn-Al-Cu Bearing Alloys, Z. Metallkunde, 74 (1983) 76-82.

12. Gervais, E., Barnhurst, R.J. ve Loon, C.A., An Analysis of Selected Properties of ZA Alloys, Journal of Metals, 37, 11 (1985) 43-47.
13. Çuvalcı, H., Çinko-Alüminyum Esaslı Yatak Alaşımlarının İç Yapı ve Tribolojik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1989.
14. Erdöl, Ş., Çinko-Alüminyum Esaslı Alaşımlarda Mukavemet Artırma Yöntemlerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1989.
15. Askeland, D.R., The Science and Engineering of Materials, SI Edition, Van Nostrand Reinhold Co. Ltd., 1988.
16. Çimenoğlu, H. ve Kayalı, S., Malzemelerin Yapısı ve Mekanik Davranışları, İ.T.Ü. Kimya-Metalurji Fakültesi, İstanbul, 1991.
17. Perry, C.C., Fatigue Testing in Materials Laboratory Courses, Fatigue Dynamics Inc., U.S.A., 1988.
18. Esin, A., Properties of Materials for Mechanical Design, Middle East Technical University, Gaziantep, 1981.
19. Gasem, Z. ve Khan, Z., Fatigue Life Predictions for Notched Al-2.5 Mg Alloy in Corrosive Environment, Materials Science and Technology, 11 (1993) 159-167.
20. Swanson, S.R., Handbook of Fatigue Testing, ASTM Special Technical Publication 566, U.S.A., 1974.
21. Azimi, H.R. ve Miller, G.A., Fatigue Crack Initiation in Nonferrous Materials: A Model Assesment, Journal of Testing and Evaluation, 21, 4 (1993) 221-227.
22. Murakami, Y., Toriyoma, T. ve Coudert, E.M., Instructions for a New Method of Inclusion Rating and Correlations with the Fatigue Limit, Journal of Testing and Evaluation, 22, 4 (1994) 318-326.
23. Kayalı, E.S., Ensari, C. ve Dikeç, F., Metalik Malzemelerin Mekanik Deneyleri, İ.T.Ü. Kimya-Metalurji Fakültesi, İstanbul, 1990.

24. Güleç, Ş. ve Aran, A., Çelik ve Dökme Demirlerin Yorulma Dayanımı, MBEAE Matbaası, Gebze, 1993.

25. Ashrafzede, F., Young, J.M. ve Kondic, V., Solidification Structures and Mechanical Properties of Zn-27 Al Alloy Cast in Metal Moulds, Materials Science and Technology, 3 (1987) 665-670.

26. Hariprasad, S., Sastry, S.M.L., Jerina, K.L. ve Laderich, R.S., Fatigue Crack Growth Rates and Fracture Toughness of Rapidly Solidified Al-8.5 Pct Fe-1.2 Pct V-1.7 Pct Si Alloys, Metallurgical and Materials Transactions A, 25A (1994) 1005-1013.



7. ÖZGEÇMİŞ

Murat AYDIN; 1972 yılında Trabzon'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini bu ilde tamamladıktan sonra, 1988 yılında Trabzon Lisesi'nden mezun oldu. Aynı yıl K.T.Ü. Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nü kazandı. 1992 yılında makina mühendisi ünvanı ile mezun oldu. Aynı yıl, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı. Halen, Yüksek lisans öğrenimine devam etmekte olup, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü'nde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.

