

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BAKIR KATKISININ ÇİNKO-ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ SÜRTÜNME VE
AŞINMA ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

127455

Mak. Müh. Ali Paşa HEKİMOĞLU

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde

“Makina Yüksek Mühendisi”

Ünvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

127455

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 08. 04 .2002

Tezin Savunma Tarihi : 08. 05. 2002

TC. YÖNETİM VE EKONOMİ BAKANLIĞI
İKTİSADİ İSTATİSTİK ENSTİTÜSÜ

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Temel SAVAŞKAN

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Fazlı ARSLAN

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Ragıp ERDÖL

T. Savaşkan
F. Arslan
R. Erdöl

Enstitü Müdürü: Prof. Dr. Asım KADIOĞLU

A. Kadioğlu

Trabzon 2002

ÖNSÖZ

Geleneksel yatak malzemelerine göre pek çok üstünlüklere sahip olan çinko esaslı yatak malzemeleri üzerinde yapılan araştırmalar bu alaşımların mekanik ve tribolojik özelliklerini geliştirme üzerinde yoğunlaşmıştır. Bu alaşımların söz konusu özelliklerini iyileştirmek için kullanılan yöntemlerin başında alaşım elementi katma ve ısıl işlem uygulama gelmektedir.

Bakırın çinko esaslı alaşımların mekanik ve tribolojik özelliklerini iyileştiren başlıca katkı elementleri arasında yer aldığı bilinmektedir. Ancak bakır katkısının çinko esaslı alaşımların tribolojik özelliklerine etkisi üzerinde detaylı bir çalışma yapılmamıştır. Bu çalışmada iki adet ikili çinko-alüminyum alaşımı ve %1-5 oranlarında bakır içeren çinko-alüminyum-bakır alaşımları dökülmüş ve ısıl işlem görmüş durumda incelendi. Alaşımların sürtünme ve aşınma özelliklerini incelemek için blok-disk esaslı bir deney düzeneği kullanıldı.

Bu konuda bana kendisiyle birlikte çalışma fırsatını tanıyan ve çalışmanın her aşamasında yakın ilgisini esirgemeyip değerli fikirleriyle beni yönlendiren Sayın hocam Prof. Dr. Temel SAVAŞKAN' a teşekkür ederim. Çalışmam boyunca eleştirileri ve fikirleriyle bana yardımcı olan Dr. Genççağa PÜRÇEK' e ve alaşımların kimyasal bileşimlerinin belirlenmesindeki yardımlarından dolayı Dr. Celal DURAN' a teşekkürü borç bilirim. Aynı zamanda, Müh. Mim. Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü Malzeme Bilimleri ve Takım Tezgahları Laboratuvarında görevli teknisyenlere teşekkür ederim.

Bu çalışma boyunca manevi desteklerini benden esirgemeyen Köy Hizmetleri Tunceli İl Müdürü Sayın Muzaffer ASLAN ve Köy Hizmetleri Elazığ Bölge Müdürlüğü İdari ve Mali İşler Şube Müdürü Sayın Mehmet DAĞ' a teşekkür ederim.

Ali Paşa HEKİMOĞLU

Nisan 2002

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	V
SUMMARY.....	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VII
TABLolar DİZİNİ.....	X
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1 Giriş.....	1
1.2 Çinko Esaslı Alaşımların Faz Diyagramları.....	2
1.2.1. İkili Çinko-Alüminyum Faz Diyagramı.....	2
1.2.2. Üçlü-Çinko-Alüminyum-Bakır Faz Diyagramı.....	4
1.3. Çinko Esaslı Alaşımların Kimyasal Bileşimleri ve Özellikleri.....	5
1.3.1. Çinko Esaslı Alaşımların Kimyasal Bileşimleri.....	5
1.3.2. Çinko Esaslı Alaşımların Fiziksel Özellikleri.....	5
1.3.3. Çinko Esaslı Alaşımların Mekanik Özellikleri.....	6
1.3.4. Çinko Esaslı Alaşımların Tribolojik Özellikleri.....	8
1.4. Literatür Özeti ve Çalışmanın Amacı.....	9
2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	11
2.1. Alaşımların Üretimi ve Isıl İşlemi.....	11
2.2. Alaşımların Yapısal, Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi.....	11
2.3. Alaşımların Sürtünme ve Aşınma Özelliklerinin Belirlenmesi.....	12
2.4. Örneklerin Aşınma Yüzeylerinin İncelenmesi.....	16
3. BULGULAR.....	17
3.1. Alaşımların Kimyasal Bileşimleri.....	17
3.2. Alaşımların İç Yapısı.....	17
3.3. Fiziksel ve Mekanik Deneylerden Elde Edilen Bulgular.....	26
3.4. Sürtünme ve Aşınma Deneyinden Elde Edilen Bulgular.....	29
3.5. Aşınma Yüzeylerinin İncelenmesinden Elde Edilen Bulgular.....	38
4. İRDELEME.....	45

5.	SONUÇLAR.....	50
6.	ÖNERİLER.....	51
7.	KAYNAKLAR.....	52
8.	ÖZGEÇMİŞ.....	56



ÖZET

Bu çalışmada, iki adet ikili çinko-alüminyum ve düşük oranlarda (% 1-5) bakır içeren on adet üçlü çinko-alüminyum-bakır alaşımı kokil döküm yöntemiyle üretildi. Üretilen alaşımların sürtünme ve aşınma özellikleri blok-disk esaslı bir deney düzeneği yardımıyla incelenerek elde edilen sonuçların iç yapı ve bazı mekanik özelliklerle ilişkisi araştırıldı.

İncelemeler sonucunda çinko-alüminyum alaşımlarının sertliğinin artan bakır oranıyla sürekli artarken, çekme dayanımının %2 oranına kadar artan bakır oranıyla arttığı ve bu oranın üzerinde ise artan bakır oranı ile azaldığı görüldü. Alaşımların sürtünme katsayısı ve çalışma sıcaklığının ise bakır oranına göre düzenli bir değişim sergilemediği görüldü. Alaşımlarda aşınma ile meydana gelen hacim kaybının % 2 oranına kadar artan bakır oranı ile azaldığı, bu oranın üzerinde ise bakır oranından fazla etkilenmediği görüldü. Diğer taraftan çözündürme ve su verme sonrası uygulanan yaşlandırma işlemi sonunda alaşımların sertlik, mukavemet ve aşınma direncinin önemli ölçüde arttığı görüldü. Alaşımların aşınma direncinde meydana gelen artış bunların iç yapı, sertlik ve mukavemetine dayandırılarak açıklandı.

Elde edilen bulgular üzerinde yapılan değerlendirme sonucunda, bakır katkısı ve ısıtılma işleminin çinko-alüminyum alaşımlarının mekanik ve tribolojik özelliklerini büyük ölçüde iyileştirdiği görüldü.

Anahtar Kelimeler: Çinko-Alüminyum-Bakır Alaşımları, Sürtünme ve Aşınma.

SUMMARY

An Investigation of the Effects of Copper Additions on the Friction and Wear Properties of Zinc-Aluminium Alloys

In this study, two binary zinc-aluminium and ten ternary zinc-aluminium-copper alloys containing small amounts (1-5%) of copper were produced by permanent mould casting. The friction and wear properties of these alloys were examined using a block-on-disc test machine, and the results obtained were related to their microstructure and mechanical properties.

It was found that the hardness of the alloys increased continuously with increasing copper content up to maximum 5%, while their tensile strength increased with increasing copper content up to 2 % above which decreased as the copper content increased. The coefficient of friction and surface temperature of the alloys were found to be almost independent of the copper content. It was also observed that the volume loss due to wear of alloys decreased with increasing copper content up to 2%, above which it showed no considerable change. However the hardness, tensile strength and wear resistance of the alloys increased by the heat-treatment applied. The improvement obtained in the wear resistance of these alloys is explained in terms of their microstructure, hardness and tensile strength.

As a result of this work it was concluded that the mechanical and tribological properties of the zinc-based alloys can be greatly improved by either addition of copper or heat-treatment.

Key words: Zinc-Aluminium-Copper Alloys, Friction and Wear

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. İkili çinko-alüminyum faz diyagramı.....	3
Şekil 2. Üçlü çinko-alüminyum-bakır alaşım sisteminin 350 °C sıcaklıktaki kesiti.....	4
Şekil 3. Blok-disk esaslı sürtünme ve aşınma deney düzeneğinin şematik resmi.....	14
Şekil 4. Deney düzeneğinin fotoğrafı.....	15
Şekil 5. Aşınma örneğinin teknik resmi.....	15
Şekil 6. Disk, örnek ve örnek tutucusunun yakından görünümü.....	16
Şekil 7. Zn-27Al alaşımının dökülmüş durumdaki iç yapısını gösteren fotoğraf.....	18
Şekil 8. Zn-27Al-1Cu alaşımının dökülmüş durumdaki iç yapısını gösteren fotoğraf.....	18
Şekil 9. Zn-27Al-3Cu alaşımının dökülmüş durumdaki iç yapısını gösteren fotoğraf.....	19
Şekil 10. Zn-27Al-5Cu alaşımının dökülmüş durumdaki iç yapısını gösteren fotoğraf.....	19
Şekil 11. Zn-40Al alaşımının dökülmüş durumdaki iç yapısını gösteren fotoğraf.....	20
Şekil 12. Zn-40Al-1Cu alaşımının dökülmüş durumdaki iç yapısını gösteren fotoğraf.....	20
Şekil 13. Zn-40Al-3Cu alaşımının dökülmüş durumdaki iç yapısını gösteren fotoğraf.....	21
Şekil 14. Zn-40Al-5Cu alaşımının dökülmüş durumdaki iç yapısını gösteren fotoğraf.....	21
Şekil 15. Zn-27Al alaşımının ısı işlem görmüş durumdaki iç yapısı.....	22
Şekil 16. Zn-27Al-1Cu alaşımının ısı işlem görmüş durumdaki iç yapısı.....	22
Şekil 17. Zn-27Al-3Cu alaşımının ısı işlem görmüş durumdaki iç yapısı.....	23
Şekil 18. Zn-27Al-5Cu alaşımının ısı işlem görmüş durumdaki iç yapısı.....	23
Şekil 19. Zn-40Al alaşımının ısı işlem görmüş durumdaki iç yapısı.....	24
Şekil 20. Zn-40Al-1Cu alaşımının ısı işlem görmüş durumdaki iç yapısı.....	24
Şekil 21. Zn-40Al-3Cu alaşımının ısı işlem görmüş durumdaki iç yapısı.....	25
Şekil 22. Zn-40Al-5Cu alaşımının ısı işlem görmüş durumdaki iç yapısı.....	25
Şekil 23. Alaşımların sertliğinin bakır oranıyla değişimini gösteren eğriler.....	28
Şekil 24. Alaşımların çekme dayanımının bakır oranıyla değişimini gösteren eğriler....	28

Şekil 25. Zn-27Al-2Cu alaşımının sürtünme katsayısının alınan yola göre değişimini gösteren eğriler.....	31
Şekil 26. Zn-40Al-2Cu alaşımının sürtünme katsayısının alınan yola göre değişimini gösteren eğriler.....	31
Şekil 27. Alaşımların sürtünme katsayısının bakır oranına göre değişimini gösteren eğriler.....	32
Şekil 28. Zn-40Al-3Cu alaşımının sürtünme katsayısı ve çalışma sıcaklığının alınan yola göre değişimini gösteren eğriler.....	32
Şekil 29. Alaşımların çalışma sıcaklığının bakır oranına göre değişimini gösteren eğriler.....	33
Şekil 30. Dökülmüş durumdaki Zn-27Al esaslı alaşımlarda aşınma ile meydana gelen hacim kaybının alınan yola göre değişimini gösteren eğriler.....	35
Şekil 31. Isıl işlem görmüş durumdaki Zn-27Al esaslı alaşımlarda aşınma ile meydana gelen hacim kaybının alınan yola göre değişimini gösteren eğriler..	35
Şekil 32. Dökülmüş durumdaki monotektoid esaslı alaşımlarda aşınma ile meydana gelen hacim kaybının alınan yola göre değişimini gösteren eğriler.....	36
Şekil 33. Isıl işlem görmüş durumdaki monotektoid esaslı alaşımlarda aşınma ile meydana gelen hacim kaybının alınan yola göre değişimini gösteren eğriler..	36
Şekil 34. Bakır oranının Zn-27Al esaslı alaşımlarda aşınma ile meydana gelen hacim kaybına etkisini gösteren eğriler.....	37
Şekil 35. Bakır oranının monotektoid esaslı alaşımlarda aşınma ile meydana gelen hacim kaybına etkisini gösteren eğriler.....	37
Şekil 36. Dökülmüş durumdaki Zn-27Al alaşımının aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü.....	38
Şekil 37. Dökülmüş durumdaki Zn-27Al-3Cu alaşımının aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü.....	39
Şekil 38. Dökülmüş durumdaki Zn-27Al-5Cu alaşımının aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü.....	39
Şekil 39. Dökülmüş durumdaki Zn-40Al alaşımının aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü.....	40
Şekil 40. Dökülmüş durumdaki Zn-40Al-3Cu alaşımının aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü.....	40

Şekil 41. Dökülmüş durumdaki Zn-40Al-5Cu alaşımının aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü.....	41
Şekil 42. Isıl işlem görmüş durumdaki Zn-27Al alaşımının aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü.....	41
Şekil 43. Isıl işlem görmüş durumdaki Zn-27Al-3Cu alaşımının aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü.....	42
Şekil 44. Isıl işlem görmüş durumdaki Zn-27Al-5Cu alaşımının aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü.....	42
Şekil 45. Isıl işlem görmüş durumdaki Zn-40Al alaşımının aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü.....	43
Şekil 46. Isıl işlem görmüş durumdaki Zn-40Al-3Cu alaşımının aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü.....	43
Şekil 47. Isıl işlem görmüş durumdaki Zn-40Al-5Cu alaşımının aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü.....	44
Şekil 48. Zn-27Al esaslı alaşımların sertlik, çekme dayanımı ve hacim kaybının bakır oranına göre değişimini gösteren eğriler.....	48
Şekil 49. Monotektoid esaslı alaşımların sertlik, çekme dayanımı ve hacim kaybının bakır oranına göre değişimini gösteren eğriler.....	48

TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. İkili çinko-alüminyum alaşımlarında meydana gelen dönüşümler.....	3
Tablo 2. Çinko-alüminyum-bakır alaşım sisteminde meydana gelen katı hal dönüşümleri.....	5
Tablo 3. Çinko esaslı bazı alaşımlarının kimyasal bileşimleri.....	6
Tablo 4. Çinko esaslı bazı alaşımlar ile geleneksel yatak malzemelerinin fiziksel özellikleri.....	7
Tablo 5. Çinko esaslı bazı alaşımlar ile geleneksel yatak malzemelerinin mekanik özellikleri.....	8
Tablo 6. Üretilen alaşımların kimyasal bileşimleri.....	17
Tablo 7. İncelenen alaşımların fiziksel ve mekanik özellikleri.....	27
Tablo 8. Alaşımların sürtünme katsayısı ve çalışma sıcaklığı.....	30
Tablo 9. Alaşımlarda aşınma ile meydana gelen hacim kayıpları.....	34

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Çinko esaslı alaşımlar uzun süreli inceleme ve araştırma çalışmaları sonucunda geliştirilmiştir [1]. İlk kez 1930' lu yıllarda üretilen Zamak-3 ve Zamak-5 adlı çinko esaslı alaşımlar günümüzde de kullanılmaktadır [2]. İkinci Dünya savaşı sırasında Almanya'da bakır ve kalay temininde karşılaşılan güçlükler nedeniyle bronz yerine çinko esaslı yatak alaşımları geliştirilmiştir [2,3]. Savaşın sona ermesinden sonra, malzeme temininde karşılaşılan zorlukların ortadan kalkmasıyla bronz piyasadaki eski yerini almaya başlamıştır. Ancak, Avrupa'daki bazı firmalar çinko esaslı alaşımları üretmeye ve geliştirmeye devam etmişlerdir [4,5].

1962 yılında ILZRO (International Lead-Zinc Research Organization) tarafından %12 ve %16 oranlarında alüminyum içeren ILZRO-12 (ZA-12) ve ILZRO-16 (ZA-16) alaşımları üretilmiş, 1970'li yıllarda ise Noranda Araştırma Merkezi tarafından ZA-8 ve ZA-27 olarak adlandırılan çinko esaslı ticari alaşımlar geliştirilmiştir [6,7]. Aynı tarihlerde Avusturya'daki Vöest-Alpina firması tarafından da, ALZEN olarak adlandırılan çinko-alüminyum alaşımları üretilmiştir [8,9]. Bunlardan % 32 Al ve %5 Cu içeren ALZEN 305 alaşımı İngiltere'de halen yatak malzemesi olarak kullanılmaktadır [10,11]. Bu alaşımların isimlendirilmesinde kullanılan ZA simgesi çinko ve alüminyumun İngilizce isimlerinin ilk harflerini, rakamlar ise alaşımların alüminyum oranını göstermektedir.

Çinko esaslı alaşımların geleneksel yatak malzemelerine göre bir takım üstünlüklere sahip olduğu bilinmektedir [12-14]. Bu üstünlüklerin başında söz konusu alaşımların aşınma direnci ve özgül mukavemetinin (mukavemet/yoğunluk) yüksek olması, üretimlerinin kolay ve ekonomik olması, sert parçacıkları yutma özelliğine sahip olmaları, yetersiz yağlama durumunda bile ideal tribolojik davranış sergilemeleri gelmektedir [14,15]. Ancak, çinko esaslı alaşımların yukarıda belirtilen avantajlarının yanında bazı dezavantajlarının da olduğu görülmüştür [16,17]. Bu dezavantajların başında da kullanım sıcaklığının sınırlı olması ve boyutsal kararsızlık problemi gelmektedir [17]. Kullanım sıcaklığının sınırlı olması bu alaşımların ergime sıcaklıklarının düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Boyutsal kararsızlık problemi ise döküm sırasında oluşan metastabil fazların alaşımların kullanımı sırasında kararlı fazlara dönüşmesinden ileri gelmektedir [16]. Yapılan çalışmalar sonucunda bu alaşımlara ısıtma işlemi uygulamak veya uygun alaşım

elementi katmak suretiyle boyutsal kararsızlık probleminin büyük ölçüde giderilebileceği görülmüştür [18].

Çinko esaslı alaşımlar aşırı yük altında çalışan yatakların üretiminden başka otomotiv sanayiinde karbüratör parçaları, silindir kapağı, dişli kutusu kapakları, biyel kolu, motor ayağı, külbütör yatakları, ön aks, aks yatağı ve jant yapımında da yaygın olarak kullanılmaktadır [15,19-21].

Çinko-alüminyum alaşımlarının mekanik ve tribolojik özelliklerinin alaşım elementi katmak veya ısıl işlem uygulamak suretiyle büyük ölçüde iyileştirilebileceği görülmüştür. Bu nedenle bu alaşımlar için uygun alaşım elementi oranı ve ısıl işlemi belirleme çalışmaları günümüzde yoğun olarak sürdürülmektedir.

1.2. Çinko Esaslı Alaşımların Faz Diyagramları

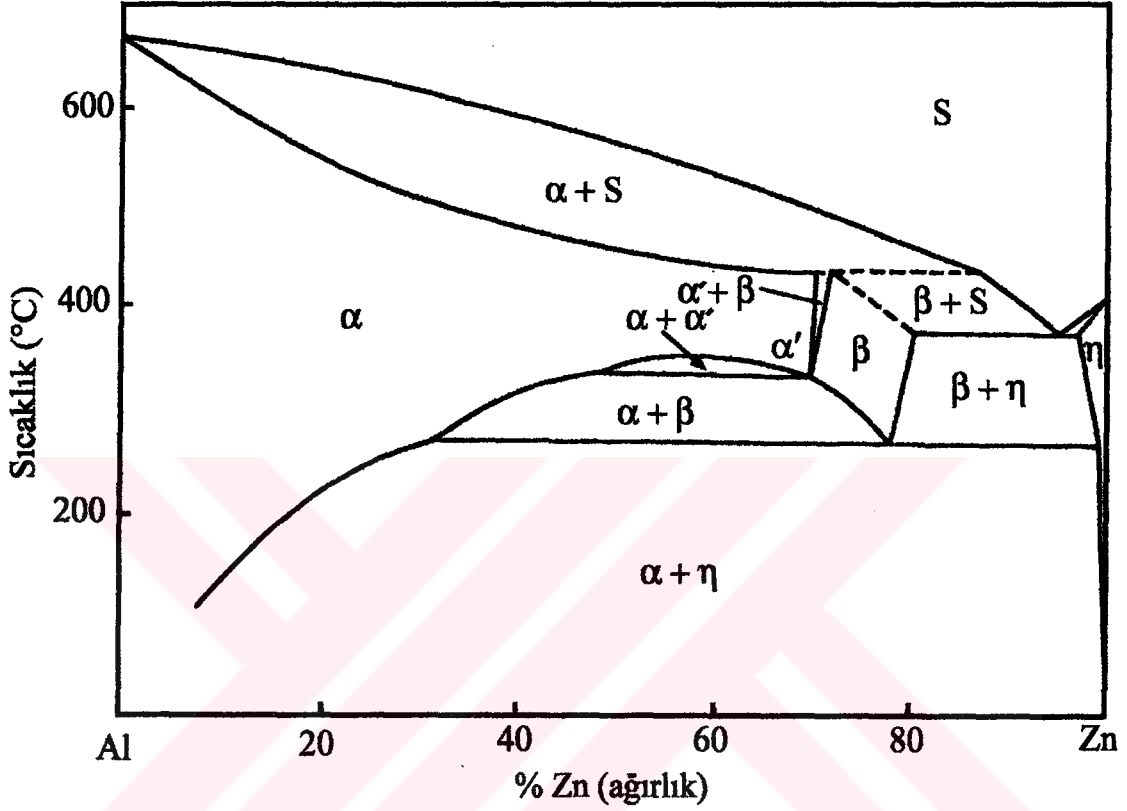
1.2.1. İkili Çinko-Alüminyum Faz Diyagramı

Pek çok araştırmacı [7,22-25] tarafından yapılan çalışmalar sonucunda belirlenen çinko-alüminyum faz diyagramı Şekil 1' de verilmiştir. Bu diyagramda alüminyumca zengin faz bölgesi α , çinkoca zengin faz bölgesi ise η fazı olarak gösterilmiştir [22]. Alüminyum içerisindeki çinko katı çözümlenmesi % 83 Zn oranına kadar uzanarak α , α' ve β olarak adlandırılan üç değişik faz bölgesi oluşturmaktadır [23,25]. Bu sistemde meydana gelen önemli faz dönüşümleri Tablo 1' de gösterilmiştir.

Yavaş soğutma sonucunda kararlı çinko ve alüminyum fazlarına dönüşen bu fazların tümü yüzey merkezli kübik (YMK) yapıya sahiptir [23]. Hızlı soğutma işlemi ise, çinkonun aşırı doymuş katı çözelti içerisinde tutulmasına ve bundan sonraki yaşlandırma işlemi sonunda bir dizi geçiş fazlarının oluşmasına neden olur [7]. Kafes parametrelerinin birbirine çok yakın olması nedeniyle α ve α' fazları arasındaki faz sınırı tam olarak belirlenememiş ve faz diyagramında $\alpha+\alpha'$ olarak adlandırılan bir karışmazlık bölgesi oluşmuştur, Şekil 1.

Çinko-alüminyum alaşımlarının ergime sıcaklığı, katılma aralığı ve iç yapısı alüminyum oranına göre değişir. Şöyle ki, Zn-Al faz diyagramında, 382 °C sıcaklık ve %5 Al bileşim oranında ötektik, 276 °C sıcaklık ve %22 Al oranında ötektoid dönüşüm meydana gelir. Ötektik dönüşüm sonucunda, yüzey merkezli kübik yapı (YMK) β ile sıkı düzenli hegzagonal yapı η fazlarını içeren bir yapı oluşur [23,26]. Alüminyumun η fazı içerisindeki katı çözümlenmesi azalan sıcaklıkla azalmakta ve ötektik dönüşüm sıcaklığında

% 5 civarında olan katı çözünebilirlik 20 °C sıcaklıkta % 0,05 Al oranına düşmektedir. β fazı ise 276 °C sıcaklıkta ötektoid dönüşümle alüminyumca zengin α ve çinkoca zengin η fazlarına dönüşmektedir [27,28].



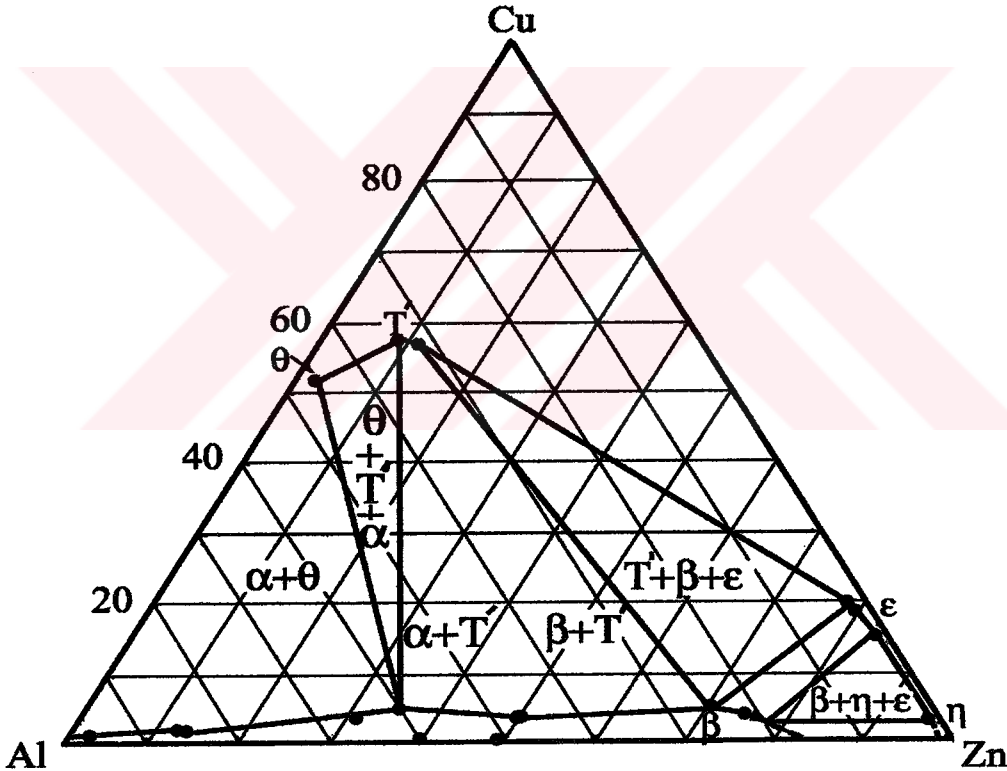
Şekil 1. İkili çinko-alüminyum faz diyagramı [7]

Tablo 1. İkili çinko-alüminyum alaşımlarında meydana gelen dönüşümler [22-25]

Dönüşüm	Dönüşüm formülü	Dönüşüm noktası	
		Kimyasal bileşim (% Zn)	Sıcaklık (° C)
Ötektik	$S \rightleftharpoons \beta + \eta$	95	382
Ötektoid (I)	$\beta \rightleftharpoons \alpha + \eta$	78	276
(II)	$\alpha / \alpha' \rightleftharpoons \alpha + \beta$	52	340
Peritektik	$\alpha + s \rightleftharpoons \beta$	72	443

1.2.2. Üçlü Çinko-Alüminyum-Bakır Faz Diyagramı

Üçlü çinko-alüminyum-bakır sistemine ait faz diyagramı henüz tam olarak belirlenememiş olmakla birlikte, sistemin düşük oranlarda bakır içeren kısmı Murphy tarafından ayrıntılı olarak incelenmiştir [7]. Çinko- alüminyum- bakır alaşım sistemine ait faz diyagramının 350 °C sıcaklıktaki izotermal kesiti Şekil 2' de gösterilmiştir. Düşük oranlarda bakır içeren çinko-alüminyum alaşımlarında ortaya çıkan faz dönüşümlerini gösteren katı hal reaksiyonları ise Tablo 2' de verilmiştir. Bu tabloda α alüminyumca zengin fazı, β çinkoca zengin fazı, ϵ kararsız dengeli (metastabil) bir yapıya sahip olan bakırca zengin fazı ve T' kararlı yapıya sahip olan bakırca zengin fazı göstermektedir [23].



Şekil 2. Üçlü çinko-alüminyum-bakır alaşım sisteminin 350 °C sıcaklıktaki kesiti [7]

Çinko-alüminyum-bakır alaşımlarında ϵ (CuZn_4), θ (CuAl_2) ve T' ($\text{Al}_4\text{Cu}_3\text{Zn}$) gibi intermetalik bileşiklerin oluşması nedeniyle faz dönüşümleri ikili sisteme göre çok daha karmaşık bir hal almıştır [28,29]. Döküm sırasında oluşan ve metastabil bir yapıya sahip

olan ϵ fazı dörtlü faz reaksiyonu ($\alpha + \epsilon \rightleftharpoons T' + \eta$) ile kararlı T' ve η fazlarına dönüşür [28,29]. Uzun zaman alan bu dönüşüm sırasında söz konusu alaşımlarda yaklaşık % 4,5 oranında hacimsel büyüme meydana gelir [28-31]. Bu nedenle, yatak imalatından önce bu alaşımların uygun bir ısı ile işlemle kararlı hale getirilmeleri gerekir [29,30]. Bunun için söz konusu alaşımlara bir kararlı hale getirme işlemi (stabilizasyon) uygulanır [28-30]. Bu ısı işlem, genellikle alaşımların 100-200 °C arasındaki bir sıcaklıkta uygun bir süre yaşlandırılması suretiyle gerçekleştirilir [30].

Tablo 2. Çinko-alüminyum-bakır alaşım sisteminde meydana gelen katı hal dönüşümleri [32-34]

Dönüşüm	Sıcaklık (°C)
$T' + \beta \rightleftharpoons \alpha + \epsilon$	288
$\beta \rightleftharpoons \alpha + \eta$	275
$\beta + \epsilon \rightleftharpoons \alpha + \eta$	276
$\alpha + \epsilon \rightleftharpoons T' + \eta$	268

1.3. Çinko Esaslı Alaşımların Kimyasal Bileşimleri ve Özellikleri

1.3.1. Çinko Esaslı Alaşımların Kimyasal Bileşimleri

Piyasada yaygın olarak kullanılan çinko esaslı bazı ticari alaşımların kimyasal bileşimleri Tablo 3' de verilmiştir. Bu alaşımlardan Zamak, Kayem ve ZA-8 ötektik, ZA-27 ötektoid, ZA-35 ise monotektoid noktaya yakın bileşimlere sahip alaşımlardır. Diğer taraftan Zamak-3 hariç bu alaşımların hepsi % 5' den düşük oranlarda bakır, ZA-35 hariç bütün alaşımlar düşük oranlarda Mg, ZA-35 alaşımı ise yaklaşık % 1 oranında silisyum içermektedir.

1.3.2. Çinko Esaslı Alaşımların Fiziksel Özellikleri

Çinko-alüminyum alaşımlarının ergime sıcaklığı ve yoğunluğu alüminyum oranına göre değişir [17,35]. Alüminyum oranı arttıkça bu alaşımların ergime sıcaklığı yükselir katılma aralığı ise daralır [35,36]. Çinko-alüminyum alaşımlarının geleneksel yatak alaşımlarından daha düşük ergime sıcaklığına sahip olduğu bilinmektedir [35]. Bu nedenle

bu alaşımların üretiminde daha az enerjiye ihtiyaç duyulur ve döküm işlerinde kullanılan araç ve gereçlerin ömrü fazla etkilenmez [36,37].

Tablo 3. Çinko esaslı bazı alaşımların kimyasal bileşimleri [13]

Alaşım	Kimyasal bileşim (%)				
	Al	Mg	Cu	Si	Zn
Zamak-3	3,8 – 4,3	0,03 – 0,06	-	-	Kalan
Zamak-5	3,8 – 4,3	0,03 – 0,06	0,75 – 1,25	-	Kalan
Kayem-1	3,8 – 4,3	0,03 – 0,06	2,8 – 3,3	-	Kalan
ZA-8	8,0 – 8,8	0,01 – 0,03	0,8 – 1,3	-	Kalan
ZA-12	11,0 – 11,5	0,01 – 0,03	0,5 – 1,5	-	Kalan
ZA-27	25,0 – 28,0	0,01 – 0,02	2,0 – 2,5	-	Kalan
ZA-35	30,0 – 35,0	-	3 – 5	0,5 – 1,0	Kalan

Tablo 4' de çinko esaslı bazı alaşımlar ile geleneksel yatak malzemelerinin fiziksel özellikleri verilmiştir. Bu tabloda görüldüğü gibi, çinko-esaslı alaşımların yoğunluğu bronz, pirinç ve dökme demir gibi geleneksel yatak alaşımlarının yoğunluklarından düşük olup, bu değer artan alüminyum oranı ile azalmaktadır [36-39]. Ayrıca söz konusu alaşımların ısıl genleşme katsayısı alüminyum alaşımları dışındaki geleneksel yatak alaşımlarının söz konusu değerlerinden daha yüksek olduğu ve bu değerlerin artan alüminyum oranı ile arttığı görülmektedir [36].

1.3.3. Çinko Esaslı Alaşımların Mekanik Özellikleri

İkili çinko-alüminyum alaşımlarının bazı uygulamalar için yeterli olmayan mekanik özelliklerinin alaşım elementi katmak ya da ısıl işlem uygulamak suretiyle iyileştirilebileceği bilinmektedir [16,29,30]. Ancak, dökülmüş durumdaki çinko-alüminyum alaşımlarındaki faz dönüşümlerini hızlandırmak ve kararlı iç yapılar elde etmek amacıyla uygulanan stabilizasyon işleminin bu alaşımların sertlik ve mukavemetini azaltıp, kopma uzaması değerini artırdığı görülmüştür [16,35,40,41]. Çözündürme ve su

verme sonrası uygulanan yaşlandırma işlemi ise bu alaşımların sertlik ve mukavemetini artırmakta, kopma uzamasını azaltmaktadır [29].

Söz konusu alaşımların mekanik özelliklerini iyileştiren katkı elementlerinin başında bakır, magnezyum, mangan ve silisyum gelmektedir [35,42]. Özellikle düşük oranlardaki (%2-3) bakır katkılarının ikili alaşımların sertlik, mukavemet, korozyon ve aşınma direncini önemli ölçüde artırdığı görülmüştür [35]. Daha yüksek oranlardaki bakır katkıları ise bu alaşımların mekanik özelliklerini olumsuz etkilemekle birlikte boyut değişimine de neden olmaktadır [35].

Çinko-alüminyum alaşımlarındaki iç yapı-mekanik özellik ilişkileri pek çok araştırmacı tarafından incelenmiş ve sonuçta dökülmüş durumdaki alaşımların ikincil dendrit kol aralığı azaldıkça çekme mukavemetinin arttığı belirlenmiştir [36]. Diğer taraftan çinko-alüminyum alaşımlarının mekanik özelliklerinin sıcaklığa karşı çok duyarlı olduğu bilinmektedir [35,42]. Şöyle ki, sıcaklık arttıkça bu alaşımların mukavemeti azalmakta, sünekliliği ise artmaktadır [35,42,43]. Bu nedenle, bu alaşımların 120 °C' den daha düşük sıcaklıklarda kullanılması önerilmektedir [35,36].

Tablo 4. Çinko esaslı bazı alaşımlar ile geleneksel yatak malzemelerinin fiziksel özellikleri [35,36,39]

Fiziksel özellikler	Alaşımlar					
	ZA-8	ZA-12	ZA-27	SAE-40 pirinci	SAE-660 bronz	Kır dökme demir
Yoğunluk (g/cm ³)	6,30	6,03	5,00	8,50	8,83	6,94
Katılma sıcaklık aralığı (°C)	404-375	430-480	490-380	1010-855	975-855	1232
Katılma büzülmesi (%)	1,0	1,2	1,3	-	-	1,0
Isıl genişleme katsayısı (µm/mK)	23,2	24,1	26,0	18,0	18,0	11,9

Not: Alaşımların hepsi dökülmüş durumda bulunmaktadır.

Çinko esaslı alaşımların yorulma dayanımı ve ömrünün bu alaşımların kimyasal bileşimi ve mekanik özelliklerine bağlı olduğu görülmüştür [35,36,44]. Şöyle ki, alaşımların sertlik, mukavemet ve alüminyum oranı arttıkça yorulma dayanımı ve

ömrünün arttığı belirlenmiştir [44]. Savaşkan ve Murphy[45] tarafından yapılan başka bir çalışmada da bakır katkısının bu alaşımların sürünme dayanımını önemli ölçüde artırdığı görülmüştür. Çinko esaslı alaşımların darbe dayanımının ise kimyasal bileşime bağlı olduğu ve kırılma tokluğunun artan alüminyum oranı ile arttığı belirlenmiştir [35]. Çinko esaslı bazı ticari alaşımlar ile geleneksel yatak alaşımlarının mekanik özellikleri Tablo 5' de verilmiştir. Bu tabloda, çinko-esaslı ticari alaşımların sertlik ve mukavemetinin genelde geleneksel yatak alaşımlarının sertlik ve mukavemetinden daha yüksek, kopma uzamasının ise daha düşük olduğu görülmektedir.

Tablo 5. Çinko esaslı bazı alaşımlar ile geleneksel yatak malzemelerinin mekanik özellikleri [36]

Mekanik özellikler	Alaşımlar					
	ZA-8	ZA-12	ZA-27	SAE-40 pirinci	SAE-660 bronz	Kır dökme demir
Sertlik (BSD)	85-90	85-95	110-120	60	65	210
Çekme dayanımı (MPa)	221-255	310-345	414-441	255	240	214
Kopma uzaması (%)	1-2	1,5-2,5	2-3	30	20	-
Darbe dayanımı (J)	13-18	17-22	25-40	15	8	-
Yorulma dayanımı (MPa)	103	103	172	-	-	-

Not: Alaşımların hepsi dökülmüş durumda bulunmaktadır.

1.3.4. Çinko Esaslı Alaşımların Tribolojik Özellikleri

Yapılan araştırmalar alüminyum ve bakır içeren çinko esaslı alaşımların üstün tribolojik özelliklere sahip olduğunu ve bu özelliklerin kimyasal bileşim, döküm yöntemi ve uygulanan ısıl işleme bağlı olduğunu ortaya koymuştur [28,29,42,46,47]. Çinko esaslı alaşımların üstün tribolojik özellikler sergilemesi bu alaşımların çok fazlı bir yapıya sahip olmalarının yanında aşınma yüzeylerinde çinko ve alüminyum oksit tabakalarının oluşumuna dayandırılarak açıklanmaktadır [36,47]. Söz konusu alaşımların iç yapılarında bulunan alüminyumca zengin α fazı yük taşıma görevi yaparken, çinkoca zengin η fazı

kaymayı kolaylaştırmaktadır [36]. Ayrıca, aşınma yüzeyinde oluşan sert alüminyum oksit tabakasının yük taşıma görevi yaptığı, çinko oksit tabakasının ise özellikle sınır ve karışık sürtünme durumlarında kaymayı kolaylaştırdığı ileri sürülmektedir [36,47].

İkili çinko-alüminyum alaşımlarının mekanik özelliklerini iyileştirmek amacıyla katılan düşük oranlardaki bakır, silisyum, magnezyum, mangan, nikel, stronsiyum gibi elementlerin bu alaşımların tribolojik özelliklerini de iyileştirdiği görülmüştür [36,48-51]. Bakır içeren çinko-alüminyum alaşımlarının aşınma direncinin, bu alaşımların sertlik ve mukavemetinden başka bunların iç yapısında oluşan bakırca zengin T' (Al_4Cu_3Zn) ve ϵ ($CuZn_4$) fazları ile bu fazların oranları ve iç yapıdaki dağılımlarına da bağlı olduğu ileri sürülmektedir [52]. Bakırca zengin T' ve ϵ fazları ile alüminyumca zengin α fazı kaymalı yatak uygulamalarında yük taşıma görevi yapmaktadır [36]. Ayrıca, bakır katkısı çinko-alüminyum alaşımlarının mekanik özelliklerini iyileştirmekle birlikte bunların aşınma direncini de artırmaktadır [49]. Ancak, bakır katkısı bu alaşımlarda boyutsal kararsızlık problemine yol açmaktadır [35]. Bakır katkısının neden olduğu boyutsal kararsızlık problemini ortadan kaldırmak için uygulanan ısıtma işlemlerinin bu alaşımların mekanik ve tribolojik özelliklerini etkilediği görülmüştür. Şöyle ki, stabilizasyon işlemi bu alaşımların sertlik, mukavemet ve aşınma direncini azaltırken, çözündürme sonrası uygulanan yaşlandırma işlemi bu değerleri artırmaktadır [29,48].

Bakır katkısının çinko esaslı alaşımların mekanik ve tribolojik özelliklerini iyileştirdiği görülmüş, ancak bakır oranının bu alaşımların sürtünme ve aşınma davranışına etkileri tam olarak ortaya konulamamıştır.

1.4. Literatür Özeti ve Çalışmanın Amacı

Geleneksel yatak malzemelerinin kısıtlı miktarda üretilmesi, pahalı olması ve tedarikinin zor olması gibi nedenlerden dolayı bunların yerine çinko esaslı yeni alaşımlar geliştirilmeye çalışılmaktadır. Çinko esaslı alaşımlar üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda, bu alaşımların geleneksel yatak malzemelerine göre daha üstün fiziksel, mekanik ve tribolojik özelliklere sahip oldukları belirlenmiştir. Bu üstünlüklerinin başında özgül mukavemetlerinin (mukavemet/yoğunluk) yüksek olması, üretim ve ısıtma işlemlerinin kolay olması gelmektedir. Çinko esaslı alaşımların üstün tribolojik özellikler sergilemesi bunların çok fazlı iç yapıları ile yüzeylerinde oluşan çinko ve alüminyum oksit filmlerine dayandırılarak açıklanmaktadır. Şöyle ki, söz konusu alaşımların iç yapıları sert ve

yumuşak fazlardan oluşmaktadır. Bu alaşımlardaki sert fazlar yük taşıma görevi yaparken, yumuşak fazlar katı yağlayıcı gibi davranarak kaymayı kolaylaştırmaktadır.

Bakır katkısının ikili çinko-alüminyum alaşımlarının mekanik ve tribolojik özelliklerini önemli ölçüde iyileştirdiği bilinmektedir. Ancak, bakırın boyutsal kararsızlık probleminde yol açtığı ve bakır oranı arttıkça bu problemin de arttığı gözlenmiştir. Bu sorunun ortadan kaldırılması veya en aza indirilmesi için uygun kimyasal bileşimin seçilmesi ya da uygun ısı işleminin uygulanması gerekmektedir.

Düşük oranlarda bakır içeren çinko-alüminyum alaşımları ve bu alaşımlardan üretilen kaymalı yatakların sürtünme ve aşınma gibi tribolojik özellikleri pek çok araştırmacı tarafından incelenmiş olmasına karşın, bakır oranının bu özelliklere etkisi sistematik olarak ele alınarak ortaya konulamamıştır. Bu nedenle, bu çalışmanın amacı bakır oranının dökülmüş ve ısı işlem görmüş durumdaki çinko-alüminyum alaşımlarının sürtünme ve aşınma davranışlarına etkilerini belirlemektir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2. 1. Alaşımın Üretimi ve Isıl İşlemi

Bu çalışmada altısı Zn-27Al (ötektoid bileşime yakın), altısı da Zn-40Al (monotektoid) esaslı olmak üzere toplam on iki adet alaşım kokil döküm yöntemiyle üretildi. Alaşımın üretiminde yüksek saflıkta (% 99,99) çinko, elektrolitik (% 99,99) bakır ve ticari saflıkta (%99,7) alüminyum kullanıldı. Üçlü alaşım için gerekli olan bakır intermetalik alüminyum-bakır (Al-50Cu) alaşımından karşılandı. Ergitme işlemi, elektrikli bir pota fırını içerisinde gerçekleştirildi. Ergitilen alaşımın kimyasal bileşimlerine göre belirlenen uygun bir sıcaklıktan (560 – 630 °C), 45x60x190 mm boyutlarındaki bir kokil kalıba dökülerek katılaştırıldı. Üretilen alaşımın kimyasal bileşimleri atomik absorpsiyon spektrometresi (AAS) yardımıyla belirlendi. Üretilen alaşımın dökülmüş ve ısıl işlem görmüş durumda incelendi. Söz konusu ısıl işlem, alaşımın 375 °C sıcaklıkta 24 saat süreyle çözündürüp su verdikten sonra 100 °C sıcaklıkta 1 saat yapay yaşlandırma suretiyle gerçekleştirildi.

2. 2. Alaşımın Yapısal, Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi

İç yapı incelemeleri için alaşımlardan alınan örnekler standart metalografi yöntemiyle hazırlandıktan sonra % 5-10' luk nital (etil alkol+nitrik asit) içerisinde dağlandı. Dağlanan örnekler ışık mikroskopunda incelenerek iç yapılarını gösteren fotoğraflar çekildi.

Alaşımın yoğunluğunun belirlenmesi için talaşlı işlemle hazırlanan örneklerin boyutları $\pm 0,001$ mm hassasiyetine sahip bir mikrometre ile ölçülerek hacimleri hesaplandı. Örneklerin kütleleri ise $\pm 0,01$ mg hassasiyetine sahip bir terazide ölçüldü ve kütle-hacim ilişkisinden yararlanılarak yoğunlukları belirlendi. Bu işlem her alaşımdan alınan ikişer örnek ile gerçekleştirildi.

Alaşımın talaşlı yöntemle TS 138-A standardına uygun olarak hazırlanan örnekler $4,5 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ lik deformasyon hızında çekme deneyine tabi tutuldu. Ortalama çekme dayanımı her bir alaşımdan alınan dörder çekme örneği kullanılarak belirlendi.

Sertlik deneyleri için alaşımlardan alınan örneklerin yüzeyleri talaşlı işlemle birbirine paralel hale getirildikten sonra parlatıldı. Sertlik ölçümleri Brinell sertlik ölçme yöntemiyle 62,5 kg yük altında ve 2,5 mm çapında batıcı uç kullanılarak gerçekleştirildi.

Sertlik değerlerinin belirlenmesinde en az dört ölüm yapılarak okunan değerlerin ortalaması alındı.

2. 3. Alaşımın Sürtünme ve Aşınma zelliklerinin Belirlenmesi

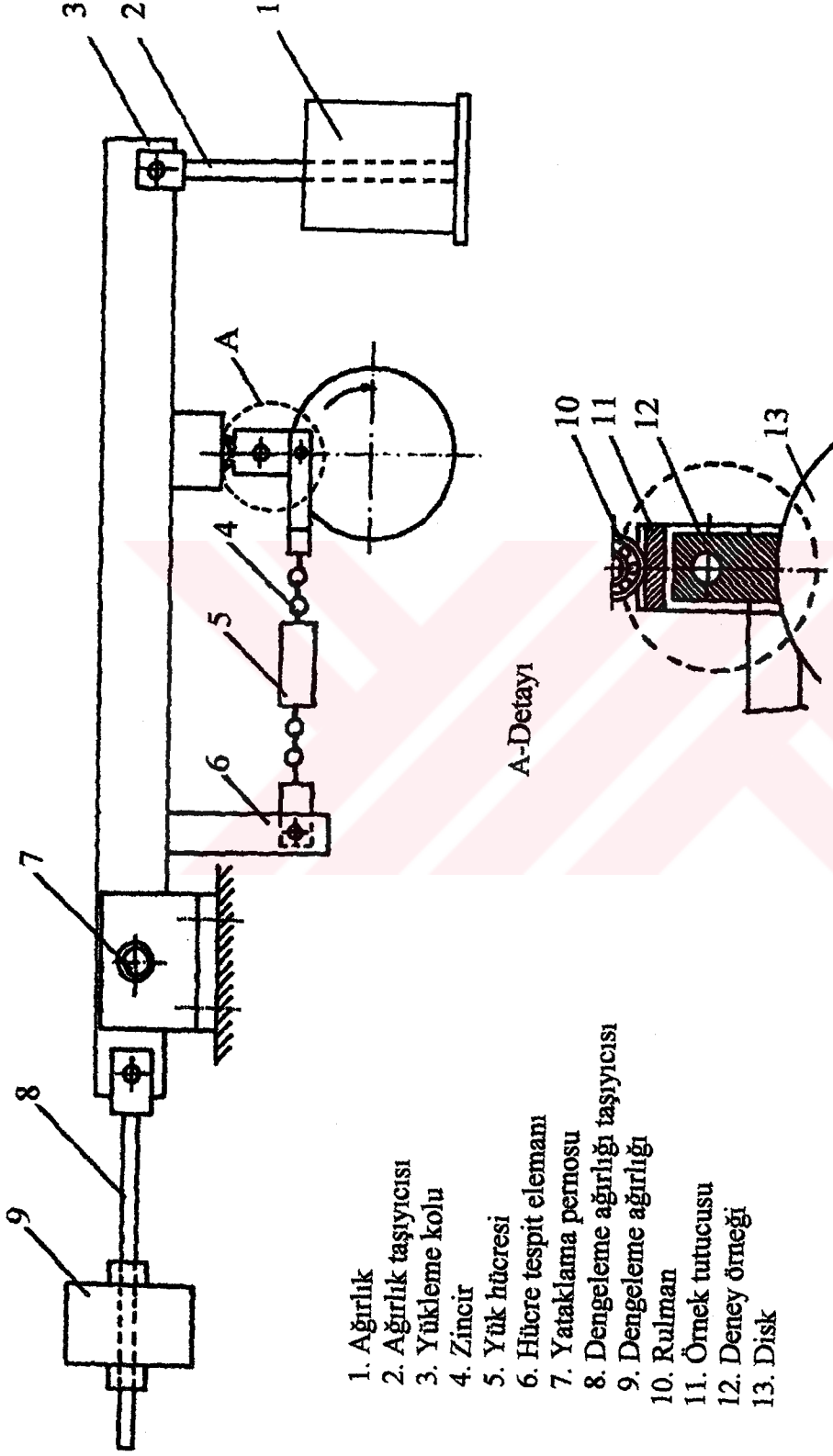
Alaşımın sürtünme ve aşınma özelliklerinin belirlenmesi için Şematik resmi Şekil 3' de verilen blok-disk esaslı bir deney düzeneği kullanıldı. Bu deney düzeneği 3kW gücündeki bir elektrik motoru, rulmanlarla yataklanan bir mil, bir disk, bir örnek tutucusu, yükleme kolu, yağlama sistemi ve sürtünme kuvvetini ölçmek için kullanılan bir devreden oluşmaktadır. Deney düzeneğindeki disk kaymalı yataklardaki mili, örnek ise yatağı temsil etmektedir. SAE 4140 eliğinden (Fe - %0,41 C - %0,90 Cr - %0,14 Mo - %0,90 Mn - %0,20 Si) imal edilen $149,750 \pm 0,01$ mm çapında disk ısıl işleme 55 RSD-C değerine kadar sertleştirilmiştir. Diskin yüzeyi ise $\pm 3\mu\text{m}$ ' lik bir hassasiyetle taşlandıktan sonra $0,5 \mu\text{m}$ tane boyutuna sahip alümina ile parlatılmıştır. Şekil 4' deki fotoğraf söz konusu düzeneğinin genel görünüşünü sergilemekte, Şekil 6' daki fotoğrafta ise bu düzeneğe ait disk, yk hücresi ile deney örneğinin yakından görünümü yer almaktadır. Bu düzenekte kullanılan örnek, disk ve yükleme rulmanının eksenleri çakıştırılarak örnek yüzeyinin diske tam olarak temas etmesi sağlanmaktadır. Bu düzenekte örneklerin yükleme işlemi, örnek tutucusunun bağlı olduğu yükleme kolunun ucuna ağrlık asmak suretiyle gerçekleştirilmektedir. Yükleme kolu bir perno ile yataklanmış olup, üzerindeki dengeleme ağrlığı vasıtası ile dengelenmektedir. Yağlama işlemi, yüksek bir yere yerleştirilen depodan ince bir hortum yardımıyla alınan yağın bir debi ayarlayıcısından geçirildikten sonra disk üzerine damlatılmasıyla gerçekleştirilmektedir.

Sürtünme ve aşınma deneyleri sırasında deney örneklerinin sıcaklıkları örneğin temas yüzeyinin 1,5 mm yukarısına açılan bir deliğe yerleştirilen bakır-nikel termoeleman çifti yardımıyla ölçüldü ve zamana göre değişimi bir yazıcı ile sürekli kaydedildi. Sürtünme kuvvetini ölçmek için, örnek ile sabit mesnet arasına yerleştirilen ve kendisine etki eden çekme kuvvetini gerilime eviren R-25 tipi bir yük hücresi kullanıldı. 25 kg kapasiteye sahip bu yük hücresinden alınan gerilim, bir yükselticide kuvvetlendirildikten sonra bir yazıcıya aktarılarak sürtünme kuvvetine ait gerilimin çalışma zamanına göre değişimi kayıt edildi. Sürtünme kuvvetinin ölümü için kullanılan yük hücresi ucuna belirli ağrlıklar asmak suretiyle elde edilen gerilimlerin değerlendirilmesi sonucunda kalibre edildi. Bulunan sürtünme kuvveti normal kuvvete bölünerek sürtünme katsayısı belirlendi.

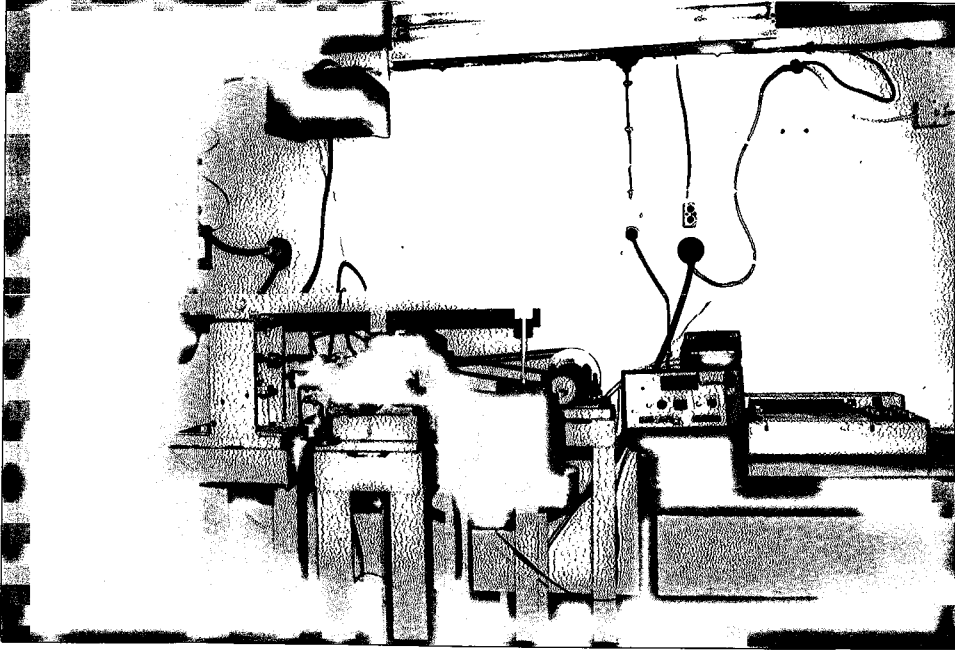
Sürtünme ve aşınma deneylerinde kullanılan örnekler talaşlı imalat yöntemiyle hazırlandı ve diske temas eden yüzeyleri iç çapı $149,75 \pm 0,05$ mm olan bir kalıpta işlendi. Örnekler aşınma deneyine tabi tutulmadan önce kimyasal çözücüler içinde ultrasonik temizleyici yardımıyla temizlendi ve kütleleri $0,01$ mg'lık hassasiyete sahip olan bir terazi ile ölçüldü.

Aşınma deneylerine başlamadan önce her bir örnek yağlanmış durumda ve 1 MPa'lık basınç altında 5 dakikalık bir süre alıştırma işlemine tabi tutuldu. Örnekler 20 saatlik süreye karşılık gelen her 140 km'lik yol sonunda ultrasonik temizleyici yardımıyla temizlendikten sonra kütleleri ölçüldü ve her bir alıştırma için 100 saatlik deney yapıldı. Sürtünme ve aşınma deneyleri $7,2$ MPa basınç altında ve $1,95$ m/s'lik kayma hızında (248 dev/dak) gerçekleştirildi. Deneylerde SAE $20W/50$ normuna uygun motor yağı kullanıldı ve yağ debisi $1\text{cm}^3/\text{saat}$ olarak seçildi.

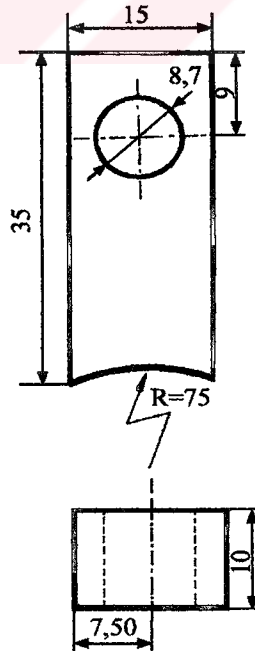




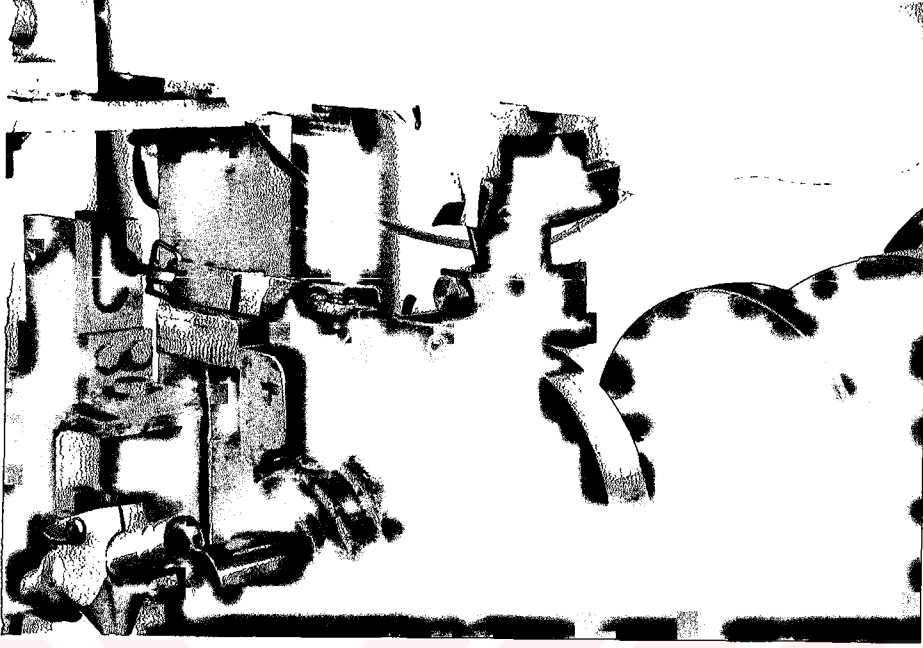
Şekil 3. Blok-disk esaslı sürtünme ve aşınma deney düzenineğin şematik resmi



Şekil 4. Deney düzeneğinin fotoğrafı



Şekil 5. Aşınma örneğinin teknik resmi



Şekil 6. Disk, örnek ve örnek tutucusunun yakından görünümü

2.4. Örneklerin Aşınma Yüzeylerinin İncelenmesi

Sürtünme ve aşınma deneyine tabi tutulan tüm örneklerin aşınma yüzeyleri taramalı elektron mikroskopunda (SEM) incelendi ve aşınma karakteristiklerini gösteren yüzey fotoğrafları çekildi.

3. BULGULAR

3.1. Alaşımın Kimyasal Bileşimi

Üretilen alaşımların kimyasal bileşimleri Tablo 6' da verilmiştir.

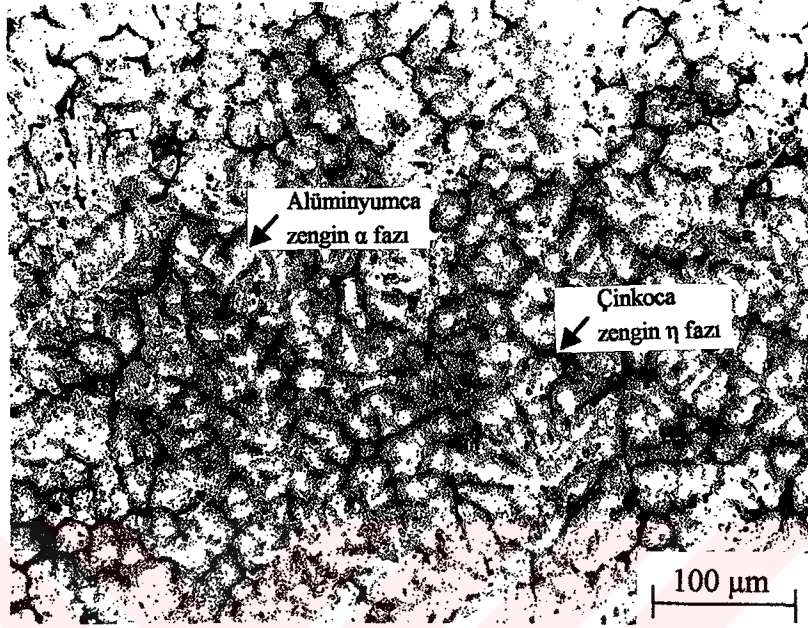
Tablo 6. Üretilen alaşımların kimyasal bileşimleri

Gösterim	Kimyasal bileşim (%)		
	Zn	Al	Cu
Zn-27Al	71,1	28,9	-
Zn-27Al-1Cu	70,8	28,1	1,1
Zn-27Al-2Cu	70,8	27,2	2,0
Zn-27Al-3Cu	69,6	27,5	2,9
Zn-27Al-4Cu	67,0	29,1	3,9
Zn-27Al-5Cu	68,1	27,0	4,9
Zn-40Al	59,4	40,6	-
Zn-40Al-1Cu	59,7	39,2	1,1
Zn-40Al-2Cu	55,8	42,2	2,0
Zn-40Al-3Cu	56,7	40,4	2,9
Zn-40Al-4Cu	56,0	40,1	3,9
Zn-40Al-5Cu	55,2	39,9	4,9

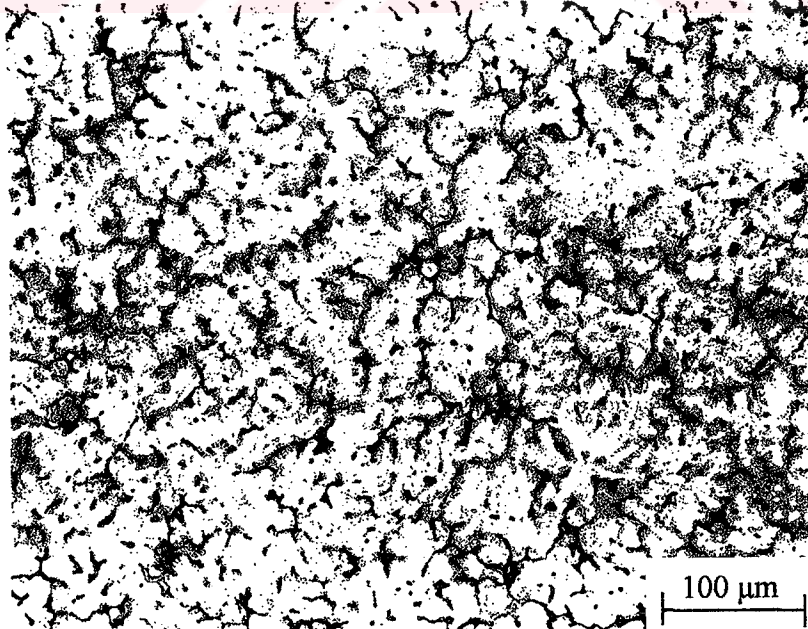
3.2. Alaşımların İç Yapısı

Dökülmüş durumdaki ikili alaşımların iç yapısının alüminyumca zengin α fazı ile bu fazı çevreleyen çinkoca zengin η fazından oluştuğu görülmüştür, Şekil 7,11. Üçlü alaşımların iç yapılarının birbirine çok benzemesi nedeniyle burada yalnız yaklaşık % 1, % 3 ve % 5 oranlarında bakır içeren üçlü alaşımların metalografik yapılarını gösteren fotoğraflar verilmiştir. Dökülmüş durumdaki üçlü alaşımların iç yapısı ise α ve η fazlarından başka bakırca zengin T' ve ϵ fazları içermektedir. Uygulanan ısı işlem

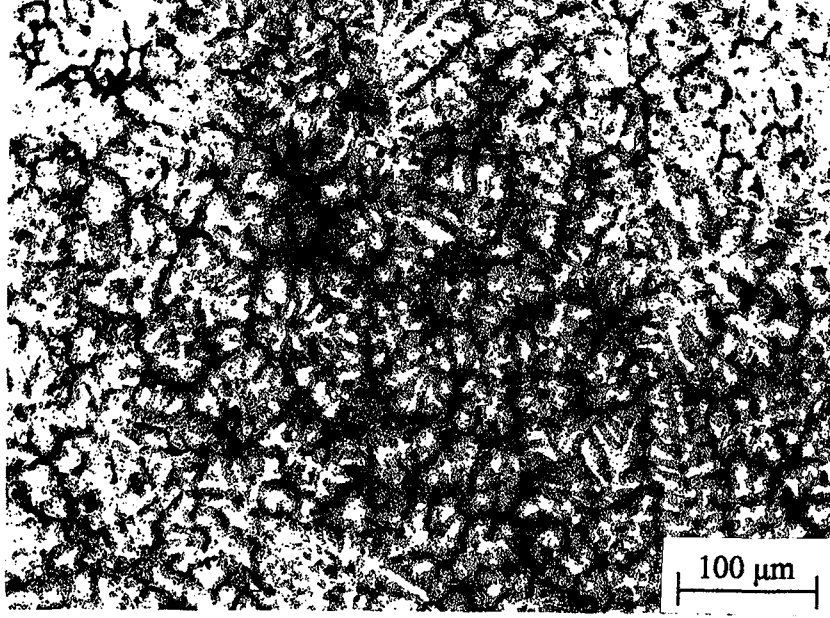
sonunda tüm alaşımların dendritik yapısının tamamen ortadan kalkarak, bunun yerini ince taneli bir iç yapının aldığı görülmüştür, Şekil 15-22.



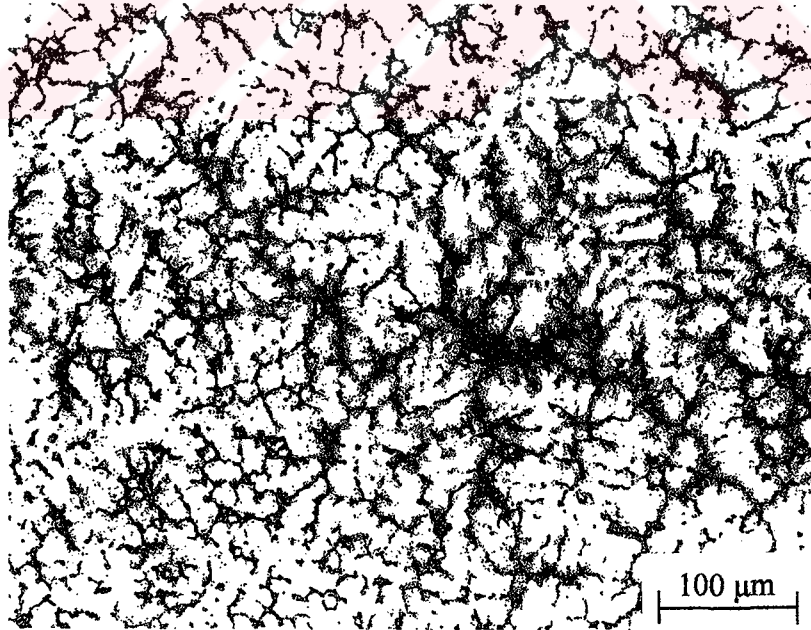
Şekil 7. Zn-27Al alaışımının dökülmüş durumdaki iç yapısını gösteren fotoğraf



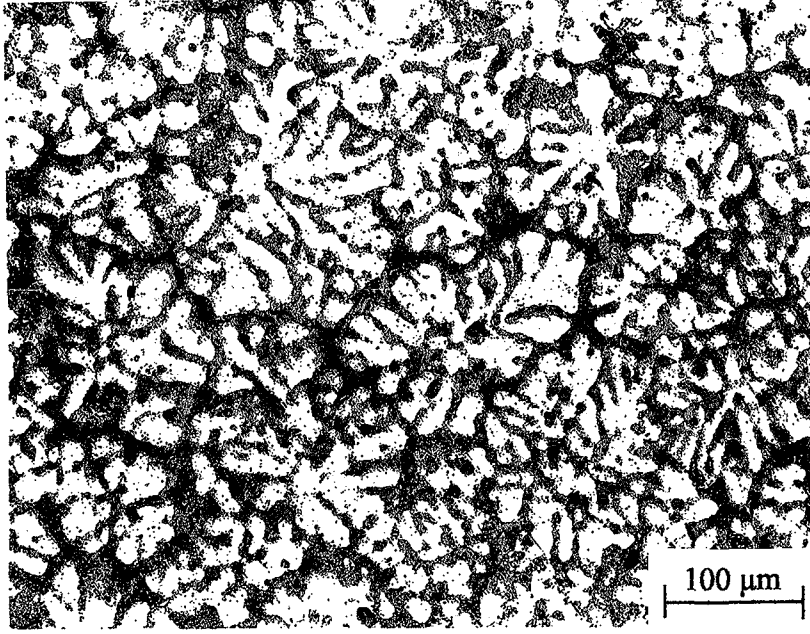
Şekil 8. Zn-27Al-1Cu alaışımının dökülmüş durumdaki iç yapısını gösteren fotoğraf



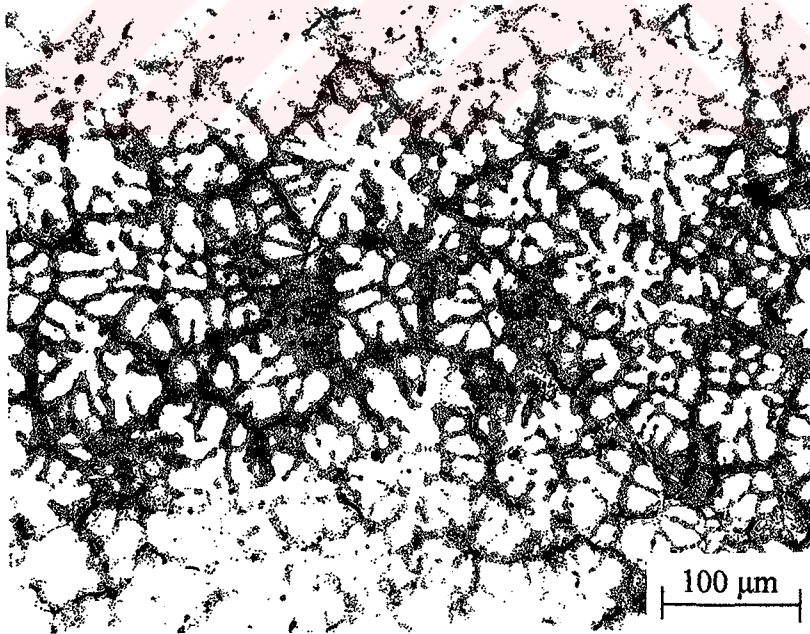
Şekil 9. Zn-27Al-3Cu alaşımının dökülmüş durumdaki iç yapısını gösteren fotoğraf



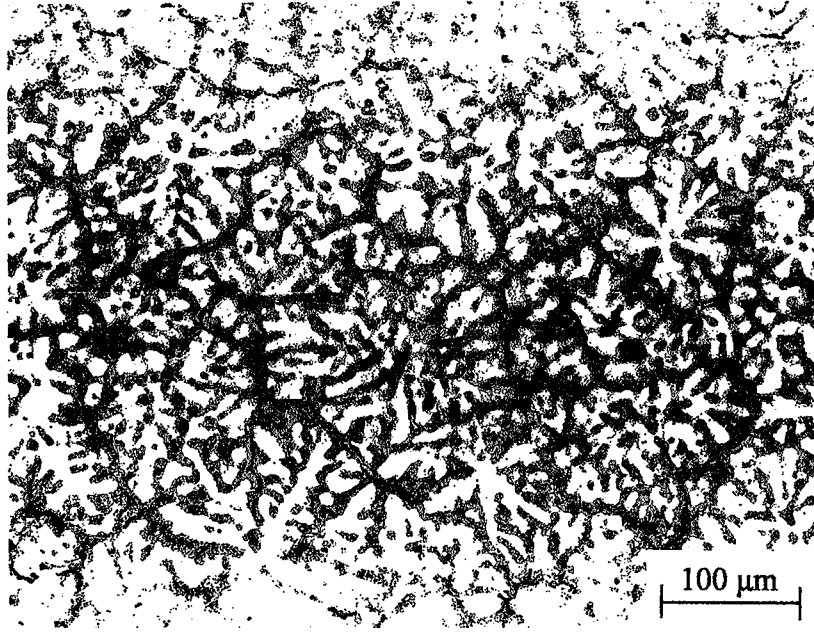
Şekil 10. Zn-27Al-5Cu alaşımının dökülmüş durumdaki iç yapısını gösteren fotoğraf



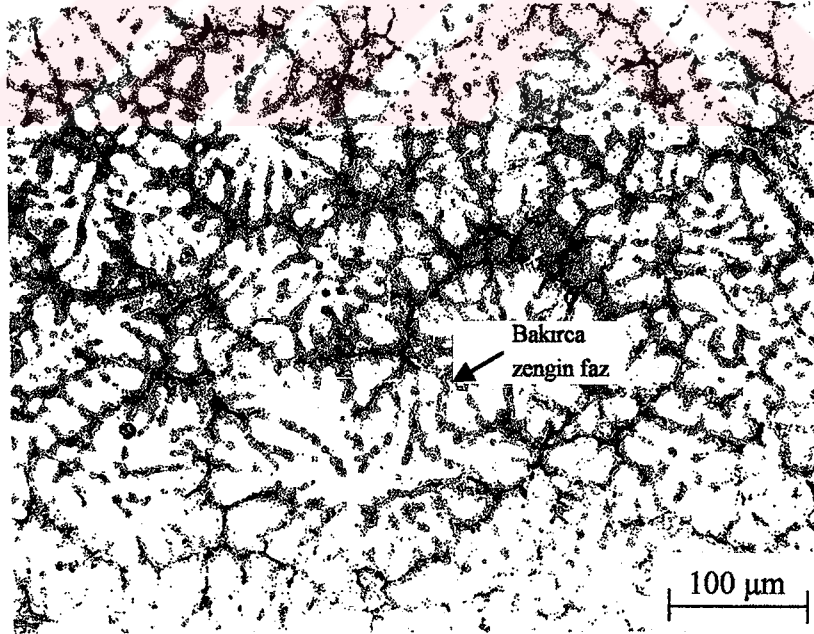
Şekil 11. Zn-40Al alaşımının dökülmüş durumdaki iç yapısını gösteren fotoğraf



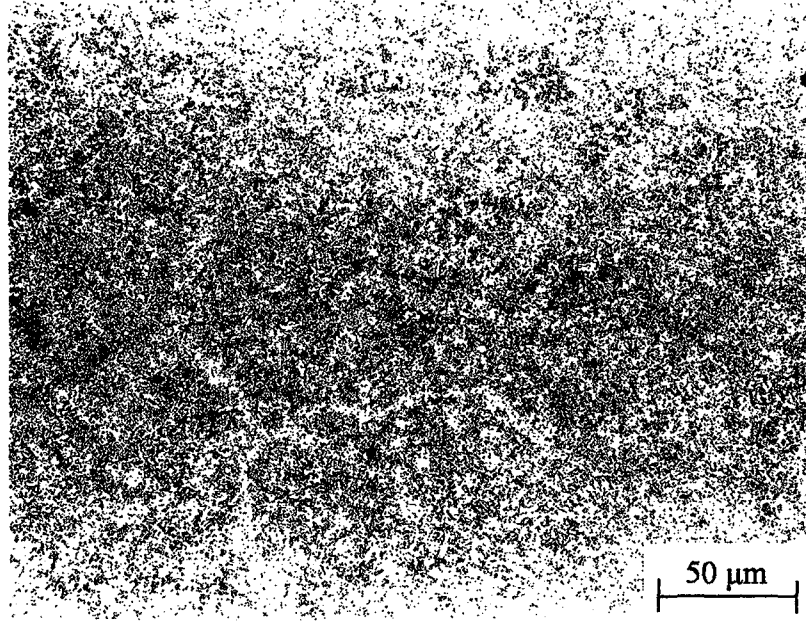
Şekil 12. Zn-40Al-1Cu alaşımının dökülmüş durumdaki iç yapısını gösteren fotoğraf



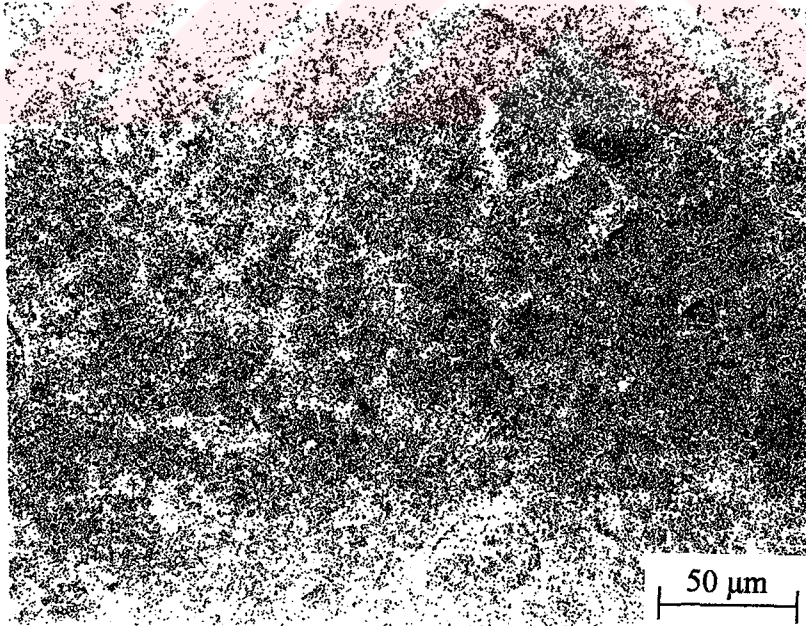
Şekil 13. Zn-40Al-3Cu alaşımının dökülmüş durumdaki iç yapısını gösteren fotoğraf



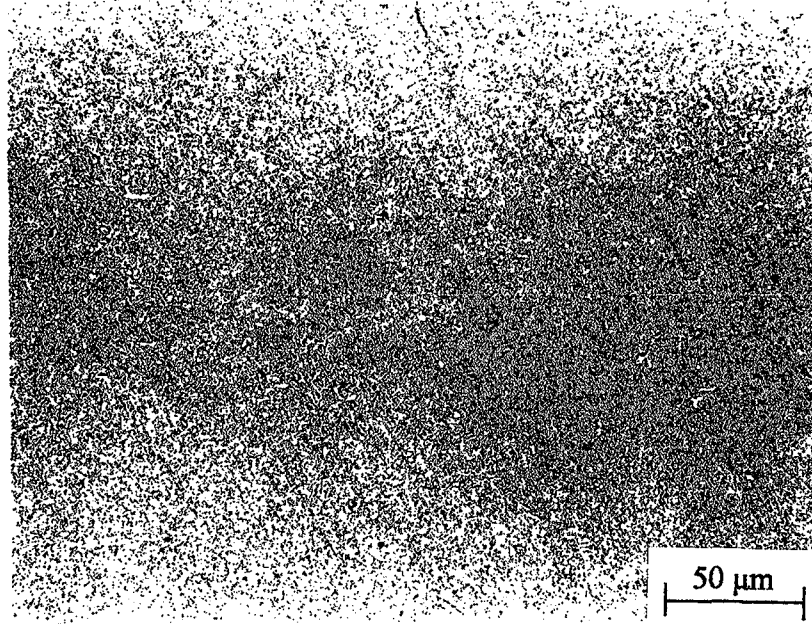
Şekil 14. Zn-40Al-5Cu alaşımının dökülmüş durumdaki iç yapısını gösteren fotoğraf



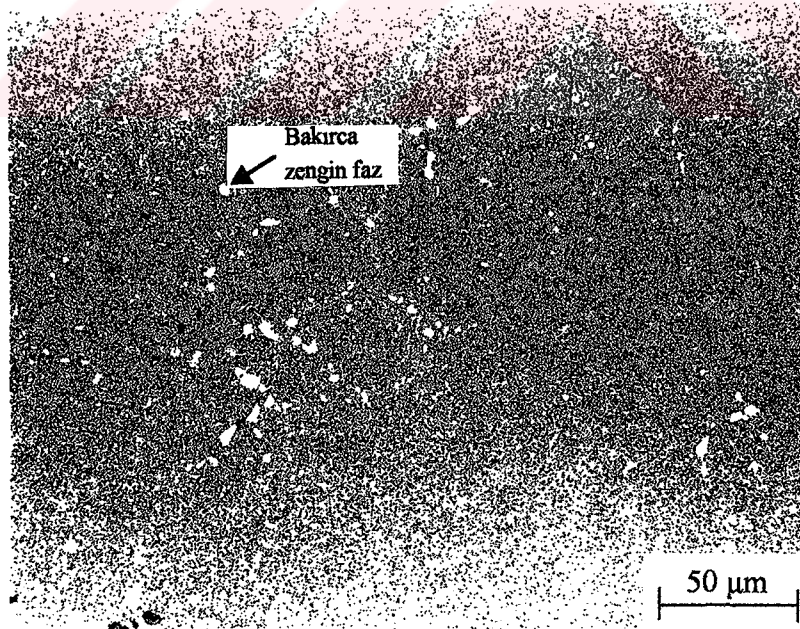
Şekil 15. Zn-27Al alaşımının ısıt işlem görmüş durumdaki iç yapısı



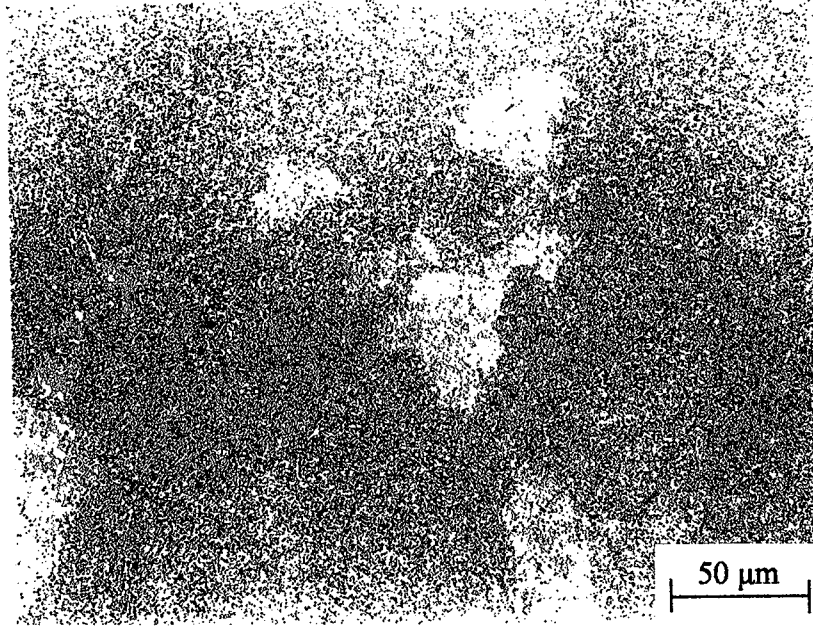
Şekil 16. Zn-27Al-1Cu alaşımının ısıt işlem görmüş durumdaki iç yapısı



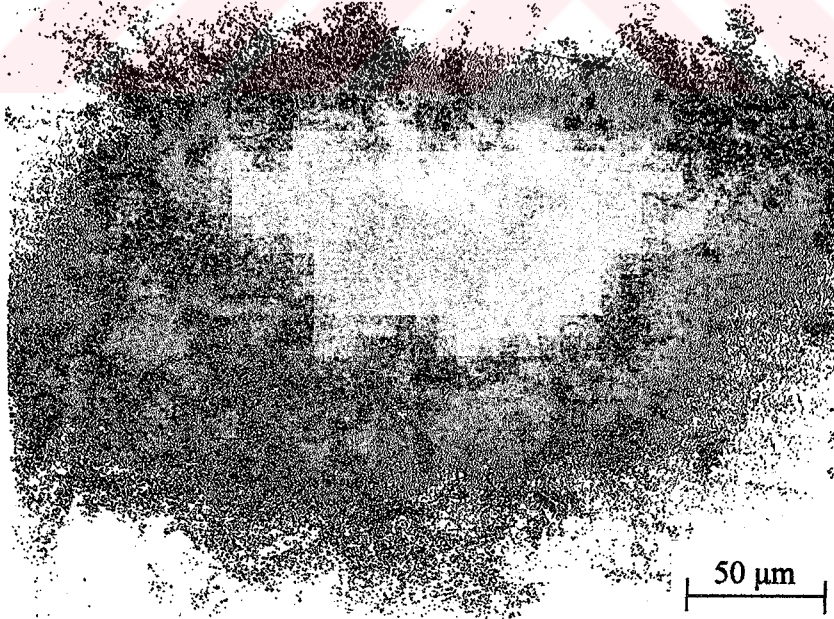
Şekil 17. Zn-27Al-3Cu alaşımının ısıt işlem görmüş durumdaki iç yapısı



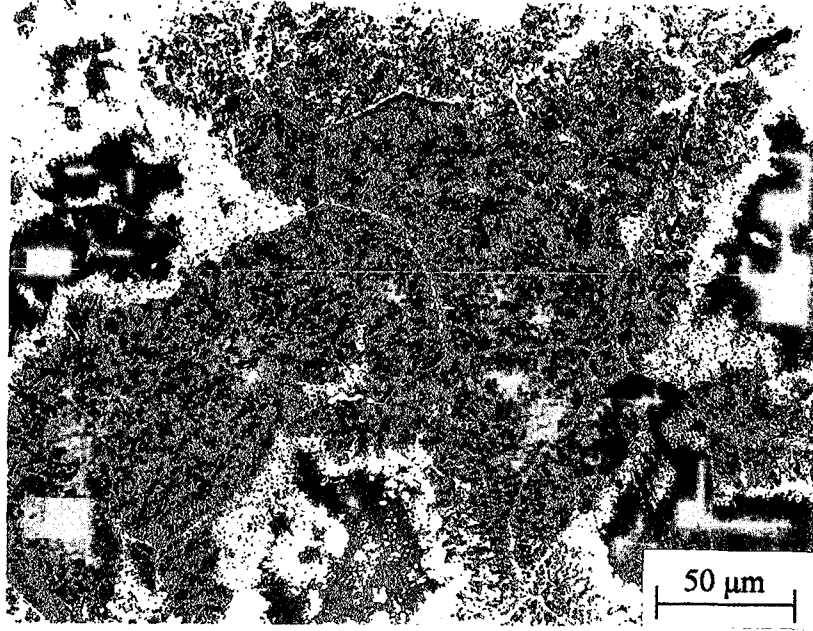
Şekil 18. Zn-27Al-5Cu alaşımının ısıt işlem görmüş durumdaki iç yapısı



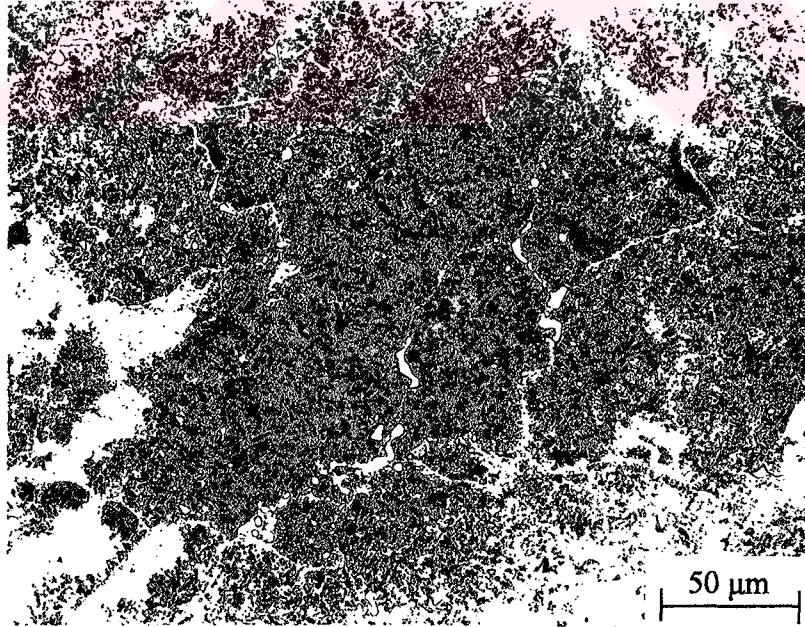
Şekil 19. Zn-40Al alaşımının ısıt işlem görmüş durumdaki iç yapısı



Şekil 20. Zn-40Al-1Cu alaşımının ısıt işlem görmüş durumdaki iç yapısı



Şekil 21. Zn-40Al-3Cu alaşımının ısıt işlem görmüş durumdaki iç yapısı



Şekil 22. Zn-40Al-5Cu alaşımının ısıt işlem görmüş durumdaki iç yapısı

3.3. Fiziksel ve Mekanik Deneylelerden Elde Edilen Bulgular

Yapılan fiziksel ve mekanik deneyler sonucunda alaşımlardan elde edilen yoğunluk, çekme dayanımı ve sertlik değerleri Tablo 7' de verilmiştir. Bu tablo alaşımların yoğunluğunun artan alüminyum oranı ile azaldığını, artan bakır oranıyla da arttığını göstermektedir. Bu tabloda, ayrıca alaşımların sertliğinin artan bakır oranıyla arttığı görülmektedir. Söz konusu alaşımların sertliğinin bakır oranına ve uygulanan ısıtma işlemine göre değişimini gösteren eğriler Şekil 23' de verilmiştir. Bu şekilde de görüldüğü gibi, uygulanan ısıtma işlem sonrasında alaşımların sertliği önemli ölçüde artmaktadır. İncelenen alaşımların çekme dayanımının bakır oranına göre değişimini gösteren eğriler ise Şekil 24' de verilmiştir. Bu şekilden de görüldüğü gibi, hem dökülmüş hem de ısıtma işlem görmüş durumdaki alaşımlar içerisinde en düşük çekme dayanımı ikili Zn-Al alaşımlarından, en yüksek çekme dayanımı ise %2 oranında bakır içeren üçlü Zn-Al-Cu alaşımlarından elde edildi. Ötektoid bileşime yakın bileşime sahip alaşımlar içinde en yüksek çekme dayanımı Zn-27Al-2Cu alaşımından, en düşük çekme dayanımı da Zn-27Al alaşımından elde edildi. Monotektoid esaslı alaşımlarda ise en yüksek çekme dayanımı Zn-40Al-2Cu alaşımından elde edilirken, en düşük çekme dayanımı Zn-40Al alaşımından elde edildi.

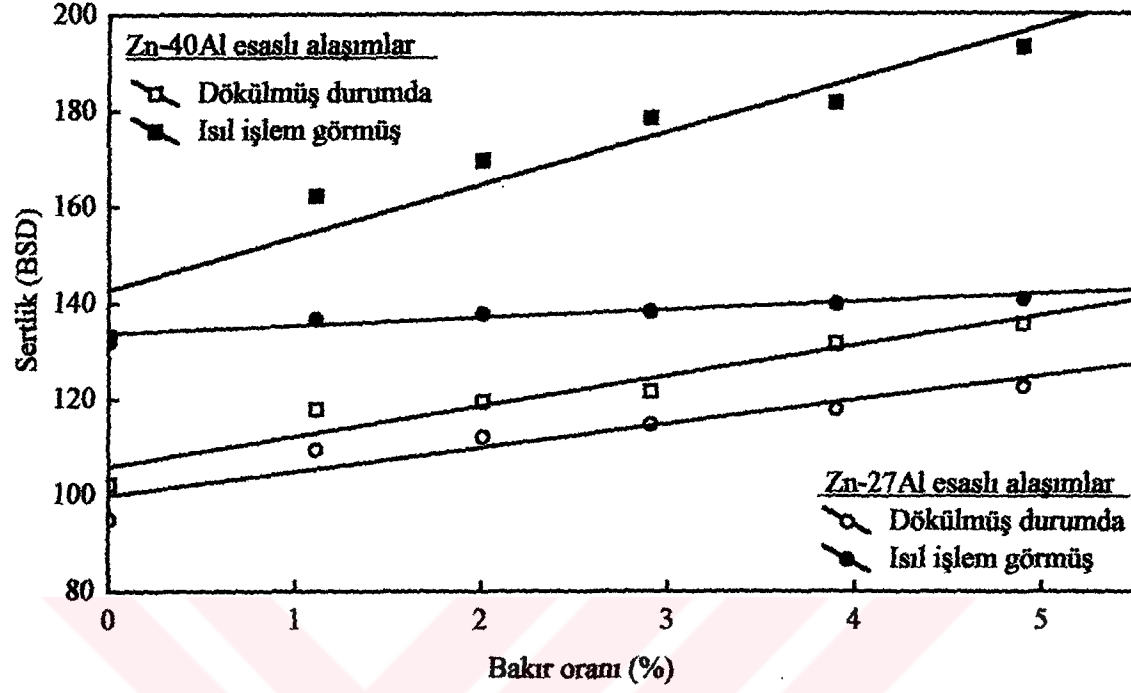
Tablo 7. İncelenen alaşımların fiziksel ve mekanik özellikleri

Alaşım	Durum	Yoğunluk (g/cm ³)	Sertlik (BSD)	Çekme dayanımı (MPa)
Zn-27Al	A	4,879	95	275
	B	4,320	132	316
Zn-27Al-1Cu	A	4,887	110	319
	B	4,860	137	409
Zn-27Al-2Cu	A	4,890	113	350
	B	4,901	138	460
Zn-27Al-3Cu	A	4,891	115	326
	B	4,980	139	428
Zn-27Al-4Cu	A	4,943	118	323
	B	5,016	140	392
Zn-27Al-5Cu	A	5,010	123	315
	B	5,034	141	377
Zn-40Al	A	4,198	103	298
	B	4,256	133	324
Zn-40Al-1Cu	A	4,213	118	330
	B	4,263	162	419
Zn-40Al-2Cu	A	4,219	120	370
	B	4,297	170	550
Zn-40Al-3Cu	A	4,274	122	334
	B	4,307	179	482
Zn-40Al-4Cu	A	4,287	132	332
	B	4,333	182	438
Zn-40Al-5Cu	A	4,318	136	327
	B	4,347	193	402

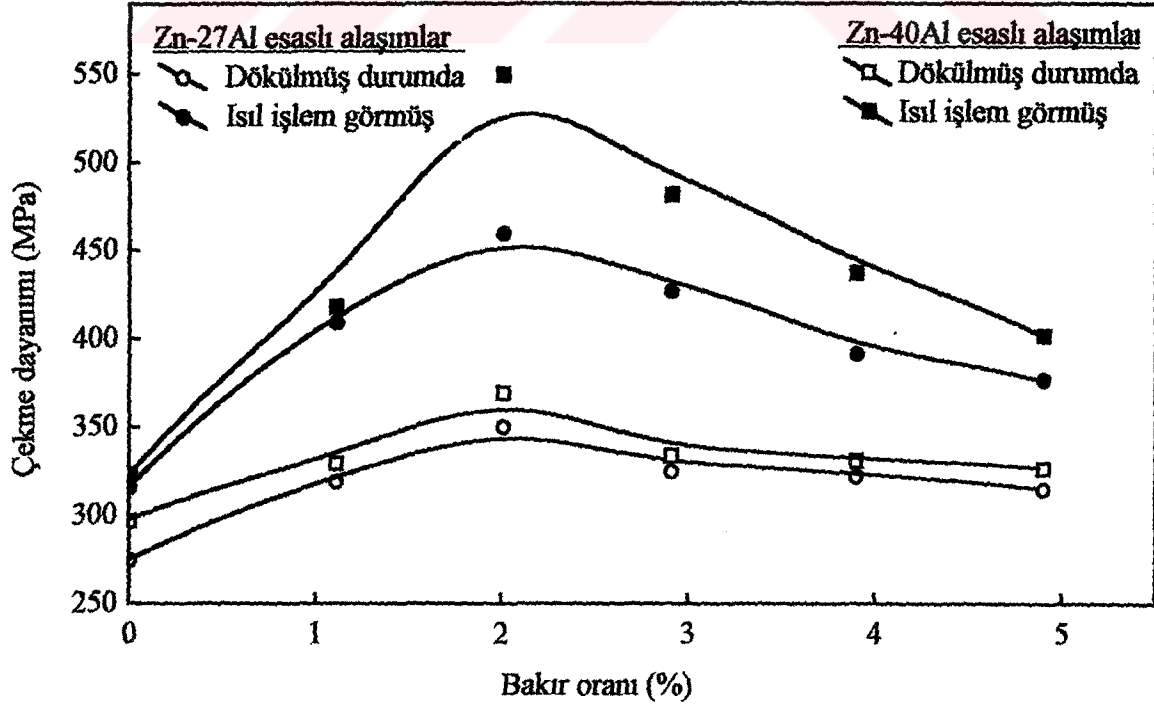
Not: Bu tablodaki A ve B harfleri ısıtım işlem durumunu göstermektedir.

A: Dökülmüş durumda

B: Isıtım işlem uygulanmış



Şekil 23. Alaşımların sertliğinin bakır oranıyla değişimini gösteren eğriler



Şekil 24. Alaşımların çekme dayanımının bakır oranıyla değişimini gösteren eğriler

3.4. Sürtünme ve Aşınma Deneyinden Elde Edilen Bulgular

Alaşımın sürtünme katsayıları deneylerin başlangıç aşamasında hızlı bir şekilde artarak maksimum değerlere ulaştıktan sonra azalarak sabit değerlere erişmektedir. Sürtünme katsayısının sabitlenmesi kararlı çalışma durumuna geçildiğini göstermektedir. Kararlı çalışma durumunda ölçülen sürtünme katsayıları ve sıcaklıklar Tablo 8' de gösterilmiştir. Sürtünme katsayılarının deney sırasında izlediği değişimi göstermek için Şekil 25-26' da, Zn-27Al-2Cu ve Zn-40Al-2Cu alaşımlarının sürtünme katsayılarının alınan yola göre değişimini gösteren eğriler verilmiştir. Dökülmüş durumdaki alaşımlar içinde en düşük sürtünme katsayısı Zn-27Al-3Cu ve Zn-40Al-1Cu alaşımlarından en yüksek sürtünme katsayısı da Zn-27Al-4Cu alaşımından elde edildi. Isıl işlem görmüş durumdaki alaşımlar içersinde ise en düşük sürtünme katsayısı Zn-27Al-3Cu alaşımından, en yüksek sürtünme katsayısı ise Zn-27Al-5Cu ve Zn-40Al alaşımlarından elde edildi. Söz konusu alaşımların sürtünme katsayısının bakır oranına göre değişimini gösteren eğriler Şekil 27' de verilmiştir. Bu şekilde, bakır oranının alaşımların sürtünme katsayısı üzerinde fazla etkili olmadığı görülmektedir. Alaşımların çalışma sıcaklığı ile sürtünme katsayısının birbirine benzer değişim sergiledikleri görülmüştür. Şöyle ki, alaşımların sürtünme katsayısı arttıkça çalışma sıcaklığı da artmakta, sürtünme katsayısı azaldıkça çalışma sıcaklığı da azalmaktadır. Zn-40Al-3Cu alaşımının sürtünme katsayısı ile çalışma sıcaklığının alınan yola göre değişimini gösteren eğriler (Şekil 28) bu durumu yansıtmaktadır. Alaşımların çalışma sıcaklıklarının bakır oranına göre değişimini gösteren eğriler de Şekil 29' da verilmiştir.

Alaşımlara ait aşınma örneklerinde meydana gelen hacim kayıpları Tablo 9' da, hacim kaybının alınan yola göre değişimini gösteren eğriler ise sırasıyla Şekil 30-33' de verilmiştir. Bu eğrilerde görüldüğü gibi, rodaj olarak adlandırılan başlangıç aşamasında nispeten yüksek hızlı aşınma meydana gelmekte ve alınan yol arttıkça aşınma hızı sabit değere yaklaşmaktadır. Dökülmüş durumdaki alaşımlar içersinde en düşük hacim kaybı Zn-40Al-5Cu alaşımında meydana gelirken, en büyük hacim kaybı Zn-40Al alaşımında meydana gelmektedir. Isıl işlem görmüş durumdaki alaşımlar içersinde ise en düşük hacim kaybının Zn-27Al-2Cu alaşımında, en yüksek hacim kaybının ise Zn-40Al alaşımında meydana geldiği görülmüştür. Aşınma eğrileri incelendiğinde, uygulanan ısıl işlemin söz konusu alaşımlarda aşınma ile meydana gelen hacim kaybını azalttığı görülmektedir. Gerek dökülmüş gerekse de ısıl işlem görmüş durumdaki alaşımlarda aşınma nedeniyle meydana gelen hacim kaybının bakır oranına göre değişimi Şekil 34 ve 35' de verilmiştir.

Bu eğriler, bakır katkısıyla alaşımlarda meydana gelen hacim kaybının azaldığını göstermektedir.

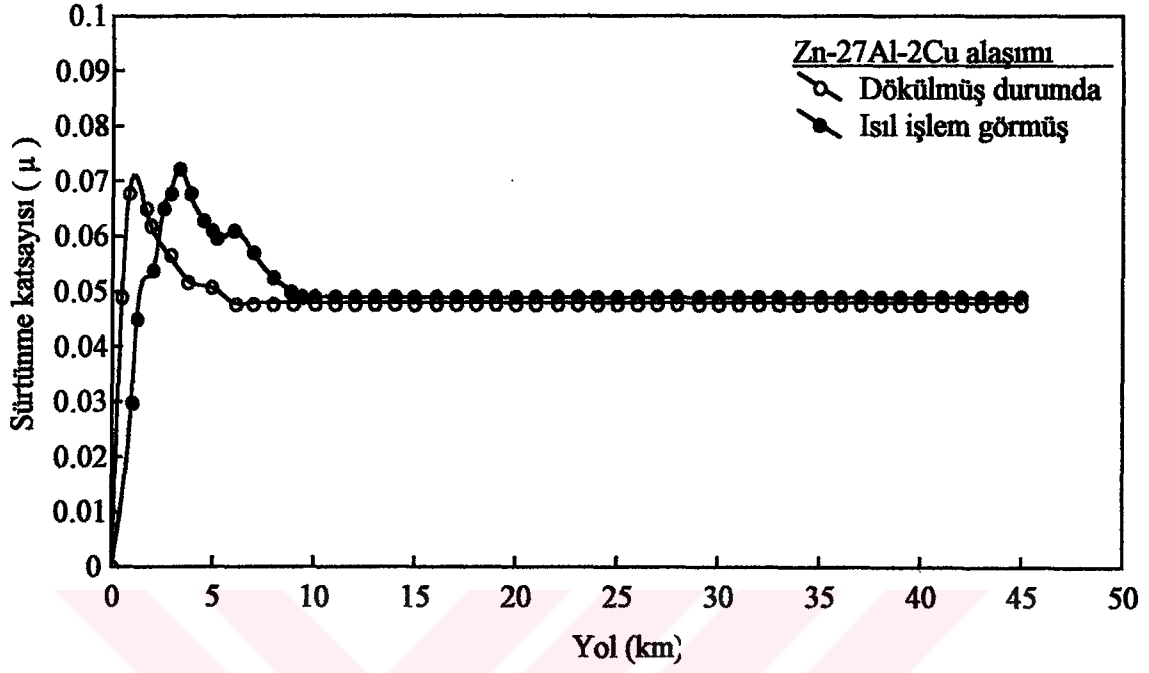
Tablo 8. Alaşımların sürtünme katsayısı ve çalışma sıcaklığı

Alaşım	Durum	Sürtünme katsayısı	Çalışma sıcaklığı (°C)
Zn-27Al	A	0,045	53
	B	0,048	57
Zn-27Al-1Cu	A	0,047	59
	B	0,050	61
Zn-27Al-2Cu	A	0,048	58
	B	0,049	62
Zn-27Al-3Cu	A	0,044	57
	B	0,046	60
Zn-27Al-4Cu	A	0,050	60
	B	0,051	62
Zn-27Al-5Cu	A	0,049	59
	B	0,052	63
Zn-40Al	A	0,049	59
	B	0,052	69
Zn-40Al-1Cu	A	0,044	54
	B	0,049	66
Zn-40Al-2Cu	A	0,046	61
	B	0,050	63
Zn-40Al-3Cu	A	0,047	56
	B	0,049	62
Zn-40Al-4Cu	A	0,045	60
	B	0,048	68
Zn-40Al-5Cu	A	0,047	59
	B	0,051	70

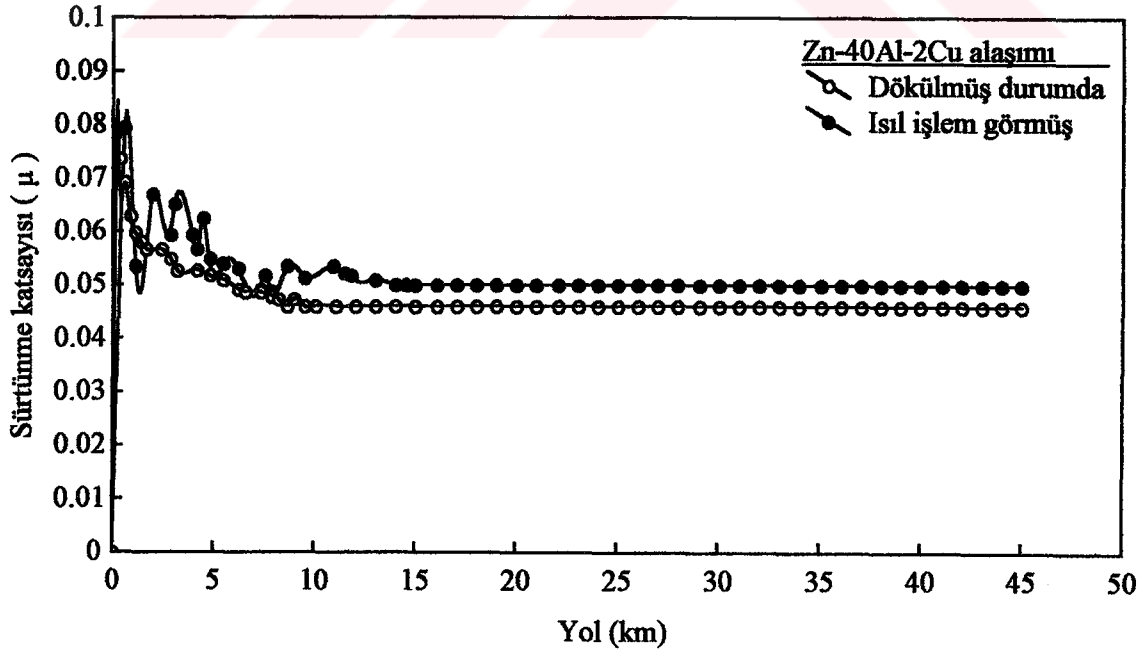
Not: Bu tablodaki A ve B harfleri alaşımların durumunu göstermektedir.

A: Dökülmüş durumda

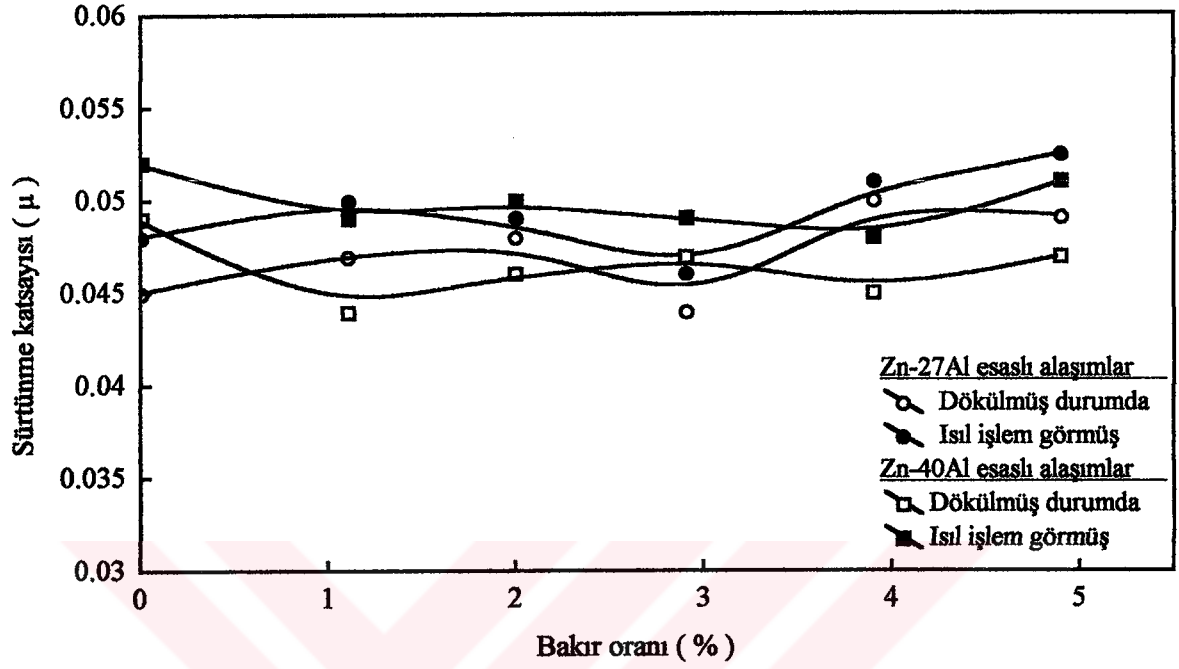
B: Isıl işlem uygulanmış



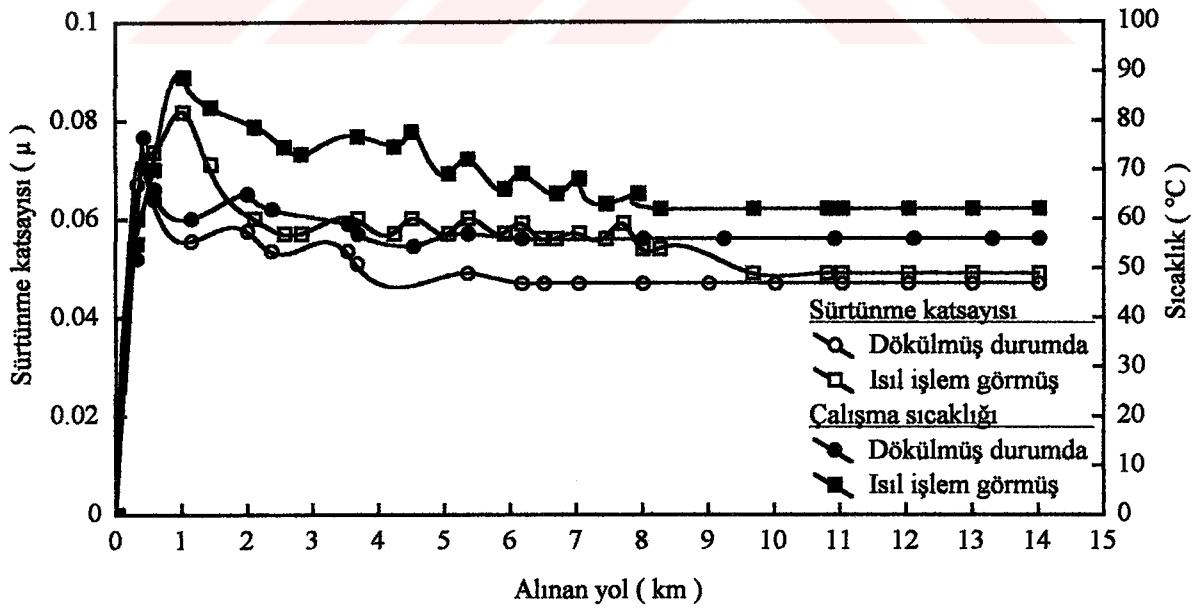
Şekil 25. Zn-27Al-2Cu alaşımının sürtünme katsayısının alınan yola göre değişimini gösteren eğriler



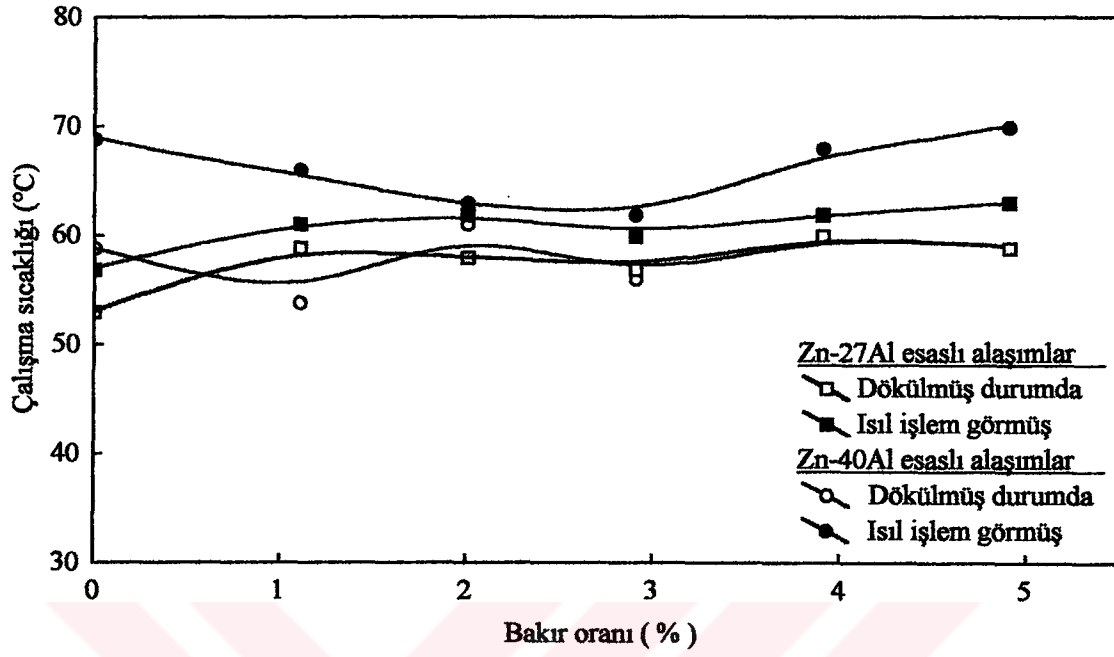
Şekil 26. Zn-40Al-2Cu alaşımının sürtünme katsayısının alınan yola göre değişimini gösteren eğriler



Şekil 27. Alaşımın sürtünme katsayısının bakır oranına göre değişimini gösteren eğriler



Şekil 28. Zn-40Al-3Cu alaşımının sürtünme katsayısı ve çalışma sıcaklığının alınan yola göre değişimini gösteren eğriler



Şekil 29. Alaşımların çalışma sıcaklığının bakır oranına göre değişimini gösteren eğriler

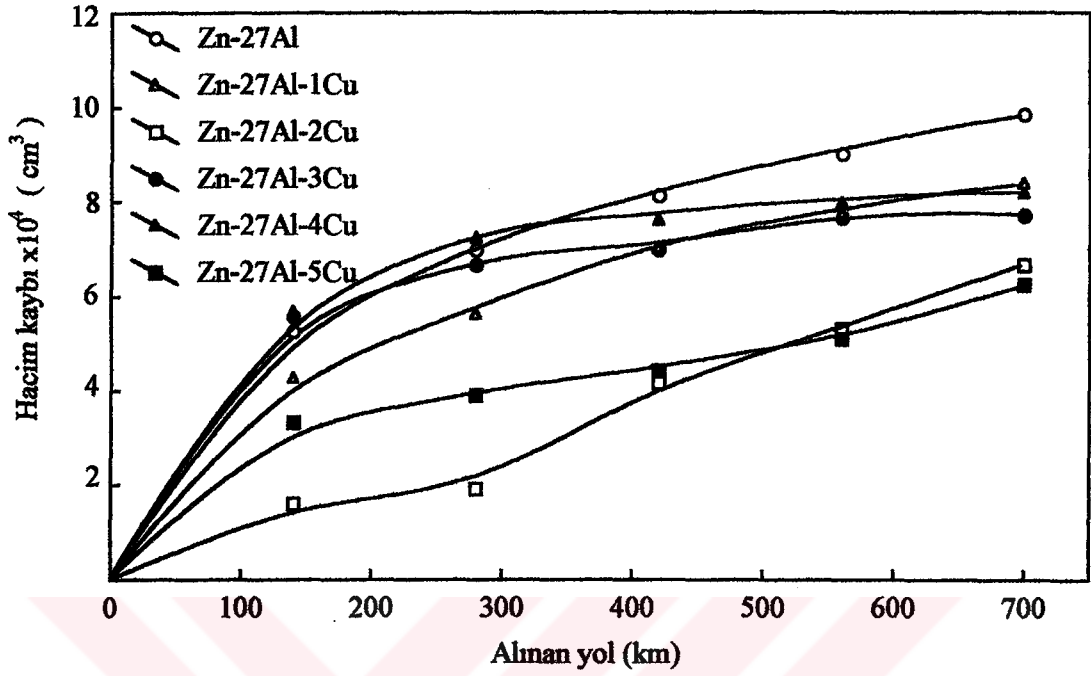
Tablo 9. Alaşımlarda aşınma ile meydana gelen hacim kayıpları

Alaşım	Durum	Kayma hızı: 1,95 m/s				
		Alınan yol (km)				
		140	280	420	560	700
		Hacim kaybı $\times 10^6$ (cm ³)				
Zn-27Al	A	525	697	815	890	984
	B	259	375	468	523	588
Zn-27Al-1Cu	A	429	566	707	778	838
	B	263	342	403	477	510
Zn-27Al-2Cu	A	164	195	415	534	669
	B	96	127	177	177	177
Zn-27Al-3Cu	A	558	667	697	765	773
	B	90	210	328	328	347
Zn-27Al-4Cu	A	571	727	762	797	820
	B	237	269	309	337	355
Zn-27Al-5Cu	A	332	394	446	510	625
	B	195	226	244	300	356
Zn-40Al	A	262	827	1220	1490	1714
	B	224	569	655	776	862
Zn-40Al-1Cu	A	440	477	592	890	1416
	B	284	570	610	629	751
Zn-40Al-2Cu	A	230	237	434	491	611
	B	211	281	300	304	311
Zn-40Al-3Cu	A	257	400	533	664	1000
	B	158	270	272	372	372
Zn-40Al-4Cu	A	491	648	681	843	857
	B	122	240	369	381	397
Zn-40Al-5Cu	A	285	366	385	494	607
	B	209	297	297	306	329

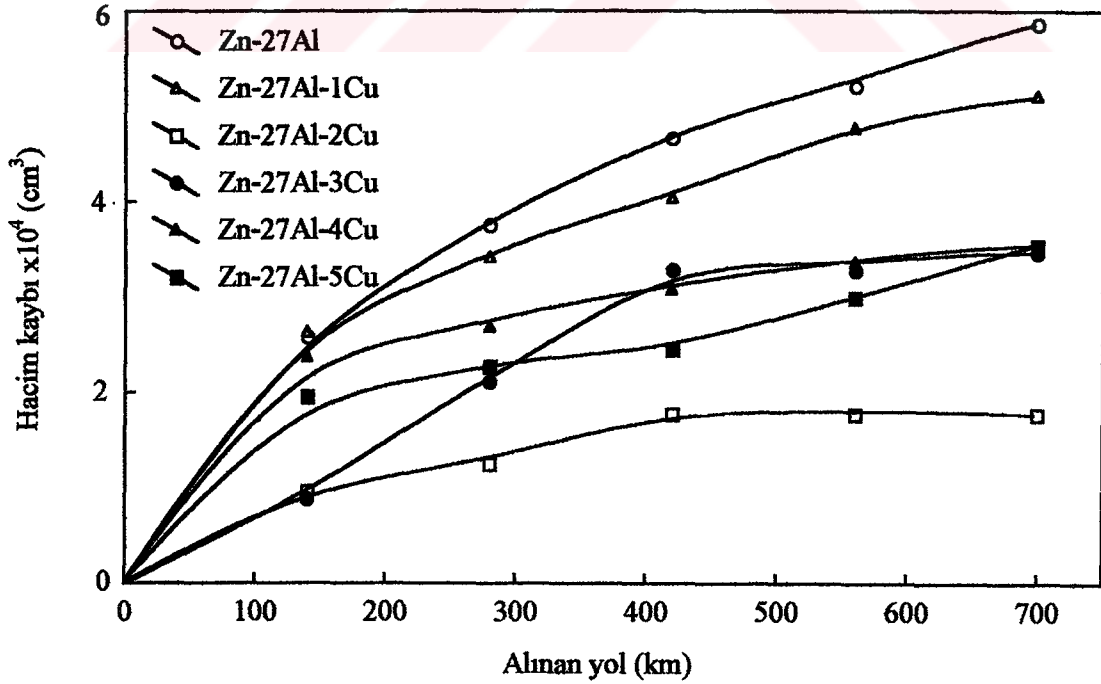
Not: Bu tablodaki A ve B harfleri alaşımların durumunu göstermektedir.

A: Dökülmüş durumda

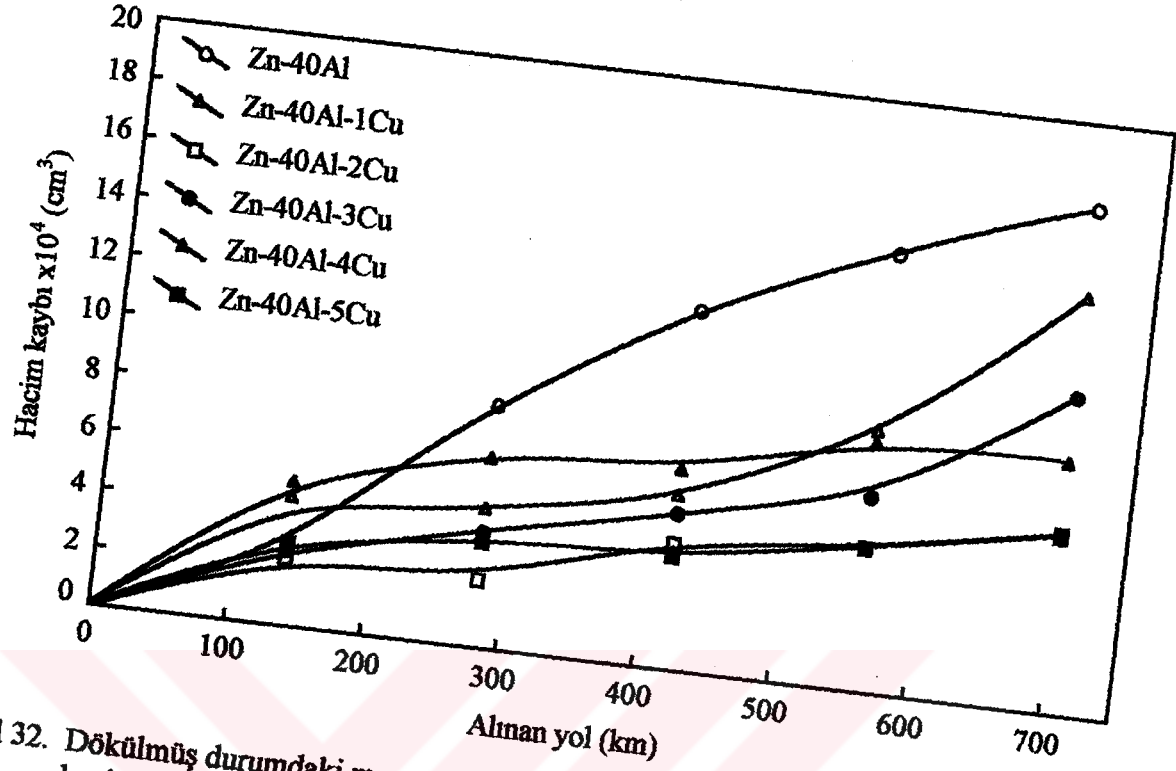
B: Isıl işlem uygulanmış



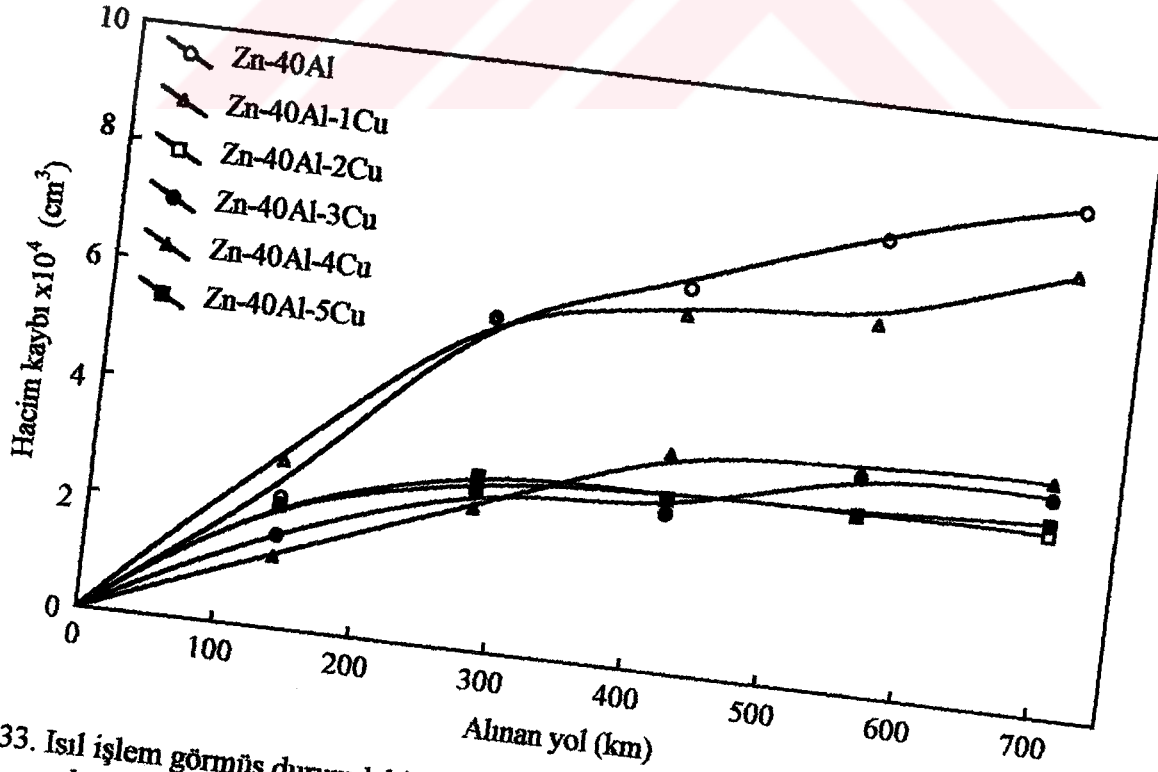
Şekil 30. Dökülmüş durumdaki Zn-27Al esaslı alaşımlarda aşınma ile meydana gelen hacim kaybının alınan yola göre değişimini gösteren eğriler



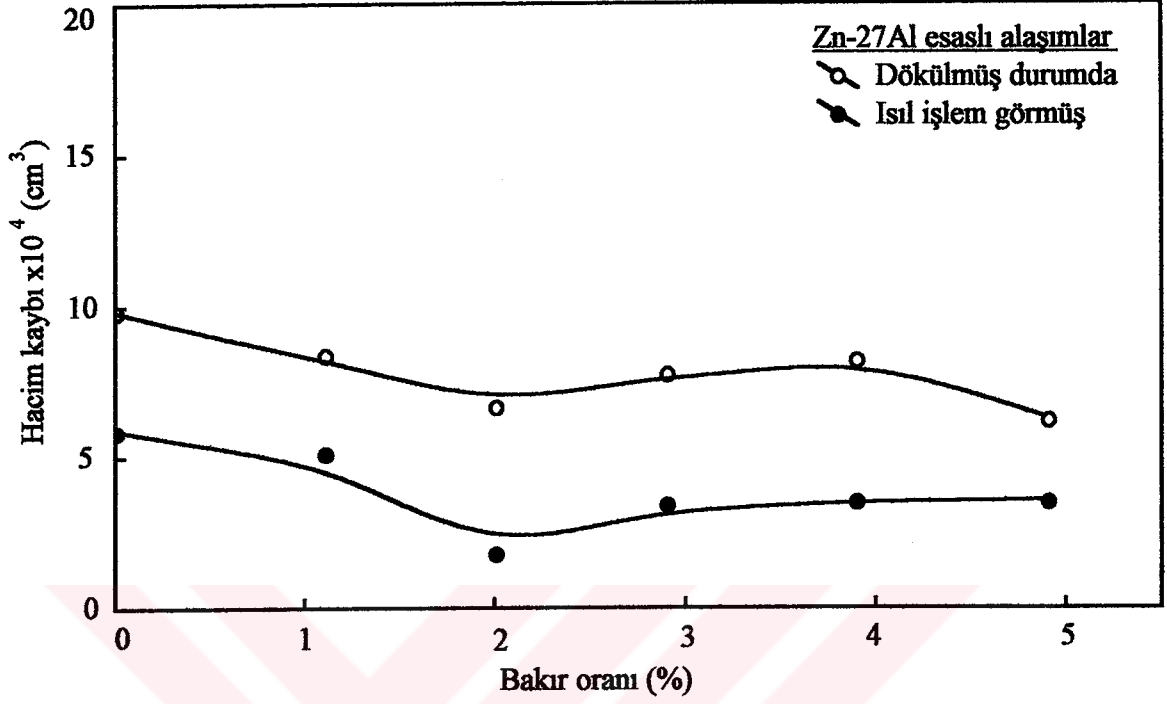
Şekil 31. Isıl işlem görmüş durumdaki Zn-27Al esaslı alaşımlarda aşınma ile meydana gelen hacim kaybının alınan yola göre değişimini gösteren eğriler



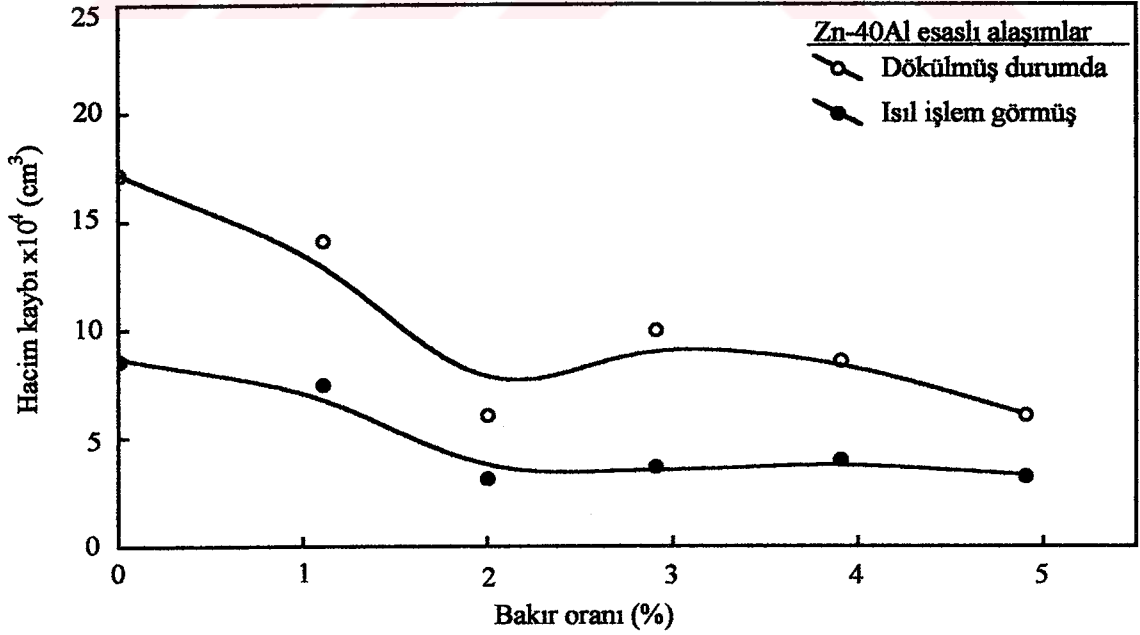
Şekil 32. Dökülmüş durumdaki monotektoid esaslı alaşımlarda aşınma ile meydana gelen hacim kaybının alınan yola göre değişimini gösteren eğriler



Şekil 33. Isıl işlem görmüş durumdaki monotektoid esaslı alaşımlarda aşınma ile meydana gelen hacim kaybının alınan yola göre değişimini gösteren eğriler



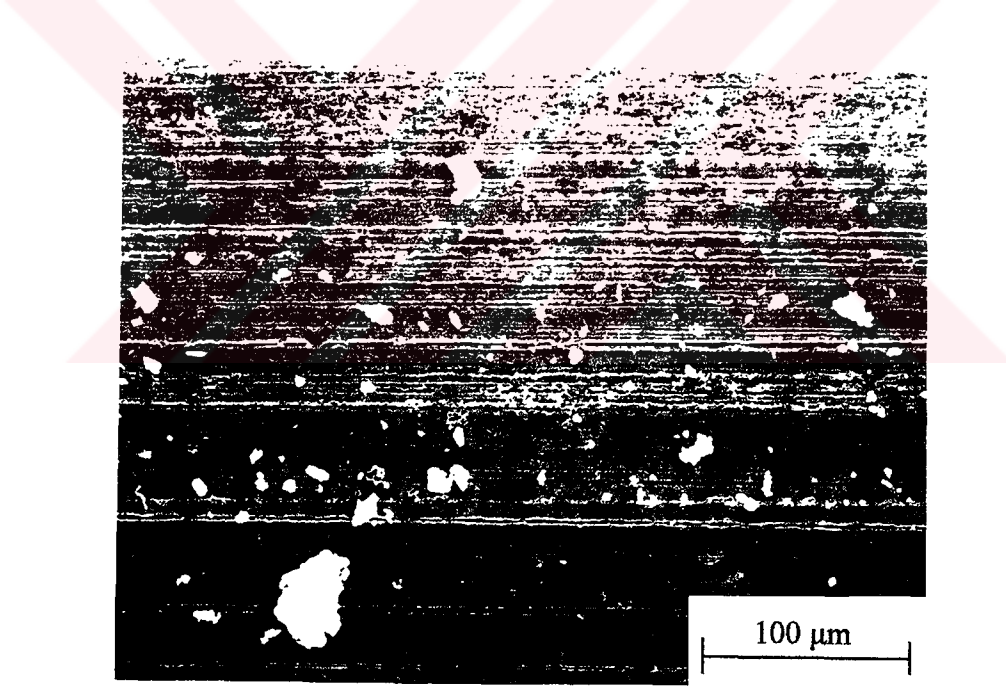
Şekil 34. Bakır oranının Zn-27Al esaslı alaşımlarda aşınma ile meydana gelen hacim kaybına etkisini gösteren eğriler



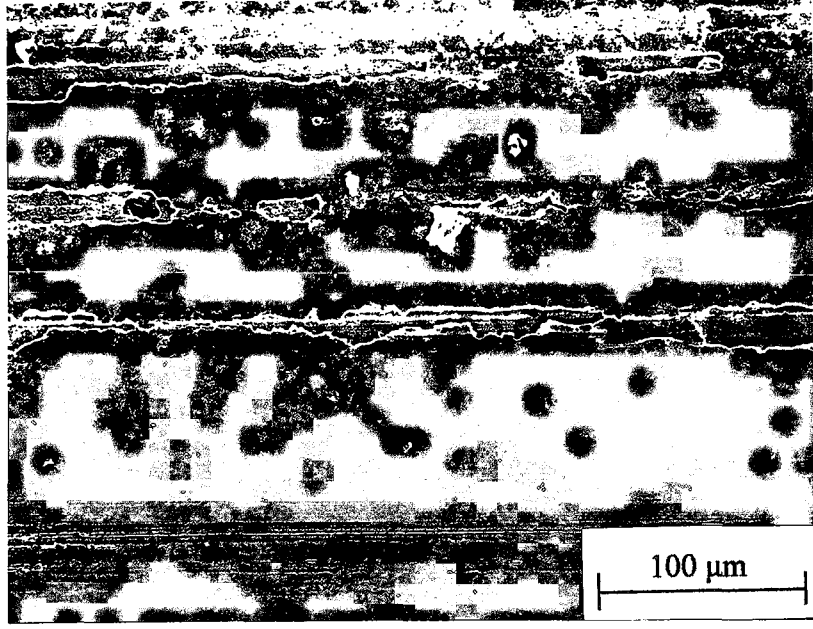
Şekil 35. Bakır oranının monotektoid esaslı alaşımlarda aşınma ile meydana gelen hacim kaybına etkisini gösteren eğriler

3.5. Aşınma Yüzeylerinin İncelenmesinden Elde Edilen Bulgular

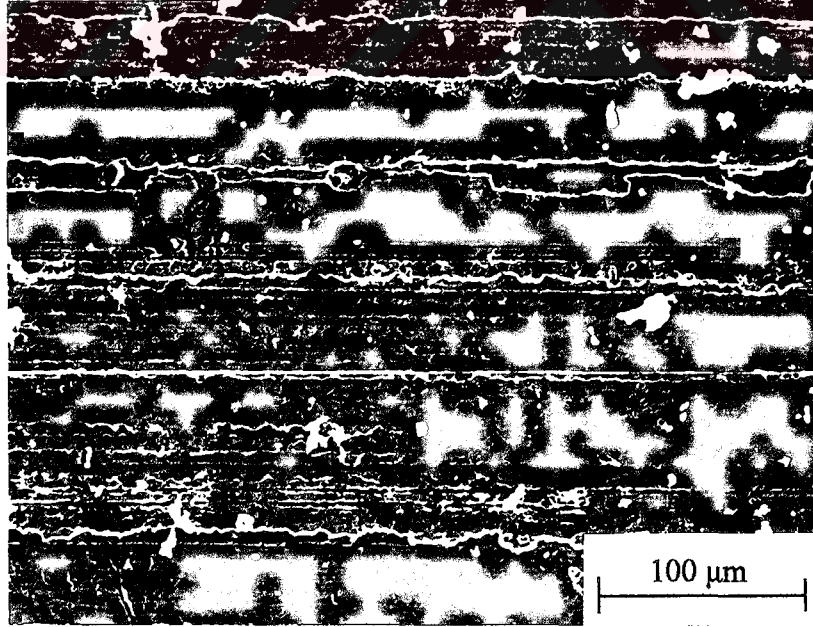
Örneklerin aşınma yüzeylerinin tarayıcı elektron mikroskopunda (SEM) incelenmesi sonucunda elde edilen fotoğraflar, Şekil 36-47' da verilmiştir. Alaşımların aşınma yüzeylerinin birbirine çok benzemesi nedeniyle burada yalnız ikili alaşımlar ve %3 ile % 5 oranlarında bakır içeren üçlü alaşımlara ait örneklerin aşınma yüzeyini gösteren fotoğraflar verilmiştir. Bu fotoğraflarda görüldüğü gibi örneklerin aşınma yüzeylerinde çizikler, sıvama tabakaları ve yüzeye yapışmış durumda bulunan aşınma paracıklarının bulunduğu gözlenmiştir. Bu fotoğraflarda, alaşımların aşınma yüzeyindeki çiziklerin genişliğinin artan bakır oranı ile arttığı ve ayrıca ısı işlem görmüş alaşımların aşınma yüzeyinde daha fazla çizik bulunduğu görülmektedir.



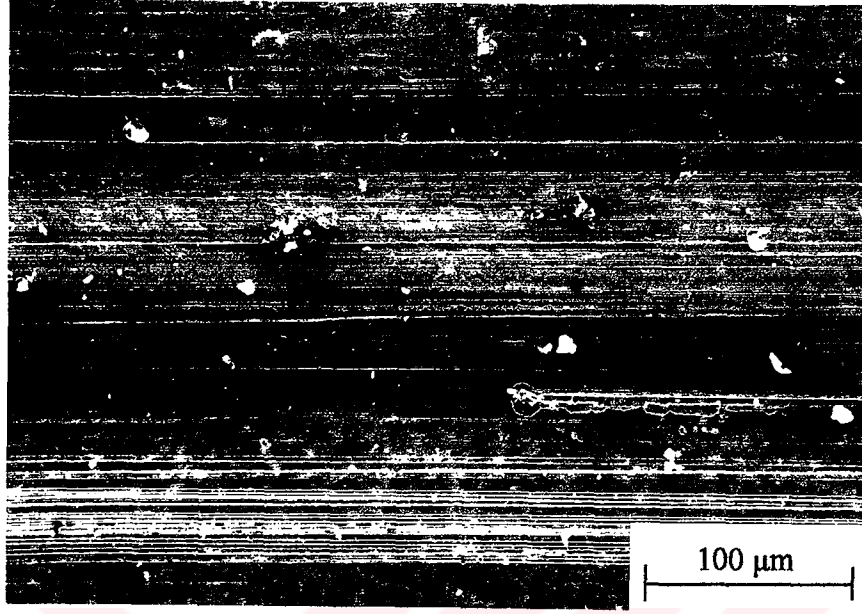
Şekil 36. Dökülmüş durumdaki Zn-27Al alaşımının aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü



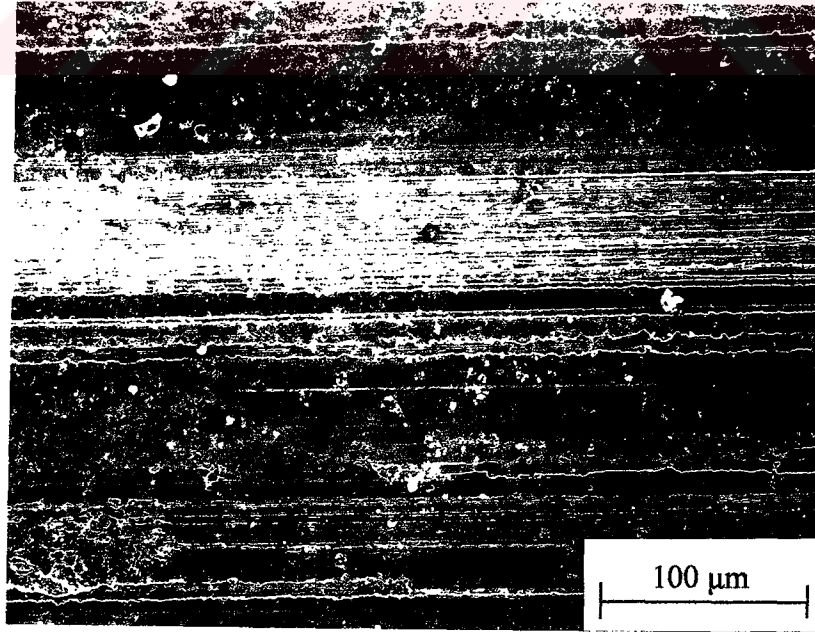
Şekil 37. Dökülmüş durumdaki Zn-27Al-3Cu alaşımının aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü



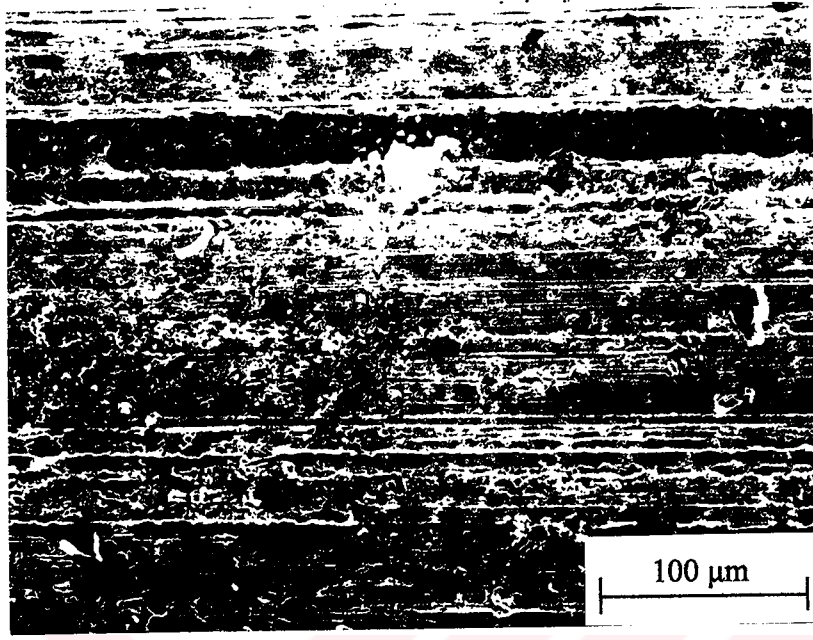
Şekil 38. Dökülmüş durumdaki Zn-27Al-5Cu alaşımının aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü



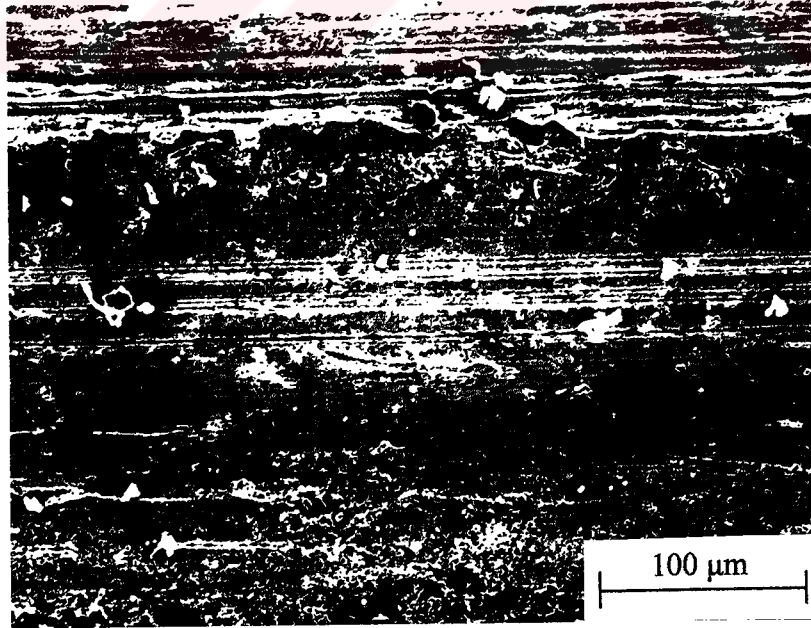
Şekil 39. Dökülmüş durumdaki Zn-40Al alaşımının aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü



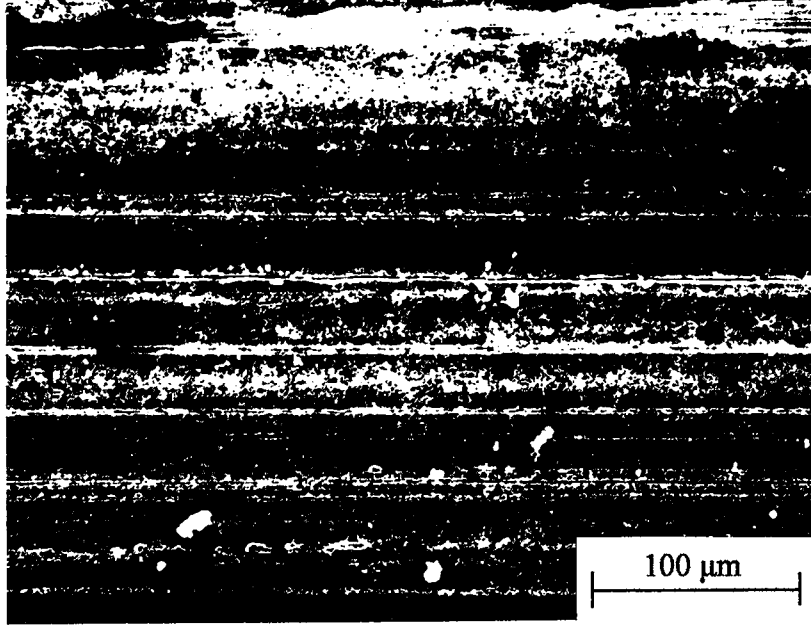
Şekil 40. Dökülmüş durumdaki Zn-40Al-3Cu alaşımının aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü



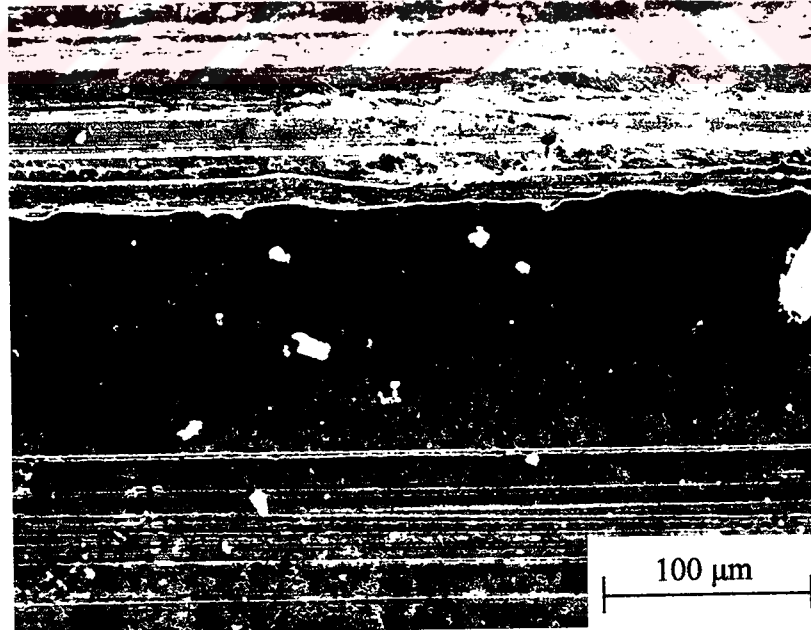
Şekil 41. Dökülmüş durumdaki Zn-40Al-5Cu alaşımının aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü



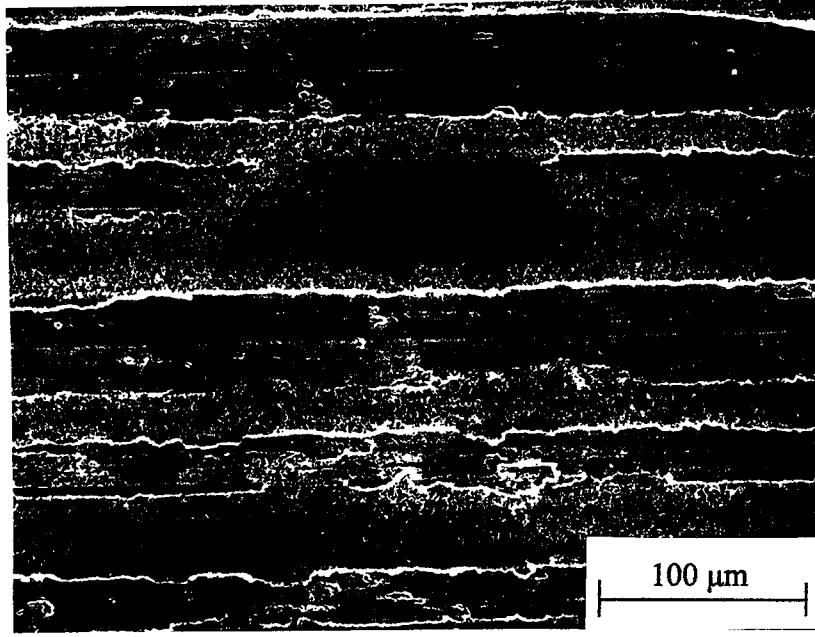
Şekil 42. Isıl işlem görmüş durumdaki Zn-27Al alaşımının aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü



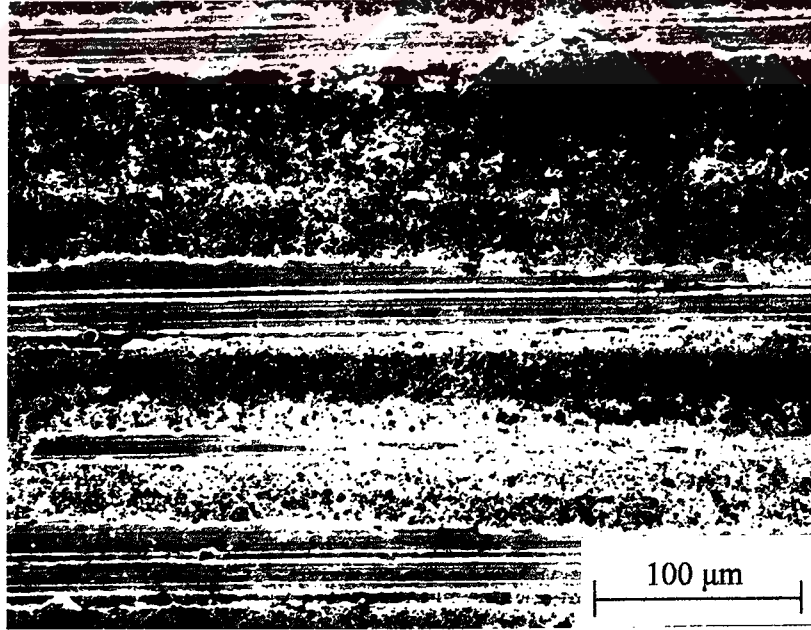
Şekil 43. Isıl işlem görmüş durumdaki Zn-27Al-3Cu alaşımının aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü



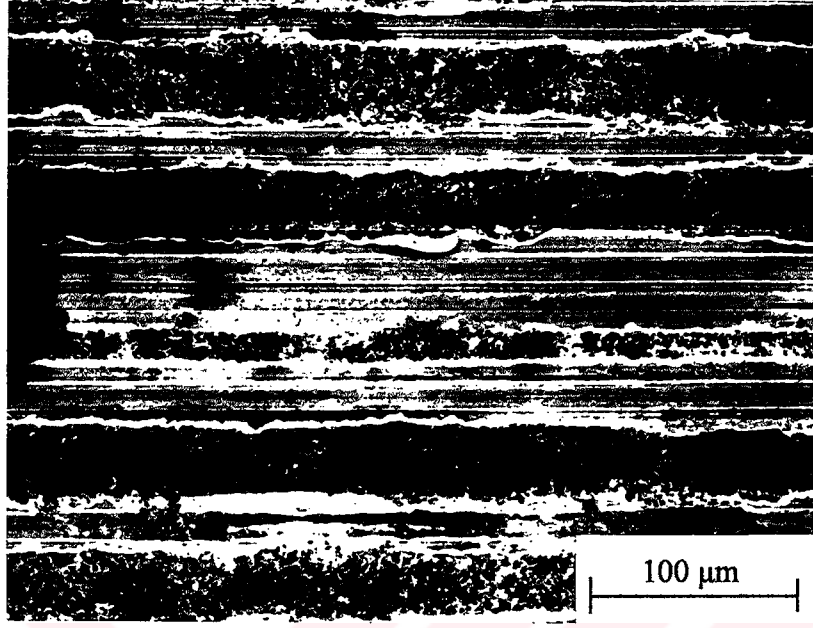
Şekil 44. Isıl işlem görmüş durumdaki Zn-27Al-5Cu alaşımının aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü



Şekil 45. Isıl işlem görmüş durumdaki Zn-40Al alaşımının aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü



Şekil 46. Isıl işlem görmüş durumdaki Zn-40Al-3Cu alaşımının aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü



Şekil 47. Isıl işlem görmüş durumdaki Zn-40Al-5Cu alaşımının aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü

4. İRDELEME

Dökülmüş durumdaki ikili Zn-27Al ve Zn-40Al alaşımlarının iç yapılarının alüminyumca zengin α dendritleri ile bu dendritleri çevreleyen çinkoca zengin η fazından oluştuğu ve bu alaşımlara bakır katılması durumunda da dendritler arası bölgelerde ϵ ve T' gibi bakırca zengin fazların yer aldığı görüldü, Şekil 7-14. Çözündürme, su verme ve yaşlandırma aşamalarını içeren ısı işlem sonucunda ise alaşımların dökülmüş durumdaki dendritik yapısının tamamen ortadan kalkarak bunun yerini α , η ve bakırca zengin fazlardan oluşan ince taneli bir yapının aldığı belirlendi, Şekil 15-22. Bu yapısal değişimin çözündürme ve su verme işlemi sonucunda elde edilen aşırı doymuş α' veya β katı çözeltilerinin yaşlandırma sırasında ince α ve η tanelerine dönüşmesinden kaynaklandığı bilinmektedir [30].

Bu çalışmada incelenen çinko esaslı tüm alaşımların sertliğinin artan bakır oranı ile arttığı görüldü, Şekil 23. Ancak bu alaşımların çekme dayanımı % 2 bakır oranına kadar artan bakır oranı ile artarken, bu oranın üzerinde artan bakır oranı ile azaldı, Şekil 24. Bu durum söz konusu alaşımların iç yapısına dayandırılarak açıklanabilir. Şöyle ki, alüminyum içersinde en fazla %1 oranına kadar bakır çözünebilmekte ve bakır oranının bu değerin üzerine çıkması durumunda üçlü alaşımların tane sınırlarında T' ve ϵ gibi bakırca zengin metallere arası fazlar oluşmaktadır [48,52,53]. Yapıdaki bakırın bir kısmı söz konusu bileşiklerin oluşması için harcandığından matrisi oluşturan alüminyum ve çinkoca zengin α ve η fazları içersindeki bakır oranı azalmaktadır [36,53]. Bu durum da söz konusu alaşımlardaki katı çözelti sertleşmesinin etkisini azaltarak çekme dayanımının düşmesine neden olmaktadır [36,53].

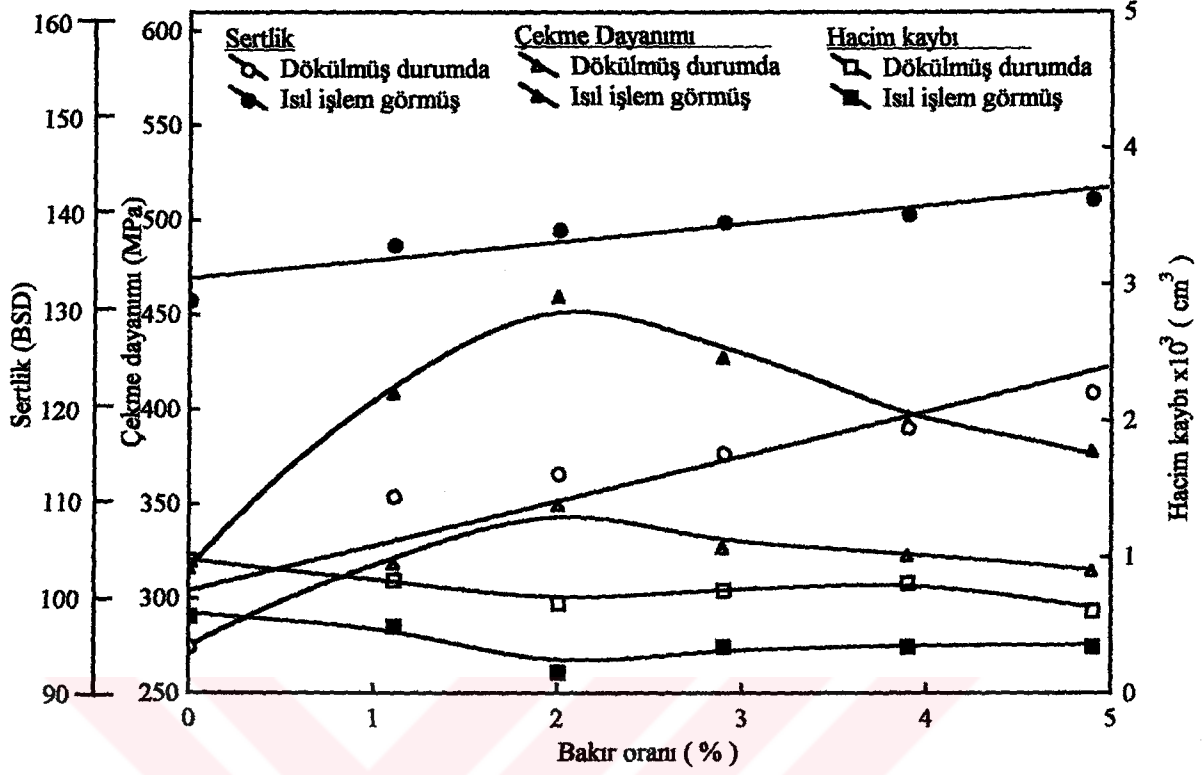
Çözündürme ve su verme sonrası uygulanan yaşlandırma işlemi sırasında alaşımların sertlik ve mukavemetinin arttığı görüldü. Bu artış, çökeltme sırasında oluşan bağdaşıklık gerilmelerine dayandırılarak açıklanabilir [54,55]. Şöyle ki, yaşlandırma devresinde çökelen η fazı bağdaşık olduğu matrisin kafes yapısından farklı bir kafes yapısına sahiptir [54,55]. Bu fazın çökeltmesi sırasında oluşan bağdaşıklık gerilmeleri matrisin kafes yapısının çarpılmasına veya distorsiyona uğramasına neden olur [55]. Kafes yapısında meydana gelen çarpılma da dislokasyon hareketini zorlaştırarak veya engelleyerek alaşımın sertlik ve mukavemetinin önemli ölçüde artmasına neden olur [54].

Sürtünme ve aşınma deneylerinden elde edilen bulgular, alaşımların sürtünme katsayılarının çalışmanın başlangıç aşamasında hızlı bir şekilde artıp, en yüksek değerlere ulaştıktan sonra zamanla azalarak belirli değerlerde sabit kaldıklarını ve ayrıca dökülmüş durumdaki alaşımların rodaj devresinin ısıl işlem görmüş durumdaki alaşımların rodaj devresinden daha kısa olduğunu gösterdi, Şekil 25,26. Rodaj devresi olarak adlandırılan başlangıç aşamasında alaşımların sürtünme katsayısının artarak en yüksek değerine ulaşması, yüzey pürüzlerini örtmeye yetecek kalınlıkta yağ filminin oluşmaması nedeniyle meydana gelen metal-metal temasından kaynaklanmaktadır [56,57]. Rodaj devresinden sonra, sürtünme katsayısının azalarak belirli değerlere düşmesi örneklerin yüzeyinde oluşan yağ filminin yeterli kalınlığa ulaşmasının bir sonucu olabilir [57]. Dökülmüş durumdaki alaşımların rodaj devresinin ısıl işlem görmüş alaşımların rodaj devresinden daha kısa süreli olması ise bu alaşımların yapı ve mekanik özelliklerinin farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Şöyle ki, ısıl işlem görmüş alaşımların sertlik ve mukavemetinin yüksek olması bunların yüzeyindeki pürüzlerin aşınma ve plastik deformasyon yoluyla ortadan kalkmasını, başka bir deyişle temas yüzeylerinin birbirine alışmasını zorlaştırmaktadır. Bu durum da ısıl işlem görmüş alaşımların rodaj devresinin daha uzun bir çalışma süresi sonunda tamamlanmasına neden olur. Diğer taraftan alaşımların sürtünme katsayısının bakır oranıyla fazla değişmediği, ancak uygulanan ısıl işlem sonucunda az da olsa arttığı görüldü, Şekil 27. Bu durum sürtünme katsayısının ilgili literatürde [56] verilen $\mu = \tau/\sigma_a$ formülüne dayandırılarak açıklanabilir. Bu eşitlikte μ sürtünme katsayısını, τ malzemenin sürtünme yüzeyine ait kayma dayanımını, σ_a ise malzemenin akma mukavemetini göstermektedir. Bilindiği gibi, bakır katkısı bu alaşımların sertlik ve mukavemetini artırmaktadır [26,35]. Bakır katkısının hem yüzey hem de ana malzemenin sertlik ve akma dayanımını artırması nedeniyle alaşımların sürtünme katsayısında önemli bir değişim meydana gelmeyebilir. Diğer taraftan dökülmüş durumdaki alaşımlara ait örneklerin yüzey malzemesinin sertlik ve kayma mukavemetinde çalışma sıcaklığının etkisiyle azalma meydana gelir. Yüzeyin daha fazla ısınması nedeniyle yüzey malzemesinin mukavemetinde ana malzemenin mukavemetine göre daha fazla azalma meydana gelebilir. Çalışma sırasında ısıl işlem görmüş alaşımlarda yaşlanma sıcaklığın etkisiyle devam ettiğinden bunların sertlik ve mukavemeti gittikçe artar. Yüzey sıcaklığının daha yüksek olması nedeniyle de ısıl işlem görmüş alaşımların yüzey tabakası ana malzemedan daha önce sertleşir ve bunun sonucunda da örnek, yüzeyi sertleştirilmiş bir parça gibi davranır. Yüzey malzemesinin kayma mukavemeti ana malzemenin

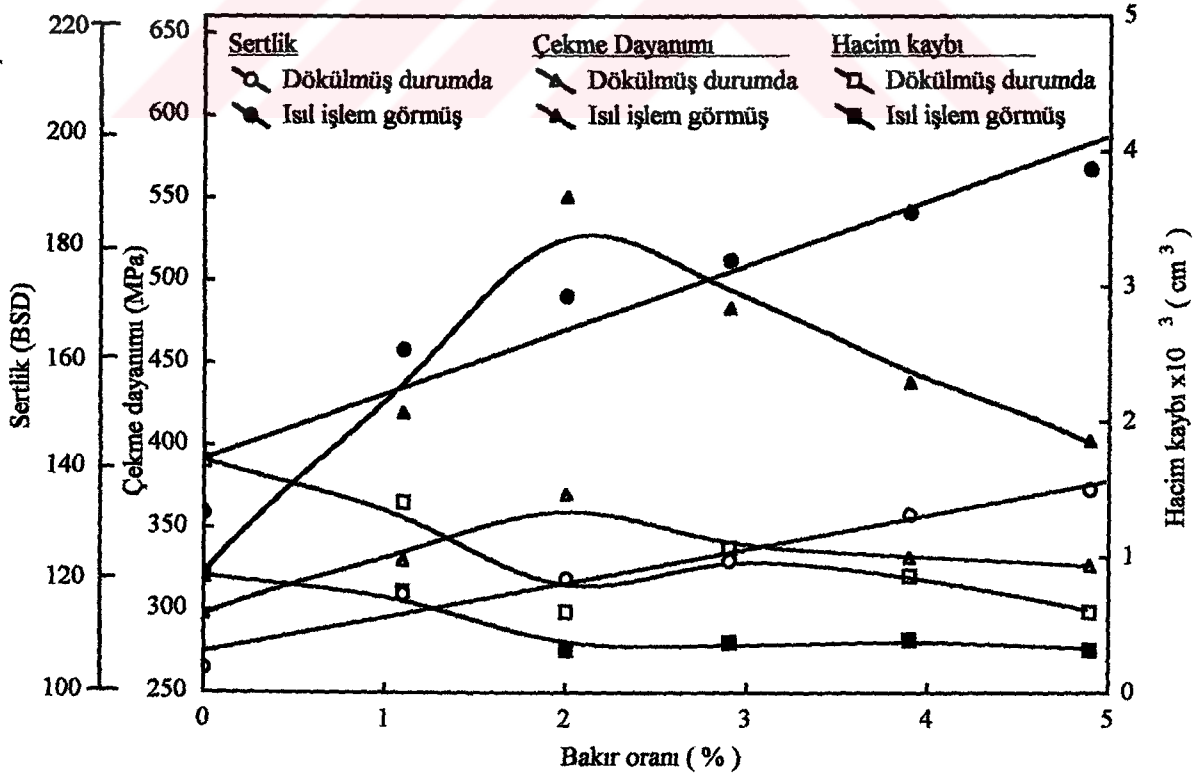
mukavemetinden daha fazla artması nedeniyle bu alaşımlardan yüksek sürtünme katsayısı elde edilir. Bu nedenle dökülmüş durumdaki alaşımların sürtünme katsayısı ısı işlem görmüş alaşımların sürtünme katsayısından daha düşük olur.

Sürtünme ve aşınma deneylerinde kullanılan örneklerin sıcaklığının bunların sürtünme katsayısında meydana gelen değişimi izlediği görüldü. Başka bir deyişle sürtünme katsayısı arttıkça örneklerin sıcaklığının arttığı, sürtünme katsayısının azalması durumunda ise sıcaklığın da azaldığı gözlemlendi. Bu durum sürtünme nedeniyle açığa çıkan ısı enerjisinden kaynaklanmaktadır [51,56,57]. Şöyle ki, sürtünme katsayısı arttıkça açığa çıkan sürtünme ısı artmakta ve bunun sonucunda sıcaklık yükselmektedir. Sürtünme katsayısının azalması durumunda ise açığa çıkan ısı enerjisi azalmakta ve dolayısıyla yüzey sıcaklığı düşmektedir, Şekil 28.

Rodaj devresinde alaşımlarda aşınma ile meydana gelen hacim kaybının dolayısıyla aşınma hızının yüksek olduğu, ancak alınan yol arttıkça azalarak sabit değerlere ulaştığı görüldü, Şekil 30-33. Bu durum, başlangıç aşamasında yüzey pürüzlerini örtecek kalınlıkta yağ filminin oluşmaması nedeniyle meydana gelen metal-metal temasından kaynaklanmış olabilir [56,57]. Bu aşamada alaşımların sürtünme katsayısı ve çalışma sıcaklığının da en yüksek değerlerine ulaşması bu görüşü doğrulamaktadır. Nitekim rodaj döneminden sonra aşınma hızında, dolayısıyla aşınma ile meydana gelen hacim kaybında bir azalma görüldü. Diğer taraftan bakır oranı arttıkça alaşımlarda aşınma ile meydana gelen hacim kaybının genelde azaldığı gözlemlendi, Şekil 48,49. Bu azalma artan bakır oranıyla alaşımların sertlik ve mukavemetinin artmasından kaynaklanmış olabilir. Aşınma ile meydana gelen hacim kaybının malzemelerin sertlik ve mukavemeti ile ters orantılı olduğu bilinmektedir [56]. Nitekim alaşımlarda aşınma ile meydana gelen hacim kaybı, genelde çekme dayanımına ters bir değişim sergilemektedir, Şekil 48,49. Şöyle ki, % 2 bakır oranına kadar çekme dayanımı artarken hacim kaybı azalmakta, bu orandan sonra ise çekme dayanımı azalırken hacim kaybında önemli bir değişiklik meydana gelmemektedir. Çekme dayanımı arttıkça alaşımlarda aşınma ile meydana gelen hacim kaybının azalması aşınma direncinin artan sertlik ve mukavemetle artmasından kaynaklanmaktadır [56]. Çekme dayanımı azalırken hacim kaybında fazla bir değişiklik meydana gelmemesi ise alaşımların iç yapı ve sertliğine dayandırılarak açıklanabilir. Bakır oranı arttıkça alaşımların sertliği ile iç yapısında bulunan bakırca zengin fazların oranının da arttığı görüldü. Sertliğin sürekli artması da alaşımların çekme dayanımının düşmesine karşın, aşınma direncinin azalmamasına yol açar.



Şekil 48. Zn-27Al esaslı alaşımların sertlik, çekme dayanımı ve hacim kaybının bakır oranına göre değişimini gösteren eğriler



Şekil 49. Monotektoid esaslı alaşımların sertlik, çekme dayanımı ve hacim kaybının bakır oranına göre değişimini gösteren eğriler

Uygulanan ısıtma işleminin söz konusu alaşımların aşınma direncini büyük ölçüde iyileştirdiği, başka bir deyişle aşınma ile meydana gelen hacim kaybını azalttığı görüldü, Şekil 48,49. Bu iyileşme durumu ısıtma işlemi alaşımların iç yapılarının değişip sertlik ve mukavemetinin artmasından kaynaklanmış olabilir. Nitekim ilgili literatürde [48] yaşlandırma işleminin alaşımların iç yapılarını düzenleyerek aşınma direncini artırdığı ileri sürülmektedir.

İkili Zn-Al ile üçlü Zn-Al-Cu alaşımlarına ait örneklerin aşınma yüzeyleri karşılaştırıldığında bakır içeren alaşımların aşınma yüzeylerinde daha fazla sayıda çizik oluştuğu görüldü, Şekil 36-41. Ayrıca, bakır oranının artmasıyla bu çiziklerin genişliğinin de arttığı gözlemlendi. Bu durum aşınma yüzeyinden kopan bakırca zengin fazların yaptığı abrasif etkiden kaynaklanmış olabilir. Şöyle ki, iç yapıda bulunan bakırca zengin fazların sayısı ve boyutu artan bakır oranı ile artmaktadır. Nispeten sert olan bu parçacıklar aşınma nedeni ile yüzeyden koparak ayrılırken yüzeyi çizebilirler. Bu nedenle bakır oranının artması durumunda aşınma yüzeyinde meydana gelen çiziklerin sayısı ve genişliği de artar. Diğer taraftan, ısıtma işlemi görmüş alaşımlara ait örneklerin aşınma yüzeylerinde meydana gelen çiziklerin dökülmüş durumdaki alaşımların aşınma yüzeylerinde oluşan çiziklerden daha fazla ve daha kalın olduğu gözlemlendi, Şekil 42-47. Bu durum su verme sonrası uygulanan yaşlandırma işlemiyle alaşımların iç yapı ve sertliğinde meydana gelen değişimlerden kaynaklanabilir. Şöyle ki, uygulanan ısıtma işlemi sonucunda alaşımlarda ince taneli ve nispeten sert bir yapı oluşmaktadır. Isıtma işlemi görmüş alaşımlara ait örneklerin yüzeylerinden kopan parçacıkların daha ince ve sert olmaları nedeniyle bu alaşımların aşınma yüzeylerinde daha çok sayıda çizikler oluşabilir. Bu durum aynı zamanda dökülmüş ve ısıtma işlemi görmüş durumdaki alaşımlardaki aşınma mekanizmalarının farklı olduğunu da göstermektedir.

5. SONUÇLAR

1. Dökülmüş durumdaki çinko-alüminyum alaşımlarının dendritik yapısı çözündürme, su verme ve yaşlandırma aşamalarını içeren ısıl işlem sonunda tamamen ortadan kalkar ve bunun yerini ince taneli bir iç yapı alır.
2. Çinko-alüminyum-bakır alaşımlarının sertliği % 5 oranına kadar artan bakır oranı ile artar, çekme dayanımı ise %2 oranına kadar artan bakır oranıyla artar, ancak bu orandan sonra bakır oranı arttıkça azalır.
3. Çözündürme ve su verme sonrası 100 °C sıcaklıkta uygulanan 1 saatlik yaşlandırma işlemi hem ikili çinko-alüminyum hem de üçlü çinko-alüminyum-bakır alaşımlarının sertlik, çekme dayanımı ve aşınma direncini artırır.
4. % 5 oranından daha düşük bakır katkıları çinko-alüminyum alaşımlarının sürtünme katsayısı üzerinde etkili değildir. Ancak su verme sonrası uygulanan yaşlandırma işlemi söz konusu alaşımların sürtünme katsayısının az da olsa artmasına neden olur.
5. İkili Zn-Al ve üçlü Zn-Al-Cu alaşımlarının çalışma sıcaklığı sürtünme katsayısında meydana gelen değişime benzer değişim sergiler.
6. Çinko-alüminyum-bakır alaşımlarında aşınma ile meydana gelen hacim kaybı % 2 bakır oranına kadar artan bakır oranıyla azalır, bu oranın üzerinde ise bakır oranıyla fazla değişmez.
7. Çinko-alüminyum-bakır alaşımlarının aşınma direnci % 2 bakır oranına kadar artan çekme dayanımı ile artmakta, bu oranın üzerinde ise çekme dayanımı azalırken aşınma direnci fazla değişmez.
8. Çinko esaslı alaşımlarda aşınmayla meydana gelen hacim kaybı sürtünme katsayısından çok, bu alaşımların sertlik ve mukavemetine bağlıdır.

6. ÖNERİLER

1. Yaşlandırma sıcaklığı ve süresinin çinko esaslı alaşımların sürtünme ve aşınma davranışlarına etkileri incelenerek en uygun ısıl işlem koşulları belirlenebilir.
2. Çinko esaslı alaşımlar değişik çalışma koşullarında sürtünme ve aşınma deneylerine tabi tutularak bunlardan üretilecek kaymalı yataklar için en uygun uygulama alanları belirlenebilir.



7. KAYNAKLAR

1. Savaşkan, T., The Structure and Properties of Zinc-Aluminium Based Bearing Alloys, Ph.D. Thesis, University of Aston in Birmingham, 1980.
2. Calayag, T., Ferres, D., High-Performans, High-Alüminum Zinc Alloys for Low-Speed Bearings and Bushings, Society of Automotive Engineers, Technical Paper No 820643, 1983, 2241-2251.
3. Altorfer, K.J., Zinc Alloys Compete with Bronze in Bearings and Bushings, Metal Progress, 122, 6 (1982) 29-31.
4. Calayag, T., The Practicality of Using Zinc-Alüminum Alloys for Friction-Type Bearings, 25th Annual Conference of Metallurgists, August 1986, Toronto, Ontario, 305-313.
5. Barnhurst, R.J., Zinc-Aluminum Alloy Design Manuel for Continuous Rotation Bearings, Noranda Sales Corporation Ltd., Toronto, January 1988.
6. Savaşkan, T., Murphy, S., Mechanical Properties and Lubricated Wear of Zn-25Al-Based Alloys, Wear, 116 (1987) 211-224.
7. Murphy, S., Solid-Phase Reactions in the Low-Copper Part of the Al-Cu-Zn System, Zeitschrift Metallkunde, 71 (1980) 96-102.
8. Lyon, R., Engineering Applications of ZA Alloys, Proceeding Second Conference on Material Engineering, London 1985, 221-227.
9. Wakefield, E.C., Copper-Aluminium Zinc Alloy Excels in Tough Conditions, Design Engineering, December 1973, 1-4.
10. Seah, K.H.W., Sharma, S.C., Rao, P.R., Girish, B.M., Mechanical Properties of As-Cast and Heat-Treated ZA-27/Silicon Carbide Particulate Composites, Materials & Design, 16 (1995) 277-281.
11. Savaşkan, T., Murphy, S., Metallography of Zn-25 % Al Based Alloys in the As-Cast and Aged Conditions, Practical Metallography, 24 (1987) 15-23.
12. Sharma, S.C, Girish, B.M., Somashekar, D.R., Kamath Rathnakar, Satish, B.M., Mechanical Properties and Fractography of Zircon-Particle-Reinforced ZA-27 Alloy Composite Materials, Composites Science and Technology, 59 (1999) 1805-1812.
13. Skenazi., A.F., Pelerin., J., Coutsouradus., D., Magnus., Meeus., M., Some Recent Developments in the Improvement of the Mechanical Properties of Zinc Foundry Alloys, Metallwissenschaft und Technik, 37, Jahrgang, Hef 9, September 1983, 898-902.

14. Gervais, E., Levert, H., Bess, M., The Development of a Family of Zinc-Based Foundry Alloys, *American Foundrymen's Society Transaction*, 88 (1980) 183-194.
15. Calayag, T., Zinc Alloys Replace Bronze in Mining Equipment Bushings and Bearings, *Canadian Mining Engineering*, July 1983, 727-728.
16. Lyon, R., The Properties and Applications of ZA Alloys, *The British Foundryman*, August/ September 1986, 344-349.
17. Zhu, Y., Yan, B., Huan, W., Bearing Wear Resistance of Monotectoid Zn-Al Based Alloy (ZA-35), *Journal of Materials Science and Technology*, 11 (1995) 109-113.
18. Goodwin, F.E., Ponikvar, A.L., *Engineering Properties of Zinc Alloys*, International Lead Zinc Research Organization, Third Edition, USA, January 1989.
19. Gross, D.K., *Zinc Alloys: Specifications and Processing*, Society of Automotive Engineers, Technical Paper No 871952, 1988, 1069-1075.
20. Geng, H., Ma, J., Friction and Wear of Al-Zn-Pb Bearings Alloy, *Wear*, 169 (1993) 201-207.
21. Mihaichuk, W., Bess, M.L., The ZA Die Casting Alloys, Society of Automotive Engineers, Technical Paper No 860556, 1987, 560-568.
22. Zhu, Y. H., Torres, G., Pina, C., Complex Microstructural Changes in As-Cast Eutectoid Zn-Al Alloy, *Journal of Materials Science*, 29 (1994) 1549-1552.
23. Zhu, Y.H., Murphy, S., A General Rule of Decomposition Reaction in Supersaturated Zn-Al Based Alloys, *Chinese Journal of Metal Science and Technology*, 2 (1986) 103-115.
24. Zhu, Y. H., Murphy, S., Yeung, C., Early Stages of Phase Transformation in Quenched Zinc-Aluminum Based Alloys, *Journal of Materials Processing Technology*, 94 (1999) 78-84.
25. Savaşkan, T., Murphy, S., Decomposition of Zn-Al Alloys on Quench-Aging, *Materials Science and Technology*, 6 (1990) 695-700.
26. Turhal, M. Ş., Savaşkan, T., Çinko-Alüminyum Alaşımları İçin Mukavemet Artırma Yöntemleri, *Mühendis ve Makina*, Cilt 38, 450 (1997) 32-38.
27. Barnhurst, R. J., *Guidelines for Designing Zinc Alloy Bearing – A Technical Manual*, Society of Automotive Engineers, Technical Paper No 880289, 1988, 2164-2170.
28. Murphy, S., The structure of the T' Phase in the System Al-Cu-Zn, *Metal Science*, 9 (1975) 63-168.

29. Lee, P. P., Savaşkan, T., Laufer, E., Wear Resistance and Microstructure of Zn-Al-Si and Zn-Al-Cu Alloys, *Wear*, 117 (1987) 79-89.
30. Savaşkan, T., Murphy, S., Zn-Al Esaslı Yatak Alaşımlarındaki Faz Dönüşümleri, 4. Ulusal Metalurji Kongresi, Ekim 1986, Ankara, Bildiriler Kitabı, Cilt I, 532-555.
31. Durman, M., Murphy, S., An Electron Metallographic Study of Pressure Die-Cast Commercial Zinc-Aluminium-Based Alloy ZA27, *Journal of Materials Science*, 32 (1997) 1603-1611.
32. Zhu, Y., Goodwin, F., Microstructures of Thermomechanically Treated Eutectoid Zn-Al Alloy, *Journal of Materials Science and Technology*, 10 (1994) 121-126.
33. Zhu, Y. H., Phase Equilibria in Zn-Al-Cu-Si System at 285 °C, *Chinese Journal of Metal Science and Technology*, 5 (1989) 113-118.
34. Zhu, Y.H., Lee, W.B., Tensile Deformation and Phase Transformation of Furnace-Cooled Zn-Al Based Alloy, *Materials Science and Engineering A*, 293 (2000) 95-101
35. Lyon, R., New Zinc Alloys with Wide Engineering Applications, *Proceeding Conference on Materials Engineering*, University of Leeds, July 1984 , 87-96.
36. Pürçek, G., Çinko-Alüminyum Esaslı Alaşımlardan Üretilen Kaymalı Yatakların Statik ve Dinamik Yük Altındaki Tribolojik Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Mayıs 2000, Trabzon.
37. Zhu, Y., Goodwin, F., Influence of Rare Earth Element Addition on Phase Transformations in the Zn-27% Al Alloy, *Journal of Materials Research Society*, 8 (1993) 3043-3049.
38. Modi, O.P., Yadav, R.P., Prasad, B.K., Jha, A.K., Dasgupta, R., Dixit, G., Effects of Swaging and Aluminium Content on the Microstructure and Mechanical and Sliding Wear Properties of Zinc-Based Alloys, *Materials Transactions*, 39 (1998) 582-586.
39. Barnhurst, R.J., Zinc and Zinc Alloys, *Metals Handbook*, Vol 2, Ohio, 1991.
40. Murphy, S., Savaşkan, T., Comparative Wear Behaviour of Zn-Al-Based Alloys in an Automotive Engine Application, *Wear*, 98 (1984) 151-161.
41. Kubel, E.J., Expanding Horizons for ZA Alloys, *Metal Progress*, 7 (1987) 51-57.
42. Prasad, B.K., Effects of Partially Substituting Copper by Silicon on the Physical, Mechanical and Wear Properties of a Zn-37.5 %Al-Based Alloy, *Materials Characterisation*, 44 (2000) 301-308.

43. Durman, M., Microstructures and Hot Tensile Properties of Pressure-Die Cast and Gravity-Cast Commercial Zinc-based Alloys, *Zeithshrift Metallkunde*, 89 (1998) 417-423.
44. Aydın, M., Savaşkan, T., Çinko-Alüminyum Esaslı Alaşımların Yorulma Özelliklerinin İncelenmesi, *Mühendis ve Makina*, Cilt 38, 444 (1997) 40-45.
45. Savaşkan, T., Murphy, S., Creep Behaviour of Zn-Al-Cu Bearing Alloys, *Zeithshrift Metallkunde*, 74, 2 (1983) 76-82.
46. Prasad, B.K., Patwardhan, A.K., Yegneswaran, A.H., Dry Sliding Wear Characteristic of Some Zinc-Aluminum Alloys: A Comparative Study with a Conventional Bearing Bronze at a Slow Speed, *Wear*, 199 (1996) 142-151.
47. Pürçek, G., Küçükömeroğlu, T., Savaşkan, T., Çinko-Alüminyum Esaslı Alaşımlardan İmal Edilen Kaymalı Yatakların Tribolojik Özelliklerinin İncelenmesi, *Mühendis ve Makina*, Cilt 37, 443 (1996) 35-41.
48. Prasad, B.K., Influence of Heat Treatment on the Physical, Mechanical and Tribological Properties of a Zinc-Based Alloy, *Zeithshrift Metallkunde*, 87 (1996) 222-232.
49. Hanna, M.D., Carter, J.T., Rashid, M.S., Sliding Wear and Friction Characteristics of six Zn Based Die Casting Alloys, *Wear*, 203-204 (1997) 11-21.
50. Prasad, B.K., Patwardan, A.K., Yagneswaran, A.H., Dry Sliding Wear Response of a Modified Zinc-Based Alloy, *Materials Transactions*, 38 (1997) 197-204.
51. Prasad, B.K., Effects of Microstructure on the Sliding Wear Performance of a Zn-Al-Ni Alloy, *Wear*, 240 (2000) 100-112.
52. Barnhurst, R.J., Farge, J.C., A Study of the Bearing Characteristics of Zinc-Alüminum (ZA) Alloys, *Canadian Metallurgical Quarterly*, 3 (1998) 225-233.
53. Savaşkan, T., Aydın, M., Odabaşoğlu, H. A., Fatigue Behaviour of Zn-Al Casting Alloys, *Materials Science and Technology*, 17 (2001) 681-685.
54. Savaşkan, T., *Malzeme Bilgisi ve Muayenesi*, Derya Kitabevi, Trabzon, 2000.
55. Avner, S.H., *Introduction to Physical Metallurgy*, Mc Graw-Hill Co., New York, 1974.
56. Halling, J., *Principles of Tribology*, Macmillan Education Ltd., London, 1989.
57. Savaşkan, T., Pürçek, G., Çinko-Alüminyum Esaslı Alaşımların ve Bu Alaşımlardan Üretilen Kaymalı Yatakların Aşınma Özellikleri, *Turkish Journal of Engineering & Environmental Sciences*, 24 (2000) 25-34.

8. ÖZGEÇMİŞ

Ali Paşa HEKİMOĞLU 1975 yılında Trabzon' da doğdu. 1992 yılında Trabzon Affan Kitapçıoğlu Lisesi' ni bitirdi. 1997 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü' nden Makina Mühendisi ünvanı ile mezun oldu. Aynı yıl KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı' nda yüksek lisans öğrenimine başlayan Ali Paşa HEKİMOĞLU 1998 yılından itibaren Tunceli Köy Hizmetleri İl Müdürlüğü' nde Makina Mühendisi olarak çalışmaktadır.

