

33776

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

ÇİNKO-ALÜMİNYUM ESASLI ALAŞIMLARDAN ÜRETİLEN KAYMALI

YATAKLARIN TRİBOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Mak.Müh. Gençağa PÜRÇEK

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde

"Makina Yüksek Mühendisi"

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 18.08.1994

Tezin Sözlü Savunma Tarihi : 08.09.1994

33776

Tezin Danışmanı : Prof.Dr. Temel SAVAŞKAN

Jüri Üyesi : Prof.Dr. Ahmet ARAN

Jüri Üyesi : Doç.Dr. Aydın BIYIKLIOĞLU

Enstitü Müdürü : Prof.Dr. Temel SAVAŞKAN

Ağustos 1994

T.C. TÜRKİYE

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, geliştirilmekte olan çinko-alüminyum esaslı alaşımlardan imal edilecek kaymalı yatakların, uygulamadaki tribolojik özelliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu nedenle, çinko-alüminyum esaslı alaşımlardan imal edilen kaymalı yataklar, gerçek yatak şartlarını karakterize eden bir deney düzeneğinde incelenmiştir.

Tez çalışması konusunun belirlenmesinde ve çalışmaların gerçekleştirilmesinde, kendisinden her türlü yardım ve fedakarlığı gördüğüm sayın hocam Prof.Dr. Temel SAVAŞKAN'a teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca, yapıcı eleştirilerinden dolayı, Arş.Gör. Tefik KÜÇÜKÖMEROĞLU'na, Arş.Gör. Hamdullah ÇUVALCI'ya ve Arş.Gör. Hüseyin AYAR'a teşekkür ederim. Aynı zamanda, Makina Bölümü Malzeme Laboratuvarı ve Talaşlı İmalât Atölyesi teknisyenlerine teşekkür ederim.

Trabzon, Ağustos 1994

Gençoğa PURÇEK

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	IV
SUMMARY.....	V
ŞEKİL LİSTESİ.....	VI
TABLO LİSTESİ.....	VIII
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Çinko-Alüminyum Alaşımlarının Özellikleri.....	2
1.2.1. Yapısal Özellikler.....	2
1.2.2. Fiziksel Özellikler.....	6
1.2.3. Mekanik Özellikler.....	7
1.2.4. Tribolojik Özellikler.....	10
1.3. Çinko-Alüminyum Alaşımlarının Kullanım Alanları....	17
1.4. Zn-Al Esaslı Alaşımlardan Üretilen Yatakların Tasarımı.....	18
1.5. Literatür Özeti ve Çalışmanın Amacı.....	20
2. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	21
2.1. Alaşımların Üretimi ve Isıl İşlemler.....	21
2.2. Metalografik incelemeler.....	21
2.3. Mekanik Deneyler.....	22
2.4. Yoğunluk Ölçümleri.....	22
2.5. Aşınma Deney Düzeneği.....	22
2.6. Aşınma Deneyleri.....	27
3. BULGULAR.....	29
3.1. Kimyasal Analiz Sonuçları.....	29
3.2. Alaşımların İçyapıları.....	29
3.3. Mekanik Deney Sonuçları.....	34
3.4. Aşınma Deneyi Sonuçları.....	35
4. İRDELEME.....	42
5. SONUÇLAR.....	44
6. KAYNAKLAR.....	45
7. ÖZGEÇMİŞ.....	48

ÖZET

Değişik kimyasal bileşimlere sahip, üçlü çinko-alüminyum-bakır, dördü çinko-alüminyum-bakır-silisyum ve ticari ZA-27 alaşımları kokil döküm yöntemiyle üretildi. Alaşımlardan imal edilen kaymalı yatakların aşınma davranışları, yeni bir aşınma deney düzeneği yardımıyla incelendi.

İncelemeler sonucunda, gerek dökülmüş gerekse ısıtılmış işlem görmüş durumdaki çinko-alüminyum esaslı alaşımlardan imal edilen yatakların, geleneksel bir yatak malzemesi olan DIN 1705 (CuSn12) bronzundan üretilen yataklardan daha üstün aşınma davranışı sergiledikleri gözlemlendi. Ayrıca, dökülmüş durumdaki çinko-alüminyum esaslı alaşımlardan imal edilen yatakların, ısıtılmış işlem görmüş durumdaki alaşımlardan imal edilen yataklara göre daha üstün aşınma davranışı sergiledikleri belirlendi. Nitekim, çinko-alüminyum esaslı alaşımlardan imal edilen yataklar içerisinde en yüksek aşınma dayanımı, dökülmüş durumdaki dördü monotektoid esaslı $ZnAl_4Cu_2Si_2$ alaşımından, en düşük aşınma dayanımı ise, stabilize edilmiş durumdaki bakır içeren üçlü $ZnAl_6Cu_2$ alaşımından imal edilen yataklardan elde edildi.

Yapılan değerlendirmeler sonucunda, orta hız ve aşırı yüklenme gerektiren uygulamalarda, bakır ve silisyum içeren Zn-Al esaslı monotektoid alaşımlardan imal edilen yatakların, diğer çinko-alüminyum esaslı alaşımlar ve bronzdan imal edilen yataklardan daha üstün tribolojik özelliklere sahip oldukları belirlendi.

Anahtar Kelimeler: Çinko-alüminyum alaşımları, Triboloji, Kaymalı yataklar, Yatak alaşımları.

SUMMARY

An Investigation of Tribological Properties of the Journal Bearings Produced from Zinc-Aluminum-Based Alloys.

A ternary zinc-aluminum-copper, a quaternary zinc-aluminum-copper-silicon and a commercial ZA-27 alloys were produced by permanent mould casting. The wear behavior of the plain bearings produced from these alloys, was examined in the as-cast and heat-treated conditions, using a new bearing test rig.

It was found that all the bearings produced from zinc-aluminum based alloys in the as-cast and heat-treated conditions exhibited superior wear behavior than the bearings produced from the DIN-1705 bronze. In addition, all the bearings produced from the alloys in the as-cast condition exhibited superior wear behavior than the bearings produced from heat-treated alloys. Among the zinc-aluminum based alloys, the highest wear resistance was obtained with the bearings produced from silicon and copper containing quaternary $ZnAl_4Cu_2Si_2$ alloy in the as-cast and heat-treated conditions, while the bearing produced from copper containing ternary $ZnAl_6Cu_2$ alloy shown the lowest wear resistance in the stabilized condition.

It was also found that, among the bearings tested under intermediate speed and high load conditions, the best performance was obtained from the bearings produced of zinc-aluminum based monotectoid alloys containing copper and silicon

Key Words: Zinc-aluminum alloys, Tribology, Journal bearings, Bearing alloys.

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 1. İkili çinko-alüminyum faz diyagramı.....	4
Şekil 2. Murphy'ye göre, Zn-Al-Cu sisteminin 350°C sı- caklıktaki izotermal kesiti.....	5
Şekil 3. Stribeck eğrisi.....	12
Şekil 4. Tipik bir aşınma eğrisi.....	12
Şekil 5. Ötektoid esaslı üçlü Zn-Al alaşımlarının aşınma eğrileri.....	15
Şekil 6. Monotektoid esaslı üçlü Zn-Al alaşımlarının aşınma eğrileri.....	16
Şekil 7. CuPb30 ve ZnAl38Cu2 alaşımlarında meydana ge- len aşınmanın uygulanan yüke göre değişimi.....	17
Şekil 8. Deney düzeneğinin mil eksenine paralel kesiti...	23
Şekil 9. Deney düzeneğinin mil eksenine dik kesiti.....	24
Şekil 10. Deney düzeneğinin genel görünüşü.....	26
Şekil 11. Deney düzeneğinin yakından görünüşü.....	26
Şekil 12. Deneylerde kullanılan yatakların görünüşü.....	27
Şekil 13. ZA-27 alaşımının dökülmüş durumdaki içyapısı....	30
Şekil 14. ZnAl27Cu2Si2 alaşımının dökülmüş durumdaki içyapısı.....	30
Şekil 15. ZnAl40Cu2Si2 alaşımının dökülmüş durumdaki iç- yapısı.....	31
Şekil 16. ZnAl60Cu2 alaşımının dökülmüş durumdaki içya- pısı.....	31
Şekil 17. ZA-27 alaşımının stabilize edilmiş durumdaki içyapısı.....	32
Şekil 18. ZnAl27Cu2Si2 alaşımının stabilize edilmiş iç- yapısı.....	33
Şekil 19. ZnAl40Cu2Si2 alaşımının stabilize edilmiş du- rumdaki içyapısı.....	33

Şekil 20. ZnAl60Cu2 alaşımının stabilize edilmiş durum- daki içyapısı.....	34
Şekil 21. Zn-Al esaslı alaşımlardan imal edilen yatakların sıcaklığının çalışma zamanına göre değişimini gösteren eğri.....	36
Şekil 22. İncelenen alaşımlardan imal edilen yatakların aşınma dayanımını gösteren eğriler.....	40
Şekil 23. ZA-27 alaşımından imal edilen kaymalı yatağın aşınmış yüzeyinin görüntüsü.....	41
Şekil 24. Bronzdan imal edilen kaymalı yatağın aşınmış yüzeyinin görüntüsü.....	41



TABLO LİSTESİ

Sayfa
No

Tablo 1. İkili çinko-alüminyum denge diyagramında görülen faz dönüşümleri.....	4
Tablo 2. Ticari Zn-Al alaşımlarının fiziksel özellikleri...6	6
Tablo 3. Bazı ticari Zn-Al alaşımlarının mekanik özellikleri.....	9
Tablo 4. Alaşımların kimyasal bileşimi.....	29
Tablo 5. Mekanik deney sonuçları.....	35
Tablo 6. Aşınma deneyi sonuçları.....	37

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Günümüzde bronz halen önemli kaymalı yatak malzemesi olarak kullanılmakla birlikte, genel makina imalatı ve uygulamalarına yönelik kaymalı yatak yapımında kullanılmak üzere, çinko-alüminyum esaslı alaşımların geliştirilmesine yönelik çalışmalar sürdürülmektedir [1]. Özellikle, düşük hız ve aşırı yük altında çalışan yatakların imalatında, çinko-alüminyum esaslı alaşımların kullanılmaya başlanmasıyla, bronzun pazar payı gittikçe azalmıştır [1].

İlk defa, 1930-1940 yılları arasında %4 Al, %0.03 Mg ve çok az oranlarda bakır içeren, ZAMAK-3 ve ZAMAK-5 diye adlandırılan Zn-Al esaslı, basınçlı döküm alaşımları üretilmiştir [2]. Daha sonra II. Dünya Savaşı yıllarında, Almanya'da bakır tedarikinde karşılaşılan güçlükler nedeniyle, bronzun yerine Zn-Al esaslı yatak alaşımları üretilmeye başlanmıştır [3]. Savaş sonrası malzeme ihtiyacı daha kolay karşılanabildiğinden, pek çok uygulama için tekrar bronza dönülmüştür. Ancak, II. Dünya Savaşı'ndan sonraki yıllarda bile Avrupa'daki bazı firmalar Zn-Al esaslı alaşımları geliştirmeye devam etmişlerdir. 1962 yılında ILZRO (International Lead-Zinc Research Organization) tarafından ILZRO-12 (ZA-12) ve ILZRO-16 (ZA-16) alaşımları üretilmiş, ardından 1970'li yıllarda Norando Araştırma Merkezi tarafından ZA-8 ve ZA-27 ticari isimli çinko alüminyum alaşımları geliştirilmiştir [4]. Yine bu yıllarda, Avusturya'daki Voest-Alpina firması tarafından, ALZEN alaşımları olarak bilinen ve %27-70 Al, %0-5 Cu ve %0-5 Si içeren çinko alüminyum alaşımları geliştirilmiştir [5]. Geliştirilen bu alaşımlardan, ALZEN-305 olarak bilinen ve %32 Al, %5 Cu içeren alaşım halen İngiltere'de yatak malzemesi olarak kullanılmaktadır [5].

Esas itibarı ile Zn-Al esaslı alaşımların incelenmesi ve geliştirilmesi çalışmaları, Avrupa'da yakın bir geçmişte yoğunluk kazanmış olup, günümüzde de büyük bir hızla devam

etmektedir [6].

Son yıllarda, düşük oranlarda bakır ve/veya silisyum içeren Zn-Al esaslı yatak alaşımlarının kullanımları artmış olmasına rağmen, bakır içeren alaşımlarda görülen boyutsal kararsızlık her zaman bir dezavantaj teşkil etmiştir [7]. Bu boyutsal kararsızlık, sıvı metalin katılaşması sırasında oluşan kararsız dengeli (metastabil) fazların zamanla kararlı hale dönüşmesinden kaynaklanmaktadır [7].

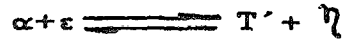
Son zamanlarda kullanımı giderek yaygınlaşan çinko-alüminyum esaslı yatak alaşımlarının, geleneksel yatak malzemelerine göre pek çok üstünlüklere sahip olduğu bilinmektedir [4]. Bu üstünlükler, çinko-alüminyum esaslı alaşımların aşınma dayanımı ve özgül mukavemetlerinin (mukavemet/yoğunluk) yüksek olması, alaşım elementlerinin kolay ve ucuza temin edilebilmesi, döküm ve ısı işleme özellikleri ile sert parçacıkları yutma özelliğinin iyi olması, aşırı çalışma şartlarında üstün tribolojik davranış sergilemesi şeklinde sıralanabilir. Bunların yanında, üstün mekanik özelliklere sahip olması, kolaylıkla işlenebilmesi, ergitme ve döküm özelliklerinin iyi olması bu alaşımların göze çarpan diğer avantajlarını teşkil etmektedir [2].

1.2. Çinko-Alüminyum Alaşımlarının Özellikleri

1.2.1. Yapısal Özellikler

Dökülmüş durumdaki ikili Zn-Al esaslı alaşımların iç yapıları, alüminyumca zengin α dendritleri ile bunları çevreleyen çinkoca zengin dendritler arası fazlardan oluşmaktadır [7]. Silisyum içeren üçlü alaşımların iç yapıları ise, ikili alaşımlardan farklılık göstermektedir. Silisyum katılaşma sırasında sıvı metalden ayrılarak katılan ilk metal olduğundan, daha sonra katılan α dendritleri için çekirdek görevi yapmaktadır [8]. Söz konusu alaşımların iç yapıları, alüminyumca zengin göbekli α dendritleri ve bu dendritler arasında yer alan çinkoca zengin η fazı ile silisyum parçacıklarından oluşmaktadır [5].

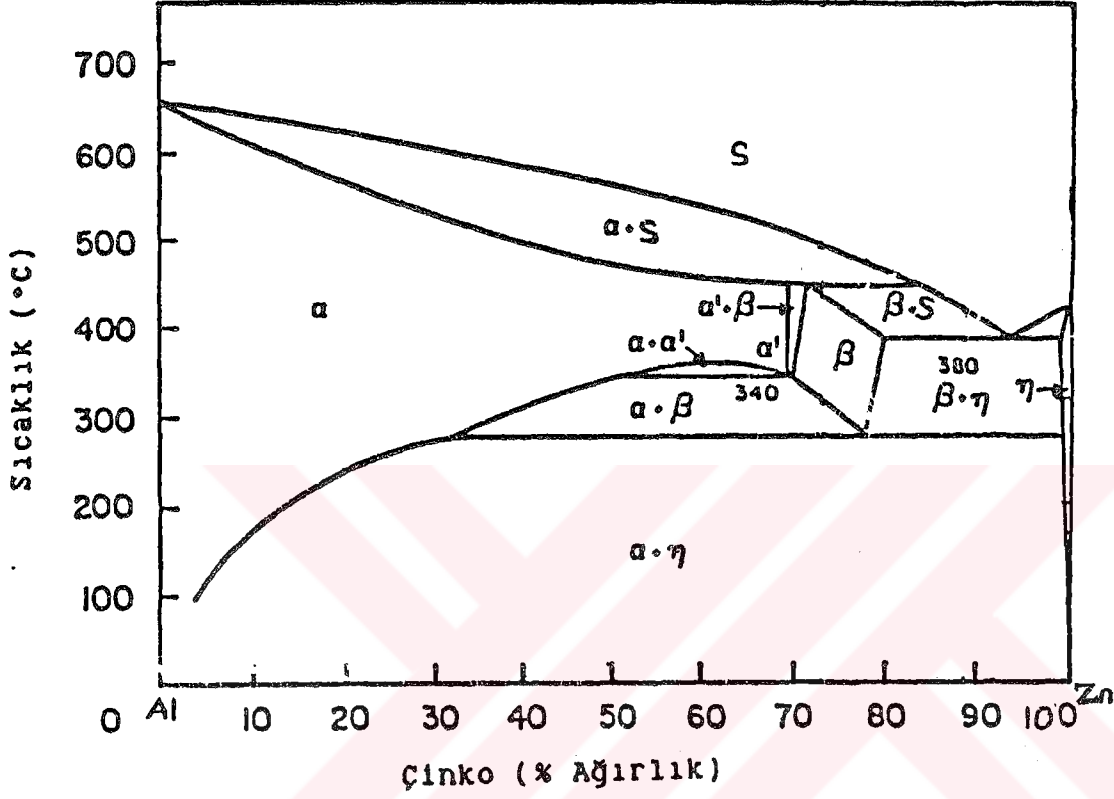
Bakır içeren üçlü çinko-alüminyum alaşımlarının içyapıları ise, alüminyumca zengin dendritler ile dendritlerarası bölgelerde yer alan çinko ve bakırca zengin fazlardan oluşmaktadır [5]. Döküm sırasında oluşan ve kararsız dengeli bir yapıya sahip olan ϵ fazının, dörtlü faz reaksiyonu ile kararlı T' ve η fazlarına dönüştüğü gözlenmiştir [5]. Bu dönüşüm, oda sıcaklığında çok yavaş bir şekilde meydana gelirken, sıcaklık arttıkça hızlanmaktadır. Aşağıda denklemi verilen bu dönüşümün tamamlanması için, ortam sıcaklığında birkaç aydan birkaç yıla kadar süre gerekmektedir.



İkili Zn-Al alaşım sistemini en doğru şekilde temsil ettiği kabul edilen faz diyagramı Şekil 1'de verilmiştir [9]. Zn-Al denge diyagramında α alüminyumca zengin faz bölgelerini, η ise çinkoca zengin faz bölgelerini göstermektedir. Şekil 1'de görüldüğü gibi, çinko-alüminyum katı çözeltisi %83 çinko oranına kadar uzanarak, YMK yapıya sahip α , α' ve β olarak adlandırılan üç değişik faz bölgesi oluşturmaktadır. Bu fazların herbiri, yavaş soğutma işlemi sonunda kararlı çinko ve alüminyum fazlarına dönüşmektedir [9]. Hızlı soğutma işlemi, çinkonun aşırı doymuş katı çözelti içerisinde tutulmasına ve bundan sonraki yaşlandırma işlemi sonunda bir dizi geçiş fazlarının oluşmasına neden olmaktadır.

Çinko-alüminyum alaşımlarında görülen faz dönüşümleri ve bunların meydana geldiği bileşim oranları ve sıcaklık değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

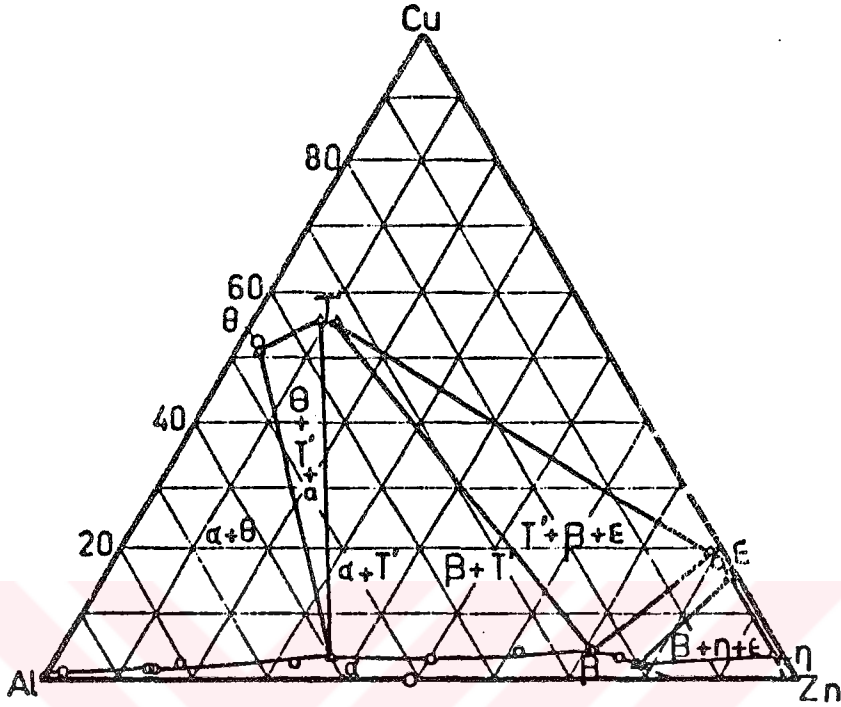
Üçlü Zn-Al-Cu sistemine ait faz diyagramı henüz tam olarak belirlenememiş olmakla birlikte, sistemin düşük oranlarda bakır içeren bölümü Murphy [9] tarafından ayrıntılı olarak incelenmiştir. Murphy tarafından belirlenen Zn-Al-Cu alaşım sistemine ait faz diyagramının 350°C sıcaklığındaki izotermal kesiti Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 1. ikili çinko-alüminyum faz diyagramı.

Tablo 1. ikili çinko-alüminyum denge diyagramında görülen faz dönüşümleri

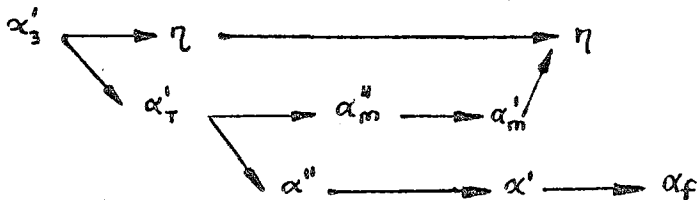
Dönüşüm	Dönüşüm Formülü	Bileşim Oranı(%Zn)	Dönüşüm Sıcaklığı(°C)
Ötektik	$S \rightleftharpoons \beta + \eta$	95	382
Ötektoid (i)	$\beta \rightleftharpoons \alpha + \eta$	78	276
(ii)	$\alpha / \alpha' \rightleftharpoons \alpha + \beta$	32	340
Peritektik	$\alpha + S \rightleftharpoons \beta$	72	443



Şekil 2. Murphy'ye göre, Zn-Al-Cu sisteminin 350°C sıcaklık-taki izotermal kesiti.

Çinko-alüminyum-silisyum alaşım sistemine ait faz dönüşümleri, Savaşkan ve arkadaşları [10] tarafından elektron mikroskobu ve X-ışınları difraksiyonu yardımı ile incelenmiştir. Bu inceleme sonucunda, çözündürme ve su verme işlemleri sonrası yaşlandırılan monotektoid bileşime sahip ZnAl₃₅Si₅ alaşımında, aşağıda verilen faz dönüşümlerinin meydana geldiği belirlenmiştir.

Bu faz dönüşümü sırasında, ilk önce G.P. bölgeleri oluşmuş, bunu çinkoca zengin α''_m ve α'_m geçiş fazları izlemiş ve dönüşüm çinkoca zengin α_f fazının oluşumu ile tamamlanmıştır. Ayrıca bu çalışma sonucunda, silisyumun çinko ve alüminyum içerisindeki katı çözünürlüğünün çok az olduğu ve bu nedenle faz dönüşümlerini pek etkilemediği görülmüştür.



1.2.2. Fiziksel Özellikler

İkili çinko-alüminyum alaşım sistemine ait denge diyagramından da görüldüğü gibi, alaşımların ergime noktası ve katılma aralığı alüminyum oranına bağlı olarak değişmektedir. Alüminyum oranı arttıkça alaşımların ergime sıcaklığı yükselmekte, katılma aralığı ise daralmaktadır [11]. Alaşımların düşük ergime noktasına sahip olması, enerji sarfiyatını düşürmekte ve kalıp araç ve gereçlerin kullanım ömrünü artırmaktadır [11]. Tablo 2’de ticari Zn-Al alaşımlarının bazı fiziksel özellikleri verilmiştir [12].

Tablo 2. Ticari Zn-Al alaşımlarının fiziksel özellikleri

Fiziksel Özellik	Alaşım		
	ZA-8	ZA-12	ZA-27
Yoğunluk (kg/m ³)	6300	6030	5000
Isıl büzülme oranı (%)	1.1	1.25	1.25
Katılma sıcaklık aralığı (°C)	404-373	432-375	484-375
Isıl genişleme katsayısı (µm/m°K)	23.2	24.1	26.0
Isıl iletkenlik katsayısı (w/m°K)	114.7	116.1	125.5
Elektriksel iletkenlik katsayısı (%IACS)	27.7	28.3	29.7
Gizli ısı (kJ/kg)	112	118	128

Zn-Al esaslı alaşımların yoğunlukları, bronz, prinç ve dökme demir gibi geleneksel yatak alaşımlarına göre daha düşük olup, özgül mukavemetleri ise oldukça yüksektir [12]. Ayrıca, alaşımların yoğunlukları artan alüminyum oranı ile azalmaktadır. Yoğunluk değerinin azalması ise, alaşımların birim maliyet değerlerini düşürmektedir.

Çinko-alüminyum alaşımlarının ısı genleşme, ısı iletkenlik ve elektriksel iletkenlik katsayıları, bronz ve alüminyum alaşımları dışındaki geleneksel döküm alaşımlarına göre daha yüksek olup, bu değerler artan alüminyum oranı ile artmaktadır.

Üçlü Zn-Al-Cu alaşımlarının katılaşması sırasında oluşan kararsız dengeli fazların, yaşlandırma sırasında kararlı fazlara dönüşmesi sonucunda bir hacimsel büyüme meydana gelmektedir [11].

1.2.3. Mekanik Özellikler

Çinko-alüminyum alaşımları, bir çok demir olmayan alaşımlar ile dökme demirden daha yüksek mukavemet değerlerine sahiptir [12]. Alaşım elementi olarak katılan alüminyum, alaşımların döküm özelliklerini ve mukavemet değerlerini iyileştirmektedir. Düşük oranlardaki bakır, magnezyum ve silisyum katkıları da, bu alaşımların mukavemet değerlerini önemli ölçüde arttırmaktadır [12]. Ancak, ikili alaşımların sertlik ve mukavemet değerlerini artıran bakır katkısı, boyutsal kararsızlık problemini de beraberinde getirmektedir [12].

Çinko-alüminyum alaşımlarının akma ve çekme dayanımları ile sertliği, artan sıcaklıkla azalmakta, kopma uzaması değeri ise artmaktadır [12].

Malzemenin mekanik özellikleri, büyük ölçüde sahip olduğu içyapıya bağlıdır. Çinko-alüminyum alaşımlarının mekanik özelliklerini inceleyen Skenazi ve arkadaşları [13], dökülmüş durumdaki alaşımların yapısındaki dendrit kol aralığı küçüldükçe, çekme mukavemetinin arttığını belirlediler. Çalışma sonucunda, alaşımların çekme mukavemeti (σ_c) ile dendrit kol aralığı (d) arasında, aşağıda verilen

bağıntıları buldular.

Alaşım No	Bağıntı
ZA-8	$\sigma_c = 49 + 857 d^{-1/2}$
ZA-12	$\sigma_c = 240 + 400 d^{-1/2}$
ZA-27	$\sigma_c = 370 + 200 d^{-1/2}$

Bu bağıntılarda, σ_c 'nin birimi MPa, d 'nin birimi ise μm olarak alınmıştır. Yapılan araştırmalar, B, Ti, Zr, La ve Ce gibi katkı elementlerinin, çinko-alüminyum alaşımlarının tane boyutunu küçülterek mukavemet değerlerini iyileştirdiğini göstermiştir [13].

Zn-Al alaşımlarına kararlı bir içyapı kazandırmak amacı ile uygulanan stabilizasyon işlemi, bu alaşımların mukavemet değerlerini azaltırken kopma uzaması değerlerini artırmaktadır [14].

Döküm sırasında içyapıda oluşan gözenek veya mikroboşluklar, çinko-alüminyum alaşımlarının mekanik özelliklerini etkileyen önemli faktörlerden birisini teşkil etmektedir. Bu nedenle, katılaşmaya etki eden tüm faktörlerin (döküm sıcaklığı, kalıp sıcaklığı, katılaşma hızı, kokil biçim ve geometrisi vb.) dikkatli bir şekilde seçilmesi ve kontrol edilmesi gerekir.

Bazı ticari Zn-Al alaşımlarının mekanik özellikleri Tablo 3'de verilmiştir [12].

Zn-Al esaslı alaşımların ergime sıcaklıklarının düşük olması, ekonomiklik açısından bir avantaj oluşturmakla birlikte, söz konusu alaşımları sıcaklığa karşı duyarlı bir hale getirmektedir.

Zn-Al alaşımlarının kırılma tokluğu, diğer mühendislik malzemelerine göre oldukça düşük olmakla birlikte, bu değer artan alüminyum oranı ile artmaktadır [11].

İkili çinko-alüminyum ve üçlü çinko-alüminyum-bakır alaşımlarının sürünme davranışları Savaşkan ve Murphy [15] tarafından incelenmiş ve bu alaşımların ikincil sürünme hızının, $\dot{\epsilon}_s = A\sigma^n \exp(-Q_c/RT)$ bağıntısı ile belirlenebileceği

gösterilmiştir. Bu araştırma sonucunda, bakır katkılarının Zn-Al alaşımlarının sürünme dayanımını önemli ölçüde arttırdığı belirlenmiştir.

Tablo 3. Bazı ticari Zn-Al alaşımlarının mekanik özellikleri

Mek. Özellik	Alaşım					
	ZA-8		ZA-12		ZA-27	
	Kum D.	Kokil D.	Kum D.	Kokil D.	Kum D.	Sür. D.
Çekme Mukavemeti (MPa)	240-276	221-255	276-317	310-345	400-441	414-441
%0.2 Akma Mukavemeti (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
Kayma Muk. (MPa)	-	241	255	-	290	269
Darbe Enerjisi (J)	20	-	25	-	47	73
Yorulma Dayanımı (MPa)	-	52	103	-	172	-
Young Modülü (GPa)	85.5	85.5	82.7	82.7	77.9	-
Poisson Oranı	-	0.296	0.302	0.302	0.323	-

1.2.4 Tribolojik Özellikler

Temasta olan ve birbirlerine göre izafi harekette bulunan iki makina elemanının temas yüzeyleri arasında, sürtünme ve buna bağlı olarak aşınma, sıcaklık yükselmesi ile enerji kaybı meydana gelir. Bu olayların etkisini azaltmak için alınması gereken önlemlerin başında yağlama ve uygun malzeme seçimi gelir.

Bugüne kadar yapılmış olan istatistiklere göre, makina elemanlarında meydana gelen hasarların % 70'inin sürtünme ve aşınmadan kaynaklandığı belirlenmiştir [16]. Ayrıca, sürtünme ile meydana gelen enerji kayıpları, oldukça yüksek maddi harcamalara yol açmaktadır.

Gelişmiş ülkelerde triboloji ilmine büyük önem verilmekte ve bu alanda sağlanan gelişmeler uygulamaya geçirilmektedir. Yapılan bir araştırmaya göre [16], triboloji ilkelerinin tam ve doğru uygulanması ile Amerika Birleşik Devletlerinde, toplam enerji tüketiminin %11'i olan 16 milyar dolar civarında bir tasarruf sağlanacağı belirlenmiştir. Yine bu konuda yapılan başka bir araştırmaya göre, 25-30 yıl öncesine kadar bir araç maksimum 30-35 bin mil yol aldıktan sonra ömrünü tamamlamaktayken, günümüzde bu değer, triboloji biliminin gelişmesi ve uygulanması ile üç katına çıkartılmıştır [16].

Yatak uygulamalarında, sürtünme katsayısı (μ) ile yatak parametresi (ZN/P) arasındaki ilişki Stribeck diyagramında verilmektedir [16]. Burada, Z yağın çalışma sıcaklığındaki viskozitesini, N milin devir sayısını ve P ise yatak basıncını göstermektedir. Şekil 3'de tipik bir Stribeck diyagramı verilmiştir. Bu diyagram, sınır yağlama, karışık yağlama ve sıvı (hidrodinamik) yağlama olmak üzere üç ana bölümden oluşmaktadır. Sınır yağlama durumunda, kısmen metal-metal teması vardır ve birkaç yağ molekülünü içeren ince bir yağ filmi yağlamayı sağlamaktadır. Ancak, bu yağ filmi yüzey pürüzlerini örtmek için yeterli olmamaktadır. Bu yağlama türü daha çok düşük hız ve yüksek basınçlarda çalışan yataklarda meydana gelmektedir [16]. Aynı zamanda, yatakların ilk harekete

geçirilmesi ve durdurulması sırasında da bu tür yağlama şekli ortaya çıkmaktadır [16].

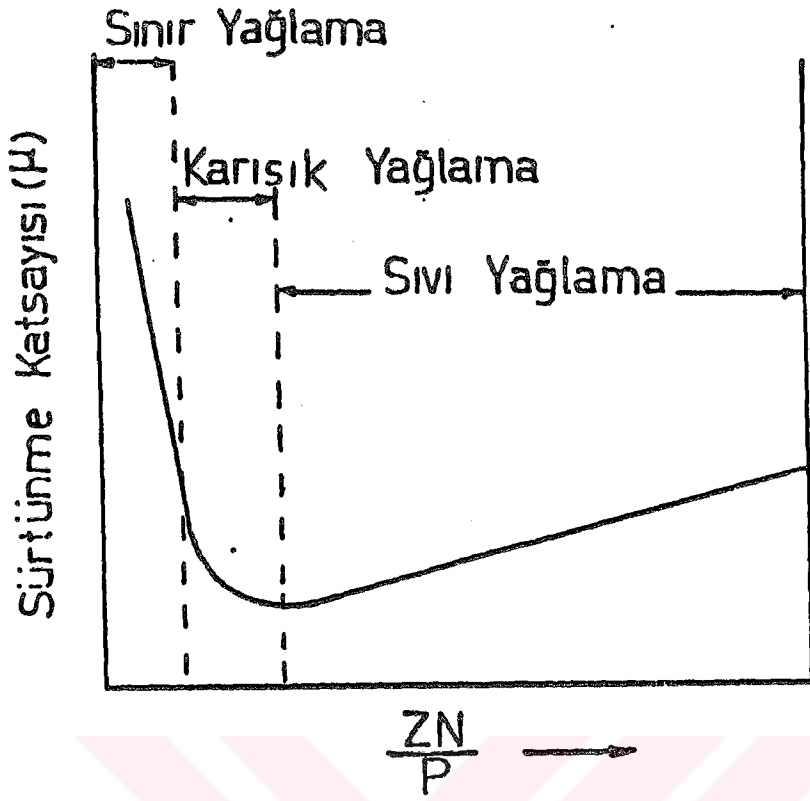
Sıvı veya hidrodinamik yağlama durumunda, yatak ve mil kendiliğinden oluşan bir yağ filmi sayesinde birbirinden tamamen ayrılmaktadır. Bu durumda sürtünme, yalnızca yağlayıcının molekülleri arasında meydana gelen iç sürtünmeden kaynaklanmaktadır [12]. Bu bölgede etken parametre yağlayıcının kayma özelliğidir. Hidrodinamik yağlama bölgesinde aşınma, yağlayıcının aşındırma etkisi sonucunda meydana gelmektedir.

Bir yatak malzemesinin aşınma davranışı, aşınma miktarı ile alınan yol ya da çalışma zamanı arasındaki ilişkiyi gösteren eğriler yardımıyla verilmektedir. Yatak malzemeleri için aşınma miktarı ile çalışma zamanı arasındaki ilişkiyi gösteren teorik aşınma eğrisi Şekil 4'de verilmiştir.

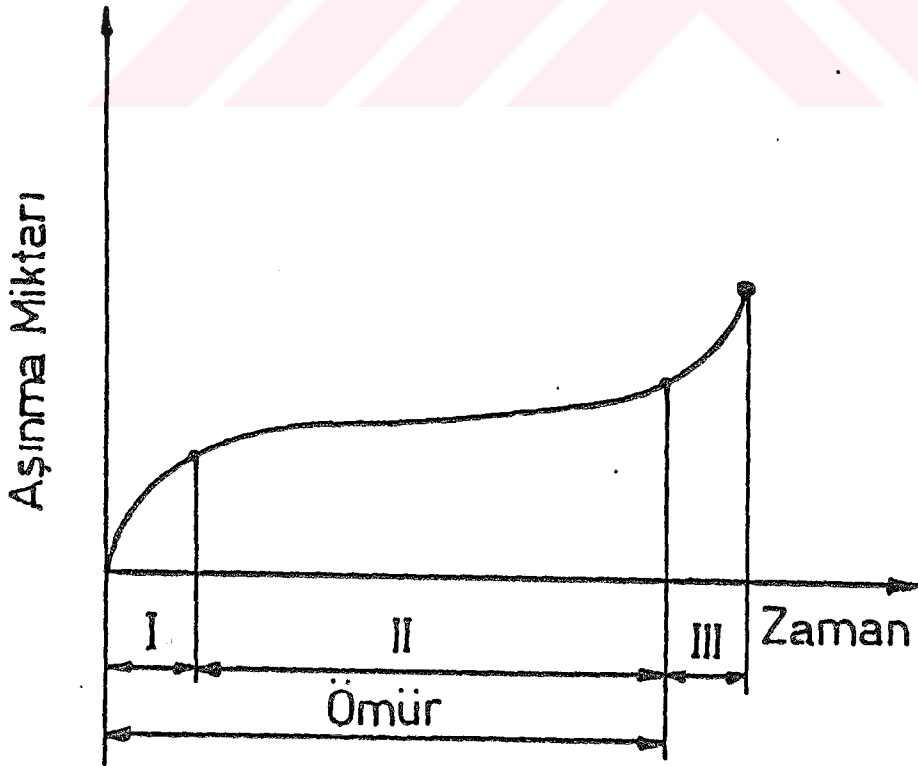
Yatak malzemesi, yatakların tribolojik davranışını ve performansını etkileyen önemli faktörlerin başında gelmektedir [16]. Bu yüzden, yataklar çalışma koşullarına uyum sağlayacak özelliklere sahip malzemelerden imal edilmelidir.

Kalayın pahalı ve kısıtlı miktarlarda bulunan bir metal olması, kalay esaslı yatak malzemelerinin yerine uygun yeni malzemeler geliştirilmesi görüşünün ortaya çıkmasına neden olmuştur [17]. Günümüzde, beyaz metal (babbit), bronz, prinç gibi geleneksel yatak alaşımlarının yerine, daha üstün tribolojik özelliklere sahip, ekonomik ve üretimi kolay yatak alaşımlarının geliştirilmesine çalışılmaktadır. Bu amaçla geliştirilmiş ve uygulamaya konulmuş malzemelere örnek olarak, çinko-alüminyum esaslı yatak alaşımları verilebilir.

Çinko-alüminyum yatak alaşımlarının bronz, prinç, ve dökme demir gibi geleneksel yatak alaşımlarından daha ucuza temin edilebilmesi, bu alaşımların geliştirilmesi çalışmalarına hız kazandırmıştır. Gerek laboratuvar deneylerinden elde edilen sonuçlar ve gerekse uygulama safhasında elde edilen bilgi ve tecrübeler, bu alaşımların yüksek aşınma dayanımı gerektiren uygulamalarda başarı ile kullanılabileceğini göstermiştir [12].



Şekil 3. Stribeck diyagramı.



Şekil 4. Tipik bir aşınma eğrisi.

Genel olarak yatak alaşımları, biri sert diğeri yumuşak olmak üzere iki fazlı bir yapıya sahiptir. Sert faz yük taşıma görevi yaparken, yumuşak faz kaymayı kolaylaştırma ve oluşan aşınma parçacıklarını bünyesine gömme görevi yapmaktadır [18]. Zn-Al alaşımlarının üstün tribolojik özellikleri, çok fazlı bir yapıya sahip olmaları ve aşınma yüzeylerinde oluşan çinko ve alüminyum oksit tabakalarının varlığına dayandırılarak açıklanmaktadır [19]. Serbest enerjisi yüksek olan sert alüminyum oksit tabakası yük taşıma görevi yaparken, nispeten düşük serbest enerjiye sahip ve daha yumuşak olan çinko oksit tabakası, özellikle sınır ve karışık yağlama durumlarında yağlayıcı görevi yapmaktadır. Yapılan araştırmalar sonucunda, ana yapıların (matris) aynı olmasına rağmen, Zn-Al-Si alaşımlarının Zn-Al-Cu alaşımlarından çok daha üstün tribolojik özellikler sergilediği görülmüştür [19]. Söz konusu durum, silisyum içeren alaşımların matris yapısı içerisinde, bakır içeren alaşımlarda görülen T^o fazının yerini silisyum parçacıklarının alması ve böylece aşınma dayanımının yükselmesine dayandırılarak açıklanmaktadır [19]. Üçlü ötektoid esaslı Zn-Al alaşımlarının, sabit yük ve hız altındaki aşınma diyagramı Şekil 5'de verilmiştir [19]. Eğrilerden görüldüğü gibi, en düşük aşınma hızı silisyum içeren üçlü alaşımlardan elde edilmiştir. Düşük oranlarda silisyum ya da bakır içeren monotektoid esaslı üçlü alaşımlar ile SAE 660 bronzunun karşılaştırmalı aşınma eğrileri ise, Şekil 6'da verilmiştir. Silisyum içeren alaşımlar gerek dökülmüş, gerekse ısıl işlem görmüş durumda diğer alaşımlardan daha yüksek aşınma dayanımı sergilemiştir [19].

İngiltere'de geliştirilip uygulamaya geçirilen ve Alzen 305 olarak bilinen Zn-Al alaşımı, birçok uygulamada bronzun yerini almıştır [18]. Bu alaşım, yatak sarmasının önemli olduğu yerlerde ve yetersiz yağlama durumlarında başarıyla kullanılmaktadır.

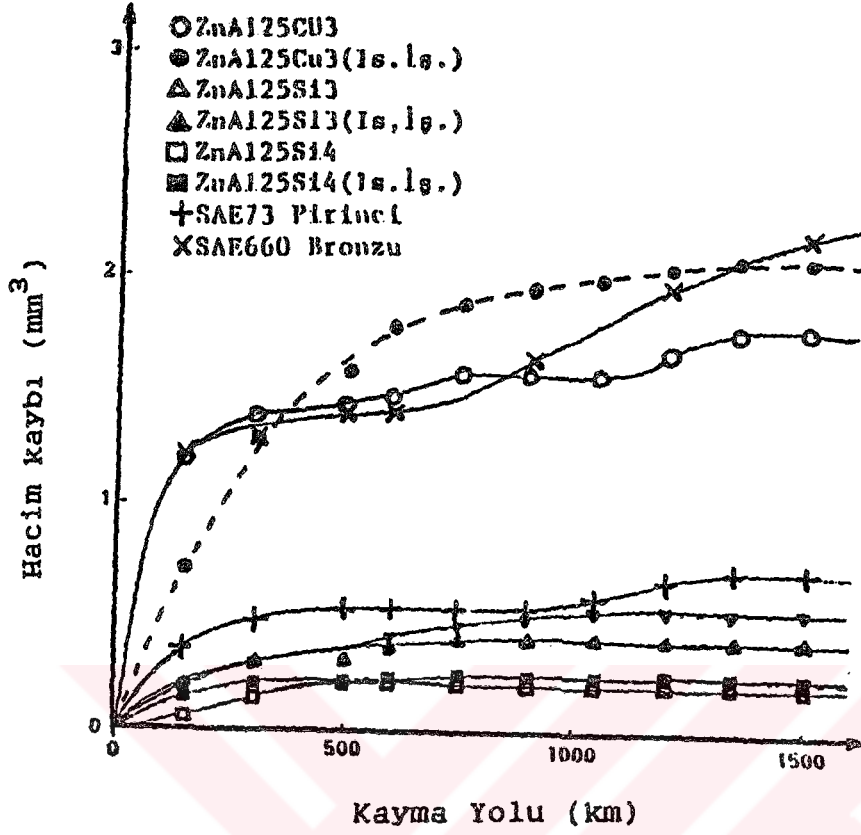
Murphy ve Savaşkan [18] tarafından yapılan bir araştırmada, Zn-Al esaslı ötektoid alaşımların rodaaj döneminde çok hızlı bir aşınma sergilediği, aşınma hızının 5000 km'lik yoldan sonra yavaşça düştüğü ve 10000 km'lik yoldan sonra

tekrar artarak, $111 \times 10^{-8} \text{ cm}^3/\text{cm}$ mertebesine ulaştığı gözlenmiştir. Bu çalışmada ayrıca, silisyum içeren alaşımların dökme demirden daha üstün, ancak fosfor bronzuna eşit aşınma davranışı sergilediği görülmüştür. Bu durum, Zn-Al matrisi içerisine dağılmış olan silisyum parçacıklarının varlığına dayandırılarak açıklanmıştır. Ayrıca, düşük oranlarda bakır içeren monotektoid esaslı alaşımların, ötektoid esaslı alaşımlardan daha üstün aşınma dayanımına sahip oldukları belirlenmiştir.

Bir araştırmada [20], bakır içeren Zn-Al alaşımlarının aşınma dayanımlarının, malzeme sertliği ve ϵ (CuZn_4) fazının yapı içerisindeki dağılımına bağlı olduğu görülmüştür [20].

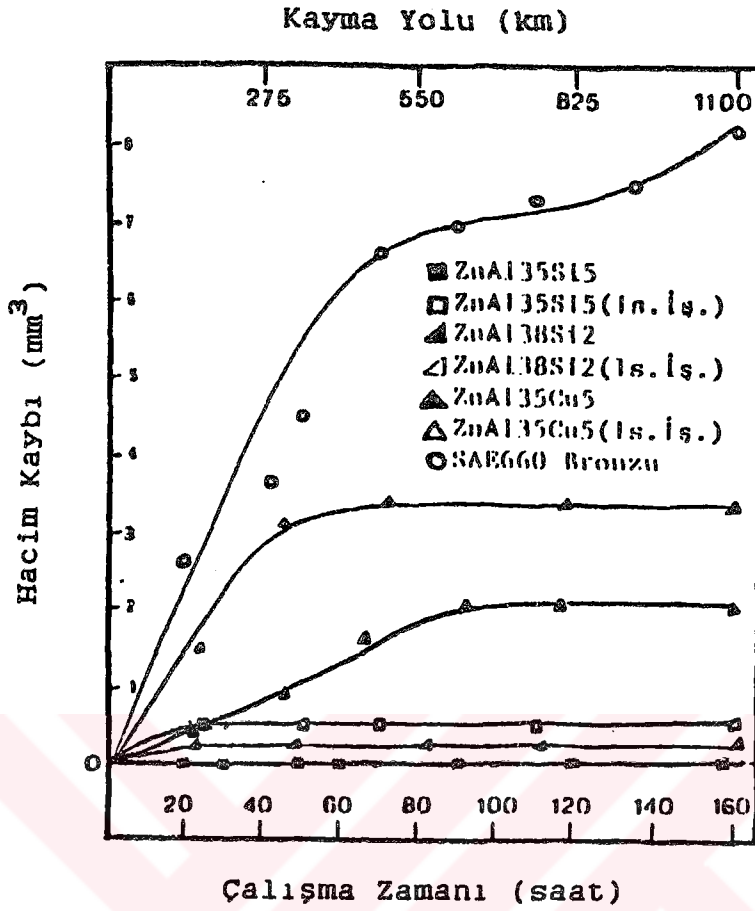
Zn-Al esaslı yatak alaşımlarının aşınma dayanımı, artan alüminyum oranı ile artmaktadır [20]. Ayrıca, döküm yöntemi alaşımların aşınma davranışlarını etkilemektedir. En yüksek aşınma dayanımı kum döküm yöntemiyle üretilen alaşımlardan elde edilmiştir [20]. Bunu sırasıyla, savurmalı (santrifüj) döküm, basınçlı döküm, kokil döküm ve sürekli döküm izlemektedir. Zn-Al esaslı alaşımların düşük oranlarda gözenek içermesi halinde, aşınma direncinin olumlu yönde etkilendiği belirlenmiştir [20]. Ayrıca, yatak milinin sertliği yüzey pürüzlülüğü ve dönme hızı, alaşımların aşınma davranışını etkilemektedir [20].

Zn-Al-Si alaşımlarının dökülmüş durumda, ısıtılmış işlem görmüş duruma göre daha üstün aşınma davranışı sergilediği gözlenmiştir [5]. Bu durumun, ısıtılmış işlem sırasında alaşımların yumuşamasından kaynaklandığı ileri sürülmüştür [5]. Diğer taraftan, ısıtılmış işlem görmüş durumdaki Zn-Al-Cu alaşımlarının, dökülmüş durumdaki alaşımlardan daha üstün aşınma davranışı sergilediği gözlenmiştir [5]. Bu durumun da, ısıtılmış işlem ile yük taşıyıcı sert fazların oluşması ve büyümesinden kaynaklandığı ileri sürülmüştür. Silisyum içeren Zn-Al alaşımlarının aşınma davranışları, silisyumun oranından çok, yapı içerisindeki dağılımına bağlıdır [5]. Ayrıca, dağılımın alaşım içerisindeki silisyum oranına bağlı olduğu ve belirli bir oranın altındaki silisyumun homojen bir dağılım gösterdiği belirlenmiştir. Düşük oranlardaki (%0.05 mertebesinde)



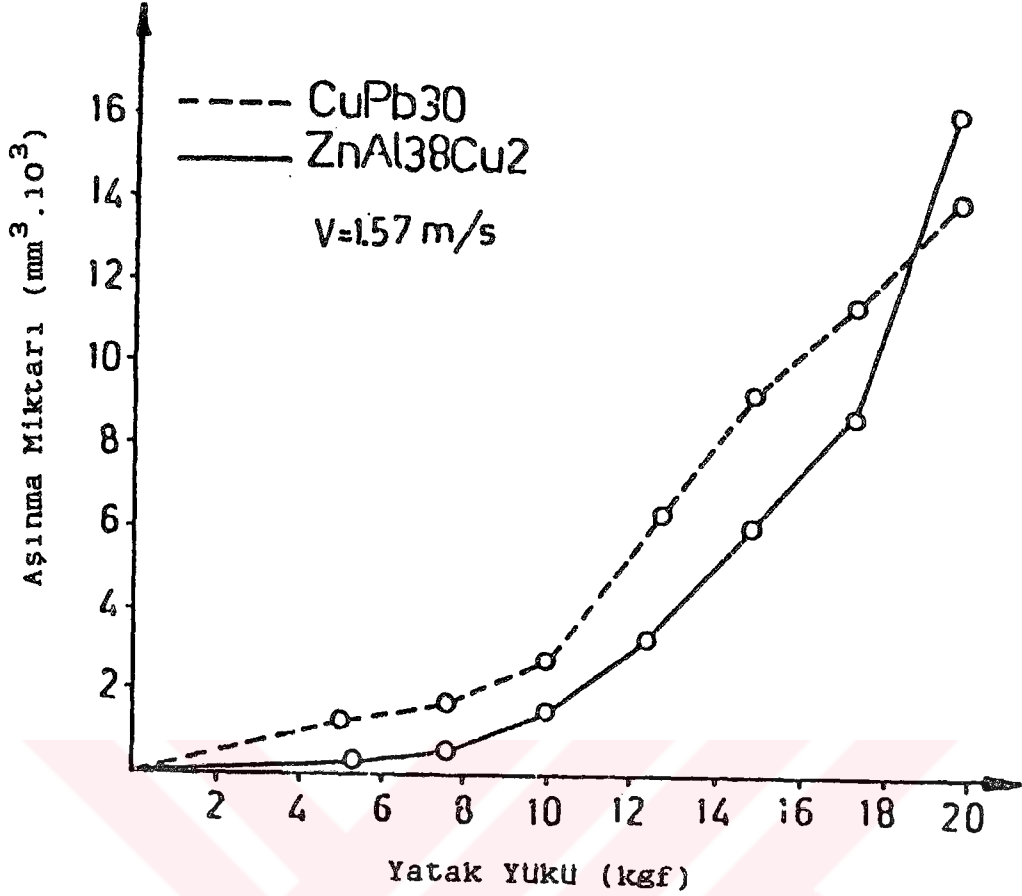
Şekil 5. Ütektoid esaslı üçlü Zn-Al alaşımlarının aşınma eğrileri [19].

Stronyum katkısının da, silisyum segregasyonunu önleyerek, daha homojen bir dağılım sağladığı gözlenmiştir [21]. Lee ve arkadaşları [5] tarafından yapılan bir araştırma sonucunda, Zn-Al-Si alaşımlarının hem ALZEN-305 ve hemde SAE 660 fosfor bronzundan daha üstün aşınma dayanımına sahip olduğu belirlenmiştir. Bu yüzden, söz konusu alaşımların düşük sıcaklık değerlerinde, aşırı yüklemelerde ve düşük hızlarda çalışan yatak uygulamalarında, bronzun yerine kullanılabileceği ileri sürülmüştür. Kaymalı yatak uygulamalarında Zn-Al-Cu alaşımlarının yerine Zn-Al-Si alaşımlarının kullanılmasıyla, hem bakırın neden olduğu boyutsal kararsızlık problemi önlenir, hem de daha üstün aşınma özellikleri sağlanabilir.



Şekil 6. Monotektoid esaslı Uçlu Zn-Al alaşımlarının aşınma eğrileri [19].

Marczak ve Ciach [19], 175 N'dan daha düşük yüklerde çalışan Uçlu ZnAl38Cu2 monotektoid alaşımının, CuPb30 bronzundan daha üstün aşınma davranışı sergilediğini göstermiştir. Söz konusu alaşımlarda meydana gelen aşınma miktarının, uygulanan yüke göre değişimini gösteren eğriler Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. CuPb30 ve ZnAl38Cu2 alaşımlarında meydana gelen aşınmanın uygulanan yüke göre değişimi [19].

1.3. Çinko-Alüminyum Alaşımlarının Kullanım Alanları

Günümüzde, Zn-Al esaslı alaşımlar bronz, pirinç ve dökme demir gibi geleneksel yatak malzemelerinin arasına girmiş bulunmaktadır. Düşük oranlarda Cu ve/veya Si içeren Zn-Al esaslı alaşımlar, üstün tribolojik özelliklere sahip olduklarından, yatak imalatında gittikçe yaygınlaşan biçimde kullanılmaktadır [22].

Zn-Al esaslı alaşımlardan imal edilen yataklar, düşük hız ve aşırı yük gerektiren uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır [17]. Bunun yanında, değişik bileşim oranlarında ve alaşım elementi takviyeli Zn-Al esaslı yatak alaşımlarının geliştirilmesine yönelik çalışmalar halen devam etmektedir.

Bu alaşımlar, yatak uygulamaları dışında, özellikle

otomotiv yan sanayiinde yaygın olarak kullanılmaktadır [17]. Otomobillerde karbüratör parçaları, silindir kapağı, dişli kutusu kapakları, biyel kolu gibi parçaların dökümünde, Zamak-3 ve Zamak-5 adlı ticari alaşımların yerini ZA alaşımları almaktadır.

Zn-Al esaslı alaşımlar, genel olarak madencilikte kullanılan araçlara ait kaymalı yatakların imalatında, kablo lu kren, iş makinaları, vites kutusu, torna tezgahı ve taş kırma kompresörü yataklarında, hidrolik kaldırma silindirlerinde, maden direklerinde piston malzemesi olarak, biyel kol larında, pnomatik ve tarımsal makinalarda, tekstil ve otomob il sanayi gibi pek çok mühendislik uygulamalarında kullanılmaktadır. Ayrıca, tekerlekli sandalyelerde, yeraltı emniyet anahtarlarında, pnomatik pres güç Unitelerinde, hidrolik şah merdanlarda, otomobillerde motor ayağı, külbütör yatakları, kam mili, ön aks ve aks yatağı, biyel kolu ve jant yapımında, korozyona karşı iyi bir koruma sağlandığı takdirde denizcilik sektöründe, kompresörlerde ve motosikletlerde çeşitli bileşimlere sahip Zn-Al alaşımları yaygın olarak kullanılmaktadır [17]. Ayrıca, manyetik olmamaları nedeniyle, bu alaşımlar elektronik sanayinde, üstün sönümlenme özelliklerinden dolayı da titreşimin istenmediği uygulamalarda kullanılmaktadır. Bunlara ek olarak, dekorasyon sanayinde de gittikçe artan oranlarda kullanılmaktadır. Kivılcım dirençlerinin çok yüksek olması nedeniyle, potansiyel bir patlama ihtimali içeren ortamlarda, Zn-Al alaşımları rahatlıkla kullanılmaktadır [23].

1.4 Zn-Al Esaslı Alaşımlardan Üretilen Yatakların Tasarımı

Zn-Al esaslı alaşımlardan üretilen yatakların tasarımında dikkat edilmesi gereken parametreler, gerek laboratuvar deneyleri ve gerekse uygulama sırasında elde edilen verilerden yararlanılarak belirlenmiştir [6].

Uygulamada kullanılan yatakların aşırı ölçüde ısınmaması için, aşırı yük ve çok yüksek hızlardan kaçınılmalıdır. Genel olarak, Zn-Al alaşımlarından üretilen yataklar için çalışma sıcaklığı 120°C ile sınırlandırılmıştır [6].

Yataklarla birlikte çalışacak milin sertliğinin, yatak malzemesinin sertlik değerinin iki katı mertebesinde olması önerilmektedir [6]. Ayrıca, sertliği 40 RSD-C'den daha yüksek millerin kullanılması durumunda, bu yatakların daha üstün aşınma performansı sergileyeceği ileri sürülmüştür [6]. Yatağın aşınma özelliklerini belirleyen önemli faktörlerden biri de, mil yüzeyinin durumudur. Mil yüzeyinin az pürüzlü olmasının, yatağın aşınma dayanımını olumlu yönde etkilediği görülmüştür [6].

Zn-Al esaslı alaşımlardan üretilen ve hidrodinamik sürtünme bölgesinde çalışan kaymalı yatakların yatak boşluğunun, mil çapının 0.0025 katı civarında bir değere sahip olması tavsiye edilmektedir [6]. Bu değer artırılması, yatağın yük taşıma kapasitesini artırmaya karşın, yatağın aşınma davranışını olumsuz yönde etkilemektedir. Yatağın yüksek sıcaklıklarda çalışması durumunda ise, yatak boşluğunda meydana gelebilecek azalmaları karşılamak için, öngörülen değer 1.15 gibi bir faktörle çarpılmasının yararlı olacağı ileri sürülmüştür [6].

Zn-Al esaslı yatak alaşımlarından imal edilecek yataklar için, minimum yatak zarfı kalınlığının $0.045 D + 0.5$ formülü ile hesaplanmasının uygun olacağı belirtilmiştir [6]. Burada, D parametresi yatak milinin çapını göstermektedir. Ayrıca, Zn-Al alaşımlarından üretilen yataklar için tavsiye edilen geçme toleranslarının, yatak yuvası çapının 0.0005-0.001'i civarında olması önerilmektedir [6]. Bu değerler, yüksek sıcaklıklarda çalışma durumunda 1.4 faktörüyle çarpılarak işleme sokulmalıdır.

Bronz yataklar için kullanılan standart yağlar, Zn-Al alaşımlarından üretilen yataklar için de tavsiye edilmektedir [6]. Çapı 25 mm'den daha küçük olan yataklar için yağ kanalına ihtiyaç duyulmaz iken, daha büyük çaplı yataklarda, bronz için kullanılan tipik yağ kanalları kullanılabilir [6].

Zn-Al esaslı alaşımlardan imal edilen yatakların, kayma hızı 7 m/s'nin altında olan uygulamalarda kullanılması önerilmiştir [6].

1.5. Literatür Özeti ve Çalışmanın Amacı

Gerek laboratuvar deneyleri ve gerekse pratik uygulamalar sonucunda elde edilen bilgiler, Zn-Al esaslı alaşımların pekçok bakımdan geleneksel yatak alaşımlarından daha üstün olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, özellikle düşük hız ve aşırı yüklemenin sözkonusu olduğu yatak uygulamalarında, çinko-alüminyum esaslı alaşımlar, bronz, prinç ve dökme demir gibi geleneksel yatak malzemelerinin yerini almaktadır. Günümüzde bu alaşımlar üzerine yürütülmekte olan araştırma ve geliştirme çalışmalarının temel gayesi, alaşımların kullanımlarını kısıtlayan faktörlerin ortadan kaldırılması üzerinde yoğunlaşmaktadır. Bu faktörlerin başında, yüksek sıcaklıklarda mukavemet değerlerinde görülen aşırı düşme ve özellikle bakır içeren alaşımlarda ortaya çıkan boyutsal kararsızlık gelmektedir.

Son zamanlarda geliştirilen Zn-Al-Si alaşımlarının çok iyi aşınma dayanımı göstermesine karşın, mukavemet değerlerinin bakır içeren üçlü alaşımlardan daha düşük olduğu gözlenmiştir. Buna benzer sorunlar, araştırmacıları en uygun bileşim oranının tayinine yöneltmiştir. Bu gaye ile, bakır ve/veya silisyum içeren alaşımlar için en uygun bileşim oranlarının tayin edilmesi çalışmaları devam etmektedir.

Bu çalışmanın amacı, Zn-Al esaslı alaşımlardan üretilen kaymalı yatakların tribolojik özelliklerinin incelenmesi ve tasarım için gerekli verilerin elde edilmesidir. Bunun için, değişik bileşim oranlarına sahip Cu ve/veya Si içeren üçlü ve dörtlü alaşımlardan, gerek dökülmüş gerekse ısıl işlem görmüş durumlarda imal edilen yataklar, laboratuvarında bulunan kaymalı ve rulmanlı yataklara uyarlanabilen bir deney düzeneğinde incelenecektir. Söz konusu deney düzeneğinin, gerçek yatak uygulamalarında karşılaşılan şartları karakterize etmesi, çalışmanın önemini artırmıştır. Çünkü, günümüze kadar Zn-Al alaşımlarının tribolojik özelliklerinin incelenmesinde, gerçek yatak uygulamaları çok az kullanılmıştır.

Çalışmanın sonucunda, üretilen kaymalı yataklar için en uygun bileşim oranı ve çalışma şartları belirlendikten sonra, kaymalı yatakların tasarım ve imalatı ile bakımı konularında öneriler getirilmeye çalışılacaktır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

2.1. Alaşımların Üretimi ve Isıl İşlemler

Bu çalışmada, iki adet dördü Zn-Al-Cu-Si, bir adet üçlü Zn-Al-Cu ve bir adet ticari ZA-27 alaşımı, kokil döküm yöntemiyle üretildi. Alaşımların üretiminde yüksek saflıkta (%99.99) çinko, elektrolitik bakır (%99.99) ve ticari saflıkta (%99.7) alüminyum kullanıldı. Dördü alaşımlar için gerekli olan silisyum, Etial-140 (AlSi12) alaşımından, bakır ise intermetalik alüminyum-bakır (AlCu50) alaşımından karşılandı. Ergitme işlemi, elektrikli bir pota fırını içerisinde gerçekleştirildi. Ergitilen alaşımlar, kimyasal oranlarına göre belirlenen uygun bir sıcaklıktan (600-700°C), 300°C'lik sıcaklığa kadar ısıtılan bir kokil kalıba dökülerek katılaştırıldı. Üretilen alaşımların kimyasal bileşimleri yaş analiz yöntemi ile belirlendi.

Kararlı iç yapılar elde etmek için, dökülmüş durumdaki alaşımlar 150°C sıcaklıkta 10 günlük bir süre yaşlandırma (stabilizasyon) işlemine tabi tutuldu. Söz konusu ısıl işlem, $\pm 5^\circ\text{C}$ hassasiyetine sahip elektrik rezistanslı bir fırında uygulandı.

2.2. Metalografik İncelemeler

İçyapı incelemeleri için, gerek dökülmüş ve gerekse ısıl işlem görmüş durumdaki alaşımlardan alınan numuneler, standart metalografi yöntemi ile hazırlandıktan sonra, %25'lik nital (alkol-%25 nitrik asit) içerisinde dağlandı ve ardından ışık mikroskopunda incelenerek, içyapıyı gösteren fotoğrafları çekildi.

2.3. Mekanik Deneyler

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

Sertlik deneyi için alaşımlardan alınan numuneler, yüzeyleri paralel olacak şekilde talaşlı imalat yöntemi ile işlendikten sonra parlatıldı. Sertlik ölçümleri Brinell sertlik ölçme yöntemi ile gerçekleştirildi. Her numune üzerinde beş sertlik ölçümü yapılarak elde edilen değerlerin ortalaması alındı.

2.4. Yoğunluk Ölçümleri

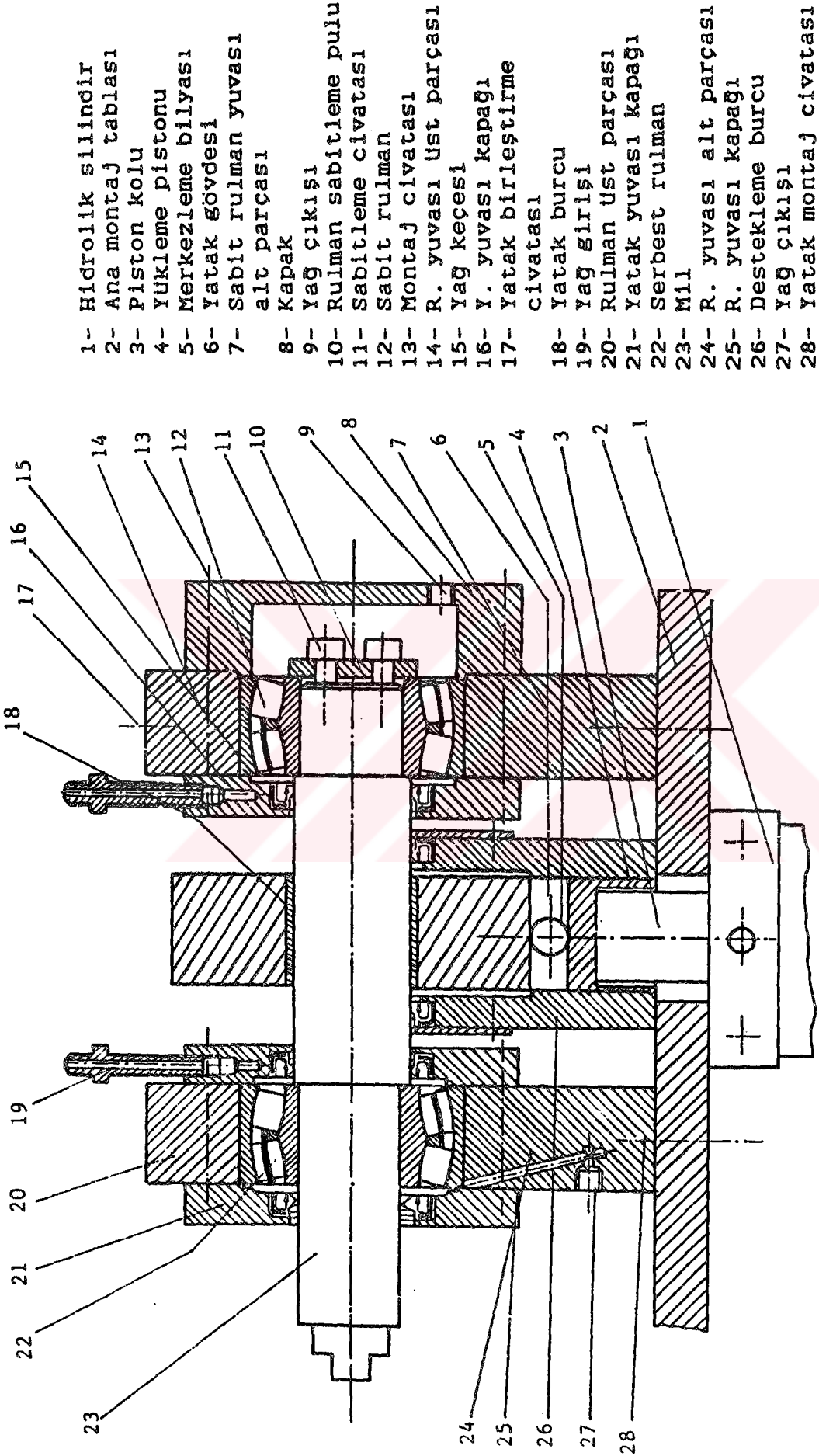
Talaşlı imalat yöntemi ile hazırlanan yoğunluk numunelerinin boyutları bir mikrometre yardımıyla ölçülerek hacimleri hesaplandı. Numuneler hassas bir terazide tartıldıktan sonra, alaşımların yoğunlukları belirlendi.

2.5. Aşınma Deney Düzenegi

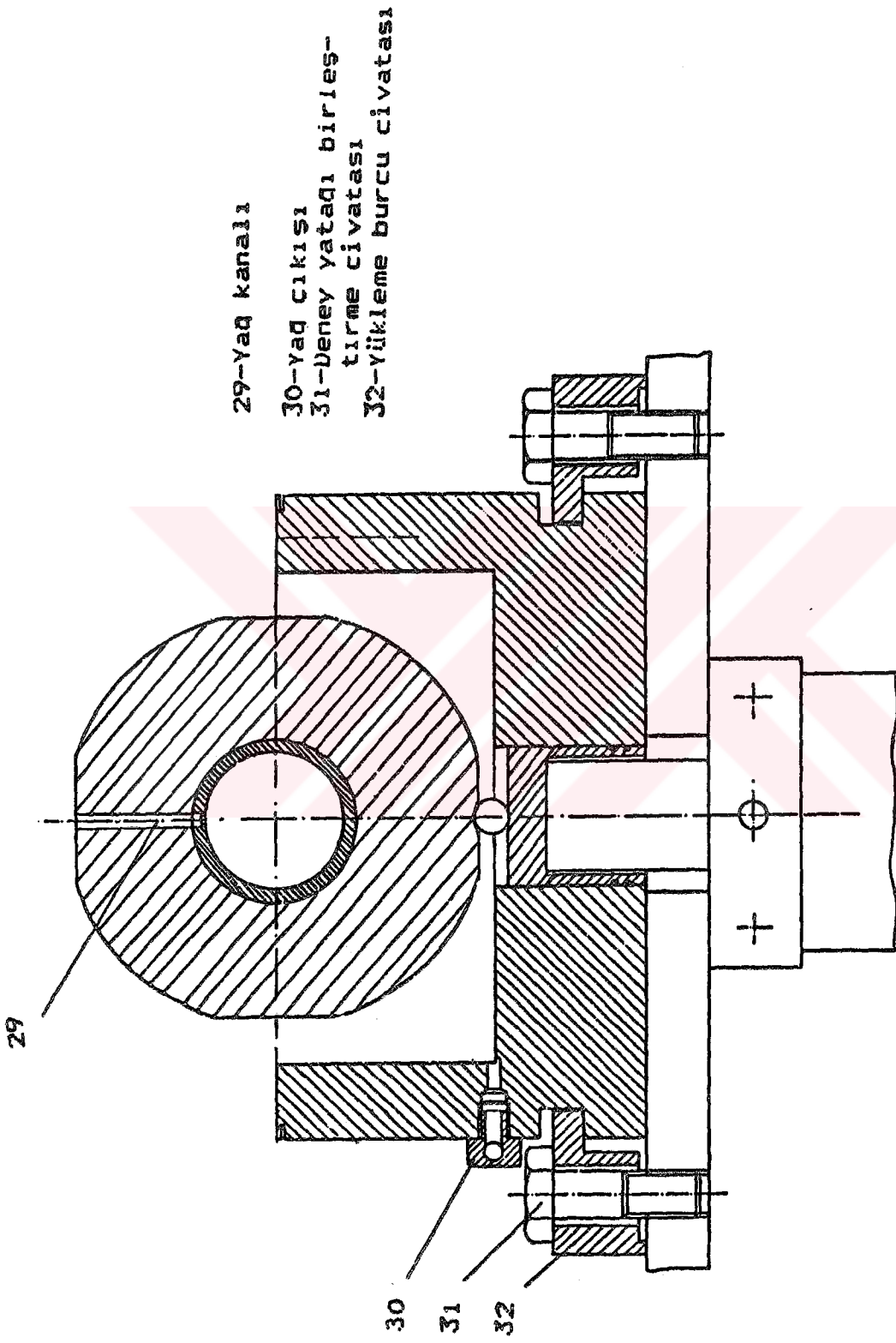
Bu alaşımlardan üretilen yatakların tribolojik özellikleri, laboratuvarında imal edilen bir deney düzenegi yardımı ile incelendi. Söz konusu düzenek, kaymalı ve rulmanlı yatakların aşınma ve yorulma davranışlarını incelemek amacıyla tasarlanıp imal edilmiş olup, mil eksenine paralel ve dik kesit resimleri Şekil 8 ve 9'da verilmiştir.

Deney düzenegi, bir adet deney mili, deney yatağı ve yatağın sabitlendiği gövde, yataklama rulmanları, rulmanlı yatak yuvaları, hidrolik yükleme silindiri, 3 kW gücünde bir alternatif akım motoru, kayış kasnak düzenegi, tahrik mili, yağ pompaları, vanalar, manometreler, filtreler, termoelaman ve kaydedicisi gibi elemanlardan oluşmaktadır.

Deney mili Fe 42 çeliğinden imal edilmiş olup, semantasyon işlemi ile yüzeyi sertleştirilmiştir. Sertleştirilen



Şekil 8. Deney düzeninin mil eksenine paralel kesiti.

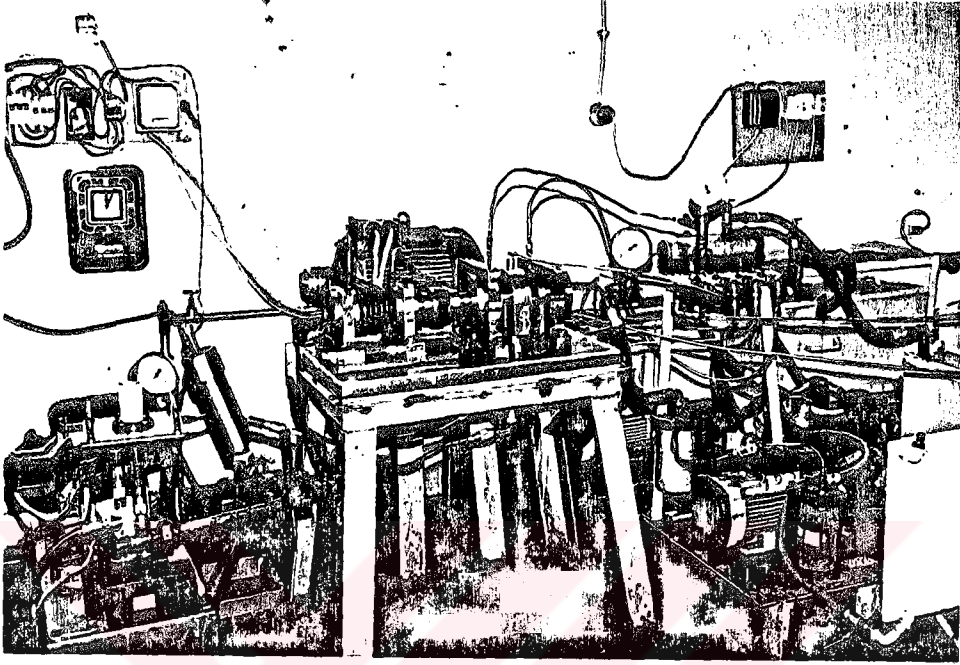


Şekil 9. Deney düzeneginin mil eksenine dik kesiti.

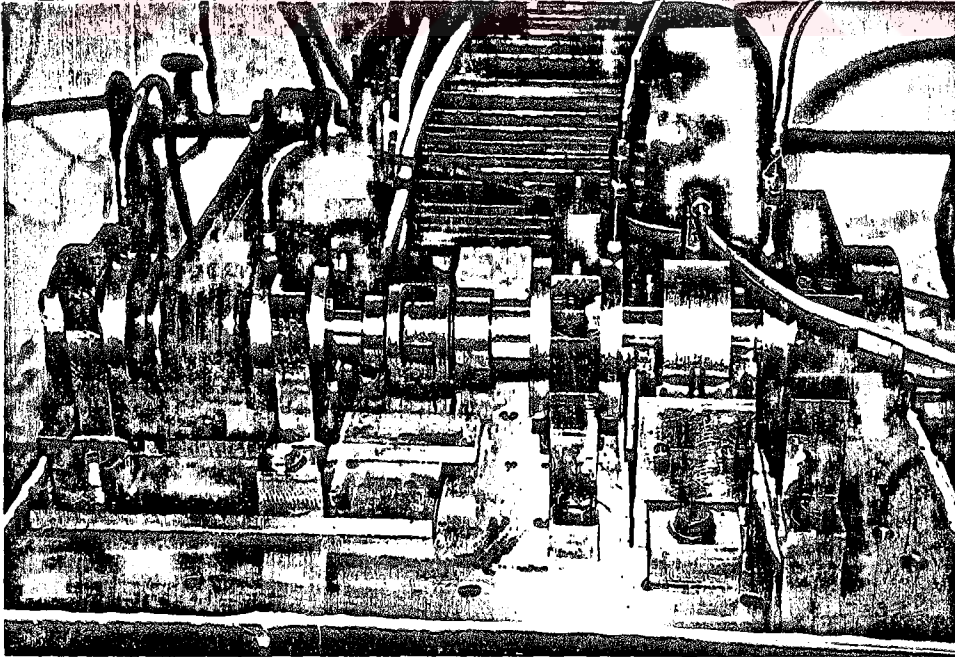
milin yüzeyi $\pm 3 \mu\text{m}$ 'lık bir hassasiyetle taşlanmış ve düzenekte her iki taraftan oynak makaralı rulmanlar ile yataklanmıştır. Deney yatağı, yatak gövdesine tutuk geçme toleransında geçirildikten sonra, aksenal ve radyal yöndeki hareketleri bir pim vasıtasıyla önlenmiştir.

Tahrik mili, 3 kW'lık bir alternatif akım motoru tarafından tahrik edilmektedir. Deney yatağının yüklenmesinde kullanılan hidrolik devre, 1.5 kW gücündeki bir elektrik motoru ile tahrik edilen bir dişli pompa, basınç sınır vanası, yön kontrol vanası, küresel vana, hidrolik akümülatör, manometre ve çift tesirli bir hidrolik silindirden oluşmaktadır. Söz konusu hidrolik devre ile tahrik edilen ve hidrolik silindir içerisinde yer alan piston kolunun uyguladığı kuvvet, bir bilya vasıtasıyla doğrudan yatak gövdesine iletilmektedir. Böylece, radyal ve aksenal sapmaların önüne geçilmiş ve yükün radyal yönde iletilmesi sağlanmıştır. Hidrolik ünitenin yağ deposu içerisine su sirkülasyonlu bir soğutucu yerleştirilerek, devredeki yağın aşırı ısınması önlenmiştir. Düzenekte kullanılan rulmanların ve deney yatağının yağlanması, iki adet yağ deposu, iki adet yağ pompası, emme ve basma hattı filtreleri, basınç sınır vanaları, debi ayar vanaları ve manometreler kullanılmıştır. Deney yatağının yağlanması işlemi, yatak gövdesinin üst kısmına açılan 2 mm çapındaki yağ kanalı ve yatak burcuna çevresel olarak açılan yağlama kanalı vasıtası ile sağlanmıştır. Yatağa gönderilen yağın debisi bir ayar vanası yardımıyla sürekli olarak aynı değerde tutulmuştur. Söz konusu deney düzeneğine ait fotoğraflar, Şekil 10 ve 11'de verilmiştir.

Bütün deneyler 30 MPa'lık bir basınç altında ve 590 dev/dak'lık ($V=1.37 \text{ m/s}$) sabit devir sayısında gerçekleştirildi. Yağlama işlemi 0.025 l/dk'lık sabit akış hızında yapıldı. Her deney için SAE 20W/50 normuna uygun dört mevsim motor yağı kullanıldı.



Şekil 10. Deney düzeneğinin genel görünüşü.



Şekil 11. Deney düzeneğinin yakından görünüşü.

2.6. Aşınma Deneyleri

Alaşımlardan 44.60 mm çapında, 45 mm boyunda ve 3 mm et kalınlığında, talaşlı imalat yöntemi ile burç şeklinde hazırlanan yataklar, uygun boyutlarda imal edilen yatak gövdesine, tutuk geçme toleransında geçirildi. Deney yatağının gövde içerisindeki aksenal ve radyal hareketi, bir pim vasıtasıyla engellendi. Ayrıca, yatağa çevresel olarak bir yağ kanalı açılıp, yağın kolayca hareket etmesi sağlandı. Deneylerde kullanılan yataklar Şekil 12'deki fotoğrafta görülmektedir. Aşınma deneylerine başlamadan önce, numuneler ultrasonik bir temizleyici yardımı ile kimyasal çözücüler (karbontetraklorür, aseton+alkol karışımı) içerisinde temizlendi ve 0.01 mg. hassasiyetindeki bir terazide tartılarak ağırlıkları belirlendi. Daha sonra deney yatakları yatak gövdesine yerleştirilerek, öngörülen şartlarda ($P=30$ MPa, $V=1.37$ m/s) deneylere tâbi tutuldu. Aşınma miktarını belirlemek için, ilk yirmi saat içerisinde onar saatte bir ve daha



Şekil 12. Deneylerde kullanılan yatakların görünüşü.

sonraları ise yirmişer saatte bir olmak üzere, yatak yerinden alınıp kimyasal çözücüler içerisinde temizlendikten sonra, tekrar tartılarak ağırlık kayıpları belirlendi. Bu işleme, toplam 100 saatlik bir süre devam edildi. Yatak uygulamalarında mil ile yatak arasında aşınma sonucu oluşan boşluk, genelde hacim kaybı olarak ifade edildiğinden, ölçülen ağırlık kayıpları alaşımların yoğunluklarına bölünerek, aşınmayla ortaya çıkan hacim kayıpları belirlendi.

Deney sırasında yatakların sıcaklığı, bir demir-konstantan termo eleman çifti ile algılanıp, bir sıcaklık kaydedicisi yardımıyla sürekli kaydedildi. Sıcaklık ölçümleri için kullanılan termo eleman, yatağın aşınma yüzeyinin 2 mm arkasında açılan bir deliğe yerleştirilerek, yatak sıcaklığının, çalışma (deney) süresine göre değişimi belirlendi.

Aşınma deneyine tâbi tutulan yatakların yüzeyleri, bir stereo mikroskop yardımıyla incelenerek, aşınma izlerini gösteren fotoğrafları çekildi.

3. BULGULAR

3.1. Kimyasal Analiz sonuçları

Alaşımın kimyasal bileşimleri Tablo 4'de verilmiştir.

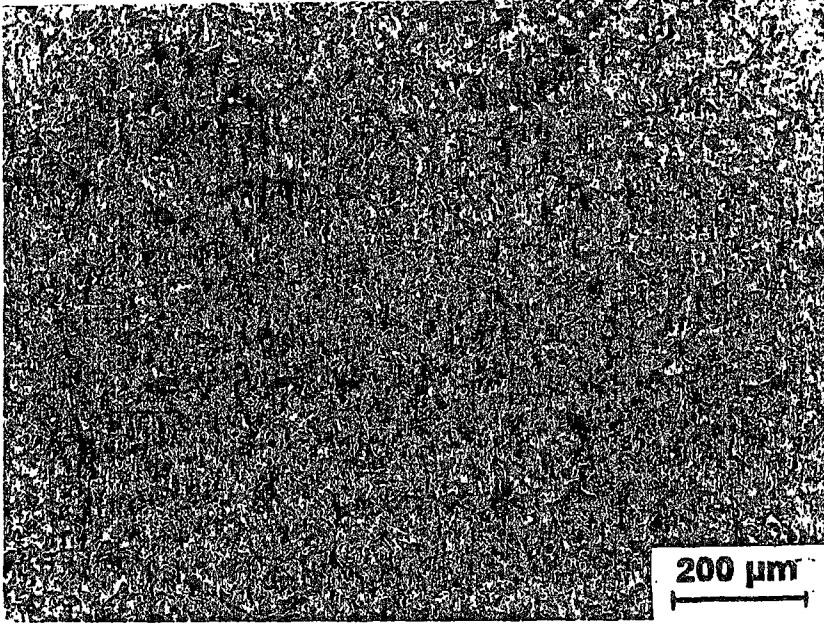
Tablo 4. Alaşımın kimyasal bileşimi

Alaşım No	Kimyasal Bileşim(% Ağırlık)			
	Zn	Al	Cu	Si
1	70.1	27.6	2.3	-
2	69.5	26.7	1.8	2.0
3	55.3	40.7	2.0	2.0
4	37.9	60.2	1.9	-

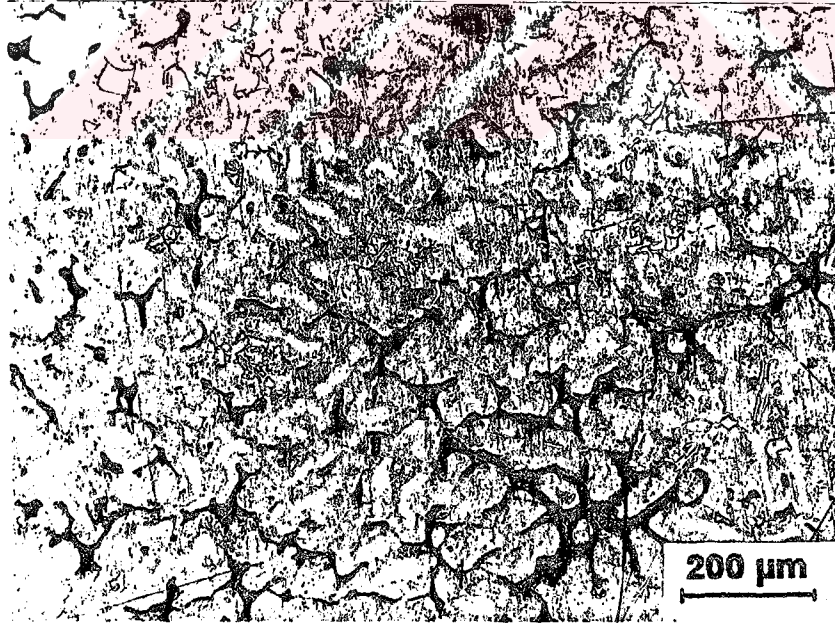
3.2. Alaşımın İçyapıları

Ötektoid esaslı ticari ZA-27 alaşımı, Şekil 13'de görüldüğü gibi, dökülmüş durumda alüminyumca zengin göbekli α dendritleri ile bunların etrafını saran, çinkoca zengin η ve ϵ fazlarından oluşan bir içyapı sergiledi. Ayrıca kalıntı β fazının dönüşüm ürünlerinin de içyapıda yer aldığı gözlemlendi. Ötektoid esaslı dörtlü $ZnAl_{12}Cu_2Si_2$ alaşımının dökülmüş durumdaki içyapısı ise, Şekil 14'de görüldüğü gibi, aynı durumdaki ticari ZA-27 alaşımının içyapısına benzemekle birlikte, bu alaşımın içyapısında silisyum parçacıklarının da yer aldığı gözlemlendi.

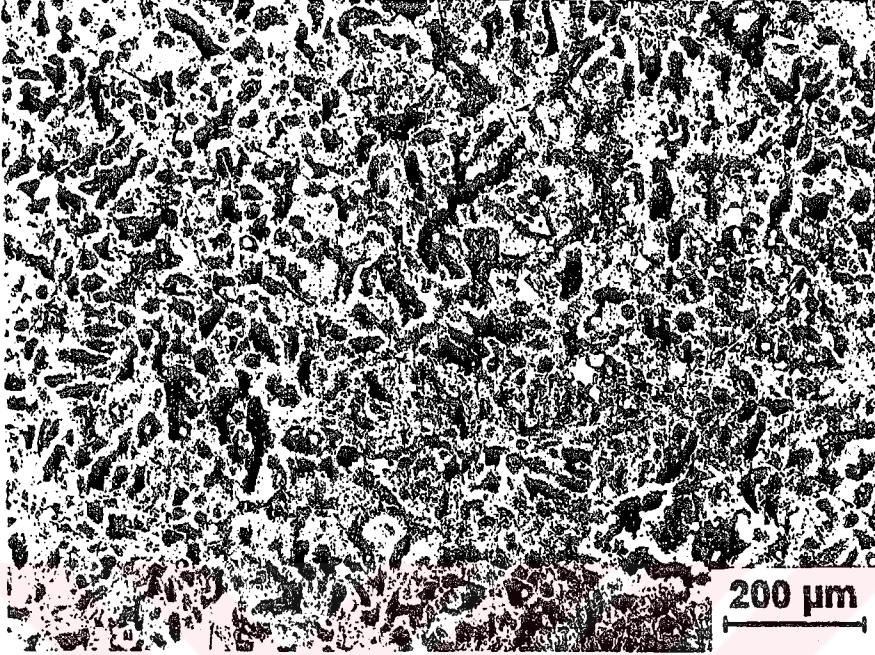
Monotektoid esaslı dörtlü $ZnAl_{40}Cu_2Si_2$ alaşımının, dökülmüş durumdaki içyapısının, Şekil 15'de görüldüğü gibi alüminyumca zengin göbekli α dendritleri, dendritlerarası bölgelerde yer alan çinkoca zengin ϵ ve η fazları ile silisyum parçacıklarından oluştuğu gözlemlendi. Monotektoid esaslı üçlü $ZnAl_{60}Cu_2$ alaşımının, dökülmüş durumdaki içyapısı ise, alüminyumca zengin göbekli α dendritleri ile dendritler arası bölgelerde yer alan çinkoca zengin fazlardan oluşmaktadır. Oluşan içyapı Şekil 16'da görülmektedir.



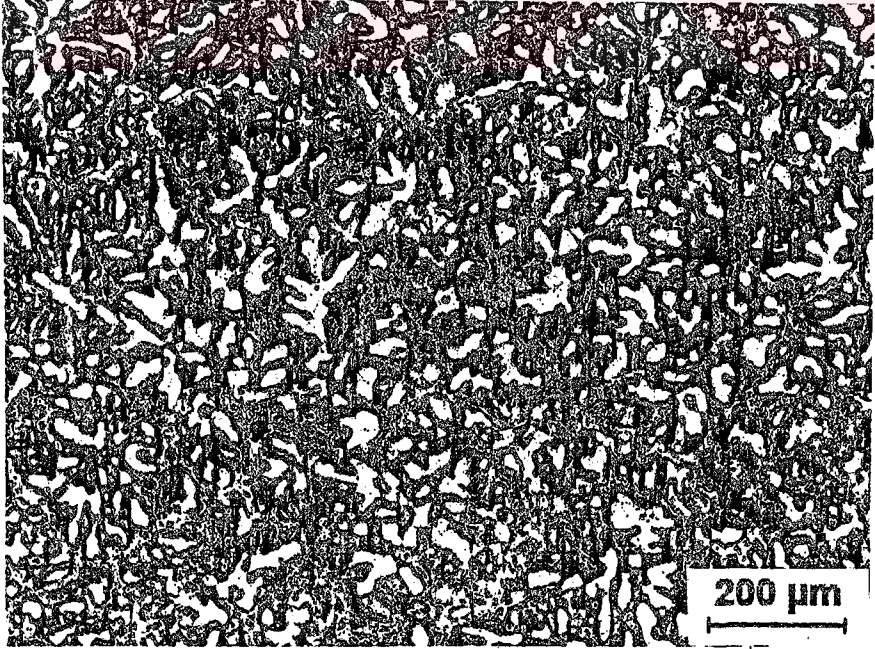
Şekil 13. ZA-27 alaşımının dökülmüş durumdaki içyapısı.



Şekil 14. ZnAl₂₇Cu₂Si₂ alaşımının dökülmüş durumdaki içyapısı



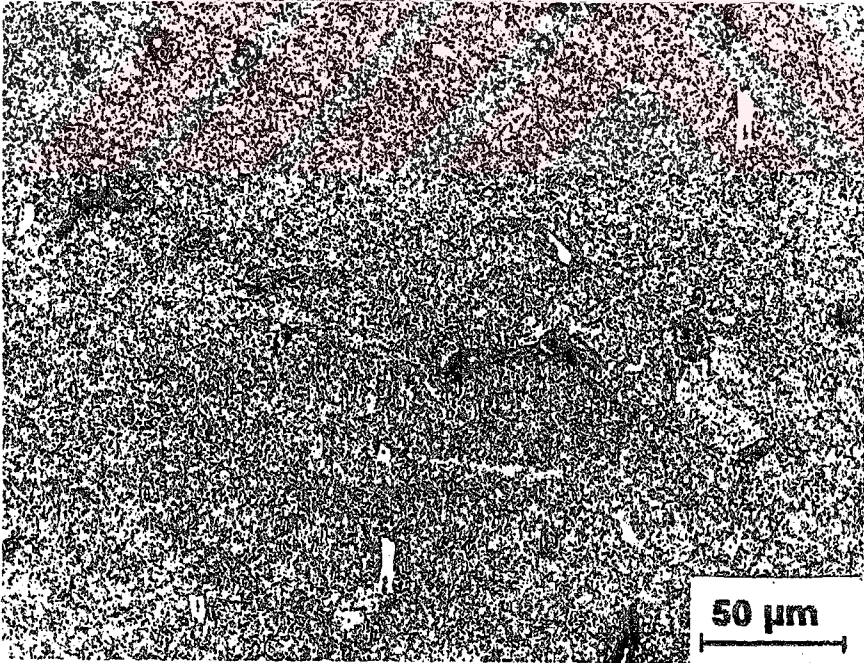
Şekil 15. ZnAl40Cu2Si2 alaşımının dökülmüş durumdaki içyapısı.



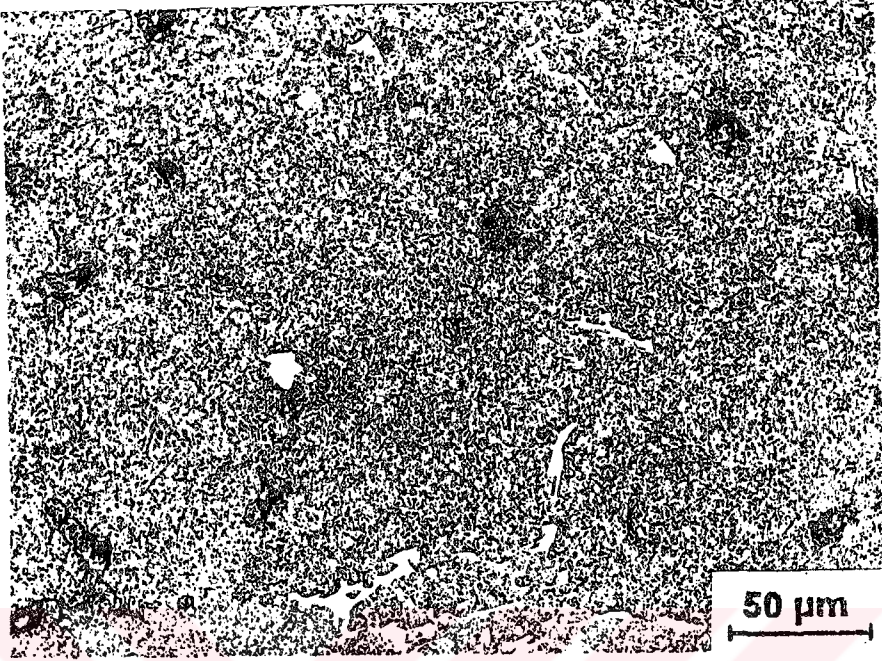
Şekil 16. ZnAl60Cu2 alaşımının dökülmüş durumdaki içyapısı.

Ötektoid esaslı alaşımlara uygulanan stabilizasyon işlemi sırasında, Şekil 17 ve 18'de görüldüğü gibi, dendritler arası bölgelerde yer alan kalıntı β fazının dönüşerek, daha iri görünümlü çinko ve alüminyumca zengin fazlara (α ve η) dönüştüğü gözlemlendi. Ayrıca, $ZnAl_{27}Cu_2Si_2$ alaşımının içyapısında bulunan silisyum parçacıklarının, ısıl işlemde pek fazla etkilenmediği gözlemlendi.

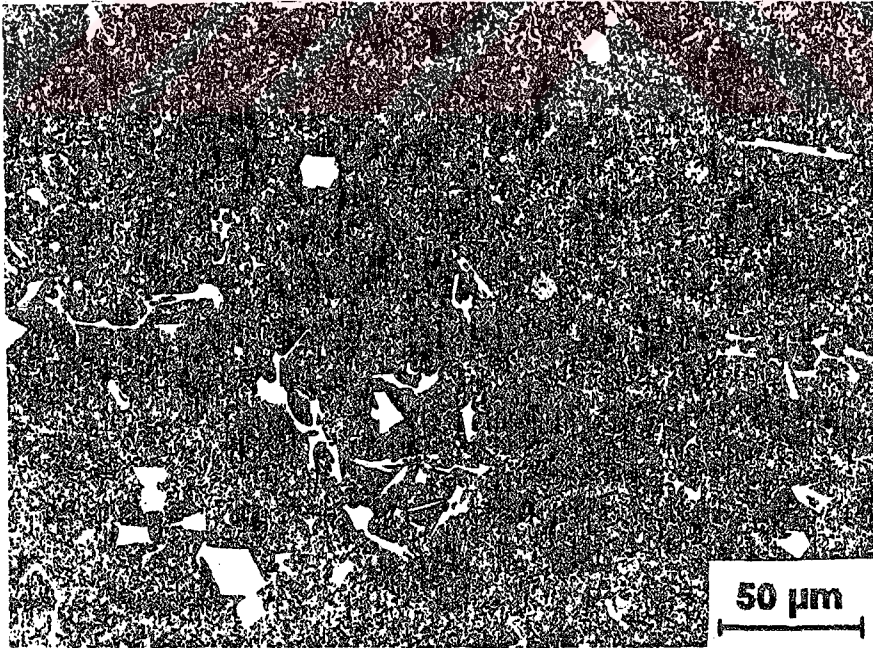
Monotektoid esaslı üçlü $ZnAl_{60}Cu_2$ ve dördü $ZnAl_{40}Cu_2Si_2$ alaşımlarına uygulanan stabilizasyon işlemi sırasında, ϵ fazının α fazı ile reaksiyona girerek, T' ve η fazlarına dönüştüğü gözlemlendi. Söz konusu alaşımlarda stabilizasyon sonrası oluşan içyapılar, Şekil 19 ve 20'de verilmiştir.



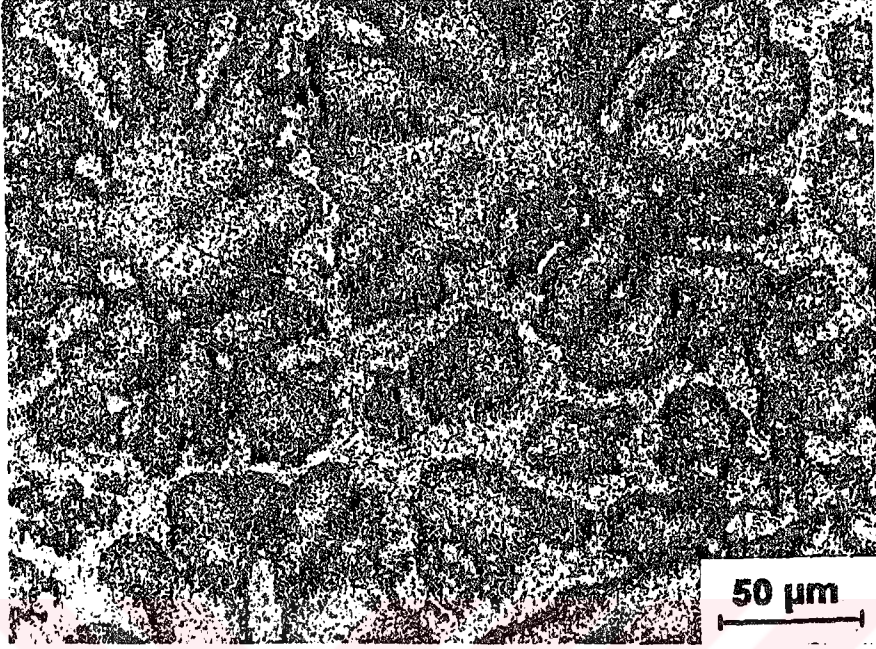
Şekil 17. ZA-27 alaşımının stabilize edilmiş durumdaki içyapısı.



Şekil 18. ZnAl27Cu2Si2 alaşımının stabilize edilmiş içyapısı.



Şekil 19. ZnAl40Cu2Si2 alaşımının stabilize edilmiş durumdaki içyapısı.



Şekil 20. ZnAl60Cu2 alaşımlının stabilize edilmiş durumdaki içyapısı.

3.3. Mekanik Deney Sonuçları

Dökülmüş ve ısıl işlem görmüş durumdaki alaşımlardan ölçülen sertlik, mukavemet ve süneklik değerleri Tablo 5'de verilmiştir.

Bu tablodan, ticari ZA-27 alaşımlının, diğer alaşımlardan daha yüksek mukavemet değerlerine sahip olduğu görülmektedir. 150°C sıcaklıkta, 10 günlük bir süre uygulanan stabilizasyon işlemi sonunda, tüm alaşımların sertlik değerlerinin önemli ölçüde düştüğü gözlenmiştir. En büyük düşme ise, ticari ZA-27 ve ZnAl60Cu2 alaşımlarında gözlenmiştir.

Ticari ZA-27 alaşımı hariç, diğer üç alaşım arasında en yüksek çekme dayanımı, %40 alüminyum içeren alaşımdan elde edilmiştir. Dökülmüş durumdaki alaşımlar içerisinde en yüksek kopma uzaması değerini ticari ZA-27 alaşımı gösterirken, en düşük kopma uzamasını ise, üçlü ZnAl60Cu2 alaşımı göstermiştir.

Tablo 5. Mekanik deney sonuçları

Alaşım No	Isıl İşlem Durumu	Yoğunluk (kg/m ³)	Çekme Dayanımı (MPa)	Sertlik (BSD)	Kopma Uzaması (%)
1	A	4850	371	110	2
	B	4840	-	72	-
2	A	4830	255	105	1.5
	B	4750	-	90	-
3	A	4110	260	108	1.2
	B	4100	-	90	-
4	A	3550	251	100	1.0
	B	3540	-	68	-

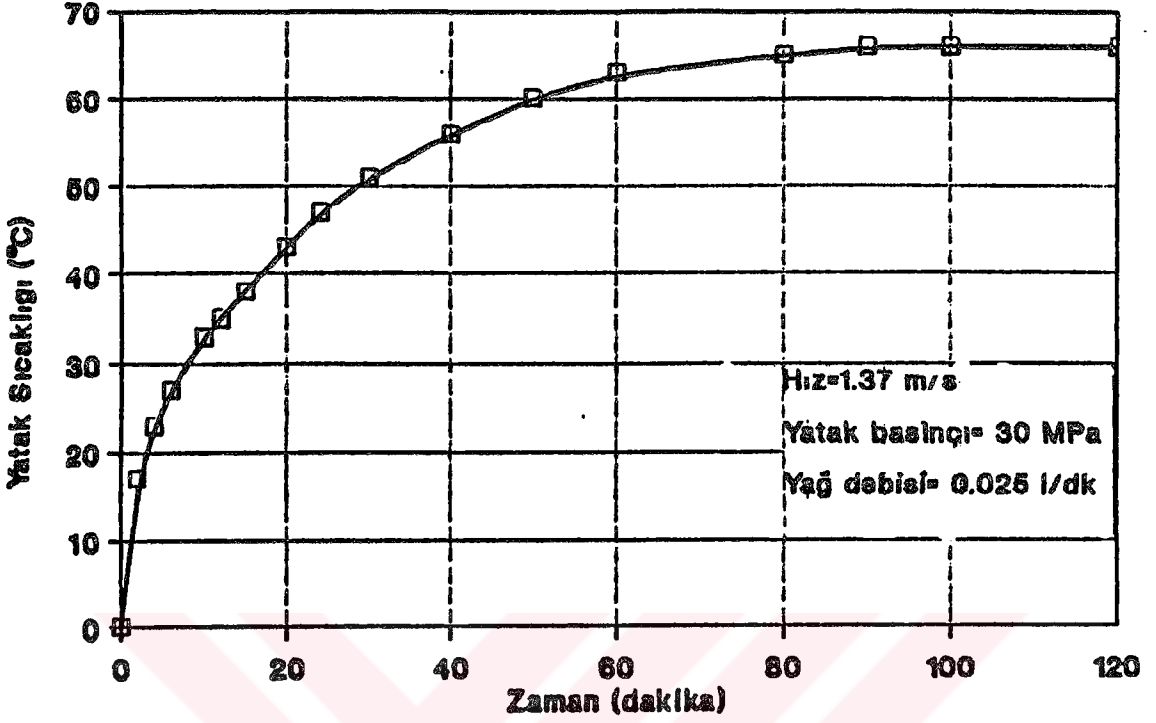
Not: Buradaki harfler alaşımların ısıl işlem durumunu göstermektedir.

A: Dökülmüş

B: Stabilize edilmiş

3.4. Aşınma Deneyi Sonuçları

Yatak sıcaklığının zamana göre değişimi Şekil 21'de verilmiştir. Zn-Al alaşımlarından imal edilen yatakların yaklaşık aynı değişim göstermesi nedeniyle, değişimler tek bir eğri olarak verilmiştir. Bu eğriden görüldüğü gibi, yatağın sıcaklığı, özellikle ilk 2 dakikalık çalışma süresi içerisinde hızlı bir şekilde yükselmiş ancak, ilerleyen zaman içerisinde sıcaklık artış hızı azalarak, 60 dakikalık çalışma süresi sonunda sabit bir değere ulaşmıştır. Rejim durumundaki sıcaklık değerinin ise, bütün alaşımlar için yaklaşık 65°C civarında olduğu belirlenmiştir.



Şekil 21. Zn-Al esaslı alaşımlardan imal edilen yatakların sıcaklığının çalışma zamanına göre değişimini gösteren eğri.

Aşınma deneyi sırasında, yataklarda aşınma ile meydana gelen ağırlık ve hacim kayıpları Tablo 6'da verilmiştir. Alaşımlar için hacim kaybı değerlerinin alınan yol ve çalışma zamanına göre değişimini gösteren eğriler ise Şekil 22'de verilmiştir.

Şekildeki eğrilerden görüldüğü gibi, alaşımların çoğu rodaj olarak adlandırılan, aşınmanın ilk devresinde yüksek aşınma hızı sergilemekte ve bunu, aşınma hızının daha düşük olduğu kararlı bir aşınma devresi izlemektedir.

Tablo 6. Aşınma deney sonuçları.

Alaşım no	Çalışma zamanı (saat)	Alınan yol (km)	Ağırlık kaybı (mg)	Hacim kaybı (mm ³)
1A	10	49	2.7	0.5
	20	98	3.0	0.6
	40	147	5.0	1.0
	60	246	5.4	1.1
	80	394	6.2	1.2
	100	500	6.4	1.3
2A	10	44	4.4	0.9
	20	98	5.8	1.2
	40	147	10.1	2.1
	60	246	12.1	2.5
	80	394	13.0	2.6
	100	500	13.8	2.7
3A	10	49	1.8	0.4
	20	98	2.5	0.6
	40	147	2.5	0.6
	60	296	2.5	0.6
	80	394	3.0	0.7
	100	500	3.0	0.7
4A	10	49	4.5	1.3
	20	98	10.3	2.9
	40	147	14.5	4.1
	60	246	15.7	4.4
	80	394	16.7	4.7
	100	500	18.0	5.0
BRONZ	10	44	4.0	0.5
	20	98	4.0	1.0
	40	197	54.0	6.6
	60	246	64.0	7.8
	80	394	74.0	8.3
	100	500	77.0	8.6

Tablo 6'nın devamı.

Alaşım no	Çalışma zamanı (saat)	Alınan yol (km)	Ağırlık kaybı (mg)	Hacim kaybı (mm ³)
1B	10	49	11.0	2.3
	20	98	14.2	2.9
	40	197	17.7	3.6
	60	296	18.8	3.8
	80	394	23.9	5.1
	100	500	24.7	5.2
2B	10	49	4.8	1.0
	20	98	8.3	7.9
	40	197	11.5	8.6
	60	296	12.0	8.7
	80	394	12.5	8.8
	100	500	12.9	8.8
3B	10	49	1.2	0.3
	20	98	2.3	0.6
	40	197	2.7	0.7
	60	296	3.2	0.8
	80	394	3.3	0.9
	100	500	3.3	0.9
4B	10	49	0.5	0.1
	20	98	7.7	2.2
	40	197	13.3	3.8
	60	296	19.8	5.6
	80	394	24.5	6.9
	100	500	28.5	8.1

A: Dökülmüş

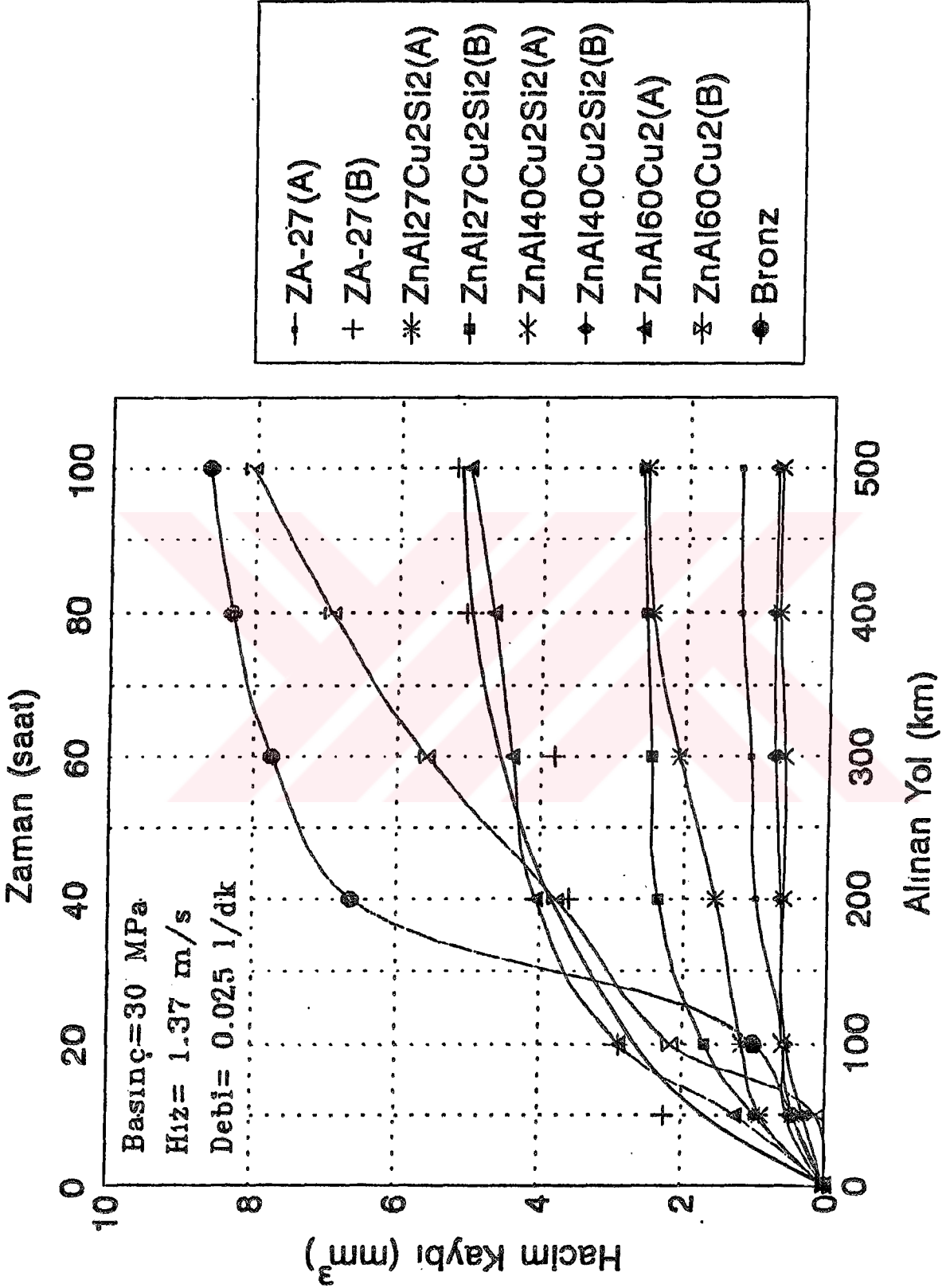
B: 150°C sıcaklıkta 10 gün stabilize edilmiş

Dökülmüş durumdaki alaşımların, stabilizasyon işlemi uygulanmış alaşımlardan daha üstün aşınma davranışı sergiledikleri gözlemlendi. Dökülmüş durumdaki alaşımlar içerisinde en yüksek aşınma miktarını DIN-1705 (CuSn12) bronzu gösterdi. Bu çalışmada en düşük aşınma miktarı, dökülmüş durumdaki $ZnAl40Cu2Si2$ alaşımından imal edilen yataklardan elde edildi. Ayrıca uygulanan stabilizasyon işleminin bu alaşımdan imal edilen yatağın aşınma davranışını fazla etkilemediği görüldü.

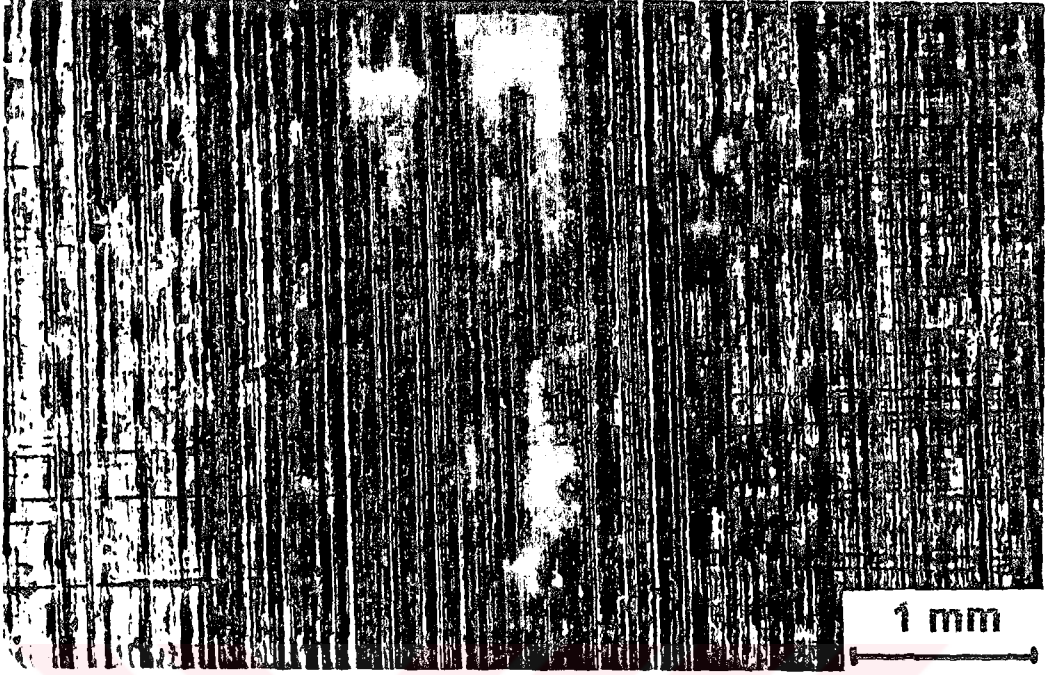
Stabilizasyon işlemi sonrası alaşımların aşınma dayanımlarının azaldığı gözlemlendi. Stabilizasyon işlemine tabi tutulmuş alaşımlar içerisinde en düşük aşınma miktarı, dörtlü $ZnAl40Cu2Si2$ alaşımından, en yüksek aşınma miktarı ise üçlü $ZnAl60Cu2$ alaşımından elde edildi. Stabilize edilmiş durumdaki $ZnAl60Cu2$ alaşımının, diğer alaşımlardan biraz daha farklı bir aşınma davranışı sergilediği gözlemlendi. Söz konusu alaşım, rodaj devresinde çok az bir aşınma gösterirken, 10 saatlik çalışma zamanından sonra aşınma miktarı hızlı bir şekilde artarak, Zn-Al esaslı alaşımlar içerisinde en yüksek değere ulaştı. Bronzdan imal edilen yatağın da benzer durum sergilediği görüldü. Bronz yatak, rodaj devresinde çok az bir aşınma gösterirken, 20 saatlik çalışma zamanından sonra aşınma miktarı hızlı bir şekilde artarak, deney sonunda en yüksek aşınma bu yatakta meydana geldi.

Çalışmanın yüz saatlik bölümü sonunda, alaşımların çoğu kararlı bir aşınma bölgesine ulaşırken, ısıtılmış işlem görmüş durumdaki $ZnAl60Cu2$ alaşımının yüz saat süre sonunda bile henüz kararlı çalışma bölgesine ulaşamadığı gözlemlendi. Ayrıca, stabilizasyon işleminin en çok ticari ZA-27 alaşımının, en az da $ZnAl40Cu2Si2$ alaşımının aşınma dayanımını düşürdüğü gözlemlendi.

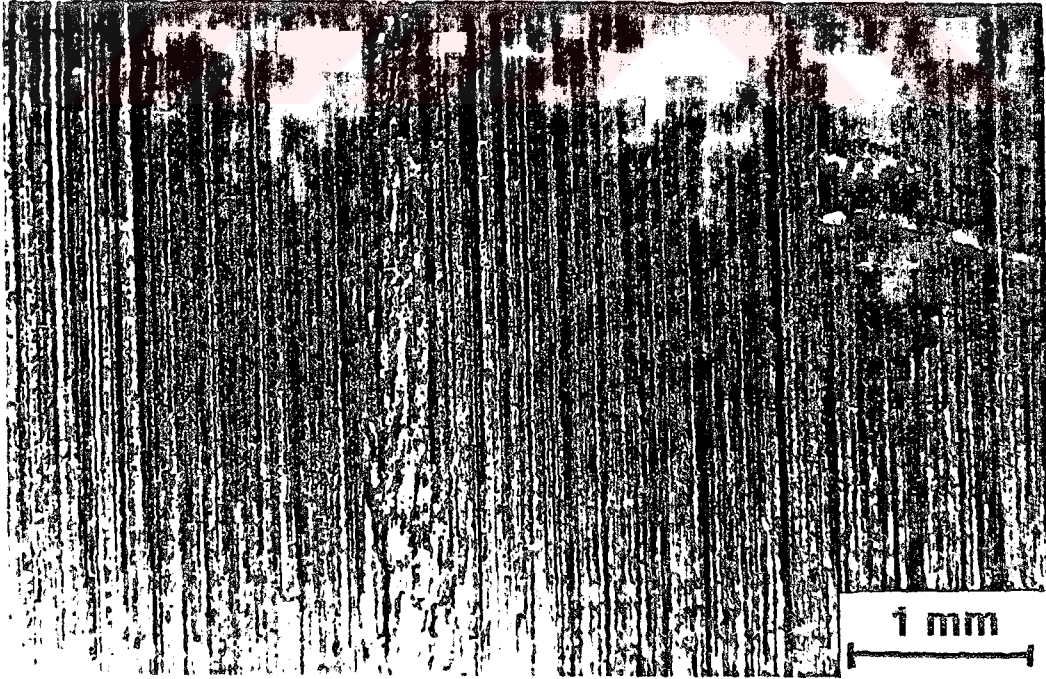
Aşınma deneyine tabi tutulan alaşımlardan, ticari ZA-27 ve DIN-1705 bronzundan imal edilen yatakların, aşınmış yüzeylerinin fotoğrafları Şekil 23 ve 24'de verilmiştir. Şekillerden görüldüğü gibi, bronz yatağın aşınma yüzeyinde belirgin çizik ve çukurcuklar oluşurken, Zn-Al esaslı alaşımlardan imal edilen yatakların aşınma yüzeylerinde ise, metal transferi ve sıvama izlerine rastlanıldı.



Sekil 22. İncelenen alaşımlardan imal edilen yatakların aşınma dayanımını gösteren eğriler.



Şekil 23. ZA-27 alaşımından imal edilen kaymalı yatağın aşınmış yüzeyinin görüntüsü.



Şekil 24. Bronzdan imal edilen kaymalı yatağın aşınmış yüzeyinin görüntüsü.

4. IRDELEME

Aşınma deneyleri sonucunda, gerek dökülmüş ve gerekse ısıtıl işlem görmüş durumdaki çinko-alüminyum esaslı alaşımlardan imal edilen yatakların, DIN 1705 (CuSn12) bronzundan imal edilen yataklardan daha üstün aşınma davranışı sergilediği belirlendi. Çinko-alüminyum esaslı alaşımlardan imal edilen yataklar içerisinde en yüksek aşınma dayanımı, hem dökülmüş hem de ısıtıl işlem görmüş durumda, silisyum içeren monotektoid esaslı $ZnAl40Cu2Si2$ alaşımından imal edilen yataklardan elde edildi. Silisyum içeren alaşımların üstün aşınma davranışı, bu yatakların içyapısında bulunan sert silisyum parçacıklarına ve bu parçacıkların yapı içerisindeki dağılımına dayandırılarak açıklanmaktadır [7]. Şöyleki, yumuşak matris içerisinde dağılmış olan sert silisyum parçacıkları, yatağa gelen yükü taşımakta ve bu suretle aşınmayı azaltmaktadır.

Çinko-alüminyum esaslı alaşımlara uygulanan stabilizasyon işlemi, alaşımlardan üretilen yatakların aşınma davranışlarını olumsuz yönde etkilemiştir. Bu durum, stabilizasyon işlemi sonucunda, matris yapının (ana kütle) yumuşamasından kaynaklanmış olabilir. Söz konusu durum, önceki araştırmacılar tarafından da belirlenmiştir [17,24].

Çinko-alüminyum alaşımlarından imal edilen yatakların, özellikle çalışmanın ilk başlarında yüksek bir aşınma hızı sergiledikleri görüldü. Bu dönemde, yatağın kayma yüzeyinde yeterli yağ filmi oluşmadığı ve yüzey pürüzlerinin mil ile temas halinde bulunduğu düşünülürse, bu devredeki aşınma davranışının daha çok sertlik ve mukavemet gibi malzeme özelliklerine bağlı olduğu görülür. Nitekim, sertlik ve mukavemeti daha yüksek olan monotektoid esaslı dörütlü $ZnAl40Cu2Si2$ alaşımından imal edilen yatağın aşınma dayanımı, ötektoid esaslı dörütlü $ZnAl27Cu2Si2$ alaşımından imal edilen yatağın aşınma dayanımından daha yüksektir. Ancak, silisyum içeren $ZnAl40Cu2Si2$ alaşımından üretilen yatak, daha yüksek

edilen sonuçların, önceki araştırmacılar [3,5,7,18,24] tarafından, aşınma deney numuneleri kullanılarak elde edilen sonuçlar ile uyum içerisinde olduğu görülmüştür. Nitekim, Çuvalcı [24] tarafından, Çinko-alüminyum esaslı alaşımlardan alınan aşınma numunelerinin, çubuk-disk (pin-on-disk esaslı) bir aşınma deney düzeneğinde incelenmesi sonucunda, monotektoid esaslı çinko-alüminyum alaşımlarının çok iyi aşınma dayanımı sergilediği gözlenirken, bronzun aşınma dayanımının ise oldukça düşük olduğu belirlenmiştir.

5. SONUÇLAR

1. Aşırı yükleme ve düşük hız uygulamalarında, çinko-alüminyum esaslı alaşımlardan imal edilen kaymalı yataklar, geleneksel bir yatak malzemesi olan DIN-1705 (CuSn12) bronzundan üretilen yataklardan daha üstün aşınma davranışı sergilemektedir.

2. Silisyum içeren çinko-alüminyum esaslı alaşımlardan imal edilen yataklar, yalnız bakır içeren alaşımlardan imal edilen yataklara göre daha üstün aşınma davranışı sergilemektedir.

3. Dörtlü $ZnAl40Cu2Si2$ alaşımından imal edilen yatak, aşınma dayanımı bakımından, bakır ve/veya silisyum içeren ötektoid ve monotektoid esaslı alaşımlardan imal edilen yataklardan daha üstündür.

4. Çinko-alüminyum esaslı alaşımlara kararlı bir içyapı kazandırmak amacıyla uygulanan stabilizasyon işlemi, bu alaşımlardan imal edilen yatakların aşınma davranışını olumsuz yönde etkilemektedir. Söz konusu etki, bakır içeren alaşımlardan imal edilen yataklarda daha belirgin olarak ortaya çıkmaktadır.

5. Sertlik ve mukavemet değeri, çinko-aluminyum esaslı alaşımlardan imal edilen yatakların aşınma dayanımlarının belirlenmesinde her zaman yeterli bir ölçü değildir. Ancak, bu değer yetersiz yağlama durumundaki aşınma dayanımı üzerinde daha etkili olmaktadır.

6. Kaymalı yatakların aşınma davranışı, yatak malzemesinin sertlik ve mukavemetinden başka, yapısal durum ile kimyasal bileşime bağlıdır.

7. ubuk-disk esaslı aşınma deney düzenekleri ile yatak malzemelerinin tribolojik davranışı hakkında elde edilen sonuçlar, gerçek uygulamalarda kullanılan yataklar için de büyük ölçüde geçerlidir.

6. KAYNAKLAR

1. Calayağ, T.S., "The Practicality of Using Zinc-Aluminum Alloys for Friction-Type Bearings", 25th Ann. CIM Conf. of Metallurgists, August 1986, Toronto, Intl. Symp. on Zinc-Aluminum (ZA) Casting Alloys, 305-312.

2. Apelian, D., Paliwal, M. ve Herrschaft, D.C., "Casting with Zinc Alloys", Journal of Metals, (1981) 12-19.

3. Altorfer, K.J., "Zinc Alloys Compete with Bronze in Bearings and Bushings", Metal Progress, (1982) 29-31.

4. Gervais, E. ve Loong, C.A., "New ZA Alloys in Die Casting", 11th International Pressure Die Casting Conference, Lyon, France, June 1984, 1-25.

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. Barnhurst, R.J., Bearing Design Manual, Noranda Sales Corporation Ltd., Toronto, January 1988.
7. Savaşkan, T. ve Murphy, S., "Mechanical Properties and Lubricated Wear of Zn-25Al-Based Alloys", Wear, 116 (1987) 211-224.
8. Murphy, S. ve Savaşkan, T., "Metallography of Zinc-25 % Al Based Alloys in the As-Cast and Aged conditions", Practical Metallography, 24 (1987) 204-221.
9. Murphy, S., "Solid-Phase Reactions in the Low-Copper Part of the Al-Cu-Zn System", Z. Metallkunde, 71 (1980) 96-102.
10. Yaohua, Z. ve Murphy, S., "A General Rule of Decomposition Reaction in Super-saturated Zn-Al Based Alloys", Chin. J. Met. Sci. Technol., 2 (1986) 105-116.
11. 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.
12. "Engineering Properties of Zinc Alloys", Goodwin, F. E. ve Ponikvar, A.L., Third Edition, International Lead Zinc Research Organization Inc., 1989.
13. Skenazi, A.F., Pelerin, J., Coutsouradis, D., Magnus, B. ve Meeus, M., "Some Recent Developments in the Improvement of the Mechanical Properties of Zinc Foundry Alloys", Metall, 37, 9 (1983) 898-902.
14. Savaşkan, T., Torul, O. ve Çuvalcı, H., "Çinko-Aluminyum Alaşımlarının İy Yapı ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi", 5 Metalurji Kongresi, Kasım 1988, Ankara, Bildiriler Kitabı, Cilt II, 789-799.

15. Savaşkan, T. ve Murphy, S., "Creep Behaviour of Zn-Al-Cu Bearing Alloys", Z. Metallkunde, 74 (1983) 76-82.
16. Haaling, J., Principles of Tribology, Macmillan, 1989.
17. Radden, T., "Zinc Alloy Bearing Down on Bronze Territory", Canadian Mining Journal, (1986) 58-59.
18. Murphy, S. ve Savaşkan, T., "Comperative wear Behavior of Zn-Al-Based Alloys in An Automotive Engine Application", Wear, 98 (1984) 151-161.
19. Marczak, R.J. ve Ciach, R., "Tribological Properties of the Concentrated Al-Zn Alloys", Prc. 1st. Europ. Tribology Congress, 1973, London, Inst. Mech. Eng., 223-227.
20. Barnhurst, R.J. ve Farge, J.C., "A Stady of the Bearing Characteristics of Zinc-Aluminum (ZA) Alloys", Canadian Metallurgical Quarterly, 27, 3 (1988) 225-233.
21. Jian, L., Laufer, E.E ve Masounave, J., "Wear in Zn-Al-Si alloys", Wear, 165 (1993) 51-56.
22. Murphy, S., Savaşkan, T. ve Wheeldon, J.K., "Rhecast Zinc-Aluminum Based alloys", International Congress on Metals Engineeing, 15-16 September 1981, University of Aston, Birmingham, Casting and Foundry Technology, Preprint Volume, 7/1-7/14.
23. Gervais, E., "ZA alloys- A Challenge to the Metals Industry", CIM Bulletin, 80, 900 (1987) 67-72.
24. Savaşkan, T., Çuvalcı, H., "Çinko-Alüminyum Yatak Alaşımlarının Tribolojik Özelliklerinin incelenmesi", 5. Ulusal Makina Tasarım ve İmalat Kongresi, 19-21 Eylül 1990, Ankara, Bildiri kitabı, 571-584.

7. ÖZGEÇMİŞ

Gençağa Pürçek; 1968 yılında Giresun'da doğdu. 1987 yılında Giresun Tirebolu Lisesi'ni bitirerek, A.Ü. Isparta Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nü kazandı. 1989 yılından itibaren öğrenimini K.T.Ü'de sürdürüp, 1991 yılında aynı üniversiteden 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 Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.

T.C. YÜSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ